

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

**TEMA:**

**Estudio de situación actual de las redes inteligentes en la  
ciudad de Guayaquil y su aplicación como método de  
reducción de pérdidas de energía**

**AUTOR:**

**Mora Loaiza, Danny Paúl**

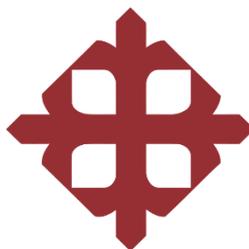
**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

**TUTOR:**

**Mendoza Merchán, Eduardo Vicente**

**Guayaquil, Ecuador**

**2016**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Mora Loaiza Danny Paúl** como requerimiento para la obtención del **Título de Ingeniero Eléctrico Mecánica**.

**TUTOR**

f. \_\_\_\_\_

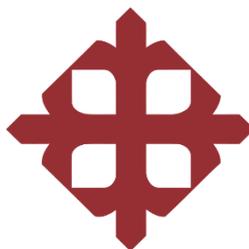
**Mendoza Merchán, Eduardo Vicente**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Heras Sánchez, Miguel Armando**

**Guayaquil, a los 16 del mes de septiembre del año 2016**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Mora Loaiza, Danny Paúl**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **“Estudio de situación actual de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil y su aplicación como método de reducción de pérdidas de energía”** previo a la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánico**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

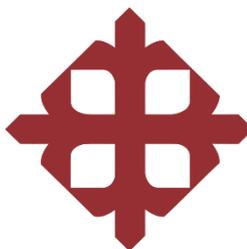
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 16 del mes de septiembre del año 2016**

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_

**Mora Loaiza, Danny Paúl**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Mora Loaiza, Danny Paúl**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **“Estudio de situación actual de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil y su aplicación como método de reducción de pérdidas de energía”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 16 del mes de septiembre del año 2016**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_

**Mora Loaiza, Danny Paúl**

# REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA ANTI PLAGIO URKUND

## CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

**TÍTULO:** Estudio de situación actual de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil y su aplicación como método de reducción de pérdidas de energía.

**AUTOR:** Mora Loaiza, Danny Paúl

URKUND

Documento: [TESIS.docx](#) (D21561358)

Presentado: 2016-08-31 11:24 (-05:00)

Presentado por: dannymoraloaiza@hotmail.com

Recibido: eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.urkund.com

Mensaje: [Mostrar el mensaje completo](#)

2% de esta aprox. 25 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 2 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	<a href="#">Tesis CORRECCION CORRECTA.docx</a>
	<a href="#">TESIS posi 1.doc</a>
	<a href="#">Portada CAGalarza UCSG caratula modificada.docx</a>
	<a href="http://www.prysmianclub.es/articulo/por-que-se-...">http://www.prysmianclub.es/articulo/por-que-se-...</a>
	<a href="http://www.minetur.gob.es/industria/observatorios/...">http://www.minetur.gob.es/industria/observatorios/...</a>
Fuentes alternativas	
	<a href="#">Trabajo Titulacion Andzia Mora.doc</a>
	<a href="#">CORRECCION GUTIERREZ.doc</a>
	<a href="#">Sandy Vega La Prueba Electronica y su aplicacion en...</a>

0 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

INCLUDEPICTURE "http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo\_UCSG.svg/2000px-Logo\_UCSG.svg.png" \\* MERGEFORMATINET

INCLUDEPICTURE "http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo\_UCSG.svg/2000px-Logo\_UCSG.svg.png" \\* MERGEFORMATINET

INCLUDEPICTURE "

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo\_UCSG.svg/2000px-Logo\_UCSG.svg.png" \\* MERGEFORMATINET

INCLUDEPICTURE "http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo\_UCSG.svg/2000px-Logo\_UCSG.svg.png" \\* MERGEFORMATINET

INCLUDEPICTURE "http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo\_UCSG.svg/2000px-Logo\_UCSG.svg.png" \\* MERGEFORMATINET

INCLUDEPICTURE "http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo\_UCSG.svg/2000px-Logo\_UCSG.svg.png" \\* MERGEFORMATINET

FACULTAD

DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO TEMA: Estudio de situación actual de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil y su aplicación como método de reducción de pérdidas de energía

52% # 51 Activo Archivo de registro Urkund: Universidad Católica de Santiag... 52%

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO TUTOR: Mendoza Merchán Eduardo Vicente Guayaquil, Ecuador (día) de (mes) del (año)

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de ABOGADA TUTOR: Dr. Kléber Sigüenza. Guayaquil, Ecuador (día) de (mes) del (año)

INCLUDEPICTURE "http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo\_UCSG.svg/2000px-Logo\_UCSG.svg.png" \\* MERGEFORMATINET

INCLUDEPICTURE "http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo\_UCSG.svg/2000px-Logo\_UCSG.svg.png" \\* MERGEFORMATINET

El trabajo de titulación del Sr. **Mora Loaiza Danny Paúl**, observa un porcentaje inferior al 2% de coincidencias con otros documentos encontrados en el internet.

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Mendoza Merchán Eduardo Vicente, M.Sc**

## **Agradecimiento**

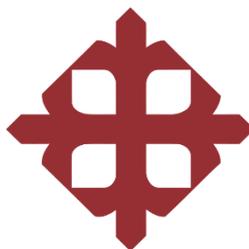
Mi agradecimiento absoluto e infinito a Dios por darme la oportunidad de escalar un peñasco más en mi vida profesional.

**Danny Paúl Mora Loaiza**

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi familia, y de manera especial, dedico mi esfuerzo y dedicación a la familia futura, aquella que es el combustible que motiva la consecución de mis aspiraciones.

**Danny Paúl Mora Loaiza**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE**

TUTOR

f. \_\_\_\_\_

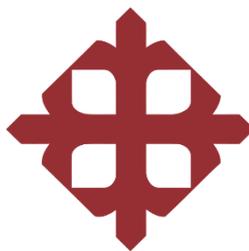
**HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO**

DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**MONTEGRO TEJADA, RAÚL**

CORDINADOR DEL ÁREA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

**CALIFICACIÓN**

---

**Mora Loaiza, Danny Paúl**

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b><i>XI</i></b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b><i>XII</i></b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b><i>I</i></b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b><i>3</i></b>
1.1 Planteamiento del problema de investigación.....	3
1.2 Justificación.....	3
1.3 Delimitación .....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general .....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
1.5 Metodología de la investigación .....	4
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b><i>5</i></b>
2.1 Estado de arte .....	5
2.1.1 La universidad en la transformación hacia las redes inteligentes en américa latina. Gómez (2014).....	5
2.1.2 Redes de comunicación en smart grid. Ortega (2012).....	5
2.1.3 Estado del arte de las redes de distribución de energía en corriente continua. Rojas (2013).....	6
2.1.4 Nuevo Modelo De Distribución De Corriente Continua En Baja Tensión En Smart Buildings. Hernández (2014).....	6
2.1.5 Estrategias de negocio para medición inteligente acoplando energías renovables. Inga ( 2013) .....	7
2.1.6 Dimensionando las pérdidas de electricidad en los sistemas de transmisión y distribución en América Latina y el Caribe. Jiménez (2014) 7	
2.1.7 Comunicaciones celulares para medición inteligente de energía eléctrica en sistemas de distribución. Luna (2013) .....	8
2.1.8 Medidores del mañana. Martínez (2008) .....	8
2.1.9 Plan estratégico para la reducción de pérdidas comerciales en la empresa eléctrica distribuidora regional Manabí. EMEL Manabí (2009).....	9
2.1.10 Response of Residential Electricity Demand Against Price Signals in Ecuador. Orejuela (2015).....	9
2.2 Elementos de la red eléctrica .....	10
2.2.1 Estructura del sistema eléctrico.....	10
2.2.2 Tipos de redes eléctricas.....	10
2.2.3 Elementos de la red de distribución en media y baja tensión.....	12
2.2.4 Esquemas típicos de distribución en media tensión .....	14

2.3	Generación distribuida .....	14
2.3.1	Micro redes.....	15
2.4	Almacenamiento de energía .....	16
2.4.1	Almacenamiento de aire comprimido .....	16
2.4.2	Almacenamiento de energía por sales fundías .....	17
2.4.3	Almacenamiento en baterías. ....	17
2.4.4	Almacenamiento en supercondensadores.....	18
2.5	Contadores inteligentes .....	18
2.5.1	Contadores parciales .....	19
2.5.2	Beneficios de los medidores inteligentes .....	19
2.6	Transporte de energía eléctrica en alta tensión en corriente continua (HVDC).....	19
2.7	Componentes de un sistema HVDC .....	21
2.7.1	Ventajas de la HVDC .....	22
2.8	Sistemas de distribución en DC.....	24
2.8.1	Topologías de distribución de energía .....	25
2.8.2	Ventajas y desventajas de la distribución en DC.....	27
2.9	Red inteligente.....	28
2.9.1	Características red inteligente.....	29
2.9.2	Medición avanzada de energía eléctrica .....	30
2.9.3	Arquitectura de una red inteligente, red de banda ancha .....	31
2.9.4	Telemando de una red inteligente.....	32
2.10	Pérdidas de energía de energía eléctrica .....	34
2.10.1	Tipos de pérdidas de energía .....	34
2.10.2	Situación actual del país.....	37
2.10.3	¿Qué es la eficiencia energética? .....	39
<b>Capítulo III .....</b>		<b>40</b>
3.1	Introducción.....	40
3.2	Redes inteligentes en el Ecuador .....	40
3.2.1	Desafíos del cambio de la matriz energética .....	40
3.2.2	Necesidad de las Redes Inteligentes en el Ecuador .....	42
3.2.3	Componentes de la Red Inteligente en el Ecuador. ....	45
3.3	Proyectos de redes inteligentes en el Ecuador .....	46
3.4	Situación actual de las redes inteligentes en el Ecuador .....	48
3.4.1	Área de enfoque .....	48
3.5	Situación actual de las redes inteligentes en Guayaquil .....	50

3.5.1	Resultado de investigación de la situación actual de redes inteligentes en Guayaquil .....	55
3.5.2	Inconvenientes suscitados con la instalación de los medidores inteligentes. ....	57
3.6	Las redes inteligentes como método de reducción de pérdidas de energía.....	58
3.7	Proyecciones de las redes inteligentes en Guayaquil y en Ecuador...	59
3.8	Metodología de Investigación: Entrevista.....	60
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>61</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>		<b>61</b>
4.1	Resultados .....	61
4.2	Discusión.....	61
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>63</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>63</b>
5.1	Conclusiones.....	63
5.2	Recomendaciones .....	64
5.3	Trabajo Futuro .....	65
<b>Bibliografía .....</b>		<b>66</b>
<b>Glosario .....</b>		<b>70</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>71</b>
<b>DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN .....</b>		<b>77</b>
<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA.....</b>		<b>78</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Categorización de la generación distribuida.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 2. Pérdidas de energía del sistema de distribución de Ecuador en GWh.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 3. Marca de medidores y sus gestores de información.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 4. Porcentaje de reducción de pérdidas en área de influencia del proyecto de medición inteligente.....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Red tipo mallada y radial.....	11
Figura 2. Tipos de redes eléctricas.....	11
Figura 3. Esquema de la red de distribución en media y baja tensión.....	13
Figura 4. Esquema básico radial y bucle de una red de distribución.....	14
Figura 5. Esquema de almacenamiento de energía de aire comprimido diabático.....	17
Figura 6. Cable aislado de alta tensión .....	21
Figura 7. Esquema de transporte de energía en corriente continua .....	22
Figura 8. Comparación de pérdidas AC vs HVDC .....	23
Figura 9. Punto de equilibrio de costo línea Dc vs Línea AC.....	24
Figura 10. Redes de distribución en DC.....	25
Figura 11. Topología básica de un sistema monopolar en red de distribución CC. ....	26
Figura 12. Topología sistema de distribución en DC bipolar.....	27
Figura 13. Redes tradicionales vs. Redes inteligentes .....	29
Figura 14. Medidor inteligente .....	31
Figura 15. Clasificación de las pérdidas de energía eléctrica, con redes convencionales.....	35
Figura 16. Distribución de las pérdidas en porcentajes en países latinoamericanos .....	36
Figura 17. Pérdidas de energía en los sistema de distribución.....	38
Figura 18. Situación de la Matriz Energética a 2006.....	41
Figura 19. Distribución proyectada de la generación eléctrica del Ecuador ...	42
Figura 20. Proyección pérdidas eléctricas al 2030 en América latina y el Caribe .....	44
Figura 21. Porcentajes de pérdidas según los colores de la figura 19. ....	44
Figura 22. Mapa de ruta de las redes inteligentes en el Ecuador .....	47
Figura 23. Esquema de conexión de infraestructura de medición avanzada ..	51
Figura 24. Etapas de instalación de los medidores inteligentes .....	52
Figura 25 Medidor inteligente instalado en una residencia de la ciudadela Bosques de la Costa.....	53
Figura 26. Medidor inteligente industrial, Indami Cía. Ltda .....	54
Figura 27. Distribución de equipos de medición en clientes residenciales CNEL.....	56
Figura 28. Distribución de equipos de medición en clientes Industriales CNEL .....	56
Figura 29. Cobertura a nivel de energía con medición inteligente en la ciudad de Guayaquil .....	57

<b>Figura 30. Curva de reducción de pérdidas.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 31. Planificación de AMI .....</b>	<b>60</b>

## **RESUMEN**

El conocimiento del lugar en el que nos encontramos es de vital importancia, ya que nos permite evaluar nuestro posicionamiento dentro de un proceso u objetivo proyectado. Por esta razón, este trabajo pretende dar a conocer la situación actual en que se encuentra la ciudad de Guayaquil, acerca del desarrollo y la implementación de las redes inteligentes. Esta investigación dará a conocer las bases teóricas en el desarrollo de las redes inteligentes, además, se presentarán los beneficios y las dificultades que han tenido que superar los usuarios y las empresas de energía con el fin de implementar esta tecnología. Un gran beneficio que se busca con la implementación de redes inteligentes es la reducción de los márgenes de las pérdidas técnicas y no técnicas; esto es una parte importante de la economía de las empresas, que influye en el desarrollo de un servicio de calidad y eficiente. La información mencionada en este trabajo, es el resultado de entrevistas e investigaciones de campo; la cual ha sido analizada con el fin de mostrar los datos reales.

## ABSTRACT

The knowledge of place where we found is of vital importance as it allows us to evaluate our positioning inside a process or projected objective. For this reason, this paper seeks to highlight the current situation in which the city of Guayaquil is now regarding the development and implementation of smart grids. This research will give to know the theoretical basis in the development of smart grids, additionally the benefits and difficulties that have had to overcome by users and power companies in order to implement this technology will be presented. A great benefit is sought with the smart grid implementation is to reduce the losses margins technical and nontechnical; this is an important economic part of the companies which influences the development of a quality service and efficiency. The information referred in this work, is the result of interviews and field research; its which has been analyzed in order to show real data.

**Palabras Claves:** Redes inteligentes, Smart grid, eficiencia energética, generación distribuida, micro redes, medidores inteligentes, smart meters.

## INTRODUCCIÓN

El levantamiento de la situación actual de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil, es una investigación que no posee antecedentes en el Ecuador; por ser una tecnología relativamente nueva para nuestro país, formalmente existe muy poca información pública que nos permita conocer a detalle esta innovación.

En el Ecuador el CENACE en conjunto con el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, y la Corporación Eléctrica Nacional (CELEC), han desarrollado el mapa de ruta de las redes inteligentes, en el cual se estima que el Ecuador dispondrá de las redes inteligentes con todas sus capacidades en el año 2030. Si bien es cierto, la ciudad de Guayaquil forma parte del proyecto de redes inteligentes del Ecuador, CNEL ha sido pionero en la implementación de medición inteligente, la cual es una parte del concepto de redes inteligentes.

El estudio de la situación actual de las redes inteligentes en Guayaquil, es importante ya que, describe los progresos e inconvenientes presentados en torno a esta tecnología; esta información puede ser útil para las facultades de ingeniería ya en base a este trabajo se podrían modular los planes de estudio avizorando la demanda de personal capacitado en la industria de la energía.

Los recursos utilizados en el desarrollo del trabajo fueron los pocos documentos formales publicados en torno al tema; la investigación se ha basado en entrevistas e investigaciones de campo, la mayor dificultad ha sido la falta de publicaciones de los organismos estatales encargados del sector eléctrico del país.

Con esta investigación se ha logrado identificar los logros que ha tenido CNEL en cuestión de reducción de pérdidas de energía producto de la implementación de los medidores inteligentes, con lo que se puede inferir que al tener una red inteligente con todas sus prestaciones, podemos alcanzar beneficios tanto para el cliente como para la empresa eléctrica.

A través de la lectura de este trabajo se podrá adentrarse en los conceptos básicos de las redes inteligentes y tendrá una idea del futuro que nos espera en cuanto a esta tecnología tan prometedora, para la sociedad en general como para el medio ambiente.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Planteamiento del problema de investigación.**

Las redes eléctricas de distribución en los actuales momentos cumplen su objetivo principal, llevar a los hogares la energía eléctrica, sin embargo estas redes carecen de eficiencia, control de pérdidas y calidad de energía. Solamente en el 2014 la empresa eléctrica pública de Guayaquil reporta 12.41 % (CNEL, 2014) de pérdidas de energía; y en el contexto nacional el panorama es desalentador, las empresas eléctricas en lo general no tienen un sistema de gestión y la tecnología que permita minimizar las pérdidas de energía.

### **1.2 Justificación**

El crecimiento de la demanda de energía eléctrica, es un reto que deben asumir los gobiernos de los países en desarrollo, cada año los usuarios residenciales como industriales incrementan sus cargas eléctricas. Bajo este argumento las empresas eléctricas deben buscar los mecanismos que optimicen los recursos energéticos disponibles y uno de los cuales ha demostrado mayores resultados es la implementación de las redes inteligentes o Smart Grid. Este trabajo presenta una visión general de las redes inteligentes y hace una dedicación especial en la situación actual de las redes en la ciudad de Guayaquil.

### **1.3 Delimitación**

Este proyecto se enmarcará en describir las generalidades de las redes inteligentes y se concentrará en determinar la situación actual general de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil; su desarrollo será entre los meses de mayo 2016 y agosto 2016.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Determinar la situación actual de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil, mediante una investigación de campo que permita establecer el desarrollo de esta tecnología y su proyección en la ciudad y el país.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Analizar las características técnicas que requiere la implementación de las redes inteligentes.
- Determinar las causas más comunes de las pérdidas de energía eléctrica en el Ecuador.
- Identificar casos de implementación de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil.

## **1.5 Metodología de la investigación**

El proyecto de titulación consiste de una investigación de tipo correlacional, con enfoque cuantitativo y la metodología de investigación será mediante el método bibliográfico que permite una búsqueda de información de varias fuentes para conseguir fundamentos teóricos y mediante el estado del arte.

Las metodologías a ser utilizadas en el proceso de investigación, permiten plantear el siguiente diseño de investigación.

- Búsqueda bibliográfica de temas relacionados al proyecto (estado del arte).
- Análisis de resultados.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Estado de arte**

El presente estado de arte es una fuente de información bibliográfica, el cual muestra los avances que hasta el momento presentan las redes inteligentes. A continuación se presenta los extractos de las publicaciones que han servido de base para el desarrollo de éste trabajo.

##### **2.1.1 La universidad en la transformación hacia las redes inteligentes en américa latina. Gómez (2014)**

Este trabajo muestra las necesidades que tiene la región de Latinoamérica en transformar el sistema de energético caduco, con el objetivo de reducir las pérdidas de energía, así como también tener una generación sostenible y amigable con el medio ambiente. Bajo este concepto es clave la participación de la Universidad, no sólo con el mero hecho de impartir conocimientos relacionados a la energía, sino que debe ser el ente que contribuya a generar soluciones; permitiendo el desarrollo de las redes inteligentes. Los cursos impartidos en las Universidades deben ser enfocados desde el marco teórico de las redes inteligentes como también en el marco jurídico y administrativo que permita un sistema integral y funcional.

##### **2.1.2 Redes de comunicación en smart grid. Ortega (2012)**

Con la implementación de métodos de administración adecuados se pueden generar más alternativas a los consumidores, esto permite aumentar los portafolios de servicios al consumidor final, bajo esta premisa este material hace referencia a la importancia del usuario. Con el fin de llegar a este objetivo existen varios proyectos que buscan mejorar la eficiencia y fiabilidad de la red eléctrica, tanto en las etapas de generación, transmisión y distribución; pero en la mayoría de propuestas se enfocan en la distribución

debido a que la mayor parte de pérdidas suceden en esta etapa. Entre las propuestas está la automatización de las sub-estaciones utilizando equipos con tecnología IED's – Dispositivos Electrónicos Inteligentes, permitiendo ejecutar cortes y reconexiones rápidas y seguras del suministro eléctrico; estas implementaciones permitirán la reducción de los porcentajes de apagones.

### **2.1.3 Estado del arte de las redes de distribución de energía en corriente continua. Rojas (2013)**

Al inicio de la distribución eléctrica, fue la CC (corriente continua) la que llegaba a los hogares de las personas, con forme los centros de consumo crecieron este tipo de energía tuvo sus complicaciones sobre todo en la pérdidas que generaba; fue ahí que se dio paso a la transmisión de energía con CA (corriente alterna). Hoy en día la tecnología en cuanto a convertidores, transformadores y de más equipos necesarios para la transmisión en CC ha evolucionado y sus costos cada vez son menores; con lo cual se abre la posibilidad de integrar la distribución en media y baja tensión en CC. Además de prestar importantes beneficios en cuanto a la reducción de costos en la distribución en CC, permite integrar de mejor manera la generación con fuentes alternativas ya que la mayor parte de esta generación amigable con el medio ambiente es en CC.

### **2.1.4 Nuevo Modelo De Distribución De Corriente Continua En Baja Tensión En Smart Buildings. Hernández (2014)**

Las actuales redes de CC, necesitan de convertidores y transformadores para que puedan integrarse a las redes de AC. Este trabajo presenta la idea de que, la distribución principal sea en CC considerando que las pérdidas de energía en una red no mayor a 1.5 Km, son menores que en una red de AC. Este concepto disminuye la cantidad de convertidores, transformadores por tanto disminuye las cantidad de pérdidas. Otra ventaja de esta red es, la posibilidad de integración de las fuentes alternativas de los hogares al sistema de distribución; sumado a esto se pueden integrar redes inteligentes

que permitan el control y supervisión de los consumos y por tanto, la reducción de costos. Actualmente existen proyectos en marcha en los que las redes conjugan la distribución en CC y las redes inteligentes; el municipio de Stadskanaal en los Países Bajos está en camino a desarrollar este concepto con el cual pretende disminuir el consumo de energía y los costos que este demanda.

#### **2.1.5 Estrategias de negocio para medición inteligente acoplado energías renovables. Inga ( 2013)**

Este trabajo conjuga la implementación de medición inteligente con la generación distribuida de energía eléctrica. La medición inteligente es otra parte de las redes inteligentes, este pretende una vía bidireccional entre el consumidor y la empresa distribuidora, es decir no sólo un intercambio de energía sino un intercambio de datos, los cuales están enfocados a la optimización de los recursos energéticos y con ello una reducción de costos. Uno de los recursos que se aprovecharía en la medición inteligente, son las redes de comunicación ya instaladas como son las redes de telefonía móvil, que través de los protocolos adecuados pueden servir como medio de comunicación y con ello disminuir el costo de instalación de otros sistemas. Paralelamente a la medición inteligente está el concepto de generación distribuida que consiste en implementar pequeños generadores cerca de los lugares de consumo de esta forma disminuir pérdidas por transmisión y desahogar las redes de transmisión convencionales.

#### **2.1.6 Dimensionando las pérdidas de electricidad en los sistemas de transmisión y distribución en América Latina y el Caribe. Jiménez (2014)**

Los porcentajes de pérdidas significan un importante patrón de medida de la eficiencia y sostenibilidad del sector eléctrico de una nación. Este trabajo hace un análisis general de la situación actual que atraviesa latinoamérica en relación a las pérdidas de energía. Según este estudio la región de América Latina y el Caribe tienen pérdidas superiores a un promedio del 17 %. Este estudio sostiene que el control de pérdidas no se lleva de una forma

sistemática y elaborada. Tal es el nivel de pérdidas en la región que este estudio sostiene que hay países en donde el nivel de pérdidas alcanza un tercio de la generación eléctrica, lo que conlleva a una insostenibilidad de las empresas eléctricas. Dentro de las conclusiones el artículo manifiesta que los altos márgenes de pérdidas no permiten un crecimiento de las empresas eléctricas, lo que ocasiona que no se atienda a la población sin suministro eléctrico y aumenten los márgenes de cobertura del servicio.

### **2.1.7 Comunicaciones celulares para medición inteligente de energía eléctrica en sistemas de distribución. Luna (2013)**

La utilización de las telecomunicaciones en la industria de energía eléctrica, permite verificar el progreso de la estructura, ya sea inalámbrica o alámbrica. Cada una de las tecnologías tienen sus características inherentes lo que conlleva al diseño de sistemas combinados, donde existen varias tecnologías para cada fase de ejecución. Este trabajo hace referencia al marco legal el cual regula la planificación del sector eléctrico y describe el mapa de ruta para las redes inteligentes en el Ecuador. Dentro de los procesos a seguir se encuentra la elaboración del plan maestro de electrificación el cual abarca proyectos como: El Sistema Integrado para la Gestión de la Distribución Eléctrica, El Plan de Mejoramiento de los Sistemas de Distribución, El Plan de Reducción de Pérdidas y El Plan de Energización Rural y Electrificación Urbano Marginal. Debemos entender que la implementación de las redes inteligentes van de la mano con la intención del cambio de la matriz productiva, por esta razón es importante desarrollar un marco legal integral que abarque cada aspecto de la implementación.

### **2.1.8 Medidores del mañana. Martínez (2008)**

La tasa de crecimiento de la población mundial es mucho mayor que la generación de energía eléctrica, esto acrecienta los problemas medio ambientales del planeta, bajo esta premisa los esfuerzos no deben ir abocados solamente a la generación de energía sino a la búsqueda de

mecanismos que permitan el consumo eficiente, es en este aspecto donde intervienen los medidores inteligentes. Estos equipos son capaces de tener una interfaz entre la empresa y el usuario. Las principales habilidades de estos equipos son: Control de energía eléctrica, desconexión y reconexión, control de robo de electricidad, generación distribuida. Los medidores inteligentes utilizan las redes de telecomunicaciones disponibles como las redes móviles; estas redes permiten el intercambio bidireccional de información entre el usuario y la empresa distribuidora.

#### **2.1.9 Plan estratégico para la reducción de pérdidas comerciales en la empresa eléctrica distribuidora regional Manabí. EMEL Manabí (2009)**

Este trabajo realiza un levantamiento de la situación actual de las pérdidas técnicas y no técnicas de la empresa regional de Manabí. Este plan estratégico involucra a todas las áreas de la empresa desde las administrativas hasta la técnica, con ello se pretende obtener una disminución en la compra de energía y reducir los porcentajes de robo y hurto de energía. Según los datos de este trabajo se manifiesta que las pérdidas técnicas son del 12.04%. Con la implementación del plan estratégico se pretende lograr que las pérdidas técnicas oscilen entre el 9% y 11%. En este proyecto no se considera la utilización de redes inteligentes o mediciones inteligentes su gestión radica en mayor control tanto técnico como comercial.

#### **2.1.10 Response of Residential Electricity Demand Against Price Signals in Ecuador. Orejuela (2015)**

Este trabajo hace una exposición del concepto de respuesta a demanda, el mismo que define al término como el cambio en los patrones de consumo de la electricidad por parte de los usuarios finales, en respuesta a los cambios del precio de la energía en el tiempo (Orejuela, 2015). Este trabajo hace un análisis del mandato 15, el cual establece los nuevos lineamientos en la política tarifaria del sector eléctrico ecuatoriano. A diferencia de lo aplicado

internacionalmente que es reducir la máxima demanda de potencia, con el mandato 15 en el Ecuador el enfoque básico es primeramente la reducción de del consumo suntuario, segundo la eliminación del subsidio a los clientes cuya capacidad les permite asumir el costo real de la energía. Como resultado del nuevo modelo se ha conseguido que los consumos suntuarios se disminuyan y que los clientes tengan un consumo más eficiente de la energía.

## **2.2 Elementos de la red eléctrica**

Por lo general la tensión a la cual se produce la energía eléctrica oscila entre 10 KV y 25 KV aproximadamente (Montecelos, 2013). Tensiones mayores serían menos rentables. La tensión producida en el generador debe ser elevada, para poder transportar la energía a grandes distancias con menores pérdidas. Una vez transportada la energía, se debe reducir los niveles de tensión para que pueda ser utilizada por los receptores o consumidores. Básicamente los elementos que intervienen en una red eléctrica son: generación, transporte, distribución en AT (alta tensión), centros de transformación, distribución en BT (baja tensión), acometidas, líneas generales de alimentación, instalaciones de enlace e instalaciones receptoras. (Motecelos, 2015)

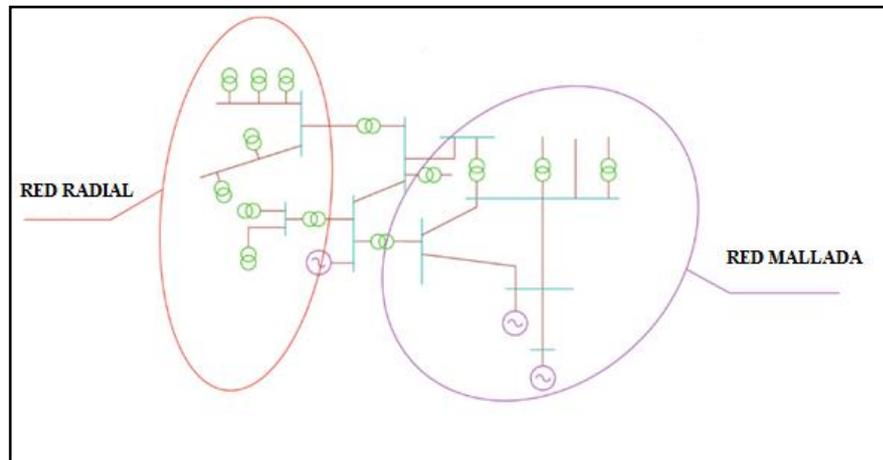
Los niveles de voltaje normalizados de las líneas de transmisión en Ecuador son: 500kv, 230 KV, 138 KV y 69 KV (CELEC, 2016).

### **2.2.1 Estructura del sistema eléctrico**

Casi la totalidad de la energía que es producida en el mundo es corriente alterna, esta energía no se puede almacenar por lo tanto toda la energía que consumimos debe ser producida en cada instante, lo que con lleva disponer de un intrincado medio de transporte, distribución de energía y regulación de energía.

### **2.2.2 Tipos de redes eléctricas**

Según (Montecelos, 2013), dependiendo de la distribución de energía, las redes eléctricas pueden ser de tres tipos radial, bucle y malla. En la figura 1, muestra de forma breve el tipo de red mallada y radial.



*Figura 1. Red tipo mallada y radial*

*Fuente: Motecelos, 2015*

La figura 1 resume las características principales de las redes eléctricas.

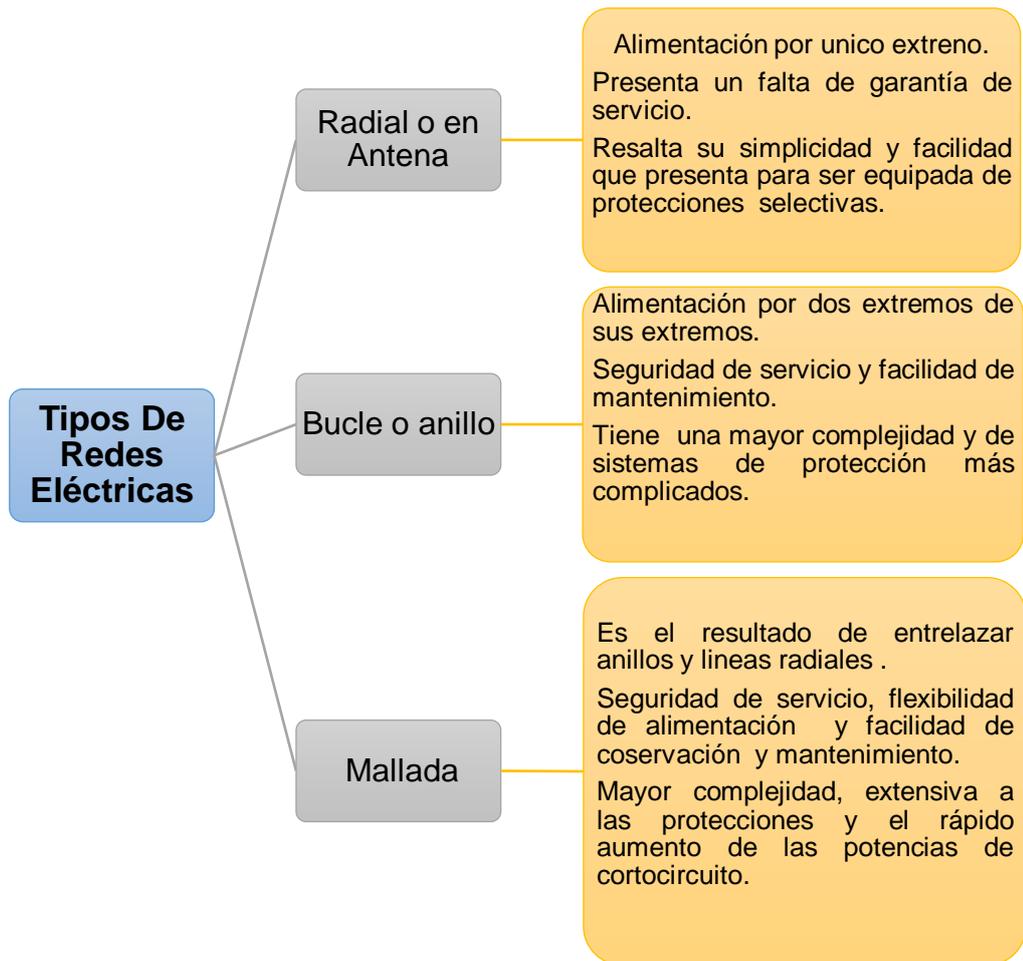


Figura 2. Tipos de redes eléctricas

Fuente: Motecelos (2015)

Elaboración: Danny Mora Loaiza

### 2.2.3 Elementos de la red de distribución en media y baja tensión

En media tensión destacan las redes de distribución, tanto aéreas como subterráneas, las cuales llegan a los centros de transformación. De aquí las nacen las redes en BT (baja tensión), y que igualmente pueden ser subterráneas o aéreas, y que finalizan en las acometidas. La figura 3 muestra los elementos que conforman una red de distribución en MT (media tensión) y BT.

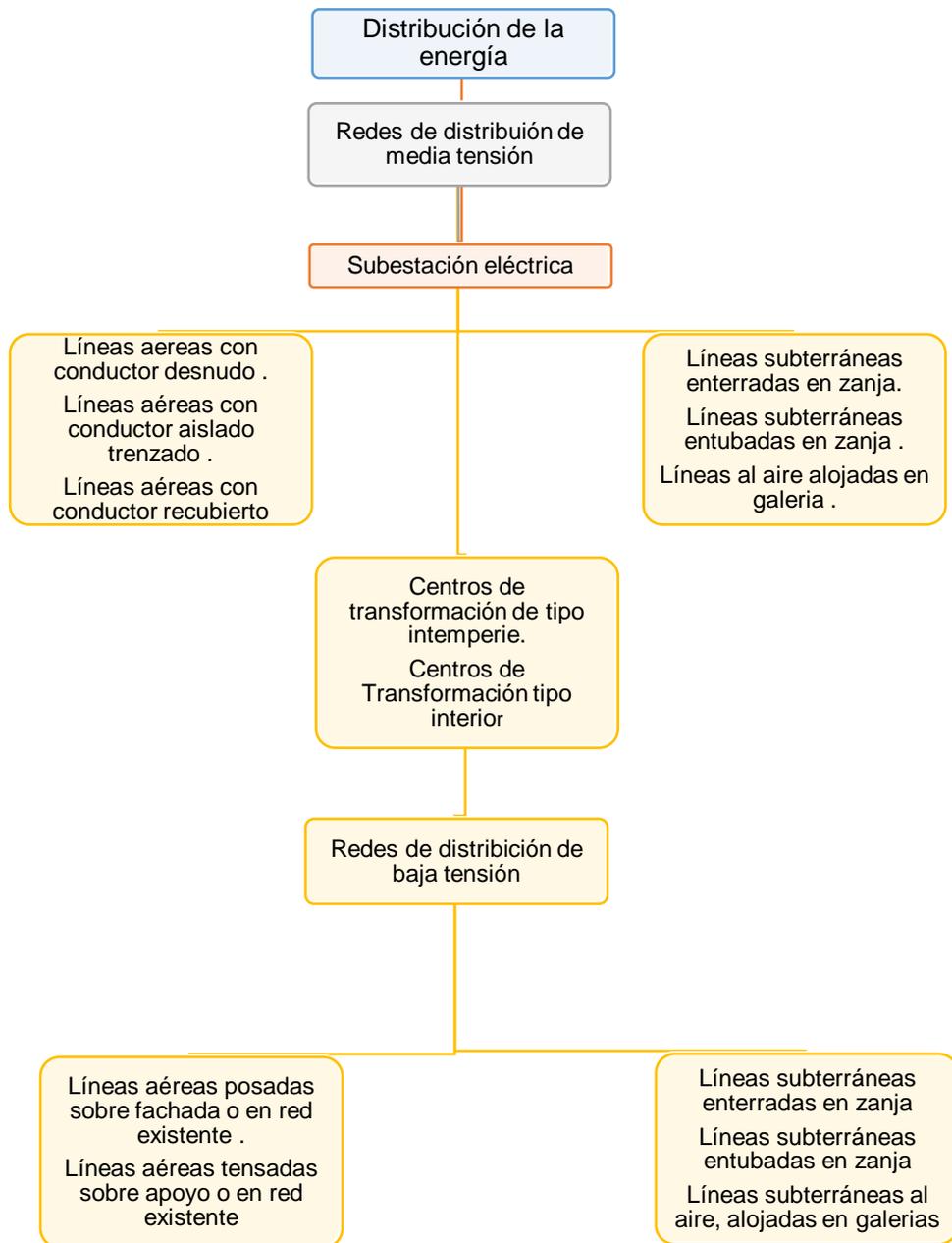


Figura 3. Esquema de la red de distribución en media y baja tensión

Fuente: Motecelos (2015)

Elaboración: Danny Mora Loaiza

## 2.2.4 Esquemas típicos de distribución en media tensión

A continuación se presentará los esquemas más utilizados en los sistemas de distribución en media tensión, la red radial y bucle. La red radial tiene como característica principal la alimentación por un único extremo mientras que el esquema bucle su característica es la alimentación por dos de sus extremos. La figura 4 muestra el esquema básico radial y bucle de una red de distribución.

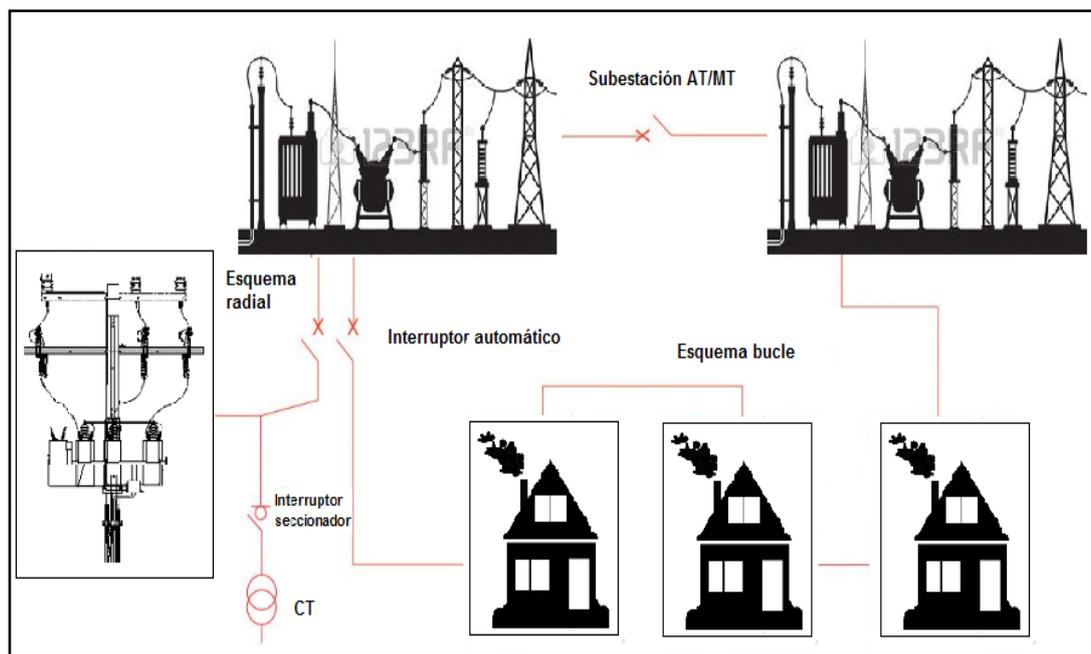


Figura 4. Esquema básico radial y bucle de una red de distribución

Fuente: Motecelos (2015)

Elaboración: Danny Mora Loaiza

## 2.3 Generación distribuida

La generación distribuida no es un concepto nuevo, a los inicios de la energía eléctrica las fuentes generadoras se encontraban cerca de los centros de consumo. Thomas Edison fue el primero en crear un sistema de energía útil; Edison utilizaba la energía CC para proveer de energía a los hogares y permitir el funcionamiento de su invención el Bombillo incandescente. Sin embargo la energía en CC, ocasionaba muchas pérdidas cuando los centros de consumo eran distantes, debido a esto surgió la energía AC, la cual

permitió llegar a clientes lejanos sin demasiadas pérdidas; con el desarrollo de la energía AC dio paso a la generación centralizada y la generación distribuida perdió espacio.

Definición: “Existen algunas variantes sobre la definición de la GD (Smart grid), pero desde el contexto de ubicación podemos decir que la GD es la implementación y funcionamiento de unidades de generación eléctrica conectadas directamente a la red de distribución o fuentes conectadas directamente al cliente”. (Ackermann,2001,p.196)

La generación distribuida se la puede categorizar por sus diferentes rangos de potencia. La tabla 1 describe la categorización de la generación distribuida según su potencia

*Tabla 1. Categorización de la generación distribuida*

Descripción	Potencia
Micro	1 Watt < 5KW
Pequeña	5 KW < 5MW
Mediana	5MW < 50MW
Grande	50MW < 300MW

*Fuente: Ackermann, 2001*

*Elaboración: Danny Mora Loaiza*

### **2.3.1 Micro redes**

Según, (Motecelos,2015,p.18) “las micro redes son un conjunto de cargas eléctricas, elementos de generación distribuida y elementos de almacenamiento que, conectados a la red eléctrica a través de un único punto de conexión, llevan asociada una estrategia que gestiona tanto el flujo de energía dentro de la micro red como el intercambio de potencia con la red general de suministro”. Estas redes pueden ser operadas de manera coordinada y controlada ya sea conectada a la red principal o aisladamente. Las micro redes son sistemas pequeños y autónomos, con una mezcla de energías convencionales y energía alternativas. Los miembros de una micro red pueden vender su excedente de energía y cuando el caso lo amerite comprar energía a través de la red principal.

Según (Motecelos,2015) las ventajas de una micro red son:

- Provee equilibrio entre la demanda y la producción de energía.
- Aumenta el desarrollo de las energías renovables
- Disminuye las pérdidas eléctricas
- Aporta mayor fiabilidad al servicio

## **2.4 Almacenamiento de energía**

Desde el comienzo de la electricidad, ha constituido un reto el almacenamiento de energía a gran escala; en la actualidad se han desarrollado sistemas que permiten su almacenamiento, a continuación se detallarán los más importantes.

### **2.4.1 Almacenamiento de aire comprimido**

Esta tecnología se denomina CAES por sus siglas en inglés: compressed air energy storage. Este término abarca también la turbina de gas que genera la electricidad a través de la expansión de aire comprimido. Esta tecnología consiste en almacenar bajo tierra aire comprimido a partir de la energía que es producida en periodos de bajo costo, luego se producirá energía con la turbina de gas en los periodos de mayor costo. Motecelos (2015)

La primera planta de almacenamiento se construyó fue en Alemania al oeste de Bremen en la década de 1970, ésta permitió almacenar la energía de las plantas de energía nuclear que son menos flexibles durante los periodos de menor demanda. Actualmente existen nuevos proyectos en marcha como la planta en Texas, EEUU con una capacidad aproximada de 317 MW. La figura 5 muestra el esquema básico de almacenamiento de energía de aire comprimido diabático.

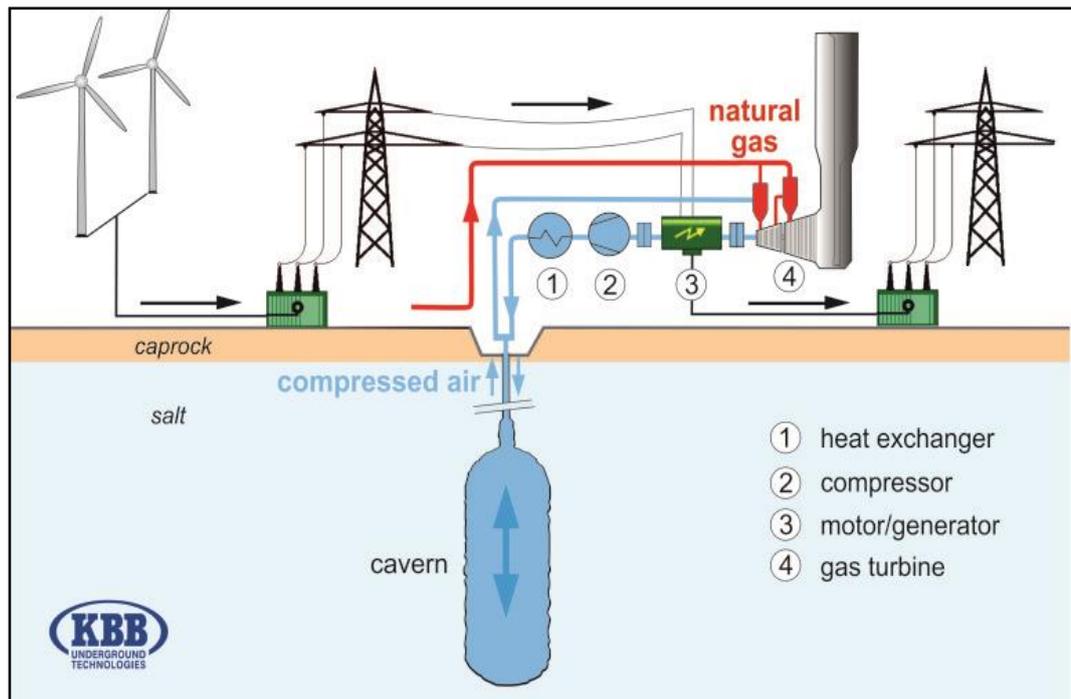


Figura 5. Esquema de almacenamiento de energía de aire comprimido diabático

Fuente: Tillmetz (2014)

### 2.4.2 Almacenamiento de energía por sales fundidas

La sal Glauber o sulfato de sodio es un elemento que se utiliza para la retención del calor (Collieau, 1977). Todo esto ha hecho de la sal un elemento óptimo para las plantas termo solares en las cuales la energía es almacenada por medio de sales fundidas. La energía eléctrica es producida en turbinas de vapor el cual es producido cuando se libera la energía térmica acumulada en las sales fundidas. En la actualidad existen varios proyectos en marcha como la planta Andasol-1, capaz de generar 180000 MWh de energía al año (Castells, 2012), en la provincia española de Granada.

### 2.4.3 Almacenamiento en baterías.

Las baterías en un medio en el cual la energía eléctrica es transformada a energía química. A continuación se mencionan los principales tipos de baterías:

- Plomo-ácido
- Metal –aire

- Sulfuro de sodio
- Redox-vanadio
- Ión-Li
- NiMH

En la actualidad hay desarrollos de baterías que ofrecen mayores capacidades las que permitirían maximizar la utilidad de los paneles solares instalados en los hogares. La batería tesla para hogares ofrece una capacidad de almacenamiento de 6.4 KWh. Tesla (2016).

#### **2.4.4 Almacenamiento en supercondensadores**

Esta tecnología aun no es muy extendida, pero su alta capacidad eléctrica (faradios), consigue acumular mucha más energía que los convencionales. Los módulos de los supercondensadores están constituidos por múltiples supercondensadores unitarios que se asocian en estructuras serie/paralelo, por lo que funcionan de forma similar a las tecnologías de baterías secundarias, requieren de circuitos de control para el reparto equilibrado de la tensión total entre todos los supercondensadores conectados a una estructura en serie Guerrero (2006).

#### **2.5 Contadores inteligentes**

La red inteligente parte de la comprensión del estado de consumo y la previsión de generación de toda la red. Los medidores inteligentes proveen datos en tiempo real de todo lo que está sucediendo en la red, estos permiten una vía de comunicación bidireccional entre el cliente y la empresa eléctrica. La información es recogida por los medidores y la envían a centros de transformación (CT), en los cuales existe un concentrador que recolecta estos datos y envía a través del sistema de tele gestión a las compañías distribuidoras para su gestión. Motecelos (2015)

En la actualidad hay un gran interés mundial por la implementación de los medidores inteligentes; en el 2005 ENEL (Ente nazionale per l'energia elettrica) empresa italiana, realizó el lanzamiento del proyecto más grande

del mundo, un aproximado de 32 millones de medidores serían instalados con un costo de implementación de 2100 millones de euros con un retorno de inversión de solo 4 años.

### **2.5.1 Contadores parciales**

Son dispositivos de medida de consumo de energía activa y reactiva. Realizan mediciones de consumo diferenciando por cargas (climatización, iluminación o máquinas), esto permite identificar las causas de consumos inusuales o consumo excesivo. Motecelos (2015)

### **2.5.2 Beneficios de los medidores inteligentes**

Para los consumidores. Vicini, (2012):

- Facturación de consumo en tiempo real
- Administración contractual remota
- Diferentes opciones de tarifas
- Ahorros en los procesos de facturación

Beneficio para el sistema eléctrico. Vicini, (2012):

- Reducción de picos de demanda
- Uso eficiente de la energía
- Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>
- Reducción de pérdidas técnicas y no técnicas

Beneficios para la empresa eléctrica. Vicini, (2012):

- Tecnologías avanzadas de medición y lectura
- Ahorros en el costo de operación
- Clientes satisfechos

## **2.6 Transporte de energía eléctrica en alta tensión en corriente continua (HVDC)**

El transporte de energía eléctrica en corriente continua es una alternativa que ha mostrado grandes ventajas en relación a su par de corriente alterna,

sobre todo en las líneas de gran longitud. Las principales características de este sistema son las siguientes:

- La potencia se conserva independiente de la distancia, mientras que en HVDC (high-voltage direct current), la capacidad de transmisión se reduce con la longitud de la línea, debido a los efectos inductivos.
- El desfase ocasionado por esa inductancia entre los extremos de la línea puede originar una inestabilidad del sistema.
- En el sistema HVAC (high-voltage alternating current), no se pueden conectar dos sistemas eléctricos que funcionen a distinta frecuencia.
- En los sistemas HVDC no existe desfase entre la tensión y la intensidad, además la frecuencia es de valor nulo.
- Los apoyos de líneas aéreas de menor resistencia mecánica, menor distancia de los corredores por donde pasan las líneas y menor pérdidas por efecto corona.

El sistema de transporte HVDC es una excelente solución para líneas de alta tensión con cables aislados, como son los sistemas submarinos de larga longitud. Los conductores aislados de alta tensión necesitan confinar el elevado campo eléctrico en el interior del aislamiento por medio de una pantalla conectada a tierra. Debido a esa formación, los cables de alta tensión aislados se comportan además como condensadores cilíndricos, siendo el conductor una armadura, la pantalla la otra armadura y el dieléctrico de dicho condensador es el aislamiento. Montecelos (2013)

Parte de la energía que se introduce a la línea por un extremo se destina a la constante carga y descarga del condensador que forma el cable aislado. La potencia reactiva (capacitiva en este caso) está dada por la ecuación 1. Tomada de Montecelos (2013)

$$Q_c = \omega \cdot C \cdot U^2 \quad \text{[Ecu. 1]}$$

$Q_c$  = Potencia reactiva

$C$  = Capacidad

$U^2$  = Tensión de la línea

La capacidad depende de la longitud del cable, por tanto, para líneas de gran distancia este valor es superior y de esta manera el valor de  $Q_c$  es grande.

La figura 6 describe las partes constitutivas de un cable utilizado en redes de transporte de energía en DC (Corriente directa o corriente continua) con redes submarinas.

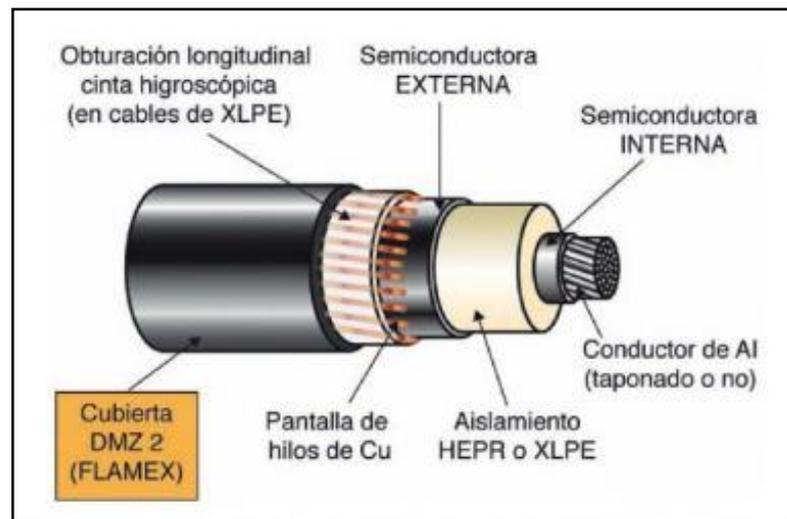


Figura 6. Cable aislado de alta tensión  
Fuente: Prysmian (2016)

## 2.7 Componentes de un sistema HVDC

Según Montecelos, (2013) los principales componentes son:

- Convertidores AC/CC (rectificadores)
- Inversores CC/AC
- Transformadores de conversión
- Líneas de Transporte
- Filtros AC y CC

La figura 7 muestra un esquema básico del transporte de energía en corriente continua. La energía en CC es sometida a un proceso de conversión o rectificación según sea el caso, para luego pasar por un transformador, el cual lleva a niveles de tensión adecuados para el usuario final.

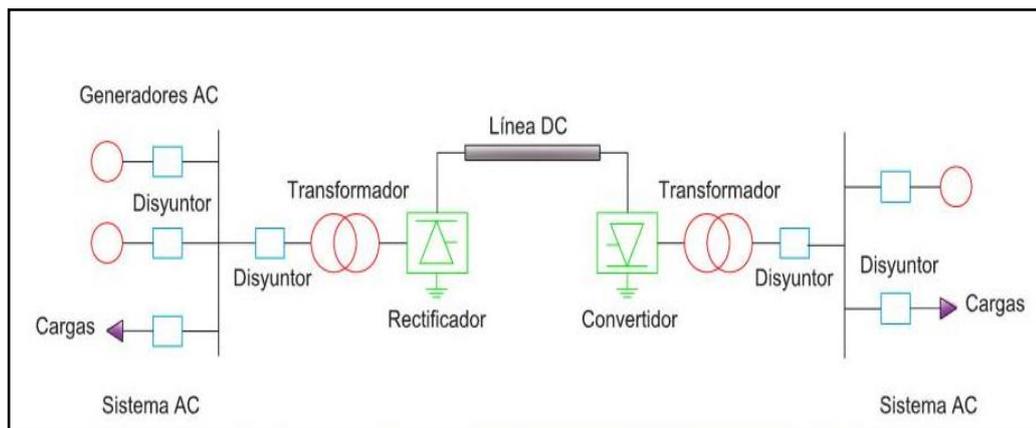


Figura 7. Esquema de transporte de energía en corriente continua  
Fuente: Montecelos (2013)

## 2.7.1 Ventajas de la HVDC

### 2.7.1.1 Ventajas técnicas. ABB (2015)

- *Redes asíncronas:* Una red en HVDC es asíncrona, puede adaptarse a cualquier voltaje y frecuencia.
- *Cruce de agua a largas distancias:* No hay límites técnicos a la estabilidad del potencial de un cable de HVDC. En una gran transmisión por cable de CA, el flujo de potencia reactiva debido a la gran capacitancia del cable, limitará la distancia de transmisión máxima posible.
- *Controlabilidad:* HVDC tiene la habilidad de control de la potencia activa en el enlace.
- *Corrientes de cortocircuito bajas:* Una transmisión HVDC no contribuye a la corriente de cortocircuito del sistema AC interconectado.

### 2.7.1.2 Ventajas económicas. ABB (2015)

*Menores pérdidas:* Las pérdidas de transmisión HVDC son inferiores a las pérdidas de transmisión de corriente alterna en prácticamente todos los casos.

La figura 8 muestra una comparación de las pérdidas en 1.200 MW transportados en AC y HVDC; este grafico indica también que aproximadamente a partir de los 250Km de las pérdidas de energía son mayores en corriente alterna.

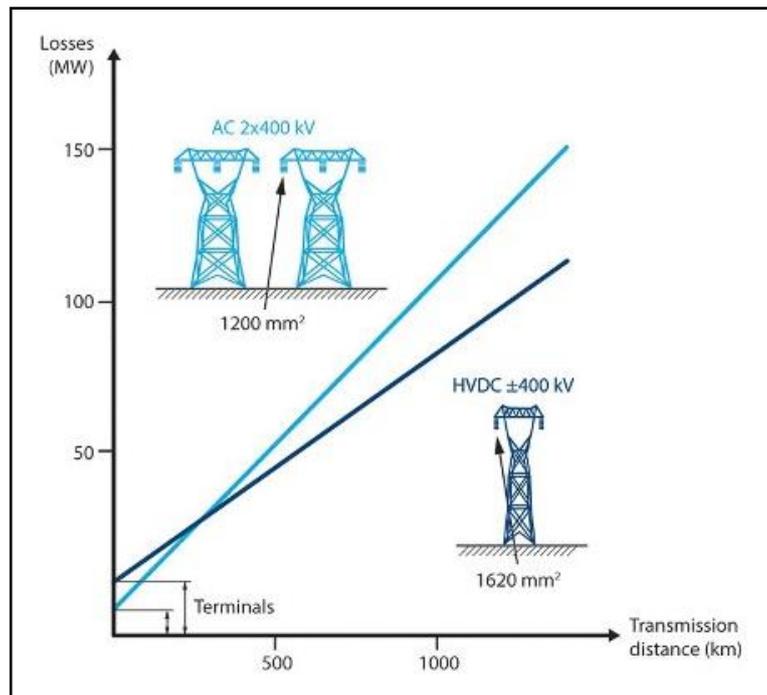


Figura 8. Comparación de pérdidas AC vs HVDC  
Fuente: ABB (2016)

**Menor costo de inversión:** Una línea de transmisión HVDC es más económica que una línea de CA, para una misma capacidad de transmisión. Pero es importante acotar que las estaciones terminales HVDC son más costosas debido a que se realizan los procesos de conversión de CA a CC, y de CC a CA. La figura 9 muestra el concepto de distancia de punto de equilibrio el cual nos da una idea de los rangos en que nos conviene elegir un determinado sistema. En el gráfico se puede reconocer que los costos de inversión en las estaciones terminales HVDC son casi tres veces más que las estaciones de CA; sin embargo el gráfico muestra que a partir de los 800 Km (distancia crítica) en las líneas de transmisión el costo de inversión en sistemas HVDC es menor que en AC.

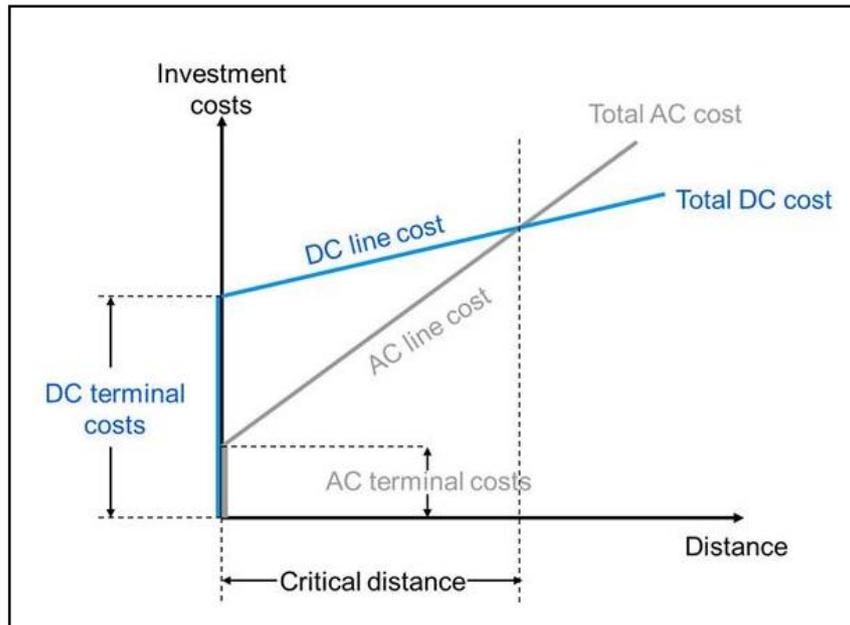


Figura 9. Punto de equilibrio de costo línea Dc vs Línea AC  
Fuente: ABB (2016)

## 2.8 Sistemas de distribución en DC

La distribución de corriente continua en baja tensión puede ser una tecnología conveniente para las redes inteligentes y micro redes, ya que en los actuales momentos existe un creciente interés por las fuentes de energías renovables, principalmente paneles solares, los cuales generan corriente continua. Esta energía no puede ser suministrada directamente a la red sin antes pasar por una serie de pasos que van desde inversores y transformadores, para posteriormente llegar al usuario final. Estos pasos pueden minimizarse y obtener una red más eficiente implementando una red de distribución toda en continua. (Hernández, 2014). La figura 10 muestra dos modelos de distribución de energía en DC. La figura (a) muestra una red convencional de distribución en DC y la (b) muestra una alternativa de distribución toda en DC propuesta por Zhong (2014)

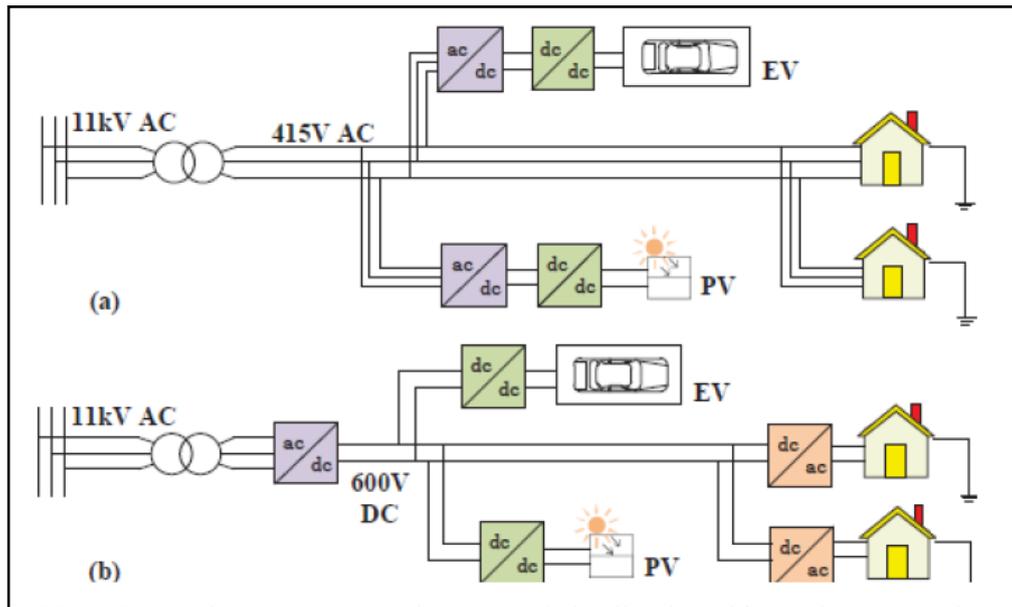


Figura 10. Redes de distribución en DC  
Fuente: Zhong (2014)

## 2.8.1 Topologías de distribución de energía

La topología es la configuración de un sistema implementado, para los sistemas de distribución en DC existen dos tipos, diferenciadas por los niveles de tensión utilizada; estas topologías son la monopolar y la bipolar. Salonen (2008)

### 2.8.1.1 Topología monopolar.

Este sistema tiene un único nivel de tensión. La red está compuesta por dos conjuntos de conductores, uno de ellos estará energizado a la tensión de referencia y el otro será energizado a la tensión nominal del sistema y todos los consumidores están interconectados a ese nivel de tensión. Salonen (2008).

En la Figura 11, se muestra la topología básica de un sistema monopolar de una red de distribución en CC.

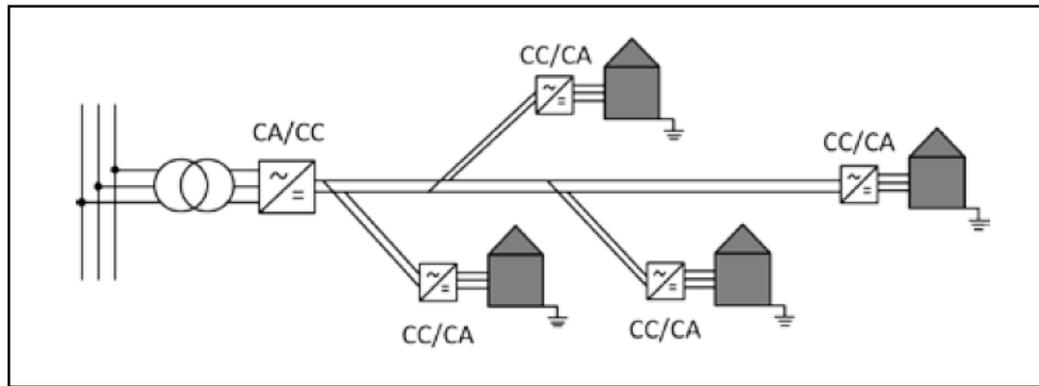


Figura 11. Topología básica de un sistema monopolar en red de distribución CC.

Fuente: Salonen (2008)

### 2.8.1.2 Topología bipolar. Salonen (2008)

Este sistema es similar a la topología monopolar en cascada, lo que significa que se requieren dos unidades rectificadoras en cascada con un punto de conexión común que será la tensión de referencia del sistema en DC. En esta topología hay tres grupos de conductores, el primero energizado a la polaridad positiva, el segundo energizado a la tensión de referencia y el tercero energizado a la polaridad negativa del mismo valor nominal que la polaridad positiva. En la figura 12 se muestran las opciones que tiene el usuario para conectarse a la red, las cuales son:

- a) Entre la polaridad positiva y neutro (1).
- b) Entre la polaridad negativa y neutro (2).
- c) Entre las dos polaridades, positiva y negativa, de este modo se tendrá el doble de nivel de tensión nominal que las conexiones a) y b) (3).
- d) Conexión entre las dos polaridades pero conservando una tercera conexión al punto de referencia de la red (4).

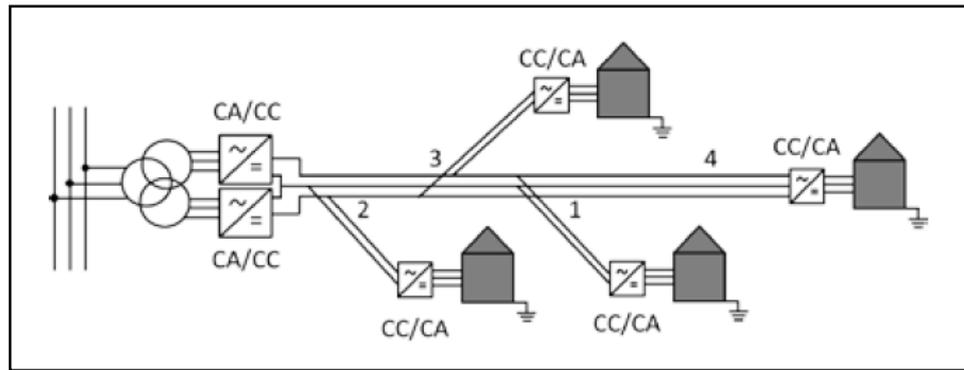


Figura 12. Topología sistema de distribución en DC bipolar.  
Fuente: Salonen (2008)

## 2.8.2 Ventajas y desventajas de la distribución en DC

### 2.8.2.1 Ventajas

*Capacidad de transmisión de energía eléctrica:* Esto se debe a que las corrientes que circulan son más pequeñas y también las pérdidas son menores, ya que en la transmisión en DC no se tiene el efecto pelicular. Es significativo considerar que el coeficiente de la capacidad de transmisión obedece al nivel de tensión en DC utilizado y de la topología del sistema.

*Sincronismo:* La conexión de fuentes adicionales en un sistema de CA requiere que dichas fuentes estén sincronizadas tanto en magnitud de voltaje, frecuencia y fase. Al implementar un sistema en DC solamente el voltaje debe ser controlado ya que la energía en DC no tiene frecuencia, ni fases en las polaridades; por lo tanto no se requiere un proceso de sincronización.

*Efecto pelicular:* En los sistemas de CA existe un fenómeno conocido como efecto pelicular y se describe por que la densidad de corriente se concentra hacia los extremos del conductor, lo que produce un aumento en la resistencia de la línea de transmisión; lo cual no ocurre en los conductores energizados en DC en donde la densidad de corriente es la misma en todo el conductor, así disminuye la resistencia de la línea y reduce la caída de tensión. Pasi Nuutinen (2008).

*Suministros de energía ininterrumpidos:* En los sistemas convencionales de energía CA, no es posible el almacenamiento de energía. Al utilizar un sistema de distribución en DC, la red se puede conectar al sistema de

almacenamiento de energía, como un banco de energía que permite el suministro continuo, evitando interrupciones.

*Confiabilidad:* Estos sistemas se caracterizan por tener excelentes niveles de confiabilidad, permitiendo reducir el número de ramales y la longitud de los ramales de media tensión, reduciendo las probabilidades de falla en nuevas redes de distribución.

### **2.8.2.2 Desventajas de la transmisión DC**

*Transformación del nivel de tensión:* A pesar de los adelantos de la tecnología en la conversión de tensión en DC, aún no se encuentra un nivel óptimo para estar a la par con la transformación del nivel de tensión en AC (Hammerstrom, 2007). En los actuales momentos, para la transformación en DC se emplean convertidores de DC a DC, los cuales utilizan dispositivos electrónicos de potencia.

*Tiempo de vida útil:* Las unidades electrónicas de potencia utilizadas en las redes de distribución de energía en DC poseen un tiempo menor que los equipos utilizados en las redes CA. Como media, el tiempo de vida de los equipos para la distribución en DC se reduce una cuarta parte en relación con los equipos en CA. Salonen (2008).

## **2.9 Red inteligente**

El término “Smart grid” se define como una red equipada con técnicas de optimización dinámica, que usan medidas en tiempo real, lo que permite minimizar pérdidas, mantener los niveles de voltaje, incrementar la rentabilidad y mejorar la administración de la energía (Momoh, 2012). Esta red ofrece un camino de comunicación bidireccional que permite el intercambio de datos entre la empresa eléctrica y el usuario, de esta forma se logra la eficiencia en los consumos, la resolución de fallas, altos niveles de calidad y seguridad en el servicio. La figura 13 muestra una comparación de las redes tradicionales con las redes inteligentes, muestra la posibilidad del intercambio de datos de forma bidireccional.

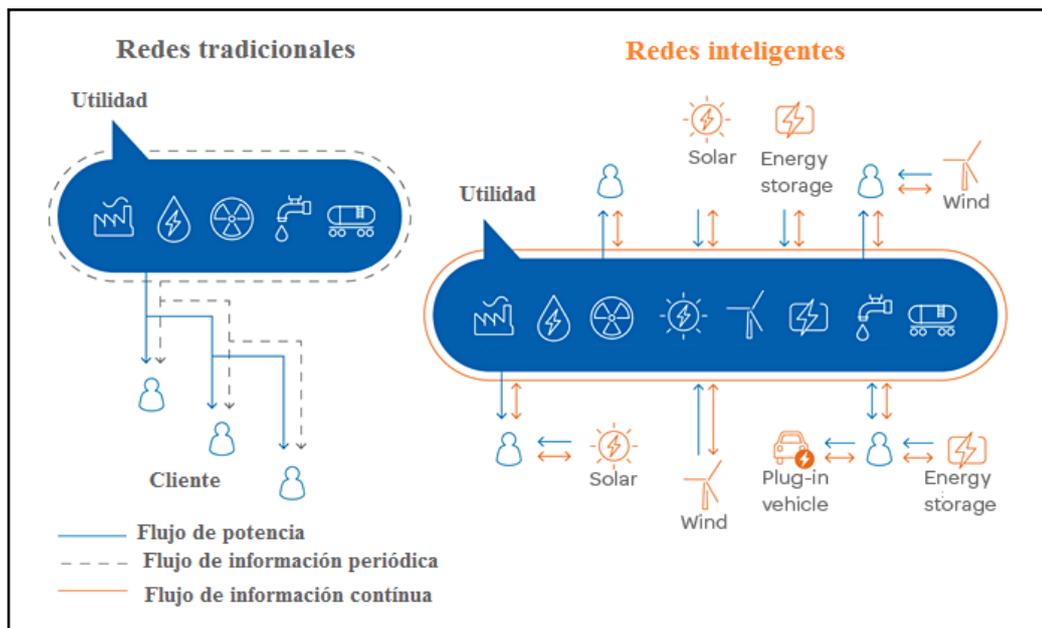


Figura 13. Redes tradicionales vs. Redes inteligentes  
Fuente: AT&T  
Elaboración: Danny Mora Loaiza

### 2.9.1 Características red inteligente

Según Ortega (2012), bajo el concepto de eficiencia, los sistemas eléctricos en los cuales funcionen las redes inteligentes deben reunir características como las citadas a continuación.

#### *Reducción de pérdidas de energía*

- Pérdidas técnicas en la red.
- Pérdidas comerciales por disminución de clientes o no facturación.

#### *Reducir el coste de operación por red*

- Energía no suministrada
- Exceso de operaciones de conmutación.

#### *Reducir el coste por desarrollo de la red*

- Elevado uso de las instalaciones de distribución.
- Disminución de inversiones

#### *Mejora de la calidad de servicio*

- Regulación de tensión en la línea con interruptores en servicio.

- Soporta agresiones y disturbios.

#### *Mejora de Interactividad*

- Integrar datos y funciones.
- Interacción entre las empresas eléctricas y los usuarios.

### **2.9.2 Medición avanzada de energía eléctrica**

Esta medición consiste en equipos que recolectan datos de manera automatizada, esta información que es recolectada en tiempo real. Esta medición dispone de nuevos datos: medición del voltaje y la demanda de energía, lo que permite tener un perfil de carga de los usuarios del sistema eléctrico. Además estos sistemas permiten administrar de forma efectiva los sistemas de distribución.

La medición avanzada permite el desarrollo de un mercado competitivo; recoge la información de los clientes, como el perfil de demanda y caracteriza el valor individual de los consumidores ante la empresa eléctrica. El cliente puede cambiar de empresa eléctrica con el mismo medidor según su conveniencia económica, además ayuda a localizar equipos robados o adulterados, tiene software reprogramable y permite descargar actualizaciones para el medidor. La figura 14 muestra un medidor inteligente de la marca Meterus.



Figura 14. Medidor inteligente  
Fuente: Meterus

### 2.9.3 Arquitectura de una red inteligente, red de banda ancha

De la misma forma que el internet, una Smart grid está formada por controladores, sensores ordenadores, y sistemas de control y gestión. Estos dispositivos deben permitir a la Smart grid reaccionar rápidamente a los cambios de la demanda eléctrica.

El objetivo principal de una Smart grid es administrar toda la red eléctrica, desde la de alta tensión hasta la red de baja tensión, que en la actualidad sólo se monitorea el 20 % aproximadamente. Según Fundación Telefónica (2013) arquitectura comprende cinco etapas:

1. Inteligencia: Son los equipos de operación, protección, medidores, etc.
2. Conectividad: Las redes que suministran la conectividad de los dispositivos. La red de área local (LAN), red de área amplia (WAN), red de área de campo (FAN)/AMI, y red de área residencial (HAN),

permiten el soporte de la infraestructura de tecnologías de la información.

3. Hardware: Toda la infraestructura para almacenar la información que proporciona los equipos del primer nivel y las aplicaciones del siguiente nivel.
4. Aplicaciones: Control de repuesta de demanda, facturación, control de desperfectos, monitoreo de carga, mercados energéticos en tiempo real y nueva gama de servicios al consumidor.
5. Usuario final: Este nivel es el que permite ofrecer nuevos productos y servicios al usuario. Una gestión adecuada de las cuatro primera etapas, permitirá ofrecer al cliente una mayor eficiencia y ahorrara costos al cliente final. La acción de llevar a cabo una gestión adecuada de las primeras cuatro capas, posibilitará una mayor eficiencia y ahorro al usuario final.

#### **2.9.4 Telemando de una red inteligente**

Según Motecelos (2015) el telemando de las redes de media tensión permite la administración desde un centro de mando para:

- Mejorar la calidad y la continuidad del servicio.
- Disminución de los retardos de intervención.
- Administrar el reparto de cargas.
- Disminuir los costes de explotación de la red.

Los métodos usuales de ejecutar el telemando de las instalaciones son:

- Por conductores eléctricos
- Por radio
- Por fibra óptica

Las líneas de alta tensión transportan en la parte superior el llamado hilo de guarda, para protección contra las descargas atmosféricas. Actualmente se utilizan cables con fibra óptica que realizan la función de hilo de guarda o hilo de tierra y telemando.

#### **2.9.4.1 Sistemas de comunicaciones por fibra óptica**

La fibra óptica es un medio de transmisión constituido por un núcleo de vidrio o plástico y un revestimiento que mantiene la luz en su interior. Presenta dos grandes ventajas frente a los cables de cobre: un mayor ancho de banda e inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, por lo que es ampliamente utilizado Moya (2006).

La señal eléctrica se transforma en luminoso y, modulada en forma de pulsos, se transmite a través del núcleo hasta el receptor, donde es convertida en eléctrica, sin que haya una gran pérdida de potencia.

#### **2.9.4.2 Comunicaciones celulares aplicadas en las redes inteligentes.**

Las redes celulares son otra alternativa de comunicación y control de las redes inteligentes, este sistema tiene gran aplicación ya que es un sistema del cual su infraestructura ya está instalada, lo cual disminuye los costos de implementación.

#### **2.9.4.3 Tecnología GPRS para zonas urbanas.**

Esta tecnología se denomina sistemas generales de paquetes de radio, este es una evolución del sistema GSM, posee una velocidad de transferencia hasta 144 Kbps. Este medio permite servicios adicionales y mediante la comunicación ZigBee con la interconexión de los equipos electrónicos que los usuarios disponen, de esta forma se puede obtener desde las empresas eléctricas una caracterización del tipo de cliente, herramienta útil para procesos de optimización de energía y predicción de la demanda eléctrica. Inga (2013).

La medición usando GPRS utiliza los medios de radio solamente cuando hay datos para enviar o recibir información, detalle importante por la naturaleza intermitente de las aplicaciones de datos y más aún, en este tipo de mediciones que no requieren que sea en todo tiempo; de esta forma el uso de los enlaces no excede en su capacidad de red o interfaz, lo que reduce

costos, ya que al ser eficaz en el uso de la infraestructura permite tarifar por volumen de datos intercambiados .Inga (2013).

## **2.10 Pérdidas de energía de energía eléctrica**

En un sistema de distribución, la energía es suministrada a los clientes a través de un sistema de transmisión, subestación y redes de distribución. Durante la transmisión y distribución de la energía eléctrica, existe una cantidad de potencia activa que se pierde, además la energía se perderá en todas las unidades generadoras de las red .Wiley, (2016).

Las pérdidas de energía eléctrica se pueden definir como la diferencia entre la generación y el consumo de energía eléctrica. Es una realidad que la cantidad de unidades generadas por una central eléctrica no es igual a las unidades distribuidas a los clientes. La diferencia mencionada se conoce como pérdidas de transmisión y distribución. Las pérdidas de energía son además unidades que no se pueden facturar a los clientes.

Las pérdidas totales están dadas por la siguiente ecuación tomada de Vieira, (2011).

$$PT= ETIS - EFC$$

[Ecu. 2]

PT = Pérdidas Totales De Energía

ETIS = Energía total ingresada al sistema

EFC = Energía facturada los clientes

### **2.10.1 Tipos de pérdidas de energía**

Existen dos tipos de pérdidas principales, técnicas y no técnicas. En la figura 14 se muestra la clasificación de las pérdidas de energía eléctrica; podemos notar de forma simplificada las causas de las pérdidas de energía.

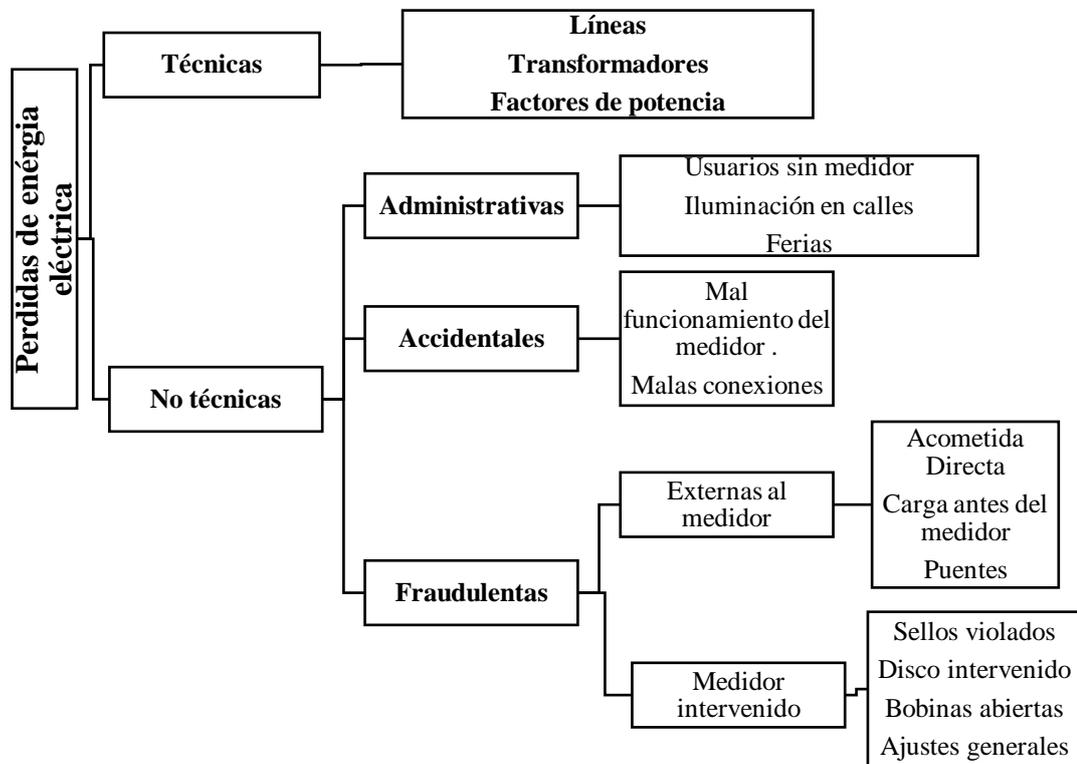


Figura 15. Clasificación de las pérdidas de energía eléctrica, con redes convencionales

Fuente: MOLTEDO, (2009)

Elaboración: Danny Mora Loaiza

### 2.10.1.1 Pérdidas no técnicas

Las pérdidas no técnicas constituye la energía que no es facturada a los usuarios, esto no significa que esta energía que no haya sino utilizada, simplemente no fue registrada por lo equipos medidores y por consiguiente no puede ser facturada. Jiménez (2014).

### 2.10.1.2 Pérdidas técnicas

Estas pérdidas son ocasionadas producto de la transmisión de la energía, desde las unidades generadoras hasta las unidades de distribución. Estas pérdidas son propias del desarrollo de la industria eléctrica y están relacionadas con el voltaje al cual se transporta la energía y al material conductor.

Según Moltedo,(2009) las pérdidas técnicas son alrededor del 4 % del total de la energía que se compra a las generadoras.

### 2.10.1.3 ¿Dónde ocurren las pérdidas?

Las pérdidas se concentran principalmente en la distribución. Según Jiménez (2014), manifiesta que en Latinoamérica el 80% de pérdidas corresponde a la distribución, en el caso de las pérdidas de transmisión son muy bajas y corresponden a pérdidas técnicas. La figura 16 muestra la distribución de las pérdidas en algunos países latinoamericanos.

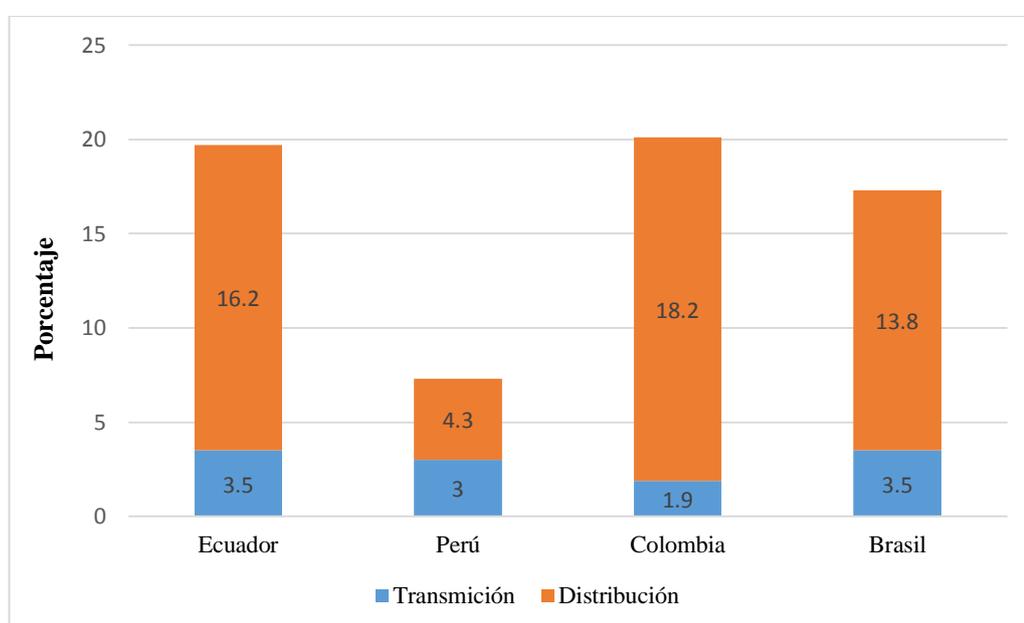


Figura 16. Distribución de las pérdidas en porcentajes en países latinoamericanos

Fuente: Jiménez, 2014

Elaboración: Danny Mora Loaiza

## 2.10.2 Situación actual del país

El Ecuador a noviembre de 2014 registró unas pérdidas de 12.3%, estas pérdidas corresponden a técnicas y no técnicas.

Las empresas con un mayor índice de pérdidas son CNEL de Manabí con el 24.96% y Esmeraldas con el 23.3%. Y las empresas más eficientes son las empresa de Azogues con el 4.56% y la empresa Eléctrica de Quito con el 5.65% (Araujo, 2016). La tabla 2 y la figura 17 muestran las pérdidas del sistema eléctrico de distribución del Ecuador.

El Ecuador en el 2015, tuvo una producción de 26462.01GWh. ARCONEL (2016), y según CEPAL (2015) el Ecuador ocupa el décimo puesto en pérdidas eléctricas con un estimado del 19% en pérdidas totales.

*Tabla 2. Pérdidas de energía del sistema de distribución de Ecuador en GWh*

Medidas				
Año	◆ Pérdidas Técnicas	◆ Pérdidas No Técnicas	◆ Pérdidas Sistema (%)	◆ Variación (%)
- Todos	23.810,18	22.375,56	17,58 %	
1999	894,05	1.137,70	20,83 %	
2000	930,54	1.276,38	21,89 %	5,06 %
2001	1.092,77	1.241,32	22,31 %	1,92 %
2002	1.042,70	1.410,92	22,51 %	0,92 %
2003	1.140,91	1.492,50	22,89 %	1,67 %
2004	1.282,43	1.548,88	23,01 %	0,53 %
2005	1.321,50	1.650,22	22,76 %	-1,08 %
2006	1.292,72	1.776,18	22,25 %	-2,23 %
2007	1.335,65	1.754,18	21,42 %	-3,76 %
2008	1.421,21	1.571,87	19,61 %	-8,41 %
2009	1.499,10	1.266,17	17,31 %	-11,77 %
2010	1.499,79	1.247,64	16,33 %	-5,64 %
2011	1.560,95	1.073,13	14,73 %	-9,80 %
2012	1.599,12	946,94	13,60 %	-7,67 %
2013	1.632,57	832,69	12,62 %	-7,22 %
2014	1.722,08	868,02	12,38 %	-1,91 %

*Fuente: Arconel (2016)*

La figura 17 muestra las pérdidas de energía en los sistemas de distribución del Ecuador y hace una diferenciación entre las pérdidas técnicas y no técnicas.

Como síntesis de la información podemos observar que las pérdidas totales sufren una disminución del 4 % aproximadamente entre el 2007 hasta el 2013 .

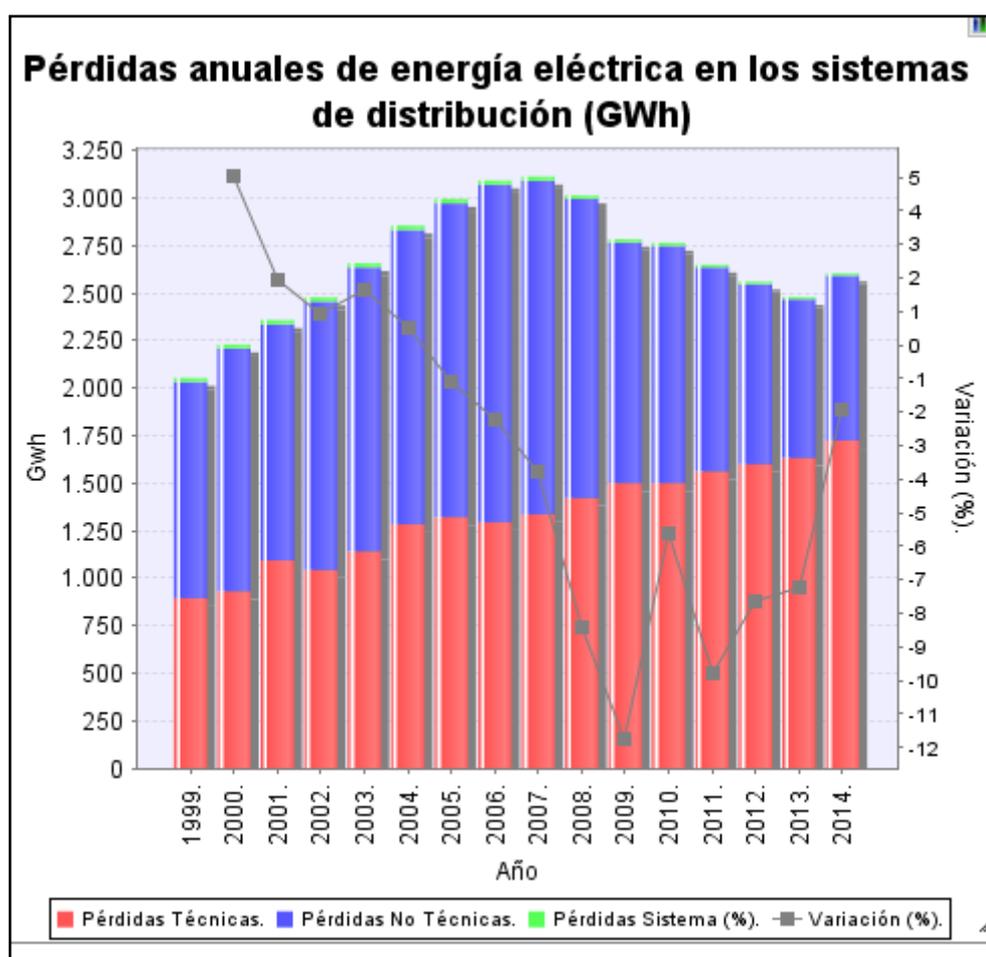


Figura 17. Pérdidas de energía en los sistema de districbución.

Fuente: Arconel (2016)

### 2.10.2.1 El costo financiero para el país.

En términos generales los costos financieros son los recursos económicos que las empresas eléctricas dejan de percibir por las pérdidas eléctricas y además son un costo de oportunidad que las empresas deben evaluar en miran de la reducción de las pérdidas de energía. Según el Banco

Interamericano de Desarrollo en el 2012, el Ecuador tiene una media de 93 millones de USD, producto de las pérdidas de energía, este recurso fácilmente podría financiar proyectos de mejoras del sistema eléctrico nacional.

### **2.10.3 ¿Qué es la eficiencia energética?**

Según Serra, (2008) la eficiencia energética es ejecutar un uso óptimo de la energía, obteniendo el mismo confort que disponíamos con un uso no racional de la energía. Esto implica utilizar la energía sin ocasionar desperdicios y sin afectar las actividades normales tanto residenciales como industriales.

#### **2.10.3.1 Eficiencia energética vista desde las redes inteligentes**

En la búsqueda de la eficiencia energética no solo intervienen los equipos de última tecnología, sino también, el intercambio de información que tienen los usuarios con las empresas eléctricas, en este punto es donde intervienen las redes inteligentes las cuales ayudan al usuario con la administración de la energía; las redes inteligentes pueden establecer claramente los patrones de consumo permitiendo actuar en función de su demanda. Usón,(2010)

La eficiencia energética tiene innumerables beneficios tanto económicos como ambientales dentro de ellos podemos citar los más importantes.

- Beneficia la sostenibilidad del sistema eléctrico.
- Disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> al reducir la demanda de energía.
- Perfecciona la gestión técnica de las instalaciones, incrementando su rendimiento e impidiendo las interrupciones de procesos y averías.
- Disminución del costo de la producción de la energía.

## **Capítulo III**

### **Desarrollo**

#### **3.1 Introducción**

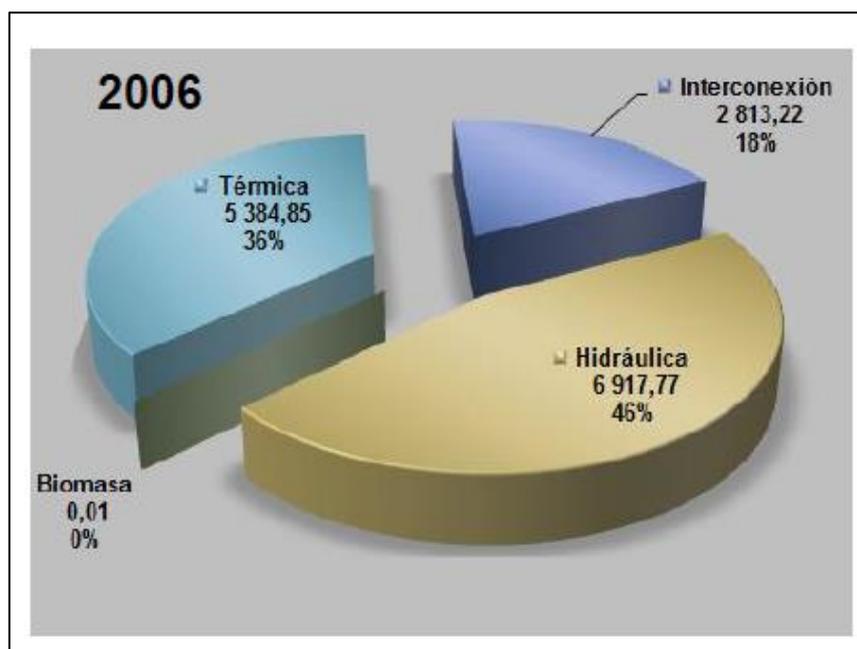
Las redes inteligentes tienen la capacidad de integrar acciones de todos los agentes, sean estos productores o consumidores, a fin de distribuir la energía de manera eficiente de modo que sean sostenibles, seguras y rentables. Una red inteligente representa a la tecnología digital que da paso a la comunicación bidireccional entre clientes y compañía. Estas redes emplean productos o servicios innovadores, además de tecnologías avanzadas en un concepto de monitoreo, control y comunicación.

La necesidad de contar con redes inteligentes para una empresa nace partiendo del conocimiento de las tendencias macro que afectan al sistema eléctrico, dado a que estos contribuyen al incremento de la calidad y fiabilidad de la distribución del suministro de energía eléctrica, pudiendo detectar problemas y aislarlos al momento justo para evitar desastres o permitiendo su rápida recuperación. Las redes inteligentes ayudan a mantener la sostenibilidad del medio ambiente, permitiendo la integración máxima de las fuentes renovables y de las instalaciones de mantenimiento de energías.

#### **3.2 Redes inteligentes en el Ecuador**

##### **3.2.1 Desafíos del cambio de la matriz energética**

El desafío de las redes inteligentes en el Ecuador comienza con la política estratégica del cambio de la matriz productiva, específicamente el cambio en la matriz energética. El ministerio de Electricidad y Energía Renovable a través del Operador Nacional de Electricidad (CENACE) da a conocer las perspectivas del sistema eléctrico ecuatoriano. La figura 18 muestra las fuentes de generación eléctrica que el Ecuador tenía en el 2006, en ella se indica que aproximadamente el 36 % de la producción de energía del país proviene de la generación térmica.



*Figura 18. Situación de la Matriz Energética a 2006*  
*Fuente: Cifras oficiales. Informe CENACE (2006)*

La figura 19 muestra la distribución de generación proyectada para el 2016, el aumento considerable de la generación hidráulica obedece a que paulatinamente se están integrando al sistema interconectados los nuevos proyectos hidroeléctricos de gobierno, como por ejemplo el proyecto Coca Codo Sinclair, construido en la provincia de Napo, sólo el mencionado proyecto tiene la capacidad de producir el 30 % de la demanda de energía del país. (Agencia Pública de Noticias de Ecuador y Suramérica, 2016).

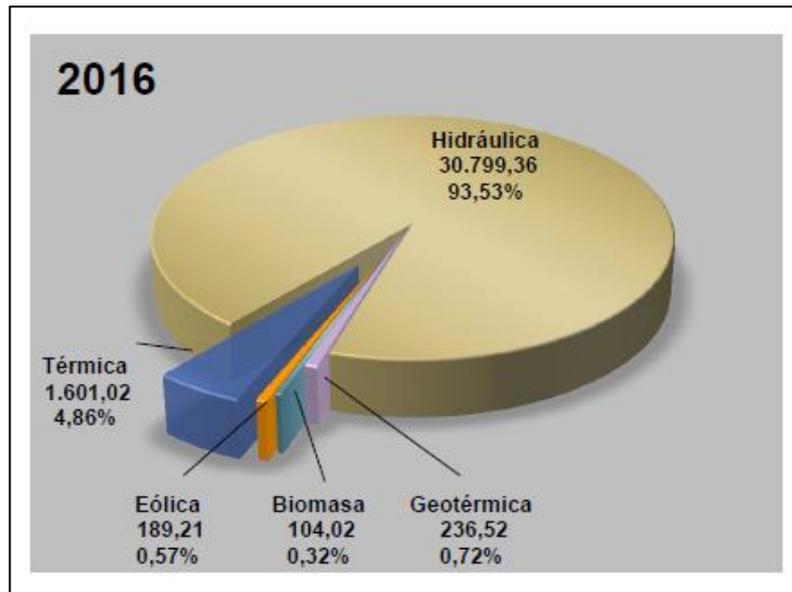


Figura 19. Distribución proyectada de la generación eléctrica del Ecuador  
Fuente: Cifras oficiales. Informe CENACE (2016)

Las cifras oficiales del CENACE indican que entre las perspectivas está el incremento de la eficiencia en la cadena de suministro de energía reflejada en el año 2012 de 54% a 73.45% aproximadamente para el año 2017.

La gobernabilidad y la sustentabilidad es el objetivo al considerar factores que promuevan el fortalecimiento del sector eléctrico, básicamente bajo los principios de calidad, confiabilidad y seguridad, sustentabilidad económica y sustentabilidad ambiental.

### 3.2.2 Necesidad de las Redes Inteligentes en el Ecuador

La necesidad de las implementaciones de redes inteligentes en el Ecuador nace del conocimiento de las tendencias macro a nivel mundial que afectarán al sector eléctrico nacional. La mayoría de estas tendencias están identificadas o son reconocidas como revoluciones tecnológicas. Sin embargo en el Ecuador aún no se cuenta con la capacidad para enfrentar con éxito este periodo de constantes cambios y transiciones.

Por un lado están los factores que ejercen presión en la industria eléctrica nacional como lo son: las energías renovables, la constante necesidad de eficiencia energética y la problemática de la conciencia ambiental constituyen aspectos en su mayoría externos. Los aspectos internos que

ejercen presión en el sistema son el gobierno mediante sus facultades regulatorias y de inversión estratégica. Sin embargo la fuerza de trabajo interna envejecida, la reducción de las inversiones y la infraestructura obsoleta representan aspectos internos de debilidad que serían impedimento para entrar en procesos de cambio y mejoras.

El Banco interamericano de desarrollo sostiene que en América Latina y el caribe al 2030 se tendrá unas pérdidas de 180 TWh y en Ecuador 1.27 TWh, con un promedio de pérdidas de 16%. Jiménez,(2014)



Figura 20. Proyección pérdidas eléctricas al 2030 en América latina y el Caribe  
Fuente: Jiménez (2014)

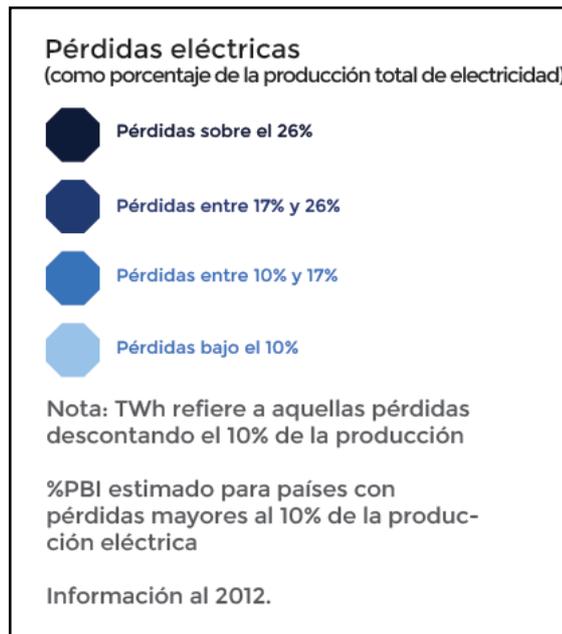


Figura 21. Porcentajes de pérdidas según los colores de la figura 19.  
Fuente: Jiménez (2014)

Podemos tomar como argumento las pérdidas de energía y justificar que la implementación de las redes inteligentes en el país es una estrategia más, para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico nacional.

### **3.2.3 Componentes de la Red Inteligente en el Ecuador.**

Los componentes de la Red Inteligente que se procuran manejar desde el Operador Nacional de Electricidad:

- Infraestructura eléctrica relacionada específicamente a aspectos de la Red
- Sistemas de Información incluyendo comunicaciones, cyber seguridad etc.
- Fuentes de energía de la Red, esto incluye la diversificación de las fuentes y no el modelo limitado que prevaleció por mucho tiempo en el país.
- Hábitos de consumo y participación directa del consumidor. El objetivo es lograr que éste se convierta en un “*prosumidor*” es decir, que también es capaz de generar energía eléctrica y no sólo consumirla.
- Controles especializados mediante herramientas tecnológicas e integrándolas para lograr la mayor eficiencia posible.
- Manejar los conceptos de mercados de electricidad y aprovechar la oportunidad que esto supone para el país.
- La política eléctrica debe ir de la mano con los cambios que se experimenten a nivel nacional en estos sectores
- Modernización de los componentes de borde, estos son transportes, mercados energéticos y el concepto de ciudades inteligentes.

Entre otros, los principales objetivos de éste cambio en la concepción Nacional es estructurar un sistema eléctrico auto-restaurable (*self-healing*), el consumidor debe tener claro el empoderamiento sobre la realidad eléctrica nacional, lograr una potencia de alta calidad, éste además debe ser transparente para varias opciones de generación y almacenamiento de

energía. Con todo esto se lograría también madurar los mercados de electricidad y optimizar la utilización de activos.

### **3.3 Proyectos de redes inteligentes en el Ecuador**

Los proyectos de redes inteligentes a nivel nacional fueron trazados mediante un mapa de rutas “Redes Inteligentes Ecuador” estructurado en esfuerzo conjunto entre: El ministerio de Electricidad y Energía Renovable, la Corporación Eléctrica Nacional (CELEC) y el Operador Nacional de Electricidad (CENACE). El mapa de ruta constituyó una de las tareas que se asignó al comité ejecutivo formado bajo acuerdo ministerial número 301, el cual en el art. 1, institucionalizó el PROGRAMA DE REDES INTELIGENTES ECUADOR (REDIE). La figura 22 es un compendio de toda la ruta trazada de las redes inteligentes en el Ecuador.

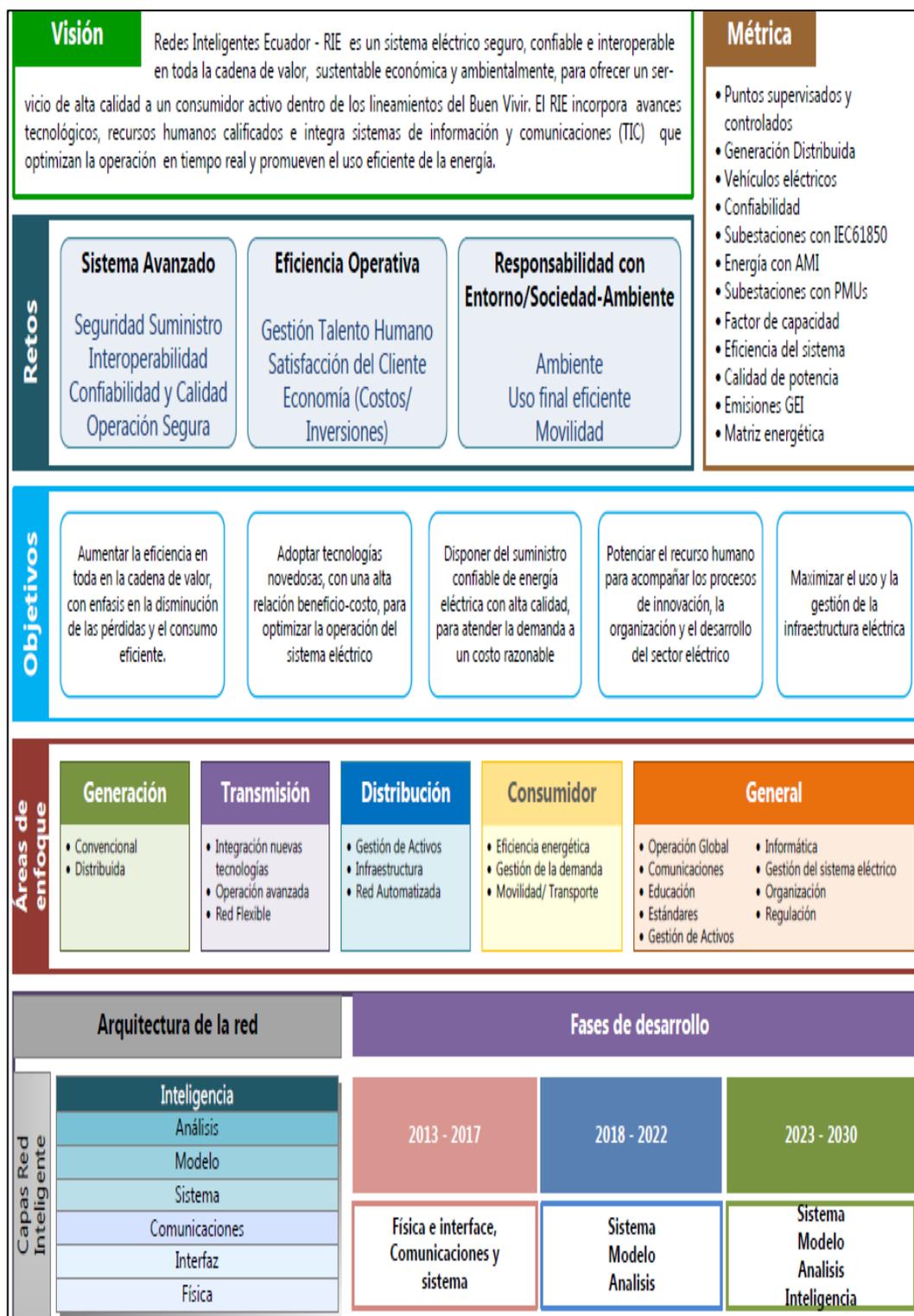


Figura 22. Mapa de ruta de las redes inteligentes en el Ecuador  
 Fuente: CENACE

### **3.4 Situación actual de las redes inteligentes en el Ecuador**

Al momento el mapa indica encontrarse en la primera fase comprendida en el periodo 2013 – 2017, a continuación detallaremos las fases ya completadas como las que están en curso desde cada una de las áreas de enfoque.

#### **3.4.1 Área de enfoque**

##### **Generación:**

- Actualización de centrales existentes
- Ejecución, planeamiento, expansión de generación:
  - Proyectos Hidroeléctricos:
    - Coca Codo Sinclair
    - Paute – Sopladora
    - Toachi – Pilatón
    - Minas – San Francisco
    - Delsi – Tanisagua
    - Mazar – Dudas
    - Manduriacu
    - Quijos
  - Proyectos termodinámicos:
    - Esmeralda II
    - Jaramijó
- Estudio de potencial de pequeñas centrales hidráulicas, eólicas, etc:
- Pilotos renovables en Galápagos
- Integración de energías renovables en la red
- Proyecto eólico Villonaco
- Generación fotovoltaica

##### **Transmisión:**

- Ejecución, planeamiento y expansión de la transmisión. (Red transmisión de 50kv, expansión de las redes de 138 y 230 kv)

- Plan de migración hacia IE61850
- Backbone de información y recolección de datos
- Implementación de FACTS
- Implementación de PMUS (Red WAMS del CENACE)
- Integración de sistemas eléctricos
- Integración regional: interconexión Peru – Ecuador a 500kv
- Protección sistémica CENACE-TRANSELECTRIC
- Subestaciones avanzadas

**Distribución:**

- Sistema SCADA-GIS-DMS-OMS-MWM (proyecto SIGDE-MER, implantación centros de control, ejecución, planeamiento, expansión de redes de sub-transmisión y distribución).
- Automatización de subestaciones y redes de distribución.
- Backbone de información y recolección de datos
- Infraestructura avanzada de medición (AMI-Guayaquil)
- Planeamiento óptimo de distribución
- Ejecución planeamiento expansión de Redes de Sub-transmisión y distribución.

**Consumidor:**

- Equipos de uso final eficiente
- Programas de eficiencia energética
- Transporte eléctrico individual (autos eléctricos)
- Transporte eléctrico masivo (Metro de Quito – Tranvía de Cuenca)
- Cocinas de inducción

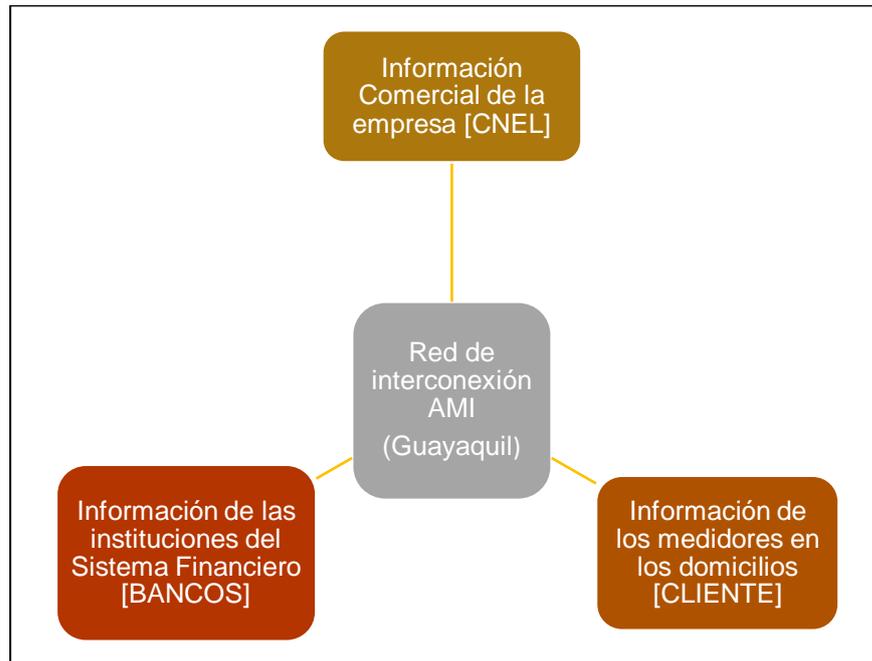
**General:**

- Wide Area Monitoring System (WAMS) (Estabilidad Oscilatoria)
- Infraestructura de telecomunicaciones (TICs – CELEC)
- Plan de métricas (metas y supervisión)
- Modelo Estado estable y dinámico
- Reducción de congestión del Sistema
- Capacitación

- Modelo común del sistema (CIM) y aplicaciones avanzadas
- Adopción de estándares internacionales
- Seguridad del personal
- Diseño, arquitectura, visión y estrategia
- Smart Grid
- Incentivos a plantas de energía renovable
- Evaluación de riesgos
- Rediseño de la organización, procesos y sistemas de gestión
- Ciberseguridad: estándares y protocolos
- Planeamiento óptimo del sistema
- Incluyendo conceptos SG
- Convenios con universidades e institutos de formación
- Análisis de estándares (Ecuador parte del SGIP)
- Trabajo con el regulador y otras empresas – regulación dinámica

### **3.5 Situación actual de las redes inteligentes en Guayaquil**

La Empresa Pública Corporación Nacional de Electricidad por iniciativa de su actual administración inició un proyecto de implementación de redes inteligentes en el año 2010. La infraestructura de medición avanzada (AMI) consistirá en la interconexión de los medidores de energía eléctrica con la información comercial de la institución y con las instituciones del sistema financiero.



*Figura 23. Esquema de conexión de infraestructura de medición avanzada*

*Fuente: Rengifo, (2011)*

*Elaboración: Danny Mora*

El área escogida fue el sector de Vía a la Costa ya que en dicha área los índices de pérdidas no técnicas reflejaron un gran incremento, además dicha zona es preferentemente industrial. La figura 24 muestra las etapas de instalación de los equipos de medición.



Figura 24. Etapas de instalación de los medidores inteligentes

Fuente: Rengifo, (2011)

Elaboración: Danny Mora

Para cada una de las fases del proyecto en Guayaquil se usaron diferentes medidores cada uno de diferentes fabricantes, el cual garantiza el funcionamiento y el acopio de la información a concentradores bidireccionales. Esta infraestructura de redes tecnológicas debe ser gestionada por medio de un software cada uno con sus diferentes propiedades.

Tabla 3. Marca de medidores y sus gestores de información.

Medidores de Energía	Lo medidores de un mismo fabricante se transfieren a concentradores bidireccionales con capacidad de hasta 2000 medidores	La interacción con los gestores de medidores se realiza por medio del servicio web	Gestores de Medidores
Elster (fase 1 y 4)			Energy-Axis
ltron (fase 2)			OpenWay
Trilliant (Fase 3)			SerViewCom

Fuente: Rengifo, (2011)

Elaboración: Danny Mora

La ventaja de este tipo de infraestructuras radica en su versatilidad, para así reducir sus fallas. Las combinaciones para el tráfico y la transmisión de la información son numerosas y el mecanismo de este modelo asigna a la transmisión la primera ruta que se encuentre habilitada para garantizar la no interrupción en la comunicación de los medidores a los concentradores, a esta red se denomina “redes Mesh”. A diferencia del modelo tradicional de los sistemas PLC (Power Line Communication). En la figura 25 se muestra la foto de un medidor inteligente instalado en una urbanización Bosques de la Costa en el sector de vía a la Costa.



*Figura 25 Medidor inteligente instalado en una residencia de la ciudadela Bosques de la Costa*

*Fuente: Investigación de campo*

*Elaboración: Danny Mora*

El la figura 26 se muestra un medidor inteligente que registra los consumos de la industria agropecuaria minera Indami Cía. Ltda.



*Figura 26. Medidor inteligente industrial, Indami Cía. Ltda*

*Fuente: Investigación de campo*

*Elaboración: Danny Mora*

### **3.5.1 Resultado de investigación de la situación actual de redes inteligentes en Guayaquil**

Como se mencionó en el punto 3.4.1, el Ecuador no dispone de redes inteligentes, sin embargo la ciudad de Guayaquil es la urbe con mayor cobertura de medición inteligente, este es un gran paso a las redes inteligentes a futuro.

Según las entrevista realizada a Viscarra (2016) se determinó que el Ecuador no cuenta en estos momentos con redes inteligentes, si bien es cierto, está trazado una ruta a seguir, los proyectos no están avanzando según lo planificado, debido a la situación económica del país, debido a que la implementación de las redes inteligentes a nivel nacional tendrían una inversión de 60 millones de dólares, Andes (2016). Actualmente existen proyectos de medición inteligente en el área de acción de CNEL en las provincias del Guayas, El Oro, Los Rios, Manabí y Santa Elena, esta implementación tiene una cobertura tanto al área residencial como industrial. Según Viscarra (2016), el área industrial en la ciudad de Guayaquil tiene una cobertura del 100% y del área residencial una sexta parte de los clientes cuenta con medición inteligente. Según Rengifo(2011) en la ciudad de Guayaquil existen 58167 medidores instalados distribuidos entre el sector residencial, industrial y comercial.

Hay que acotar que en el sector industrial solo existen equipos de medición inteligente (controlados por telemetría) estos dispositivos no tienen la capacidad de realizar reconexiones, pero sí tienen la capacidad de monitorear la demanda de energía y contribuir con la buena administración del recurso energético.

El la figura 27 se puede apreciar el porcentaje de medidores inteligentes instalados con relación a los medidores convencionales.

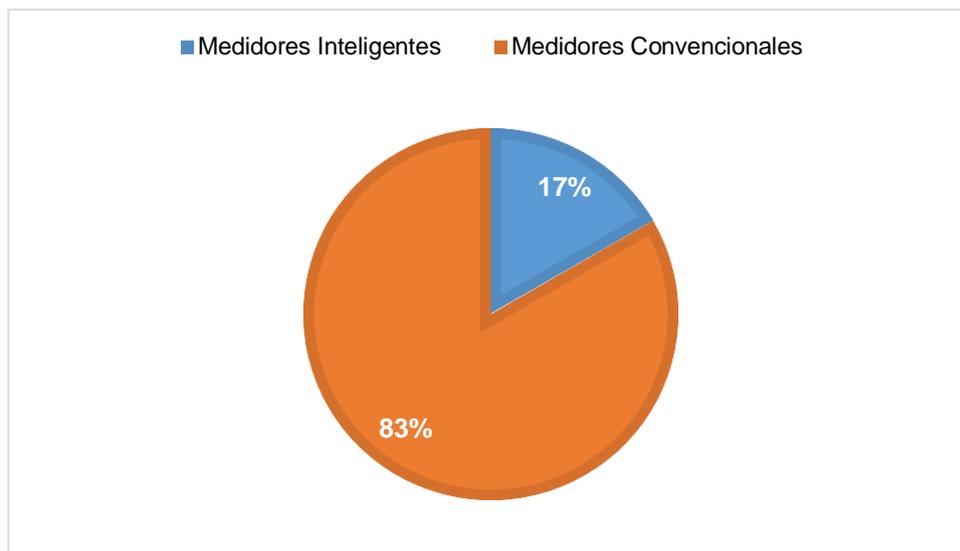


Figura 27. Distribución de equipos de medición en clientes residenciales CNEC

Fuente: Viscarra (2016)

Elaboración: Danny Mora

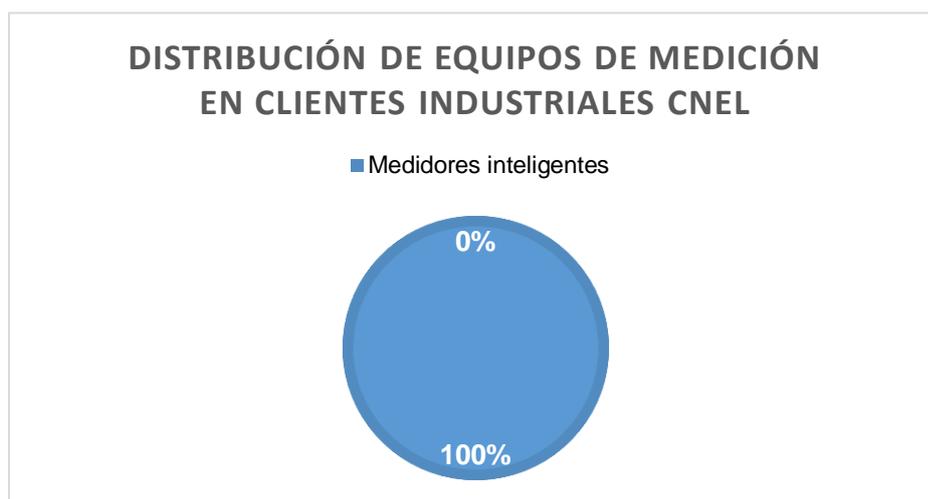


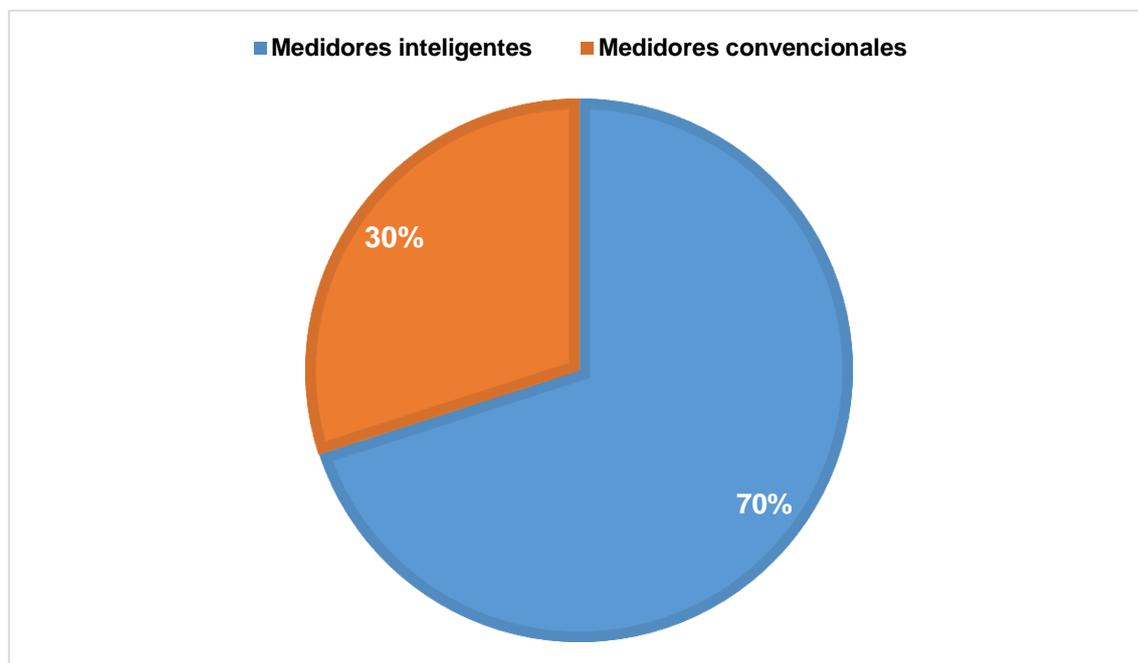
Figura 28. Distribución de equipos de medición en clientes Industriales CNEC

Fuente: Viscarra (2016)

Elaboración: Danny Mora

Según Viscarra (2016), CNEC dentro de su área de concesión tienen una cobertura de medición inteligente a nivel de energía distribuida del 70%, es decir que solo el 30% no tiene una gestión de control a través de los medidores inteligentes. La figura 29 ilustra lo mencionado.

Es importante mencionar que CNEL atiende a una superficie de 114194.60 Km<sup>2</sup>, lo que es aproximado el 45 % del territorio nacional y que abarca al 50 % de usuarios a nivel nacional. CNEL, (2014)



*Figura 29. Cobertura a nivel de energía con medición inteligente en la ciudad de Guayaquil*

*Fuente: Viscarra (2016)*

*Elaboración: Danny Mora*

### **3.5.2 Inconvenientes suscitados con la instalación de los medidores inteligentes.**

Debido a que no se realizó una campaña masiva de la nueva tecnología se suscitaron los siguientes inconvenientes con los usuarios.

- Resistencia por parte del cliente a la instalación de los nuevos medidores.
- Por tener una corriente de arranque menor, estos medidores son más sensibles y precisos, y al momento de medir el consumo, captaban lecturas como la de un TV en modo de reposo, esto generó reclamos por parte de los abonados.

- Si el cliente no estaba al día con sus pagos el corte es inmediato; pero hay que acotar, una vez regularizado el pago la conexión también es inmediata.

### **3.6 Las redes inteligentes como método de reducción de pérdidas de energía**

Las redes inteligentes por si solas no son capaces de contribuir en la reducción de pérdidas de energía eléctrica en la dependencia geográfica donde hayan sido implementadas. Para que dicho objetivo sea alcanzado es preciso implementar también medidores de transmisión de energía en los transformadores de distribución.

Mediante este mecanismo el sistema inteligente (AMI para este caso) tiene la capacidad de medir y monitorear a intervalos de 15 minutos el diferencial entre la energía entregada por el transformador de distribución y la energía consumida por usuarios que estén conectados a dicho transformador.

De esta manera se pudo reflejar una disminución sustancial en el porcentaje de pérdidas, medidas en la cantidad promedio de kw por hora como lo refleja la siguiente tabla tomada de los datos de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones.

*Tabla 4. Porcentaje de reducción de pérdidas en área de influencia del proyecto de medición inteligente.*

Fecha	Energía [Kw/h]	Porcentaje de pérdida de energía
Agosto – 2010	106.737	12.26%
Marzo – 2011	71.902	6.65%
Julio – 2011	37.585	3.46%
Septiembre – 2011	33.663	3.31%

*Fuente: CNEL*

*Elaboración: Danny Mora*

La figura 29, muestra la curva que de reducción de las pérdidas conforme se incrementa el número de medidores inteligentes instalados.

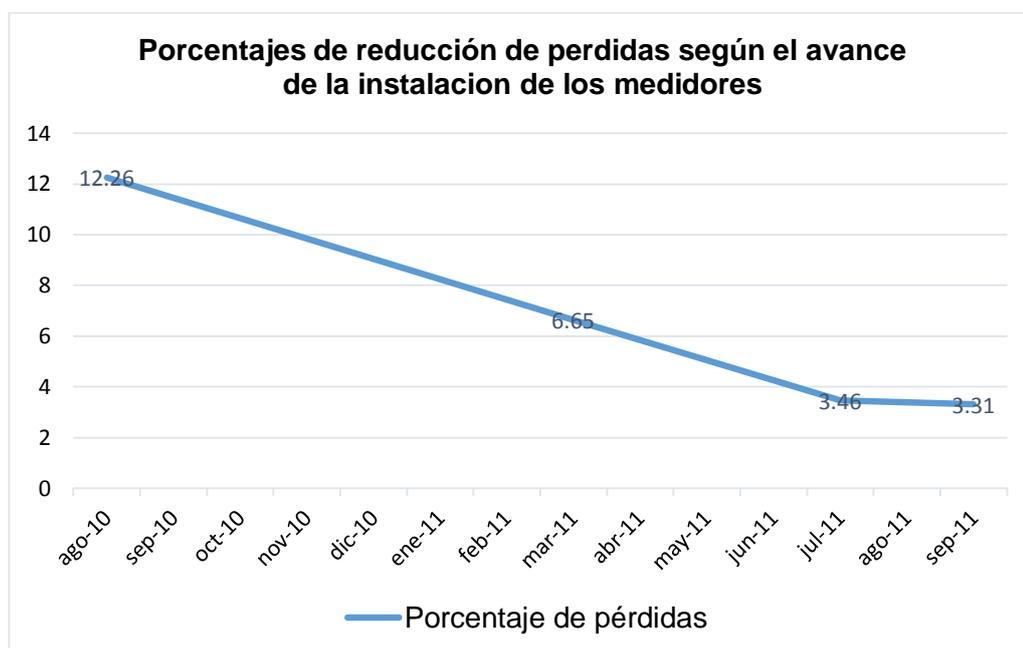


Figura 30. Curva de reducción de pérdidas

Fuente: CNEL

Elaboración: Danny Mora

### 3.7 Proyecciones de las redes inteligentes en Guayaquil y en Ecuador

Las proyecciones de los proyectos de redes inteligentes están sujetas a la ruta de redes inteligentes establecida por el ministerio energía, institucionalizado mediante el acuerdo ministerial 301. Este proyecto tiene planificado que en el 2030 el Ecuador tenga instaladas redes inteligentes en las aéreas urbanas de todo el país. Hasta el momento los avances se han dado con la medición inteligente, en la figura 31 se describen estos proyectos.

EMPRESAS	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Centrosur	No posee	AMI-AMR Compatible IEC				
Quito	No posee	AMI-AMR Compatible IEC				
CATEG-D	No posee	AMI-AMR Compatible IEC				
El Oro	No posee	AMI-AMR Compatible IEC				
Guayas Los Ríos	No posee	AMI-AMR Compatible IEC				
Milagro	No posee	AMI-AMR Compatible IEC				
Manabí	No posee	AMI-AMR Compatible IEC				
Sur	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC
Azogues	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC
Santo Domingo	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC
Ambato	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC
Esmeraldas	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC
Norte	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC
Sta.Elena	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC
Los Ríos	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC	AMI-AMR Compatible IEC
Bolívar	No posee	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC
Cotopaxi	No posee	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC
Riobamba	No posee	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC
Galápagos	No posee	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC
Sucumbíos	No posee	No posee	No posee	No posee	No posee	AMI-AMR Compatible IEC

Figura 31. Planificación de AMI

Fuente: CONELEC (2016)

### 3.8 Metodología de Investigación: Entrevista

Como metodología de la investigación se ha desarrollado una entrevista dirigida a uno de los integrantes del equipo técnico y administrativo de la Corporación Nacional de Electricidad E.P. mediante la cual se ha recopilado información suficiente al interior de la institución rectora en este tema a nivel estatal. Las entrevistas están expuestas en los anexos 1 y 2.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1 Resultados**

El cambio de matriz energética impulsado por gobierno ha encontrado en las redes inteligentes un herramienta de integrar de forma eficiente los proyectos de generación. En la actualidad las redes inteligentes como tal, en el Ecuador no existen, sin embargo existe el proyecto de implementación a largo plazo, el cual está documentado en el acuerdo ministerial 301 y se estima que en el 2030 el Ecuador contara con redes inteligentes. La empresa pública CNEL ha dado los primeros pasos, instalando 58167 medidores en la ciudad de Guayaquil, repartidos en clientes residenciales, comerciales e industriales; aproximadamente en Guayaquil la sexta parte de los clientes residenciales tienen medidores inteligentes y esto ha significado una disminución de las pérdidas de energía en aproximadamente 3.1%, lo que en términos de energía es 33.663Kw/h.

#### **4.2 Discusión**

Este proyecto de investigación ha permitido conocer la situación actual de las redes inteligentes del Ecuador y sobre todo de la ciudad de Guayaquil; se ha determinado que el Ecuador cuenta con un proyecto de redes inteligentes y que Guayaquil cuenta ya con sus primeros sistemas de medición inteligente. Los métodos utilizados para recabar la información fueron acertados ya que no existe una literatura formal en donde se exponga la realidad de esta tecnología en el país. Indiscutiblemente las entrevistas al personal técnico fue el aporte más importante de este trabajo, porque se conoció de primera mano los avances de los proyectos. Uno de los resultados más relevantes fue que la implementación de los medidores inteligentes en Guayaquil ocasiono una reducción importante de las pérdidas de energía, las cuales

obedecen a pérdidas no técnicas que son ocasionadas por acciones malintencionadas de los usuarios.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- En la ciudad de Guayaquil actualmente no se dispone de redes inteligentes, sólo existe la implementación de medición avanzada la cual es una parte de una red inteligente.
- En el Ecuador no existen redes inteligentes implementadas; según el mapa de ruta de las redes inteligentes en el 2030 el país contará con esta tecnología.
- Las redes inteligentes en conjunción de modelos de gestión integrales son un mecanismo ideal que posibilitan la reducción de pérdidas de energía.
- Las redes eléctricas posibilitarán el desarrollo de la generación distribuida, la cual involucrará la participación de la sociedad en la generación de energía con medios renovables; esto contribuirá a reducir la polución y la disminución de costos por generación centralizada.
- Las redes inteligentes abrirán paso al intercambio de información entre el cliente y el proveedor, esto facilitará la gestión de consumo de energía, lo cual conlleva a crear una nueva cultura de energía en la sociedad y corresponsabiliza al usuario con la eficiencia del sistema eléctrico.
- Aproximadamente el 6.25% de los usuarios residenciales y el 100 por ciento de los industriales en Guayaquil disponen de medidores inteligentes.

## 5.2 Recomendaciones

- Previo a la implementación de una red inteligente se debería considerar campañas informativas, que permitan a los usuarios conocer las ventajas de las redes inteligentes y con esto evitar la resistencia del cambio del sistema convencional.
- Las instituciones educativas deberían ser copartícipes del desarrollo de las redes inteligentes, éstas se deberían considerar en su plan de estudio los conceptos elementales, y ser una fuente de desarrollo de propuestas para las redes inteligentes.
- Debido a que la corriente de arranque de los medidores inteligentes es más baja, a los usuarios se los debe concientizar de que su consumo estándar tendría un ligero incremento, lo que los debería motivar a una mejor administración de la energía.
- Con el fin de optimizar y disminuir la inversión en la implementación de las redes inteligentes, se podría analizar la factibilidad de utilizar la infraestructura de comunicación instalada como por ejemplo las redes de comunicación móvil.

### **5.3 Trabajo Futuro**

Como tema importante, que está fuera del alcance de éste trabajo, es un Estudio de las Arquitecturas de Comunicación que se pueden utilizar en las redes inteligentes así como también la evaluación de factibilidad del uso de la infraestructura instalada de redes móviles como medio de comunicación de una red inteligente en el Ecuador.

## Bibliografía

- ABB . (2015). *Introducing HV*. Ludvika: Uno Lamm HVDC Center.
- Ackermann, T. (2001). *Distributed generation: a definition*. Stockholm: Department of Electric Power Engineering.
- Agencia Pública de Noticias de Ecuador y Suramérica. (15 de 08 de 2016). *Andes*. Obtenido de <http://www.andes.info.ec/es/noticias/hidroelectrica-coca-codo-sinclair-arranca-operaciones-ecuador-primeras-cuatro-turbinas.html>
- Araujo, A. (25 de 07 de 2016). *El comercio*. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/energia-electrica-ecuador-perdidas.html>
- Arcega, F. J. (2014). Study of Harmonics Thermal Effect in Conductors Produced by Skin Effect . *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*.
- ARCONEL. (25 de 07 de 2016). *Agencia de Regulación y Control de electricidad*. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/perdidas/>
- Borja, I. F. (27 de Junio de 2011). Medidores Inteligentes. (A. Pinargote, Entrevistador) Ecuavisa. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=HscWfUSrpXo>
- CELEC. (14 de 07 de 2016). *CELEC*. Obtenido de [https://www.celec.gob.ec/transeselectric/images/stories/baners\\_home/PIan%20expansion/mapa%20snt%20a%20diciembre%202013.pdf](https://www.celec.gob.ec/transeselectric/images/stories/baners_home/PIan%20expansion/mapa%20snt%20a%20diciembre%202013.pdf)
- Collieu, A. M. (1977). *Propiedades mecánicas y térmicas de los materiales*. Londres: Reverte.
- EMELMANABÍ. (2009). *Plan estratégico para la reducción de pérdidas comerciales en la empresa eléctrica distribuidora regional Manabí*. Manta: EMELMANABÍ.

- Fundación Telefónica . (2013). *Smart Energy*. . Barcelona: Ariel S.A.
- García. (2013). *Infraestructura De Medición Avanzada En Las Redes Inteligentes*. Cuenta: Universidad Del Azuay.
- García, M. H. (2013). *Descripción De Redes Eléctricas Inteligentes Y Su Aplicación En Los Sistemas De Distribución*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Gómez, J. R. (2014). LA UNIVERSIDAD EN LA TRANSFORMACIÓN HACIA LAS REDES. *Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*, 59.
- Guerrero, E. R. (2006). Aplicación de Sistemas de Almacenamiento de Energía con supercondensadores en plantas de generación fotovoltaica. *Sistemas Eléctricos y Electrónicos de Potencia (PE&ES)*, 6.
- Hammerstrom, D. (2007). AC Versus DC Distribution Systems Did We Get it Right? *Energy Science and Technology Division* (pág. 5). Tampa: IEEE.
- Hernández, Y. E. (2014). Nuevo Modelo De Distribución De Corriente Continua En Baja Tensión En Smart Buildings. *II Congreso Iberoamericano sobre Microrredes con Generación Distribuida de Renovables*, (pág. 10). Madrid.
- Inga. (2013). Comunicaciones celulares para medición para la medición inteligente de la energía eléctrica en sistemas de distribución. *INGENIUS*, 13.
- Inga. (2013). Estrategias de Negocio Para Medición Inteligente Acoplado Energías Renovables. *Primer Congreso Internacional y Expo Científica*, (pág. 10). Quito. Recuperado el 13 de 06 de 2016
- Inga, E. (2013). Estrategias de Negocio Para Medición Inteligente Acoplado Energías. *Primer Congreso Internacional y Expo Científica* , (pág. 10). Quito.
- Jiménez, R. (2014). *Dimensionando las pérdidas de electricidad*. Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo.

- Jukka LASSILA, T. K. (2013). Potential And Strategic Role Of Power Electronics In Electricity Distribution Systems . *20th International Conference on Electricity Distribution* (pág. 5). Finlandia: Lappeenranta University of Technology .
- Luna, V. O. (2013). Comunicaciones celulares para medición. *Ingenius*, 13.
- Martínez. (2008). MEDIDORES DEL MAÑANA. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 3.
- Molledo, M. E. (2009). Rediseño del proceso de control de pérdidas de energía eléctrica. Santiago, Chile: FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS.
- Momoh, J. (2012). *Smart grid*. New Jersey : Wiley.
- Moncayo, J. M. (2012). *Operacion de montaje de apoyo en redes eléctricas aéreas*. Antequera, Málaga: IC editorial .
- Montecelos, J. T. (2013). *Desarrollo de redes eléctricas y centros de transformación*. Paraninfo: Madrid.
- Motecelos, J. T. (2015). *Subestaciones Eléctricas*. Madrid : Paraninfo.
- Moya, J. H. (2006). *Redes y servicios de telecomunicaciones*. Madrid: Clara de la Fuente Rojo.
- Orejuela, V. (2015). *Response of Residential Electricity Demand Against Price Signals in Ecuador*. Quito.
- Ortega, E. M. (2012). Redes de Comunicación en Smart Grid. *INGENIUS*, 20.
- Pasi Nuutinen, P. S. (2008). Customer-End Inverter in an LVDC Distribution. *ResearchGate*, 6. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/27516813\\_Customer-End\\_Inverter\\_in\\_an\\_LVDC\\_Distribution\\_Network](https://www.researchgate.net/publication/27516813_Customer-End_Inverter_in_an_LVDC_Distribution_Network)
- Pasi Salonen, T. K. (2007). An LVDC Distribution System Concept. *Discover the world's research*. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/publication/27516814\\_An\\_LVDC\\_Distribution\\_System\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/27516814_An_LVDC_Distribution_System_Concept)

- Pasi Salonen, T. K. (2007). *An LVDC Distribution System Concept*. Lappeenranta : Department of Energy.
- Rengifo, C. F. (2011). *Implementación de una infraestructura avanzada de medición en la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil*. Bogota: Universidad del Cauca.
- ROJAS, A. M. (2013). *Estado del arte de las redes de distribución de energía en corriente*. Medellín: Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Eléctrica-Electrónica.
- Salonen. (2008). *An LVDC Distribution System Concept*. Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics.
- Serra, J. (2008). *Guía técnica de eficiencia energética eléctrica*. Circuto S.A.
- Tesla. (29 de 06 de 2016). *Teslamotors*. Obtenido de Tesla: [https://www.teslamotors.com/es\\_MX/about](https://www.teslamotors.com/es_MX/about)
- Tillmetz, D. W. (2014). The Electrical Energy Storage Magazine. *EES*, 7.
- Usón, A. A. (2010). *Eficiencia energética en instalaciones y equipamiento de edificios*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Vicini, R. A. (2012). *Smart Grid*. Mexico D.F: Cengage Learning.
- Vieira, G. (2011). Electrical Energy Losses Determination In Low Voltage – A Case Study. *Revista Eletrônica Sistemas & Gestão*, 26.
- Wiley, J. (2016). *Line loss analysis and calculation of electric power systems*. China: China Electric Power Press.
- Xavier Elias Castells, S. B. (2012). *Energía, agua, medioambiente territorialidad y sostenibilidad*. Madrid: Dias de Santos.
- Zhong, Y. F. (2014). An Investigation of High Efficiency DC-AC Converters for LVDC Distribution Networks. *In conference on Power Electronics, Machines and Drives PEMD*. Manchester.

## Glosario

**Diabático:** Que lleva consigo intercambio de calor

**Efecto pelicular:** Este efecto se caracteriza por que la densidad de corriente se distribuye hacia los extremos del conductor, lo que ocasiona un aumento en la resistencia de la línea de transmisión; lo cual no sucede en los conductores energizados en CC en donde la densidad de corriente es la misma en todo el conductor, lo cual reduce la resistencia de la línea y disminuye la caída de tensión (Nuutinen et al., 2008).

# **ANEXOS**

## Anexo A

### Entrevista 1

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL</p>	<p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL</p> <p>FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO</p>
Objetivo	Recopilar información suficiente acerca de la realidad actual acerca del uso de Redes Inteligentes en el Ecuador.
Institución	Corporación Nacional de Electricidad (CNEL)
Entrevistado	Sr. Daniel Guayaquil
Cargo	Supervisor de Operaciones
Tema	Redes Inteligentes en el Ecuador
Objetivo	Recopilar información suficiente acerca de la realidad actual acerca del uso de Redes Inteligentes en el Ecuador.
<u>Desarrollo de la Entrevista</u>	
<p>1. ¿Existen proyecto de Smart Grid implementándose actualmente?</p> <p>Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>	
<p>2. ¿A qué sectores de la población están orientados las redes inteligentes?</p> <p>Sector de consumos medios y altos.</p>	
<p>3. ¿Qué equipos se están utilizando en la implementación de las redes?</p> <p>Equipos americanos y canadienses.</p>	
<p>4. ¿Qué tipo de tecnología que utiliza para la comunicación de medidores?</p> <p>Tecnología AMI (Infraestructura de medición avanzada)</p>	

5. ¿Cuántos usuarios actualmente gozan de las redes inteligentes?

20.000 usuarios

6. El sector industria está atendido

Sí

No

7. ¿Cuáles son los beneficios que tienen los Smart Grid (redes inteligentes) para la empresa eléctrica?

- Tiene los siguientes beneficios.
- Automatización de los servicios.
- Menor personal designado para estas zonas.
- Corte y reconexión automática.
- Gestión de cobranza automatizada.
- Medir la calidad del servicio.

8. ¿Cuáles son los beneficios para el usuario?

- Control de consumos diarios.
- Toma de lecturas sin errores de los medidores.
- Facturación correcta.

9. ¿Hay proyección de la implementación de las redes inteligentes?

Sí

No

10. Dificultades que has tenido en el desarrollo de las redes inteligentes

- Poco conocimiento de la implementación.
- Gran costo de los equipos.
- Problemas de software propietarios.
- Toma de lecturas.
- Proceso de cortes y reconexión.

Entrevistador

Mora Loaiza Danny Paúl

Fecha

martes, 30 de agosto de 2016

## Anexo B

### Entrevista 2

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL</p>	<p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL</p> <p>FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO</p>
Objetivo	Recopilar información suficiente acerca de la realidad actual acerca del uso de Redes Inteligentes en el Ecuador.
Institución	Corporación Nacional de Electricidad (CNEL)
Entrevistado	Ing. Regulo Viscarra
Cargo	Jefe de Telemetría
Tema	Redes Inteligentes en el Ecuador
Objetivo	Recopilar información suficiente acerca de la realidad actual acerca del uso de Redes Inteligentes en el Ecuador.
<u>Desarrollo de la Entrevista</u>	
<p>8. ¿Existen proyecto de Smart Grid implementándose actualmente?</p> <p>Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/></p>	
<p>9. ¿A qué sectores de la población están orientados las redes inteligentes?</p> <p>Sector de residencial, comercial e industrial</p>	
<p>10. ¿Qué equipos se están utilizando en la implementación de las redes?</p> <p>Itron, GE y Elster</p>	
<p>11. ¿Qué tipo de tecnología que utiliza para la comunicación de medidores?</p>	

Radio frecuencia, arquitectura punto - punto

12. ¿Cuántos usuarios actualmente gozan de las redes inteligentes?

Ninguno.

13. El sector industria está atendido

Sí

No

14. ¿Cuáles son los beneficios que tienen los Smart Grid (redes inteligentes) para la empresa eléctrica?

- Mejora la facturación
- Control remoto de cortes
- Control remoto de reconexión
- Alarmas de hurto y manipulación del medidor
- Alertas de pérdida de tensión

8. ¿Cuáles son los beneficios para el usuario?

- Control de consumo
- Gestión de Demanda
- Influyen en la culturización de los usuarios.

9. ¿Hay proyección de la implementación de las redes inteligentes?

Sí

No

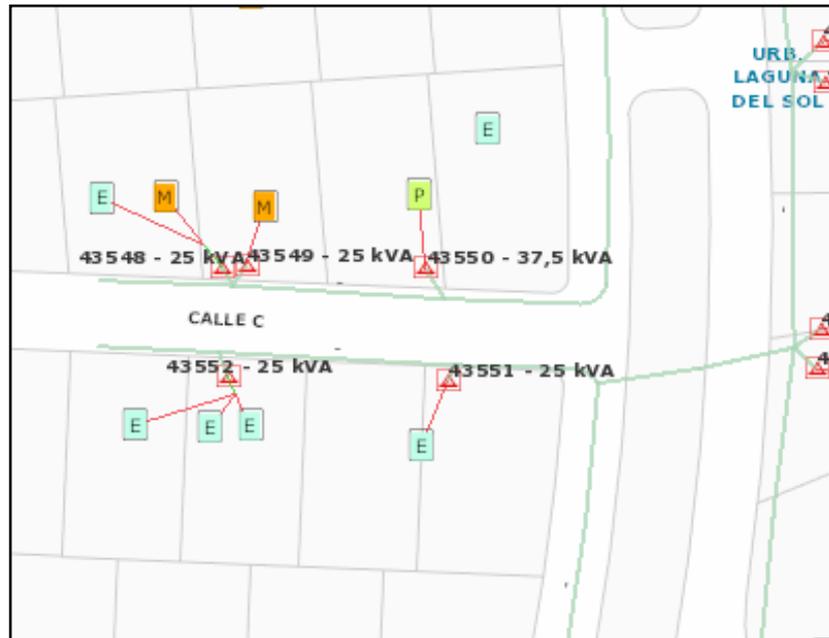
10. Dificultades que has tenido en el desarrollo de las redes inteligentes

- Resistencia a la instalación de los equipos
- Falta de conocimiento

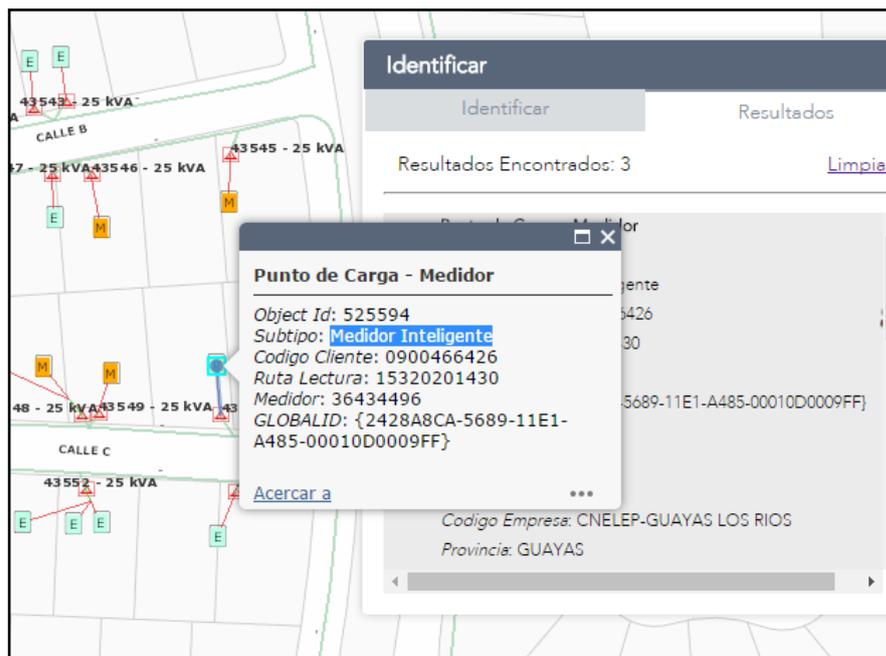
Entrevistador	Mora Loaiza Danny Paúl
Fecha	Miércoles , 27 de julio de 2016

## Anexo C

### Geoportal de CNEL ubicación de los medidores ubicación de medidores



### Información del medidor buscado en el Geoportal de CNEL





## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **Mora Loaiza Danny Paúl** con C.C: # **070383354-1** autor/a del trabajo de titulación: **Estudio de situación actual de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil y su aplicación como método de reducción de pérdidas de energía** previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánico** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

**Guayaquil, 16 de septiembre de 2016**

f. \_\_\_\_\_

**Mora Loaiza, Danny Paúl**

**C.C: 070383354-1**



## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Estudio de situación actual de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil y su aplicación como método de reducción de pérdidas de energía		
<b>AUTOR(ES)</b>	Danny Paúl Mora Loaiza		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Eduardo Vicente Mendoza Merchán		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad De Educación Técnica Para El Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Eléctrico-Mecánica		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Eléctrico-Mecánico		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	16 de septiembre de 2016	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	80
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Eléctrica, Energía, Telecomunicaciones		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Redes inteligentes, Smart grid, eficiencia energética, generación distribuida, micro redes, medidores inteligentes, smart meters.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b> (150-250 palabras):			
<p>El conocimiento del lugar en el que nos encontramos es de vital importancia, ya que nos permite evaluar nuestro posicionamiento dentro de un proceso u objetivo proyectado. Por esta razón, este trabajo pretende dar a conocer la situación actual en que se encuentra la ciudad de Guayaquil, acerca del desarrollo y la implementación de las redes inteligentes. Esta investigación dará a conocer las bases teóricas en el desarrollo de las redes inteligentes, además, se presentarán los beneficios y las dificultades que han tenido que superar los usuarios y las</p>			



empresas de energía con el fin de implementar esta tecnología. Un gran beneficio que se busca con la implementación de redes inteligentes es la reducción de los márgenes de las pérdidas técnicas y no técnicas; esto es una parte importante de la economía de las empresas, que influye en el desarrollo de un servicio de calidad y eficiente. La información mencionada en este trabajo, es el resultado de entrevistas e investigaciones de campo; la cual ha sido analizada con el fin de mostrar los datos reales.

The knowledge of place where we found is of vital importance as it allows us to evaluate our positioning inside a process or projected objective. For this reason, this paper seeks to highlight the current situation in which the city of Guayaquil is now regarding the development and implementation of smart grids. This research will give to know the theoretical basis in the development of smart grids, additionally the benefits and difficulties that have had to overcome by users and power companies in order to implement this technology will be presented. A great benefit is sought with the smart grid implementation is to reduce the losses margins technical and nontechnical; this is an important economic part of the companies which influences the development of a quality service and efficiency. The information referred in this work, is the result of interviews and field research; its which has been analyzed in order to show real data



<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	Teléfono: +593-4-3883788	E-mail: dannymoraloaiza@hotmail.com
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	Nombre: Ing. Philco Asqui, Orlando	
	Teléfono: 0980960875	
	E-mail: orlando.philco@cu.ucsg.edu.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		