



ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SMART GRID EN LAS REDES DE EL SECTOR RESIDENCIAL

ENITH MAYERLY GALVIS GONZALEZ

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS
Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, JUNIO 19 2020**



*Formadores de líderes comprometidos con la región en la
construcción de un nuevo país en paz.*



ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SMART GRID EN LAS REDES DE EL SECTOR RESIDENCIAL

ENITH MAYERLY GALVIS GONZALEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRICISTA**

Director: JORGE LUIS DÍAZ RODRÍGUEZ
INGENIERO ELECTRICISTA
djdiazcu@gmail.com

Codirector: ASTRID CAROLINA GALÁN
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
Astridgalan22@gmail.com

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS
Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, JUNIO 2020.**



*Formadores de líderes comprometidos con la región en la
construcción de un nuevo país en paz.*



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR
TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
SMART GRID EN LAS REDES DE EL SECTOR RESIDENCIAL**

FECHA DE INICIO DEL TRABAJO:

FECHA DE TERMINACIÓN DEL TRABAJO: 19 de junio 2.020.

NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR

AUTOR: Enith M. Galvis G. _____

DIRECTOR: ING. Jorge Luis Días R. _____

DIRECTOR DE PROGRAMA: ING. Yesid Santa Fe _____

JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE: ING. Carlos F. Velazco O. _____

OPONENTE: ING. Martin Gallo Nieves. _____

SECRETARIO: ING. Jorge L. Días R. _____

**PAMPLONA, COLOMBIA
19 DE JUNIO 2.020.**



*Formadores de líderes comprometidos con la región en la
construcción de un nuevo país en paz.*



Dedicatoria

Al creador, a Dios, por mostrarme que cada paso ha sido su plan, por forjar mí

A mi madre *Nubia González Estupiñan*, por sus esfuerzos y sus consejos, por mostrarme siempre el camino a la superación personal.

Con todo mi amor para ustedes.



Formadores de líderes comprometidos con la región en la construcción de un nuevo país en paz.



AGRADECIMIENTOS

Gracias, gracias, gracias, sin saberlo este fue el año de sentir lo que es el realmente estar agradecido, con Dios, con la vida, con los que me rodean. Son tantos los motivos para estarlo y hoy se suma uno más.

A mi hermosa familia, por su apoyo incondicional, siempre he sentido que son el mejor equipo de porras que yo podría tener, mi madre, mi esposo y mis hijos hoy y siempre mil gracias desde lo más profundo de mi corazón, por confiar en que podía lograrlo, por esforzarse y sacrificarse conmigo para lograr esto. Hemos llegado a la meta, Esta es nuestra tesis. A mi nona Bertha Gracias por aportarle tanto valor a mi vida, por enseñarme tantas cosas de la universidad de la vida.

Gracias por estar presente en esta etapa de mi vida, porque el camino no fue fácil pero su soporte, amor, bondad y sobre todo las porras hizo que lo complicado se notara menos. Gracias por sacar siempre la mejor versión de mí y por darme más de lo que merezco.

Gracias por enseñarme y acompañarme a recorrer este camino. Con todo mi amor y mi corazón siempre con ustedes.

Maye...



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	15
2. JUSTIFICACIÓN	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo general	17
3.2 Objetivos específicos	17
3.3 Acotaciones	17
4. CAPÍTULO 1 SMART GRID	18
4.1 Marco Teórico	18
4.2 Estado del arte	18
4.2.1 Nivel Nacional	18
4.2.3 Artículos	21
5. CAPÍTULO 2 MARCO LEGAL	22
5.1 Sector energético en Colombia	22
5.2 Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)	23
5.3 Normativa de Redes Inteligentes en Colombia	24
5.3.1 Comité Directivo Colombia Inteligente	24
6. CAPÍTULO 3 RED ELÉCTRICA ACTUAL	27
6.1 Características de la Red Eléctrica Actual	27
6.2 Redes de Distribución Urbana	29
6.3 Red de Distribución en la Ciudad de Cúcuta	30
7. CAPÍTULO 4 IMPLEMENTACIÓN de smart grid	33
7.1 Ventajas de las Smart Grid	33
7.2 Arquitectura y Componentes de las Smart Grid	35
7.2.1 Medida Avanzada	35
7.3 Arquitectura Smart Grid: En la red inteligente podemos encontrar energía y comunicación	36
7.4 Micro Redes	38
7.5 Componentes de las Micro-red	38
7.6 Tic´s: Tecnologías de la Información y Comunicaciones	40
7.7 Telegestion	41
7.8 Medidores Inteligentes	42
7.9 Concentradores	43



7.10 Almacenamiento de energía	43
7.11 Automóvil Eléctrico	44
7.12 Redes de Comunicación en las Smart Grid	45
8. CAPITULO 5 ANÁLISIS COSTOS- BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES Y SENSORES EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE CUCUTA.....	48
8.1 Selección de Equipos	48
8.3 Equipos Gestión de la Energía.....	48
9. COSTO-BENEFICIO PARA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES EN LA CIUDAD DE CUCUTA PARA 11000 CUENTAS EXISTENTES.....	52
9.1 Medidor Inteligente	52
9.2 Software Medidor Inteligente	53
9.3 Concentrador	53
9.4 Instalación del Proyecto.....	55
9.5 Total inversión inicial.....	56
9.6 Valor Asistencia Futuras	56
9.7 Toma de Medición Tradicional	57
9.8 Mantenimiento	57
9.9 Consumo de Energía	58
9.10 Evaluación Económica.....	59
9.11 Flujo de Caja s/p	59
9.12 Flujo de Caja c/p	60
9.13 Cálculo Flujo de Caja Incremental	61
9.14 Cálculo Valor Presente neto (VPN).....	62
9.15 Relación Costo- Beneficio.....	62
9.16 Tasa Interna de Retorno TIR	63
10. SÍNTESIS DEL RESULTADO	64
11 CONCLUSIONES	65
12. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	67
13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
14. ANEXOS	70
14.1 Fichas Técnicas	70





LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparativo técnico de la red eléctrica actual colombiana frente a una RI	30
Tabla 2. Subestaciones eléctricas frontera o de conexión, STN/STR.....	31
Tabla 3. Subestaciones de distribución eléctricas 230/115/34.5/13.8 KV	32
Tabla 4. Requerimientos de potenciales redes de comunicaciones para Smart Grid.	46
Tabla 5. Tecnologías de comunicación inalámbrica.....	47
Tabla 6. Valor medidores inteligentes	52
Tabla 7. Valor Software	53
Tabla 8. Valores concentradores.....	53
Tabla 9. Accesorios para concentradores.....	54
Tabla 10. Valor accesorios concentradores.....	54
Tabla 11. Valor total elemento	55
Tabla 12. . Valor instalación	55
Tabla 13. Inversión inicial.....	56
Tabla 14. Proyección salvamento.	56
Tabla 15. Mano de Obra Toma de Medición Tradicional.....	57
Tabla 16. Promedio Mensual Consumo.	58
Tabla 17. Flujo de caja sin proyecto.	59
Tabla 18. Flujo de caja con proyecto.	60
Tabla 19. Flujo de caja incremental, precios 2020	61
Tabla 20. Calculo VPN	62
Tabla 21. Relación C-B.	62



LISTA DE FIGURAS

Figuras. 1. Red eléctrica con nivel de inteligencia y algunos elementos básicos: a) generación distribuida por fuentes de energía renovable, b) medidor inteligente. .20

Figuras. 2. Transición de la red actual a una Smart Grid (Santa cana et al., 2010)20

Figuras.3. Sistemas de energía eléctrica tradicional (a) y de próxima generación (b).Adaptado de: The Top-Bottom Structure y The Bidirectional Paradigm (Coll-Mayor,2009, pp.5-6).....21

Figuras. 4. Colombia inteligente.....24

Figuras. 5. Sistema de Distribución actual27

figuras. 6. Medida Avanzada (AMI, Advanced Metering Infrastructure)35

Figuras. 7 Arquitectura Smart Grid36

Figuras. 8 Arquitectura de comunicación Smart Grid.....37

Figuras. 9 Avance inteligente infraestructura40

Figuras. 10 Medidores de energía42

Figuras. 11 PME-STD PME8 BASE.....49

Figuras. 13 PM3250 power meter - RS485.....51





ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SMART GRID EN LAS REDES DE EL SECTOR RESIDENCIAL

Galvis Gonzalez Enith Mayerly
Pamplona University, Km 1 Via B/manga, Pamplona, Colombia

Resumen

SMART GRID

Resulta importante mencionar que *SMART GRID* es la red eléctrica que por medio de la integración de tecnologías de las Tic´s, constituye de forma eficiente, sostenible, segura, rentable y confiable todos los agentes que conforma el sistema, generación, transmisión, distribución, usuario final, sistemas de almacenamiento, microgrids o automóviles eléctricos, micro-redes entre otros.

En la actualidad, si hablamos de tecnología es la evolución mundial y es un tema extenso, pero si hablamos de evolución energética nos enfrentamos a un reto importante una vez que se derivan temas de redes de distribución y el aumento de la demanda energética.

Teniendo en cuenta lo anterior la red eléctrica se ve en la necesidad de adaptarse a la sociedad y todo lo que esto conlleva a su desarrollo en la legislación y sus beneficios etc.

Cabe resaltar que el principio fundamental es el flujo bidireccional de información y electricidad entre el usuario final y la electrificadora. La integración y gestión de todos los usuarios en la red con una operación descentralizada.

La red inteligente utiliza equipos y servicios innovadores de avanzada tecnologías de monitoreo, control y comunicación, su gran aporte es el beneficio en el impacto del medio ambiente y la interacción con el usuario final.

El objetivo principal de esta tecnología es aumentar la fiabilidad y calidad del suministro de energía eléctrica. Si llega a presentarse un fallo y generar una interrupción del flujo de energía lo que trae una suspensión del servicio de manera temporal o indebida según sea la avería, esta tecnología de red inteligente puede detectar oportunamente el fallo y aísla el tramo específico donde se presenta enviando la información al centro de operación, lo que permite una reacción más oportuna y así devolver el servicio con más rapidez en la activación del servicio de energía eléctrica en el caso de suceder incidentes correctivos, además puede ayudar de manera preventiva para obtener datos que informen un funcionamiento distorsionado de la red.

Proporcionar a los usuarios la interacción activa en el sistema mediante los medidores inteligentes que permiten optimizar, y brindar la información y herramientas necesarias para mejorar el funcionamiento y tomar decisiones oportunas frente a esto, consumo, pico de consumo, cuanto le cuesta, etc. Además de darle opción de generar un porcentaje de la energía que consume en el caso de aplicar a un centro renovable de energía en su vivienda.

Ayuda a la sostenibilidad ambiental, la red inteligente permite integrar la generación distribuida procedente de fuentes renovables incluyendo acumulación de energía, así mismo la expansión de la infraestructura de recarga para la movilidad eléctrica. Dando un aporte extraordinario a la reducción de las emisiones de CO₂.

Mejora la eficiencia en la distribución de los flujos de energía y aportar la flexibilidad en la gestión de los picos de demanda, con la consiguiente disminución de las necesidades de nuevas instalaciones de generación. Además aumentar el Aprovechamiento de las infraestructuras eléctricas actuales.

Se pretende con la presente tesis comprender el nuevo concepto de redes inteligentes, abordando distintos conceptos involucrados, mostrar las características, beneficios y ventajas potenciales que tiene la tecnología de Smart Grid para las electrificadoras y la sociedad en general, definir una metodología para migrar la red actual en una red inteligente. Esta metodología no registra en la literatura técnica actualmente y es la aportación principal que se ofrece.

Se estudiarán las principales características de las Smart Grid, detallando de sus beneficios y limitantes para la implementación, analizando los principales elementos que las componen, así como las distintas tecnologías involucradas, indagando las normativas, intentando proporcionar una visión clara y concreta de la situación actual y el estado en el que se encuentran las redes de distribución.



Desarrollo propuesto.

1. Sector energético, avances en la regulación y normativa.
2. Red convencional, descripción de la red, redes de distribución.
3. Smart Grid, conceptos, antecedentes, ventajas, viabilidad.
4. Tecnologías de la comunicación, concentradores, medidores inteligentes.
5. Arquitectura de la red Smart Grid.
6. Costo-beneficio instalación de medidores eléctricos.

Para comprender el funcionamiento este nuevo concepto de red eléctrica y de qué se trata, se realizara como primer paso un análisis del funcionamiento de la red eléctrica tradicional y viéndose cómo las nuevas necesidades de la sociedad y el hacer frente a los problemas derivados del sistema eléctrico tradicional que han propiciado la necesidad de buscar nuevas soluciones en el marco eléctrico, desarrollándose las nuevas redes inteligentes.

Palabras clave: Smart Grid, Tic's, microgrids, Automovil eléctrico, Microredes.

Abstract

SMART GRID

It is the electricity network that, thanks to the integration of ICT technologies, integrates all the agents that make up the system, generation, transmission, distribution, end user, storage, microgrids or electric cars, micro-networks among others.

Currently, if we talk about technology, world evolution, the topic is extensive, but if we talk about energy evolution, we face a major challenge, in terms of distribution networks, and accompanied by the increase in energy demand, the electricity grid is seen in the need to adapt to society and all that this entails in its development in legislation, benefits, etc.

The fundamental principle is the bidirectional flow of information and electricity between the end user and the electrifier. The integration and management of all users in the network with a decentralized operation.

The smart grid uses innovative products and services with advanced monitoring, control and communication technologies, its great contribution is the benefit in the impact of the environment and interaction with the end user.



The main objective of this technology is to increase the reliability and quality of the electrical energy supply. In the event of a failure and generating interruption of the energy flow, which brings a suspension of service temporarily or improperly depending on the failure, this smart grid technology can timely detect the failure and isolate the specific section where it is presented by sending the information to the operation center, which allows a more timely reaction and thus return the service more quickly in the activation of the electric power service in the event of corrective incidents, it can also help preventively to obtain data that report a distorted operation of the network.

Provide users with active interaction in the system through smart meters that optimize, and provide the information and tools necessary to improve operation and make timely decisions regarding this, consumption, peak consumption, how much it costs, etc. In addition to giving you the option of generating a percentage of the energy you consume in the case of applying to a renewable energy center in your home.

Aid to environmental sustainability, the smart grid allows to integrate distributed generation from renewable sources including energy accumulation, as well as the expansion of recharging infrastructure for electric mobility. Contributing an extraordinary to the reduction of CO2 emissions.

It improves efficiency in the distribution of energy flows and provides flexibility in managing demand peaks, with the consequent decrease in the needs of new generation facilities. Also increase the Taking advantage of current electrical infrastructures.

The aim of this thesis is to understand the new concept of smart grids, approaching different concepts involved, show the characteristics, benefits and potential advantages that Smart Grid technology has for electricity companies and society in general, define a methodology to migrate the grid current in a smart grid. This methodology is not currently recorded in the technical literature and is the main contribution that is offered.

The main characteristics of Smart Grid will be studied, detailing their benefits and limitations for implementation, analyzing the main elements that comprise them, as well as the different technologies involved, investigating the regulations, trying to provide a clear and concrete vision of the current situation. And the state in which the distribution networks are.





Proposed development.

1. Energy sector, advances in regulation and standards.
2. Conventional network, description of the network, distribution networks.
3. Smart Grid, concepts, background, advantages, feasibility.
4. Communication technologies, hubs, smart meters.
5. Smart Grid network architecture.
6. Cost-benefit installation of electrical meters.

To understand the operation of this new concept of the electrical network and what it is about, an analysis of the operation of the traditional electrical network will be carried out as a first step and it will be seen how the new needs of society and how to face the problems derived from the system Traditional electrical networks have led to the need to look for new solutions in the electrical framework, developing new smart grids.

Keywords: Smart Grid, Tic's, microgrids, Electric car, Microgrids.

1. INTRODUCCIÓN

¿Que son las Smart Grid o redes inteligentes? ¿Qué es evolución energética? ¿Autogestión de la red? ¿Energía sostenible y eficiente? ¿Cuál sería el camino a seguir para conseguirlo? de estos interrogantes nace la idea de profundizar en este estudio.

Estudios en Colombia se han dirigido a las redes inteligentes o Smart Grid, en la búsqueda del sector energético en un modelo para lograr eficiencia, sostenibilidad, seguridad, fuentes de energías amigables con el medio ambiente y rentables e integrarlos a su operatividad futura.

El adelanto de las redes inteligentes, establece una metodología para aplicar Las distintas tecnologías de informática y comunicación, que permiten avanzar hacia la mejora del modelo energético de la red actual. Es aquella capaz de integrar y gestionar la distribución de energía eléctrica a usuarios y generadores en ambas direcciones y al mismo tiempo, eficiente, sostenible, rentable y seguro.

RED ACTUAL + Tic`s = SMART GRID

La energía eléctrica, desde inicios del siglo XXI, tiene un alto consumo en el primer mundo, con un ritmo de crecimiento acelerado, Las ciudades cada día evolucionan y con ellas la necesidad del desarrollo de las redes actuales, lo que finalmente se traduce en bienestar y calidad de vida para la sociedad. Si nos centramos en la población y su consumo energético el 74% de la población en Colombia es urbana quedando por encima de las estadísticas mundiales y la tendencia anualmente es al aumento.

Como sociedad nos enfrentamos a uno de los reto más grande de la historia de la evolución del sector energético, es el suministro eficiente y sostenible de energía a las ciudades y la reducción de su huella ecológica, que es un deber de la humanidad, lo que se convierte en un trabajo de todos para reducir las emisiones contaminantes y obtener ese modelo energético que permita el cubrimiento de la demanda de energía.

2. JUSTIFICACIÓN

La evolución de los sistemas eléctricos convencionales hacia las Smart Grid implica el uso de tecnologías de las comunicaciones, de forma que se puedan controlar proceso como medición remota, detección de fallas, transmisión de información a grandes velocidades sin necesidad de implementar nuevo cableado, es por lo anterior que se justifica el presente trabajo con el fin de determinar qué efectos causa la tecnología Smart Grid en las variables del sistema eléctrico.

En Colombia aunque hay grupos de investigación que se encuentran camino de maduración y se han realizado pruebas piloto todavía no se ha logrado determinar qué tan efectiva sería su implementación. Es por la importancia que tiene esta tecnología y el aporte para el desarrollo que puede brindar, se hace una investigación documental con el fin de establecer la aplicabilidad de esta tecnología en las zonas residenciales.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar la viabilidad para aplicación de la tecnología Smart Grid en la ciudad de Cúcuta.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar normativa existente o no, de la tecnología Smart Grid en Colombia.
- Describir desde el punto de vista técnico, la red de distribución existente en la ciudad de Cúcuta.
- Identificar ventajas y adecuaciones para la implementación de la tecnología Smart Grid.
- Seleccionar equipos e instalaciones necesarias para posible implementación en la red de distribución.
- Analizar viabilidad.

3.3 Acotaciones

Este proyecto será documentado, permitirá profundizar en la investigación de lo que sería la implementación de la tecnología Smart Grid; donde se utilizarán herramientas informáticas, análisis eléctricos, documentos guía y sus resultados y recomendaciones se dejarán indicados a libre implementación.

4. CAPÍTULO 1 SMART GRID

4.1 Marco Teórico

4.2 ESTADO DEL ARTE

En el estado del arte se evidencia información detallada sobre el estudio de esta tecnología que servirán como aporte importante para la realización de diseño.

4.2.1 Nivel Nacional

William Mauricio Giral Ramírez, Hugo J. Celedón F. , Eduard Galvis R., Ángela Tatiana Zona O., Smart grid in the Colombian electric system: Current situation and potential opportunities, Bogotá 2017.

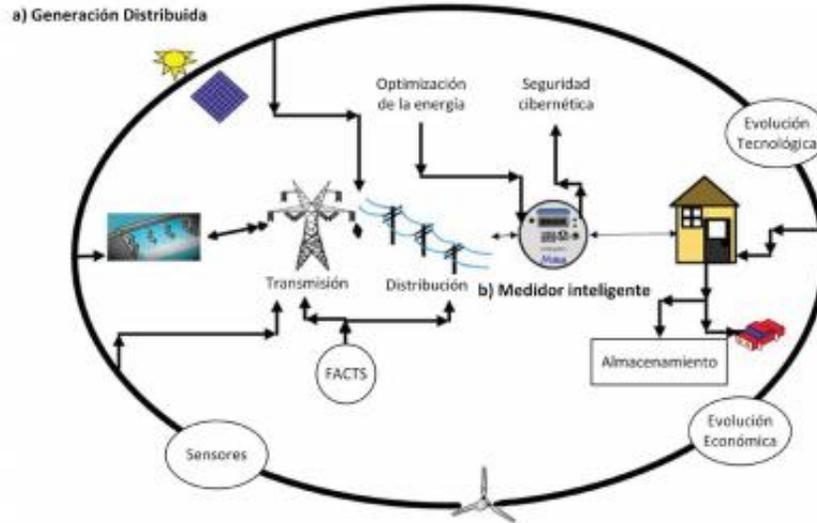
El 80 % de los gases de efecto invernadero son producidos por el consumo de recursos y energía mundial, del cual el 75% se ha concentrado en las ciudades; esto como consecuencia del significativo crecimiento de la población durante las últimas décadas, condición que da lugar a la necesidad de controlar y reducir el impacto ambiental, y garantizar calidad de vida a los habitantes. Como estrategia para dar respuesta a dichas necesidades, y en especial a los problemas energéticos relacionados a la rápida urbanización, se ha planteado la creación de ciudades inteligentes (Mohanty, Choppali, y Kougianos, 2016).

(Giral Ramírez et al., 2017).

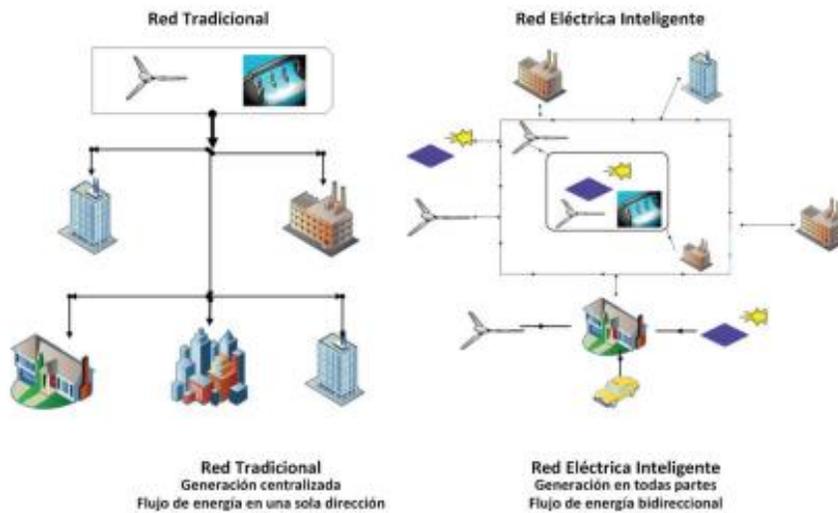
4.2.2 Nivel Internacional

León-Trigo Luz Ileri, Reyes-Archundia Enrique, Gutiérrez-Gnecchi José Antonio, Méndez-Patiño Arturo, Chávez-Campos Gerardo Marx, Smart Grids en México: Situación actual, retos y propuesta de implementación Smart Grid in México: Current situation, challenges and implementation, México 2019.

Una Red Eléctrica Inteligente o Smart Grid (SG) es una red eléctrica que integra, a través de una comunicación bidireccional, las acciones de proveedores de servicio y usuarios conectados a ella. En la actualidad uno de los retos que enfrenta la Red Eléctrica Mexicana debido al crecimiento poblacional e industrial es el incremento de la demanda energética, así como la introducción de generación distribuida basada en recursos renovables. El objetivo de este trabajo es presentar un panorama general del estado que guardan las redes inteligentes en México, así como la viabilidad de construir Micro Redes Eléctricas o Micro Grids (MGs), para proveer energía eléctrica a sectores de la sociedad no atendidos o para hacer más eficientes los servicios actuales. Para ello, se realiza un análisis de los alcances y las limitaciones del sector eléctrico en México y, a diferencia de otros trabajos, se presenta un caso de estudio en el que se compara el consumo real de energía eléctrica de un usuario residencial y la generación estimada por medio de paneles solares, con base en datos de irradiación proporcionados por la NASA. Utilizando las coordenadas geográficas del lugar bajo estudio se obtiene una radiación solar promedio de 5.58 kWh/m² /día, con la que se calcula el número de paneles solares necesarios para atender la demanda. El estudio comparativo está limitado a datos de 22 meses de consumo real. El resultado muestra una diferencia entre generación y consumo de 2 kWh, lo que valida la correcta estimación del estudio. En adición, se presenta un análisis de recuperación económica que justifica la instalación de Micro Redes aisladas, con medios de generación alternativos, para llevar la energía a lugares de difícil acceso con redes convencionales.



Figuras. 1. Red eléctrica con nivel de inteligencia y algunos elementos básicos: a) generación distribuida por fuentes de energía renovable, b) medidor inteligente.



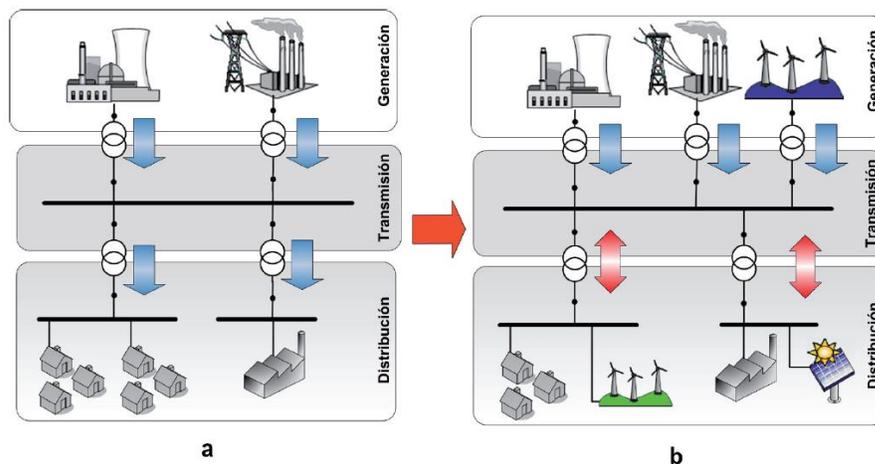
Figuras. 2. Transición de la red actual a una Smart Grid (Santa cana et al., 2010)

(León Trigo et al., 2019).

4.2.3 Artículos

JUAN CARLOS HERNÁNDEZ, CARLOS ANDRÉS DÍAZ ANDRADE. SMART GRID: LAS TICS Y LA MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE ENERGÍA ELÉCTRICA – ESTADO DEL ARTE, AGOSTO 2011.

En el mundo crece el interés por desarrollar políticas y regulaciones que incentiven la creación de conciencia social respecto de los gases causantes del efecto invernadero. Muchos gobiernos quieren, además, reducir su dependencia de los combustibles fósiles. Las tecnologías denominadas Smart Grid podrían apoyar estos propósitos al disminuir las emisiones de carbono mediante la gestión de la demanda de energía eléctrica.



Figuras. 3. . Sistemas de energía eléctrica tradicional (a) y de próxima generación (b). Adaptado de: The Top-Bottom Structure y The Bidirectional Paradigm (Coll-Mayor, 2009, pp.5-6).

(Maquilón O., 2008).

5. CAPÍTULO 2 MARCO LEGAL

5.1 Sector energético en Colombia

Actualmente, en Colombia el sector energético se divide en cuatro subsectores: generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Con lo cual se dio paso a la creación del mercado mayorista de energía de Colombia y a la creación de la Bolsa de Energía.

Hablemos un poco de la historia de del sector energético en Colombia, en la década de los 80 se construyeron grandes proyectos hidroeléctricos, para ese momento la generación de energía estaba a cargo de la empresa Interconexión Eléctrica S.A. (ISA), quien se catalogó como la más grande generadora de energía del país, con más del 30% de la capacidad instalada, quien a su vez, era propietaria de las redes de transmisión, encargándose así de la operación del sistema eléctrico y de atender la demanda nacional de manera centralizada.

Finalizando esta década, el sector energético en Colombia estaba conformado por empresas estatales, las principales ciudades del país contaban con sus propias empresas y el resto del país estaba interconectado, lastimosamente La politiquería, la elevada burocracia y a los malos manejos administrativos de varias de estas empresas el sistema colapso.

A comienzos de los 90 la deuda de las empresas eléctricas había crecido trascendentalmente, cuantificaba el 40 % de la deuda externa del país, colocando en riesgo las finanzas públicas, esto no permitió pagar por más energía al sistema interconectado.

Entre 1992 y 1993 se produjo el mayor apagón de la historia de Colombia (Se decretó el racionamiento de energía) por el fenómeno de El Niño, este fue el origen que se argumentó, orillando al sector energético a reestructurarse. En 1991, se promulga la nueva constitución nacional de Colombia, en la que se establecen la reforma para la prestación de servicios públicos domiciliarios y del sector energético (ley 142 y 143 de 1994), Permitiendo que empresas particulares prestaran también servicios, y que se fijaran las tarifas. Obligaron a las compañías a separar sus actividades económicas. Comenzó un proceso de privatización de empresas eléctricas y la llegada de inversionistas extranjeros.

(Hurtado-Hidalgo, 2014).

Este pasado en el sector represento grandes desafíos, grandes retos que afrontar y estos no giran solo en torno a las tarifas, sino también a la necesidad de garantizar el suministro de energía eléctrica en el 51% del territorio colombiano que corresponde a 70 municipios que no estaban interconectados.

En 2001, Se promulga la Ley 697 que promueve el uso de energías alternativas, que también hace mención del uso racional de energía (URE), uso eficiente de energía y desarrollo sostenible, encaminado con esto el Congreso Colombiano expidió la Ley 1715 de 2014 destinada a incentivar y regular la integración de energías renovables no convencionales y el desarrollo de la gestión eficiente de la energía. Por otra parte, se está discutiendo actualmente los mecanismos para incorporar sistemas de almacenamiento de energía en el Sistema Interconectado Nacional, de acuerdo con la evolución tecnológica y los requerimientos actuales de los sistemas eléctricos, lo último que se registra es la resolución 281 de 2015 donde se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala.

5.2 COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG)

Se previó que el Presidente de la República pudiera delegar las funciones de señalar "las políticas generales de administración y control de eficiencia de los servicios públicos domiciliarios, que le encomienda el artículo 370 de la Constitución Política" en las comisiones de regulación.

Para el caso del servicio público de energía eléctrica la delegación se hizo a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) mediante el Decreto 2253 de 1994.

Las leyes 142 y 143 de 1994 establecen las funciones de la CREG, así como los criterios y principios que deben tenerse en cuenta en la regulación del servicio público domiciliario de energía eléctrica, el cual está definido en la citada Ley 142 como "el transporte de energía eléctrica desde las redes regionales de transmisión hasta el domicilio del usuario final, incluida su conexión y medición".

Teniendo en cuenta lo anterior la CREG expide actos administrativos de carácter general y particular que son de obligatorio cumplimiento por parte de las empresas prestadoras de los servicios regulados por la Comisión. Estos actos administrativos asumen la forma de Resoluciones. La función de vigilar y controlar el cumplimiento de estas leyes y actos administrativos le corresponde a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios de acuerdo con lo señalado por la Ley 689 de 2001, que modificó la Ley 142 de 1994.

(Uribe Vélez et al., 2008).

5.3 NORMATIVA DE REDES INTELIGENTES EN COLOMBIA

Actualmente, se conformó en Colombia una red colaborativa llamada Colombia Inteligente, de la unión de empresas y entidades Expertas en el Mercado energético, encabezada en la presidencia por XM, compañía de expertos en mercado S.A. E.S.P y en su vicepresidencia Con, consejo nacional de operaciones.

5.3.1 Comité Directivo Colombia Inteligente



Figuras. 4. Comité Colombia inteligente

Estas entidades vienen desarrollando una propuesta estructurada para establecer lineamientos, políticas y diferentes estrategias para la aplicación de redes inteligentes en el sistema eléctrico en Colombia analizadas también desde los beneficios y costos esperados.

En Colombia no existen normas que se refieran explícitamente al concepto de redes inteligentes, ni a conceptos relacionados. Sin embargo, como parte del programa Colombia Inteligente, algunas normas ya vigentes se encuentran en revisión por parte de los respectivos comités de normalización, con el fin de adaptarlas con miras a la implementación de las redes inteligentes en Colombia. La mayor parte de estas normas se refieren a medidores de energía y a protocolos de seguridad y comunicación. Estas normas se presentan a continuación.

Colombia Inteligente.



NTC-ISO/IEC 27001 TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN. TÉCNICAS DE SEGURIDAD. SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN (SGSI). REQUISITOS (22/03/2006)

Esta norma es una adopción idéntica por traducción de la norma ISO/IEC 27001 y actualmente se encuentra bajo revisión del comité de normalización 181 del ICONTEC (Gestión de la tecnología de la información).

Esta norma propone una metodología basada en procesos y en el modelo PHVA para gestionar el riesgo y mejorar la seguridad de la información dentro de las organizaciones (cualquier organización en general), de manera que está alineada con las normas ISO 9001 e ISO 14001. La norma presenta un listado de las definiciones relacionadas con el tema, luego expone los lineamientos generales para implementar y gestionar el SGSI, las responsabilidades de la dirección de la compañía, y las auditorías y procesos de revisión con miras a la mejora continua del sistema SGSI.

NTC IEC 61000-4-30 COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA (CEM) PARTE 4-30: TÉCNICAS DE ENSAYO Y DE MEDIDA DE LA CALIDAD DE SUMINISTRO

Esta norma se encuentra en proceso de consulta pública, entre el 15 de septiembre y el 15 de noviembre de 2012.

NTC 4440 EQUIPOS DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. INTERCAMBIO DE DATOS PARA LA LECTURA DE MEDIDORES, TARIFA Y CONTROL DE CARGA. INTERCAMBIO DE DATOS LOCALES DIRECTOS (26/10/2005)

Constituye una adopción idéntica por traducción de la norma IEC 62056-21 y se encuentra en revisión por parte del comité 144 (Medidores de energía eléctrica). La norma contiene las especificaciones de hardware y de protocolo para el intercambio local de datos de los medidores, usando una unidad portátil HHU. Presenta diagramas y especificaciones de las interfaces (óptica y eléctrica) y sus componentes, así como especificaciones referentes a la transmisión de datos (velocidad de transmisión, código del carácter) y una completa descripción del protocolo de transmisión de datos.

NTC 5648 MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. SISTEMAS DE PAGO. REQUISITOS PARTICULARES. MEDIDORES DE PAGO ESTÁTICOS PARA ENERGÍA ACTIVA (CLASE 1 Y 2) (26/11/2008)

Es una adopción idéntica por traducción de la norma IEC 62055-31 y se encuentra bajo revisión del comité 144, que normaliza sobre medidores de energía eléctrica. Esta extensa norma aplica para medidores estáticos de energía eléctrica con exactitudes clase 1 y 2, que operen en interiores. Contiene una amplia sección de definiciones referentes a la medición de pago, códigos, portadores de código, interrupciones de carga y mantenimiento.



Especifica algunos requisitos mecánicos de los medidores, la mayoría de los cuales referencian la norma IEC 62052-11 (o su equivalente, la NTC 5226); requisitos eléctricos, definidos en las normas IEC 62052-11 (NTC 5226) e IEC 62053-21 (NTC 4052); requisitos de exactitud de medida y requisitos funcionales.

NTC 5753 MEDIDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA. GLOSARIO DE TÉRMINOS (21/04/2010)

Esta norma proporciona definiciones de términos específicos que pueden ser usados en las normas sobre medida eléctrica, tarificación y control de cargas y sistemas de intercambio de información cliente-empresa de servicios públicos.

Actualmente se encuentra en proceso de actualización por parte del comité técnico 144 del ICONTEC.

NTC 5907 MEDICIONES DE ELECTRICIDAD. SISTEMAS DE PAGO. ESPECIFICACIÓN DE TRANSFERENCIA ESTÁNDAR (STS). PROTOCOLO DE LA CAPA DE APLICACIÓN PARA SISTEMAS PORTADORES DE CÓDIGOS EN UNA SOLA DIRECCIÓN (21/03/2012)

NTC 5908 MEDIDORES DE ELECTRICIDAD. SISTEMAS DE PAGO. ESPECIFICACIÓN DE TRANSFERENCIA ESTÁNDAR (STS). PROTOCOLO DE NIVEL FÍSICO PARA PORTADORES DE CÓDIGO DE TARJETA MAGNÉTICA (21/03/2012).

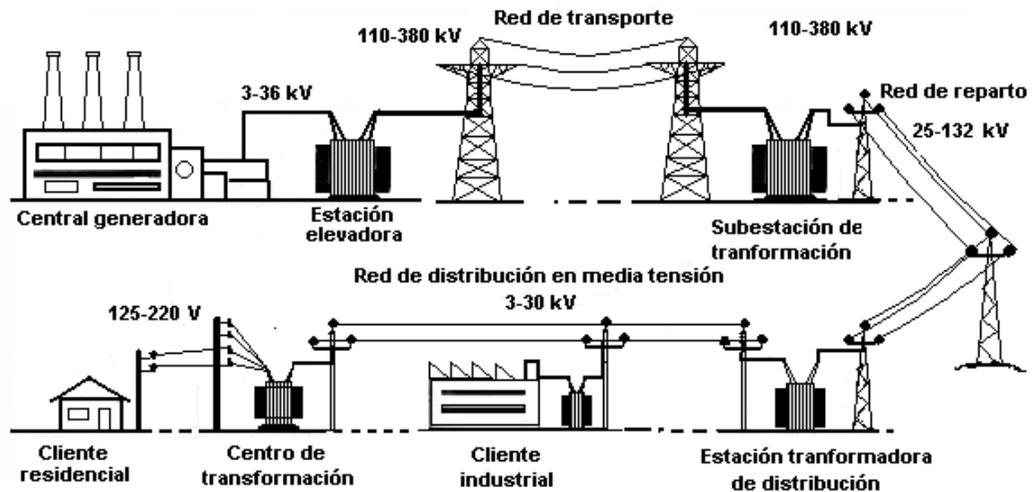
(Javier & Alzate, 2012).



6. CAPÍTULO 3 RED ELÉCTRICA ACTUAL

6.1 Características de la Red Eléctrica Actual

Hasta ahora en la red eléctrica en Colombia ha sido tradicional, interconectada para el suministro de electricidad desde los generadores hasta el consumidor. compuesta de centrales de generación (termina, hidráulica, nuclear, etc.) de energía eléctrica, ubicadas a grandes distancias de las ciudades, través de redes o líneas de transmisión se transportan altas tensiones, elevadas por transformadores hasta subestaciones de distribución o receptoras que se encargan de reducir la tensión y distribuirla a los usuarios finales



Figuras. 5. Sistema de Distribución actual

El sistema de distribución, en las últimas décadas el sector eléctrico en Colombia ha comprendido que esta parte del sistema es vital en lo largo del proceso, desde el planeamiento hasta la ejecución, pues es la parte no solamente donde se deteriora la calidad del servicio, sino también donde el sistema es altamente vulnerable y expuesto a robos, fraudes y otro tipo de pérdidas no técnicas.

(Estefan et al., 2013).

El sistema de suministro eléctrico es el que cumple la función de distribución de energía eléctrica, indicando en la subestación de distribución hasta el usuario final (acometida eléctrica que se conecta al medidor de energía) es manejado por el operador de red de la zona.

Su mantenimiento y producción en costos es alto. Las líneas de transmisión cada vez más costosas de tender y sus permisos cada vez más difíciles de obtener sin desconocer que su desventaja son las grandes pérdidas de potencia que se producen por el transporte. Subestaciones de transformación de energía de alta tensión (AT) a media tensión (MT) que es recomendado no ubicar cerca de las comunidades. Líneas de distribución y centros de transformación, para darle cubrimiento a la demanda de numerosos usuarios finales (ciudades, poblados, industria, etc.).

- **Subestaciones de distribución:** transforma la energía recibida en las fronteras del sistema de transmisión nacional o regional dan origen a los circuitos de distribución primarios.
- **Transmisión:** la red eléctrica es la delegada de enlazar las centrales con las redes de distribución, haciendo puente en las centrales con las subestaciones de transformación. La línea de AT es el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de energía eléctrica a grandes distancias. Están constituidas por el elemento conductor (cables de cobre o aluminio) y por el elemento de soporte, las torres de alta tensión.
- **Centros de transformación:** son los encargados de la última transformación de energía, reduciendo el voltaje de media tensión de distribución a niveles de tensión con valores aptos de consumo en baja tensión.
- **Circuitos primarios:** recorren cada uno de los sectores urbanos suministrando potencia a los transformadores de distribución a voltajes como 13.2 kV, 7620 V.
- **Transformadores de distribución:** su frontera es el circuito primario y suministran potencia al Circuito secundario, distribuye el servicio de energía a los usuarios finales con voltajes como 120/208 - 120/240 V

(Estefan et al., 2013).

- **Centros de control eléctrico:** es el encargado de monitorear en tiempo real la generación y transmisión del sistema eléctrico de potencia. Con la información recibida de las subestaciones se demuestra el óptimo funcionamiento del sistema.

6.2 Redes de Distribución Urbana.

La red de reparto en su primera etapa, tiene su frontera en las subestaciones receptoras a niveles de tensión 230/115/34,5/13,2KV esta energía es distribuida mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo hasta llegar a las subestaciones de distribución.

La segunda etapa, la constituye la red de distribución con transformación a niveles de tensión 34,5/13,2 KV de tipología radial, encargadas de reducir la tensión a niveles de reparto. Uniendo así las subestaciones de distribución con los centros de transformación entregando niveles de tensión en su frontera con la red de baja tensión entregando 110/220v alimentando la demanda del usuario final.

El diseño y construcción de los circuitos de MT, se realiza según los criterios establecidos:

Las redes de distribución MT en el casco urbano son bifásicas o trifásicas De acuerdo a la estructura ya existente.

El conductor, en las zonas rurales se debe instalar, para las troncales en calibre 266 MCM esta se define como la troncal principal por ser el conductor con mayor calibre lo que le permite transmitir mayor capacidad de energía y sus ramales en calibre 2/0. En casos específicos donde la demanda sea mayor el calibre de los conductores se debe ampliar según la necesidad.

El circuito principal se debe seccionar en 3 partes, dividiendo la carga equitativamente junto al uso de reconectores y seccionadores o cuchillas, este mismo debe estar conectado a su vez a otro sistema eléctrico de potencia para que opere como suplente, esto con la finalidad de dar mayor operatividad y confiabilidad al sistema.

En zonas arborizadas se debe dar cumplimiento a las distancias y de ser necesaria se debe compactar la red y así establecer red cubierta para dar cumplimiento a lo establecido.

(CENS, 2003).

La distancia máxima permitida entre poste y poste es de 70 metros en MT, este se instala en los antejardines de las edificaciones conservando la distancia establecida en el RETIE art. 13.

Los postes de las estructuras terminales debe ser auto soportados y fundidos esto para no usar templete ni retenidas directos a tierra. Los templetos de esto deben ser tipo stop.

Red eléctrica actual colombiana	Red inteligente
Electromecánica	Digital
Comunicación unidireccional	Comunicación bidireccional
Generación centralizada	Generación distribuida
Pocos sensores	Sensores a lo largo de la RI
Monitoreo manual	Auto monitoreo
Restauración 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

Tabla 1 Comparativo técnico de la red eléctrica actual colombiana frente a una RI

6.3 Red de Distribución en la Ciudad de Cúcuta.

La ciudad de Cúcuta donde se desarrolla este estudio tiene una población de 777.000 habitantes, o dicho de otra forma, cuentan con **11.000** clientes domésticos. Con un territorio de 10 km de Norte a Sur, conformado por 10 comunas. Este estudio es realizado en condiciones completamente reales, con las ventajas y desventajas que esto acarrea.

El siguiente paso será inventariar detalladamente la red de distribución en la que estaré trabajando. Para lo que es necesario conocer la configuración física de la red, conductores, distancia de los tramos, centros de transformación, potencia instalada, potencia contratada en los centros, número de clientes, telemandos instalados, tipos de celdas, automatismos instalados, celdas monitorizadas o automatizables.

(Vega Casanova, 2016).

El proceso de análisis inicia en la profundización de la red ya existente y seguidamente estudiar la viabilidad de modernizar y optimizar la red de distribución migrando hacia Smart Grid.

La estructura de la red de distribución en la ciudad de cucuta, consta de cuatro (4) subestaciones eléctricas de transformación AT/MT (230/115/34,5/13,2 kv), 5 centros de transformación (100) transformadores de diferentes potencias y la capacidad máxima instalada es de 596 MVA, Puesta al servicio de esta capital.

REGIONAL	NOMBRE	POTENCIA NOMINAL DE TRANSFORMACIÓN	Nº de Trafo o autotrafos	MVA (Máx.)	CONFIGURACIÓN	COMPENSACIÓN REACTIVA	BARRAS CON MEDIDA DE CALIDAD DE LA POTENCIA (Si/No)
CUCUTA	belén	Banco de Autotrafos 230/115 kV 150 MVA (30/40/50 MVA)	3	150	230 kV - Anillo	No	TOTAL 5 EQUIPOS 1- C70 13.2 KV 1- C40 13.2 KV 1- C37 34.5 KV 1- ENTRADA 115 KV 1- BAHIA INSULSA 115 K
		Trafo 1 115/34.5 kV 30/40/47 MVA	1	47	115 kV - Anillo	Sí, 2 bancos de 30 MVAR	
		Trafo 2 115/13.8 kV 30/40 MVA	1	40	34.5 kV - Barra Sencilla	No	
		Trafo 3 115/13.8 kV 20/25 MVA	1	25	13.2 kV - Barra Sencilla	No	
	san mateo	Trafo 1 115/34.5 kV 30/40/47 MVA	1	47	115 kV - Barra principal y transferencia	No	
		Trafo 2 115/13.8 kV 30/40 MVA	1	40	34.5 kV - Barra Sencilla	No	
Trafo 3 115/13.8 kV 30/40/47 MVA		1	47	13.2 kV - Barra Sencilla	No		

Tabla 2. Subestaciones eléctricas frontera o de conexión, STN/STR

(Vega Casanova, 2016).

REGIONAL	NOMBRE	Potencia nominal de transformación	Número de Trafo o Autotrafos	MVA (Máx.)	CONFIGURACIÓN	COMPENSACIÓN REACTIVA	BARRAS CON MEDIDA DE CALIDAD DE LA POTENCIA (Si/No)
CUCUTA	Sevilla	Trafo 115/13.8 kV 17/20 MVA	1	20	115 kV - Barra sencilla	No	TOTAL 4 EQUIPOS 1-C1 13.2 KV 1-C2 13.2 KV 1- S10 115 KV 1-S20 115 KV
		Trafo 115/13.8 kV 25/32 MVA	1	32	13.8 kV - Barra sencilla	No	
	Atalaya	Trafo 34.5/13.2 kV 20/22 MVA	1	22	34.5 y 13.8 kV - Barra sencilla	No	TOTAL 2 EQUIPOS 1-CPPAL 13.2 KV 1-CPPAL 34.5 KV
	Escobal	Trafo 34.5/13.8 kV 10/12.5 MVA	1	12,5	34.5 y 13.8 kV - Barra sencilla	No	TOTAL 2 EQUIPOS 1-CPPAL 13.2 KV 1-CPPAL 34.5 KV
	Ínsula	Trafo 115/34.5 kV 15/18 MVA	1	18	115 kV - Barra sencilla	No	TOTAL 3 EQUIPOS 1-CPPAL 13.2 KV 1-CPPAL 34.5 KV 1-ENTRADA 115 KV
		Trafo 115/13.8 kV 20/25 MVA	1	25	34.5 y 13.8 kV - Barra sencilla	No	TOTAL 2 EQUIPOS 1-CPPAL 13.2 KV 1-CPPAL 34.5 K
	El samán	Trafo 34.5/13.2 kV 15 MVA	1	15	34.5 y 13.2 kV - Barra sencilla	No	TOTAL 2 EQUIPOS 1-CPPAL 13.2 KV 1-CPPAL 34.5 K

Tabla 3. Subestaciones de distribución eléctricas 230/115/34.5/13.8 KV

(Vega Casanova, 2016).

7. CAPÍTULO 4 IMPLEMENTACIÓN DE SMART GRID.

7.1 Ventajas de las Smart Grid.

Se conocen las diferencias y características más importantes a tener en cuenta se relacionan siguiente las ventajas:

- Generación más eficientes y amigables con el medio ambiente (reducción de CO₂).
- Inclusión de la generación distribuida. Descentralizar la generación aporta a la preservación del medio ambiente al usar energías renovables, descongestiona los sistemas de transmisión de energía y reduce las pérdidas de energía.
- Autoconsumo de energía en viviendas. Sistema mediante el cual los usuarios finales que poseen pequeñas centrales generadoras de energías con fuentes renovables pueden inyectar a la red eléctrica los excedentes de energía generados, este debe ser autorizado por el operador de red.
- Modernización de equipos y sistemas de generación y distribución. Puede considerarse una barrera, la inversión económica se supone para las grandes empresas, se hace necesaria una modernización de los equipos para adecuarlos la red al uso de las Smart Grid aportando los beneficios aquí descritos.
- Información en tiempo real sobre la calidad de energía y las necesidades de la red
- Reducción de pérdidas de potencia en la transmisión y distribución de la energía debido a la reducción de la distancia entre generadores y usuario final.
- Avance de equipos de para almacenamiento lo que hace disminuir la demanda en horas de alto consumo de energía eléctrica.
- Estabilidad en la curva de la demanda.
- Gestión activa de la demanda, conocimiento del consumidor.
- Optimización del sistema mediante centros de control.

(Susana Carillo Aparicio Directores & Francisco Pérez Hidalgo Juan Ramón Heredia Larrubia En el marco de, n.d.).



- Participación de los usuarios finales en la generación de la energía eléctrica. Aumenta la participación de usuarios activos en la red, ya que el flujo eléctrico pasa a ser bidireccional, Acceder a beneficios tributarios que con el tiempo les ayude a recuperar hasta en un 50% la inversión.
- Integración de vehículos eléctricos a la red que podrán cargar sus baterías aprovechando las fuentes de energía renovables instaladas en la Smart Grid.
- Ante los fallos de la red, tiempos de respuesta más eficientes, menor tiempo de desconexión de los usuarios, restablecimiento del servicio.

(Susana Carillo Aparicio Directores & Francisco Pérez Hidalgo Juan Ramón Heredia Larrubia En el marco de, n.d.).



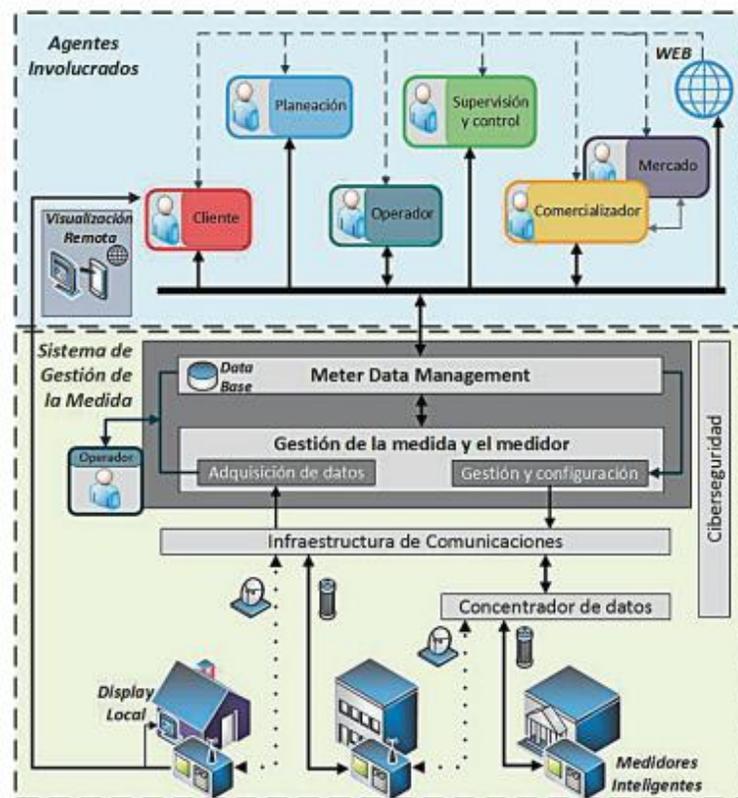
Formadores de líderes comprometidos con la región en la construcción de un nuevo país en paz.

7.2 Arquitectura y Componentes de las Smart Grid.

7.2.1 Medida Avanzada

Un elemento clave en el concepto de Smart Grid es la comunicación bidireccional y optimizar la gestión de la demanda energética.

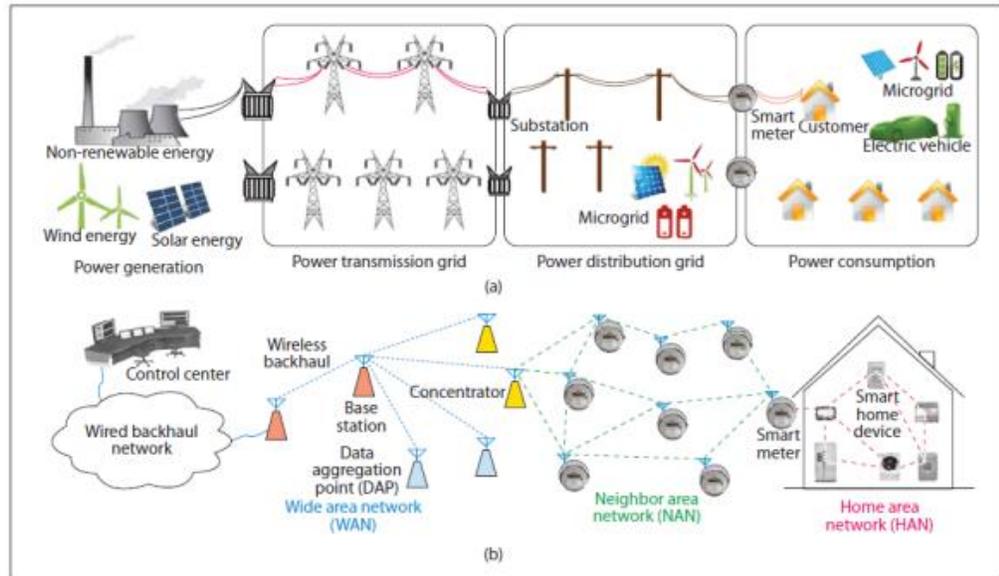
La Infraestructura de Medida Avanzada (AMI, Advanced Metering Infrastructure), es un sistema de comunicación bidireccional que enlaza medidores inteligentes y diferentes dispositivos de la gestión de energía, capacitado para conectar y desconectar servicios a largas distancias, registrar formas de onda, vigilar la tensión y la corriente y brindar información en tiempo real de la demanda energética.



Figuras. 6. Medida Avanzada (AMI, Advanced Metering Infrastructure)

(Estructura Ami, n.d.) 2018.

7.3 Arquitectura Smart Grid: En la red inteligente podemos encontrar energía y comunicación.

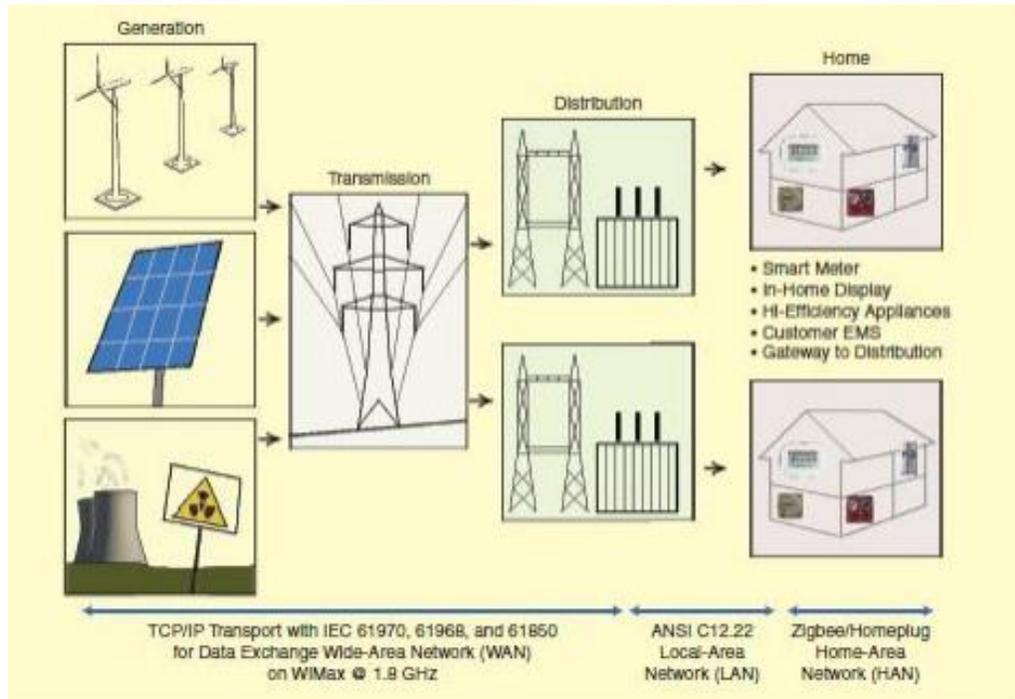


Figuras. 7 Arquitectura Smart Grid

Las Smart Grid también se componen por cuatro áreas funcionales al igual que en la red eléctrica tradicional: generación, transmisión, distribución, y demanda eléctrica. Aunque el modelo de Smart Grid es más complejo, en el caso ya no solo las fuentes de energía son las tradicionales (hidráulica, térmica, etc.) sino que juega un papel importantísimo las energías renovables (eólicas, fotovoltaicas, etc.).

La arquitectura de las comunicaciones es un sistema que combina gran variedad de tecnologías (con la utilización de la IP como protocolo unificador de múltiples protocolos, dominios internos y externos). Dichas tecnologías requieren interfaces bien definidas, por ello se ha buscado la estandarización a través de estos tres subniveles.

(Energía et al., 2016).



Figuras. 8 Arquitectura de comunicación Smart Grid

- **HAN (Home Área Network):** Red de comunicaciones de uso doméstico, conjunto de electrodomésticos, ordenadores personales y otros dispositivos que se interconectan, en su mayoría se pueden operar remotamente por una app o en la internet, esta tecnología es aplicada en viviendas o edificios para controlar la información permitiendo un mejor consumo de energía.
- **NAN (Neighbor Area Network):** Es una red de búsqueda, lógica se centra en la comunicación de dispositivos inalámbricos, para este caso funciona como plataforma para el intercambio de la información de los medidores inteligentes (Smart meters) entre los usuarios final o consumidores y los operadores de la red eléctrica. Una NAN tiene cobertura en el área geográfica limitada pero logra abarcar varios edificios.
- **WAN (Wide Area Network):** Es la red de computadoras que une multiplex redes locales, con cubrimiento a áreas lejanas e integran varias redes de menor tamaño. Recopila información originaria de la NAN y la transmite a largas distancias a compañías eléctricas, estaciones de distribución de energía, subestaciones, redes de distribución y centros de control.

(López Vásquez, 2016).

7.4 Micro Redes

Es el conjunto de generadores que opera como sistema proveedor de energía eléctrica, la operación del mismo puede aportar eficiencia al sistema si se gestiona y se coordina de manera eficiente. Integra sus métodos de generación que generalmente son fuentes renovables, además integran sensores inteligentes que recopilan información y medidas en tiempo real.

Las micro redes deben de cumplir los siguiente requisitos:

- Fuentes de generación eléctrica cercanas a las cargas.
- Sistemas de almacenamiento de energía (Baterías) como respaldo por posibles interrupciones o ausencia de flujo eléctrico de las fuentes de energías renovables.
- Integración de elementos “inteligentes” para controlar y gestionar la energía que se está generando.
- El sistema debe ser capaz de funcionar aislado del operador de red., el uso de micro-redes optimiza la red dotándola de eficiencia en la transmisión de energía

7.5 Componentes de las Micro-red.

Los elementos activos de un micro-red:

- Inversores: convierten la corriente continua en corriente alterna.
- Medidores inteligentes: son medidores AMI, calculan el consumo de forma más detallada, tiene la posibilidad de información por la red de comunicación, establece límites de consumo, facilitando la información tanto al usuario como al operador de la red.
- Switch: elemento entre el sistema de gestión, control y los medidores inteligentes. En rutan la información.



- Aplicaciones multi-utility: los sistemas de tele-gestión integra tecnologías de informática, electrónica y de telecomunicaciones, que nos permiten el controlar instalaciones técnicas a distancia. Compuesto por datalogge, software de monitorización.
- Recursos distribuidos: de generación como de almacenamiento, conformado por fuentes de energía autónoma pero que a su vez funcionen en la red del operador de energía de la zona.
- Control y manejo del micro-red: Debe mantener los valores de tensión y frecuencia dentro de sus límites establecidos y realizar el control de las operaciones dentro de la micro-red.

(Energía et al., 2016).

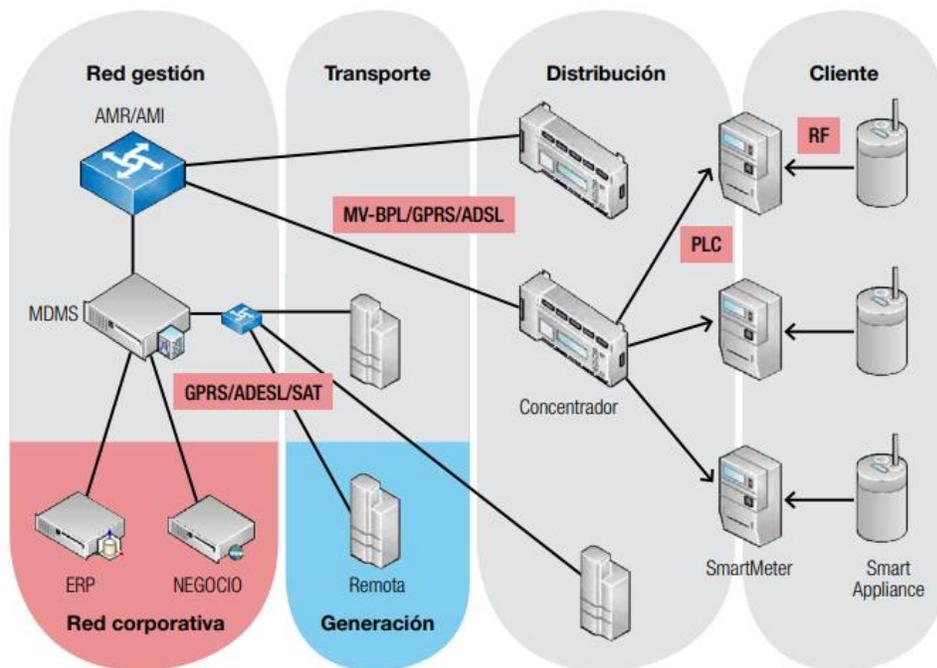


Formadores de líderes comprometidos con la región en la construcción de un nuevo país en paz.

7.6 TIC ´S: Tecnologías de la Información y Comunicaciones.

Las Tic ´s forman el sistema nervioso del sistema eléctrico de potencia, coordinando los agentes que lo componen. Admitiendo gestionar y controlar el suministro eléctrico en un marco de sostenibilidad y económica.

En la actualidad se avanza cada vez más en la tecnología para las Tic´s en los equipos y sistemas de la red eléctrica, facilitando la interconexión, aportando eficiencia en el suministro de la energía a los usuarios. Una Smart Grid requiere de una arquitectura de red y de infraestructura que facilite el intercambio continuo de información. Para asegurar la interconexión efectiva de los sistemas se requiere de protocolos de comunicación estándar que definan un lenguaje común que facilite el intercambio de datos e información.



Figuras. 9 Avance inteligente infraestructura

(Industrial, 2015).

El elemento más cercano al consumidor es el medidor inteligente, seguidamente otro componente fundamental en este modelo es el concentrado que se sitúa en la subestación eléctrica y recolecta todos los datos de los medidores, tienen capacidad de conectar unos 500 medidores, además asimismo conectividad por PLC o fibra óptica para comunicarse con los medidores y conectividad Ethernet, wifi o GPRS para establecer comunicación con el Centro de Telegestión del suministro de BT. A esta altura, se sitúan APP AMI (Infraestructura Avanzada de Medición, Advanced Metering Infrastructure) y MDMS (Sistema de Gestión de datos de Medida, Meter Data Management Sistema) que corresponde a un sistema de históricos de medida.

7.7 Telegestión.

De los primeros pasos para migrar una red convencional a una red inteligente es la aplicación de telegestión (AMI) a la misma.

La telegestión es una tecnología de sistema integrado de gestión remota y automática de medidores de electricidad, basada en nuevas tecnologías de información, electrónica y comunicaciones. Se basa en un nuevo medidor inteligente Smart Meter que reemplaza al medidor de energía convencional hasta hoy usados en las viviendas.

Para iniciar con la implementación de telegestión debemos definir las tecnologías de comunicaciones: especificaciones técnicas, protocolos y modelos de datos.

Igualmente es de sumo interés la Integración del Sistema de telegestión de medidores de energía con el resto de los sistemas implementados En la red de distribución existente y la seguridad del propio sistema.

El Sistema de telegestión otorga avances en la interacción del usuario Final y el operador de red, aportes como la lectura remota del consumo, corte, reconexiones, control de potencia y cambios en la tarifa inmediatamente.

(Susana Carillo Aparicio Directores & Francisco Pérez Hidalgo Juan Ramón Heredia Larrubia En el marco de, n.d.).

7.8 Medidores Inteligentes.

Fundamentalmente es un controlador, elemento que dispone un sistema embebido que tiene capacidad de medir la carga eléctrica, permite la programación de acciones de control y sucesos, además dispone de un programa de tarifas y facturación.

La inclusión de los medidores inteligentes en las redes eléctricas, facilita obtener, almacenar y enviar información a los centros de control y procesamiento. Según su funcionalidad podemos encontrar dos grupos de medidores AMR y AMI.

AMR (Automatic Meter Reading): son medidores habilitados para la tele medida. Este medidor es pasivos y la comunicación es unidireccional, por lo tanto, las compañías distribuidoras solo podrán leer la energía de manera remota.

AMI (Advanced Metering Infrastructure): son medidores que pueden ser leído y gestionado de forma remota, su comunicación es bidireccional. Con la nueva referencia AMI se crean nuevos servicios como:

Gestionar los equipos remotamente, conexión y desconexión del servicio, cambios de potencia, aplicar facturación por discriminación horaria, monitoreo de calidad de onda, lectura remota, información de consumo en tiempo real.

Bloques de medición: unidad micro-controladora, conversor analógico-digital, AFE (Analog-Front End), pantalla de cristal líquido, unidad de interfaz, reloj en tiempo real, algoritmos de seguridad y protocolos de comunicación.



Figuras. 10 Medidores de energía

(López Vásquez, 2016).

7.11 Automóvil Eléctrico

Según la Estrategia, es conseguir ahorros en la generación de la energía y desarrollar métodos de almacenamiento de energía que permitan a los sistemas de energía renovables introducirse de forma descentralizada, de esta forma afrontar los picos de demanda energética.

Para reducir los costos de las importaciones de energía y des-carbonizar la economía y principalmente en busca de integrar sistemas que le permitan a la red el cubrimiento de la demanda de forma confiable y eficiente en quien se basan como política energética y en la participación activa y directa en el sistema eléctrico al usuario final. Es aquí donde se integra al sistema el automóvil eléctrico como agente activo para dar robustez y estabilidad a las redes eléctricas, gestionar la demanda, complementar la integración de las energías renovables y aportar al usuario final reducciones en su costo energético. Para lograr esta mejora en la eficiencia de la red necesitaremos:

Potenciar los puntos de recarga, hacerlos accesibles a los usuarios desarrollando una infraestructura de carga equiparable a la cantidad de vehículos eléctricos en carreteras y urbanos.

La tecnología utilizada para la implantación de los automóviles eléctrico dentro de la red de distribución eléctrica inteligente es las V2G, Sin embargo, aunque esta tecnología tiene un gran potencial, tiene algunas limitaciones que deben superarse Uno de los principales inconvenientes es la prematura degradación de sus baterías debido al alto número de cargas y descargas que deben realizar, y los costos que supondría la sustitución de dicha batería.

Igualmente es necesario un cambio en la regulación de esta tecnología dirigido a la eficiencia energética, generación distribuida, almacenamiento energía, medidores inteligentes, que le permitan al usuario final hacer uso de estas tecnologías y correcta gestión de la misma a un precio asequible.

(López Vásquez, 2016).

7.12 Redes de Comunicación en las Smart Grid

La estructura de las telecomunicaciones en las Smart Grid, debe estar dispuesta a procesar muchas cantidades de datos e información, enviados por concentradores, medidores y dispositivos interconectados en la red. Podemos hablar de un sistema ciber-físico, obligada a cumplir con:

- Escalabilidad: en la red de comunicaciones, proyectada a permitir futuras ampliaciones y adecuaciones
- Interoperabilidad: la red de comunicaciones de una Smart Grid, debe ser flexibles para compartir datos y facilitar el intercambio de información.
- Omnipresencia: tiene que darle amplio cubrimiento, para permitir la comunicación entre dispositivos ubicados a largas o mediana distancias.
- Seguridad: la red de comunicaciones ha de abarcar aspectos como la autenticidad y disponibilidad de datos en momentos oportunos y asegurar la privacidad y confidencialidad de la información.
- Fiabilidad: la red debe procesar todas sus actividades correctamente en tiempo real y 24/7.
- Latencia: la red está diseñada para minimizar los retardos en la recepción de la información y así gestionar la respuesta más óptima lo antes posible, entre los dispositivos que determinan el comportamiento de la red en tiempo real.

La necesidad de gestionar servicios añadidos a los usuarios finales se orientan en la unificación de las redes de comunicación con la estructura AMI de flujo bidireccional, así el usuario final tendrá la facilidad de monitorear su consumo de energía, aplicar uso racional de energía y así mantenerse en su presupuesto.

Como ya se mencionó antes, en las redes de comunicaciones de una Smart Grid, se habla de tres secciones de la comunicación en diferentes zonas de la red HAN, NAN y WAN. Precisar la tecnología a usar en cada tramo de la red es un reto que se afronta en la implementación de redes inteligentes. Se hace obligatorio modernizar la red de comunicación del sistema eléctrico integrando nuevas tecnologías de comunicación, que brindan, mayor ancho de banda (fibra óptica, enlaces inalámbricos, etc.).

(López Vásquez, 2016).

Con la tecnología HAN las pretensiones de ancho de banda no son tan exigentes, pero necesita de escalabilidad y buena cobertura. Podemos hacer uso de tecnologías como Bluetooth para comunicar dispositivos en cortas distancias. Tecnologías como ZigBee, PLC (Power Line Communications) es decir, comunicación a través de línea de potencia eléctrica y WiFi, que pueden integrarse con redes de sensores e interconectar diferentes dispositivos en las viviendas.

La transmisión de datos, de lecturas de los medidores de consumo eléctrico requiere un ancho de banda amplia, y así reducir la latencia, y así suministra respuestas en tiempo real.

Las tecnologías más comunes son: Red Inalámbrica Móvil 4G LTE/GSM o WIMAX (Red de Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas). Red Híbrida Fibra-Coaxial (HFC) o Línea de Abonado Digital (DSL). (Passive Optical Network, PON) siendo esta la opción más fiable, robusta y con probabilidad de escalabilidad en la implementación de una Red Óptica Pasiva.

Tipo de red	Alcance (m)	Requerimientos de tasa de datos	Tecnologías
HAN	0-50	Baja tasa de bits para control de la información.	Zigbee, Wi-Fi, PLC, Ethernet
NAN	0-700	Capacidades de decenas de cientos de Kbps	Zigbee, Wi-Fi, PLC, 3G
WAN	Decenas de Km	Dispositivos de Alta capacidad tal como es un router / switch de alta velocidad (capacidades entre cientos de Mbps y Gbps por nodo).	Ethernet, Microonda, WiMAX, 3G-4G/LTE, PON

Tabla 4. Requerimientos de potenciales redes de comunicaciones para Smart Grid.

(López Vásquez, 2016).

Tecnología	Ventaja	Desventaja	Nivel
Zigbee	Bajo costo y consumo de energía, auto-gestión, red de malla, segura, confiable.	Corto alcance, baja Velocidad de emisión de datos, no atraviesa en algunas estructuras.	HAN
WiFi	Bajo costo. Utilidad y experiencia generalizada. Bajo costo de desarrollo de aplicaciones. Estable y con estándares maduros.	No atraviesa en algunas estructuras. Problemas de seguridad con múltiples redes que operan en los mismos lugares.	HAN, NAN y WAN
3G celular	Infraestructura costosa ya ampliamente desplegada. Estable, madura y bien estandarizada. Conjuntos de chips de muy bajo coste, y los precios de los equipos siguen cayendo. Conocimiento en implementación. Gran selección de proveedores y prestadores de servicios	El proveedor de servicio debe alquilar la infraestructura de una compañía, por lo que no posee la infraestructura. La fase de transición a LTE se encuentra en desarrollo. No demasiado estable y segura para aplicaciones de misión crítica. No muy adecuado para aplicaciones de alto ancho de banda.	NAN y WAN
LTE	Baja latencia y alta capacidad. Totalmente integrado con 3GPP, (grupo de asociaciones de telecomunicaciones que asientan las especificaciones y estándares para un sistema de comunicación global 3G). Movilidad total para más y mejores servicios multimedia. Bajo consumo de energía	El proveedor de servicio debe alquilar la infraestructura de una compañía. Difícilmente disponible en muchos mercados. Alto coste de los equipos. Falta de experiencia en el diseño de redes.	NAN y WAN
WiMAX	Backhaul (usado para interconectar redes entre sí) eficiente de los datos. Soportes QoS da garantía de servicio. Mejora la fiabilidad y la seguridad. Red simple, escalable y con despliegue de equipos locales del cliente (CPE). Velocidades más rápidas que 3G celular. Gran variedad de CPE	El acceso limitado a las licencias de espectro en E.U. Velocidades de carga y descarga asimétricas. Varios usuarios Comparten ancho de banda. Compitiendo contra 4G y su desarrollo. Estándares de celulares para alta capacidad y redes IP.	NAN y WAN

Tabla 5. Tecnologías de comunicación inalámbrica.

(López Vásquez, 2016).

8. CAPITULO 5 ANÁLISIS COSTOS- BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES Y SENSORES EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE CUCUTA

Esta sección analizaremos la viabilidad económica de implementar Smart meter en la ciudad de cucuta, basándonos en indicadores económicos. Para ello tendremos en cuenta costos de fletes, compra de medidores, mano de obra, etc.

8.1 Selección de Equipos

En este capítulo escogeremos el sistema de monitoreo y gestión de energía para aplicación de usuarios residenciales, medidores inteligentes y concentradores que necesitaremos para automatizar la red de BT.

8.3 Equipos Gestión de la Energía.

Licencia eco-ESTRUCXURE POWER MONITORING EXPERT

Solución que permite maximizar la confiabilidad del sistema de distribución y el tiempo de disponibilidad de energía, para optimizar la eficiencia operativa y mejorar su rentabilidad.

Como elemento clave de EcoStruxure Power, Power Monitoring Expert (PME) provee una solución completa en la gestión de la energía. Aprovecha la conectividad IoT y la inteligencia distribuida, lo que le proporciona la flexibilidad y adaptabilidad necesarias para ser usado en cualquier tipo de aplicación. A medida que la tecnología de red eléctrica se vuelve más dinámica, los sistemas más complejos y las regulaciones más desafiantes, PME ofrece nuevas capacidades únicas que simplifican la protección de personas y activos, mantienen las operaciones en funcionamiento y ahorran tiempo y dinero.

Las interfaces de comunicación Powerlogic aseguran la permanencia de la información, así como una fácil integración con cualquier sistema de comunicación gracias a los protocolos Modbus, Ethernet y también a las páginas web integradas dentro de las propias unidades.

PSWSANCZZSPEZZ PME-STD PME8 BASE

Figuras. 11 PME-STD PME8 BASE



(Ficha Técnica Del Producto Características PSWSANCZZSPEZZ PME-STD PME8 BASE Principal Gama EcoStruxure Building Operation Marca Del Producto Schneider Electric, n.d.).

METSEPM3250
PM3250 power meter - RS485

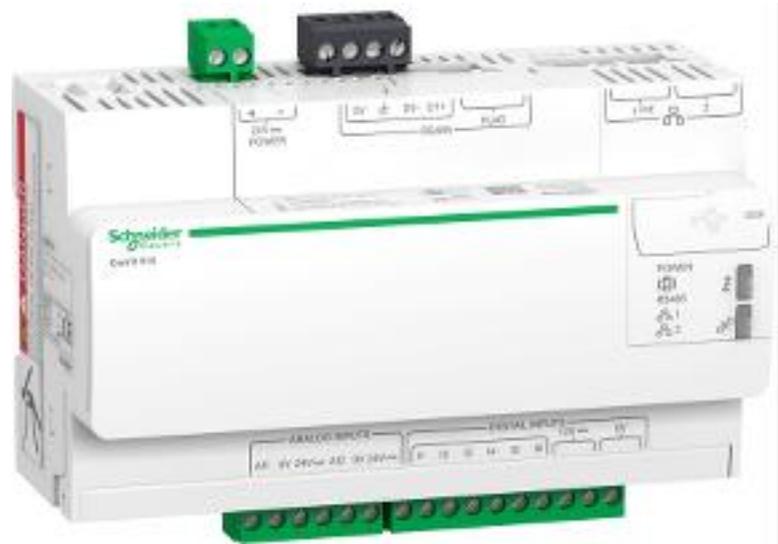
Figuras. 12. PM3250 power meter - RS485



(Product Data Sheet Characteristics METSEPM3250 PM3250 Power Meter- RS485, n.d.).

METSEPM3250
PM3250 power meter - RS485

Figuras. 12 PM3250 power meter - RS485



(Go, 2020).

9. COSTO-BENEFICIO PARA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES EN LA CIUDAD DE CUCUTA PARA 11000 CUENTAS EXISTENTES.

En este capítulo evaluaremos desde el aspecto económico lo que será a grandes rasgos esta iniciativa, dando paso al desarrollo y la evolución de la red de distribución de energía, como primer paso en la red de BT con la instalación de medidores inteligentes en la ciudad de Cúcuta.

Abarcaremos inicialmente,

- Precio del medidor inteligente.
- Precio del software del sistema.
- Precio del concentrador.

Estos precios se estiman con el fabricante Schneider Electric en Colombia y en condiciones de dólar de 4.100 pesos actualmente, por disponibilidad e inmediatez de los materiales en Colombia, además por respaldo y soporte empresarial en caso de garantías etc.

9.1 Medidor Inteligente

El precio del medidor inteligente es \$2.781.000= en lista de precio, el descuento oscila entre el 10% y el 40% dependiendo de las condiciones comerciales a las que se llegue con la electrificadora. Antes de IVA.

En este caso tomare el descuento del 30% teniendo en cuenta la magnitud del proyecto, nos daría un valor por unidad de \$1.946.700=Este valor lo multiplico por la cantidad de medidores inteligentes que en nuestro caso son 11 mil. Este valor en pasos colombianos a 2.020.

Valor MI	N° MI	TOTAL MI ANTES DE IVA
1.946.700	11.000	21.413.700.000

Tabla 6. Valor medidores inteligentes

Elaboración propia.

Se estima el precio de \$60.000= un medidor convencional monofásico pesos colombianos de 2.020, los cuales se tendrán en cuenta para la inversión inicial sin proyecto.

9.2 Software Medidor Inteligente

Software de monitoreo bidireccional entre equipos. Este tiene un precio de lista \$218.750.000=, teniendo en cuenta la magnitud del proyecto tomaremos un descuento del 20% resultando un valor de \$175.000.000= pesos colombianos 2020. Este es único pago, está sujeto a condiciones y restricciones comerciales del fabricante que en este caso es Schneider Electric de Colombia. Antes de IVA.

Valor Software	N° SW	TOTAL SW ANTES DE IVA
175.000.000	1	175.000.000

Tabla 7. Valor Software

9.3 Concentrador

Interfaz de comunicación entre el medidor y el centro de operación, este tiene un precio de lista \$ 6.844.146= Para lo que tomaremos el descuento del 30% teniendo en cuenta el nivel del proyecto, arrojándonos un precio de \$4.790.902= Pesos colombianos a 2020, este lo multiplicamos por los 100 centros de transformación de la ciudad de Cucuta. Antes de IVA.

valor concentrador	N° concentradores	TOTAL Concentrador ANTES DE IVA
4.790.902	100	479.090.220

Tabla 8. Valores concentradores

Elaboración propia.

- Accesorios para los servidores de energía EBX

Se recomienda la instalación de los accesorios para la optimización del sistema. Que se deben instala 1 unidad por concentrador. Se tendrá en consideración teniendo en cuenta que esto aportara robustez a la red.

Referencia	Descripción	Cantidad	Precio \$
EBXA-USB-WIFI	Módulo de transmisión inalámbrica vía Wi-Fi	1	872.456
EBXA-ANT-5M	Antena externa 2.1 GHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz	1	809.786

Tabla 9. Accesorios para concentradores.

Para este caso, tomaremos el descuento del 30% para el precio de lista descrito en la tabla anterior, en pesos colombianos 2020. Arrojándonos una valor para el EBXA-USB-WIFI de \$610.719= y para el EBXA-ANT-5M \$566.850= esto antes de IVA.

Valor Accesorios	N° accesorio	TOTAL ACCESORIO ANTES DE IVA
610.719	100	61.071.920
566.850	100	56.685.020

Tabla 10. Valor accesorios concentradores.

Elaboración propia.

9.5 Total Inversión Inicial

Se toman los valores antes estimados en compra de elementos y cálculo de instalación y administración de la ejecución del proyecto. Pesos colombianos a 2020.

Total Elemento	Total Instalación	total inversión inicial
22.185.547.160	5.546.386.790	27.731.933.950

Tabla 13. Inversión inicial

9.6 Valor Asistencia Futuras

Este costo hace referencia al estimado de la vida útil, de la que aún no se establece legislación pero tomaremos las indicaciones del fabricante como referencia y corresponde a 10 años. Para efectos de nuestro Proyecto la proyección del salvamento equivale al 3% del costo de la inversión inicial, es importante recordar que la medición inteligente reporta cualquier tipo de daño al centro de operaciones de la electrificadora razón por la que estos equipos se proyectan una confiabilidad en su funcionamiento y se podrían estar reportando con una vida útil mayor.

Concepto	Cantidad	Precio Unitario	Total
valor salvamento medidor	11000	58.401	642.411.000
valor salvamento concentrador + accesorios	100	179.054	17.905.415
valor salvamento software	1	5.250.000	5.250.000

Tabla 14. Proyección salvamento.

Elaboración propia.

9.7 Toma de Medición Tradicional

Vamos a calcular costos de la toma de datos, me refiero al costo por medidor que realiza tradicionalmente un empleado de la electrificadora, esta persona aproximadamente se le paga \$1.000= por medidor, para efectos de nuestro trabajo calcularemos la mano de obra para 11.000 mediciones.

Concepto	Cantidad	Precio Unitario	Total mes
Mano de Obra	11.000	1.000	11.000.000

Tabla 15. Mano de Obra Toma de Medición Tradicional.

Con la implementación de medidores inteligentes este gasto desaparece, sin embargo, se tendrán en cuenta labores administrativas que se suman a esta nueva metodología. Se calcula un 2% de la inversión inicial, con el fin de dar cubrimiento a el gasto de contratación de los empleos formales que son necesarios para la operación correspondiente, el valor de administrativos en la proyección con proyecto equivalente a **\$554.638.679=**.

9.8 Mantenimiento

Con la tecnología tradicional se estima un 3% de la inversión inicial, para este concepto.

Teniendo en cuenta que con la aplicación de esta tecnología inteligente este gasto disminuye gradualmente, sin embargo se estima la capacitación de la planta administrativa, obrera y usuario final. Para el cuidado y mantenimiento adecuado del mismo. Se estima un 2% de la inversión inicial.

Elaboración propia.

9.9 Consumo de Energía

Los datos de consumo energético, se promedia el consumo de un grupo de vivienda multifamiliares, núcleo familiar cuatro personas, el cual equivale a 187 kW/h al mes, este consumo se multiplicó por 11000 mil cuentas. Este valor se multiplica por el valor equivalente del Kw/h en la ciudad de cucuta que es de 586,84 kW/h, seguidamente se proyectó este resultado a un año.

Para promediar el consumo de una vivienda con medidor inteligente se toma datos aportados del artículo del tiempo titulado “pico y placa, nueva idea para bajar el costo de la energía ”por Omar G Ahumada (Rojas, 2013) donde sugiere que bajo un eficiente consumo se puede llegar a un ahorro del 5 al 15 por ciento, con esta proposición podemos deducir que una vivienda residencial que consume 187 kw/h al mes, se espera que el ahorro del consumo implementando el medidor inteligente sea de un consumo de 172,04 kW/h al mes, un ahorro de 8%.

Promedio Mensual Consumo		
Concepto	Red inteligente	Red Convencional
consumo prom vivienda multifamiliar Kw/hm	172	187
consumo prom 11 mil viviendas Kw/hm	1.892.440	2.057.000
valor Kw/h prom	587	587
valor total 11 mil cuentas	1.110.559.490	1.207.129.880
valor total anual 11 mil cuentas	13.326.713.875	14.485.558.560

Tabla 16. Promedio Mensual Consumo.

Elaboración propia.

9.10 Evaluación Económica

Para hacer el análisis económico y calcular los indicadores económicos se tienen en cuenta una tasa interna de oportunidad (TIO) del 10% en términos reales. No se tendrá en cuenta la inflación, es decir, utilizare valores constantes y se realizó una proyección a 10 años, esto se argumenta basado en la indexación de los precios de los rubros se espera que aumenten al equivalente de crecimiento del proyecto.

9.11 Flujo de Caja s/p

Se realiza una proyección a 10 años, teniendo en cuenta las variables antes aplicadas en este análisis, precios constantes 2020, valores constantes durante la proyección, En la siguiente tabla se relacionan:

F.C Sin Proyecto	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
Inversión	1.064.250.000				
Valor salvamento					
Mano de Obra		132.000.000	132.000.000	23.370.600	23.370.600
Mantenimiento		24.750.000	24.750.000	16.500.000	16.500.000
Valor consumo Energía		14.485.558.560	14.485.558.560	14.485.558.560	14.485.558.560
Flujo de caja sin proyecto	1.064.250.000	14.642.308.560	14.642.308.560	14.525.429.160	14.525.429.160

AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
					82.500.000
23.370.600	23.370.600	23.370.600	23.370.600	23.370.600	23.370.600
16.500.000	16.500.000	16.500.000	16.500.000	16.500.000	16.500.000
14.485.558.560	14.485.558.560	14.485.558.560	14.485.558.560	14.485.558.560	14.485.558.560
14.525.429.160	14.525.429.160	14.525.429.160	14.525.429.160	14.525.429.160	14.442.929.160

Tabla 17. Flujo de caja sin proyecto.

Elaboración propia.

9.12 Flujo de Caja c/p

Se realiza una proyección a 10 años, teniendo en cuenta las variables antes aplicadas en este análisis, precios constantes 2020, a valores constantes durante la proyección, En la siguiente tabla se relacionan:

F.C con proyecto	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
Inversión	27.731.933.950		-		
Valor salvamento			-		
Mano de Obra		554.638.679	554.638.679	554.638.679	554.638.679
Mantenimiento		554.638.679	554.638.679	554.638.679	554.638.679
Valor consumo energía		13.326.713.875	13.326.713.875	13.326.713.875	13.326.713.875
Flujo de caja sin proyecto	27.731.933.950	14.435.991.233	14.435.991.233	14.435.991.233	14.435.991.233

AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
					665.566.415
					-
554.638.679	554.638.679	554.638.679	554.638.679	554.638.679	554.638.679
					-
554.638.679	554.638.679	554.638.679	554.638.679	554.638.679	554.638.679
					-
13.326.713.875	13.326.713.875	13.326.713.875	13.326.713.875	13.326.713.875	13.326.713.875
					-
14.435.991.233	14.435.991.233	14.435.991.233	14.435.991.233	14.435.991.233	13.770.424.818

Tabla 18. Flujo de caja con proyecto.

Elaboración propia.

9.13 Cálculo Flujo de Caja Incremental

Para calcular el flujo de caja incremental, la diferencia entre los flujos de caja con proyecto y sin proyecto, para calcular e identificar los indicadores económicos que definirán si el proyecto es viable.

F.C INCREMENTAL	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
Flujo de caja sin proyecto	1.064.250.000	14.642.308.560	14.642.308.560	14.525.429.160	14.525.429.160
Flujo de caja con proyecto	27.731.933.950	14.435.991.233	14.435.991.233	14.435.991.233	14.435.991.233
Flujo de caja incremental	26.667.683.950	206.317.327	206.317.327	89.437.927	89.437.927

AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
14.525.429.160	14.525.429.160	14.525.429.160	14.525.429.160	14.525.429.160	14.442.929.160
14.435.991.233	14.435.991.233	14.435.991.233	14.435.991.233	14.435.991.233	13.770.424.818
89.437.927	89.437.927	89.437.927	89.437.927	89.437.927	672.504.342

Tabla 19. Flujo de caja incremental, precios 2020

Elaboración propia.

9.14 Cálculo Valor Presente neto (VPN).

Representa el valor presente de los ingresos, que en este caso corresponde a \$27.731.933.950, menos el valor presente de los costos, que equivale a \$26.667.683.950, por lo que este estudio muestra un VPN igual a \$1.064.250.000. Lo que nos indica la viabilidad del proyecto desde una vista financiera, pues los ingresos son mayores a los egresos y se concluye que hay una rentabilidad en la inversión.

VP BENEFICIOS	27.731.933.950
VP COSTOS	26.667.683.950
VPN	1.064.250.000

Tabla 20. Calculo VPN

9.15 Relación Costo- Beneficio

Este indicador se calcula de la relación de ingresos y egresos PN para determinar el porcentaje de ganancia neta del proyecto, en este ejercicio se deduce un valor de **1,04 por peso sacrificado** que nos indica que los ingresos son mayores a los egresos lo que confirma la viabilidad de este proyecto.

VP BENEFICIOS	27.731.933.950
VP COSTOS	26.667.683.950
RELACIÓN COSTO-BENEFICIO	1,04

Tabla 21. Relación C-B.

Elaboración propia.



9.16 Tasa Interna de Retorno TIR

Es la tasa de rendimiento, para este proyecto se obtiene una TIR igual a **43%**, que nos indica la viabilidad de este proyecto, ya que está **33 puntos** por encima de la TIO que es la tasa esperada de rendimiento.

10. SÍNTESIS DEL RESULTADO

En este capítulo se dedujo la viabilidad de este proyecto desde el enfoque Económico, proyecte los ingresos y egresos con proyecto y sin proyecto, La relación costo beneficio (RCB) evidencio que los beneficios son 1,04 pesos más grande que los costos.

El valor presente neto (VPN) es mayor que 0, por último la tasa interna de retorno (TIR) la cual es igual al 43% lo que nos confirma la viabilidad del proyecto debido a que es superior a la (TIO).

Concluyó una tendencia favorable a la implementación del proyecto.

Nota: Es importante tener en cuenta que estos resultados son una estimación de una situación ideal donde la implementación de 11.000 medidores inteligentes proyecten una promedio de ahorro energético del 8,02%.

11 CONCLUSIONES

Después de estudiar las redes de distribución existentes en la ciudad de Cúcuta se evidencia en la infraestructura la necesidad de desarrollo teniendo en cuenta variables como el aumento significativo de la demanda en el casco urbano, el afán de la disminución de la huella ecológica, optimizar la recolección de datos y reacción ante las diferentes situaciones que se puedan presentar en la operación del servicio de energía eléctrica.

Actualmente en Colombia no existe normativa para la regulación de aplicación de las Smart Grid, pero se han formado diferentes plataformas de investigación, como Colombia inteligente, con el fin de avanzar en la implementación a futuro de esta tecnología en el país, el adelanto más cercano a sido con las fuentes de energías renovables, beneficios tributarios y el lineamiento máximo de generación en las fuentes fotovoltaicas, lamentablemente es poco lo que se ha logrado avanzar en el tema.

Se ha estudiado las Smart Grid como la combinación de micro-red formado por contadores inteligentes, concentradores, energías renovables, almacenamiento de energía y el automóvil. Pero para que todo cobre sentido, todas estas tecnologías han de estar en comunicación constante bidireccional y han de estar capacitadas en comunicarse con los usuarios y las centrales de generación. Es aquí donde las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC's) van a ser actores importantes, encargándose de gestionar la información, la infraestructura de monitorización, la interoperabilidad, gestionar los datos de los medidores de los consumidores en tiempo real y permitir la comunicación entre distintos puntos de la red.

para este estudio se concretó como inicio el cambio de 11 mil medidores convencionales por 11 mil medidores inteligentes además de la instalación de 100 concentradores en los centros de transformación y una interfaz de comunicación para la recolección y análisis de datos en la central de operaciones, esto para las 11.000 cuentas activas que se registran en la ciudad de Cúcuta en el sector residencial, que le permiten no sólo al operador de red sino también al usuario la información de la red, de primera mano y en tiempo real.

Por medio de indicadores tales como, $RCB > 1$, el VPN se remontó a un valor \$1.064.250.000=, el TIR del 43%, se demuestra la viabilidad de implementar en la redes residenciales la tecnología Smart Grid.



Definí la tecnología Power Logic, como la más idónea para este proyecto, por sus avances en esta tecnología, además de contar con una línea completa para esta solución ofreciendo a futuro la expansión de las Smart Grid en las redes de distribución, otros aspectos que primaron fue el precio, stock nacional, entrega en sitio, capacitación, soporte y respaldo de parte del fabricante.



Formadores de líderes comprometidos con la región en la construcción de un nuevo país en paz.

12. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Considerar las condiciones comerciales referentes a la cotización y compra de los materiales.
- El presupuesto de este proyecto puede variar dependiente del tiempo en que se realice su implementación, debido a que los precios establecidos están sujetos a la TRM del día en que se realice la compra.
- Contar con el recurso humano capacitado, especializado y calificado para la implementación.
- En el caso de implementar a futuro las redes de distribución MT, continuar con la línea de calidad de energía del mismo fabricante.
- El siguiente paso sería analizar las redes de MT y la implementación de Smart Grid.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CENS. (2003). *Redes De Media Y Baja Tensión Capítulo 3 Redes De Media Y Baja Tensión.* 44.
https://www.cens.com.co/Portals/2/Documentos/Norma_Actualizada/CAPITULO_3_Red_de_Media_y_Baja_Tension_CENS_-_Norma_Tecnica_-_CNS-NT-03.pdf
- Energía, M. de minas y, Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Unidad de Planeación Minero-Energética, & Iniciativa Colombia Inteligente. (2016). Parte IV Anexo 7. Iniciativas de redes inteligentes en Colombia. *Smart Grids Colombia Visión 2030,* 7, 17.
http://www.upme.gov.co/Estudios/2016/SmartGrids2030/4_Parte4_Anexo7_Proyecto_SmartGrids.pdf
- Estefan, C., Pais, G., Portas, G., & Lavello, T. Di. (2013). *Automatización en redes de distribución.* <https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2013/EPP13/Autodis.pdf>
- estructura ami.* (n.d.).
- Ficha técnica del producto Características PSWSANCZZSPEZZ PME-STD PME8 BASE Principal Gama EcoStruxure Building Operation Marca del producto Schneider Electric.* (n.d.).
- Giral Ramírez, W. M., Celedón Flórez, H. J., Galvis Restrepo, E., & Zona Ortiz, A. T. (2017). Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: Revisión de tema. *Tecnura*, 21(53), 119–137. <https://doi.org/10.14483/22487638.12396>
- Go, S. (2020). *EBX510.*
- Hurtado-Hidalgo, J. I. (2014). Cronología del sector eléctrico colombiano. *Revista de Santander,* 9, 22.
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasantander/article/download/8864/8757/>

Industrial, C. D. C. (2015). Centro de Ciberseguridad Industrial. In *Guía para la construcción de un Sistema de Gestión de la Ciberseguridad Industrial (SGCI)* (pp. 1–177). www.cci-es.org

Javier, F., & Alzate, S. (2012). *Normatividad sobre Redes Inteligentes*.

León Trigo, L. I., Reyes Archundia, E., Gutiérrez Gnechchi, J. A., Méndez Patiño, A., & Chávez Campos, G. M. (2019). Smart Grids en México: Situación actual, retos y propuesta de implementación. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(2), 1–12. <https://doi.org/10.22201/ii.25940732e.2019.20n2.015>

López Vásquez, J. C. (2016). Estudio de la situación actual de las Smart Grids. In *Universidad de Cantabria*.

Maquilón O., C. (2008). I. Introducción. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 24(3), 175–176. <https://doi.org/10.4000/books.uec.995>

Product data sheet Characteristics METSEPM3250 PM3250 power meter-RS485. (n.d.).

Susana Carillo Aparicio Directores, D., & Francisco Pérez Hidalgo Juan Ramón Heredia Larrubia En el marco de, D. D. (n.d.). *OBJETIVOS Y METODOLOGÍA PARA ESTABLECER UNA SMART GRID Programa: Análisis y Diseño en la Ingeniería Civil y Energética*. <http://orcid.org/0000-0001-8075-0925>

Uribe Vélez, Á., Torres, H. M., Manguashca, M., Viceministro, O., Juan, M., Zárate, P., Técnico, V., De Hacienda, M., María, E., Tobón, U., Malina, H., Director, V., Creg, E., Ignacio, J., Ayerbe, C., Comisionado, E., Ramírez, R., Experto, C., Camilo, C., ... -Colombia, B. D. C. (2008). *MIEMBROS DE LA COMISIÓN COMITÉ DE EXPERTOS*.

Vega Casanova, J. (2016). Tabla de Contenido. *Investigación & Desarrollo*, 23(2), iv–v–v. <https://doi.org/10.14482/i&d.v23i2.8303>

14. ANEXOS

14.1 Fichas Técnicas

Product data sheet
Characteristics

METSEPM3250
PM3250 power meter - RS485



Main

Range	PowerLogic
Product name	PowerLogic PM3000
Device short name	PM3250
Product or component type	Power meter

Complementary

Power quality analysis	up to the 15th harmonic
Device application	Multi-bi-ff Power monitoring Sub-billing
Type of measurement	Active and reactive power Apparent power Current Voltage Energy Power factor Frequency Total current harmonic distortion THD (I) Total voltage harmonic distortion THD (U)
Supply voltage	100...277 V AC 45...65 Hz 173...480 V AC 45...65 Hz 100...300 V DC
Network frequency	60 Hz 50 Hz
I _n rated current	5 A 1 A
Type of network	1P + N 3P 3P + N
Power consumption in VA	5 VA
Display type	Backlit LCD
Display resolution	128 x 96 pixels
Sampling rate	32 samples/cycle

Jun 6, 2020

LeicaCh | Schneider
Electric

1



Measurement current	0.02...1.2 A 0.05...6 A
Analogue input type	Current 0...5 A Current 0...1 A
Measurement voltage	50...330 V AC 45...65 Hz direct 50...330 V AC 45...65 Hz phase to neutral 80...570 V AC 45...65 Hz direct 80...570 V AC 45...65 Hz phase to phase 570...59000 V AC 45...65 Hz with external VT
Frequency measurement range	45...65 Hz
Number of inputs	0
Measurement accuracy	Current 0.3 % 0.5...6 A Current 0.5 % 0.1...1.2 A Voltage 0.3 % 50...330 V Voltage 0.3 % 80...570 V
Accuracy class	Class 0.5S active energy conforming to IEC 62053-22 Class 1 active energy conforming to IEC 62053-21 Class 2 reactive energy conforming to IEC 62053-23 Class C active energy conforming to EN 50470-3
Number of outputs	0
Information displayed	Tarif (4)
Communication port protocol	Modbus at 9.6...38.4 kbauds
Communication port support	RS485
Data recording	Time stamping Min/max of instantaneous values 5 alarms
Mounting mode	Clip-on
Mounting support	DIN rail
Standards	IEC 61557-12 EN 50470-3 EN 61010-1 EN 50470-1 EN 61557-12 UL 61010-1 IEC 62052-11
Product certifications	CE conforming to EN 61010-1 CUList conforming to UL 61010-1 UL
Width	90 mm
Depth	70 mm
Height	95 mm
Net weight	0.26 kg

Environment

Electromagnetic compatibility	Electrostatic discharge level 4 conforming to IEC 61000-4-2 Susceptibility to electromagnetic fields level 3 conforming to IEC 61000-4-3 Electrical fast transient/burst immunity test level 4 conforming to IEC 61000-4-4 1.2/50 µs shock waves immunity test level 4 conforming to IEC 61000-4-5 Conducted RF disturbances level 3 conforming to IEC 61000-4-6 Magnetic field at power frequency - test level: 0.5 mT conforming to IEC 61000-4-8 Conducted and radiated emissions class B conforming to EN 55222
Overvoltage category	III
IP degree of protection	IP40 front panel: conforming to IEC 60529 IP20 body: conforming to IEC 60529
Relative humidity	5...95 % at 50 °C
Pollution degree	2
Ambient air temperature for operation	-25...55 °C
Ambient air temperature for storage	-40...65 °C
Operating altitude	0...3000 m

Ficha técnica del producto PSWSANCZZSPEZZ
Características PME-STD PME8 BASE



Principal

Game	EcoStructure Building Operation
Marca del producto	Schneider Electric
Tipo de producto o componente	Software
Tipo de software	Software de suscripción
Designación de software	Power Monitoring Expert
Sistema operativo	Windows 8.1 Windows 10 Windows Server 2012 R2 (**) Windows Server 2008 R2 Windows 7 Windows 8 Windows Server 2012 Windows Server 2016
Tipo de licencia	Licencia única do cliente
Versión de software	VB.1

Complementario

Función de software	Event log Graphical display Visualización del consumo de energía Histórico de registro e tendencias Design ION system Engineering Power quality analysis Visualización de datos en tiempo real Alarm Elaboración de informes Gestión Trend logging Control Datos históricos en tabla en Microsoft Excel
Idioma de usuario	Chino Francés Alemán Chinoes (simplified) Italiano Polaco Checo Español Japanese (**)

9000225 1

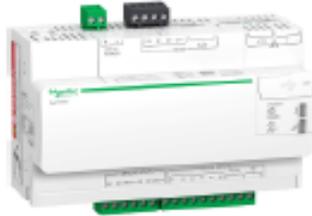
	inglés
Formato	Digital

Sostenibilidad de la oferta	
Directiva RoHS UE	No aplica, fuera del alcance de la normativa RoHS UE

Este es un producto de Schneider Electric. El uso de este producto puede implicar el uso de productos de terceros.

Ficha técnica del producto **EBX510**

Características **ComX 510 - energy server - UL - SDRAM4 Go**



Principal

Gama	PowerLogic
Nombre del producto	ComX
Tipo de producto o componente	Servidor de energía
Nombre corto del dispositivo	ComX 510

Complementario

[Ua] tensión de alimentación asignada	Alimentación principal, estado 1 24 V DC
Consumo de energía en W	28 W 24 V 15 W vía PoE
Tipo de red de comunicaciones	RS485, serie Modbus en 1 RJ45 RS485, serie Modbus en bloque terminal Ethernet, PoE 15W (Alimentación a través de Ethernet) en 1 RJ45 Ethernet, DHCP en 1 RJ45
Número de entradas	6 digital 2 analógica
Corriente de entrada discreta	80 mA en 12 V CC
Fuente de alimentación de detector	24 V CC en 50 mA
Tipo de entrada analógica	Pt 1000 Pt 100 0...10 V 4...20 mA
Pasarela de comunicación	Ethernet TCP/IP a Modbus
Capacidad de memoria	128 MB RAM 256 MB parpadeo 4 GB SDRAM
Tipo de montaje	Ajustable en clip
Tipo de montaje	Carril DIN de 35 mm
Certificaciones de producto	C-Tick CUL UL CE
Normas	EN 60650 EN 61010-1 UL 508 UL 60650
Profundidad	80 mm

www.schneider.com

LIBRO EN | Schneider
ELECTRICITY

1

Altura	100 mm
Anchura	144 mm
Peso del producto	450 g
Aplicación específica de producto	Sistema de gestión de la energía
Servicios web	Servidor web
Señalizaciones en local	LED: para Fuente de alimentación LED: para estado - tipo de cable: GPIRS) LED: para comunicación - tipo de cable: Modbus) LED: para comunicación - tipo de cable: Ethernet) LED: para comunicación - tipo de cable: WIFI) LED: para I/O

Entorno

Humedad relativa	5...95 % en 55 °C sin condensación
Grado de protección IP	IP20 - tipo de cable: bloque de terminales) IP40 - tipo de cable: panel)
Temperatura ambiente de funcionamiento	-25...70 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...65 °C
Grado de contaminación	3
Altitud máxima de funcionamiento	2000 m

Sostenibilidad de la oferta

Directiva RoHS UE	Conforme Declaración RoHS UE
Sin mercurio	SI
Información sobre exenciones de RoHS	SI
Normativa de RoHS China	Declaración RoHS China
RAEE	En el mercado de la Unión Europea, el producto debe desecharse de acuerdo con un sistema de recolección de residuos específico y nunca terminar en un contenedor de basura.

Garantía contractual

Periodo de garantía	18 Meses
---------------------	----------