



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES COMO ALTERNATIVA PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

Tutor:

Prof. Milagros Peña

Autores

ESCALONA, Alfredo. V.19.020.268

OCHOA, Alexis. V. 19.724.695

BÁRBULA, JUNIO DE 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



**REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES COMO ALTERNATIVA PARA EL
USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA.**

Tutor:

Prof. Milagros Peña

Autores

ESCALONA, Alfredo. V.19.020.268

OCHOA, Alexis. V. 19.724.695

BÁRBULA, JUNIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado **“REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES COMO ALTERNATIVA PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.”**, realizado por los bachilleres: Alfredo Escalona y Alexis Ochoa, cédulas de identidad: 19.020.268 y 19.724.695 respectivamente, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Firma

Milagros Peña
Tutor

Firma

Eva Monagas
Jurado

Firma

José Nieto
Jurado

BÁRBULA, JUNIO DE 2012

AGRADECIMIENTO

A nuestra tutora, profesora Milagros Peña, quien con su vocación docente, profesionalismo, confianza y compromiso, nos guió y apoyó para hacer de este proyecto una realidad.

A la profesora Eva Monagas, quien nos brindó la ayuda necesaria para el desarrollo del estudio.

Al Ingeniero Edison Chacón por su asesoría técnica y metodológica.

A la Lcda. Saida Campos por su asesoría metodología durante todo el proceso de investigación.

Alfredo Escalona y Alexis Ochoa

DEDICATORIA

A Dios, Todopoderoso, fuente de nuestra inspiración y energía para alcanzar esta meta y continuar creciendo.

A nuestros padres por su amor infinito Eusebia, Pablo, Rafael y Saida.

A nuestros hermanos, por acompañarnos en todo momento y su apoyo incondicional.

A nuestras familias, soporte emocional y afectivo durante nuestra carrera universitaria.

A nuestros compañeros por el apoyo que nos brindaron para la culminación del proyecto.

Alfredo Escalona y Alexis Ochoa

ÍNDICE GENERAL

Portada	I
Certificado de Aprobación	III
Agradecimientos	IV
Dedicatoria	V
Índice General	VI
Índice de Tablas	X
Índice de Figuras	XII
Resumen	XIV
Acrónimos	XV
Introducción	17
Capítulo I	
El Problema	20
1.1.- Planteamiento del Problema	20
1.2.- Formulación del Problema	26
1.3.- Objetivo de la Investigación	26
1.3.1.- Objetivo General	26
1.3.2.- Objetivos Especificos	26
1.4.- Justificación	27
1.5.- Delimitaciones	29
1.6.- Recursos	30
Capítulo II	
Marco Teórico	31
2.1.- Antecedentes de la Investigación	31
2.2.- Bases Teóricas	34
2.2.1.- Energía Eléctrica	34
2.2.2.- Uso Eficiente de la Energía	36

2.2.3.- Sistema de Potencia y Red Eléctrica	37
2.2.3.1.- Generación Eléctrica	39
2.2.3.2.- Generación Distribuida	40
2.2.3.3.- Sistema de Transmisión y Sistema de Distribución Eléctrica	43
2.2.3.4.- Subestación	45
2.2.3.5.- El Usuario	46
2.2.4.- Demanda Eléctrica	48
2.2.5.- Medidor Eléctrico	50
2.2.6.- Sistema de Gestión basado en SCADA	63
2.2.7.- Protocolos de Comunicaciones	70
2.2.8.- Red Eléctrica Inteligente o Smart Grid	73
2.2.9.- Avances Tecnológicos de las Políticas de implementación en Smart Grid	87
2.2.10.- Seguridad de la Red Eléctrica Inteligente	92
2.2.11.- Aspectos Sociales de las Redes Eléctricas Inteligentes	93
2.3.- Definiciones de Términos Básicos	95
Capítulo III	
Marco Metodológico	97
3.1 Tipo de Investigación	97
3.2.- Fases de la Investigación	99
3.2.1.- Fase 1 Descripción y Conceptualización de las Variables y Componentes de una Red Inteligente.	99
3.2.2.- Fase 2 Determinación de las Ventajas que ofrece una Red Eléctrica Inteligente.	100
3.2.3.- Fase 3 Determinación de las Características requeridas para la implementación de las Redes	101

Eléctricas Inteligente.	
3.2.4.- Fase 4 Estimación de la inversión requerida para la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes	102
3.2.5- Fase 5 Estudio de Factibilidad para la Implantación de las Redes Eléctricas Inteligentes en Venezuela.	105
Capítulo IV	
La Propuesta	107
4.1.- Ventajas y Requerimientos de la Red Eléctrica Inteligente	107
4.2.- Proyecto de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes a nivel Residencial	110
4.2.1.- Descripción del Sistema Eléctrico Tradicional	110
4.2.2.- Descripción del Sistema Eléctrico Inteligente	116
4.2.3.- Estimación de Inversión para la Implementación de la Red Eléctrica Inteligente	118
4.2.3.1.- Inversión de la Red Eléctrica Tradicional	118
4.2.3.2.- Inversión de la Red Eléctrica Inteligente	120
4.3.- Análisis de Factibilidad para la Implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes en Venezuela.	123
4.3.1.- Análisis de Factibilidad Técnica.	124
4.3.2.- Análisis de Factibilidad Económica.	126
4.3.3.-Análisis de Factibilidad Legal para la Implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes en Venezuela.	137
Conclusiones	140
Recomendaciones	144
Referencias Bibliográficas	146

Anexo A	
Medidores.	151
Anexo B	
Planos	165
Anexo C	
Data Sheet de Equipos e Instrumentos Usados	175
Anexo D	
Leyes de Interés	180

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tipos de Centrales de Generación.	39
Tabla 2.2: Tabla resumen de avances en la microelectrónica y comunicación en el desarrollo de los AMR	59
Tabla 2.3: Fabricantes de Contadores Inteligentes	63
Tabla 2.4: Comparación entre las Redes Eléctricas Inteligentes y la Red Eléctrica Actual	81
Tabla 4.1.: Ventajas y Requerimientos de la Red Eléctrica Inteligente.	107
Tabla 4.2.: Características de los Tableros Utilizados en el Conjunto Residencial.	116
Tabla 4.3.: Costo por Edificio de los Instrumentos y Equipos utilizados en la red eléctrica tradicional.	118
Tabla 4.4.: Costo por Edificio de la Mano de Obra para instalación de Instrumentos y Equipos utilizados en la red eléctrica tradicional	119
Tabla 4.5.: Costo por Edificio y por Etapa de los Instrumentos y Equipos utilizados en la red eléctrica inteligente.	120
Tabla 4.6.: Costo por Edificio y por Etapa de Mano de Obra para instalación de Instrumentos y Equipos utilizados en la red eléctrica inteligente.	121
Tabla 4.7.: Comparación de Inversión de Equipos e Instrumentos y Mano de Obra entre la Red Eléctrica Tradicional y la Inteligente.	123
Tabla 4.8.: Características del Usuario Residencial.	126
Tabla 4.9.: Tarifa Residencial aplicada en Venezuela según Gaceta Oficial N° 37.415 (2002).	127

Tabla 4.10.: Tarifa Horaria aplicada en Chile transformada en BsF	128
Tabla 4.11.: Cálculo del Costo del Consumo de energía por tarifa hora en BsF / KWH POR DÍA (Caso Chile)	129
Tabla 4.12.: Monto Mensual al utilizar Redes Eléctricas Tradicional. Consumo de 600 KWH.	130
Tabla 4.13.: Características del Usuario Residencial con Redes Eléctricas Inteligentes.	131
Tabla 4.14.: Cálculo del Costo del Consumo de energía por tarifa hora en BsF / KWH POR DÍA (Caso Chile)	132
Tabla 4.15.: Monto Mensual al utilizar Redes Eléctricas Inteligentes. Consumo de 495 KWH.	133
Tabla 4.16.: Comparación de Costo por Día de consumo para el Caso Estudio.	134
Tabla 4.17.: Comparación de Costo por Mes de consumo para el Caso Estudio.	134
Tabla 4.18.: Estimación de la recuperación de la inversión por concepto de instalación de equipos e instrumentos.	136

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Variación Porcentual de la Demanda Máxima en Venezuela.	24
Figura 2.1: Red Eléctrica Residencial Tradicional	38
Figura 2.2: Demanda Máxima de Potencia y Capacidad Instalada de Generación – año 2005 – 2010.	49
Figura 2.3: Curva Teórica de Demanda Diaria Típica de Venezuela.	50
Figura 2.4: Estructura Genérica de un Contador de Energía Eléctrica.	53
Figura 2.5: Medidor Electromecánico.	54
Figura 2.6: Funcionamiento de un Medidor Electromecánico	56
Figura 2.7: Medidor Electromecánico con Registrador Electrónico.	57
Figura 2.8: Diagrama de Bloques de un Contador Electrónico	61
Figura 2.9: Dispositivos y aplicaciones en la Red	62
Figura 2.10: Elementos de un Sistema SCADA.	66
Figura 2.11: Utilización de protocolos en la red de distribución.	73
Figura 2.12: Red Eléctrica Inteligente a nivel Residencial	75
Figura 2.13: Red Eléctrica Actual	80
Figura 3.1: Fases de la Investigación	99
Figura 3.2: Primera Fase de la Investigación	100
Figura 3.3: Segunda Fase de la Investigación.	101
Figura 3.4: Tercera Fase de la Investigación	102
Figura 3.5: Cuarta Fase de la Investigación.	103
Figura 3.6: Quinta Fase de la Investigación	106
Figura 4.1 Curva de Demanda Diaria de la Vivienda. Consumo 600 KWH.	127
Figura 4.2 Curva de Demanda Diaria de la Vivienda. Consumo de 495 KWH	131
Figura A.1: Registrador con Punteros	152

Figura A.2: Registro con Ciclopuntos	152
Figura A.3: Elemento Móvil de un Medidor Electromagnético	153
Figura A.4: Bobina de Potencial de un Medidor Electromecánico.	154
Figura A.5: Bobina de Corriente de un Medidor Electromecánico.	154
Figura A.6: Base del Medidor Electromecánico	155
Figura A.7: Arquitectura del ADE5169	157
Figura A.8: Arquitectura del AS8268.	159
Figura A.9: Arquitectura del CS5463	160
Figura A.10: Arquitectura del MAXQ3183	161
Figura A.11: Arquitectura del MCP3905	162
Figura A.12: Arquitectura del SA9904	163



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES COMO ALTERNATIVA PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal, estudiar las redes eléctricas inteligentes o Smart Grids, como una alternativa para el uso eficiente de la energía eléctrica y las características necesarias para su implementación en Venezuela. A continuación, se encuentra plasmada toda una caracterización del sistema eléctrico requerido para la implantación de esta técnica, las condiciones de la estructura, equipos e inversión así como las medidas y recomendaciones que contribuyan al uso eficiente de la energía. Esta investigación es de tipo descriptiva, documental, sustentada en una exhaustiva revisión y análisis de la información, experiencias en este tema a nivel de países europeos y experiencias cercanas en América Latina. Se evaluaron todos los aspectos necesarios para la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes, así como el papel que juega cada uno de estos, logrando así describir, explicar y entender la utilización de las principales variables que intervienen en las Redes Eléctricas Inteligentes entre las cuales se puede mencionar los sistemas de comunicación, monitores, autogestión, energías renovables, medidores inteligentes, entre otros. Gracias a estos nuevos sistemas es posible disminuir las pérdidas por el transporte energético, facilitar la conexión a la red de todo tipo de energías renovables, soportar las capacidades de almacenamiento energético, la conexión masiva de vehículos eléctricos o híbridos, entre otros. La investigación concluye recomendando realizar un estudio sobre la actualización de las tarifas eléctricas que representen el costo real de la inversión y el mantenimiento del sistema eléctrico, realizar un estudio sobre cómo las Redes Eléctricas Inteligentes variarían la curva de demanda diaria en las horas de mayor consumo con la consecuencia directa de la optimización en el uso de la capacidad de los transformadores y alimentadores así como formación y educación del usuario para auto gestionar su consumo.

Tutor:

Prof. Milagros Peña

Autores

ESCALONA, Alfredo. V.19.020.268

OCHOA, Alexis. V. 19.724.695

ACRÓNIMOS

AC: Corriente Alterna.

ALUCASA: Aluminos del Caroni Sociedad Anónima.

AMI: Advance Meter Infrastructure.

AMR: Automatic Meter Reading.

ANSI: American National Standards Institute.

CADIVI: Comisión de Administración de Divisas.

CO2: Dióxido de Carbono.

CORPOELEC: Corporación Eléctrica Nacional.

CVG: Corporación Venezolana de Guayana.

DM: Data Management.

GD: Generación Distribuida.

HMI: Human Machine Interface.

IBM: International Business Machine.

IEC: International Electrotechnical Commission.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

KV: Kilovoltio.

KVA: KiloVoltAmpere

KVar: KiloVoltAmpere Reactivo (Unidad Potencia Reactiva).

KWH/Hab: Kilovatio – Hora por Habitante.

KWH: Kilovatio – Hora.

LAN: Local Area Network (Red de Área Local).

MCU: Micro – ControllerUnit.

MPPEE: Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica.

MTU: Master Terminal Unit (Unidad Terminal Maestra).

MVA: MegaVoltAmperio.

NEMA: National Electrical Manufacturers Association.

PLC: ProgramLogic Control.

Rev/KWH: Revolución por Kilovatio – hora.

RTM: Remote Terminal Master (Unidad Terminal Remota).

SCADA: Supervisory Control And Data Adquisition (Control de Supervisión y Adquisición de Datos).

SGIE: Sistema de Gestión Integral de Energía.

SITME: Sistema de Transacciones con Títulos en Moneda Extranjera.

TIC: Information Technology (Tecnología de la Información).

TTL: Transistor-Transistor Logic (lógica transistor a transistor).

UCLA: University of California Los Angeles (Universidad de California).

VENALUM: Venezolana de Aluminio.

VPN: Virtual Private Network (Red Privada Virtual).

WAN: Wide Area Network (Red de Área Amplia).

Wh/rev: Vatiohora por revolución.

INTRODUCCIÓN

Las redes inteligentes de energía, Smart Grids, son sistemas energéticos que, entre otras acciones, permiten integrar eficientemente a la red eléctrica la generación por energías renovables y el uso racional de la energía a nivel distribuido, utilizando e integrando soluciones conectivas de alta tecnología. Ejemplos exitosos se han venido dando en países de Europa y Latinoamérica demostrando ser sistemas altamente eficientes en relación al ahorro de energía, así como a la reducción de emisiones contaminantes.

Diversas iniciativas en todo el mundo trabajan en el desarrollo de las denominadas "redes eléctricas inteligentes" para sustituir a las actuales. Entre sus ventajas se encuentra una mayor eficiencia, una reducción del gasto energético y la generalización de las energías renovables, lo que favorece al medio ambiente y a la economía. Asimismo, los consumidores saldrían también beneficiados, ya que podrían generar su propia energía en casa y ser parte activa de la red.

Las ventajas de esta red eléctrica inteligente son diversas, y entre sus máximos beneficiarios se encontrarían los consumidores y las energías renovables, pues una de las dificultades de estas energías, como la solar o la eólica, es que se producen de manera irregular y en lugares donde no hay una infraestructura eléctrica capaz de aprovecharlas al máximo. Las nuevas redes tendrían en cuenta las peculiaridades de las renovables y permitirían su generalización, no sólo en los grandes centros de producción, sino también a escala doméstica.

El ahorro energético también se lograría gracias a la aplicación de nuevas tecnologías que optimizarían el gasto, apagando los aparatos si no se están utilizando, además de informar el consumo eléctrico.

Los expertos recuerdan que se trata de proyectos piloto que necesitarán un mayor grado de desarrollo y optimización. Asimismo, el concepto "inteligente" se está utilizando de forma muy amplia, por lo que hay grandes diferencias entre los proyectos en marcha. Por ejemplo, en algunos casos se autodenominan redes inteligentes sólo por emplazar contadores digitales, mientras que en otros casos se emprenden transformaciones mucho más profundas de la red y con instalaciones de energías renovables.

Estas redes están diseñadas para reducir las pérdidas en transporte y distribución, mejorar la integración de las energías renovables, disminuir el consumo mediante información al usuario a través de aplicaciones de telegestión y telemedida, así como facilitar la gestión de la demanda.

En cualquier caso, uno de los grandes retos es la enorme inversión necesaria para transformar la red eléctrica en el que se presentará un nuevo modelo energético que permite gestionar un nuevo escenario con múltiples generadores y con consumidores energéticos más activos.

En esta investigación se describirán las características de las redes eléctricas inteligentes, a partir del conocimiento de los cambios que las hacen necesarias, y se expondrán los principales aportes que hoy pueden realizar las tecnologías de la información (TIC) y los proveedores de componentes eléctricos. Además, se dará a conocer el cambio del sistema de gestión que supone la puesta en marcha de estas nuevas redes, su desarrollo futuro en los próximos años, las condiciones requeridas para su implantación en el país y cómo las redes inteligentes impactan en la calidad de vida de los ciudadanos.

En el Capítulo I se plantean el objetivo general y los específicos que persigue este trabajo, además se presenta el planteamiento de la problemática actual y su justificación. En el Capítulo II se presenta el marco teórico necesario

para la comprensión de este estudio, además de las herramientas utilizadas durante el mismo.

En el Capítulo III se detalla la metodología utilizadas para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados.

En el Capítulo IV se realizó una tabla de ventajas y requerimientos para la implementación de las redes eléctricas inteligentes en Venezuela. De igual manera se elaboró un proyecto en donde se pudo caracterizar los requerimientos necesarios para que la red eléctrica actual evolucione a la red eléctrica inteligente, considerando para ello la factibilidad técnica, económica y legal.

En el Capítulo V se describen las Conclusiones y Recomendaciones, donde se expresan los hallazgos y aspectos más resaltantes que permitió esta investigación, aprendizajes y objetivos logrados, así como las consideraciones para la implantación de las Redes Inteligentes en Venezuela.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La humanidad ha experimentado en el último siglo un desarrollo inmenso, sustentado en el consumo energético, basado en el aprovechamiento de fuentes de energía de origen fósil. Estas energías han sido explotadas suponiendo una disponibilidad ilimitada, y sin valorar profundamente los costos ambientales ocasionados.

El ser humano se ha basado hasta la actualidad, en un modelo energético en el cual se sigue una rigurosa cadena, que se lleva a cabo en el siguiente orden: generación, transporte, distribución y consumo. Sin embargo, el cambio de este modelo es más que una necesidad, pues con esto se lograría diversificar las fuentes de energía con un mayor aprovechamiento de las energías renovables, la eficiencia y el ahorro energético [1].

El nuevo modelo energético pretende transformar el sistema actual en un sistema distribuido, en el cuál, cualquier agente que esté conectado a la red tiene la posibilidad de aportar energía, facilitando la creación de micro generadores, de forma que no existe una dependencia tan directa como con la generación energética actual.

Gracias a estos nuevos sistemas es posible disminuir las pérdidas por el transporte energético, facilitar la conexión a la red de todo tipo de energías renovables (facilitando la integración de porcentajes crecientes de energías no gestionables como la eólica o la solar), soportar las capacidades de

almacenamiento energético, la conexión masiva de vehículos eléctricos o híbridos entre otros [1]. Para poder llevar a cabo todas las acciones mencionadas, la red del futuro deberá:

- Permitir la autogestión de incidencias, tratando los errores producidos en la red y asegurando el flujo eléctrico en todos los puntos.
- Potenciar la participación activa de los consumidores, incentivando la generación local de energía y la entrega del exceso energético a la red en horas pico.
- Tener capacidad de suministro de energía de calidad adecuada a la era digital, gracias a un mayor número de puntos de generación que permitirá la entrega de diferentes calidades energéticas para cada tipo de aplicación.
- Adaptarse a una amplia variedad de modalidades de generación y almacenamiento, por las micro redes y la generación energética distribuida.
- Facilitar el florecimiento de mercados, debido a la inclusión de nuevos elementos en la red como el vehículo eléctrico, un mayor número de energías renovables, entre otros.
- Realizar una optimización más eficiente de sus activos y operación, gracias a la automatización de todos los elementos implicados [1].

Una de las principales motivaciones para el cambio del modelo energético es el aspecto medioambiental. En éste nuevo modelo de desarrollo sostenible, las energías de origen renovable, son consideradas como fuentes de energía inagotables, y con la peculiaridad de ser energías limpias, con las siguientes características: suponen un nulo o escaso impacto ambiental, su utilización no tiene riesgos potenciales añadidos, indirectamente suponen un enriquecimiento de

los recursos naturales y son una alternativa a las fuentes de energía convencionales, pudiendo sustituirlas paulatinamente.

Este cambio drástico de la forma en la que el ser humano consume energía, está comenzando a ser catalogado por algunas personas como una tercera revolución industrial, si bien es cierto que el petróleo, el carbón y el gas natural seguirán constituyendo una parte sustancial de la energía del mundo hasta bien avanzado el siglo XXI [1].

De cara al futuro, los gobiernos deberán explorar las formas alternativas de energía y crear modelos económicos innovadores, con el fin de que las emisiones de carbono sean lo más próximas posibles a cero, para lo cual será necesario apoyarse en tres pilares fundamentales: energía renovable, tecnología de almacenamiento y redes eléctricas inteligentes.

Estos tres pilares serán fundamentales, siendo el desarrollo de cada uno de ellos necesario para el resto, de forma que una vez estén desarrollados completamente se fundará un nuevo paradigma social-económico [1].

Actualmente los países enfrentan los desafíos de los altos precios de la energía y su volatilidad, escasez de recursos para la inversión y la necesidad creciente de promover la seguridad e independencia del abastecimiento energético, tanto como avanzar en el control de la contaminación cuidado del medio ambiente. Así, las políticas energéticas de los países de la región se plantean como objetivos lograr un desarrollo energético suficiente, eficiente, seguro, equitativo y sustentable, promocionando la eficiencia energética y energías renovables no convencionales.

La electricidad no puede almacenarse en grandes cantidades como puede hacerse por ejemplo con el gas y el petróleo. Por lo que, cada vez más, es

necesario construir costosas plantas de energía para satisfacer la demanda de electricidad. Según Cristóbal Francisco, Viceministro de Agua del Ministerio del Ambiente, a través del Ministerio para la Comunicación y la Información, expuso en el 2010 que Venezuela es el país con mayor consumo de energía eléctrica en América Latina con 4126 kWh/Hab en respecto a otros países como: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, entre otros [2]. Es bastante difícil imaginar que este alto valor no haya sido calculado como la energía total producida en el país dividido por el numero de habitantes, lo cual es bastante errado porque de esta forma se asume que todo el consumo de energía se lo lleva el sector residencial. Es bien sabido que Venezuela posee una industria básica de gran tamaño que consume aproximadamente un 25% de la potencia generada en toda la nación, y más aún, el 60% de esta potencia generada en la nación es netamente del sector industrial. Por lo que bajo el consumo residencial real (entre el 20 y 25% del total nacional) se puede apreciar que la tasa per cápita de consumo de energía es mucho menor a lo mostrado. Es por esta razón que dicha cifra debe ser analizada bajo otros indicadores para verificar su veracidad.

Venezuela tiene un sistema eléctrico nacional vulnerable como consecuencia de la sequía que afectó en el año 2010 los embalses destinados a la generación hidráulica, la generación térmica insuficiente en los últimos años y la consecuente estrechez crítica entre la oferta y demanda de energía, lo que afecta consecuentemente la continuidad, confiabilidad y seguridad del suministro de energía eléctrica a la nación [3].

En Venezuela, el consumo de energía descendió un 3,4% entre los años 2009 y 2010, según declaraciones del Ministro de Energía Eléctrica Alí Rodríguez Araque a El Universal [4] (esto debido a los planes de racionamiento ejecutados en el territorio nacional). Sin embargo, señaló que en años anteriores al 2009 el consumo de Energía Eléctrica en el país se incrementó, tal como se muestra la Figura 1.1.

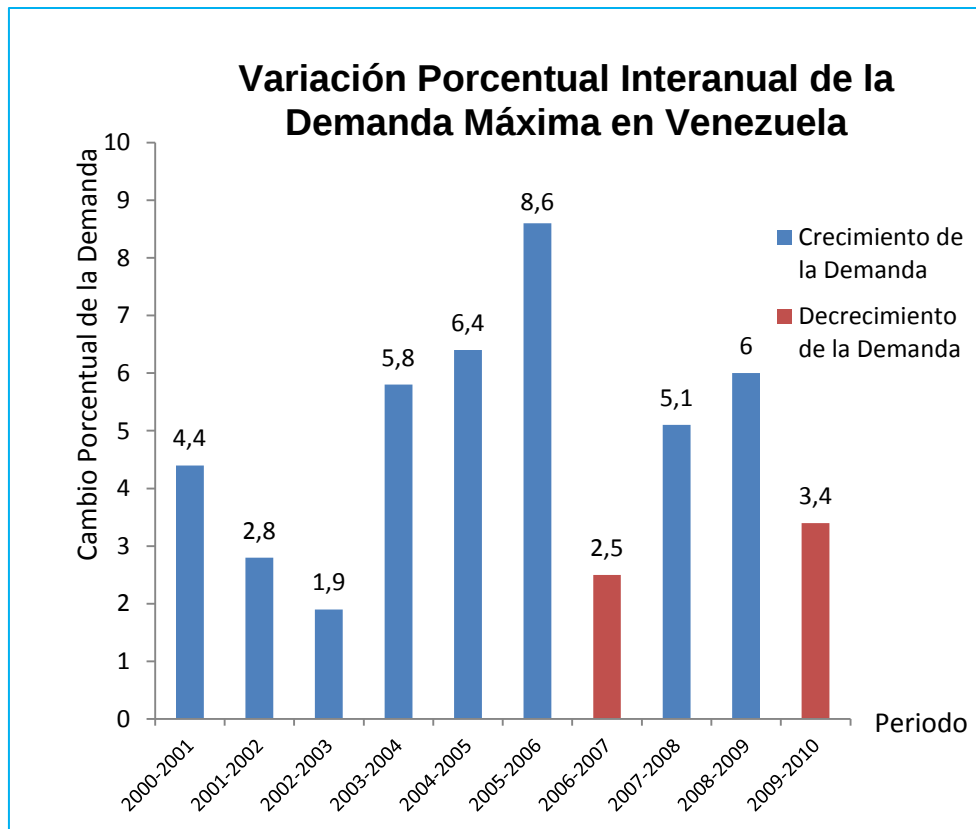


Figura 1.1: Variación Porcentual de la Demanda Máxima en Venezuela. Fuente: Escalona y Ochoa (2011). Construido con datos del Ministro del Poder Popular para la Energía Eléctrica Alí Rodríguez [4].

En el contexto energético actual, caracterizado por una creciente preocupación por la sostenibilidad medioambiental y la seguridad de suministro, la búsqueda de soluciones desde el lado de la demanda cobra cada vez más fuerza. Las medidas de gestión de la demanda, encaminadas a promover tanto la adquisición de equipos de bajo consumo como un uso más eficiente de los mismos, podrían ser piezas clave en el futuro de la energía. En el caso de la electricidad, dado que el costo y el impacto del consumo varían en el tiempo, consumir de forma más eficiente supone no sólo reducir el consumo, sino también en saber gestionar dicho consumo en el tiempo [5].

Es por esto que, en los últimos años, se han planteado una serie de propuestas para enfrentar el incremento en el consumo de energía; surgiendo como principales alternativas de generación, la utilización de las energías renovables que contribuyen a disminuir el uso de los combustibles fósiles [6].

De acuerdo a este planteamiento, la Eficiencia Energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso [6].

Conviene destacar que en la última década, la industria eléctrica ha experimentado cambios importantes hacia la utilización e implementación de nuevas tecnologías con el objetivo de permitir un mejor aprovechamiento y una mayor eficiencia en la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, como resultado en muchos lugares estos cambios han culminado en la aparición de un mercado eléctrico. En este nuevo contexto, la operación de los sistemas de distribución no depende únicamente del estado [5].

La introducción de una nueva área de investigación como la tecnología de las redes eléctricas inteligentes (Smart Grids) en el mercado de distribución buscando la descentralización de las decisiones, automatización, sistematización y monitoreo de las redes eléctricas es una opción muy interesante para la industria eléctrica; debido a las numerosas posibilidades que ofrece para desarrollar un mercado de la energía eléctrica con modelos adaptados al nuevo contexto competitivo [7].

Una red inteligente tiene la capacidad de detectar ineficiencias en el sistema, reduciendo la pérdida de energía. También abre las puertas a innovaciones para ahorrar dinero en el área industrial, comercial y/o residencial.

Por ejemplo, los electrodomésticos inteligentes, que están siendo desarrollados, pueden apagarse automáticamente cuando no estén en uso, reduciendo o eliminando su consumo de energía que puede añadir hasta un 12 por ciento en la factura eléctrica.

Es éste, precisamente el tema que da origen a la presente investigación, pues la tecnología de las redes eléctricas inteligentes (Smart Grids) incluye la utilización de avanzados medidores digitales como principal componente que facilitarían un mayor conocimiento, control y manejo del consumo eléctrico.

1.2. Formulación del Problema

En este contexto se plantea la siguiente interrogante: ¿Qué es una red eléctrica inteligente?, ¿Cuál es la función de una red eléctrica inteligente?, ¿Cuál es la utilidad de una red eléctrica inteligente en el contexto Venezolano?, ¿Es posible la utilización de las redes eléctricas inteligentes en Venezuela?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Analizar el uso de las Redes Eléctricas Inteligentes como técnica para el uso eficiente de la energía eléctrica en Venezuela.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Describir y conceptualizar las variables y componentes de una Red Eléctrica Inteligente.

- Determinar las ventajas que ofrece el uso de las Redes Eléctricas Inteligentes.
- Determinar las características requeridas para la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes.
- Estimar la inversión requerida en la instalación de las Redes Eléctricas Inteligentes.
- Analizar la factibilidad de la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes en Venezuela.

1.4. Justificación

El desarrollo de este trabajo de grado al abordar un tema novedoso en el cual aún no se han desarrollado trabajos para la línea de investigación de “Calidad de Energía y Eficiencia Energética” en la Universidad de Carabobo, es lo que le da un valor agregado al mismo.

Así mismo en Venezuela, actualmente se viven momentos complicados debido al uso ineficiente que se le da a la energía eléctrica por parte de sus habitantes, y el hecho de ser el país con más consumo por habitantes en América Latina es motivo de preocupación.

Es importante aclarar que Venezuela posee una industria Básica de Fundición (CVG Alucasa, CVG Venalum, CVG Alcasa, entre otras) que consume cerca del 25% de la generación del país. Tomando en cuenta su gran industria petrolera; adicionalmente está electrificado en más del 96% y además está ubicado muy cerca del Ecuador, con zonas que alcanzan temperaturas entre 40°C – 45°C, lo que ocasiona que el consumo eléctrico por habitante sea más elevado.

Es preocupante y necesario disminuir y hacer más eficientes los consumos, pues las tarifas eléctricas se han mantenido estáticas desde el año 2002 al igual que el combustible y han hecho que los clientes no den la justa importancia a estos servicios. Sin duda alguna el retraso en la inversión, el mantenimiento y otra serie de factores inciden de manera representativa sobre la sociedad y la electricidad.

Con las medidas dictadas por el ejecutivo nacional en el año 2011 y publicadas en la gaceta oficial N° 39.694 de fecha 13 de junio de 2011, en cual se promueve el uso eficiente de la energía eléctrica en todo el territorio nacional y, en particular, proporcionar la reducción en el consumo mensual en exceso de los usuarios y otros residenciales, a través de sanciones y multas impulsan la necesidad de analizar sobre cómo orientar, culturizar y educar a la sociedad acerca del uso más eficiente de la energía eléctrica, por lo cual es necesario identificar alternativas tecnológicas disponibles para renovar las redes eléctricas actuales, de manera que sea más fácil para los suscriptores el manejo y conocimiento de su consumo eléctrico.

Se prevé que el sector de la energía eléctrica experimente una evolución desde las redes eléctricas actuales a las denominadas redes eléctricas inteligentes (Smart Grids); éstas cambian radicalmente la manera de producir, distribuir y consumir energía, con el objetivo de aumentar la eficiencia energética, potenciando el uso de las fuentes alternativas de energía y reduciendo el impacto ambiental.

En el sector residencial esto es de gran importancia, ya que implicaría la utilización y mejoramiento de los equipos del hogar. Además, la utilización de medidores inteligentes es significativa, ya que así los suscriptores podrán conocer

de forma fácil y sencilla acerca de su consumo y otras variables eléctricas de importancia a través de pantallas en el hogar.

En efecto, el uso de estos nuevos sistemas hará que se necesiten de nuevas interfaces, mejores herramientas, tableros de mandos más inteligentes y asistencia automatizada para poder trabajar con la abundante cantidad de información disponible y así lograr en el hogar un uso más eficiente de la energía eléctrica.

Adicionalmente con la realización de este trabajo se contribuye al desarrollo de la línea de investigación “Calidad de Energía y Eficiencia Energética” del Departamento de Potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo en el área de innovación en diseño de sistemas eléctricos, adicionando un nuevo tópico para futuros trabajos de investigación y además, permite complementar los trabajos realizados en dicha línea de investigación para fortalecer las posibilidades de cómo gestionar, administrar y usar eficientemente la energía eléctrica, y dar respuesta a la necesidad de ofrecer alternativas para la eficiencia energética y la modernización de las redes eléctricas en Venezuela.

1.5. Delimitaciones

La implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Venezuela implica una serie de factores tales como adiestramiento del personal de la industria eléctrica, inversiones tanto para la instalación como para la importación de equipos, la creación de planes estratégicos para dicho fin y la concientización de los consumidores.

Es por esto que el presente trabajo abarca todo lo que respecta al estudio y análisis de las redes eléctricas inteligentes, así como las ventajas que éstas

ofrecen. Además de la determinación de los aspectos requeridos para su implementación y el estudio de su factibilidad.

En este trabajo se desarrolló un proyecto prototipo para la aplicación de las redes eléctricas inteligentes en un proyecto eléctrico de un conjunto residencial para apartamentos. El conjunto residencial cuenta con 16 edificios de 8 pisos cada uno.

En lo que respecta a la implementación de tecnologías de generación alternativas, estas no serán consideradas en el desarrollo de este trabajo ni el uso de vehículos eléctricos

1.6. Recursos

Para el logro de los objetivos planteados se utilizaron recursos didácticos, materiales y humanos, los cuales se describen a continuación.

- Materiales: computadora, impresor, scanner y transporte.
- Didácticos: manuales, trabajos de investigación, libros especializados, documentos electrónicos, guías, informes, artículos de prensa y revistas técnicas.
- Humanos: Ingeniero Milagros Peña como tutor académico, profesores de la escuela de ingeniería eléctrica, Ingeniero Edison Chacón y Licenciada Saida Campos como tutor metodológico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Los trabajos de investigación que se citan a continuación contemplan métodos y teorías que tienen afinidad con el tema planteado y su consulta sirve de apoyo para la elaboración de la presente investigación

Abramof A. y Manosalva D. (2011). Implantación del Sistema de Gestión Integral de la Energía en la Empresa Montana Gráfica, filial del grupo Corimon S.A.[8], trabajo especial de grado presentado ante la Universidad de Carabobo, en el cual los autores definen las etapas a seguir para la implantación del sistema de gestión de la energía, los documentos necesarios para la implantación del mismo, estrategias de gestión energética en la empresa, concientización de los trabajadores en relación al ahorro energético, así como pasos a seguir para el monitoreo del SGIE. Además de esto, el sector industrial, como mayor consumidor de energía eléctrica se ve en la obligación de adoptar planes y medidas conforme al uso racional de la energía. A pesar de que la empresa Montana Gráfica venía realizando ciertas acciones como el apagado de luminarias, la sustitución de éstas por otras más eficientes y iluso moderado de equipos de alto consumo, se requirió realizar una auditoría energética para identificar y cuantificar los puntos potenciales de ahorro, de manera tal de maximizar la cantidad de energía que se pudiera dejar de malgastar o de usar ineficientemente la energía eléctrica. De esta investigación se seleccionaron bases teóricas que permitieron construir el marco teórico de esta investigación. Así mismo se utilizan elementos del planteamiento del problema por tener afinidad en la búsqueda de la reducción del consumo eléctrico.

García E. y Guerra E. (2011). Implementación de un Sistema de Gestión Integral de la Energía. Caso: Corimon Pinturas, Resimon y Cerdex; Empresa Pertenecientes al Grupo Corimon.[9], trabajo de grado presentado ante la Universidad de Carabobo, en el cual se concluyó que en general, la implementación de las propuestas disminuirán el consumo energético en cada una de las plantas, esta reducción abarcará costos no asociados a la producción y en el incremental de energía-producción. De esta forma se logra mejorar la caracterización de la relación consumo producción. Este modelo permite planificar el consumo energético en función de la producción requerida y determinar los costos de producción asociados al consumo de energía eléctrica. Además, a partir de la caracterización de las empresas existe la posibilidad de mejorar las metas de ahorro energético a medida que se analicen e implanten progresivamente nuevas medidas y propuestas de ahorro. Estos autores utilizaron bibliografía de interés para esta investigación por lo que se tomó como referencia para consultar estas fuentes.

Guevara S. (2010). Diagnóstico Energético en el Hotel Alba Caracas. [10], este trabajo realizado en conjunto entre profesores y estudiantes de la Universidad Simón Bolívar, y tiene como principal objetivo analizar con profundidad los hábitos de consumo de energía del Hotel Alba Caracas. Para realizar esto, se aplicó un procedimiento de diagnóstico energético del hotel, que explica con exactitud cómo se caracteriza el consumo del mismo, ubicando puntos de desperdicio de energía, así como cuantificar el nivel de ahorro energético de las medidas establecidas por la gerencia y poder establecer recomendaciones que pudieran requerir o no, de algún tipo de inversión monetaria, trayendo como beneficio llevar a un mejor manejo y control de la energía eléctrica. La información contenida en esta investigación sirvió de guía para el desarrollo del capítulo IV particularmente por el estudio que realiza del consumo en artefactos domésticos y esta investigación está referida al uso eficiente de energía eléctrica en el sector residencial.

Gonzalez-Longart F. (2010) Redes Inteligentes Sustentables (macro/micro): Retos y Oportunidades. [11], publicado en la Universidad de Manchester, en la cual plantea que el futuro de los mercados de electricidad y las redes deberán proveer a todos los consumidores un servicio altamente confiable, flexible, accesible y rentable. De acuerdo al autor los usuarios finales serán significativamente más interactivos con los mercados y las redes, la electricidad será generada por la combinación de fuentes centralizadas y dispersas con diferentes tecnologías, por lo tanto, las empresas del sector eléctrico alrededor del mundo están evolucionando, adoptando una visión más inteligente que requiere transformaciones profundas. Esta visión busca la completa modernización y automatización de las redes eléctricas de potencia con fuerte base en las tecnologías de la información y comunicación. Este artículo fue de gran ayuda para estructurar la formulación del problema, pues el autor establece una serie de relaciones y enlaces favorables para la aplicación de la Redes Eléctricas Inteligentes.

Guidi C. y Castro O. (2010) La Regulación Eléctrica en Latinoamérica frente al desafío del Smart Grid. [12], investigación presentada en el Congreso Internacional de Distribución Eléctrica Argentina 2010 según los autores un aspecto importante para alcanzar un uso masivo de los sistemas Smart Grid, y que el conjunto de la sociedad pueda beneficiarse con su uso, es establecer estándares mínimos que permitan introducir cierta compatibilidad entre equipos y soluciones, aún entre diferentes empresas, y actualizar la regulación de forma tal que los costos sean adecuadamente reconocidos en la tarifa, en un marco en el cual se remuevan las barreras que hoy están presentes para las aplicaciones del sistema, obteniendo beneficios que exceden a la actividad de distribución e impactan sobre la energía primaria beneficiando a la comunidad en general. Este informe fue de gran aporte porque ofrece una clara noción sobre la evolución de las redes eléctricas.

Rosenfeld P. y. Moreno D. (2010) Smart Grid la visión de EDENOR. [13], esta investigación presentada ante el Congreso Internacional de Distribución Eléctrica Argentina 2010 donde indica que para lograr el ahorro de energía, es necesario la utilización de fuentes no contaminantes, la optimización de inversiones y mayores niveles en la asistencia del servicio, han fundado las bases para la concepción de un nuevo paradigma en la industria energética: el concepto de “red inteligente” o “Smart Grid” analizando qué aspectos involucra y cómo repercute en los actores. De este antecedente se tomó la estructura propuesta para la implantación de las redes eléctricas inteligentes.

Miranda D. (2008) Estado y Desarrollo de la Tecnología Smart Grid en Colombia. [7], en su trabajo de grado presentado en la Universidad Nacional de Colombia-Medellín, expone que muchos sistemas de distribución no se asemejan a los sistemas de distribución de hoy. Estos sistemas han avanzado en medición, capacidad de comunicaciones, amplia automatización, generación distribuida mediante el uso integrado de estas tecnologías. Sin embargo para lograr llegar a la visión de una red “Smart Grid” estas redes deben ser capaces de auto recuperarse, operar con un flujo de energía multi-direccional, aumentar el uso de los activos, operar con menores costos, y ofrecer a los clientes una variedad de opciones de servicio. Los conceptos utilizados por el autor en cuanto medición, distribución, automatización y generación distribuida fueron de gran aporte para este proyecto de investigación.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Energía Eléctrica

En forma similar a como ocurre con otros muchos conceptos y definiciones en la ciencia, el concepto “energía” ha ido evolucionando, ampliándose y

perfeccionándose con el transcurso de los años. Muchos autores modernos dedicados a temas termodinámicos consideran trabajo y calor como formas de transmisión de la energía, y el trabajo queda definido como energía en tránsito. Si se combinan los criterios “energía = capacidad para hacer trabajo” y “trabajo = energía en tránsito” quedaría que la energía es algo así como “su capacidad de transmitirse”, lo que carece de utilidad práctica por su excesiva generalidad. Los cuerpos o sistemas siempre tienen energía, aun cuando esa energía haya perdido su capacidad para realizar trabajo [14].

La energía eléctrica, generalmente conocida como electricidad se entiende como el flujo de energía o el flujo de cargas a lo largo de un conductor para crear energía. La energía eléctrica es conocida por ser una fuente de energía secundaria, es decir, que se obtiene a partir de la conversión de otras formas de energía. Estas otras formas de energía son conocidas como las fuentes de energía primarias y que pueden ser el carbón, la energía nuclear, el gas natural, el petróleo, la energía solar, energía eólica, entre otras. Se puede generar electricidad a partir de fuentes de energías renovables o no renovables, lo que conduce a que la energía eléctrica sea renovable o no renovable.

La energía eléctrica hoy en día es la forma de energía más utilizada del mundo. La famosa historia de Benjamin Franklin sobre el cometa en una tormenta eléctrica fue el primer descubrimiento sobre la energía eléctrica. Después Thomas Alva Edison vino a perfeccionar estos principios con la invención del foco. Seguido a esto, Nikola Tesla desarrolló las nociones de la corriente alterna de la energía eléctrica. Con la corriente alterna (AC), la energía eléctrica pudo ser producida y transmitida a distancias mucho más grandes, con lo que pudo ser usada en muchos hogares, industrias y comercios situados en lugares cada vez más inaccesibles.

Es importante comprender que la energía eléctrica no es un tipo de energía por sí misma, sino más bien una forma de transferir energía de un objeto o elemento a otro. Para que la energía eléctrica pueda ser transferida es indispensable tener un conductor o circuito eléctrico. La energía eléctrica se hace presente cuando las cargas eléctricas se están moviendo o cambian de posición de un elemento a otro [15].

2.2.2 Uso Eficiente de la Energía

La energía es fundamental en la realización de procesos o para producir cierto efecto, por lo tanto al incrementar el consumo de energía para realizar cada vez más actividades, se disminuyen a mayor rapidez los recursos naturales del planeta, causando un gran impacto en el medio ambiente, por lo que ha surgido hoy en día una gran necesidad de hacer un uso eficiente de la energía [8].

El uso racional de la energía eléctrica se diferencia del uso responsable de la energía por una cuestión semántica. Aunque ambos apuntan a lo mismo, el término uso racional suele asociarse al de restringir el uso energético por escasez, mientras que el uso responsable o eficiente de la energía pretende instalar un cambio cultural que perdure en el tiempo, no por la escasez, sino por el cuidado de un recurso no renovable.

Destacar esta diferencia, contribuye a entender que la eficiencia energética o uso responsable de la energía es una tendencia mundial que preocupa a todos, y que intenta combatir el derroche de los recursos energéticos y el cuidado del medioambiente.

Visto así, el crecimiento de la demanda eléctrica no es un hecho reservado para Venezuela como se observa en la Figura 1.1. El avance a pasos agigantados

de la tecnología, motorizado en gran parte por la actual superproducción de países como china, está generando preocupación en todo el mundo.

Generar energía tiene un alto costo económico y también una lógica afectación medioambiental, por tanto, cuidar el recurso eléctrico y evitar el uso innecesario, es más barato que generarlo [16].

En conclusión, la eficiencia energética puede definirse como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso [6].

2.2.3 Sistema de Potencia y Red Eléctrica

Un sistema eléctrico de potencia es una red formada por un conjunto de componentes, cuya función es: generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica a los usuarios, bajo ciertas exigencias de continuidad de servicio, regulación de tensión y control de frecuencia. Esta función es realizada por las compañías de electricidad. En Venezuela actualmente existe una sola compañía de servicio eléctrico, la cual es Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) y es gubernamental.

En general, los subsistemas que conforman a un sistema de potencia, se encuentran ubicados en sitios geográficamente alejados, ocupando extensas zonas. El sistema de potencia es una red muy compleja constituida por una gran cantidad de elementos tales como: las centrales de generación, las subestaciones de transformación, las líneas de transmisión, las redes de distribución, los equipos de protección, los equipos de control y las cargas. En la figura 2.1 se observa de forma general cómo está estructurada la red eléctrica en la actualidad, desde la generación con plantas térmicas, hidroeléctrica entre otras. Así como las redes de

transmisión con niveles de tensión desde los 230 KV, 400 KV y 765 KV y sus redes de subtransmisión la cual trabaja en el nivel de tensión de 115 KV, los centros de distribución y sus redes que trabajan con niveles de tensión desde 34.5 KV y 13.8 KV, la cual se transforma nuevamente a nivel de tensión residencial para distribuir el servicio eléctrico a todos los usuarios.[17].

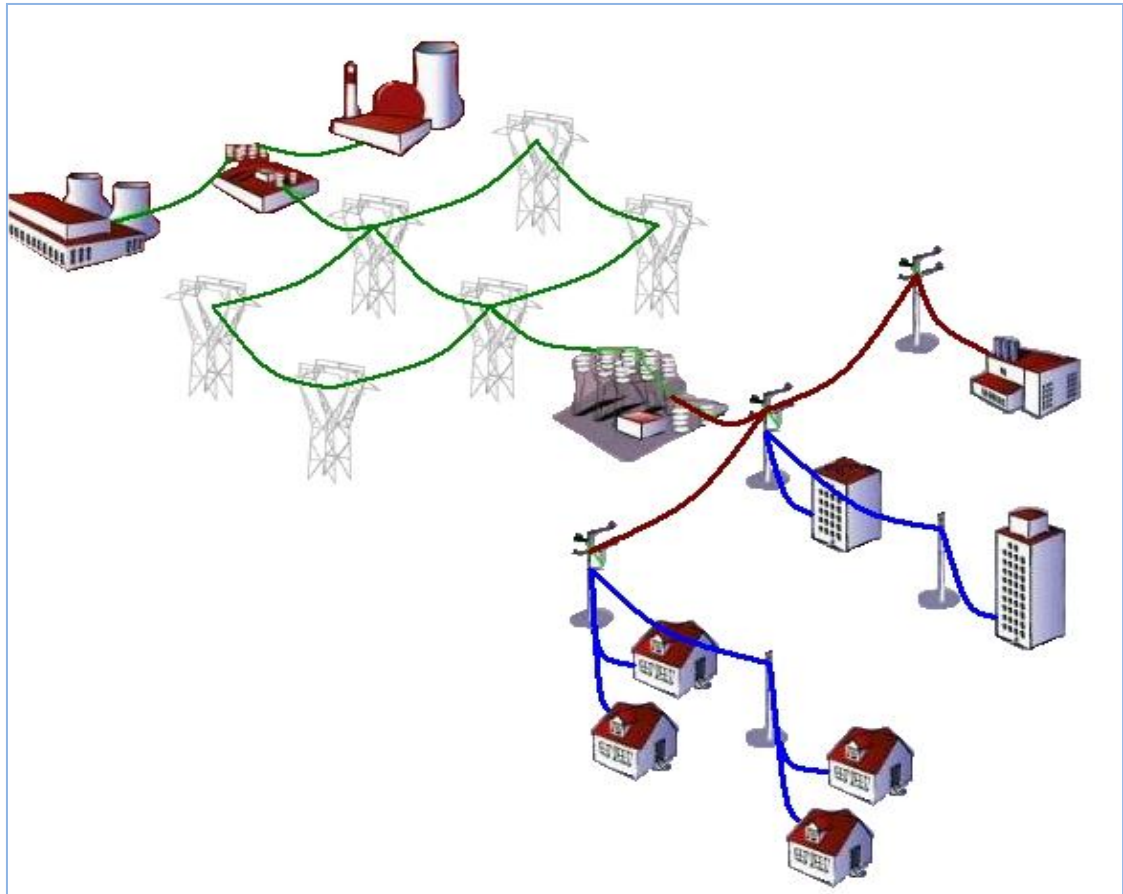


Figura 2.1: Red Eléctrica Residencial Tradicional. Fuente: Rosenfeld y Moreno (2010).

[13]

A continuación se presentan, en forma breve, los diferentes subsistemas que integran un sistema de potencia con el objeto de diferenciar sus funciones.

2.2.3.1 Generación Eléctrica

Es una de las actividades del sistema eléctrico, que consiste en la producción de potencia y energía eléctrica en centrales de conversión mediante el aprovisionamiento y transformación de energía primaria hasta los puntos de entrada de la red de transmisión, así como todos los equipos necesarios para su operación y mantenimiento [18]. Cada región o país de acuerdo a la disponibilidad geográfica de estos recursos, podría desarrollarse en mayor o menor grado algunos de estos sistemas. Se pueden dividir según varios parámetros ya sean convencionales o no convencionales, renovables o no renovables.

La siguiente tabla 2.1 muestra las diferentes centrales eléctricas, según si son térmicas o no térmicas.

Tabla 2.1: Tipos de Centrales de Generación. Fuente: Escalona y Ochoa (2011)

Centrales de Generación	
Térmicas	A Vapor: Utiliza recursos no renovables como el carbón y combustibles derivados del petróleo para producir calor, el cual se utiliza para transformar agua en vapor a alta presión y luego este impulsa a una turbina que acciona un generador eléctrico.
	Con Turbina a Gas: Los componentes básicos de una planta de gas convencional son: una turbina, una cámara de combustión, un compresor que es accionado por la turbina, un motor de arranque y el generador. Se utilizan para suministrar las cargas puntas en el sistema.
	Con Motores Diesel: Utilizan máquinas de combustión interna del tipo Diesel para impulsar directamente a un alternador. Son utilizadas por su rápido arranque en situaciones de emergencia. Reducida capacidad y elevado costo de operación. En Venezuela son usadas en los pueblos alejados del sistema interconectado.

Continuación Tabla 2.1

Térmicas	Nucleares: La fuente de energía es la fisión nuclear controlada. Este proceso produce calor, el cual es utilizado para transformar agua en vapor, que será empleado para mover una turbina que a su vez gira el generador.
	Solar (Conversión Indirecta): Estas plantas utilizan directamente la energía proveniente del sol, concentrándola en calderas, con el fin de producir vapor para impulsar una turbina convencional. Utiliza un combustible libre de costo y no contaminante.
No Térmicas	Hidráulica: Utiliza el agua que fluye por acción de la gravedad para impulsar turbinas que, a su vez, accionen un alternador. En Venezuela, la mayor parte de su producción de electricidad es por medio de Centrales Hidráulicas. Para el 2009 produjo el 73% de su energía eléctrica.
	Eólica: La turbina eólica constituye el elemento principal de los sistemas de aprovechamiento de energía, constituida por un conjunto de aspas, soportadas por una torre, que giran al ser atravesadas por una masa de aire, y este movimiento acciona un generador. Las aeroturbinas deben agruparse en dos grandes conjuntos, de eje horizontal y de eje vertical.
	Solar (Conversión Directa): El principio de funcionamiento de estas centrales es el efecto fotovoltaico. Las celdas solares convierten directamente la energía solar captada en energía eléctrica al generarse portadores móviles de carga eléctrica. Las celdas solares son modulares, no tienen partes móviles, trabajan usualmente a temperatura ambiente, no requieren de mantenimiento y operan tanto como con la radiación directa como la difusa.

2.2.3.2. Generación Distribuida

Se define como cualquier tecnología de generación a pequeña escala, que proporciona electricidad en puntos más cercanos al consumidor que la generación

centralizada y que se puede conectar directamente al consumidor o a la red de transporte o distribución. La Generación Distribuida representa, por tanto, un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada. Aunque se piensa que es un concepto nuevo, la realidad es que tiene su origen, de alguna forma, en los inicios mismos de la generación eléctrica.

Por otra parte, el éxito de la difusión y fomento de la Generación Distribuida radica en la existencia de tecnologías punta que permiten, para potencias pequeñas, generar energía eléctrica de forma eficiente, confiable y de calidad. La tecnología de la energía distribuida es hoy una realidad debido al desarrollo de equipos y programas de nueva generación, que ofrecen máxima garantía, mínimo mantenimiento y muy bajas emisiones, operando con una amplia gama de combustibles [19].

Se conceptualiza la generación distribuida (GD) como aquella generación que se caracteriza por presentar las siguientes características:

- No es centralmente planificada.
- No es centralmente despachada.
- Usualmente conectada a la red de distribución.
- Es más pequeña que la generación convencional, entre 50 a 100 kW.

También la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineer) en 2000 define a la GD como: “La generación de electricidad por empresas suficientemente pequeñas comparadas con las plantas de generación central y las cuales permiten la interconexión a un punto muy cercano del sistema de potencia. Es un subconjunto del sistema de distribución”.

Esta nueva tecnología está siendo conectada lo más cerca posible de la demanda. La generación distribuida se diferencia de la generación central convencional debido a que mientras esta última está asociada a grandes redes de transmisión que llevan la energía producida hasta los centros de consumo, la GD está instalada en el mismo lugar donde se produce la demanda. Esto reduce la utilización de las redes de transporte de energía y las pérdidas globales del sistema por kW-h consumido efectivamente, siendo éstas sus ventajas competitivas fundamentales.

En muchas aplicaciones la generación distribuida (GD) se utiliza para las horas picos de la demanda para de esta forma abaratar costos cuando las tarifas son horarias y se contribuye con la regulación de tensión del sistema eléctrico.

La generación distribuida también permite el aporte de energía a la red central. Esto genera un cambio del esquema tradicional de suministro de energía, el cual se caracteriza por el flujo de energía desde un único proveedor. En este nuevo esquema, una parte de la energía exigida por el consumidor es suministrada por los generadores convencionales centrales (con su respectiva etapa de transmisión), mientras otra parte es producida por la generación distribuida [20].

Es importante destacar que existe cierta dependencia en la eficiencia, velocidades, mantenimiento y años de vida útil entre la generación a gran escala con respecto a las de pequeña escala y por ello es necesario una adecuada evaluación técnico – económica de las mismas.

2.2.3.3. Sistemas de Transmisión y Sistemas de Distribución Eléctrica

El sistema de Transmisión es la parte del sistema de potencia que tiene como función transportar la energía eléctrica desde los centros de generación a los centros de consumo y las posibles conexiones con otros sistemas de potencia.

En muchos países los sistemas de potencia se desarrollaron de forma aislada, sin embargo a medida que estos crecieron y se incorporaron nuevos sistemas, surgió la necesidad entre ellos de operar en paralelo, formando así lo que se denomina Sistema Interconectado. De manera que un Sistema Interconectado puede definirse como un conjunto de dos o más sistemas conectados entre sí mediante líneas de interconexión, las cuales efectúan dicha conexión a nivel de transmisión a capacidades determinadas [17].

En tal sentido, el sistema de subtransmisión usualmente comprende aquella parte del sistema de potencia entre los sistemas de transmisión y distribución, siendo su objetivo el distribuir la energía a ciertos números de subestaciones de distribución. Las líneas de subtransmisión manejan bloques de potencia entre 50MVA Y 100MVA a tensiones que oscilan entre 34.5KV Y 115KV.

El sistema de subtransmisión se diferencia del sistema de transmisión, debido a que no interconecta diferentes centrales de generación ni diferentes sistemas de potencia. Sin embargo, puede alimentar directamente a cargas de gran magnitud y además, ser alimentado por alguna generación local. Por último, es de importancia señalar que en muchos sistemas no existe una clara demarcación entre los circuitos de transmisión y subtransmisión, debido a que el sistema de subtransmisión presenta más de un nivel de tensión, ya sea por razones históricas o económicas, o que no exista ningún nivel como en sistema de poca importancia [17].

Por otra parte, el sistema de Distribución es el encargado de llevar o distribuir la energía eléctrica a cada consumidor. Se considera que lo conforma todo equipo eléctrico desde las estaciones transformadoras o subestaciones hasta cada uno de los lugares donde se desea llevar la electricidad. Está compuesto por un conjunto de instalaciones y equipos necesarios para llevar y adecuar la energía eléctrica desde las líneas de transmisión a cada usuario. Pueden clasificarse según el área que cubren, la densidad de carga que alimentan, según el área donde operan (rural o urbana), entre otros. Utilizan voltajes del orden de los 13.8KV para los circuitos primarios de Distribución y tensiones menores a 1KV para los circuitos secundarios de Distribución.

Es en éste punto donde el concepto de Red Eléctrica toma importancia. Una red eléctrica se puede definir como el conjunto de líneas, transformadores y estructuras encargados de llevar la energía desde los centros de generación hasta los usuarios finales, es decir, todo el sistema de transmisión y distribución.

Las redes eléctricas del país se han desarrollado alrededor de los últimos 50 - 60 años y la mayoría de los centros de generación están alejados de los centros de consumo; es por esto que las redes en la actualidad deben ser diseñadas y rediseñadas para convertirse en redes más efectivas en el transporte de energía y puedan brindar la confiabilidad que se requiere tanto de parte del usuario como de la empresa encargada de su suministro.

Por otra parte, la energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades. Esto implica que su producción debe igualarse a su consumo en todo momento y debe existir un equilibrio constante de la producción con la demanda. Esa es la otra gran función del operador del sistema, en la que debe de prever el consumo y supervisar en tiempo real las instalaciones de generación y transporte de forma que la producción de las centrales sea la demanda real de los

consumidores. Si hay desviaciones debe de enviar las órdenes necesarias (tanto de aumento como de disminución) a las centrales para que ajusten la producción y se iguale a la demanda, evaluando las restricciones técnicas y económicas impuestas por el sistema. La manera de operar o despachar los sistemas con métodos tradicionales difiere bastante de la operación o despacho de los sistemas que manejan mercados de electricidad [1].

2.2.3.4. Subestación

Es importante mencionar que las subestaciones eléctricas, son instalaciones conformadas por los equipos necesarios para hacer factible el control de las operaciones del sistema eléctrico. De aquí, que no pueda desarrollarse el estudio de las subestaciones sin la comprensión cabal de que estas instalaciones son parte indivisible del sistema de potencia.

Entre las funciones principales de las subestaciones se encuentra la transformación entre distintos valores de tensión, proceso es fundamental para hacer posible la economía en la transmisión y distribución, por la necesidad de incrementar los valores de tensión de transmisión en la medida en que los bloques de energía sean mayores y deban ser transmitidos a grandes distancias entre centros de generación y centros de consumo [21].

Otra de las funciones primordiales de las subestaciones es la de protección, que surge de la necesidad de operar el sistema de forma tal que las fallas que se presenten, afecten de la manera más leve posible al sistema, lo que significa principalmente, limitar a un muy breve período las altas corrientes asociadas a las fallas y restringir la zona afectada.

Otra función de gran importancia es de carácter económico y lo constituye la necesidad de medir las variables eléctricas con propósitos de facturación de la

energía, bien sea entre diversos integrantes del sistema interconectado o dirigida a los consumidores [21].

Es importante detenerse en el hecho de que a medida que crece la envergadura del sistema, se incrementan los posibles efectos económicos negativos en la calidad de vida de la sociedad que puedan originarse a causa de interrupciones de servicio debido a fallas o a operaciones incorrectas, lo cual exige de las instalaciones que integran el sistema, un mayor grado de complejidad tecnológica que conlleva a la aplicación de sistemas automáticos de control y sofisticados sistemas de telecomunicación.

Todo esto lleva a concluir que las subestaciones son instalaciones cuyo estudio exige un conocimiento profundo de las funciones asociadas a los sistemas de potencia, así como también, de otras disciplinas de la ingeniería [22].

2.2.3.5. El Usuario

Como último eslabón de una Red Eléctrica se tiene al consumidor final, el usuario o también llamado cliente o carga, que es quien le da uso a la energía eléctrica. El usuario es toda persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación del servicio eléctrico, bien como titular de un contrato de servicio o como receptor directo del mismo [18].

Como bien se mencionó anteriormente, existen diferentes tipos de sistemas de Distribución, y una de esas calificaciones es según la densidad de carga de una zona, es decir, la cantidad de potencia que se instala en un área. Se puede inferir de esta forma que no en todos los lugares de consumo se instala la misma potencia, lo que hace pensar que existen diferentes tipos de usuarios, es decir, diferentes niveles de consumo de energía eléctrica.

Los usuarios residenciales son los más comunes. Son aquellos usuarios cuyo contrato de servicio será para una residencia o vivienda. Este tipo de usuarios se pueden clasificar según la capacidad instalada en sus viviendas. Para potencias menores a 3KVA se clasifica como grado de electrificación mínimo, entre 3KVA y 6KVA se clasifica como grado de electrificación media y para mayores a 6KVA como grado de electrificación elevada. Claro está que el grado de electrificación depende del nivel socioeconómico de los usuarios residenciales, comerciales, industriales y con la adición de las categorías oficiales y especiales. Existen diversas formas de clasificarlos ya sea su ciclo de utilización, sus características eléctricas, según las tarifas, ubicación geográfica, tensión de suministro o uso de la energía [23].

También existen los usuarios industriales, que representan el mayor consumo de potencia en el país debido a los procesos que deban llevarse a cabo dentro de plantas e industrias.

Los usuarios comerciales son aquellos cuyo contrato de servicio está hecho para centros de comercio, es decir, centros comerciales, oficinas comerciales, entre otros.

Cada uno de estos tipos de usuarios tiene tarifas eléctricas diferentes debido a que cada uno de ellos consume diferentes niveles de potencia. Esto se debe que los horarios de operación industriales no son los mismos que los residenciales y estos últimos no tienen el mismo patrón de consumo que los usuarios comerciales. Esto aunado a que los equipos eléctricos de una oficina o un comercio, se diferencian en gran medida a los de un hogar o una industria cualquiera.

2.2.4. Demanda Eléctrica

En las labores de gestión energética dentro de la empresa de suministro de energía eléctrica, uno de los primeros pasos que generalmente se debe llevar a cabo es la conformación de una base de datos compuesta básicamente por cifras sobre producción y consumos de energía eléctrica; de allí surge la necesidad de conocer con mayor precisión la eficiencia energética del sistema eléctrico, así como conocer la demanda máxima a la que este está sometido.

La demanda eléctrica de un país se debe proyectar con suficiente antelación basado en las características demográficas, premisas económicas y los factores climáticos. Equipos multidisciplinarios en las áreas técnico financieras procesan los datos de una manera que permita evaluar, seleccionar y planificar la coordinada gestión de los recursos de combustibles y recursos hidrológicos requeridos para la producción eléctrica. [1].

La demanda eléctrica se puede definir como la potencia consumida por la carga, medida por lo general en intervalos de tiempo, expresada en KW o KVA. El término más usado es el de la demanda máxima, ésta no es más que la carga mayor que se presenta en un sistema en un período de trabajo previamente establecido. La demanda máxima en Venezuela ha venido variando progresivamente partiendo en el 2005 con 14.680 MVA, para el 2006 tuvo un incremento y llegó a los 15.945 MVA, en el 2007 reportó un decrecimiento y alcanzó los 15.551 MVA, en el 2008 alcanzó los 16.351 MVA superando la demanda máxima registrada en el 2006, para el 2009 obtuvo otro incremento y reportó 17.337 MVA, y en 2010 tuvo un retroceso y se ubicó en los 16.755 MVA como se muestra en la figura 2.2 [24].

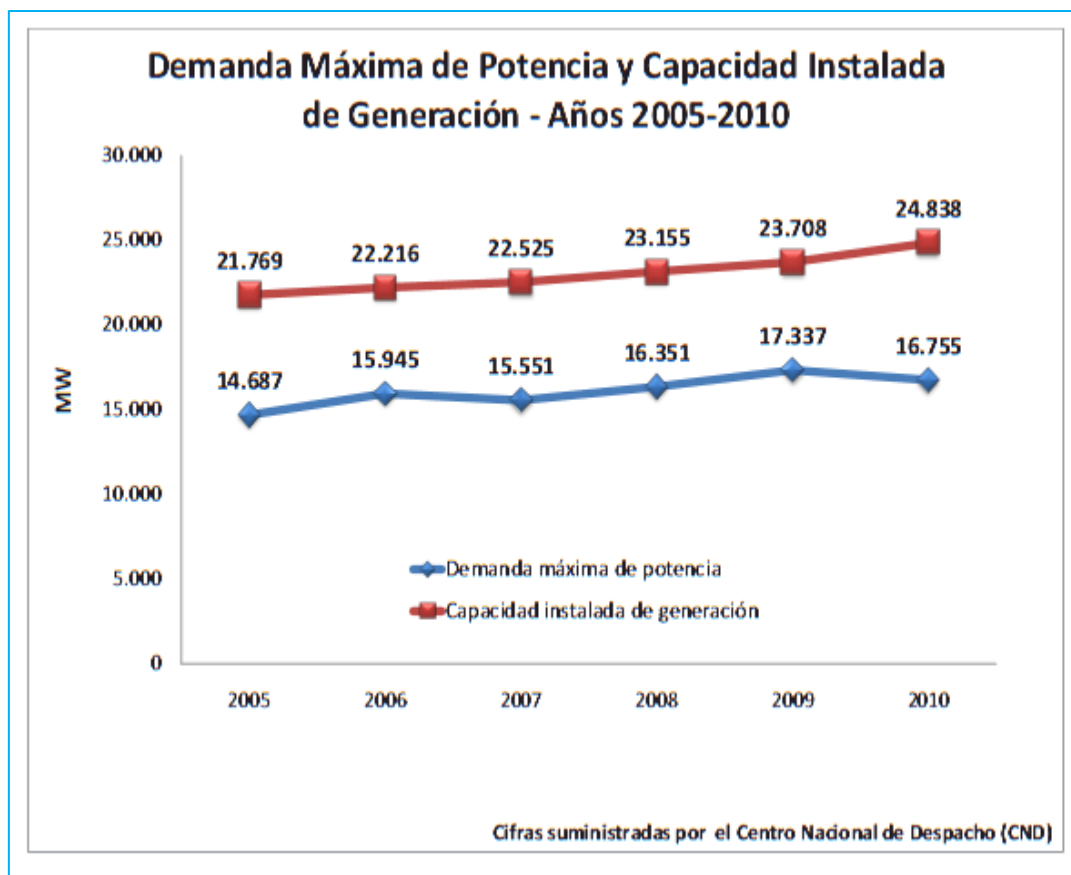


Figura 2.2: Demanda Máxima de Potencia y Capacidad Instalada de Generación – año 2005 – 2010. Fuente: Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Memoria 2010. [25]

La variación de la demanda en el tiempo da origen a lo que se conoce como curva de demanda siendo una representación de la demanda vs el tiempo. Cada país, región o empresa de servicio posee una curva de demanda que puede ser diaria, mensual o anual muy característica, como se observa en la Figura 2.3 donde se representa teóricamente la demanda máxima por hora que se registra en nuestro país. Esta curva se dibuja para el día pico de cada año del período estadístico seleccionado. Las curvas de carga diaria están formadas por los picos obtenidos en intervalos de una hora para cada hora del día.

Las curvas de carga diaria dan una indicación de las características del patrón de carga en el sistema, sean éstas predominantemente residenciales, comerciales o industriales y de la forma en que se combinan para producir el pico. Su análisis debe conducir a conclusiones similares a las curvas de carga anual, pero proporcionan mayores detalles sobre la forma en que han venido variando durante el período histórico y constituye una base para determinar las tendencias predominantes de la demanda del sistema [6].

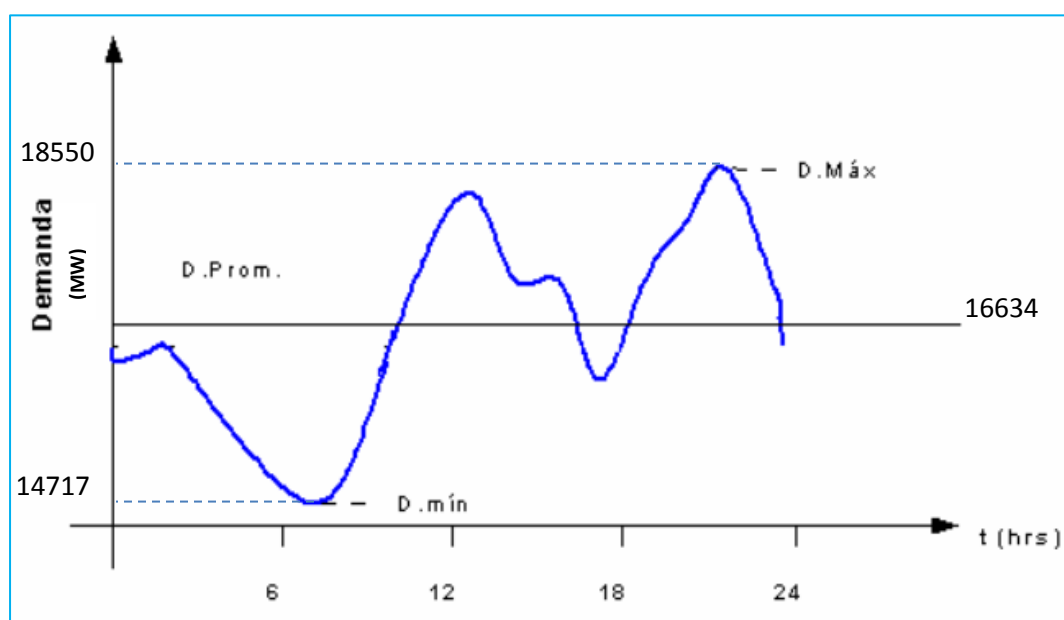


Figura 2.3: Curva Teórica de Demanda Diaria Típica del Sistema Eléctrico Nacional de Venezuela del 2007. Fuente: Ing. Juan Carlos González. (2008) [30].

2.2.5. Medidor Eléctrico

La medición de energía eléctrica que se efectúa mediante medidores, resulta de interés para calcular la cantidad de energía que la compañía suministradora debe facturar a los usuarios en KWh o KVA. También se utiliza para conocer la cantidad de energía a través de las redes de distribución que no son traducidas precisamente en trabajo útil o electromecánico por falta de compensación de cargas reactivas (KVAR). Es importante comprender que la

economía de la producción de la energía eléctrica depende de su modo de utilización, y éste a su vez, de múltiples factores. Dichos factores dieron origen a la creación de una gran variedad de medidores de energía, los cuales realizan un proceso de tarifado que obliga al consumidor en varios países a ajustar sus instalaciones y su equipamiento, como también los horarios de su funcionamiento, de tal manera que la compañía productora trabaje con el mayor rendimiento de sus instalaciones de distribución. De esa manera, la energía eléctrica puede ser ofrecida a menores costos [25].

Históricamente, la medición de la energía eléctrica consumida por un determinado usuario fue y sigue siendo en muchos casos, a través del medidor electromecánico. No obstante, en la actualidad está siendo remplazado lentamente por dispositivos electrónicos que ofrecen mayor seguridad, eficiencia y flexibilidad para la medición de diferentes parámetros, y no solamente de energía.

Estos equipos poseen memoria no volátil para almacenar datos referidos al comportamiento del sistema, que permiten realizar un seguimiento del mismo. También están adaptados para implementar un sistema de energía prepaga a nivel industrial, ya que permite un mejor control del suministro de energía.

Para poder distinguir los medidores en cuanto a su propósito, se los puede agrupar de la manera siguiente:

1. Considerando el sistema de la red a través de la cual se utiliza la energía: medidores monofásicos y trifásicos.
2. Considerando el tipo de receptor cuyo funcionamiento influye en la tarifa: medidores de energía activa, reactiva o aparente.

3. Considerando el horario de utilización y la máxima carga de corta duración: medidores de tarifa múltiple y de demanda máxima. Existen diferentes tipos de medidores que pueden pertenecer a uno o varios de estos grupos.

A pesar del constante desarrollo que han tenido los medidores electromecánicos en las últimas décadas, los medidores electrónicos o de estado sólido están abarcando el mercado porque no sólo realizan la misma función que los anteriores, sino que no cuentan con partes móviles o electromecánicas, evitando el error por desgastes y deformaciones. Estos tienen más prestaciones porque miden energía activa, reactiva y aparente, la demanda máxima, doble y multi-tarifa. Miden la tensión de línea, la corriente que está circulando, el factor de potencia, y otras características de la red, que determinan un parámetro global denominado calidad de energía. Actualmente hay una gran variedad de este tipo de medidores, cada uno con características diferentes, que permiten cubrir prácticamente todas las necesidades en cuanto a medición paramétrica se refiere. Casi todas las firmas presentes en el mercado dedicadas al desarrollo de contadores electromecánicos incluyen en sus avances a los electrónicos, dada la gran versatilidad que presentan los mismos, y por ser la tendencia actual [25].

La instalación de los sistemas de contadores de Energía Eléctrica, permite conocer no solamente el consumo total de energía de cada usuario, sino también establecer gráficos de consumo para el estudio de nuevas instalaciones para el sector.

El empleo de motores y otros sistemas inductivos introducen en la red energía reactiva; las líneas se cargan con dos corrientes, la activa y la reactiva y los generadores y estaciones transformadores sufren este consumo adicional. Si el usuario solo dispone de un sistema contador normal, es decir de energía activa, la compañía suministradora debe cubrir los gastos de la componente reactiva; por

esta razón, a partir de cierta potencia límite, es obligatoria la instalación de contadores de energía reactiva, con tarifas por la utilización de este consumo de energía, obligando así a los usuarios a instalar estaciones de compensación del factor de potencia que anulen la mayor parte de la componente reactiva, o en su defecto penalizarlo económicamente al usuario.

El equipo para la medida de la energía eléctrica consumida consta principalmente de tres elementos, como son: el sistema de medida, el elemento de memoria y el dispositivo de información, como se muestra en la figura 2.4. En este sentido el contador eléctrico realiza la función de interfaz de la red con el usuario, estos pueden ser electromecánicos y electrónicos [26].

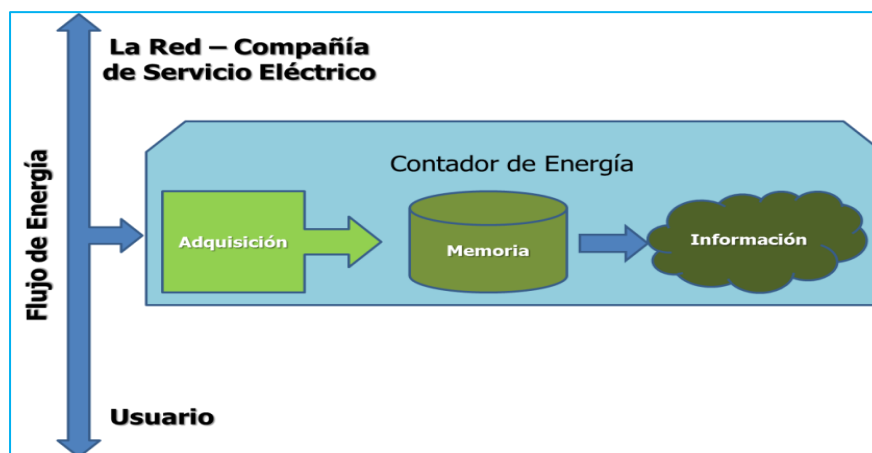


Figura 2.4: Estructura Genérica de un Contador de Energía Eléctrica. Fuente: Francisco Casellas, Guillermo Velasco, Francesc Guinjoan y Robert Piqué. [27]

- **Medidor Electromecánico**

Este modelo de medidor es un instrumento de bajo costo, permite medir solamente un tipo de energía, KWh acumulados o KVAh acumulados, no poseen discriminación tarifaria, puede trabajar correctamente durante largos períodos con bajo mantenimiento. Registra el consumo de energía de una carga mediante el conteo de las vueltas de un disco giratorio de aluminio. El giro del disco es

causado por la potencia que pasa a través del medidor. El medidor electromagnético típico que se presenta en los consumidores residenciales, se observa en la figura 2.5.



Figura 2.5: Medidor Electromecánico. Fuente: Paz y León (2007). [28]

Su funcionamiento es semejante al de un motor de inducción. La bobina de corriente y el núcleo metálico sobre el que está enrollada originan un campo magnético. La bobina de voltaje y su núcleo metálico originan un campo magnético adicional. En el disco de aluminio el cual se coloca para estar influenciado por ambos campos, se originan corrientes parásitas debido a la variación del campo magnético de la bobina de corriente. Esas corrientes parásitas interactúan con el campo magnético de la bobina de voltaje y se ejerce un par en el disco. Como no hay resortes de restricción, el disco continúa girando mientras se alimenta corriente a través del medidor. El par en el disco es proporcional al producto de tensión por corriente ($V \cdot I$). Así, mientras mayor sea la corriente que pasa por el medidor, más rápido girará el disco. El número de

vueltas es una medida de la energía consumida por la carga. El eje en el que está montado el disco está unido a un mecanismo de engranajes ciclo métricos, que al leer los valores se puede calcular la energía que pasa a través del medidor durante el intervalo de las lecturas [27].

Para que la velocidad de rotación del disco permanezca proporcional a la potencia en la carga, es decir, para que el disco no continúe acelerándose cuando se le aplica un par, se debe aplicar un par de freno o de retardo al disco. Los imanes permanentes colocados en la orilla del disco están diseñados para producir este par de retardo y por consiguiente se conocen como imanes de freno. Cuando gira el disco entre los campos magnéticos de los imanes, se origina la aparición de corrientes parásitas. Estas corrientes en sí son proporcionales a la velocidad angular del disco y originan sus propios campos magnéticos. Los campos magnéticos del imán permanente y del disco interactúan para originar un par de retardo en el disco, proporcional a la velocidad de giro. Por lo tanto, se mantiene una velocidad de rotación en el disco proporcional a la potencia que se consumiendo en la carga. En la figura 2.6 se puede observar fácilmente las partes y el funcionamiento de un medidor electromagnético.

La relación existente entre el consumo de energía y el giro del disco de un medidor electromagnético, viene dada por la constante de vatios hora del medidor, conocida como kh y que relaciona las revoluciones del disco del equipo de medición con el consumo de energía. Esta constante viene expresada en Wh/rev para la norma ANSI o en rev/kWh para la norma IEC, las mismas que están indicadas en la placa del equipo [27].

Otra de las constantes que es de gran importancia para el medidor, es la relación de la relojería (R_r). Esta constante se define como el número de vueltas del disco que se requiere para que el engranaje principal de la relojería de una vuelta; es decir complementa la constante (kh) para que al girar el disco el

número necesario de vueltas para un kilovatio-hora (kWh) el medidor indique efectivamente un kWh en su relojería. En el Apéndice A específicamente en el punto A.1. Se desglosan detalladamente las partes de un medidor electromecánico [27].

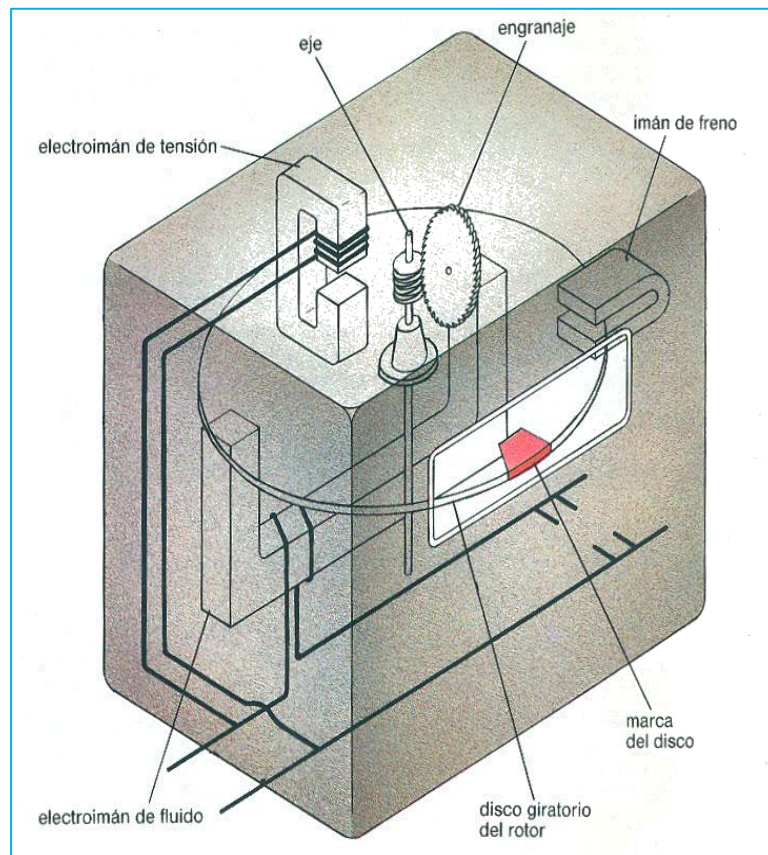


Figura 2.6: Funcionamiento de un Medidor Electromecánico. Fuente: Paz y León. [28]

- **Medidor Electromecánico con Registrador Electrónico**

Posee el mismo tipo de funcionamiento que el de un medidor electromecánico salvo que en este tipo de contador el disco giratorio se configura para generar un tren de pulsos, generando un valor determinado por cada rotación del disco, mediante un captador óptico que censa marcas grabadas en su cara

superior. Estos pulsos son procesados por un sistema digital el cual calcula y registra valores de energía y de demanda. El medidor y el registrador pueden estar alojados en la misma unidad o en módulos separados; en la figura 2.7 se observa cómo son físicamente los medidores electromecánicos con registrador electrónico [27].



Figura 2.7: Medidor Electromecánico con Registrador Electrónico. Fuente: Paz y León (2007). [28]

- **Medidor Electrónico**

Los equipos programables de medición (Automatic Meter Reading o AMR) permiten medir la energía acumulada, registran la medida de energía total mensual o por intervalos de tiempo predefinidos. Contemplan comunicación bidireccional básica entre el medidor y el servidor de datos, permitiendo a partir de esta tecnología las medidas de tiempo de utilización, Time of Use.

Con esta primera evolución, se logró remplazar los contadores electromecánicos por contadores electrónicos de estado sólido, y gracias a esto es posible disponer de la información energética de forma digital. Con este paso dado, es viable añadir capacidad de comunicación al dispositivo, permitiendo al interesado usar la tecnología del contador electrónico o AMR para acceder de

forma remota a los datos a través de la capa de comunicación. Las compañías eléctricas han desarrollado diferentes arquitecturas para acceder a la lectura de los contadores [26].

Estos equipos programables de medida, son electrónicos lo cuales se subdividen en:

- Advanced Meter Infrastructure o (AMI), estos equipos permiten la lectura del consumo de la energía acumulada o de la potencia instantánea, admiten opciones de precios diferenciados por tipo de medida y registros de la demanda, o programación de intervalos de carga previamente acordados con cada cliente. Permiten comunicación en red con la oficina de gestión.
- Smart Meters o medidores inteligentes, estos equipos proporcionan mediante el centro de gestión la información y el control de los parámetros de calidad y de programación del servicio junto con la actualización del software de medición de forma telemática. Contempla la comunicación ampliada en red con el gestor y los equipos locales de consumo.

El medidor electrónico, es un dispositivo de estado sólido totalmente programable por software, uni o bidireccional donde el usuario tiene la posibilidad de seleccionar las variables a medir entre; energía activa, reactiva y aparente, demanda máxima, doble y multi tarifa, valores de potencia activa, reactiva, aparente, corriente, tensión y factor de potencia y otras características de la red que determinan la calidad de energía [26].

Los primeros dispositivos de medida automáticos son del período antes de la invención del microprocesador y del internet. Se trata de dispositivos con la medida electromecánica basados en los contadores eléctricos existentes y con

unas comunicaciones digitales basadas en las incipientes tecnologías digitales de principios de los 60.

Al principio de la década de los 70 la adquisición de datos, procesamiento y comunicaciones estaban muy limitadas por la capacidad de cálculo de los micro controladores y las interconexiones de los sistemas digitales, los primeros diseños están basados en ordenadores pero lejos de ser viables económicamente. El marco tecnológico definido por la microelectrónica y las comunicaciones en el desarrollo de los AMR pueden resumirse en la siguiente tabla 2.2 [26].

Tabla 2.2: Tabla resumen de avances en la microelectrónica y comunicación en el desarrollo de los AMR. Fuente: Motta y Lombardero (2008). [26]

Periodo	Descripción
1963	La empresa Silvana comercializa los. primeros circuitos integrados de tecnología TTL
1969	La primera red interconectada mediante el primer enlace entre las universidades de UCLA y Stanford.
1971	Inicia la producción del microprocesador 4004.
Década de los 70	Se comercializan los procesadores domésticos
1981	Los ordenadores personales de IBM PC5150
1978	En 1978 la empresa Metretek, Inc., desarrolló un diseño pre-Internet y produjo el primer AMR totalmente automatizado disponible comercialmente para la telelectura del contador mediante un sistema de gestión que utilizó un mini-ordenador de IBM.

Con estas premisas en la industria electrónica en la década de los 80 se comienzan a producir los primeros contadores híbridos, basados en los contadores de inducción. Los primeros AMR son dispositivos de medida (contadores de energía en el sentido clásico) que incorporan una Micro-ControllerUnit (MCU), que permite tanto automatizar el sistema como dotarlo de capacidad de comunicación con un sistema central. Se trata de dispositivos de medida que facilitan los valores de consumo eléctrico con una cadencia

predefinida y que pueden transmitir la medida mensualmente o definir un período menor de facturación.

Los contadores totalmente electrónicos comienzan con los modelos monofásicos para después implementar los polifásicos, en la década de los 90, sin piezas electromecánicas a excepción de las borneras, un esquema de estos medidores de manera general se puede ver en la figura 2.8.

Con este tipo de dispositivo se pretende proporcionar fiabilidad a los datos obtenidos, la necesidad de obtener medidas reales en lugar de valores estimados o facilitados por el usuario ya que los equipos de medida se pueden encontrar en lugares privados de difícil acceso. Es importante para el gestor obtener un perfil de consumo fiel a la realidad, para lo que necesita medidas de periodicidad programable [26].

La operativa consiste en enviar la información hasta el Data Management (DM) como parte de una infraestructura de medida, recopilación y gestión de datos donde es necesario un nuevo contador denominado AMI. Las lecturas se indican a los usuarios en tiempo real para que puedan cambiar su comportamiento de consumo en función de las tarifas o de sus inquietudes ecológicas.

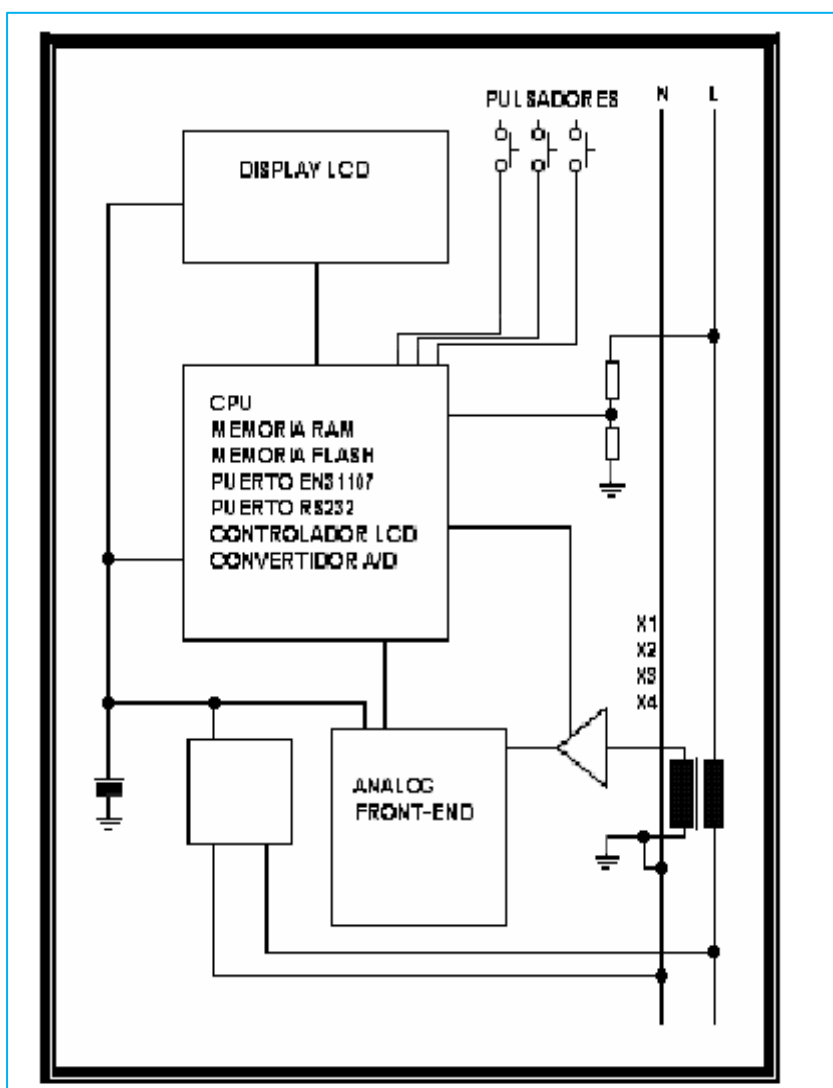


Figura 2.8: Diagrama de Bloques de un Contador Electrónico. Fuente: Motta y Lombardero (2008). [26]

En el presente tema de estudio es de vital importancia la utilización de medidores electrónicos inteligentes o Smart Meter, esta evolución tecnológica básicamente es un AMI que incluye como mínimo los siguientes suplementos, control de energía mediante un ICP programable que establece el límite de consumo, un puerto HAN y servicios de tarificación bajo demanda como se muestra en la figura 2.9 [1].

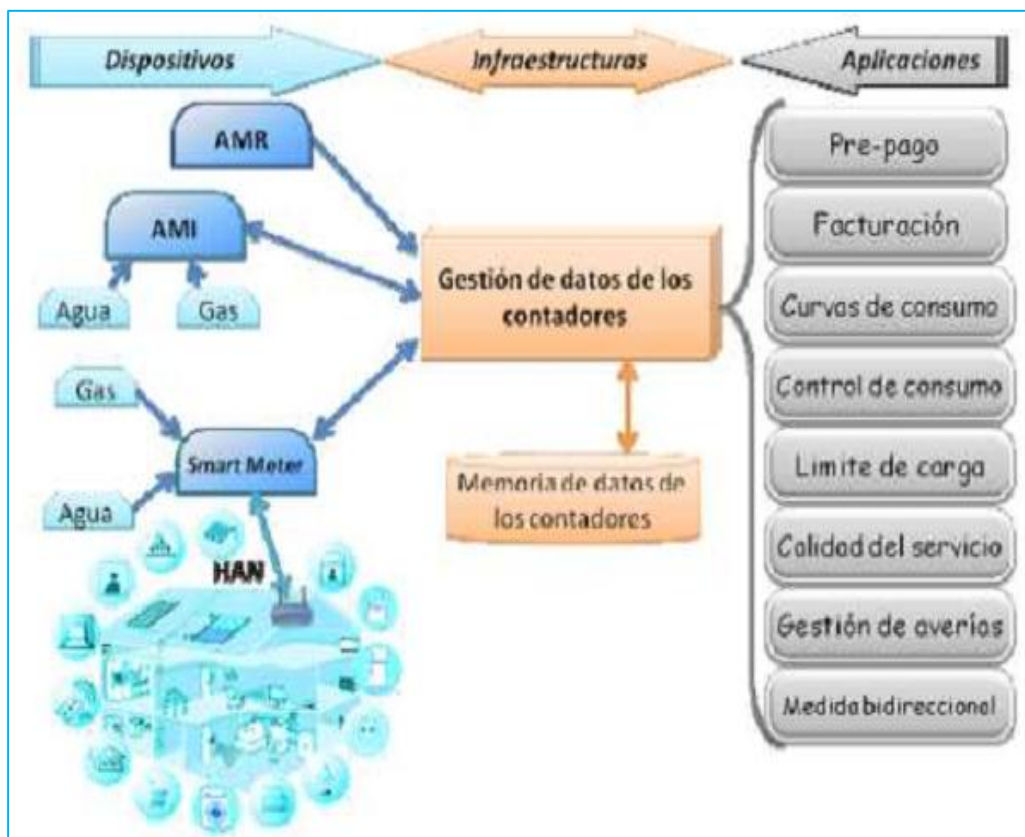


Figura 2.9: Dispositivos y aplicaciones en la Red. Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones (2011). [1]

La estructura general del contador mantiene los tres elementos principales como son el sistema de medida, la memoria y el dispositivo de información principal que es ahora el sistema de comunicación. Para ampliar sus capacidades operativas se le añaden los siguientes elementos complementarios:

- Sistemas de alimentación.
- Procesador de cálculo.
- Procesador de comunicaciones.
- Dispositivo de accionamiento o control

A continuación se citan en la tabla 2.3 algunos de los fabricantes de contadores más destacados que guardan algún tipo de relación con la Smart Grid.

Tabla 2.3: Fabricantes de Contadores Inteligentes. Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones (2010). [1]

Fabricante	País	Producto y Servicio que Ofrecen
Circutor	España	Diseño y fabricación de equipos para la eficiencia energética, protección eléctrica industrial, medida y control de la energía eléctrica.
Echelon	EEUU	Network Energy Services (NES). Contadores inteligentes. Agentes certificados ANSI y IEC para contadores inteligentes.
ElsterGroup	Luxemburgo	Proveedor de equipos para el control de red y software. Desarrollo de soluciones de medición inteligente. Proveedor mundial de productos avanzados de medición y soluciones inteligentes.
GE Energy	EEUU	Contadores inteligentes de electricidad, agua y gas. AMR y Smart Meters.
Iskraemeco	Eslovenia	Proveedor mundial de dispositivos y sistema de medición de energía eléctrica, registro y facturación.
Itron, Actaris	EEUU	Es un proveedor de tecnologías energéticas.
Landis+Gyr	Suiza	Medición de electricidad con posicionado en telegestión y contadores inteligentes.
SiemensEnergy	Alemania	Especializado en sistemas eléctricos de automatización y contadores inteligentes. AMIs.
ZIV	España	Contadores de energía eléctrica y sistemas de contadores, equipos de medida y calidad de servicio eléctrico.

Los fabricantes de dispositivos electrónicos para Smart Meters o medidores inteligentes ofrecen distintos diseños de base para facilitar la fabricación de contadores energéticos. En el Apéndice A, en el punto A.2 se muestran las principales características de algunos de los circuitos integrados más utilizados.

2.2.6. Sistemas de Gestión Basado en SCADA

El término SCADA es el acrónimo de “Supervisory Control and Data Acquisition” y se refiere a la combinación de telemetría y adquisición de datos. Abarca la recolección de información a través de unidades terminales remotas (o RTU por sus siglas en inglés) transfiriéndola a una unidad central que la procesa y

analiza para ser desplegada en pantalla a un operador y tomar acciones de control requeridas.

Los sistemas SCADA se pueden encontrar siempre donde hay un sistema de control. Es por esto que son ampliamente utilizados en el control de procesos industriales tales como; plantas químicas, refinerías, manufactura, minería, generación y transporte de energía, entre otros. Al proveer la gestión en tiempo real de los datos en un proceso productivo, es que los sistemas SCADA hacen posible la implementación de paradigmas de control más eficientes, mejorar la seguridad de las plantas y reducir los costos de operación [29].

Antiguamente, los primeros SCADA desplegaban la información en enormes paneles provistos con una serie de relojes y luces. Los datos eran almacenados en cintas de registros y el operador ejercía la acción de control supervisor mediante la acción manual de botones y perillas.

Posteriormente, se utilizó la lógica de relés para implementar los sistemas de control. Con el desarrollo de los microprocesadores, junto a otros dispositivos electrónicos, se incorporó la electrónica digital en los relés, creando así los “controladores lógicos programables” (o PLC por sus siglas en inglés), siendo éstos uno de los dispositivos de control más utilizados en la industria. Al aumentar las necesidades de monitoreo y control de varios dispositivos en la planta, los PLC’s han diversificado su uso, disminuido su tamaño y aumentado sus capacidades [29].

En la actualidad, los sistemas SCADA utilizan “dispositivos electrónicos inteligentes” (o IED por sus siglas en inglés). Estos equipos, en general, son sensores con capacidades similares a la de los PLC y pueden conectarse directamente a la unidad central del SCADA. Pueden adquirir datos, comunicarse con otros dispositivos y ejecutar pequeñas rutinas de programación. Típicamente

un IED cuenta con entradas y salidas análogas, entradas y salidas digitales, capacidad de procesamiento y memoria, sistema de comunicación y control PID.

- **Componentes de un sistema SCADA**

Un sistema SCADA está compuesto por los siguientes elementos que se identifican en la figura 2.10.

- **Operador:** Persona que monitorea de forma remota la operación de una planta y ejecuta funciones de control supervisor.
- **Interfaz hombre-máquina (HMI):** Software encargado de interactuar con el Operador del sistema. Provee de información y variables de control a través de gráficos, esquemas, pantallas y menús.
- **Unidad terminal maestra (MTU):** Corresponde a la unidad central en una arquitectura maestro/esclavo. La MTU presenta los datos al Operador a través del software HMI, reúne la información de las unidades remotas, y transmite las señales de control a los sitios distantes. El flujo de datos entre la MTU y las unidades remotas es discontinuo, de baja velocidad y alta latencia. Esto hace que los métodos de control sean en general, de lazo abierto.

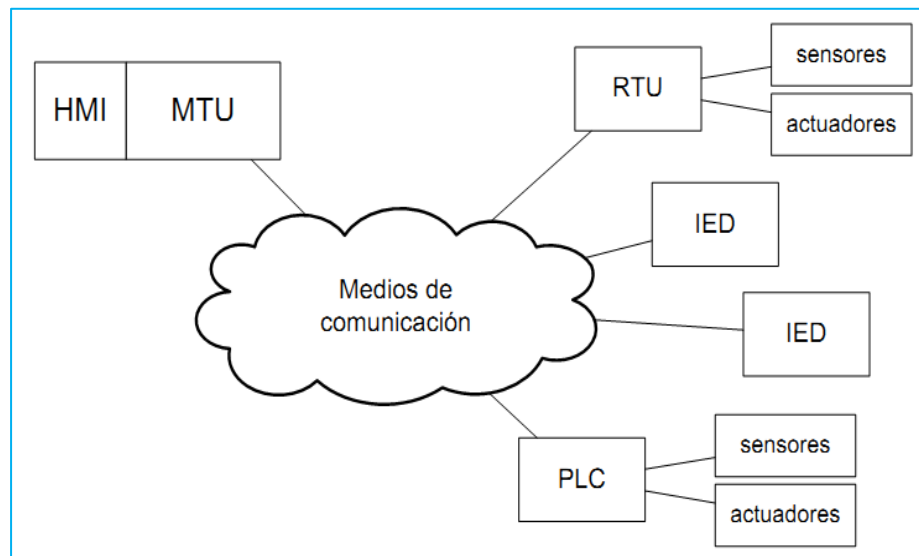


Figura 2.10: Elementos de un Sistema SCADA. Fuente: Weber (2011). [29]

- **Medios de comunicación:** Proveen el canal de comunicación entre la MTU y los dispositivos remotos. Los sistemas de comunicación pueden implementarse sobre redes cableadas, de fibra óptica, enlaces inalámbricos, líneas telefónicas, enlaces de radio y microondas, enlaces satelitales e internet.

- **Unidad terminal remota (RTU):** Corresponde al esclavo en una arquitectura maestro/esclavo. Envía señales de control a los actuadores y recibe señales de los sensores. Adicionalmente, recolecta la información de estos dispositivos y transmite los datos a la MTU. Buenos ejemplos de RTU son los equipos IED y PLC. La velocidad de transmisión entre un RTU y los dispositivos sensores o actuadores es lo que hace posible la implementación de métodos de control de lazo cerrado.

- **Software de un sistema SCADA**

Casi la totalidad de los componentes de software presentes en un sistema SCADA se encuentran alojados en la MTU. Existen tres plataformas de software que se describen a continuación:

- **Sistema operativo:** Es el software que actúa de interfaz entre el hardware y los demás software de la MTU. Es el responsable de gestionar y coordinar los recursos de hardware para que se ejecuten las aplicaciones. El sistema operativo debe presentar características de estabilidad y confiabilidad que aseguren el mejor desempeño y cumplimiento de los requerimientos funcionales de la plataforma.

- **Software principal:** También denominado “Core del SCADA”, corresponde a un paquete de software estándar que es configurado para cada sistema particular. En general, este software es desarrollado por los fabricantes para comunicarse con sus propios dispositivos de control, y utilizan protocolos de comunicación propietarios que no son compatibles con los desarrollos de otras compañías. Esto obligaba la utilización de dispositivos y software de un solo fabricante en la implementación de una plataforma. Sin embargo, el desarrollo de sistemas “Core SCADA” de código abierto capaces de interoperar con dispositivos de distintos fabricantes, han ganado popularidad. La capacidad de implementar protocolos de comunicación estándares y propietarios, permite utilizar equipos de diferentes fabricantes en la misma implementación.

El software principal se caracteriza por implementar las siguientes cinco tareas, cuya funcionalidad se detalla a continuación:

- **Entrada y salida:** Es la interfaz ente los sistemas de control y monitoreo, y la planta.
- **Alarmas:** Gestiona las alarmas mediante el monitoreo de valores y umbrales.
- **Trends:** Recolecta datos para el monitoreo a lo largo del tiempo.
- **Reportes:** Genera reportes a partir de los datos de la planta. Pueden ser periódicos, activados por el Operador, o generados a partir de eventos particulares.
- **Visualización:** es la tarea que gestiona los datos monitoreados por el Operador y las acciones de control solicitadas. Para realizar las tareas descritas anteriormente, el software principal se organiza en los módulos de: Adquisición de datos, Control, Almacenamiento de datos e Interfaz hombre-máquina o HMI.
- **Módulo de Adquisición de datos:** La adquisición de datos se refiere a la recepción, análisis y procesamiento de todos los datos de planta enviados por los dispositivos remotos a la unidad central. Normalmente, los datos procesados en tiempo real se despliegan gráficamente dependiendo de la configuración. La información recibida es comparada con umbrales predefinidos, pulsando automáticamente las alarmas correspondientes cuando se superan los límites configurados. Las alarmas pueden ser identificadas por las RTU o por el Core del SCADA dependiendo de la configuración de la plataforma. La forma en que se accede a los

dispositivos remotos depende de la topología de red y del protocolo de comunicaciones utilizado. Esto determina si el sistema principal controla de forma activa la red de comunicaciones, o solo actúa como un centro de información y control remoto.

- **Módulo de control:** Envía los comandos de control desde la MTU hacia los dispositivos remotos. El envío puede ser de forma automática o pulsada por el operador.

- **Módulo de Almacenamiento de datos:** El almacenamiento de datos depende del software, hardware y configuración utilizados. Los datos históricos deben poder ser consultados para hacer análisis de tendencias, generar reportes y buscar fallas. Es importante considerar políticas de respaldo y almacenamiento de los datos historiados.

- **Módulos de Interfaz hombre-máquina (HMI):** La interfaz HMI está compuesta por dispositivos de entrada y salida para interactuar entre el Operador y el sistema de control supervisor. Normalmente se utiliza una pantalla como dispositivo de salida en donde se despliegan los datos en tiempo real. Teclado y mouse se utilizan como dispositivos de entrada. Un buen diseño de la interfaz de visualización debe contar con distintos niveles que muestren la operación de la planta en tiempo real. El primer nivel debe mostrar una visión general de la planta a controlar. El segundo nivel debe mostrar el detalle de un sector o un subproceso de la planta y solo se desplegarán las variables más importantes.

Un tercer nivel debe presentar todos los detalles de cada uno de los equipos del subproceso, tales como alarmas, información de sensores, variables y comandos de control.

Los gráficos deben ser lo más claros posible, mostrando toda la información importante evitando saturar la pantalla con excesivos datos [29].

2.2.7.-Protocolos de Comunicaciones

La evolución de las redes eléctricas actuales hacia las redes eléctricas inteligentes pasa inevitablemente por la introducción de nuevos equipos inteligentes con capacidad local de decisión y de nuevas tecnologías de comunicación o adaptación de las ya existentes.

El mapa actual de protocolos de comunicación utilizados en el sistema eléctrico es muy extenso, y está regulado por el comité técnico TC57 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Así, IECTC57 agrupa varios grupos de trabajo para estandarizar las comunicaciones en el sistema eléctrico mediante el desarrollo de modelos de datos e interfaces genéricos y la utilización por los mismos de protocolos de comunicación ya existentes como TCP/IP o interfaces serie [1].

Cada uno de estos grupos de trabajo se ha encargado de definir y mantener un estándar de comunicaciones en función de las necesidades de comunicación en cada punto de la red eléctrica. Así, cabe destacar:

IEC60870-5 para comunicar maestros SCADA y subestaciones eléctricas para el control y adquisición de datos sobre líneas serie o TPC/IP (perfiles 101 y 104 respectivamente). Desarrollado por el grupo de trabajo WG3.

IEC60870-6, también conocido como TASE-2 para comunicaciones entre centros de control sobre redes WAN. Desarrollado por el grupo de trabajo WG7.

IEC61970 para interconectar aplicaciones de gestión de energía o EMSs en el entorno de los centros de control. Desarrollado por el grupo de trabajo WG13.

IEC61968 para comunicar los centros de control con los sistemas de la red de distribución. Desarrollado por el grupo de trabajo WG14.

IEC61334 para comunicaciones sobre líneas de distribución PLC. Desarrollado por el grupo de trabajo WG9.

IEC62325 que define una nueva interfaz entre utilidades locales y el mercado energético liberalizado. Desarrollado por el grupo de trabajo WG16.

IEC62351 para definir perfiles de seguridad a utilizar en todos los anteriores a nivel TCP/MMS/61850... Desarrollado por el grupo de trabajo WG15.

IEC61850 para automatización en el entorno de subestaciones eléctricas (buses de estación y proceso) y comunicación entre sus IEDs (Intelligent Electronic Devices). Desarrollado por el grupo de trabajo WG10. Teniendo como referencia IEC61850 se han desarrollado otras normativas similares en otros ámbitos de aplicación:

- IEC61400-25 que hereda un subconjunto de servicios de comunicaciones definidos en IEC61850, aporta un nuevo mapping de comunicaciones a Servicios Web y extiende el modelo de datos modelando las funcionalidades, datos y atributos presentes en un aerogenerador.

- IEC61850-7-420, que extiende el modelo de datos modelando las funcionalidades, datos y atributos presentes en sistemas de generación distribuida tales como sistemas fotovoltaicos, sistemas de almacenamiento, generadores diesel y sistemas de intercambio de calor.
- IEC61850-7-410, idéntico a IEC61850-7-420 para centrales hidroeléctricas.

En la figura 2.11 se puede observar la relación entre los distintos actores presentes en las redes eléctricas y los protocolos utilizados entre ellos para el intercambio de información:

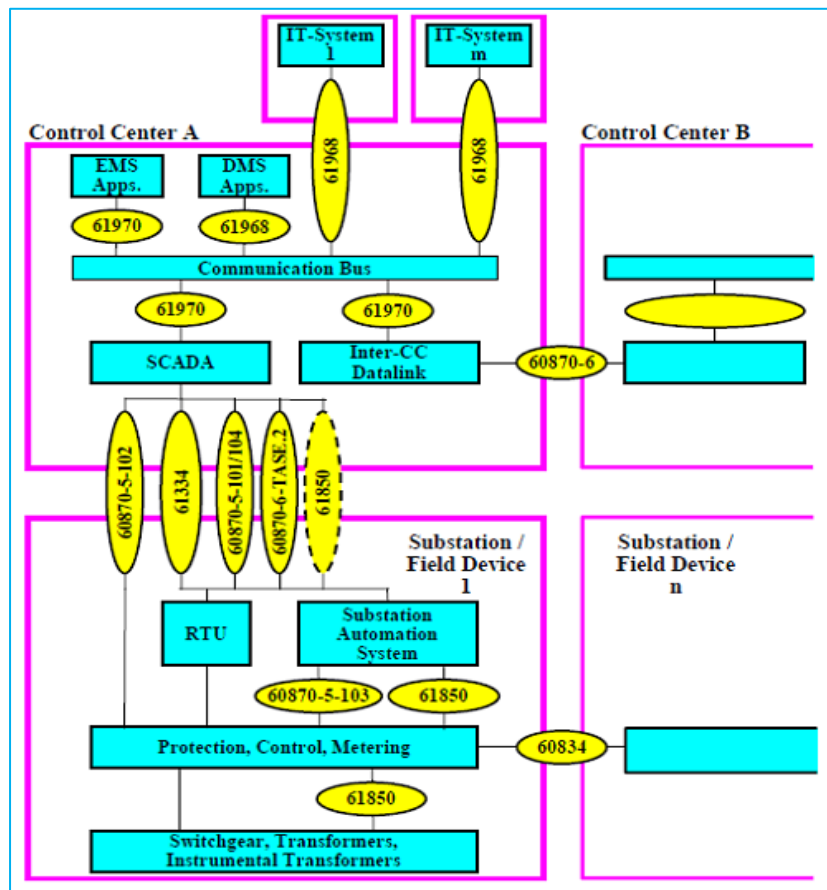


Figura 2.11: Utilización de protocolos en la red de distribución. Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones (2011). [1]

Todos estos protocolos son ampliamente utilizados dentro del sistema eléctrico cada uno dentro del ámbito para el que fueron definidos: generación, transporte o distribución [1].

2.2.8. Red Eléctrica Inteligente o Smart Grid

Smart Grid o Red Eléctrica Inteligente es un sistema interconectado de tecnologías de información y comunicación con tecnologías de generación, transmisión y distribución de electricidad y de uso final, que tiene el potencial de permitir a los consumidores gestionar su uso y escoger las ofertas de suministro

de energía más eficientes económicamente, mejorar la confiabilidad y estabilidad del sistema de suministro a través de la automatización, y mejorar la integración en el sistema de las alternativas de generación más benignas para el medioambiente, incluidos recursos renovables y almacenamiento de energía [1].

La tecnología de Smart Grid nace de los intentos por usar controles de consumo mediante medidores y sistemas de monitorización. En 1980, los medidores automáticos se utilizaron para monitorear las cargas de millones de clientes, lo que derivó en una infraestructura avanzada en 1990 que era capaz de determinar la cantidad de energía que se utilizaba en diferentes momentos del día.

La Smart Grid mantiene una constante comunicación como se puede observar en la figura 2.12, en donde se ilustra la red eléctrica inteligente a nivel residencial resaltando todos esos nuevos instrumentos, equipos y elementos que hacen que la red eléctrica tradicional evolucione a la red eléctrica inteligente, por lo que los controles se pueden hacer en tiempo real y se pueden utilizar como un puente para la creación de sistemas inteligentes de ahorro de energía en las casas así como también la utilización de energías renovables tanto en la generación distribuida así como a nivel residencial, incluso el uso de vehículos eléctricos es importante. Uno de los primeros dispositivos de este tipo, fue el de demanda pasiva que permite determinar las variaciones de frecuencia en la provisión de energía en las casas [1].

Los proyectos más recientes son los que utilizan tecnología inalámbrica o Banda Ancha sobre Líneas Eléctricas. Los procesos de monitorización y sincronización de las redes se desarrollaron enormemente cuando la Bonneville Power Administration (BPA) creó un nuevo prototipo de sensores que eran capaces de analizar con gran rapidez las anomalías en la calidad de energía eléctrica en áreas geográficas muy grandes. Esto derivó el primer Sistema de Medición para Áreas Extensas en el 2000. Otros países han integrado también esta tecnología; China, está construyendo su WAMS, que estará terminada en el 2016.

En abril de 2006, el Consejo Asesor de la Plataforma Tecnológica de redes tecnológicas del futuro de Europa presentó su visión de Smart Grids. Esta es impulsada por los efectos combinados de la liberación del mercado, el cambio de las tecnologías actuales por las de última generación para cumplir los objetivos ambientales y los usos futuros de la electricidad [1].

Actualmente, se siguen usando redes eléctricas que fueron desarrolladas hace más de un siglo, sin embargo, en un futuro inmediato se deberán afrontar nuevos desafíos que surgen de la liberalización de los mercados y de la evolución de la tecnología en este campo. Aunque el funcionamiento de las redes actuales es correcto, en Venezuela se debe trabajar para proporcionar un suministro eléctrico seguro y sostenible.

Las nuevas especificaciones que implementará el sector eléctrico serán las siguientes:

- **Participación activa del usuario:** En la red actual el usuario es una parte completamente pasiva, el desarrollo de las redes pretenderá desarrollar una actuación del usuario más participativa, surgiendo oportunidades de micro generación, demanda energética flexible, servicios

adaptados a sus necesidades, etc. Para lograr este punto será necesario incentivar la participación del usuario a la hora de entregar energía generada localmente, en función de su cantidad y la franja horaria.

- **Automatización de la red eléctrica:** Esto permitirá realizar un mantenimiento mucho más eficiente de todos los componentes de la red, incluso implementando soluciones de gestión remota. Por tanto será necesario realizar una fuerte inversión en la renovación de las infraestructuras existentes. Existen proyectos que tratan sobre estos conceptos exponiendo una arquitectura basada en los dispositivos electrónicos inteligentes según la norma IEC 61850 en donde se avala el nuevo estándar en automatización en subestaciones.

- **Seguridad en la generación centralizada:** El crecimiento de la red y su capacidad de generación, obligará a renovar las centrales generadoras con el fin de asegurar un suministro seguro. De esta forma se mejorará la fiabilidad en el suministro eléctrico ante cualquier perturbación.

- **Generación distribuida y fuentes de energía renovable:** Gestión energética local, reducción de pérdidas y emisiones, integración en redes de potencia.

- **Interoperabilidad con las redes eléctricas existentes:** Será necesario mejorar el transporte a largas distancias y la integración de fuentes de energía renovable, fortaleciendo la seguridad nacional de suministro a través de unas capacidades de transferencia mejoradas.

- **Gestión de la demanda:** Desarrollo de estrategias para la regulación local de la demanda y control de cargas mediante medición electrónica y sistemas automáticos de gestión de medidas.

- **Aspectos sociales y demográficos:** Consideración del cambio de la demanda producido por la sociedad al incrementar su confort y calidad de vida.
- **Mejora de la calidad eléctrica:** Será posible la elección del grado de calidad eléctrica requerido por cada usuario, permitiendo un abanico de posibilidades a la hora de contratar el servicio energético. De esta forma será posible cubrir las necesidades para aplicaciones que requieren un nivel de calidad elevado en el suministro eléctrico, evitando microcortes, perturbaciones, huecos, etc.
- **Monitorización de la red:** Aunque en la actualidad existen diversos sistemas de monitorización implantados en la red de transporte, éstos se verán ampliados en gran medida, integrándose también en la red de distribución y en los usuarios finales.

Aunque no existe una definición general estándar, la Plataforma Tecnológica Europea de Smart Grids (Smart Grids: European Technology Platform) define una red inteligente como “una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, generadores, consumidores y aquellos que realizan ambas acciones con el fin de distribuir de forma eficiente y segura el suministro eléctrico, desde el punto de vista sostenible y económico.” [1]

Una red inteligente emplea productos y servicios innovadores junto con monitorización inteligente, técnicas de control, comunicaciones y tecnologías de autoajuste con el fin de:

- Fomentar la participación de los usuarios de forma activa en la red.
- Permitir la coexistencia en la red de todo tipo de generadores, independientemente de su tamaño o tecnología.
- Suministrar a los usuarios una mayor cantidad de información y opciones a la hora de seleccionar el suministro eléctrico.
- Reducir el impacto ambiental por medio de mejoras en la eficiencia de la generación y el transporte energético.
- Mejorar el nivel de la energía eléctrica generada, permitiendo al usuario que lo requiera, disponer de cierto grado de calidad en su suministro energético.
- Mejorar y ampliar los servicios energéticos de forma eficiente.
- Promover la integración de los mercados hacia el mercado Nacional, y facilitar el transporte de energía a largas distancias.

En resumen, una Smart Grid se basa en el uso de sensores, comunicaciones, capacidad de computación y control, de forma que se mejoran en todos los aspectos, las funcionalidades del suministro eléctrico. Un sistema se convierte en inteligente adquiriendo datos, comunicando, procesando información y ejerciendo control mediante una realimentación que le permite ajustarse a las variaciones que puedan surgir en un funcionamiento real. Gracias a todas estas funcionalidades aplicadas a la red, es posible conseguir las características descritas anteriormente.

En la figura 2.13, se puede observar claramente la evolución que debe llevar a cabo la red eléctrica actual para desarrollarse hasta lograr la red eléctrica inteligente. Detallando esta imagen se puede notar fácilmente que la inclusión de la estructura de comunicación es de vital importancia, ya que esta permitirá el monitoreo en tiempo real y la auto gestión por parte del usuario [1].

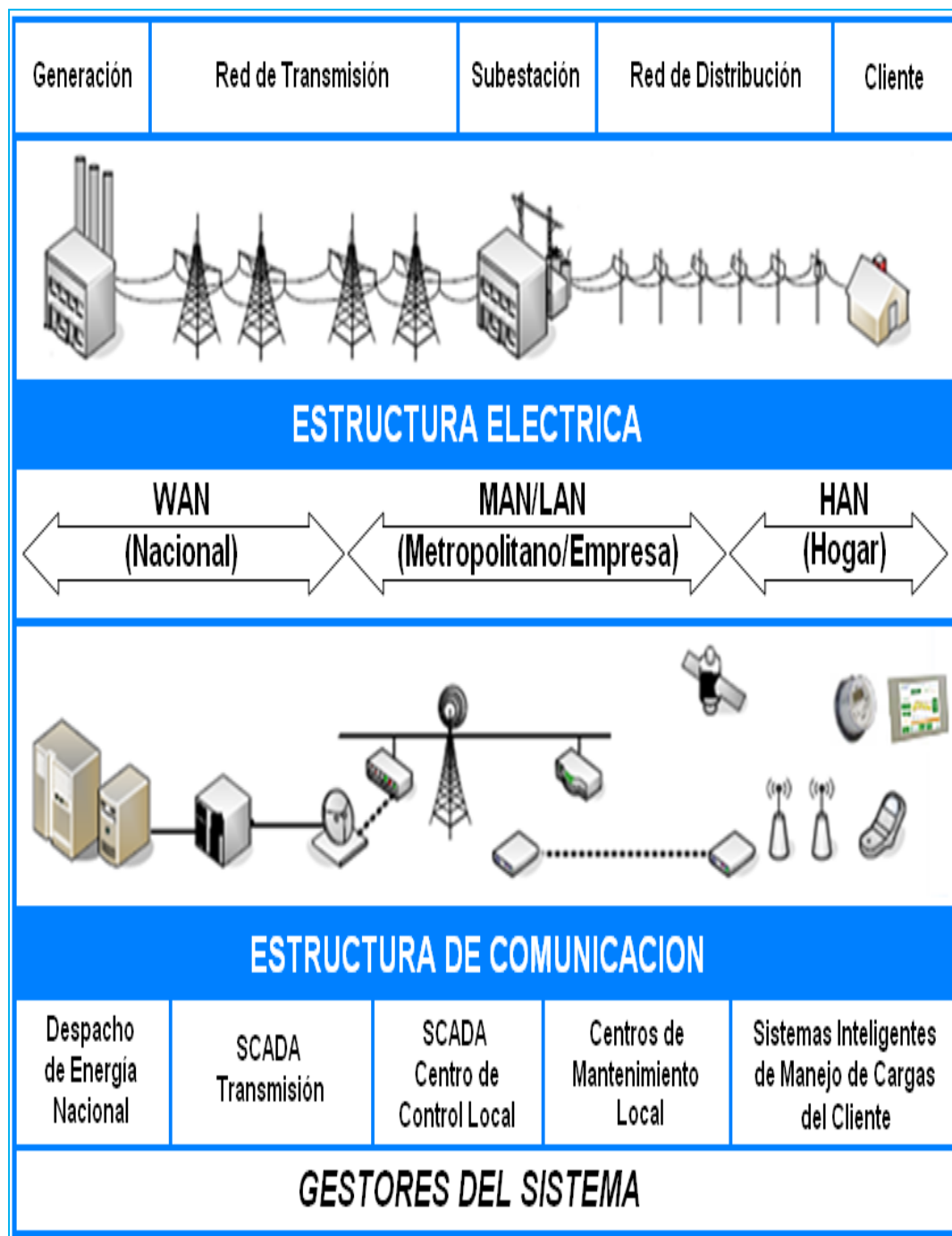


Figura 2.13: Red Eléctrica Actual. Fuente: Rosenfeld y Moreno (2010). [13]

A continuación se representan en la tabla 2.4 las principales características que implementarán las Smart Grids, realizando una comparación de dichas características con las equivalentes en la red eléctrica actual:

Tabla 2.4: Comparación entre las Redes Eléctricas Inteligentes y la Red Eléctrica Actual. Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones (2011) [1].

Característica	Red Eléctrica Actual	Red Eléctrica Inteligente
Automatización	Existencia muy limitada de elementos de monitorización, reservándose a la red de transporte.	Integración masiva de sensores, actuadores, tecnologías de medición y esquemas de automatización en todos los niveles de la red.
Inteligencia y Control	La red actual de distribución carece de inteligencia, por la falta de automatización, monitoreo y comunicación que presentan sus componentes.	Se enfatiza la creación de un sistema de información e inteligencia distribuidos en el sistema. Además de adicionar tecnologías para el monitoreo tanto de variables eléctricas como de equipos.
Autoajuste	Se basa en la protección de dispositivos ante fallos del sistema.	Automáticamente detecta y responde a transmisiones actuales y problemas en la distribución. Su enfoque se basa en la prevención. Minimiza el impacto en el consumidor.
Participación del Consumidor y Generación Distribuida	Los consumidores están desinformados y no participan en la red. No se genera energía localmente, lo que implica un flujo energético unidireccional.	Incorporación masiva de generación distribuida, la que permite coordinarse a través de la red inteligente. En esta generación participa el usuario con la entrega del exceso energético generado localmente.
Resistencia ante Ataques	Infraestructuras totalmente vulnerables.	Resistente ante ataques y desastres naturales con una rápida capacidad de restauración.
Gestión de la Demanda	No existe ningún tipo de gestión en la utilización de dispositivos eléctricos, en función de la franja horaria del día, o del estado de la red eléctrica.	Incorporación por parte de los usuarios de electrodomésticos y equipos eléctricos inteligentes, que permiten ajustarse a esquemas de eficiencia energética, señales de precio y seguimiento de programas de operación predefinidos.
Calidad Eléctrica	Solo se resuelven los cortes de suministro, ignorando los problemas de calidad eléctrica. De esta forma persisten problemas de huecos de tensión, perturbaciones, ruido eléctrico, etc.	Calidad eléctrica que satisface a industria y clientes. Identificación y resolución de problemas de calidad eléctrica. Varios tipos de tarifas para varios tipos de calidades eléctricas

Continuación de Tabla 2.4

Vehículos Eléctricos	Recientemente se están empezando a incorporar puntos de recarga eléctrica en la red, que sólo permiten la recarga de las baterías de los vehículos.	La incorporación de los vehículos eléctricos a la red, está demandando nuevas infraestructuras especializadas destinadas a la recarga y a permitir que cada vehículo pueda convertirse en pequeñas fuentes de generación.
Capacidad para todas las opciones de generación y almacenamiento.	Pocas plantas generadoras. Existen muchos obstáculos para interconectar recursos energéticos distribuidos.	Gran número de diversos dispositivos generadores de energía, para completar a las grandes plantas generadoras. Conexiones "Plug And Play". Más enfocado en energías renovables.
Optimización del Transporte Eléctrico	En la actualidad se pierde una gran cantidad de energía debido a la poca eficiencia en el transporte eléctrico.	Sistemas de control inteligentes que permitan extender los servicios intercambiados entre los distintos agentes del mercado eléctrico y, asimismo, aprovechar eficientemente la capacidad de transmisión de la red.
Preparación de Mercados	Los mercados de venta al por mayor siguen trabajando para encontrar los mejores modelos de operación. No existe una buena integración entre éstos. La congestión en la transmisión separa compradores de vendedores.	Buena integración de los mercados al por mayor. Prósperos mercados al por menor. Congestionamientos de transmisión y limitaciones mínimas
Optimización de bienes y funcionamiento eficiente	Integración mínima de los datos de operación y la gestión de bienes. Mantenimiento basado en tiempo.	Censado y medida de las condiciones de la red. Tecnologías integradas para la gestión de los bienes. Mantenimiento basado en las condiciones de la red.

Además de lo antes señalado, es importante definir todas aquellas partes involucradas dentro de las redes eléctricas inteligentes, además de su papel en éstas [1].

Gracias a la liberación y dinamización del mercado energético mundial, cada vez es mayor el número de agentes implicados en el futuro del suministro eléctrico. Desde miembros del gobierno hasta los usuarios finales, cada agente colaborará para dar forma al sistema de Smart Grids.

- **Usuarios:** El papel interpretado por el usuario en las Smart Grids, dará un cambio radical. Surgirá la demanda de nuevos y mejorados servicios, además de habilitar la posibilidad para los usuarios de poder conectar la generación energética individual a la red, con el fin de poder vender el excedente energético generado. Otras mejoras que se habilitarán serán la tarificación en tiempo real y la libertad para elegir los suministradores energéticos.

- **Compañías de redes eléctricas y servicios energéticos:** Los propietarios y operadores de las redes serán los responsables de responder a las peticiones de los usuarios de una forma eficiente y con un costo ajustado. Por tanto, estarán obligados a realizar la investigación necesaria para garantizar el cumplimiento de los requisitos demandados. Por otro lado las empresas de servicios energéticos serán las encargadas de hacer tangible el ahorro obtenido gracias a las mejoras implementadas tanto en la red, como en los hogares, resaltando también el ahorro obtenido gracias a los cambios en los hábitos de consumo energético de las personas.

- **Investigadores y Desarrolladores:** Para llevar a cabo el desarrollo de la red eléctrica será necesario realizar una fuerte inversión en investigación aplicada a la demanda y la generación, así como en las tecnologías necesarias para realizar la implementación de la red de telecomunicaciones que sustente la transferencia de datos necesaria para la monitorización y control de la red. La cooperación entre las universidades y centros de investigación, compañías eléctricas, fabricantes, reguladores y legisladores será imprescindible para implementar el desarrollo tecnológico requerido.

- **Operadores:** El libre comercio entre países está afectando a la apertura de mercados, normas y procedimientos comerciales. Los clientes se beneficiarán de la oportunidad de poder elegir el proveedor de energía que mejor se adapte a sus necesidades.

- **Generadores:** Las redes eléctricas son complejos sistemas integrados y hay una importante interacción entre generadores, las redes, y la demanda. En el futuro será importante fomentar la participación de agentes que puedan aportar energía a la red, facilitándoles el acceso tanto a nivel tecnológico, como normativo.

- **Reguladores:** El mercado energético entre países y los servicios relacionados, deben ser apoyados por un marco regulador claro y estable, con normas bien establecidas en las regiones o zonas de acción.

- **Agentes gubernamentales:** Los gobiernos tendrán que preparar una nueva legislación que se encargue de regir todos los aspectos y trámites relacionados. Se espera que el aumento de la competencia, repercuta en una reducción de las tarifas, aunque por otro lado la integración de las energías renovables en la red, requerirán una fuerte inversión inicial. Todo este desarrollo repercutirá en el desarrollo económico y el aumento de la competitividad y la creación de empleo.

La convergencia de infraestructuras de energía y telecomunicaciones hará posible un sistema distribuido y controlado para el cambio de paradigma del sistema energético, apoyado en el cambio del paradigma, que ya se ha producido, en el sistema de comunicaciones, que dará forma a la red de energía del futuro [1].

La necesidad del ahorro de energía es algo fuera de toda duda, pero éste implica, inevitablemente, automatizar todo el proceso de control mediante una red convergente de energía, telecomunicaciones, información. Las nuevas tecnologías permiten crear una única infraestructura física inherentemente segura, para la distribución de energía e información, siendo una base fundamental para la estrategia futura de la convergencia y el ahorro.

Uno de los aspectos más importantes de los sistemas de generación basados en energías renovables es la correlación temporal entre la demanda y la generación, porque cambian los conceptos básicos de los sistemas de generación convencionales.

La clave para aprovechar estos recursos es la adaptación de la demanda al suministro (control de la demanda) y no al contrario. Aquí reside el alto potencial de un acercamiento integrado o convergente a las redes de electricidad y telecomunicaciones [1].

Las redes de comunicaciones de la mayoría de las empresas de servicios públicos han evolucionado exponencialmente. Existe una combinación de tecnología obsoleta y heredada que carece de posibilidad de integración, lo cual hace que la transición hacia una red “conectada” sea más desafiante.

Las empresas de servicios públicos sirven a mercados geográficamente muy variados y generalmente tienen una combinación de clientes rurales y urbanos en los sectores residencial, comercial e industrial. Esa misma diversidad se extiende a sus activos de comunicaciones, que han evolucionado en los últimos 50 años.

Muchas compañías de servicios públicos han implementado grandes redes de comunicaciones que operan redes de voz y datos, fijos y móviles en el territorio

deservicio. Cada uno de estos sistemas tiene distintos requerimientos de ancho de banda, seguridad y rendimiento, y pueden ser desarrollados sobre distintas plataformas utilizando protocolos con derechos de propiedad. Algunos tienen una arquitectura fragmentada, lo cual lleva a costos operativos más altos y podrían carecer del ancho de banda necesario para la comunicación bidireccional en tiempo real de la red eléctrica inteligente y de la escalabilidad necesaria para adoptar una gama de dispositivos y aplicaciones de red en constante cambio [1].

Las empresas de servicios públicos experimentarán en breve una explosión de datos debido a un crecimiento exponencial de los dispositivos inteligentes, contadores y monitores que llegan en línea como parte de la red eléctrica inteligente. La mayoría de las estrategias y sistemas de datos heredados no están preparados para manejarlos volúmenes que se van a generar. Estos nuevos datos requerirán un mayor almacenamiento, ancho de banda y seguridad. También deben estar disponibles para funciones analíticas para ofrecer un análisis más profundo con el fin de entender los nuevos patrones de uso y desarrollar nuevos modelos de precio.

Los datos del cliente y los temas relacionados con la privacidad son en la actualidad puntos encendidos de contención en la evolución de las redes eléctricas inteligentes. El tema de quién tiene los datos y por qué motivo, es una cuestión que preocupa. Existe una creciente preocupación de que estos datos sean utilizados en formas que los clientes nunca habrían previsto.

Si se piensa por ejemplo en un hogar “inteligente”, se podrían capturar y enviar datos que revelen los electrodomésticos que se utilizan y cuándo se utilizan, si alguien ha entrado en otra habitación, si una persona se está duchando porque el calentador se ha encendido o incluso si hay alguien en casa o no. Aunque esto pueda resultar inquietante, la posibilidad de que se pueda detectar el uso de dispositivos relacionados con la salud resulta aún más preocupante [1].

A pesar de que las comunicaciones no son el foco principal de concentración de las empresas de energía pública, la red eléctrica inteligente requiere una sólida red de comunicaciones que permita el soporte de las funciones tradicionales de las empresas de servicios públicos en la capa de energía. También debe contar con la flexibilidad de adaptarse a los nuevos requisitos de la capa de aplicaciones. Debe permitir el soporte de la respuesta de demanda, dispositivos avanzados de contadores y fuentes de energía distribuida. La red de comunicaciones debe proporcionar integración transparente, comunicación en tiempo real y gestionar el flujo de datos que está siendo protegido por los componentes de la red eléctrica inteligente a la vez que mantiene la seguridad [1].

2.2.9. Avances Tecnológicos de las políticas de implementación en Smart Grids.

El desarrollo e implantación de las Smart Grids será algo progresivo y tendrá una fuerte dependencia con los avances tecnológicos y de las políticas de las empresas que hoy en día se están llevando a cabo. Aunque son numerosos los campos en los que se trabaja actualmente, a continuación se describe en algunos de ellos, los avances más destacados.

- **Centros de Transformación**

Generalmente los transformadores son dispositivos muy fiables, con una vida útil entre 20 y 35 años, con un mínimo de 25 años a una temperatura de funcionamiento de 65-95°C. Sin embargo, en la práctica, la vida de uno de estos transformadores puede llegar a los 60 años con un mantenimiento apropiado.

Actualmente se está trabajando en varios campos relativos a estos elementos de la red eléctrica. La prevención de incidentes de funcionamiento, es

un asunto de vital importancia, en el que se están desarrollando técnicas para prevenir la ruptura de los tanques de aceite. Además desde el punto de vista de diseño de nuevos transformadores, se están siguiendo nuevas líneas de diseño para optimizar la seguridad de funcionamiento.

Otro tema que se aborda en relación a estos elementos, es el del diagnóstico y optimización de su vida útil. En este campo se está trabajando realizando modelos de predicción y simulaciones de forma que se pueda conocer el comportamiento de los transformadores, pudiendo anticipar metodologías de mantenimiento adecuadas. Por otro lado se tiende a instalar sistemas de monitorización para la detección de anomalías de funcionamiento, o para la captura de datos que facilite a posteriori la elaboración del modelo de funcionamiento [1].

- **Equipos de alta tensión**

La creciente demanda energética está obligando a la red eléctrica a implementar nuevos métodos en la parte de generación y transporte de alta tensión. Así surgen temas como la generación de Ultra Alta Tensión (UHV), conmutación de líneas, y optimización de la infraestructura existente para adaptarla a las nuevas necesidades de la sociedad.

La problemática hoy en día a la hora de generar UHV pasa por la prevención ante tormentas, tomando los pararrayos un papel de vital importancia en las instalaciones correspondientes. Además la alta temperatura de funcionamiento, así como la cantidad de energía necesaria para gestionar el proceso de forma óptima, dificultan la generación de UHV. Para solventar estos problemas, se encuentran abiertas varias líneas de investigación que pretenden optimizar todo este proceso.

La llegada de los nuevos seccionadores de líneas, con unas características de conmutación optimizadas, pueden combinarse con modernos controladores electrónicos, para conseguir operaciones óptimas de conmutación, de forma que las conmutaciones de sobretensiones o anomalías en la red que afectan la calidad eléctrica, podrían eliminarse.

La optimización y ampliación de la infraestructura existente requiere métodos de monitorización y visualización de los parámetros críticos. Los sensores de tensión y de corriente ópticos proporcionan un excelente aislante en entornos de alta tensión, permitiendo medir altos voltajes y corrientes de una forma no intrusiva. Estas características, junto a su tamaño compacto y su amplio ancho de banda, hacen que estos dispositivos resulten perfectos para realizar estas medidas [1].

- **Subestaciones**

La creciente población, urbanización e industrialización en conjunto con la generación de energía remota, especialmente en el caso de energías renovables está incrementando la necesidad de transmisión con un mayor volumen de energía a grandes distancias. Esto sitúa las subestaciones como una pieza clave en la entrega y recogida energética.

Dada la creciente densidad de población en las ciudades, cada vez es más complicado encontrar un emplazamiento adecuado para las subestaciones eléctricas.

Dado este problema, surge la idea de integrar las subestaciones bajo los edificios de apartamentos o centros comerciales. Esta tarea requiere de una serie de especificaciones y estudios que aseguren un correcto funcionamiento de la red eléctrica.

Por otro lado se está tendiendo integrar cierta capacidad de computación y automatización en las subestaciones como primer paso hacia la Smart Grid. De esta forma según la normativa IEC 61850 se comienza a aplicar “inteligencia” a estos elementos de la red que serán capaces de comunicar directamente con otros elementos [1].

- **Protección y automatización de la red**

Los sistemas de automatización en subestaciones, encargados de interconectar una serie de dispositivos han existido desde hace unos 20 años, usando protocolos propietarios, esos sistemas se han encargado principalmente de la supervisión de elementos. Hoy en día, este tipo de sistemas han evolucionado y siguen haciéndolo siguiendo como base los protocolos y actuaciones declarados en IEC 61850, utilizando comunicaciones y habilitando el intercambio de datos entre sistemas a diferentes niveles y con herramientas diferentes, permitiendo además de la supervisión, controlar una serie de dispositivos o variables.

Por otro lado, el aumento de la generación energética renovable y la cogeneración, requieren la aplicación de tecnologías de forma que se posibilite su gestión y protección. Este impacto en las redes eléctricas se manifiesta actualmente, tanto en la transmisión como en la distribución de este tipo de energías. En particular, el efecto en las subestaciones, tanto en su protección como en su control, ha sido profundo, debido a la necesidad de gestionar electricidad intermitente y de varios niveles de voltaje.

Por tanto para el desarrollo, y supervisión de los elementos de la red, surgen hoy en día una gran cantidad de soluciones para la monitorización energética y de parámetros asociados a esta [1].

- **Sistemas de información y telecomunicaciones**

Las comunicaciones entre los diferentes dispositivos del Centro de transformación y el Centro de Control y Supervisión no han tenido hasta ahora un estándar que permita una comunicación de datos eficiente, dificultando la implantación de los sistemas SCADA en los centros de transformación. Además, la interfaz con los relés era en muchos casos inexistente.

Para solventar estos problemas se ha creado el protocolo internacional IEC 61850, que define la comunicación entre diferentes dispositivos conectados a una red de área local y se han desarrollado nuevos dispositivos, los IEDs, que integran elementos de comunicación para el telecontrol.

Es importante recordar las capas técnicas que componen la red eléctrica inteligente al desarrollar la estrategia y la hoja de ruta hacia la transformación. Al nivel más alto, las tecnologías de la red eléctrica inteligente pueden dividirse en tres capas:

- **Capa de energía.** Generación de energía, transmisión, subestaciones, red de distribución y consumo de energía.
- **Capa de comunicaciones.** Red de área local (LAN), red de área amplia (WAN), red de área de campo (FAN)/AMI y red de área residencial (HAN), que permiten el soporte de la infraestructura de TI.
- **Capa de aplicaciones.** Control de respuesta de demanda, facturación, control de averías, monitoreo de carga, mercados energéticos en tiempo real y nueva gama de servicios al cliente.

Si bien se requerirán cambios en las tres capas, es probable que la capa de comunicaciones sea la que más cambios requiera. De las tres capas, la capa de comunicaciones es la que posibilita la existencia de la red eléctrica inteligente, aunque la red no será verdaderamente inteligente si no se desarrolla adecuadamente la capa de aplicaciones. Esta capa actúa como sistema circulatorio para interconectar los distintos sistemas y dispositivos, la capa de energía con la capa de aplicaciones, para comunicar ambas completamente con la cadena de suministro de energía [1].

- **Regulación y mercado eléctrico**

La evolución actual de las TICs, sistemas de monitorización, gestión energética a nivel local, así como las tecnologías inteligentes para el hogar abren nuevas oportunidades para las iniciativas del lado de la demanda en el negocio eléctrico.

Al mismo tiempo, hay una creciente necesidad de participación de parte del consumidor en la cadena de suministro eléctrico. De forma que la generación local cobrará un interés alto. Todo este cambio en el sistema eléctrico requerirá nuevas políticas de regulación y normativas que faciliten la transformación de la red [1].

2.2.10. Seguridad de la Red Eléctrica Inteligente

La seguridad es un punto muy importante durante todo el ciclo de vida de cualquier sistema: diseño, desarrollo, implementación, actualización y mantenimiento. Para cada uno de estos momentos es imprescindible declarar las políticas de seguridad y los protocolos necesarios para asegurar la integridad del sistema.

Por otro lado, está la seguridad de los datos, que está directamente relacionada con la privacidad, integridad y fiabilidad de los datos. Además está el acceso a la red, que trata con la autenticación e identificación de las máquinas y usuarios conectados a la red [1].

Las VPN son una de las capas de seguridad más populares para proteger la transmisión de datos sobre una infraestructura pública como Internet.

Cuando un dispositivo pide un recurso de otro, es relativamente sencillo conocer si ese dispositivo está autorizado a recoger ese recurso o no, preguntando quién es. Sin embargo la cosa se complica cuando lo que hay que identificar no es el dispositivo en sí, sino la persona detrás de él, que realiza la petición. De esta forma es necesario establecer también procedimientos de autenticación que verifiquen la identidad de los miembros conectados a la red [1].

Por otro lado, los algoritmos de cifrado de datos especifican los métodos para codificar y decodificar los datos. Dichos algoritmos se implementan mediante protocolos con el fin de dotar de privacidad a los datos [1].

2.2.11. Aspectos Sociales de las Redes Eléctricas Inteligentes

Uno de los actores principales en el futuro de las redes inteligentes es el usuario doméstico final. Para que su participación sea activa y cumpla las expectativas que se esperan del sistema habrá que convencerle y cambiar sus hábitos de consumo.

Una alternativa para la modificación de los hábitos puede ser el factor económico. Es decir hacer suficientemente atractivo desde el punto de vista monetario la limitación que puede llevar asociada una tarificación especial por horas, es decir no poner la lavadora o la secadora cuando uno quiera sino cuando

sea económicamente más rentable o bien, si la gestión de las cargas domésticas las lleva directamente el distribuidor [1].

La oferta debe de ser suficientemente atractiva para pasar de la tarifa plana actual a las posibles tarificaciones mencionadas. Hoy en día existe ya una tarifa con discriminación horaria con el objetivo de trasladar el consumo de electricidad al período económico. Hay también opciones que aseguran que utilizan siempre energía procedente de energías renovables y apelando a la concienciación de los usuarios finales incrementan el precio de la energía.

En este aspecto es necesario un aprendizaje previo, tanto de las propias personas como de los comercializadores para la elaboración de ofertas para cada sector, de los hábitos y necesidades de cada uno, con educación y una agresiva campaña de concientización.

Existen proyectos que tienen como objetivo estimularlos cambios de comportamientos de los hogares mediante la comunicación e implementación de servicios energéticos que van desde las campañas de información o el asesoramiento individualizado hasta la implantación de dispositivos para conocer el consumo de energía en tiempo real en las viviendas. Por otra parte tampoco son las mismas necesidades energéticas ni tampoco lo son los hábitos dependiendo del tipo de hogar al que va destinada la energía. Se puede diferenciar entre las viviendas unifamiliares, casas adosadas, pisos de edificios de distintos tamaños, entre otros [1].

Es cualquier caso también es necesario profundizar sobre las distintas alternativas de interrelación del usuario final con las características de la Smart Grid. También se han realizado estudios para comprobar aspectos relacionados con los ahorros esperados o las estrategias de decisión ante los cambios de tarifas. En este aspecto la facilidad de uso del sistema y estrategias dentro de los

sistemas de control y de programación de respuesta a las demandas en los que no hay que responder de forma activa a cada cambio tarifa fueron los más aceptados [1].

2.3. Definición de Términos Básicos

Alternador: Es una máquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética.

Calderas: Es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor, este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia a estado gaseoso.

Capacidad Instalada: Es la carga total instalada en kVA, que está en capacidad de suplir cierto equipo de generación

Cargas Eléctricas: Es una propiedad intrínseca de algunas partículas subatómicas que se manifiesta mediante atracciones y repulsiones que determinan las interacciones electromagnéticas entre ellas.

Celdas Solares: Es un módulo que aprovecha la energía de la radiación solar.

Consumidores: Es individuo o sujeto, agente u organización que demanda bienes o servicios proporcionados por el productor o el proveedor de bienes o servicios.

Efecto Fotovoltaico: Transformación parcial de la energía luminosa en energía eléctrica.

Energía Primaria: Es toda forma de energía disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada.

Generador: Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos.

Generadores: Es un dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes.

Líneas de Transmisión: Es una estructura material utilizada para dirigir la transmisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, comprendiendo el todo o una parte de la distancia entre dos lugares que se comunican.

Transformadores: Dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia.

Turbina a Vapor: Es una turbo máquina motora, que transforma la energía de un flujo de vapor en energía mecánica a través de un intercambio de cantidad de movimiento entre el fluido de trabajo (entiéndase el vapor) y el rodete, órgano principal de la turbina, que cuenta con palas o álabes los cuales tienen una forma particular para poder realizar el intercambio energético.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación

Toda investigación puede ser abordada desde diversos enfoques, aplicando métodos que permitan dilucidar o comprender una determinada situación. Existe una variada gama de autores que enmarcan dentro de diferentes aspectos, las modalidades en las que se puede llevar a cabo una investigación; por ejemplo, Sierra, R. (1991) clasifica los tipos de investigación de acuerdo a ciertos principios, tales como: finalidad, alcance temporal, profundidad, amplitud, fuentes, carácter, naturaleza, objeto, marco en que tiene lugar y tipos de estudio a que den lugar.

Sin embargo, Orozco, C. y otros (2002) distinguen de manera pragmática, universal y flexible, cuatro prototipos generales de investigación entre las cuales se encuentran: los estudios científicistas, estudios naturalistas, estudios mecanicistas y estudios documentales. Estos se diferencian de acuerdo a la intención del estudio, disponibilidad y tratamiento otorgado a la información recabada y al provecho esperado de los resultados.

Asimismo, se puede decir que el estudio, según su profundidad, es de tipo exploratorio; ya que como su nombre lo indica está dirigido a indagar sobre un tema o fenómeno poco sondeado, cuyos resultados otorgan un acercamiento a la realidad del mismo y sirve de soporte para investigaciones posteriores que requieren un mayor nivel de profundidad. Por ello, se tomo como referencia las definiciones de investigación exploratoria aportadas por distintos autores, como sigue:

Sabino, C. (1992) define estas investigaciones como aquellas:

(...) que pretenden darnos una visión general aproximada respecto a un determinado objeto de estudio. Este tipo de investigación se realiza específicamente cuando el tema elegido ha sido poco explorado y reconocido y cuando aún, sobre él, es difícil formular hipótesis o de cierta generalidad. (p60)

Arias, F. (1999:46) expone que la investigación exploratoria “es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto poco conocido o estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto”; y Méndez, C. (2001:134) afirma que “el primer nivel de conocimiento científico que se quiera obtener sobre un problema de investigación se logra a través de estos estudios de tipo exploratorio o formulativo”: cuyo propósito es, según Seeltiz, C. (citado por Méndez, C. 2001) la “formulación de un problema para posibilitar una investigación más precisa o el desarrollo de una hipótesis”.

La presente investigación se caracteriza por ser del tipo Descriptivo, de acuerdo a la opinión de R. Hernández S. (1998), quien la define como el estudio donde “buscan especificar las propiedades importantes de las personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis”

Dentro de esta misma idea, Kerlinger (1980) define la investigación descriptiva como la investigación empírica, sistemática en la que el científico no tiene control directo de variables independientes, porque sus manifestaciones ya han ocurrido o porque son inherentemente no manipulables.

3.2. Fases de la Investigación

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en una serie de fases. En la figura 3.1 se muestran las fases usadas en ésta investigación y seguidamente se describen detalladamente las sub fases que las comprenden.

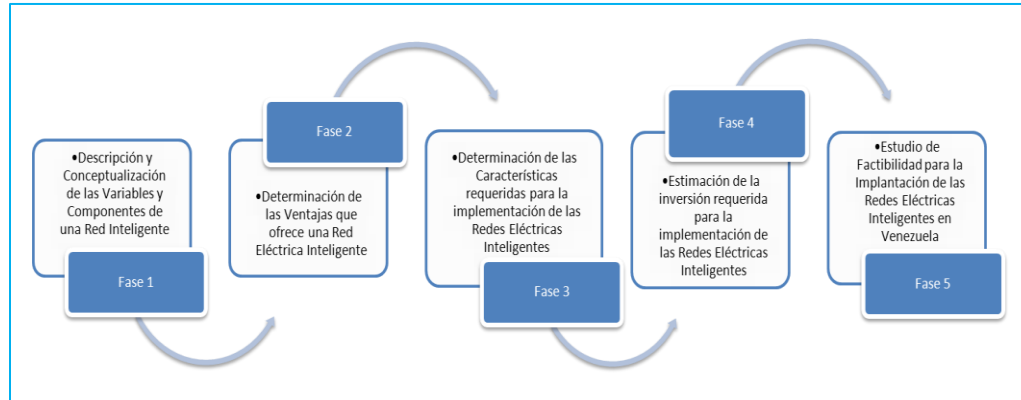


Figura 3.1: Fases de la Investigación. Fuente: Escalona y Ochoa.

3.2.1. Fase 1 Descripción y Conceptualización de las Variables y Componentes de una Red Inteligente.

La fase 1 de la presente investigación se basó en una serie de pasos o etapas que facilitan el logro del objetivo propuesto. Se llevó a cabo una revisión documental previa de la información inherente al tema a tratar, con la cual se pudo obtener una visión más amplia que sirvió de base para lograr la aproximación al objeto de estudio. En la figura 3.2 se observa claramente los procesos desarrollados en esta fase.



Figura 3.2: Primera Fase de la Investigación. Fuente: Escalona y Ochoa.

3.2.2. Fase 2 Determinación de las Ventajas que ofrece una Red Eléctrica Inteligente.

En la fase 2, se procedió a establecer mediante la revisión bibliográfica y la descripción de equipos y variables de una Red Eléctrica Inteligente realizada en la fase 1 las Ventajas y Desventajas que ofrecen esta la Red Eléctrica Inteligente. Esto implicó la búsqueda de catálogos de los equipos necesarios para que una Red Eléctrica sea Inteligente y con esto determinar las ventajas y desventajas que estos tienen, como se muestra en la figura 3.3 en donde se puede ver claramente las sub fases que componen esta fase.

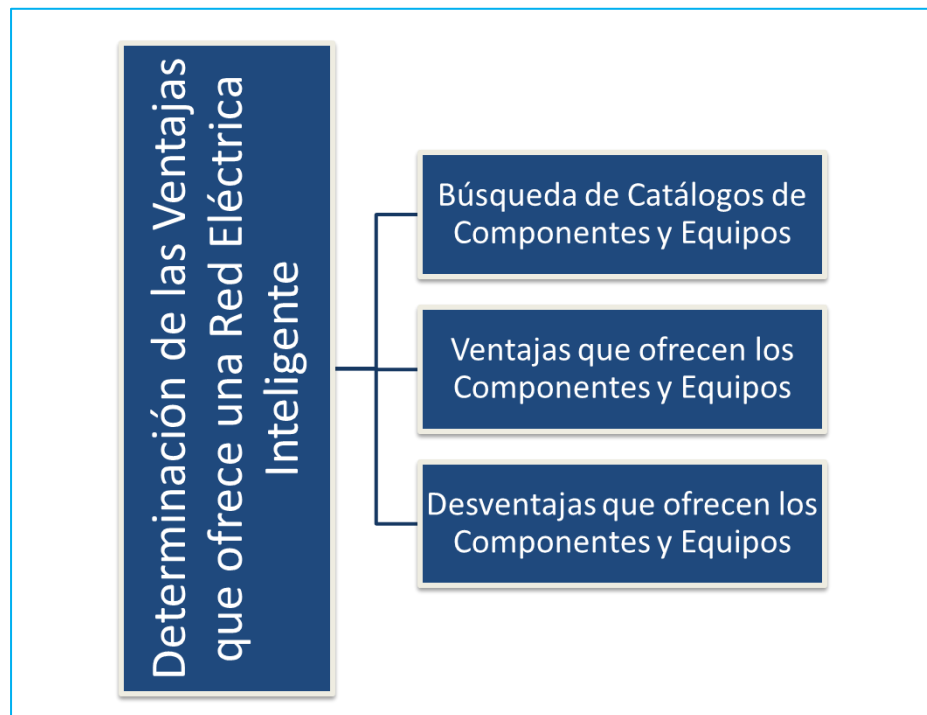


Figura 3.3: Segunda Fase de la Investigación. Fuente: Escalona y Ochoa.

3.2.3. Fase 3 Determinación de las Características requeridas para la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes.

De modo similar en ésta fase haciendo uso del material bibliográfico revisado y consultado se establecieron qué elementos de la Red Eléctrica Tradicional son necesarios para lograr la transición a las Red Eléctrica Inteligente así como también qué mejoras deben de hacerse a la estructura eléctrica y de comunicación para que esta transición se pueda realizar. En la figura 3.4 se observan los pasos a seguir para lograr cumplir ésta fase.

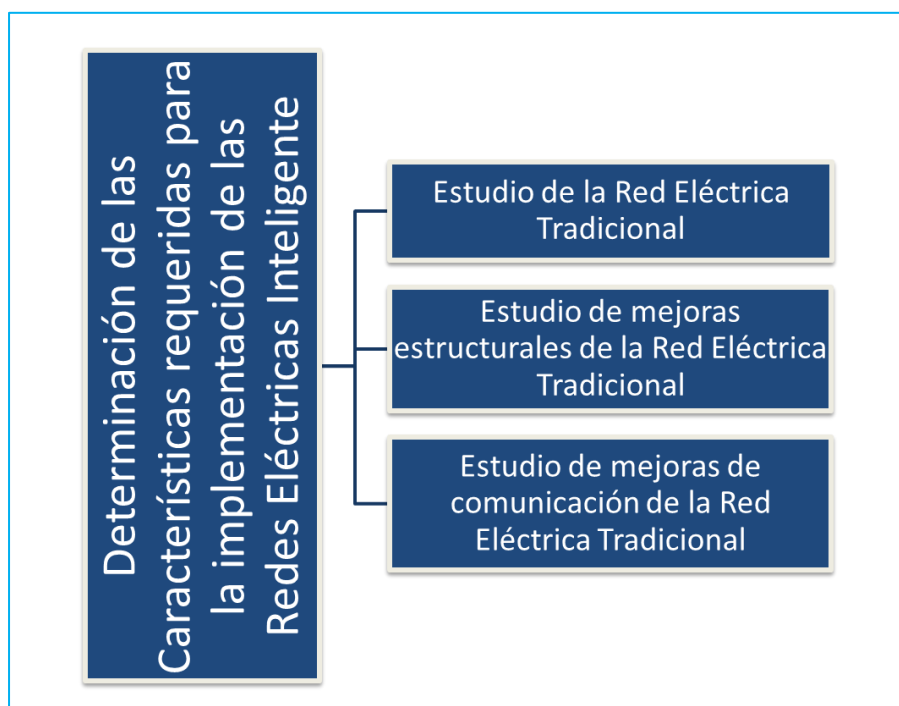


Figura 3.4: Tercera Fase de la Investigación. Fuente: Escalona y Ochoa.

3.2.4. Fase 4 Estimación de la inversión requerida para la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes.

Una vez realizadas las fases previas, es decir la determinación de variables y componentes de una Red Eléctrica Inteligente, el estudio de ventajas que ofrece la Red Eléctrica Inteligente y las determinación de las características requeridas para la implantación de una Red Eléctrica Inteligente, se selecciona una marca de equipos eléctricos para la búsqueda de precios de estos equipos y componentes. En la figura 3.5 se observan los pasos a seguir para lograr cumplir ésta fase.

Para el cumplimiento de esta fase, se consideró un caso base de estudio como modelo de aplicación de las redes eléctricas inteligentes. El caso base bajo estudio es el Proyecto Eléctrico de un Conjunto Residencial llamado EL CAMBURITO ubicado en la carretera Santa Rita – Palo Negro, Sector El Camburito, Municipio Libertador, Edo. Aragua.



Figura 3.5: Cuarta Fase de la Investigación. Fuente: Escalona y Ochoa.

Este Conjunto Residencial se encuentra edificado sobre un terreno de 62.094,35 m², de los cuales 59.079,84 m² corresponden al área de construcción. El terreno se encuentra dividido en cuatro parcelas. A continuación se procederá a describir cómo está constituido el conjunto residencial:

- La etapa I comprende las 2 parcelas de la parte superior, consta de 4 edificios de apartamentos, un área de usos múltiples, una caseta para el sistema hidroneumático, portón y caseta de vigilancia.
- La etapa II comprende de las 2 parcelas de la parte inferior, consta de 4 edificios de apartamentos, un área de usos

múltiples, una caseta para el sistema hidroneumático, portón y caseta de vigilancia, una guardería y una casa cuna.

Para ambas etapas tienen edificios de apartamentos de iguales características. Cada edificio consta de 6 pisos. A continuación se describen las características de los edificios:

- Apartamentos Tipo de 70 m²(Primeros 4 pisos/ 8 apartamentos por piso):
 - Área de comedor.
 - Sala de estar.
 - Área de cocina.
 - Dos baños sencillos.
 - Un dormitorio principal.
 - Un dormitorio sencillo.
- Apartamentos Dúplex Tipo de 127 m²(Últimos 2 pisos/ 8 apartamentos en total):
 - Planta Alta de 67 m²:
 - Área de Comedor.
 - Área de Cocina.
 - Sala de estar.
 - Un Baño Sencillo.
 - Oficina/Estudio.
 - Planta Baja de 60 m²:
 - Tres Habitaciones (Una habitación Principal y dos habitaciones secundarias).
 - Dos Baños Sencillos.

- Áreas comunes:

- Ascensor.
- Cuarto del bajante.
- Acceso Principal.
- Salida hacia el Jardín.
- Cuarto de Medición.
- Área para equipos para ascensor.

Es de destacar que para el caso de estudio, se utilizó el apartamento tipo y dúplex para el estudio de las Redes Eléctricas Inteligentes.

3.2.5. Fase 5 Estudio de Factibilidad para la Implantación de las Redes Eléctricas Inteligentes en Venezuela.

Ésta es la última fase de la investigación plantea el análisis de factibilidad técnica, económica y legal como se observa en la figura 3.6. Dentro de este marco, para el análisis de factibilidad técnica es necesario revisar la disponibilidad de equipos y componentes requeridos para la instalación de las redes eléctricas.

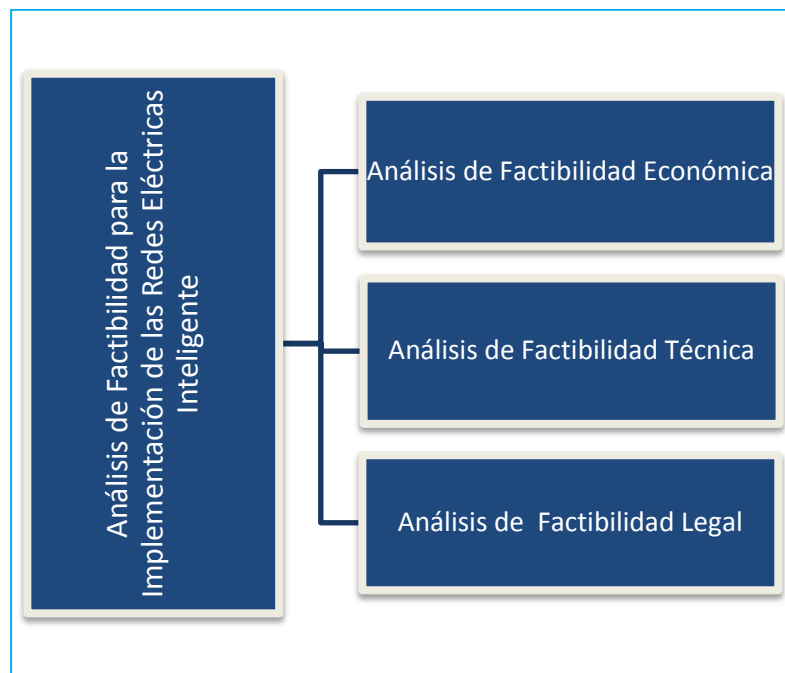


Figura 3.6: Quinta Fase de la Investigación. Fuente: Escalona y Ochoa.

En cuanto a la factibilidad económica se realizó un estudio en un edificio del Conjunto Residencial EL CAMBURITO descrito en la fase anterior, planteando posibles escenarios de los costos asociados a la implementación de esta técnica.

De modo similar, se planteó la factibilidad legal tomando como punto de partida los derechos y deberes ambientales consagrados en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. De acuerdo a esto, se revisaron los acuerdos y compromisos internacionales en materia ambiental firmados por el Estado Venezolano, la Ley de Eficiencia Energética y Energía Renovables y las Resoluciones 73, 74, 75, 76 y 77 que promueven el uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

CAPÍTULO IV

LA PROPUESTA

Para la implantación de las Redes Eléctricas Inteligentes, es de suma importancia conocer las ventajas y requerimientos de esta tecnología, establecer las exigencias para su implantación en Venezuela y estimar la inversión necesaria para modernizar la red eléctrica actual y facilitar su evolución hacia las redes inteligentes.

4.1. Ventajas y Requerimientos de la Red Eléctrica Inteligente.

Entre las ventajas se encuentra una mayor eficiencia, una reducción del gasto energético y la generalización de las energías renovables, lo que favorece al medio ambiente y la economía. Asimismo, los consumidores saldrían también beneficiados, ya que podrían generar su propia energía en casa y ser parte activa de la red. A continuación se despliegan tablas y contenidos con información de interés sobre este aspecto.

Tabla 4.1.: Ventajas y Requerimientos de la Red Eléctrica Inteligente. Fuente: Escalona y Ochoa (2011)

Elemento	Ventajas	Requerimientos / Dificultades
Usuario	Participación activa en la administración y control de su consumo. Puede considerarse un micro generador de energía con la utilización de energías renovables.	El adiestramiento del usuario requiere tiempo y personal especializado en el manejo de las redes eléctricas inteligente.
Automatización de la Red	Detección inmediata en la ocurrencia de fallas y su ubicación. Velocidad de respuesta en la solución de fallas. Mejoras en la calidad de energía en la red eléctrica.	Requiere alta inversión. Dificultad en la adquisición de divisas de equipos importados

Continuación Tabla 4.1.

Seguridad en la Generación Centralizada	Suministro seguro a través de la renovación de equipos en centrales generadoras	Dificultad en la adquisición de equipos
Gestión de la Demanda	Centro de despachos automatizados. Mediciones de consumo en tiempo real	Venezuela no cuenta con personal entrenado para manejar estos nuevos sistemas de monitoreo, lo que constituye una dificultad para implementar estos equipos y gestionar la demanda.
Interoperabilidad de la Red	Se integran fuentes de energía renovables Mayor capacidad de transferencia	Necesidad de mejorar el transporte de energía a largas distancias
Generación Distribuida	Apoyo en generación renovable local en aplicaciones actuales con las horas picos de carga.	Generación de contaminación por el uso de combustibles derivados del petróleo.
Aspectos Sociales	Crear cultura de manejo eficiente de la energía eléctrica. Promoción del cambio de paradigma en la sociedad	Requiere presupuesto para programas de promoción e incentivos para el uso eficiente de la energía eléctrica.
Monitoreo de la Red	Integración en el monitoreo de las redes de distribución y de los usuarios	Requiere ampliación y mejoras en los sistemas de monitoreo
Vehículos Eléctricos	Disminución en la dependencia en el uso de los combustibles.	El bajo costo del combustible limita el desarrollo de vehículos eléctricos en Venezuela.
Tarifas Eléctricas	Implantación del sistema de tarifas horarias	No hay cultura de tarifas horarias en Venezuela.

Luego de revisar proyectos desarrollados en otros países, el punto de partida en la implementación de las redes inteligentes es la utilización de un sistema de comunicación avanzado y adecuación de los existentes.

Venezuela no posee un sistema de comunicación robusto que permita la comunicación entre los diferentes equipos, usuarios y los prestadores del servicio de energía eléctrica. Las redes eléctricas actuales no han cambiado desde que se concibieron a finales del siglo XIX y gran parte del siglo XX. La idea básica ha consistido en transportar grandes bloques de energía a los usuarios finales en todo momento, tanto si lo necesitan como si no. Además, se trata de una relación unidireccional, los consumidores son receptores pasivos y no pueden participar como posibles productores domésticos.

Siguiendo lo planteado en la tabla 4.1, se puede observar algunos elementos o aspectos importantes que deben ser tomados en cuenta al proyectar la puesta en práctica de redes eléctricas inteligentes en Venezuela. Actualmente los centros de despacho, distribución y subestación no están suficientemente dotados de equipos de medición y de la automatización necesaria para el funcionamiento, monitoreo y control de la red.

Por otro lado, es importante reconocer la baja madurez tecnológica y la falta de estándares definidos que aumentan el riesgo de inversión y los costos de operación, lo cual impone barreras para su implementación.

En cuanto a las energías renovables, en el país se están desarrollando pequeños proyectos en la creación de granjas de energía eólica, siendo ésta una de las primeras incursiones en este renglón.

De igual manera, la utilización de paneles solares a nivel de usuarios residenciales no se utiliza por la alta inversión que estos equipos requieren. Es necesario que se den incentivos, financiamientos y facilidades para su obtención e implementación lo que podría permitir que los usuarios participen de forma activa en la red eléctrica al generar y comercializar energía durante los picos de carga.

Esto implica el uso necesariamente de medidores inteligentes, pues viene a ser el engranaje entre la red eléctrica y el usuario, facilitando la transferencia de energía entre ellos. Además, permiten que el usuario pueda visualizar en tiempo real su nivel de consumo.

Otro elemento que incorpora la red eléctrica, es el vehículo eléctrico. Este es un recurso que en otros países se ha desarrollado exitosamente, pues contribuye a la reducción de los gases y emanaciones de CO₂ y a su vez reduce

el costo en el uso de combustibles, pues en otras latitudes este suele tener un costo elevado en comparación a Venezuela. Este aspecto no se considera en esta propuesta por ahora ya que no existe oferta en el mercado nacional actual ni en corto plazo.

Venezuela no dispone de una variada oferta en el mercado energético nacional y regional, tampoco se conocen de estrategias de competencia entre las empresas de servicio eléctrico pues CORPOELEC aglutina el mercado energético lo cual incide en la sinceración de las tarifas energéticas las cuales están congeladas desde el año 2002.

4.2. Proyecto de Inversión en Redes Eléctricas Inteligentes a nivel residencial

Se propone aplicar la técnica de las Redes Eléctricas Inteligentes en el conjunto residencial El Camburito, el cual se describe suficientemente en el capítulo III, considerando para ello las principales características.

4.2.1. Descripción del Sistema Eléctrico Tradicional

Desde la subestación se dispone de una línea trifásica de calibre 2/0 de aleación de aluminio 6201 de 13.8kV, con acceso aéreo, suministrada por CADAFE– CORPOELEC para alimentar el Conjunto Residencial.

Según como se puede observar en el anexo B en la Figura B.1, están distribuidos los edificios dentro de la parcela, otras edificaciones y la ubicación de la línea de distribución, se ha seleccionado un lugar recomendable para los transformadores que alimentarán cada parcela. Los criterios para la selección del transformador fueron, en primer lugar la disminución en el uso de material (cables)

y en segundo término la equidistancia de cada edificio al transformador, para evitar problemas de caída de tensión.

Vale la pena señalar, que prevalece para el diseño, energizar todas las cargas eléctricas desde un mismo punto, es decir, tanto edificios como zonas comunes dentro de la misma parcela serán suplidos por un mismo transformador. Sin embargo, toda la energía consumida por las cargas de uso común (iluminación de pasillos, tomacorrientes de pasillo, ascensores, sistemas hidroneumáticos, casetas de vigilancia, entre otros) se ha proyectado para ser medida de forma separada de la energía consumida por apartamento. Con esto se plantea el siguiente sistema operativo:

Desde el transformador saldrán 5 acometidas directamente a un tablero auto soportante; 4 de estas estarán direccionadas a cada uno de los módulos de medidores de cada edificio y la restante a un tablero especial de servicios generales, donde estarán conectadas todas las cargas de uso común. El sistema planteado se puede observar en el apéndice B en la Figura B.2.

A partir del tablero principal de servicios generales saldrán acometidas para alimentar:

- Caseta de Vigilancia
- Sistema Hidroneumático
- Iluminación del Estacionamiento
- Iluminación de Áreas de Usos Múltiples
- Iluminación de Ornamento
- Casa Cuna y Guardería
- Conserjería

Adicionalmente, a partir de este tablero, habrá una acometida a otro tablero de servicios generales dentro de cada edificio donde se conectarán las siguientes cargas eléctricas:

Ascensor

Iluminación de Áreas Comunes

Tomas de Uso General en Áreas Comunes

Por otro lado, cada edificio tiene un módulo de medición, el cual poseerá tantos medidores como apartamentos tenga el edificio.

El alimentador destinado a cada apartamento suministra energía al centro de carga o tablero de distribución desde el cual se alimentan todas las cargas de la vivienda:

- Apartamentos tipo:
 - Iluminación.
 - Tomacorrientes de uso General.
 - Cargas Especiales:
 - Aires Acondicionados
 - Secadora
 - Cocina Eléctrica
 - Calentador de Agua
- Apartamentos Dúplex:
 - Iluminación.
 - Tomacorrientes de uso General.
 - Cargas Especiales:
 - Aires Acondicionados
 - Secadora
 - Cocina Eléctrica

- Calentador de Agua

Siguiendo con el orden de ideas, debe señalarse que el tablero principal del apartamento dúplex tendrá más circuitos debido a que así lo requiere por ser un área mayor y con más habitaciones.

En este sentido el tablero principal perteneciente al Apartamento Tipo tendrá la siguiente configuración:

- 1 Circuito de Iluminación.
- 1 circuito para Tomas de Uso General.
- 2 circuitos para aire acondicionado.
- 1 circuito para calentador de agua.
- 2 circuitos para secadora de ropa.
- 2 circuitos para la cocina eléctrica.

Por lo expuesto anteriormente se seleccionó un tablero tipo NLAB (residencial para embutir), monofásico 3 hilos (2 fases y 1 neutro), debido a que así lo exigen las cargas a conectar, 12 circuitos aun cuando sean 9 circuitos los que se van a utilizar se deben dejar circuitos de reserva.

De igual manera el tablero principal perteneciente al Apartamento Dúplex tendrá la siguiente configuración:

- 2 circuitos de Iluminación.
- 2 circuitos para Tomas de Uso General.
- 4 circuitos para aire acondicionado.
- 1 circuito para calentador de agua.
- 2 circuitos para secadora de ropa.

- 2 circuitos para la cocina eléctrica.

Todo lo anterior implica que se seleccionó un tablero de distribución tipo NLAB (residencial para embutir), monofásico 3 hilos (2 fases y 1 neutro), debido a que así lo exigen las cargas a conectar, 16 circuitos aun cuando sean 12 circuitos los que se van a utilizar se deben dejar circuitos de reserva.

En lo que respecta al tablero de Servicios Generales de cada edificio poseerá la siguiente configuración:

- 5 circuitos de iluminación.
- 1 circuito para tomas de uso general.
- 3 circuitos para el motor del ascensor.

De acuerdo a lo señalado anteriormente se seleccionó un tablero de distribución tipo NLAB (residencial para embutir), trifásico 4 hilos (3 fases y 1 neutro), debido a que así lo exigen las cargas a conectar, 12 circuitos aun cuando sean 9 circuitos los que se van a utilizar se deben dejar circuitos de reserva y con interruptor principal.

Con relación al tablero principal de Servicios Generales tendrá la siguiente configuración:

- 1 circuito de iluminación para la conserjería.
- 1 circuito de iluminación para la casa cuna.
- 1 circuito de iluminación para la guardería.
- 1 circuito de iluminación para la vigilancia.
- 1 circuito de tomas de uso general para la conserjería.
- 1 circuito de tomas de uso general para la casa cuna.

- 1 circuito de tomas de uso general para la guardería.
- 1 circuito de tomas de uso general para la vigilancia.
- 3 circuitos para el sistema hidroneumático.
- 12 circuitos para los tableros de servicios generales de los edificios.
- 10 circuitos de iluminación del estacionamiento y de ornamento.

De este modo se seleccionó un tablero de distribución tipo NLAB (residencial superficial), trifásico 4 hilos (3 fases y 1 neutro), debido a que así lo exigen las cargas a conectar, 36 circuitos aun cuando sean 33 circuitos los que se van a utilizar, se deben dejar circuitos de reserva

Finalmente al tablero Principal de la parcela poseerá la siguiente configuración:

- 24 circuitos para todos los módulos de medición de los edificios.
- 3 circuitos para el tablero principal de servicios generales.

De este modo se seleccionó un tablero de distribución tipo auto soportante, trifásico 4 hilos (3 fases y 1 neutro), debido a que así lo exigen las cargas a conectar, 30 circuitos aun cuando sean 27 circuitos los que se van a utilizar se deben dejar circuitos de reserva.

El diagrama circuital de cada uno de estos tableros se puede observar en el apéndice B en la figura B.3.

Dado el planteamiento anterior, a continuación se especificarán las principales características de los tableros de distribución a ser utilizados en el conjunto residencial como se puede ver en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2.: Características de los Tableros Utilizados en el Conjunto Residencial.

	Cantidad		Tipo de Tablero	Tipo de Montaje	Característica de Caja	Tipo de Barra	Interruptor Principal	Numero de Circuitos	Nivel de tensión de trabajo y frecuencia	Tipo de Alimentación
Edificio	32	Apto Tipo	NLAB	Para embutir	Hierro pulido de 1,5 mm de espesor	Barra de cobre desnudo de 125 A	Sin Interruptor	12	240 - 120 VAC ; F:60 Hz	Monofásica 3 Hilos (2 Fases y 1 Nuetro)
	8	Apto Duplex	NLAB	Para embutir	Hierro pulido de 1,5 mm de espesor	Barra de cobre desnudo de 125 A	Sin Interruptor	12	240 - 120 VAC ; F:60 Hz	Monofásica 3 Hilos (2 Fases y 1 Nuetro)
	1	Servicios Generales del Edificio	NLAB	Para embutir	Hierro pulido de 1,5 mm de espesor	Barra de cobre desnudo de 125 A	Sin Interruptor	12	240 - 120 VAC ; F:60 Hz	Trifásica 4 Hilos (3 Fases y 1 Nuetro)
Parcela	1	Principal de Servicios Generales	CCB	Autosoportante	Cubierto para uso en la intemperie segun norma Nema 3R	Barra de cobre desnudo de 225 A	Con Interruptor	36	Tension Maxima de Trabajo de 600 VAC ; F:60 Hz	Trifásica 4 Hilos (3 Fases y 1 Nuetro)
	1	Principal de la Parcela	CCB	Autosoportante	Cubierto para uso en la intemperie segun norma Nema 3R	Barra de cobre desnudo de 1500 A	Con Interruptor	30	Tension Maxima de Trabajo de 600 VAC ; F:60 Hz	
	4	Modulo de Medicion		Superficial para embutir	Hierro pulido de 18 mm de espesor					

Este módulo de medición que se describe en la tabla 4.2, actualmente utiliza medidores electrónicos, estos permiten medir la energía acumulada, registran la medida de energía total mensual o por intervalos de tiempo predefinidos, esta medición de energía se realiza por medio de un proceso analógico-digital. Este instrumento mide e indica magnitudes eléctricas, como corriente, carga, potencial y energía. La información se da normalmente en una unidad eléctrica estándar: Volts, Ampers, Watts o WattsH.

4.2.2. Descripción del sistema eléctrico inteligente

Es importante señalar que la red eléctrica se mantiene estructuralmente, la evolución a la red eléctrica inteligente se logra con la utilización de una serie de elementos y de equipos que logran que esta sea más dinámica.

El primer paso necesario para la evolución de la red eléctrica actual a la red eléctrica inteligente, es la utilización de un sistema de comunicación, este sistema se apoya en la utilización de una red inalámbrica de internet (Wi-Fi) para el conjunto residencial que se está desarrollando. Este sistema de comunicación necesita de una antena para internet inalámbrico (Wi-Fi) para así poder obtener un

sistema de comunicación en todo el conjunto residencial, la ubicación de esta antena se hará de forma tal que la torre del conjunto residencial posea internet inalámbrico (Wi-Fi).

Este sistema de comunicación es de gran utilidad, debido a que los centros de medición ya no utilizarán medidores electrónicos, si no medidores inteligentes, estos medidores son muy parecidos a los electrónicos, su mayor diferencia es que gracias a estos medidores el usuario deja de ser un elemento pasivo, logrando así que el usuario intervenga y tenga un mayor papel en el mercado energético.

Gracias a estos medidores inteligentes, el usuario logra auto gestionar su consumo. Del mismo modo estos medidores permiten que el usuario logre ser un productor de energía mediante sus paneles solares, entre otras técnicas.

Es importante destacar que, la instalación eléctrica de las viviendas mantiene el mismo principio incluyendo el tablero principal de la vivienda. Pero gracias a los sistemas domóticos se puede automatizar, gestionar y usar eficientemente la energía eléctrica con los sistemas de control y autogestión. Es por éste que la utilización de tableros diferenciales y de sistemas de automatización es de vital importancia, un claro ejemplo es aplicarlo en los centros de carga de las viviendas como lo es el área del lavandero con la secadora, el calentador de agua, la lavadora entre otras cosas.

Del mismo, el uso de paneles solares para alimentar el alumbrado público así como la aplicación de estos para el alumbrado de pasillo y escaleras de la torre es de gran importancia. Todas estas técnicas contribuyen a la evolución desde la red eléctrica hacia las redes eléctricas inteligentes.

4.2.3. Estimación de Inversión para la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes

Se estimará la inversión de la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes y así tener una comparación de cuánto será la variación de su valor en comparación con la Red Eléctrica actual.

4.2.3.1. Inversión de la Red Eléctrica Tradicional

En primer lugar, se realiza una estimación de la inversión requerida para la aplicación de la red eléctrica tradicional.

En cuanto a los Instrumentos y Equipos se tiene descrito en la tabla 4.3:

Tabla 4.3.: Costo por Edificio de los Instrumentos y Equipos utilizados en la red eléctrica tradicional.

	Cantidad	Modelo	Precio Unitario (BsF)	Total (BsF)
Tablero Apto Tipo	32	NLAB1Φ 3h 12 circuitos	2.300,00	73.600,00
Tablero Apto Dúplex	8	NLAB 1Φ 3h 16 circuitos	2.600,00	20.800,00
Servicios Generales del Edificio	1	NLAB 3Φ 4h 12 circuitos	3.200,00	3.200,00
Medidores	40	Elster A1800	1.720,00	68.800,00
Costo Total en Equipos e Instrumentos por edificio (BsF)				166.400,00

La inversión total que se obtiene para el edificio completo es de BsF 94.400,00 en los tableros de alimentación del apartamento tipo y dúplex, utilizando 40 medidores eléctrico con un costo de inversión de BsF 68.800,00 y para el tablero de servicios generales del edificio seria una inversión de BsF 3.200,00.

Como se trabaja con una de las etapas que comprende 4 edificios se requiere una inversión de BsF 377.600,00 en los tableros de alimentación de cada apartamento, BsF 12.800,00 para los 4 tableros de servicios generales de cada edificio, BsF 275.200,00 para los 160 medidores eléctricos de la etapa y BsF 5.500,00 para el tablero de servicios generales. Lo que genera una inversión total en instrumentos y equipos de BsF 671.100,00.

En cuanto a la mano de obra para la instalación de estos instrumentos y equipos se describe en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4.: Costo por Edificio de la Mano de Obra para instalación de Instrumentos y Equipos utilizados en la red eléctrica tradicional.

	Cantidad	Trabajo a Realizar	Precio Unitario (BsF)	Tota (BsF)
Apto Tipo	32	Instalación de Tablero NLAB1Φ	600,00	19.200,00
Apto Dúplex	8	Instalación de Tablero NLAB 1Φ	700,00	5.600,00
Servicios Generales del Edificio	1	Instalación de Tablero NLAB 3Φ	1.000,00	1.000,00
Medidores	40	Instalación de Medidor Elster A1800	1.200,00	48.000,00
Costo Total Mano de Obra por edificio (BsF)				739.400,00

La mano de obra que se requiere para la instalación de estos instrumentos y equipos tiene una inversión de BsF 24.800,00 para la instalación de los tableros en los apartamentos tipo y dúplex. Para el tablero de servicios generales del edificio el costo de instalación es de BsF 1.000,00 y para la instalación de los medidores del edificio se tiene un costo de BsF 48.000,00. Esta etapa comprende 4 edificios por lo que se requiere una inversión de BsF 99.200,00 en los tableros de alimentación de cada apartamento. En cuanto a los 4 tableros de servicios generales el monto es de BsF 4.000,00, BsF 192.000,00 para los 160 medidores

eléctricos de la etapa y BsF 1.500,00 para el tablero de servicios generales. Lo que genera una inversión total en mano de obra de BsF 296.700,00.

De esta manera, la inversión requerida para la instalación y suministro de estos instrumentos y equipos necesarios en la red eléctrica tradicional es de BsF 967.800,00.

4.2.3.2. Inversión de la Red Eléctrica Inteligente

Así mismo la inversión requerida para la aplicación de la red eléctrica inteligente comprenderá lo siguiente.

En cuanto a los Instrumentos y Equipos se pueden observar en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5.: Costo por Edificio y por Etapa de los Instrumentos y Equipos utilizados en la red eléctrica inteligente.

	Cantidad	Trabajo a Realizar	Precio Unitario (BsF)	Total (BsF)
Tablero Apto Tipo	32	NLAB1Φ 3h 12 circuitos	2.300,00	73.600,00
Tablero Apto Dúplex	8	NLAB 1Φ 3h 16 circuitos	2.600,00	20.800,00
Gestión de Lavadero	40	Tablero con Circuito de Control de Lavadero	2.200,00	88.000,00
Servicios Generales del Edificio	1	NLAB 3Φ 4h 12 circuitos	3.200,00	3.200,00
Medidores Inteligentes	40	Circutor CIRWATT B 200	10.750,00	430.000,00
Sub Total en Equipos e Instrumentos por edificio (BsF)				1.403.200,00
Concentrador de Medición	1	Circutor Concentrador PLC 800	172.000,00	172.000,00
Antena para Sistema de Comunicación Inalámbrico (Wi – Fi)	4	ZyXEL EXT108	20.000,00	80.000,00
Sub Total en Equipos e Instrumentos por etapa (BsF)				252.000,00

Es así como se obtiene una inversión total BsF de 94.400,00 en los tableros de alimentación del apartamento tipo y el dúplex, así como también se requiere una inversión de BsF 88.000,00 para los tableros de gestión de lavadero, el cual está basado en circuitos de control sencillos, utilizando temporizadores y relés para el automatismo del circuito de lavadero de los apartamentos tipo y dúplex.

Para el edificio completo se utilizarán 40 medidores eléctrico inteligentes con un costo de inversión de BsF 430.000,00, para el tablero de servicios generales del edificio sería una inversión de BsF 3.200,00. Al trabajar con una de las etapas que comprende 4 edificios se requiere una inversión de BsF 377.600,00 en los tableros de alimentación de cada apartamento, BsF 352.000,00 para los tableros de gestión de lavadero, BsF 12.800,00 para los 4 tableros de servicios generales de cada edificio, BsF 1.720.000,00 para los 160 medidores eléctricos inteligentes de la etapa, BsF 17.200,00 para el concentrador de medición, BsF 5.500,00 para el tablero de servicios generales y 80.000,00 BsF para el sistema de comunicación inalámbrico (Wi - Fi). Lo que genera una inversión en equipos en equipos de BsF 2.565.100,00.

En cuanto a la mano de obra para la instalación de estos instrumentos y equipos se puede ver en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6.: Costo por Edificio y por Etapa de Mano de Obra para instalación de Instrumentos y Equipos utilizados en la red eléctrica inteligente.

	Cantidad	Modelo	Precio Unitario (BsF)	Total (BsF)
Apto Tipo	32	Instalación de Tablero NLAB 1Φ	600,00	19.200,00
Apto Dúplex	8	Instalación de Tablero NLAB 1Φ	700,00	5.600,00
Gestión de Lavadero	40	Instalación de Tablero de Control de Lavadero	400,00	16.000,00
Servicios Generales del Edificio	1	Instalación de Tablero NLAB 3Φ	1.000,00	1.000,00
Medidores Inteligentes	40	Instalación de medidores Circutor CIRWATT B	2.200,00	88.000,00
Sub Total en Mano de Obra por edificio (BsF)				129.800,00

Continuación Tabla 4.6.

Concentrador de Medición	1	Instalación del Controlador Circutor Concentrador PLC 800	5.000,00	5.000,00
Antena para Sistema de Comunicación Inalámbrico (Wi – Fi)	4	Instalación de Sistema Antena ZyXEL EXT108	6.000,00	24.000,00
Sub Total en Mano de Obra por etapa (BsF)				29.000,00

La mano de obra que se requiere para la instalación de estos instrumentos y equipos tiene una inversión de BsF 24.800,00 para la instalación de los tableros para los apartamentos tipo y dúplex. En cuanto a la instalación del tablero de gestión de lavandero requiere una inversión en mano de obra de BsF 16.000,00, para el tablero de servicios generales del edificio el costo de instalación es de BsF 1.000,00 y para la instalación de los medidores del edificio tiene un costo de BsF 88.000,00.

Al trabajar con una de las etapas que comprende 4 edificios se requiere una inversión de BsF 99.200,00 en los tableros de alimentación de cada apartamentos, BsF 64.000,00 de inversión en mano de obra para la instalación de los tableros de gestión de lavandero, BsF 4.000,00 para los 4 tableros de servicios generales de cada edificio, BsF 352.000,00.

Para los 160 medidores eléctricos de la etapa, BsF 5.000,00 para la instalación del concentrador de medición, BsF 1.500,00 para el tablero de servicios generales y BsF 24.000,00 en la instalación de las antenas para el sistema de comunicación inalámbrico. Lo que genera una inversión en equipos en equipos de BsF 548.200,00.

Es así como la inversión requerida para la instalación y suministro de estos instrumentos y equipos necesarios en la red eléctrica inteligente es de BsF 3.113.300,00.

Resumiendo, la inversión requerida para la instalación y suministro de los instrumentos y equipos en la red eléctrica tradicional es de BsF 967.800,00, mientras que en la red eléctrica inteligentes es de BsF 3.113.300,00 como se puede ver en la Tabla 4.7. La red eléctrica inteligente tiene un incremento de BsF 2.145.500,00 con respecto a la red eléctrica tradicional, todo esto solo con la inclusión del circuito de gestión de lavandero, medidores inteligentes, sistema de comunicación inalámbrica y equipos de administración de medidores.

Tabla 4.7.: Comparación de Inversión de Equipos e Instrumentos y Mano de Obra entre la Red Eléctrica Tradicional y la Inteligente.

	Red Eléctrica Tradicional (BsF)	Red Eléctrica Inteligente (BsF)	$\Delta\%$
Instrumentos y Equipos	671.100	2.565.100	383,22
Mano de Obra	296.700	548.200	184,76
Total	967.800	3.113.300	321,68

4.3. Análisis de Factibilidad para la Implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes en Venezuela.

Las fuentes de energía son esenciales para la producción y transformación de bienes, así como para la administración de servicios del país. De allí que el acceso a ellas, su explotación racional y sustentable, así como su diversificación, se ha convertido en un aspecto fundamental a considerar en la elaboración de las políticas públicas de las naciones, no sólo por su impacto directo como motor impulsor de las economías, sino también por la necesidad de preservar el planeta y el ambiente. Venezuela presenta un crecimiento de la demanda energética interanual muy por encima de la región producto entre otras cosas, del crecimiento de la población, poca cultura de ahorro energético, industrias básicas, país exportador de petróleo, etc.

Es necesario reorientar los patrones de producción y consumo, teniendo en cuenta el aspecto ecológico y humano. El Estado deberá desarrollar políticas de eficiencia energética, de protección del ambiente, de fomento de energías renovables y alternativas, que atiendan a plenitud al desarrollo del país y en particular las necesidades sociales.

Debe entenderse la eficiencia energética como un tema integral, que abarque todas las fuentes y la correlación entre ellas, así como la promoción del desarrollo eficiente de la cadena energética en sus diversas formas. Es así, como la eficiencia energética y la planificación de sus fuentes, se convierte en una política de Estado, con la participación de la población; política que compromete a todas las instituciones públicas y privadas, consumidores, usuarios y la población en general. El Estado Venezolano debe realizar inversiones en la producción de energía procedente de fuentes renovables, que busquen reducir los impactos negativos y significativos al medio ambiente y que a su vez generen oportunidades de crecimiento económico y creación de empleo, así como alternativas más eficientes para abastecer a la cadena energética.

4.3.1. Análisis de Factibilidad Técnica.

Para el estudio de factibilidad Técnica, fue necesario determinar si en Venezuela se encuentran todos los equipos y componentes necesarios para que la Red Eléctrica evolucione a la Red Eléctrica Inteligente.

Actualmente Venezuela no cuenta con todos estos sistemas modernos de medición, monitoreo y automatismo para la autogestión del usuario así, como la participación activa del usuario a la red eléctrica.

Así mismo las redes pertenecientes a las empresas de suministro (CORPOELEC) tampoco tienen implementados los requerimientos destinados para la aplicación y funcionamiento de las redes eléctricas inteligentes.

A continuación se presenta un ejemplo comparativo con el caso bajo estudio de un proyecto de un conjunto residencial con redes eléctricas tradicionales y redes eléctricas inteligentes.

Para implementar la red en un apartamento tipo C, diseñado para un grupo familiar conformado por 4 personas se requieren los siguientes equipos:

- Medidor Eléctrico Inteligente
- Sistema de Comunicaciones Inalámbrico
- Sistema de Monitoreo Activo (Scada)
- Concentrador de Medidores
- Software para el Sistema de Monitoreo
- Vehículo Eléctrico

Estos equipos deben ser adquiridos en mercados externos pues no son producidos en el país, por lo que las empresas que se dedican a su comercialización y/o instalación deben realizar los trámites de adquisición de divisas a través de Sitme, Cadivi o Bonos Bolivarianos. Una de las limitaciones son los trámites que se realizan ante estos organismos, ya que sufren retrasos bastante prolongados por lo que su compra a dólar libre triplica el costo real de estos equipos.

El otro aspecto, son las barreras en el cambio de los objetivos para el diseño e implementación de la ingeniería de proyecto en este campo.

4.3.2. Análisis de Factibilidad Económica.

Para el estudio de factibilidad económica se realizó un ejemplo de estudio con el proyecto residencial descrito en el Capítulo III, de forma tal que se planteo un posible escenario de instalación.

Para esto, se tomó uno de estos apartamentos como modelo de diseño de implementación en donde, se obtuvieron las siguientes características como usuario, descritos en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8.: Características del Usuario Residencial.

Características	Observación
Consumo mensual	600 kWh
Consumo promedio diario	20 kWh
Primer pico de Carga	Entre 6 – 8 a.m.
Segundo pico de Carga	Entre 7 – 9 p.m.

Al ser un modelo se utilizó una característica de carga con los siguientes datos típicos asumidos por los autores. Al graficar este consumo se obtuvo una curva de demanda diaria con las siguientes características como se observa en la figura 4.1.

- **Caso Tradicional**

Al tener estas características de demanda, se aplica la tarifa eléctrica de Venezuela vigente en la Gaceta Oficial N° 37.415 del año 2002, como se puede ver en la Tabla 4.9 la forma de cobro para los usuarios residenciales en el Artículo 9 [31].

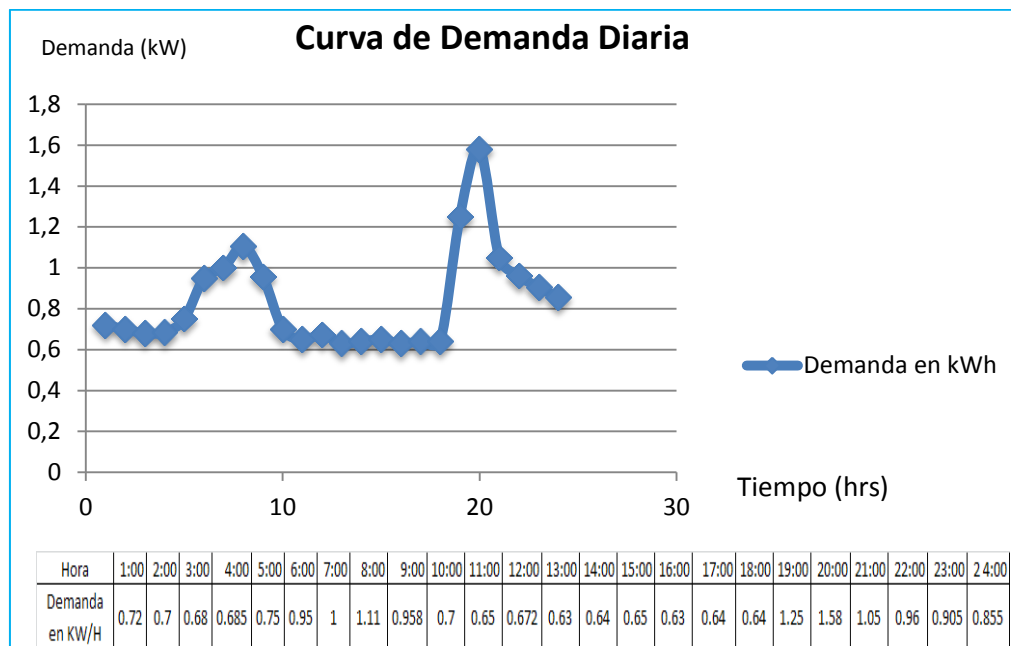


Figura 4.1 Curva de Demanda Diaria de la Vivienda. Consumo 600 kWh. Fuente: Escalona y Ochoa

Tabla 4.9.: Tarifa Residencial aplicada en Venezuela según Gaceta Oficial N° 37.415 (2002).

Tarifa	Unidad	Detalles de Aplicación
1,77	BsF	Con derecho a 200 kWh
0,07124	BsF/kWh	Por el resto del Consumo

Aplicando la Tabla 4.9, donde tenemos un monto mínimo por un consumo básico de 200 kWh y una tarifa de recargo por kWh por el excedente. En nuestro caso de estudio se tiene un consumo mensual de 600 kWh por lo que la forma de cobro será aplicando la tarifa base de 200 kWh y el restante de los 400 kWh aplicando la tarifa de recargo.

Con lo que el cobro mensual será de BsF 30,27, y tomando como base de facturación 30 días, el monto por día del caso estudio será de 1,01 BsF/Día.

Una de las necesidades para la implementación de las redes eléctricas inteligentes es la utilización de un sistema de tarifa horaria. En América latina, Chile utiliza este tipo de metodología para el cobro del servicio eléctrico utilizando una tarifa base la cual se aplica en un horario comprendido entre las 08:00 y las 18:00; a partir de esta hora hasta las 22:00 rige una tarifa con un 30% de incremento por encima de la tarifa básica. De igual manera a partir de las 22:00 hasta las 08:00 se maneja un descuento de 30% de la tarifa básica. En la Tabla 4.10 se observa de forma resumida la forma de cobro de Chile.

Tabla 4.10.: Tarifa Horaria aplicada en Chile transformada en BsF

Horario	Tarifa
De 08:00 a 18:00	5,29 BsF/kWh
De 18:00 a 22:00	6,89 BsF/kWh
De 22:00 a 08:00	3,71 BsF/kWh

El costo del KWH básico en Chile es de 1,232 \$/ kWh, al calcular el equivalente en la moneda nacional utilizando el sistema cambiario (4,30 BsF / \$) se obtuvo que el costo del KWH es de 5,29 BsF/kWh. Al momento de calcular el monto por día se usó el monto mínimo de la tarifa el cual es 3,71 BsF/kWh ya que como Venezuela no utiliza esta modalidad de cobro del servicio eléctrico se debe iniciar con el menor monto de cobranza.

Si se utiliza esta tarifa para el cobro de la factura (3,71 BsF/kWh), se obtendría que el costo de la energía eléctrica sea igual a 74,17 BsF / día. Así, mensualmente sería BsF 2.224,98.

Si se aplicara la metodología de cobro de uso horario usada en Chile, aplicando el sistema cambiario de Venezuela se obtienen las siguientes tarifas mostradas en la tabla 4.11, donde se observa el monto por hora de la demanda del apartamento a estudiar.

**Tabla 4.11.: Cálculo del Costo del Consumo de energía por tarifa hora en BsF/kWh
POR DÍA (Caso Chile)**

Hora	Demanda en KW	BsF/kWh	Total en BsF
01:00	0,720	3,71	2,67
02:00	0,700	3,71	2,59
03:00	0,680	3,71	2,52
04:00	0,685	3,71	2,54
05:00	0,750	3,71	2,78
06:00	0,950	3,71	3,52
07:00	1,000	3,71	3,70
08:00	1,105	5,29	5,85
09:00	0,958	5,29	5,08
10:00	0,700	5,29	3,71
11:00	0,650	5,29	3,44
12:00	0,672	5,29	3,56
13:00	0,630	5,29	3,34
14:00	0,640	5,29	3,39
15:00	0,650	5,29	3,44
16:00	0,630	5,29	3,34
17:00	0,640	5,29	3,39
18:00	0,640	5,29	3,39
19:00	1,250	6,89	8,61
20:00	1,580	6,89	10,88
21:00	1,050	6,89	7,23
22:00	0,960	6,89	6,61
23:00	0,905	3,71	3,36
24:00	0,855	3,71	3,17
Total a Pagar en BsF POR DIA (24 Horas)			102,13

Es de destacar que el monto de la factura será de BsF 3.063,90. Al utilizar las tarifas horarias, y manteniendo la misma curva de demanda diaria se puede notar un incremento BsF de 27,96 (37,69% con respecto al cobro usando una tarifa plana de 3,71 BsF/kWh) sólo aplicando esta metodología que se logró un

incremento en el monto diario de la vivienda, esta configuración de tarifas horarias se logra gracias al medidor inteligente.

En la tabla 4.12 se muestra una comparación del monto de la facturación mensual de la energía eléctrica de un apartamento con un consumo mensual de 600 kWh aplicando la tarifa de Venezuela y Chile.

Tabla 4.12.: Monto Mensual al utilizar Redes Eléctricas Tradicional. Consumo de 600 kWh.

Tarifa Venezolana (BsF)	Tarifa Plana caso Chile (BsF)	Tarifa Horaria caso Chile (BsF)
30,266	2.224,98	3.063,90

- **Caso Red Eléctrica Inteligente**

Lo que se desea lograr con las redes eléctricas inteligentes es que la curva de demanda diaria se aplane lo que generaría una reducción en el consumo diario.

Una de las principales características de las redes eléctricas inteligentes es que estas se aplican para aplanar la curva de demanda diaria. Suponiendo que se aplicara solo los tableros de gestión de lavadero, el cual comprende la lavadora, secadora, calentador de agua, otros. Con un promedio de 20 % de disminución de consumo eléctrico mensual. En la tabla 4.13 se observan las nuevas características del usuario.

Tabla 4.13.: Características del Usuario Residencial con Redes Eléctricas Inteligentes.

Características	Observación
Consumo mensual	600 kWh
Disminución mensual	20 %
Consumo mensual	495 kWh
Consumo promedio diario	16,5 kWh
Primer pico de Carga	Entre 6 – 8 a.m.
Segundo pico de Carga	Entre 7 – 9 p.m.

Al ser un modelo se utilizó una característica de carga con los siguientes datos típicos asumidos por los autores. Al graficar este consumo se obtuvo una curva de demanda diaria con las siguientes características como se observa en la figura 4.2.

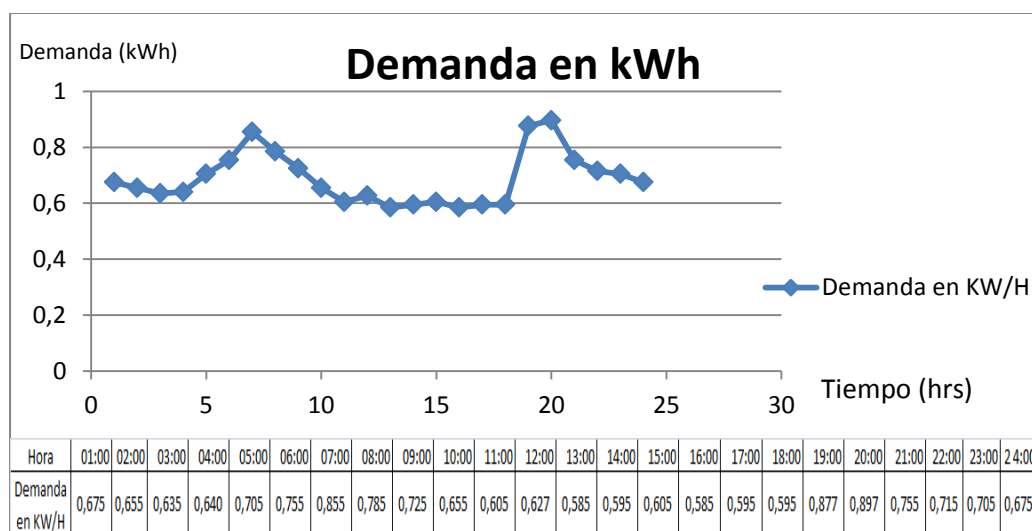


Figura 4.2 Curva de Demanda Diaria de la Vivienda. Consumo de 495 kWh. Fuente: Escalona y Ochoa

Al aplicar la tarifa de Venezuela como se explicó en la parte anterior en la Tabla 4.8., se obtiene un monto de 22,79 BsF / Mes, tomando como tiempo de facturación igual a 30 días, se obtiene un monto por día de 0,76 BsF / día.

En concordancia con lo antes expuesto, aplicando la actualización de la tarifa establecida en el caso estudio de 3,71 BsF / KWH. El monto de la factura será igual a 61,19 BsF / día, siendo el monto mensual de BsF 1.835,62.

En la tabla 4.14 se puede observar el monto por hora de la demanda del apartamento a estudiar.

**Tabla 4.14.: Cálculo del Costo del Consumo de energía por tarifa hora en BsF/kWh
POR DÍA (Caso Chile).**

Hora	Demanda en KW	BsF/kWh	Total en BsF
01:00	0,675	3,71	2,50
02:00	0,655	3,71	2,43
03:00	0,635	3,71	2,35
04:00	0,64	3,71	2,37
05:00	0,705	3,71	2,61
06:00	0,755	3,71	2,79
07:00	0,855	3,71	3,17
08:00	0,785	5,29	4,15
09:00	0,725	5,29	3,84
10:00	0,655	5,29	3,47
11:00	0,605	5,29	3,21
12:00	0,627	5,29	3,32
13:00	0,585	5,29	3,1
14:00	0,595	5,29	3,15
15:00	0,605	5,29	3,20
16:00	0,585	5,29	3,1
17:00	0,595	5,29	3,15
18:00	0,595	5,29	3,15

Continuación Tabla 4.14.

19:00	0,8765	6,89	6,04
20:00	0,8965	6,89	6,17
21:00	0,755	6,89	5,19
22:00	0,715	6,89	4,92
23:00	0,705	3,71	2,61
24:00	0,675	3,71	2,50
Total a Pagar en BsF POR DIA (24 Horas)			82,55

En este caso el consumo mensual es de BsF 2.476,56. Al comparar las tarifa horaria tabla 4.14 con la tarifa plana caso chile y manteniendo la misma curva de demanda diaria se puede notar un incremento BsF de 21,36 (34,9%).

En la tabla 4.15 se muestra una comparación del monto de la facturación mensual de la energía eléctrica de un apartamento con un consumo mensual de 495 KWH aplicando la tarifa de Venezuela y Chile.

Tabla 4.15.: Monto Mensual al utilizar Redes Eléctricas Inteligentes. Consumo de 495 kWh (Aplicando la gestión al circuito del lavadero).

Tarifa Venezolana (BsF)	Tarifa Plana caso Chile (BsF)	Tarifa Horaria caso Chile (BsF)
22,79	1.835,62	2.476,56

Al comparar estos resultados, es evidente que el uso de redes eléctricas inteligentes contribuye a la disminución del consumo eléctrico ya que a medida que se incorporan más actividades a la hora de menor costo se pagará menos por la energía consumida y se aplanará la curva de carga diaria.

En la tabla 4.16 se observa la comparación entre el costo del consumo diario de la red eléctrica inteligente y la red tradicional.

Tabla 4.16.: Comparación de Costo por Día de consumo para el Caso Estudio.

	Tarifa aplicada en Venezuela (BsF / día)	Actualización de Tarifa(BsF / día)*	Tarifa Horaria(BsF / día)**
Red Eléctrica Tradicional Consumo de 600 KWH	1,01	74,17	102,13
Red Eléctrica Inteligente Consumo de 495KWH.	0,76	61,19	82,55

*Tarifa plana caso Chile.

**Tarifa horaria caso Chile.

En la tabla 4.17 se observa la comparación entre el costo del consumo mensual de la red eléctrica inteligente y la red tradicional.

Tabla 4.17.: Comparación de Costo por Mes de consumo para el Caso Estudio.

	Tarifa aplicada en Venezuela (BsF / Mes)	Actualización de Tarifa (BsF / Mes)*	Tarifa Horaria (BsF / Mes)**
Red Eléctrica Tradicional Consumo de 600 KWH	30,266	2.224,98	3.063,90
Red Eléctrica Inteligente Consumo de 495KWH	22,79	1.835,62	2.476,56

*Tarifa plana caso Chile.

**Tarifa horaria caso Chile.

Este ejemplo ilustra el aplanamiento de la curva de demanda diaria, lo cual es el resultado esperado en la aplicación de esta técnica. Siguiendo este ejemplo se observa una reducción del consumo eléctrico, que aun cuando la repercusión

en el costo de inversión no es mayor, sí garantiza el uso eficiente y racional de la energía eléctrica.

Adicionalmente, en la tabla 4.16 se observa la diferencia del monto en la facturación mensual entre Venezuela y Chile, entre otras cosas debido a que Venezuela tiene tarifas eléctricas congeladas desde el año 2002, siendo esto un punto que podría servir de base para la aplicación de esta técnica, además al actualizar las tarifas la empresa prestadora del servicio eléctrico (CORPOELEC) podrá percibir mayores ingresos que podría invertir en mejoras para la eficiencia y calidad del servicio eléctrico, subsidiar y fomentar el uso de energías renovables entre otras.

Recopilando los aspectos más importantes de lo antes expuesto, es importante hacer el siguiente análisis:

A pesar de tener un altísimo porcentaje de incremento en el costo total de inversión para la implementación (equipos y mano de obra) de las redes inteligentes, es necesario pensar en cómo podría recuperarse esa inversión sin que transcurran grandes periodos de tiempo. Una diferencia de 2.145.500 BsF (3.113.300 BsF necesarios para implementar las redes inteligentes, frente a 967.800 de la red eléctrica actual) es una cifra bastante importante para un conjunto residencial como el utilizado para este ejemplo, así que tratar de recuperarlo con ajustes de tarifas es la manera más eficaz de hacerlo.

No se debe ver como un aumento de tarifa ya que ahora se utilizan equipos más sofisticados, se debe hacer comprender al usuario que el cambio de tarifa plana a una tarifa horaria, le permitirá tener un papel más participativo dentro de la búsqueda de la eficiencia y ahorro energético, además que transformará sus hábitos de consumo de energía ya sea por iniciativa propia o por el impacto que traerá en su bolsillo el no adaptarse al nuevo modelo que se plantea. En la

siguiente Tabla 4.18 se puede apreciar una cuantificación estimada de la recuperación de la inversión.

Tabla 4.18: Estimación de la recuperación de la inversión por concepto de instalación de equipos e instrumentos.

	N° de Apartamentos	Tarifa mensual por apartamento según tarifa horaria planteada anteriormente (BsF/Apto)	Tarifa mensual por edificio según tarifa horaria planteada anteriormente (BsF/Edif)	N° de Edificios	Total del conjunto residencial en un mes (BsF/mes)
Red Eléctrica Inteligente	40	2.476,56	99.062,4	4	396.249,6

Por lo que en un año se tendrá un aporte neto del conjunto residencial a la empresa de cobro por concepto de consumo de energía eléctrica un total de 4.754.995.2 BsF.

Por lo que en menos de un año se puede recuperar el monto invertido en instalación de los nuevos equipos. Cabe destacar que se debe descontar el monto que implique mantenimiento de dichos equipos, ya que se debe garantizar un funcionamiento óptimo de estos para el cumplimiento de los objetivos planteados.

En otro orden de ideas, es muy importante destacar el impacto ambiental que tendrá la implementación de las nuevas redes de energía. Incluso agregando instalaciones que permitan la generación de energía a partir de energías renovables (lo cual incurre en un aumento del monto inicial de instalación), se adiciona un elemento importante de recuperación de inversión no económico, pero sí en cuanto a la preservación del medio ambiente. De hecho, a través de la implementación de las energías limpias se empieza a adaptar el país para cumplir los objetivos internacionales planteados sobre disminución de emisiones contaminantes.

4.3.3. Análisis de Factibilidad Legal para la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes en Venezuela.

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela en su preámbulo señala entre los fines que debe promover en la sociedad, “la protección del equilibrio ecológico y de los bienes jurídicos ambientales como patrimonio común e irrenunciable de la humanidad”. El texto constitucional se caracteriza por desarrollar con la amplitud necesaria, los derechos y deberes ambientales de cada generación, y por reconocer el derecho que ellas tienen a un medio ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. Así, encuentra fundamento constitucional la obligatoriedad de la educación ambiental y las limitaciones a la libertad económica por razones de protección del ambiente. De tal manera que hablar de uso eficiente de la energía tiene relación directa con desarrollo sustentable y preservación del ambiente esto se refrenda en el Capítulo IX de la **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela** donde se establecen los derechos ambientales [32].

En concordancia con lo establecido en la Constitución Venezuela es signataria de numerosos compromisos internacionales en materia ambiental y cosignataria de las Metas del Milenio, las cuales establecen garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. La firma de estos compromisos internacionales es una expresión de la voluntad del Estado en promover la racionalización del consumo de energía enmarcada en las Líneas Generales del Plan de Desarrollo Económico y Social de la Nación.

Por esta razón la **Ley de Eficiencia Energética y Energías Renovables** promulgada con el objetivo de integrar el fomento del ahorro y la eficiencia energética y la promoción de la energía procedente de fuentes renovables en todos los ámbitos de la vida social, con la finalidad de mejorar la seguridad del

abastecimiento energético, alcanzar un desarrollo económico sostenible y competitivo y contribuir a la mejora del medio ambiente, reduciendo, entre otros efectos, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros gases contaminantes, siendo de obligatorio cumplimiento por todos los sectores, instalaciones, sujetos y procesos relacionados con la producción, transformación, transporte, distribución o consumo de energía [33].

Las normas establecidas en esta Ley propician la articulación de los diferentes sectores de la sociedad para la efectiva aplicación de las políticas públicas en esta materia. La Ley contiene disposiciones fundamentales, la estructura organizativa, la planificación del uso racional y eficiente de la energía, la educación energética, las certificaciones de eficiencia.

De modo similar, el Gobierno Nacional, a través del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, MPPEE, promulgó las **Resoluciones 73, 74, 75, 76, y 77** que tienen como objetivo general promover el uso racional y eficiente de la energía eléctrica en todo el territorio nacional, propiciando la reducción del consumo excesivo mensual de los usuarios residenciales, organismos públicos, privados y altos consumidores, al tiempo que estableció un conjunto de medidas de orden técnico y administrativo [34].

En atención a lo anterior, el Ejecutivo y el Ministerio del Poder Para la Energía Eléctrica tomaron en cuenta ciertas circunstancias coyunturales y permanentes en el consumo de energía eléctrica de la población en nuestro país, señalado como el más alto que el promedio de América Latina, lo que indica un patrón de consumo ineficiente.

Este contexto legal da fuerza a esta propuesta, ya que existe una preocupación en el estado Venezolano, acerca de la eficiencia energética así

como la utilización de las energías renovables. Además, el incumplimiento de éstas puede generar sanciones.

Una vez evaluada la factibilidad técnica, legal y económica, aplicada a un caso de estudio en un Conjunto Residencial en Venezuela, es de destacar que Venezuela posee un gran potencial para la aplicación de esta técnica para el uso eficiente de energía y el ahorro energético.

CONCLUSIONES

Este trabajo se basó en la investigación sobre las características, funcionamiento requerimientos para la implantación de las redes eléctricas inteligentes por lo que los objetivos planteados en la misma se lograron satisfactoriamente.

- Se evaluaron todos los aspectos necesarios para la implementación de las redes eléctricas inteligentes, así como el papel que juega cada uno de estos, logrando poder describir, explicar y entender la utilización de las principales variables que intervienen en las redes eléctricas inteligentes.
- En otro orden de ideas, el estudio arrojó, una serie de ventajas, requerimientos y barreras que tienen estas redes eléctricas inteligentes en su aplicación, donde se puede resaltar la autogestión de la energía eléctrica.
- La implementación por parte de los usuarios del uso de las energías renovables, es vital para la aplicación de esta nueva tecnología. El principal obstáculo de todo este nuevo sistema innovador es de orden económico, pues la instalación de estos sistemas requieren de inversión financiera importante y que el estado promueva su uso a través de subsidios y políticas claras de apoyo a su implementación.
- Al momento de aplicar esta técnica para usar eficientemente la energía eléctrica, trajo consigo realizar un análisis de las redes eléctricas actuales, ya que las redes eléctricas inteligentes no son más que una evolución de éstas, la utilización de equipos inteligentes y automáticos son los que juegan un papel importante. Es de destacar que esta evolución implica la actualización de algunos equipos que permitan cumplir esta evolución, con

el uso de medidores inteligentes, tableros de distribución inteligentes, sistemas de autogestión, el uso de energías renovables y sistemas de comunicación más avanzados son los cambios más significativos que se hicieron para la implementación de esta tecnología. Por lo que las redes eléctricas actuales necesitarían inicialmente la utilización y el cambio por estos equipos.

- De modo similar, al buscar en el mercado los equipos necesarios para la implementación de las redes eléctricas inteligentes, se realizó un presupuesto utilizando los equipos necesarios en la red eléctrica tradicional el cual fue de BsF 967.800,00, mientras que al realizar la propuesta de la implementación de las redes eléctricas inteligentes se buscaron proveedores nacionales e internacionales y tuvo un monto de BsF 3.113.300,00, teniendo un incremento BsF 2.145.500,00 por lo que es de notar el incremento del costo de inversión
- Cabe destacar que en el estudio de factibilidad de implementación de las redes eléctricas en Venezuela, se tomó en cuenta la económica, la cual arrojó, mediante un ejemplo sencillo, lo beneficioso que sería la aplicación de las redes eléctricas inteligentes aplicando conjuntamente un sistema de cobranza con tarifa horaria y la actualización de las tarifas eléctricas las cuales están congeladas desde el año 2002. De igual manera Venezuela cuenta con un conjunto de leyes como son **“La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela”**, **“Ley de Eficiencia Energética y Energías Renovables”** y **“La Resolución 73, 74, 75, 76 y 77”** en donde ya se incluye este tipo de tecnología, de eficiencia y ahorro energético por lo que las redes eléctricas inteligentes son de gran ayuda para lograr el correcto cumplimiento de estas leyes.

- Así mismo se estudió la factibilidad técnica, para lo cual se realizó un estudio de todos los equipos y sistemas necesarios para la aplicación de las redes eléctricas inteligentes en la cual Venezuela actualmente no cuenta con todos esos equipos y sistemas.
- La expectativa al aplicar las redes eléctricas inteligente es aplanar las curvas de carga, optimizando los recursos disponibles y generando la participación activa de los usuarios, proponiendo inversiones en tecnologías alternativas para la disminución del consumo eléctrico utilizando para ello equipos como el panel solar, artefactos inteligentes, otros.
- Aun cuando la factibilidad económica para las redes inteligentes es mucho más costosa que la tradicional, hay que tomar en cuenta la necesidad de la actualización de las tarifas, pues hasta ahora han estado subsidiadas por el Estado lo cual se ha vuelto insostenible en estos momentos y se evidencia una disminución en el nivel de eficiencia energética, racionalización de recursos y en la calidad del servicio.
- El uso de las Redes Eléctricas Inteligentes en Venezuela es factible como se mencionó anteriormente ya que traen grandes beneficios y aportes para la cultura de ahorro y eficiencia energética que se está difundiendo por todo el país.
- En la actualidad, las empresas comercializadoras de artículos eléctricos tienen una política medio ambiental, para el uso eficiente de la energía eléctrica, por eso la utilización de equipos de alta eficiencia energética por parte de los suscriptores de servicio eléctrico toma una gran importancia ya que estos equipos más eficientes y de menor consumo de energía tendrán un gran aporte a la reducción y utilización eficiente de la energía eléctrica.

- El éxito de la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes va ligado estrechamente al grado de participación del usuario dentro del nuevo modelo energético planteado, ya que con la opción de entregar energía al sistema, este puede, además de beneficiarse de la red, contribuir a su mejoramiento paulatinamente. Y en este orden de ideas, la autonomía de la que gozaría el usuario permitiría que el objetivo del ahorro y eficiencia energética se cumpla, claro está, luego de haber modificado los hábitos culturales y de consumo de estos.
- Conviene destacar que un sistema de control de gestión, a través de indicadores que permitan controlar y analizar los sistemas de distribución es una de las principales prioridades de la Red Eléctrica Inteligente. Los instrumentos analíticos, opciones de visualización y sistemas de control, el análisis en tiempo real permitirá que los operadores gestionen de forma activa la red para lograr una mejor eficiencia operativa y para anticipar y evitar interrupciones del servicio y otros problemas de funcionamiento. La mayoría de las herramientas necesarias para el análisis en tiempo real ya están disponibles. La adquisición de las variables en tiempo real se hace a través del sistema SCADA y el análisis de estas variables se realiza en equipos que ya existen como por ejemplo, equipos de análisis del flujo de carga utilizados por empresas de servicios públicos de transporte y distribución de energía para simular y analizar la tensión, corriente, y el flujo de potencia real del sistema para la planificación y las operaciones.

RECOMENDACIONES

Una vez obtenidas las conclusiones de acuerdo al análisis de la información recolectada se derivan algunas recomendaciones pertinentes al tema; que se espera contribuyan al mejoramiento de la línea de investigación Calidad de Energía y Eficiencia Energética del Departamento de Potencia. Seguidamente se proponen las siguientes recomendaciones:

- Se observa la necesidad de actualización de las tarifas eléctricas que representen el costo real de la inversión y el mantenimiento del sistema eléctrico, así como también realizar el estudio para el cambio a tarifa horaria, ya que al momento de aplicar las Redes Eléctricas Inteligentes los medidores inteligentes tiene la capacidad de trabajar a diferentes tarifas horarias, y se optimizaría el uso y capacidad del sistemas eléctrico en sus redes, líneas y transformadores.
- Otro aspecto importante que se debe estudiar al momento de implementar la Red Eléctrica Inteligente, es la utilización de energías renovables por parte de los usuarios y de los sistemas de distribución, por lo que los picos de carga de la curva de demanda diaria van a variar.
- Es importante realizar un estudio más detallado sobre cómo las Redes Eléctricas Inteligentes variarían la curva de demanda diaria, por lo que se presume que los picos altos de demanda disminuirán y los picos bajos se aumentarán de manera tal que la curva de demanda diaria se lo mas plana posible.

- En cuanto a la formación y educación del usuario, se recomienda realizar un estudio social acerca de la necesidad de formación del usuario y del impacto que traería consigo la autogestión por parte de éste, así como también la formación de los mismos para que puedan participar en la compra y venta de energía eléctrica.
- Es importante destacar la conveniencia de incorporar el diseño de sistemas domóticos y muchos de los aspectos aquí desarrollados en contenidos programáticos de asignaturas de la carrera de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, como por ejemplo la asignatura Proyecto de Iluminación y Canalizaciones de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.
- De especial interés para otros trabajos de investigación puede ser el estudio de inversión y de factibilidad aplicado a conjuntos residenciales compuestos por viviendas unifamiliares (Casas) considerando la utilización de paneles solares, vehículos eléctricos, entre otros.
- Elaborar programas de concientización y de formación ciudadana utilizando medios audiovisuales, donde se observen las ventajas medioambientales y de función de las Redes Eléctricas Inteligentes.
- Adicionalmente se recomienda realizar un estudio del tiempo de retorno económico de la inversión basado en la implementación de las Redes Eléctricas Inteligentes.
- Realizar un estudio en donde se pueda determinar la depreciación de los equipos de las Redes Eléctricas Inteligentes y el periodo de tiempo de sustitución de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]. Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. Smart Grids y la Evolución de la Red Eléctrica. España, 12 de Mayo de 2011.

[2].Ministerio del Poder Popular para la Comunicación y la Información. Entrevista a Cristóbal Francisco, Ministro de Agua, el 19 de Enero de 2010. Sitio Web, citado Agosto de 2011 http://www.minci.gob.ve/entrevistas/3/195287/venezuela_es_el.html.

[3]. Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia (AsoVAC). Citando un documento elaborado por la Universidad Simón Bolívar (USB) en febrero de 2010. Sitio Web, citado Agosto de 2011. <http://www.asovac.org/2010/02/16/usb-sistema-electrico-nacional-nunca-fue-tan-vulnerable/>.

[4]. El Universal. Entrevista al Ministro de Energía Eléctrica Alí Rodríguez Araque publicada el 6 de Marzo de 2011. Sitio Web, citado Agosto 2011. <http://www.eluniversal.com/2011/03/06/factores-determinantes-en-la-crisis-electrica-estan-presentes.shtml>

[5]. Conchado A., y Linares P. (2010). Estimación de los Beneficios de la Gestión Activa de la Demanda. Revisión del Estado del Arte y Propuestas. Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas

[6]. Montesinos J. y Mariano R. (2010). Estudio de la Eficiencia Energética en la Empresa Ensambladora de Vehículos Chrysler de Venezuela LLC. Universidad de Carabobo.

[7]. Miranda D. (2008). Estado y Desarrollo de la Tecnología Smart Grid en Colombia. Universidad Nacional De Colombia. Bogotá, Colombia.

[8]. Abramof A. y Manosalva, D. (2011). Implantación del Sistema de Gestión Integral de la Energía en la Empresa Montana Gráfica, filial del grupo Corimon S.A. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

[9]. García E. y Guerra E. (2011). Implementación de un Sistema de Gestión Integral de la Energía. Caso: Corimon Pinturas, Resimon y Cerdex; Empresa Pertenecientes al Grupo Corimon. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

[10]. Guevara S. (2010). Diagnóstico Energético en el Hotel Alba Caracas. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

[11]. Gonzales-Longart F. (2010). Redes Inteligentes Sustentables (macro/micro): Retos y Oportunidades. The University of Manchester. Manchester, Inglaterra.

[12]. Guidi C. y Castro O. (2010). La Regulación Eléctrica en Latinoamérica frente al desafío del Smart Grid. Buenos Aires, Argentina.

[13]. Rosenfeld P. y. Moreno D. (2010). Smart Grid la visión de EDENOR. Buenos Aires, Argentina.

[14]. Gonzales A. (2006). El concepto “Energía” en la enseñanza de las Ciencias. Universidad de La Habana, Cuba.

[15]. Striatum Energy. Energía Eléctrica. Sitio web, citado Septiembre de 2011. <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2009/05/26/energia-electrica/>

[16]. Fundación para el Desarrollo Eléctrico (FUNDELEC). Informe Técnico titulado: “Uso Responsable de la Energía Eléctrica”. Argentina, Enero de 2008.

[17]. Lukastchuk A. (1996). Fallas en Sistemas de Potencia. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

[18]. Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Glosario de Términos. Sitio web, citado Septiembre de 2011. <http://www.mppee.gob.ve/inicio/glosario-de-terminos>.

[19]. Conferencia de Generación Distribuida. (2010). Madrid, España.

[20]. Peraza C. (2005). Efectos de las técnicas de control usadas en circuitos inversores sobre el seguimiento de carga en sistemas de generación distribuida. Universidad de Carabobo.

[21]. Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC). Distribución. Sitio web, citado Septiembre de 2011. <http://www.corpoelec.gob.ve/distribuci%C3%B3n>.

[22]. Puche L. (2008). Subestaciones Eléctricas. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

[23]. Naveira F. (2007). Canalizaciones y Luminotecnia. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

[24]. Aguilar J. (2010). Ruta eléctrica de Venezuela. Caracas, Venezuela.

[25]. Ministerio del Poder Popular para La Energía Eléctrica. Memoria 2010. Caracas, Venezuela.

[26]. Motta H. y Lombardero O. (2008). Medidor Electrónico de Energía. Facultad de Cs. Exactas y Naturales y Agrimensura UNNE

[27]. Casellas F., Velasco G., Guinjoan F. y Piqué R. (2010). El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de Distribución Eléctrica. Universidad Politécnica de Cataluña.

[28]. Paz A. y León H. (2007). Diseño de en Equipo para Indicar El Consumo de Energía Eléctrica, En Sectores de Bajos Ingresos, Con Tecnología De Microcontroladores. Universidad de Carabobo.

[29]. Weber P. (2011). Diseño E Implementación de Plataforma Scada para Sistema de Electrificación Sustentable en la Localidad de Huatacondo. Universidad de Chile.

[30]. González J. (2008). Modelo para la predicción de la demanda de energía eléctrica en serie de tiempo corto utilizando redes neuronales artificiales. Universidad de Carabobo.

[31]. Resolución Mediante la cual se Fijan las Tarifas Máximas que Aplican las Empresas Eléctrica (2002). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.415, de fecha 03 de Abril de 2002.

[32]. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999).

[33]. Ley de Eficiencia Energética y Energías Renovables (2011). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.823 del 19 de diciembre de 2011.

[34]. Resoluciones 73, 74, 75, 76 y 77 (2011). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N°39.414, de fecha 30 de abril de 2010.

ANEXO A

MEDIDORES

A.1 Elementos Principales de los Contadores Electromecánicos.

Los componentes básicos de un equipo de medición de energía son los siguientes:

- **Tapa del medidor:** La tapa del medidor está constituida por vidrio templado, incoloro y libre de deformaciones y porosidades, el cual es usado por su costo relativamente bajo y por su transparencia para ver el interior del medidor de una forma libre y sin dificultad. El propósito de la tapa del medidor es proteger ciertos componentes importantes del equipo de medición de las condiciones atmosféricas, del polvo y de cuerpos extraños. Sus propiedades dificultan adulterar el normal funcionamiento del contador.

- **Registrador:** Su función principal es registrar la energía medida por el equipo de medición. Esencialmente indica el número total de revoluciones del elemento rotativo, cada revolución es una medida de energía. El registro puede ser de dos tipos:

- Registrador con Punteros como se muestra en la figura A.1.
- Registrador de Ciclopuntos como se muestra en figura A.2.

Ambos tipos de registro pueden estar constituidos de cuatro o cinco dígitos, así mismo la razón de engranaje entre los ejes adyacentes de los dígitos es uno a diez, tal que la energía está indicada en los respectivos dígitos en unidades, decenas, centenas y unidad de mil kilovatio-hora. El registro es una unidad desmontable y movida por el elemento giratorio.

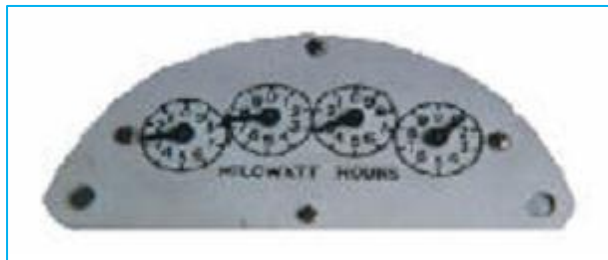


Figura A.1: Registrador con Punteros. Fuente: Amner de Paz y Hipólito León. [28]



Figura A.2: Registro con Ciclopuntos. Fuente: Amner de Paz y Hipólito León. [28]

- **Freno magnético:** Está constituido por imanes que tienen como función principal regular la velocidad del disco para una adecuada calibración; así como, también que este sea proporcional al torque resultante de la interacción de los flujos de voltajes y corriente.

- **Cojinetes:** Existe dos tipos de cojinetes dentro del medidor. El cojinete inferior, es del tipo de repulsión magnética, actúa por el efecto de repulsión entre campos magnéticos de una misma polaridad. Este efecto se manifiesta en forma de una almohadilla magnética que permite al rotor

flotar, garantizando de esta forma una completa estabilidad operacional. Y se encuentra el cojinete superior, el cual está constituido básicamente por un perno de acero inoxidable el cual mantiene al elemento móvil alineado verticalmente.

- **Elemento móvil:** Está constituido por un disco y un eje, ambos están fabricados en aluminio, mejorando de esta forma las características de cargas pequeñas. En sus extremos están fijados los componentes de los cojinetes superior e inferior y en el centro está el disco como se observa en la figura A.3.



Figura A.3: Elemento Móvil de un Medidor Electromagnético. Fuente: Amner de Paz y Hipólito León. [28]

- **Bobina de Potencial:** El objetivo principal de esta es producir un campo magnético proporcional al voltaje, razón por la cual es conectada en paralelo a la fuente del circuito. La bobina de potencial está constituida de un alambre aislado arrollado sobre un carrete altamente dieléctrico y montado sobre un núcleo laminado de acero-silicio para concentrar el flujo del campo como se muestra en la figura A.4. El acero laminado es utilizado para minimizar las pérdidas en el núcleo.



Figura A.4: Bobina de Potencial de un Medidor Electromecánico. Fuente: Amner de Paz y Hipólito León. [28]

- **Bobina de Corriente:** El objetivo principal de ésta es proporcionar un campo magnético que sea proporcional a la corriente suministrada a la carga, motivo por el cual es conectada en serie como se muestra en la figura A.5. La corriente produce un flujo magnético la cual está en fase con la corriente, esto es realizado con un pequeño número de vueltas del alambre de capacidad suficiente para conducir la corriente nominal y una corriente de sobrecarga.



Figura A.5: Bobina de Corriente de un Medidor Electromecánico. Fuente: Amner de Paz y Hipólito León. [28]

Las bobinas son de baja resistencia, independientes, las mismas son cubiertas con una resina epoxica para aislarlos eléctrica y mecánicamente del

núcleo de hierro, el flujo que origina producen un par proporcional a la potencia eléctrica.

- **Base:** La última parte del equipo de medición es la base, la que soporta todos los componentes del medidor como se muestra en la figura A.6, además de proporcionar un acceso desde el exterior hacia el medidor así como también instalar al equipo en el lugar deseado.



Figura A.6: Base del Medidor Electromecánico. Fuente: Amner de Paz e Hipólito León. [28]

A.2. Circuitos Integrados más utilizados en Medidores Electrónicos

A continuación se muestra en forma detallada las arquitecturas más utilizadas en los medidores electrónicos inteligentes.

ADE5169 (Analog Devices)

Este dispositivo está preparado para medir en tomas monofásicas los siguientes parámetros:

- I_{rms}

- Vrms
- P
- Q
- S.

En el mismo encapsulado incorpora un bloque de medición energética ligado a un DSP, además incorpora un microcontrolador con una arquitectura 8052, un RTC (Real Time Clock), un controlador de LCD y diversos complementos necesarios para el desarrollo de un medidor energético.

Para la implementación de las comunicaciones necesarias, este circuito integrado presenta dos interfaces UART programables independientes.

El hecho de disponer de los datos energéticos digitalizados de forma externa al microcontrolador hace que se disponga de la totalidad de la memoria (64 kB) flash para la implementación de programas avanzados en la figura A.7 se puede observar la arquitectura del ADE5169.

El hecho de disponer de los datos energéticos digitalizados de forma externa al microcontrolador hace que se disponga de la totalidad de la memoria (64 kB) flash para la implementación de programas avanzados.

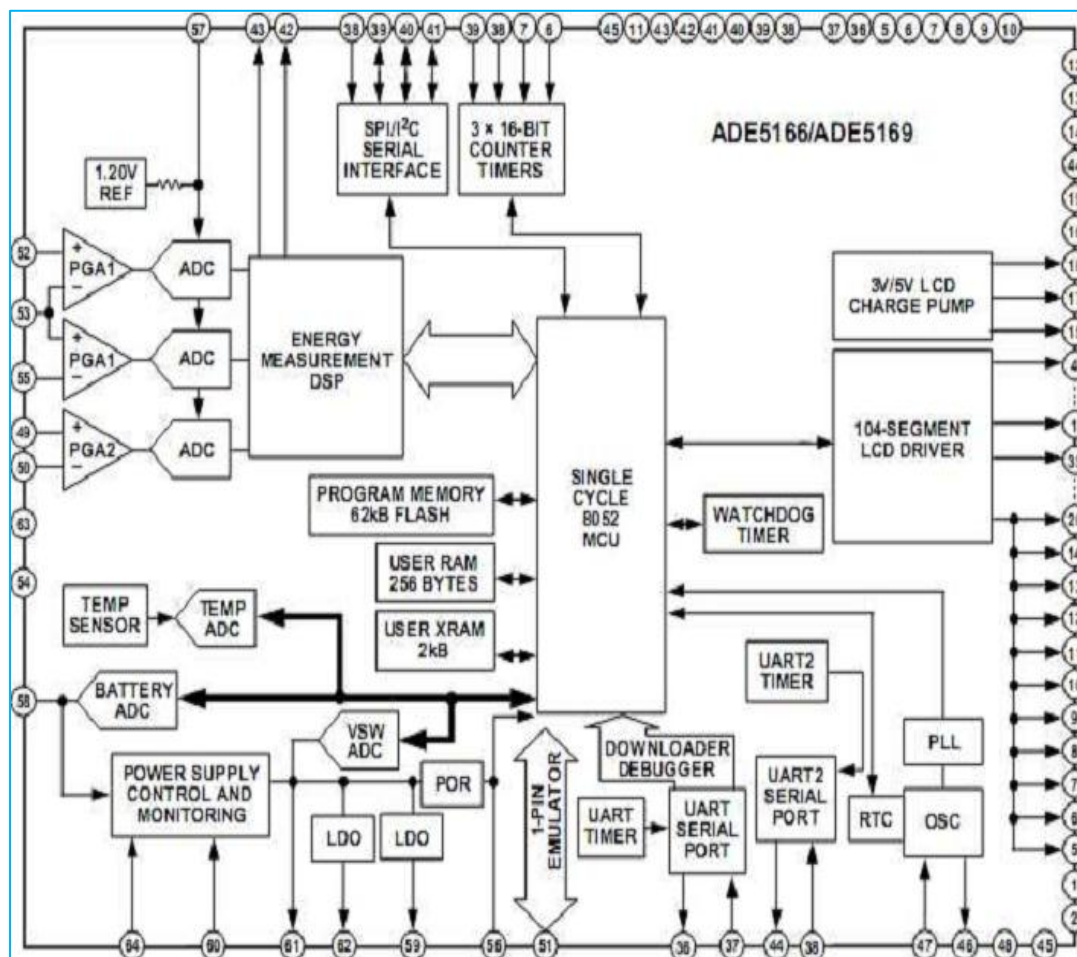


Figura A.7: Arquitectura del ADE5169. Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. [1]

AVR465 (Atmel)

Este dispositivo está preparado para medir en tomas monofásicas los siguientes parámetros:

- Irms
- Vrms
- P

La principal diferencia que presenta este dispositivo es que utiliza dos transductores de corriente para medir tanto en las líneas de fase como en las de neutro, de esta forma el dispositivo es capaz de detectar intentos de manipulación del sistema de medida.

El diseño de este sistema está basado en un microcontrolador AVR. Todas las medidas realizadas se digitalizan y se pasan al microcontrolador a través de PWM (Pulse Width Modulation) mediante la UART de que dispone. Esto lo convierte en un circuito con un bajo coste y muy eficiente.

El fabricante proporciona en su hoja de aplicación toda la descripción necesaria para desarrollar y ensamblar el dispositivo en cuestión, basado en un ATmega88.

AS8268 (Austriamicro-sys)

Este dispositivo integrado, capaz de medir en líneas monofásicas valores de:

- I_{rms}
- V_{rms}
- P
- Q

Sigue la misma filosofía que el ADE5169 de Analog Devices, integrando una unidad externa encargada de digitalizar las medidas analógicas energéticas gracias a un DSP y a un sistema de recogida de valores analógicos. Como puede observarse en la figura A.8, también basa su funcionamiento en un microcontrolador de arquitectura 8051 y dispone de un driver hardware para controlar LCD's, en la figura A.8 se puede observar la arquitectura del AS8268.

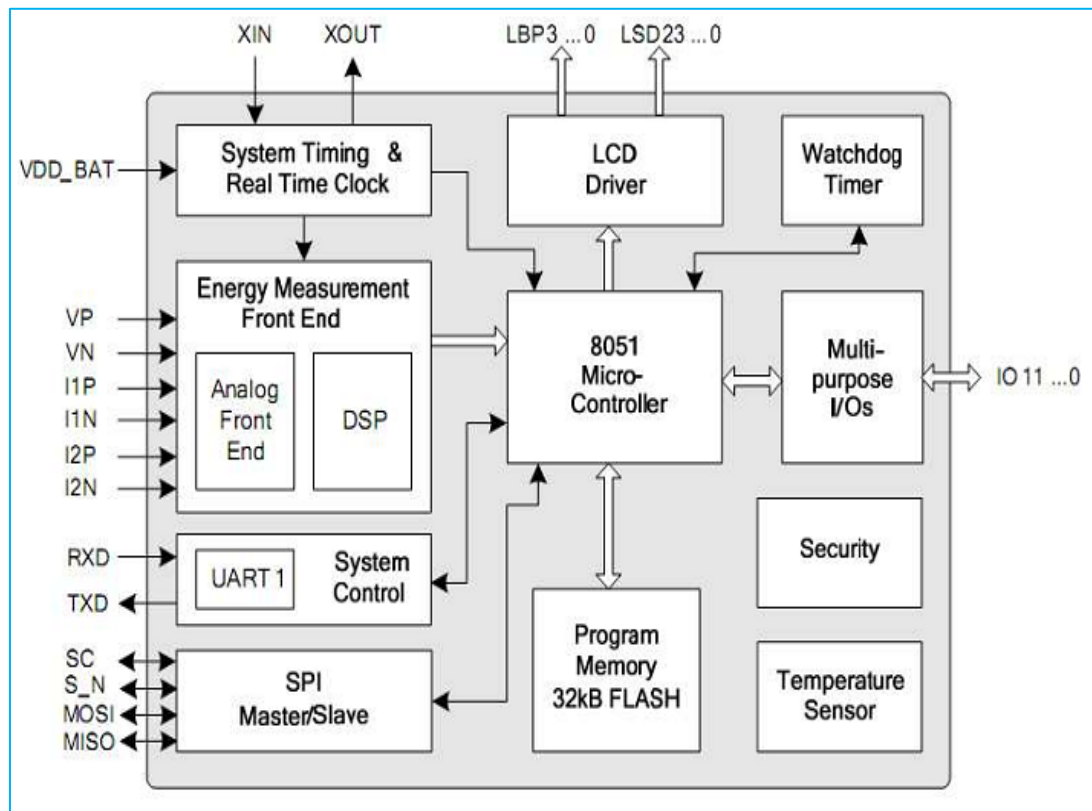


Figura A.8: Arquitectura del AS8268. Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. [1]

Al igual que el AVR465 de Atmel, este integrado es capaz de realizar mediciones tanto en la línea de fase como en la de neutro con el fin de poder detectar fallos o manipulaciones del sistema de medida. Por otro lado dispone de dos puertos de comunicaciones (uno UART y otro SPI).

CS5463 (Cirrux Logic)

Este circuito integrado basa su sistema de captura de información energética en dos convertidores A/D Delta-Sigma. Además de calcular los parámetros básicos de tensión, corriente y potencia, es capaz de calcular frecuencias y armónicos.

Por otro lado, este circuito integrado se limita a calcular los parámetros descritos y a ponerlos a disposición ya sea bien a través de una interfaz de comunicación serie, o bien a través de modulación de pulsos en función de la energía consumida.

Por tanto, este circuito sirve de base para la implementación de un contador, sino que proporciona una pieza clave para su funcionamiento, siendo necesario disponer de otro dispositivo encargado de alojar un programa que pueda proveer los servicios necesarios como control de LCD's, comunicaciones, indicadores, etc, como se puede observar en la figura A.9 la arquitectura del CS5463.

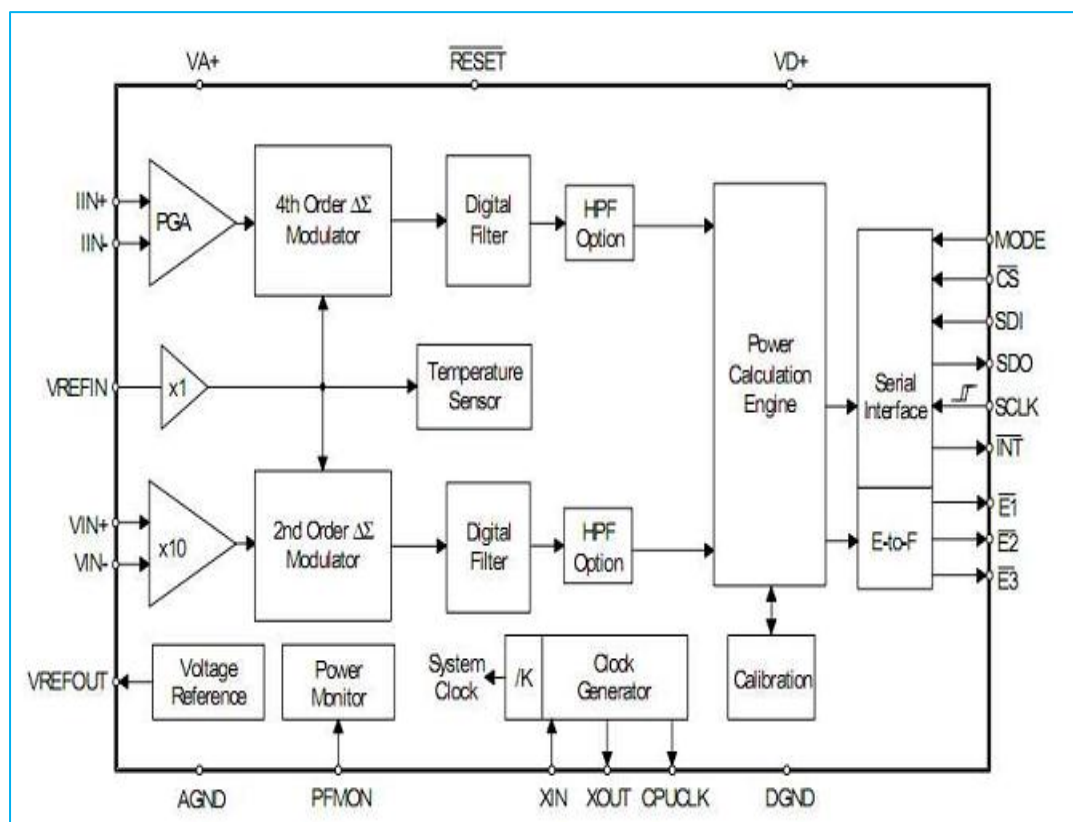


Figura A.9: Arquitectura del CS5463. Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. [1]

MAXQ3183 (MAXIM)

Al igual que el CS5463 de Cirrus, este integrado es capaz de recoger y calcular un mayor número de parámetros que otros dispositivos, como fases, armónicos, frecuencias, etc., operando en sistemas trifásicos (3F/3H o 3F/4H) en la figura A.10 se puede observar la arquitectura del MAXQ3183.

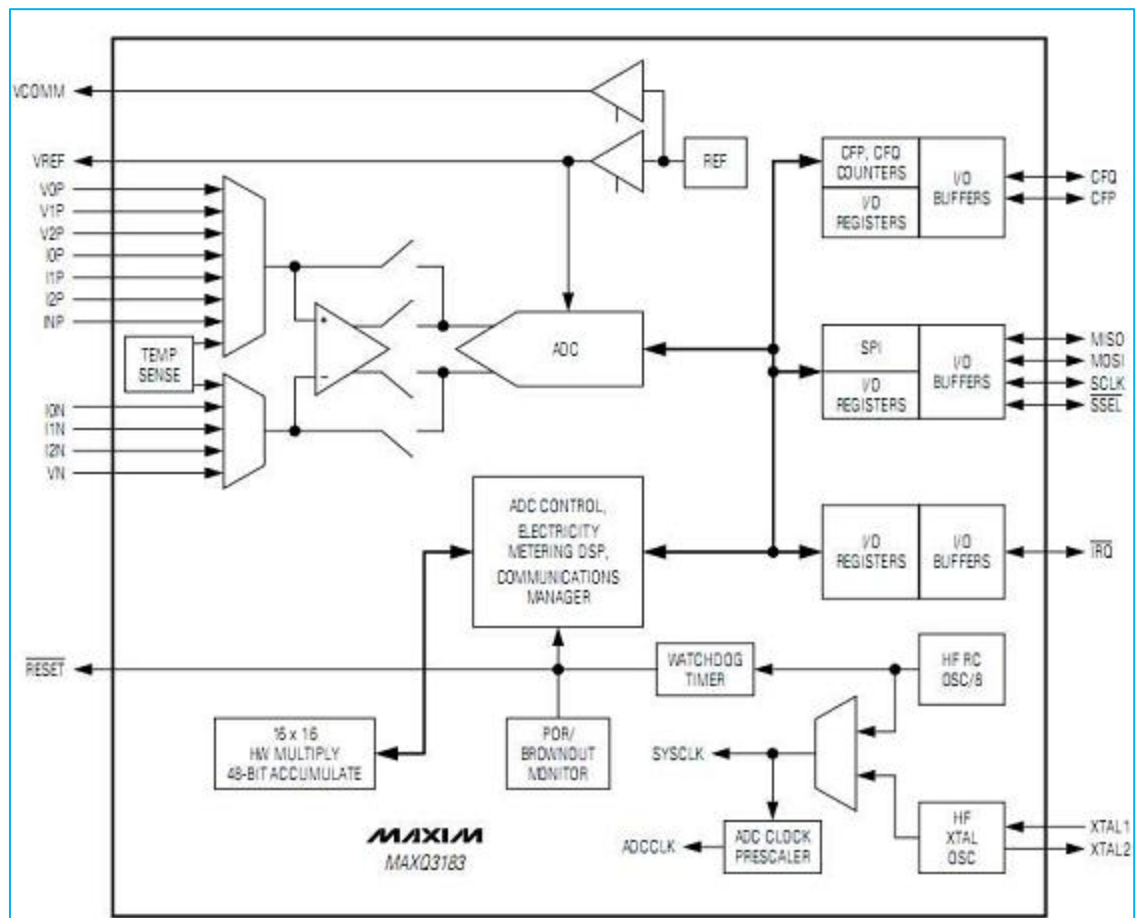


Figura A.10: Arquitectura del MAXQ3183. Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. [1]

Sin embargo, no dispone de una unidad controladora capaz de gestionar dicha información y representarla de alguna manera. Una vez calculados los parámetros dispone de 3 salidas de pulsos configurables para representar energía

activa, reactiva y aparente. Además dispone de una interfaz serie para acceder a todos los datos calculados de forma más exacta.

MCP3905 (Microchip)

Este circuito está diseñado para medir tensión y corriente en sistemas monofásicos, proporcionando una salida de pulsos proporcional a la potencia real que esté siendo consumida en la línea

El funcionamiento del integrado es muy sencillo como se muestra en la figura A.11 donde se observa la arquitectura del MCP3905, careciendo de cualquier tipo de controlador, entradas/salidas adicionales, o puertos de comunicación. Por tanto para el diseño de contadores será necesario disponer de otro elemento central capaz de proveer de estas características necesarias.

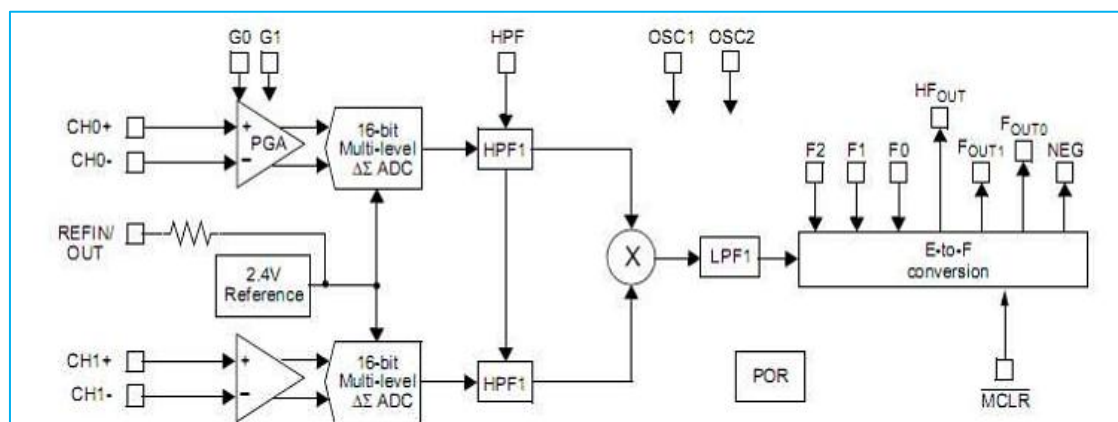


Figura A.11: Arquitectura del MCP3905. Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. [1]

SA9904 (Sames)

Este dispositivo es capaz de medir:

- Vrms

- I_{rms}
- Frecuencia
- P
- Q
- S

En sistemas trifásicos tanto de 3 hilos como de 4 hilos. Realiza la medición de corriente tanto en las líneas de fase como en las líneas de neutro, facilitando la detección de manipulaciones en la figura A.12 se puede observar la arquitectura de este dispositivo.

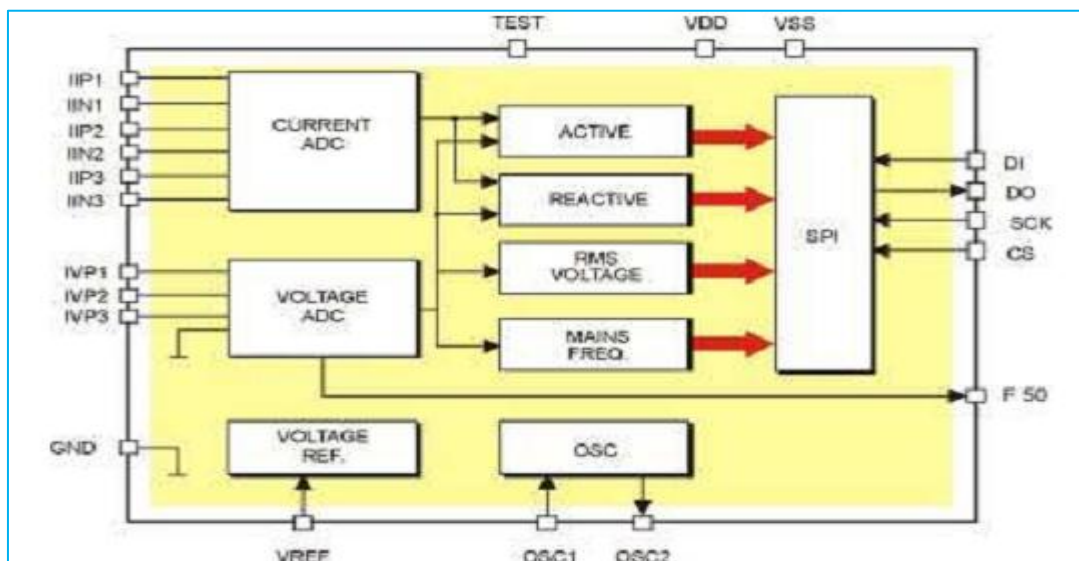


Figura A.12: Arquitectura del SA9904. Fuente: Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. [1]

Al igual que los anteriores circuitos integrados, este SA9904 no posee unidad MCU, de forma que proporciona los datos a través de una interfaz SPI que necesitará conectarse con una unidad externa que recoja los datos para representarlos, enviarlos o actuar en consecuencia.

71M6531F (Teridian)

Este integrado es una de los más completos del mercado. Puede medir:

- Irms
- Vrms
- Potencia
- Energía en los cuatro cuadrantes cumpliendo con el estándar IEC62053.

Además incorpora un microcontrolador de características avanzadas que dispone de 256 kB de memoria, 2 interfaces de comunicación UART, controlador LCD, convertidor A/D de 22 bits, etc.

Por tanto, está dirigido al desarrollo de dispositivos de medida energética con capacidad de transferir, monitorizar y gestionar toda la información almacenada en memoria, convirtiéndose en una pieza clave dentro del dispositivo a desarrollar [20].

ANEXO B

PLANOS

B.1. Plano de Planta del Conjunto.

B.1.a. Plano de Planta de Apto Tipo.

B.1.b. Plano de Planta de Apto Dúplex.

B.2. Plano de Diagrama Unifilar.

B.3. Plano de Tableros y Bancadas.

B.4. Plano Vertical de Fuerza de Medidores.

B.5. Plano Principal de Acometidas.

B.6. Plano de Acometida de Servicios Generales.

B.7. Plano de Alimentadores de Apto Tipo.

B.8. Plano de Alimentadores de Apto Dúplex

ANEXO C

DATA SHEET DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS USADOS

C.1. Medidor Inteligente Circutor CIRWATT B 200.

C.2. Concentrador de Medición Circutor PLC 800.

ANEXO D

LEYES DE INTERES

D.1. Resolución Mediante la cual se Fijan las Tarifas Máximas que Aplican las Empresas Eléctrica. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.415.

D.2 Ley de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.823.

D.3. Resolución 73. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.414.

D.4. Resolución 74 Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.414.

