



**Universidad**  
**Tecnológica de Bolívar**  
CARTAGENA DE INDIAS

**ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES INTELIGENTES “SMART GRID”**

**BLAS MORALES QUINTANA**  
**NAIRO GRANDETH SALCEDO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARTAGENA D.T. Y C**  
**2012**



**Universidad**  
**Tecnológica de Bolívar**  
CARTAGENA DE INDIAS

**ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES INTELIGENTES “SMART GRID”**

**BLAS MORALES QUINTANA**  
**NAIRO GRANDETH SALCEDO**

Monografía para optar al título de Ingeniero Electricista

**Director:**  
**LUIS EDUARDO RUEDA RINCON**  
**Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARTAGENA D.T. Y C**  
**2012**

Cartagena, Abril de 2012

Señores:

**COMITÉ CURRICULAR**

Universitaria Tecnológica de Bolívar

La Ciudad.

Respetados señores:

Con toda atención me dirijo a ustedes, con el fin de presentarles a su consideración, estudio y aprobación, la Monografía titulada: **“ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES INTELIGENTES “SMART GRID”** ", como requisito para obtener el título de Ingeniero Electricista.

Atentamente,

---

**BLAS MORALES QUINTANA**

CC 73.575.424 de Cartagena.

---

**NAIRO GRANDETH SALCEDO**

CC 73.196.590 de Cartagena

Cartagena, Abril de 2012

Señores:

**COMITÉ CURRICULAR**

Universitaria Tecnológica de Bolívar

La Ciudad.

Respetados señores:

A través de la presente me permito ratificar la asesoría prestada para la monografía titulada **“ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES INTELIGENTES “SMART GRID”** ". La cual fue realizada por los estudiantes BLAS MORALES QUINTANA Y NAIRO GRANDETH SALCEDO como requisito para aprobación del “Minor en Sistemas de Potencia”, y optar por el título de Ingeniero Electricistas.

Atentamente,

---

**LUIS EDUARDO RUEDA RINCON**

Ingeniero Electricista

Director

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Cartagena, 22 de Mayo 2012

## DEDICATORIA

*A Dios por la vida, por darme el don de la perseverancia y a mostrarme que con su ayuda puedo alcanzar casi cualquier meta que me proponga.*

*A mis padres, por haber sacrificado parte de su vida, para que yo no me pudiera formar. Su apoyo, su amor y sus enseñanzas siempre estarán en mi mente. Gracias por creer en mí.*

*A mis hijos Laura, Alfonso y Javier. Por motivarme a ser cada día mejor. El amor que siento por ustedes es indescriptible.*

*A Lisbeida, por su amor, paciencia y ayudarme a ver la vida de otra manera. Gracias por haber estado a mi lado durante estos años. Te amo.*

*Gracias Amparo, por haber estado siempre ahí, cuando más te he necesitado.*

*A mis Hermanos por escucharme, apoyarme y aconsejarme.*

*A mis compañeros de estudio, durante esta larga travesía en la UTB: Nairo Grandeth, Rusbell Villalba, Antonio Jiménez, Jose Noth, Andrés Roca, Luis Escorcía, Yajaira e Ismael Acevedo.*

*A todos mis profesores en especial a Enrique Vanegas y a Luis Eduardo Rueda.*

*Blas Morales Quintana*

## DEDICATORIA

*A Dios, Gracias a El por la oportunidad de llegar a ser quien soy, por darme cada día las herramientas para seguir alcanzando mis metas, y llegar a ser una excelente persona y profesional.*

*Por su infinito amor.*

*Gracias a mis padres por sus esfuerzos y sacrificios, por brindarme amor y ser la guía que Dios me brindo para construir mi futuro.*

*Gracias Mamá por tu apoyo incondicional, porque tu haz sido la musa de mi inspiración para seguir adelante.*

*A las personas que en el paso por mi vida han aportado su granito de arena en mi formación.*

*Gracias.*

*Nairo Luis Grandeth Salcedo*

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>1. GENERALIDADES DE LAS REDES INTELIGENTES “SMART GRID” .</b>	<b>4</b>
1.1 DEFINICION GENERAL DE LA SMART GRID .....	4
1.2 EVOLUCION DE LAS SMART GRID.....	6
1.3 SISTEMA DE POTENCIA ACTUAL VS REDES INTELIGENTES. ....	8
1.4 CARACTERISTICAS DE LA SMART GRID .....	11
1.5 FUNCIONES DE UNA SMART GRID .....	13
1.5.1 AUTOCORRECCION .....	13
1.5.2 MOTIVAR A LOS CLIENTES A PARTICIPAR ACTIVAMENTE EN LA OPERACIÓN DE LAS REDES. ....	13
1.5.3 RESISTENCIA A ATAQUES .....	14
1.5.4 MAYOR CALIDAD EN LA PROVISIÓN DE ENERGÍA.....	14
1.5.5 FLORECIMIENTO DE UN MERCADO MÁS COMPETITIVO DE ELECTRICIDAD. ...	15
1.6 ALGUNAS SMART GRID QUE OPERAN EN LA ACTUALIDAD .....	15
1.6.1 MALTA .....	15
1.6.2 SMARTCITY, MALAGA.....	17
1.6.3 SMART GRID CITY, BOULDER, COLORADO .....	18
1.6.4 HYDRO ONE.....	19
1.6.5 HYDRO QUÉBEC .....	20
<b>2. TECNOLOGIAS CLAVES QUE PERMITEN EL FUNCIONAMIENTO DE LAS SMART GRID. ....</b>	<b>21</b>
2.1 COMPONENTES AVANZADOS.....	21
2.1.1 ADVANCED ON-LOAD TAP-CHANGER (OLTC) .....	22
2.1.2 ADVANCED PROTECTIVE RELAYS.....	23
2.1.3 CONTROLLABLE NETWORK TRANSFORMER (CNT) .....	25
2.1.4 FACTS.....	25
2.1.5 CONVERTIBLE STATIC COMPENSATOR (CSC).....	27
2.1.6 STATIC SYNCHRONOUS SERIES COMPENSATOR (SSSC). ....	28
2.1.7 STATIC VAR COMPENSATORS (SVC).....	29
2.1.8 THYRISTOR CONTROLLED SERIES COMPENSATORS (TCSC).....	31
2.1.9 UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC).....	32
2.1.10 D-VAR o DSTATCOM .....	33

2.1.11	CURRENT LIMITING CONDUCTOR (CLIC).....	34
2.1.12	FLOW CONTROL USING HTS CABLE .....	35
2.1.13	GRID TIE INVERTER.....	37
2.1.14	LOAD CONTROL RECEIVER.....	38
2.1.15	MEDIUM VOLTAGE STATIC TRANSFER SWITCH (MV-STS) .....	38
2.1.16	METER DATA MANAGEMENT (MDM).....	40
2.1.17	NARROW-BAND PLC SoC IC SOLUTIONS .....	41
2.1.18	ONE CYCLE CONTROL CONTROLLER (OCC).....	41
2.1.19	REAL-TIME DEMAND RESPONSE AND DER CONTROL DEVICE .....	42
2.1.20	PROGRAMMABLE COMMUNICATION THERMOSTATS (PTC) .....	43
2.1.21	SHORT CIRCUIT CURRENT LIMITER (SCCL).....	45
2.1.22	SMART METER (MEDIDORES INTELIGENTES).....	46
2.2	METODOS AVANZADOS DE CONTROL .....	47
2.2.1	ADVANCED FEEDER AUTOMATION .....	48
2.2.2	ADVANCED SUBSTATION GATEWAY.....	48
2.2.3	DISTRIBUTED INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS .....	49
2.2.4	DISTRIBUTION AUTOMATION (DA).....	49
2.2.5	ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (EMS) .....	50
2.2.6	FAULT LOCATOR FOR DISTRIBUTION SYSTEMS.....	50
2.2.7	CONTROLADOR GRID FRIENDLY APPLIANCE™ .....	51
2.2.8	SCADA.....	51
2.2.9	SUBSTATION AUTOMATION (AS).....	52
2.3	DETECCION Y MEDICION.....	53
2.3.1	ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE (AMI) .....	54
2.3.2	BATTERY MONITORING SYSTEM.....	56
2.3.3	CABLE MONITORING SYSTEM.....	57
2.3.4	CIRCUIT BREAKER MONITORING SYSTEM .....	58
2.3.5	CURRENT SENSOR.....	59
2.3.6	FIBER OPTIC SENSOR.....	59
2.3.7	INSTRUMENT TRANSFORMER .....	60
2.3.8	OUTAGE MANAGEMENT SYSTEM (OMS) .....	60
2.3.9	POWER QUALITY MONITORING SYSTEM.....	60
2.3.10	SAG PROFILE AND VAR MONITORING SYSTEM.....	61
2.3.11	TEMPERATURE MONITORING SYSTEM .....	61
2.3.12	TRANSFORMER MONITORING SYSTEM.....	62
2.3.13	WIDE AREA MEASUREMENT SYSTEM (WAMS) .....	63
2.3.14	WIRELESS CONDITION MONITORING.....	63

2.4	INTERFACES MEJORADAS Y APOYO EN LAS DECISIONES.....	63
2.4.1	CONSUMER GATEWAY AND PORTAL.....	64
2.4.2	DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES CONTROLLER .....	65
2.4.3	GRID FRIENDLY APPLIANCE™ CONTROLLER.....	65
2.4.4	MICRORED SOFTWARE CONTROL .....	66
2.4.5	POWER DISTRIBUTION ANALYSIS SOFTWARE .....	66
2.4.6	POWER TRANSMISSION ANALYSIS SOFTWARE .....	67
2.4.7	REAL TIME DIGITAL SIMULATOR (RTDS).....	68
2.4.8	SMART APPLIANCE INTERFACE (SAI) UNIT .....	68
2.4.9	SYSTEM VISUALIZATION SOFTWARE.....	69
2.4.10	UNIVERSAL POWER INTERFACE .....	70
2.5	INTEGRATED COMMUNICATIONS .....	70
2.5.1	BROADBAND CABLE .....	72
2.5.2	BROADBANDPOWER LINE (BPL) .....	73
2.5.3	CELLULAR (3G).....	74
2.5.4	CELLULAR (CDMA AND TDMA) .....	75
2.5.5	DIGITAL SUBSCRIBER LINE (DSL).....	77
2.5.6	FIBER-TO-THE-HOME (FTTH).....	78
2.5.7	INTEGRATED DIGITAL ENHANCED NETWORK (IDEN) .....	80
2.5.8	INTERNET PROTOCOL (IPV4 AND IPV6) .....	81
2.5.9	IPV6 SOBRE WPAN DE BAJA POTENCIA (6LOWPAN) .....	83
2.5.10	LEASED LINES & DIAL-UP .....	83
2.5.11	MULTIPLE ADDRESS (MAS) RADIO .....	84
2.5.12	PAGING NETWORK .....	86
2.5.13	POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC) .....	87
2.5.14	RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION DEVICES (RFID).....	88
2.5.15	SPREAD SPECTRUM (SS) RADIO SYSTEMS .....	89
2.5.16	THREE GPP (3GPP) LONG TERM EVOLUTION (LTE) .....	89
2.5.17	VERY SMALL APERTURE TERMINAL (VSAT).....	90
2.5.18	WAVENIS WIRELESS .....	91
2.5.19	WI-FI.....	92
2.5.20	WiFiber .....	93
2.5.21	WIRELESS INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WiMAX). .....	94
2.5.22	ZigBee .....	95
2.5.23	X10, UPB, INSTEON, Z WAVE EN LA DOMÓTICA.....	96

<b>3. GENERACION DISTRIBUIDA .....</b>	<b>98</b>
3.1 BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA .....	100
3.2 TIPOS DE GENERACION DISTRIBUIDA EN LAS SMART GRID.....	101
3.2.1 GENERACION SOLAR FOTOVOLTAICA.....	101
3.2.2 VENTAJAS DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS .....	103
3.3 GENERACION EOLICA .....	103
3.3.1 AEROGENERADORES .....	104
3.3.2 VENTAJAS DE LA ENERGIA EOLICA .....	105
3.3.3 INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA EOLICA .....	106
3.4 VEHICULO ELECTRICO .....	107
3.4.1 INTERACCION DEL VEHICULO ELECTRICO Y LAS SMART GRID.....	108
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>110</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>112</b>

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1:Esquema de una red inteligente y los actores involucrados .....	4
Figura 2. Proyecto Smart Grid .....	12
Figura 3. Controlador de flujo de potencia entre líneas IPFC .....	27
Figura 4. Controlador generalizado de flujo de potencia unificado GUPFC ..	28
Figura 5. Esquema Básico de un SSSC .....	29
Figura 6. Controlador de flujo entre líneas SVC.....	30
Figura 7. Estructura básica de TCSC .....	32
Figura 8. Estructura básica de UPFC .....	33
Figura 9. Esquema Básico de un STATCOM .....	34
Figura10. Current Limiting Conductor (CLiC).....	35
Figura 11. Sección Transversal Cable HTS.....	36
Figura 12. Esquema de un Grid Tielnverter.....	37
Figura 13. Esquema de una Medium Voltage Static Transfer Switch .....	39
Figura14. Meter Data Management (MDM) .....	40
Figura 15. Esquema Básico Real-time Demand Response .....	43
Figura 16. Esquema de funcionamiento de un PTC .....	44
Figura 17. SCCL - Short-Circuit Current Limitation con FACTS.....	45
Figura 18. Medidor Inteligente .....	46
Figura 19. Integración de los Smart Meter .....	47
Figura 20. Tecnología AMI.....	54
Figura 21. Esquema de funcionamiento de Battery Monitoring System.....	56
Figura 22. CDR –Sistema de Monitoreo de cables de Alta Tensión. ....	57
Figura 24. TED Series Fiber Sensors .....	59
Figura 25. Esquema del sistema de monitoreo de la calidad de la potencia	61
Figura 26. Módulo de comunicación y Sistema de Monitoreo.....	62
Figura 26. Aplicaciones del Power Distribution Analysis Software.....	67
Figura 28. Aplicaciones de las SAI .....	69
Figura 29. Diversas Tecnologías de la Comunicaciones en una Smart Grid	71
Figura 31. Multiplexacion TDMA y CDMA.....	76
Figura 32. Esquema DSL.....	78
Figura 33. Instalaciones FTTC, FTTN y FTTH.....	79
Figura 34. Esquema Tecnología IDEN .....	81
Figura 35. Tecnología Múltiple Address Radio .....	85
Figura 36. Tecnología Power line Communications (PLC) .....	87
Figura 37. Tecnología VSAT.....	91
Figura 38. Tecnología WiFi.....	93

Figura 39. Tecnología ZigBee.....	95
Figura 40. Tecnología X10 para el Hogar .....	97
Figura 41. Sistema de Energía Tradicional y Sistema de Energía de la próxima Generación.....	98
Figura 42. Composición de una Celda Fotovoltaica.....	102
Figura 44 Partes del exterior de un aerogenerador .....	105
Figura 48. Vehículo Eléctrico .....	108

**LISTA DE TABLAS**

	Pág.
Tabla 1. Comparación de una red actual con una Smart Grid.	8

## LISTA DE ABREVIATURAS

AMI	Advanced Metering Infrastructure
BPL	Broadband Over Power Line
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código
CLIC	Current Limiting Conductor
CNT	Controllable Network Transformer
CSC	Convertible Static Compensator
DA	Distribution Automation
DOE	Department of Energy
DR	Demand Response
DSL	Digital Subscriber Line
EMS	Energy Managment System
EPRI	Electric Power Research Institute
EV	Electric Vehicle
FACTS	Flexible AC Transmission System
GFA	Grid Appliance Friendly
HAN	Home Area Network
HVDC	High Voltage Direct Current
IED	Dispositivos Electronicos Inteligenetes
MDM	Meter Data Management
MVTS	Medium Voltage Transfer Switch
OCC	One Cycle Control Controller
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OLTC	Advanced On-load Tap Changer
OMS	Outage Management System
PLC	Power Line Communications
PMU	Phasor Measurement Unit
PTC	Programmable Communication Thermostats
RTDS	Real Time Digital Simulator
RTU	Unidades Terminales Remotas
SA	Automatizacion de Subestaciones
SAI	Smart Appliance Interface
SCADA	Sistema de control y Adquisición de Datos
SCCL	Short Circuit Current Limiter
SSSC	Static Synchronous Series Compensator
SVC	Static Var Compensators
TCSC	Thyristor Controlled Series Compensators
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
UPFC	Unified Power flow Controller
WAMS	Wide Area measurement System

## INTRODUCCION

Una red inteligente hace referencia a una red de energía avanzada, acorde con los adelantos y tendencias del siglo XXI, que incorpora los servicios y beneficios de las tecnologías de comunicación y computación digital a una infraestructura de transmisión y distribución de energía eléctrica, y que se caracteriza por un flujo bidireccional de energía e información que incluyen equipos instalados en la parte de la red del cliente y sensores asociados.

Existe consenso respecto a su objetivo principal, en el cual se aspira a desarrollar una red eléctrica más eficiente y fiable, que mejore la seguridad y calidad del suministro, de acuerdo con los avances de la era digital.

Las tecnologías Smart Grid disminuirán los costos en el suministro de energía eléctrica y reducirán la necesidad de una inversión masiva en infraestructura durante los próximos veinte años.

En el aspecto ambiental existe un gran interés de los países en desarrollar políticas y reglamentaciones que incentiven la creación de conciencia social respecto a las consecuencias de los gases de efecto invernadero. El problema radica en el combustible utilizado por las plantas de generación de energía de manera tradicional y la producción durante los picos de demanda que obligan a activar plantas especiales para poder suplir esas necesidades adicionales de energía. Esas plantas se utilizan únicamente durante esos periodos, con los sobrecostos que ello supone y que repercute directamente en las facturas. Un dato muy significativo: en los Estados Unidos, un país desarrollado, el 40% de las emisiones de dióxido de carbono provienen de la generación eléctrica, mientras que únicamente el 20% son causadas por el transporte (Kaplan, 2009). Esto presenta un enorme desafío para la industria del sector eléctrico en términos del cambio climático global. De acuerdo con el laboratorio Nacional de energías renovables (NREL), "Las empresas de servicios públicos son presionadas en muchos frentes para que adopten prácticas empresariales que respondan a las preocupaciones del medio

ambiente en el mundo” (U.S. Department of Energy [DOE], 2008, p.21). En este sentido, la aplicación de las tecnologías Smart Grid podría reducir las emisiones de carbono por medio del mejoramiento de la eficiencia, de la respuesta a la demanda y de la gestión de la carga de la red eléctrica. La motivación es grande, ya que, por ejemplo, si una red como la estadounidense mejorara su eficiencia en sólo un 5%, el ahorro de energía equivaldría a eliminar permanentemente el combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero de 53 millones de automóviles. Smart Grid también reduciría al mínimo los costos de generación eléctrica en horas pico. Para conseguir estos objetivos es necesaria la contribución tanto de las compañías eléctricas como de los usuarios. Las primeras deben dar los pasos necesarios para reemplazar una producción basada en el carbono por otra con base en energías renovables; los segundos deben incluirse en la solución a través de medidas de ahorro energético, para lo que deben contar con la información y los medios apropiados.

La red eléctrica transporta la energía eléctrica en alta tensión mediante la gestión de las infraestructuras eléctricas que forman la red de transmisión y enlazan las centrales de generación con las redes de distribución a los consumidores. La energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades, lo que implica que su producción y consumo deben ser iguales en todo momento; que debe existir un equilibrio constante de la producción con la demanda. Esa es la otra gran función de la red eléctrica: la de 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 las centrales produzcan la demanda real de los consumidores. Para esta operación se dispone de centros de control que monitorizan el estado de la red y sus parámetros eléctricos a través de una red de telecomunicaciones que gestiona principalmente la red de transporte. Sin embargo, desde los puntos de distribución hacia el consumidor doméstico final queda mucho por hacer, y hay que tener en cuenta que su participación en las redes

inteligentes del futuro será un factor clave. En la actualidad, en muchos países del mundo se ha iniciado la sustitución de los contadores tradicionales analógicos por nuevos contadores inteligentes.

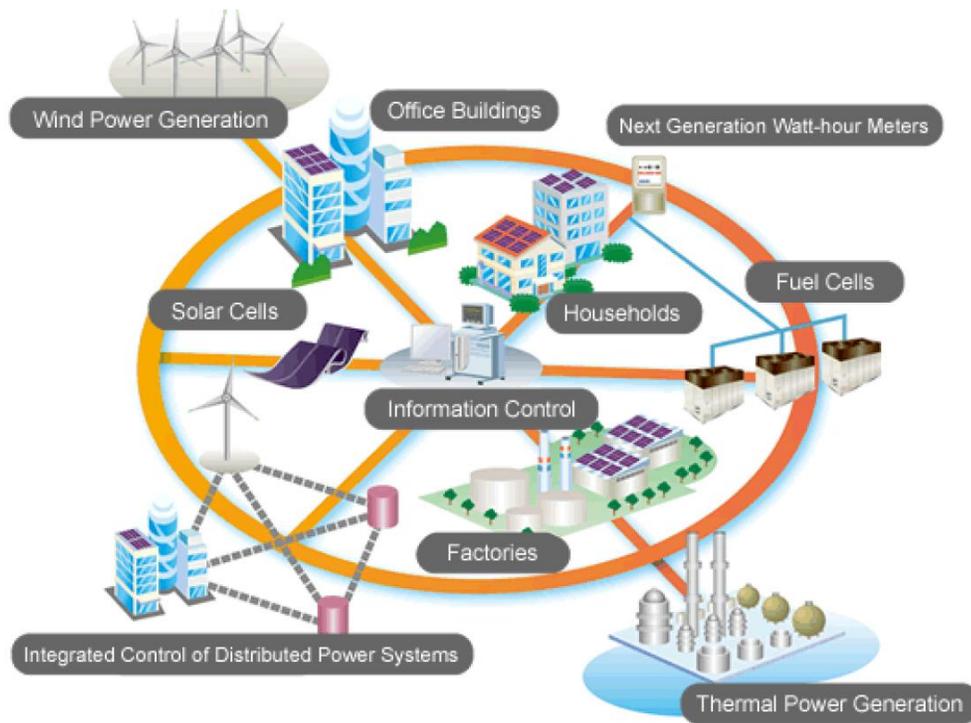
Aunque en la actualidad a menudo las redes inteligentes se asocian solamente con el despliegue de contadores inteligentes y con una comunicación entre una entidad de control centralizada y los usuarios, su uso permitiría poner en práctica controles de respuesta a la demanda de la energía eléctrica. Pero ese es sólo uno de los servicios relacionados con las redes inteligentes. Los medidores inteligentes instalados actualmente por algunas empresas de servicios públicos proporcionan funcionalidad es muy limitadas y no tienen la capacidad de lograr por sí mismos todos los objetivos deseados relacionados con la implantación de redes inteligentes.

## 1. GENERALIDADES DE LAS REDES INTELIGENTES “SMART GRID”

### 1.1 DEFINICION GENERAL DE LA SMART GRID

“Smart Grid”, o red inteligente, no es un concepto unívoco, y tampoco puede serlo, considerando los múltiples aspectos que abarca estas tecnologías. Sin embargo, a nivel general, podemos definir una red inteligente como una amplia gama de soluciones que optimizan la cadena de valor de la energía eléctrica. Se puede afirmar que una Red Inteligente corresponde a una actualización de la red eléctrica tradicional, cuya funcionalidad agrega múltiples redes, así como múltiples empresas de generación de energía, con variados operadores que emplean diferentes niveles de comunicación y coordinación. Como lo muestra la figura 1.

*Figura 1: Esquema de una red inteligente y los actores involucrados*



*Fuente: EuropeanTechnologyPlatform*

En definitiva las smart grid tienen el apreciable efecto de aumentar la conectividad, la automatización y la coordinación entre los proveedores, los consumidores y las propias redes que realizan tanto la transmisión a largas distancias, así como las tareas de distribución local. Una red inteligente incluye además un nuevo sistema de control que realiza con precisión el seguimiento y la medición de toda la electricidad que fluye en el sistema. También puede incorporar nuevas líneas de transmisión superconductoras para la reducción de las pérdidas de potencia y para la integración a la red de fuentes alternativas de energía renovable no convencional.

En los Estados Unidos las definiciones dominantes de Red Inteligente son dos, una del Departamento de Energía (DOE) y la otra del Electric Power.

- **Departamento de Energía U.S. DOE:** «En el 2030 se prevé una red de distribución de energía completamente automatizada que monitorea y controla todo cliente y nodo, asegurando un flujo bi-direccional tanto de informaciones como de electricidad entre la central y el dispositivo final, y todos los puntos en ello incluidos». Las Redes Inteligentes ocupan «tecnología digital para mejorar la fiabilidad, la seguridad y la eficiencia del sistema eléctrico».
- **Electric Power - EPRI:** «El término “Smart Grid” hace referencia a la modernización del sistema de entrega de energía eléctrica de manera que este pueda monitorear, proteger y optimizar automáticamente las operaciones de sus elementos interconectados desde los generadores centralizados y distribuidos a través de la red de alto voltaje y el sistema de distribución, hasta los usuarios industriales y los sistemas de automatización de edificios, las instalaciones de almacenaje de energía y los usuarios finales con sus termostatos, vehículos eléctricos, electrodomésticos y otros aparatos».

Para concluir, el concepto de Red Inteligente no es resumible en un dispositivo específico, una “cosa” o “acto” concreto, sino refleja más bien una visión integral del sistema, un conjunto de acciones que, apoyadas por una

actualización de la infraestructura, con llevarán a la obtención de objetivos determinados en función de las prioridades de política energética de cada país.

## **1.2 EVOLUCION DE LAS SMART GRID.**

El término surge en el 2007, cuando Andrés E. Carvallo, el 24 de abril da una conferencia sobre energía en Chicago para el IDC (International Data Corporation), donde presenta a Smart Grid como una combinación de energía, mecanismos de comunicación, software y hardware. Explicó cómo esta combinación podría existir solo con la creación de la nueva arquitectura de sistemas, integración y modelado del framework, presentado por él.

Predijo una nueva dirección para las industrias, que en el siglo XXII podría llevar a nuevas formas de energía y niveles de eficiencia y conservación de energía alrededor del mundo.

Esta tecnología nace de los intentos por usar controles de consumo a través de la medición y monitoreo. En 1980. Los medidores automáticos fueron utilizados para monitorizar 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. Smart Grid mantiene una constante comunicación con los diversos dispositivos, por lo tanto los controles se pueden hacer en tiempo real y se pueden utilizar como interfaz para la creación de sistemas inteligentes de ahorro de energía en las casas. 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.

Dispositivos domésticos e industriales como los aires condicionados, refrigeradores, y calentadores ajustan su ciclo de trabajo para evitar su activación en los momentos en donde exista un pico en la utilización de energía, evitando así la sobrecarga de los sistemas de abastecimiento.

En el 2000, Italia creó el primer proyecto Smart Grid que abarcó cerca de 27 millones de hogares usando medidores inteligentes conectados a través de una línea de comunicación.

Los proyectos más recientes son los que utilizan tecnología inalámbrica o BPL (Broadband Over Power Line).

Los procesos de monitoreo y sincronización de las redes se desarrollaron enormemente cuando la Bonneville Power Administration creó un nuevo prototipo de sensores que eran capaces de analizar con gran rapidez las anomalías en la calidad de la energía eléctrica en áreas geográficas muy grandes. Esto derivó la primera Wide Area Measurement System (WAMS) en el 2000.

Otros países han integrado también esta tecnología, China, está construyendo su WAMS, que estará terminada en el 2012.

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.

En el 2007, la Agenda Estratégica de Investigación se publicó. En esta, se describen las áreas a ser investigadas, técnicas y no técnicas, que conducirán a una investigación concreta dentro de la Unión Europea y sus Estados Miembros.

IDC es una firma que trabaja en la investigación y análisis de nuevas tecnologías, sobre todo en el área de las telecomunicaciones y las dedicadas al consumo.

Power Line Communications, también conocido por sus siglas PLC, es un término inglés que puede traducirse por comunicaciones mediante cable eléctrico y que se refiere a diferentes tecnologías que utilizan las líneas de energía eléctrica convencionales para transmitir señales de radio para propósitos de comunicación. La tecnología PLC aprovecha la red eléctrica

para convertirla en una línea digital de alta velocidad de transmisión de datos, permitiendo, entre otras cosas, el acceso a Internet mediante banda ancha.

### 1.3 SISTEMA DE POTENCIA ACTUAL VS REDES INTELIGENTES.

Las redes inteligentes integran un gran número de tecnologías, con la finalidad de mejorar la eficiencia y poder controlar de una manera más ordenada las diversas etapas de la producción eléctrica. En la (Tabla 1) se muestra una comparación de las redes inteligentes con el sistema de potencia tradicional.

Tabla 1. Comparación de una red actual con una Smart Grid.

<b>Características</b>	<b>Red Eléctrica Actual</b>	<b>Smart Grid</b>
<b>Automatización</b>	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.
<b>Inteligencia y Control</b>	La red actual de distribución carece de inteligencia, implementando un control manual	Se enfatiza la creación de un sistema de información e inteligencia distribuidos en el sistema.
<b>Autoajuste</b>	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.

<b>Participación del consumidor y generación distribuida.</b>	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.
<b>Resistencia ante ataques.</b>	Infraestructuras totalmente vulnerables.	Resistente ante ataques y desastres naturales con una rápida capacidad de restauración.
<b>Gestión de la demanda</b>	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
<b>Calidad eléctrica.</b>	Solo se resuelven los cortes de suministro, ignorando los problemas de calidad eléctrica. De esta forma persisten problemas de bajones 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.

<p><b>Vehículos eléctricos</b></p>	<p>Recientemente se están empezando a incorporar puntos de recarga eléctrica en la red, que sólo permiten la recarga de las baterías de los vehículos.</p>	<p>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.</p>
<p><b>Capacidad para todas las opciones de generación y almacenamiento.</b></p>	<p>Pocas grandes plantas generadoras. Existen muchos obstáculos para interconectar recursos energéticos distribuidos.</p>	<p>Gran número de diversos dispositivos generadores y almacenadores de energía, para completar a las grandes plantas generadoras. Conexiones “Plug And Play”. Más enfocado en energías renovables.</p>
<p><b>Optimización del transporte eléctrico</b></p>	<p>En la actualidad se pierde una gran cantidad de energía debido a la poca eficiencia en el transporte eléctrico.</p>	<p>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.</p>

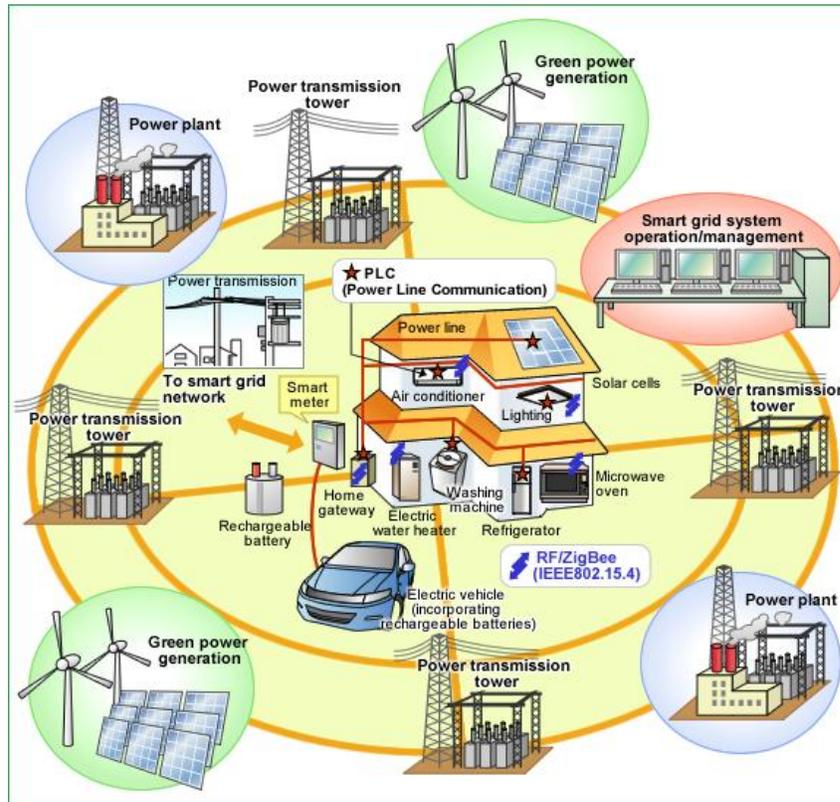
<b>Preparación de mercados.</b>	Los mercados de venta al por mayor siguen trabajando para encontrar los mejores modelos de operación. No existe una buena integración entre éstos. La congestión en la transmisión separa compradores de vendedores.	Buena integración de los mercados al por mayor. Prósperos mercados al por menor. Congestionamiento de transmisión y limitaciones mínimas.
<b>Optimización de bienes y funcionamiento eficiente.</b>	Integración mínima de los datos de operación y la gestión de bienes. Mantenimiento basado en tiempo.	Sensado y medida de las condiciones de la red. Tecnologías integradas para la gestión de los bienes. Mantenimiento basado en las condiciones de la red.

Fuente: Paper Smart Grid y la evolución –FEDIT Centro de Tecnologías de España 2011.

#### **1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SMART GRID**

La principal característica de una smart grid es que permite la distribución de electricidad desde los proveedores hasta los consumidores, utilizando tecnología digital con el objetivo de ahorrar energía, reducir costos e incrementar la fiabilidad. Para conseguir este objetivo es necesario un reparto óptimo de la energía que implicaría bien su almacenamiento cuando existe un excedente (algo realmente complejo y costoso) o una reestructuración del sistema actual para adaptarse a la demanda de forma flexible aprovechando las tecnologías existentes (Ver figura 2).

Figura 2. Proyecto Smart Grid



Fuente: Renesas Electronics Corporation.

La solución pasa por implicar al consumidor, que tiene un papel muy importante, ya que se convierte en un elemento más dentro de la red inteligente. La idea es que las tarifas sean dinámicas, variando su precio en función de la demanda y siendo el usuario conocedor de las mismas en tiempo real. Para conseguir eso, se añadirían en los hogares unos dispositivos inteligentes (smart meters) que vendrían a reemplazar a los clásicos contadores y que son capaces de informar en cada momento del precio de la energía que consumimos. Pero no solo visualmente, sino también a través de un protocolo informático, algo que se podría combinar con aparatos eléctricos y electrónicos inteligentes que se activarían cuando el consumo fuera más favorable, con el consiguiente ahorro energético.

Además, dentro de este modelo, los usuarios también pueden ser proveedores de energía (read / write grid). Las energías renovables constituyen una buena forma de producir energía y el excedente podría ser distribuido apropiadamente a través de la smartgrid, con el consiguiente beneficio económico para el usuario. Relacionado con esto, existe también el denominado “vehicle-to-grid” que trata de aprovechar el exceso de energía que un vehículo eléctrico pudiese generar en determinados momentos para venderla en los puntos de recarga.

## **1.5 FUNCIONES DE UNA SMART GRID**

Según el Departamento de Energía de Estados Unidos las funciones que ha de cumplir las smart-grids son:

### **1.5.1 AUTOCORRECCION**

El manejo de la información en tiempo real, permite la utilización de sensores y controles que permiten detectar y anticipar la caída de alguna parte del sistema, esto permitirá evitar que el colapso de los mismos, ya sea reduciendo la carga o redireccionándola.

En las ciudades, donde las redes son alimentadas utilizando cables bajo tierra, estas pueden ser diseñadas de tal manera que la falla de una parte, no afecte el suministro a los usuarios finales.

### **1.5.2 MOTIVAR A LOS CLIENTES A PARTICIPAR ACTIVAMENTE EN LA OPERACIÓN DE LAS REDES.**

Smart Grid es un intento de cambiar las costumbres de los usuarios en su consumo, disminuyendo su consumo durante las horas pico o bien, pagando los altos precios que implica el privilegio de utilizar la energía en esos periodos de tiempo.

Este sistema ofrece a los consumidores las herramientas necesarias (equipos, informe sobre el comportamiento de la red, operaciones y

comunicación). Esto permite que los mismos tengan un mejor control de sus aplicaciones o sistemas inteligentes en los hogares y negocios, interconectando los sistemas de manejo eficiente de energía. Las capacidades avanzadas del sistema, equipan al usuario final con las herramientas para explotar los tiempos precios de la electricidad en tiempo real, basándose en las señales de emergencia o de reducción de uso de energía. Esta comunicación de dos sentidos, compensa los esfuerzos del usuario final de ahorro y venta de energía a través de los medidores de energía. Habilitando la generación distribuida de recursos como los paneles solares o las conexiones para cargar los vehículos eléctricos, las smart grid generan una revolución en la industria de la energía permitiendo a pequeños productores o distribuidores de energía, vender este producto a sus vecinos o a la red. Lo mismo puede ser aplicado a empresas que vendan la energía durante los picos de consumo, mediante sus sistemas de almacenamiento de energía renovable. Esto es lo que se denomina con el nombre de “democratización de la energía”.

### **1.5.3 RESISTENCIA A ATAQUES**

La información en tiempo real, como mencionamos arriba, permite a los operadores de las redes aislar las zonas afectadas y redireccionar los flujos de energía.

### **1.5.4 MAYOR CALIDAD EN LA PROVISIÓN DE ENERGÍA**

La integración de fuentes de distribución a baja escala, permitirá a las casas, comercios e industrias autogenerar y comercializar el exceso de energía a la red local teniendo en cuenta ciertas normas técnicas y regulatorias. Esto puede mejorar enormemente la calidad y confiabilidad del sistema, reduciendo los costos de la electricidad y ofreciendo mayores opciones a los consumidores.

### **1.5.5 FLORECIMIENTO DE UN MERCADO MÁS COMPETITIVO DE ELECTRICIDAD.**

El aumento de las capacidades de transmisión, implican un cambio en los sistemas de manejo de las redes actuales. Estas mejoras tienen por objeto crear un mercado abierto donde las fuentes de energía alternativas de lugares geográficamente distantes pueden ser fácilmente vendidas a los clientes dondequiera que se encuentren.

La distribución inteligente de las redes permitirá que pequeños productores puedan generar y vender localmente utilizando recursos de generación alternativos como paneles solares, hidrogeneradores, etc.

Sin la inteligencia adicional proporcionada por los sensores y el software diseñado para reaccionar instantáneamente a los desequilibrios causados por las fuentes intermitentes, como la generación distribuida, se puede degradar la calidad del sistema.

## **1.6 ALGUNAS SMART GRID QUE OPERAN EN LA ACTUALIDAD**

En la actualidad no se puede afirmar que exista una población que aplique todas las tecnologías esbozadas dentro de una Smart grid, en la actualidad se han puesto en marcha proyectos pilotos para estudiar el desarrollo del uso parcial de estas tecnologías y en algunas ciudades las empresas de servicios ya fomenta y practican la generación y el uso de energía renovables dentro de sus usuarios llegando al caso de pagarle a estos por la energía que entregan a la red. A continuación mencionaremos algunos proyectos existentes y Compañías eléctricas en vanguardia con las Smart Grid.

### **1.6.1 MALTA**

Malta es el país pionero en la implementación de una red inteligente, esto se debe principalmente a las condiciones en que se encuentra dicho país; Malta es una isla mediterránea, con una población de unas 400.000 personas en

una superficie de poco más de 300 kilómetros cuadrados, la energía, el agua y la economía están estrechamente vinculadas. El país depende de las plantas de desalinización con energía eléctrica para más de la mitad de su suministro de agua. De hecho, aproximadamente 75 por ciento del costo de agua de estas plantas en Malta está directamente relacionada con la producción de energía.

Malta es un ejemplo de isla que cuenta con un sistema de electricidad de tipo radial y aislado de otras fuentes de potencia eléctrica, no tiene conexiones con la red europea de electricidad y no hay tuberías de gas para abastecer a sus generadores. En la configuración actual de la infraestructura de energía, todos los requerimientos de demanda son cumplidos por las dos plantas de energía existentes, que generan la energía a través de combustibles fósiles importados. Debido a estas limitaciones en la oferta, y las dependencias de los recursos no autóctonos, la distribución de electricidad debe ser extremadamente eficiente, lo que limita las pérdidas de energía tanto como sea posible. Las pérdidas técnicas y comerciales deben estar plenamente bajo control, y el robo debe ser efectivamente eliminado del sistema para garantizar niveles adecuados de servicio a todos los clientes.

Las estimaciones de pérdidas económicas en Malta se encuentran en los millones de euros solo para las pérdidas no técnicas. A estos niveles, y con limitada capacidad de generación, la calidad del servicio y la capacidad para satisfacer la demanda en todo momento se ve amenazada. Importante situación que debe solventarse para sustentar otras necesidades que debe cubrir la isla como lo es el proceso de purificación de agua de mar para abastecer de agua a sus ciudadanos. Este proceso de desalinización absorbe aproximadamente un tercio del consumo anual de energía en la isla. A la luz de esta necesidad del gobierno de Malta, la empresa Nacional de Electricidad y Agua Enemalta Corp. (CEM) y los Servicios de Agua Corp. (CSM) ha llegado a un acuerdo de colaboración con IBM para llevar a cabo

una completa transformación de sus redes de distribución para mejorar la eficiencia operativa y los niveles de servicio al cliente. El objetivo de IBM es reemplazar 250.000 medidores de electricidad con los nuevos dispositivos inteligentes, y conectar estos a los medidores de agua existentes para aplicaciones avanzadas de tecnología de la información. Esto permitirá la lectura a distancia, gestión y seguimiento en toda la red de distribución.

Esta solución se integra con nuevas aplicaciones de finanzas y facturación, así como una herramienta de analítica avanzada para transformar datos de los sensores en información valiosa para apoyar las decisiones de negocios de las empresas de distribución de agua y electricidad y mejorar los niveles de servicio al cliente. También incluirá un portal para permitir una interacción más estrecha con más compromiso por parte los consumidores finales, ya que según IBM los clientes podrán utilizar Internet para conocer su uso de servicios públicos en tiempo real.

### **1.6.2 SMARTCITY, MALAGA**

Smart City, proyecto impulsado por un grupo de once empresas, se desarrollará en Málaga, concretamente en la zona de la Playa de la Misericordia y se beneficiarán 300 clientes industriales, 900 de servicios y 11.000 clientes domésticos durante cuatro años. Las fuentes de energía renovable se integrarán de forma óptima en la red, acercando la generación al consumo a través de la instalación de paneles fotovoltaicos en edificios públicos, el uso de micro-generación eléctrica en algunos hoteles o instalación de sistemas micro-eólicos en la zona.

Existirán sistemas de almacenamiento energético en baterías, de manera que parte de la energía podrá ser consumida después en la climatización de edificios, el alumbrado público y el transporte eléctrico. Se potenciará también el uso de coches eléctricos, con la instalación de postes de recarga. Pero, sobre todo, se busca hacer partícipe en todo el proceso al usuario final. Todos los clientes que participarán en el proyecto contarán con los nuevos

contadores inteligentes para facilitar un consumo más sostenible. Además, la instalación de sistemas inteligentes y de sistemas avanzados de telecomunicaciones y telecontrol permitirá actuar en tiempo real y de forma automática sobre la red de distribución, haciendo posible una nueva gestión de la energía y potenciando la calidad del servicio.

Después, se recogerán los datos de consumo y de eficiencia para extraer conclusiones y exportar la experiencia a nuevas zonas urbanas, de manera que se pueda ir cambiando el modelo energético actual hacia un modelo más sostenible. El objetivo es conseguir un ahorro energético del 20%, así como la reducción de emisiones.

Smart City se convertirá en un referente mundial en el desarrollo de tecnologías energéticas de vanguardia, compartiendo protagonismo con otras iniciativas ya operativas en Estocolmo, Dubai, Malta, Ohio y Colorado. El proyecto se enmarca dentro del PLAN 20-20-20, diseñado por la UE, que establece objetivos de aumento de la eficiencia energética en un 20%, reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 20% y aumento de las fuentes de energía renovables de un 20% para el año 2020.

El proyecto incluye desarrollo de sistemas de monitorización y gestión de la energía de clientes residenciales y comerciales, pero el foco del proyecto no es el desarrollo de nuevas soluciones, sino la demostración de sistemas y soluciones ya existentes. Así, el elemento diferenciador de smart city es su carácter de proyecto a gran escala. Entre otros aspectos, se probarán sistema domóticos de control de energía, sistemas de carga de vehículos eléctricos, sistemas de optimización del consumo de luminarias para la vía pública y sistemas de gestión de la red de distribución.

### **1.6.3 SMART GRID CITY, BOULDER, COLORADO**

Se trata de un proyecto concebido por la empresa Xcel Energy (suministrador de energía eléctrica y gas en Colorado) con la idea de obtener experiencia y

aprender sobre las herramientas de las redes inteligentes en el mundo real. El objetivo es determinar aspectos como:

- Cuáles son las herramientas relacionadas con la gestión de la energía que los usuarios quieren y prefieren.
- Cuáles son las tecnologías más eficientes para mejorar la forma en la que suministran la energía.
- Cuál es la mejor forma de incorporar la tecnología de las redes inteligentes para mejorar la eficiencia, reducir las emisiones, etc.

Smart Grid City es una comunidad completamente integrada en una red inteligente en la que se incluyen sistemas de comunicaciones de banda ancha, subestaciones alimentadores y transformadores actualizados, contadores inteligentes y aplicaciones basadas en portales web.

#### **1.6.4 HYDRO ONE**

Hydro One es la compañía eléctrica de Ontario, la cual desde hace tiempo utiliza medidores inteligentes. Net Metering es una variable que le permite al suscriptor generar energía, por ejemplo a través de paneles solares. Estos paneles solares siempre están produciendo energía mientras el sol este arriba y puede ser que las baterías eléctricas que estén cargando, ya estén cargadas y no se requiera más el panel solar. En vez de apagar el panel para que deje de producir energía, lo que se hace es que el medidor en vez de consumir energía y comienza a aportarla a la red. Es decir, el panel solar ahora comienza a aportar energía a la red en vez de a las baterías. Así Hydro One tiene suscriptores que aportan energía a la red sin invertir un centavo en generarla. Por supuesto Hydro One les paga a estos suscriptores cuando aportan energía. Lo anterior es posible, entre otras cosas porque los medidores lo permiten. Esto simplemente no se puede hacer con medidores viejos.

### **1.6.5 HYDRO QUÉBEC**

Hydro Quebec es la compañía eléctrica de Quebec y también tiene el programa de Net Metering, pero a diferencia de Hydro One, Hydro Quebec no paga a sus suscriptores por aportar energía a la red. La razón de esto es que hay una ley en Quebec que le prohíbe a Hydro Quebec pagar por energía sino es mediante el proceso de licitación, y/o una oferta formal. Para esquivar esta limitación, lo que hace Hydro Quebec es acreditar la cantidad de energía que el suscriptor colocó en la red y después la descuenta de su factura mensual. Es decir: Si el suscriptor consumió en el mes 1000 KW/h, pero a la vez aportó 150 KW/h durante el mes, la factura le será cobrada por 850 KW/h. Es de hacer notar que tanto en Quebec como en Ontario el número de suscriptores a estos programas es muy bajo, por una razón: Costo. El costo de instalación de paneles solares, mini turbinas eólicas, y cualquier otro tipo de generación eléctrica, no es barato. Es decir, el costo no se recupera con los beneficios propuestos por las empresas eléctricas. La única razón por la que los suscriptores han invertido en colocar sus hogares y/o comercios bajo estas modalidades es que quieren hacer un aporte al ambiente y a la vez se ahorran un poco la factura eléctrica. Hay estados de los EUA que tienen implementado Net Metering, como por ejemplo California. Pero ciertamente no es una política a nivel nacional. Aun así, mientras los EUA se rasca la cabeza en cómo implementar su red inteligente, Canadá ya tiene varios años recorridos al respecto.

## **2. TECNOLOGIAS CLAVES QUE PERMITEN EL FUNCIONAMIENTO DE LAS SMART GRID.**

Se pueden agrupar en cinco tecnologías claves. Estas categorías son las siguientes:

- Componentes avanzados.
- Métodos avanzados de control.
- Detección y medición.
- Interfaces mejoradas y apoyo a las decisiones.
- Comunicaciones integradas.

### **2.1 COMPONENTES AVANZADOS**

Desempeñan un papel activo en la determinación del comportamiento eléctrico de la red. Se pueden utilizar en aplicaciones independientes o conectados entre sí para crear sistemas complejos tales como las micro-redes. Estos componentes se basan en la investigación básica y desarrollo (I + D) en las ganancias de la electrónica de potencia, la superconductividad, los materiales, la química y la microelectrónica. Los más importantes en la planificación de las redes inteligentes son:

- Advanced On-load Tap-changer (OLTC)
- Advanced Protective Relays
- Controllable Network Transformer (CNT)
- FACTS
- Convertible Static Compensator (CSC)
- Static Synchronous Series Compensator (SSSC)
- Static Var Compensators (SVC)
- Thyristor Controlled Series Compensators (TCSC)
- Unified Power Flow Controller (UPFC)
- D-VAR or DSTATCOM
- Current Limiting Conductor (CLiC)

- Flow Control using HTS Cable
- Grid Tie Inverter
- Load Control Receiver
- Medium Voltage Static Transfer Switch (MV-STS)
- Meter Data Management (MDM)
- Narrow-band PLC SoC IC Solutions
- One Cycle Control Controller (OCC)
- Programmable Communication Thermostats (TPC)
- Real-Time Demand Response and DER Control Device
- Short Circuit Current Limiter (SCCL)
- Smart Meter

### **2.1.1 ADVANCED ON-LOAD TAP-CHANGER (OLTC)**

Uno de los principales problemas que enfrentan las distribuidoras de energía y los grandes usuarios como industrias químicas y metalúrgicas, es lograr mantener los valores de tensión en una red dentro de un umbral controlado, cualquiera que sea el estado de la carga demandada. Para ello, se crearon los Cambiadores de Tomas Bajo Carga (OLTC). Estos elementos, nos permiten intercalar sin interrupciones en el servicio (maniobra obligada en los conmutadores de accionamiento sin tensión), distintos puntos de tomas del bobinado de un transformador, logrando de este modo una solución acorde al problema a un costo relativamente bajo.

Los OLTC, pueden proveerse con distintos elementos de comando y control, que permiten realizar la maniobra en forma automática de uno o varios transformadores. Los principales accesorios son:

- Regulador automático de tensión. Este instrumento, está conectado a la red por medio de transformadores de tensión y es el encargado de monitorear la tensión en la barra y compararla con valores preestablecidos por el usuario, cuando alguno de éstos es superado, dispara un

temporizador (regulable), pasado un lapso preestablecido y la tensión de la barra sigue fuera del umbral programado, ordena el accionamiento del mando a motor, produciendo de esta forma la corrección de los valores. Si en cambio, durante el tiempo que actúa el temporizador, la tensión en la barra se normaliza, la orden de accionamiento se cancela inmediatamente, evitando una maniobra innecesaria.

- Equipo de marcha en paralelo. Este instrumento se conecta a la red por medio de transformadores de intensidad, y tiene la capacidad de maniobrar en forma conjunta hasta 6 transformadores (en su versión más moderna), logrando un sincronismo entre estos, evitando de esta forma que un transformador tome más carga que otro.

**Aplicaciones:** Son ampliamente utilizados para la regulación de voltaje y también como transformadores desfasadores.

### **2.1.2 ADVANCED PROTECTIVE RELAYS**

Los relés de protección son el cerebro de los aparatos eléctricos, su elección es un paso crítico en el diseño y desarrollo de los sistemas de potencia. La selección de los dispositivos está basado en:

- La seguridad del personal y equipos (la sensibilidad de detección y tiempo de respuesta).
- La calidad y continuidad del suministro eléctrico (determinación de fallas, protección direccional especial, la transferencia automática y rápidos tiempos de compensación para mejorar /asegurar la estabilidad del sistema.

La optimización de los sistemas de potencia confiable y seguros, imponen el uso de relés autónomos independientes cerca de los breaker que controlan. En algunos casos, se incrementa el rendimiento de la protección, por que el estado del relé se transmite a lugares remotos (esto es conocido como aceleración) o a una unidad de automatización. Sin embargo es importante

asegurar que esta función adicional no ponga en peligro la integridad inherente del desempeño local de los relés.

En los años recientes, el progreso tecnológico condujo al uso del microprocesador en la manufactura de los relays de protección. Esto ha llevado a:

- Un incremento significativo en la cantidad de información que es procesada por el relay.
- Fácil cálculo de la calidad eléctrica tal como los armónicos.
- Intercambio seguro y confiable de información digital, con lugares remotos.
- Monitoreo continuo de la integridad del relay de protección para ser auto supervisado y auto diagnóstico.

Si estos son correctamente aplicados, preverán protección, tanto al personal como a los equipos para asegurar la calidad del sistema eléctrico. Las fallas más comunes, detectadas por los relay son:

- a) Protección contra fallas de fase a fase
- b) Selectividad en la protección
- c) Protección Diferencial.
- d) Protección Direccional.
- e) Protección contra fallas a tierra.

**Aplicaciones:** Se puede aplicar a ámbitos como la localización integral de fallas, detección de fallas de distribución, transformadores avanzados y algoritmos de detección de fallos en el barraje y también se utiliza junto con la red de comunicación.

### 2.1.3 CONTROLLABLE NETWORK TRANSFORMER (CNT)

Es un transformador con cambiador de taps bajo carga, más un pequeño convertidor de corriente alterna. El convertidor AC provee simultáneamente el control dinámico de las magnitudes de voltaje y ángulos de fase de la distribución sobre un significativo rango de control, sin elementos adicionales de almacenamiento de energía.

El convertidor incluye dos conmutadores de corriente alterna, un pequeño filtro condensador y un inductor. Para la magnitud del voltaje se utiliza la técnica común de modulación por ancho de pulso. Para el ángulo de fase es usado el concepto de “Dual Virtual Quadrature”.

**Aplicaciones:** Proporcionan un control dinámico de la magnitud del barraje de voltaje y los ángulos de fase, así como las corrientes de línea.

### 2.1.4 FACTS

Es el uso de dispositivos electrónicos basados en elementos del estado sólido como diodos tiristores y GTO, para modificar los parámetros señalados y con ello controlar el flujo de potencia en una línea de transmisión, lo cual permite utilizar las líneas cerca de sus límites térmicos y/o forzar los flujos de potencia por rutas determinadas. Los tiristores presentan ventajas sobre los dispositivos de conmutación mecánicos, con la capacidad de rápida conmutación, además de poder utilizarse para re-direccionar la potencia en una fracción de ciclo. Esta ventaja permite, por ejemplo, amortiguar oscilaciones de potencia, lo cual no puede lograrse con el empleo de controladores mecánicos. Además los dispositivos de conmutación mecánico tienden a desgastarse, mientras que los controladores basados en tiristores pueden conmutar dos veces cada ciclo sin deteriorarse.

El flujo de potencia entre dos puntos a través de una línea de transmisión sin pérdidas está dado por la siguiente relación:

$$P_{ij} = V_i V_j \frac{\sin \theta_{ij}}{X_{ij}}$$

Dónde:

$P_{ij}$  : Es la potencia real o activa transferida a través de la línea de transmisión que conecta los nodos i-j.

$V_i V_j$  : Son las magnitudes del voltaje en los nodos i-j, respectivamente.

$\theta_{ij}$ : Es la diferencia angular entre los nodos terminales.

$X_{ij}$ : Es la reactancia de la línea de transmisión.

Esto es, la potencia que fluye por una línea depende de los parámetros de la red: voltaje en los extremos de la línea, reactancia de la línea y la diferencia angular entre los voltajes extremos. En los sistemas de potencia convencionales, el parámetro  $X_{ij}$  no es controlable, sin embargo, es posible ajustar dentro de un margen estrecho los parámetros  $V_i$ ,  $V_j$  y  $\theta_{ij}$  para controlar el flujo de potencia.

Debido a la rapidez en su operación, estos dispositivos también pueden ser utilizados para impactar positivamente en los problemas dinámicos del sistema. La característica principal de los controladores FACTS, es la capacidad que tienen para modificar los parámetros del sistema, lo cual permite controlar el flujo de potencia. Esto se logra porque:

- Al controlar la impedancia de la línea  $X_{ij}$  a través de compensación serie o utilizando FACTS, se puede controlar la corriente, así como la potencia activa.
- El control del ángulo, permite verificar el flujo de corriente.
- Inyectar un voltaje en serie con la línea y con cualquier ángulo de fase, puede controlar la magnitud y la fase de la corriente de línea y por lo tanto, se puede controlar la potencia activa y reactiva de forma más precisa.
- La combinación del control de la impedancia de líneas con un controlador serie, y la regulación de voltaje con un controlador en derivación, puede

ser una medida efectiva para controlar el flujo de potencia real y reactiva entre dos subsistemas.

Los dispositivos FACTS más comunes son:

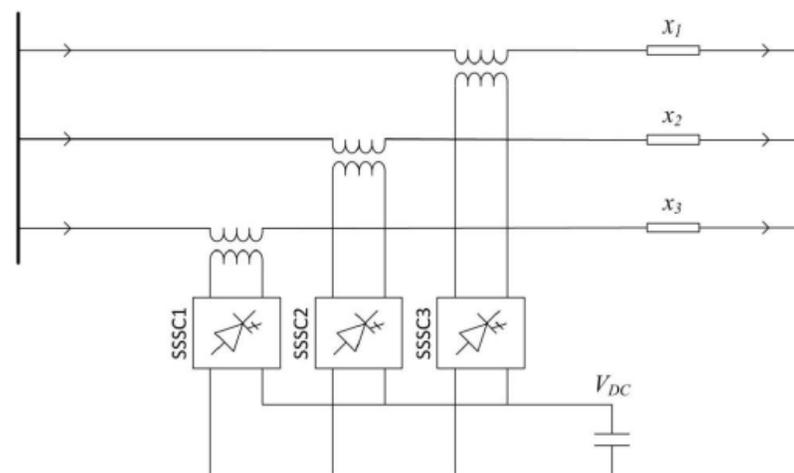
- Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)
- Thyristor Controlled Phase Angle regulator (TCPAR)
- Static Condenser (STATCON)
- Unified Power Flow Controller (UPFC)

**Aplicaciones:** Se aplican principalmente en las áreas de transmisión y calidad de la energía, en serie y paralelo para la compensación de la potencia reactiva.

### 2.1.5 CONVERTIBLE STATIC COMPENSATOR (CSC)

El compensador estático convertible (CSC por sus siglas en inglés) tiene como objetivo controlar el flujo de potencia entre varias líneas, mientras que otros dispositivos de compensación (UPFC, SSSC entre otros) controlan el flujo de potencia de una línea de transmisión.

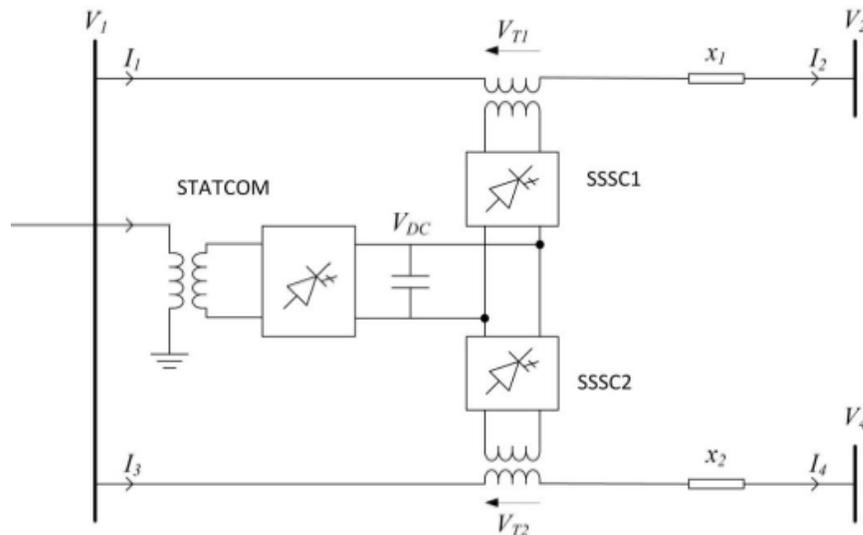
*Figura 3. Controlador de flujo de potencia entre líneas IPFC*



*Fuente: Conelec- Estudio perspectivas de la incorporación de FACTS en el sistema nacional de transmisión del ECUADOR.*

Dentro de esta categoría están el controlador de flujo de potencia entre líneas (IPFC por sus siglas en inglés), que se compone de dos o más convertidores serie (Figura 3) y el controlador generalizado de flujo de potencia unificado (GUPFC por sus siglas en inglés) el cual combina un convertidor en derivación y dos o más convertidores en serie (Figura 4)).

*Figura 4. Controlador generalizado de flujo de potencia unificado GUPFC*



*Fuente: Conelec- Estudio perspectivas de la incorporación de FACTS en el sistema nacional de transmisión del ECUADOR.*

**Aplicaciones:** Incluyen pero no están limitados a la estabilidad del sistema, la compensación de carga, control de flujo de alimentación y la corrección del factor de potencia.

### 2.1.6 STATIC SYNCHRONOUS SERIES COMPENSATOR (SSSC).

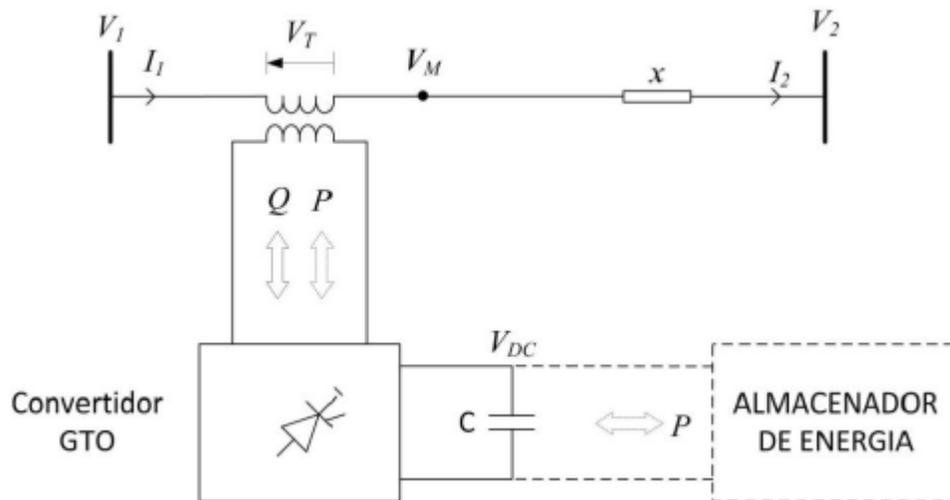
Es uno de los controladores FACTS más importantes. Este permite la inyección de tensión en serie con la línea de transmisión para controlar el flujo de energía y mejorar la amortiguación de oscilación de las redes eléctricas donde se conecta el SSSC contiene un inversor conectado en serie con la línea de transmisión a través de un transformador de inserción.

Esta conexión permite al SSSC controlar el flujo de potencia en la línea para una amplia gama de condiciones del sistema (Ver figura 5).

Este dispositivo es capaz de proporcionar rápidamente la compensación de impedancia inductiva a la línea de alimentación. Además, un SSSC con un controlador adecuadamente diseñado también puede utilizarse para mejorar la amortiguación de oscilaciones de potencia de baja frecuencia en una red.

**Aplicaciones:** Se utiliza como fuente convertidor de voltaje para inyectar una tensión controlable en cuadratura con la corriente de la línea de la red de alimentación. Tal dispositivo es capaz de modificar rápidamente la capacitancia y la compensación inductiva, independiente a la línea de potencia. Además, un SSSC con un diseño adecuado controla las amortiguaciones de potencia a baja frecuencia en una red de alimentación

Figura 5. Esquema Básico de un SSSC



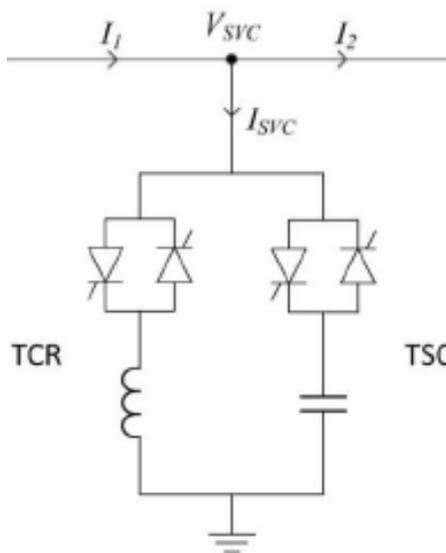
Fuente: Conelec- Estudio perspectivas de la incorporación de FACTS en el sistema nacional de transmisión del ECUADOR.

### 2.1.7 STATIC VAR COMPENSATORS (SVC)

Un compensador estático de var (SVC o VCS) es un dispositivo eléctrico para proveer una acción rápida a la demanda de potencia reactiva en redes de

transmisión de electricidad. SVC son parte del sistema de transmisión flexible FACTS. El término "estático" se refiere al hecho de que la SVC no tiene partes móviles a diferencia del condensador síncrono, que es una máquina eléctrica rotativa. Antes de la invención de los SVC, la compensación del factor de potencia era del dominio exclusivo de las grandes máquinas rotativas tales como condensadores síncronos. En la figura 6 muestra un ejemplo de SVC:

*Figura 6. Controlador de flujo entre líneas SVC*



*Fuente: Conelec- Estudio perspectivas de la incorporación de FACTS en el sistema nacional de transmisión del ECUADOR.*

El SVC es un dispositivo automático de juego de impedancia, diseñado para acercar al sistema a un factor de potencia unitario. SVC se utilizan en dos situaciones principales:

- Conectado al sistema de potencia, para regular la tensión de transmisión ("Transmisión SVC")
- Conectada cerca de grandes cargas industriales, para mejorar la calidad de la energía ("Industrial SVC")

- Típicamente, un SVC comprende uno o más bancos de condensadores en derivación fijas o un banco de reactores, de los cuales se cambiaron por lo menos un banco por tiristores.

Elementos que pueden ser utilizados para hacer un SVC típicamente incluyen:

- Tiristor controlador por reactor (TCR),
- Tiristor conmutado por condensador (TSC)
- Compensador estático sincrónico.

**Aplicaciones:** Se utiliza para la estabilización de los sistemas débiles, de igual forma minimiza las pérdidas de la línea e incrementa de la capacidad de transferencia de energía, además proporciona un mayor control dinámico de la tensión.

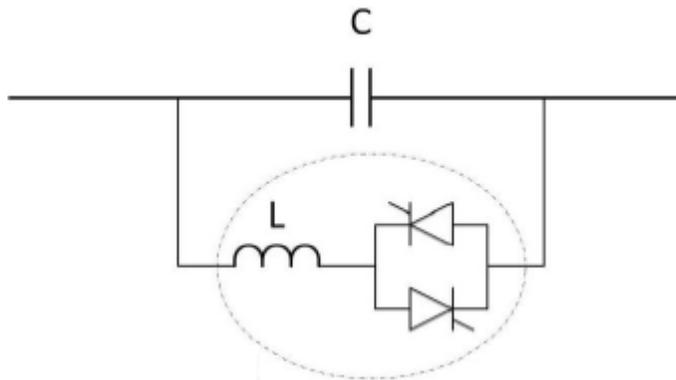
#### **2.1.8 THYRISTOR CONTROLLED SERIES COMPENSATORS (TCSC)**

Se utiliza en sistemas de potencia para controlar dinámicamente la reactancia de una línea de transmisión con el fin de proporcionar una compensación de carga lo suficiente. Los beneficios de TCSC son vistas en su capacidad para controlar la cantidad de compensación de una línea de transmisión, y en su capacidad para funcionar en diferentes modos. Estas características son muy deseables ya que las cargas están en constante cambio y no siempre pueden ser predichos.

El compensador serie controlado por tiristores se compone de una capacitancia en serie que tiene una rama en paralelo que incluye un reactor controlado por tiristores. Como lo muestra la figura 7.

**Aplicaciones:** Se utilizan para controlar dinámicamente la reactancia de una línea de transmisión y proporcionar la suficiente compensación de carga. Además, TCSC se utilizan para la reducción de riesgos de la resonancia sub-síncronas, así como para la interconexión del sistema de potencia.

Figura 7. Estructura básica de TCSC



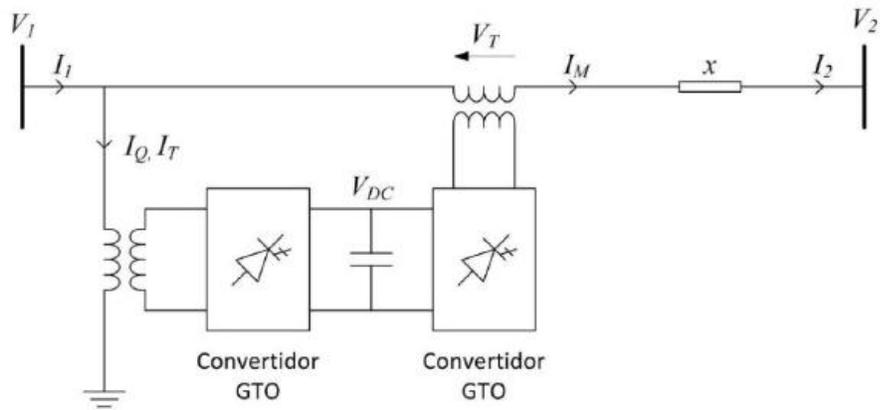
*Fuente: Conelec- Estudio perspectivas de la incorporación de FACTS en el sistema nacional de transmisión del ECUADOR.*

### 2.1.9 UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC)

Es un dispositivo de acción rápida que provee una compensación de energía reactiva en redes de alta tensión de transmisión de electricidad. Se utiliza un par de puentes de tres fases controlables para producir una corriente que se inyecta en una línea de transmisión, utilizando un transformador en serie. Se puede controlar los flujos de potencia activa y reactiva en una línea de transmisión. El UPFC utiliza dispositivos de estado sólido, que proporcionan la flexibilidad funcional (ver figura 8), que por lo general no se pueden conseguir con los sistemas controlados por tiristores convencionales. El UPFC es una combinación de un compensador estático síncrono (STATCOM) y un compensador serie síncrono estático (SSSC) acoplado a través de un enlace común de voltaje de CC.

**Aplicaciones:** Se aplican para controlar el flujo de potencia, compensación de energía reactiva y eliminando o reduciendo condiciones de carga, para mejorar la estabilidad del sistema eléctrico

Figura 8. Estructura básica de UPFC



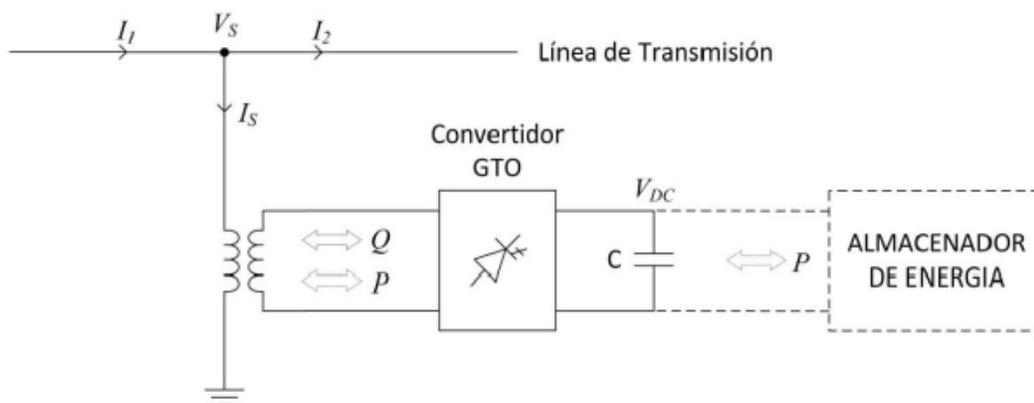
Fuente: Conelec- Estudio perspectivas de la incorporación de FACTS en el sistema nacional de transmisión del ECUADOR.

#### 2.1.10 D-VAR o DSTATCOM

Es un rápido compensador de potencia reactiva, usado en transmisión o en los sistemas de distribución, principalmente para reducir las variaciones de voltaje tal como sag (bajones de tensión), surges (sobretensiones), y flicker (parpadeos), junto con la inestabilidad causada por la rápida variación de la demanda de potencia reactiva. Un compensador D-STATCOM consta de dos niveles de tensión mediante un convertidor de voltaje (VSC), un dispositivo de almacenamiento de energía DC y un transformador de acoplamiento conectado en paralelo con la red de distribución. En la figura 9 se muestra un el esquema básico de un STATCOM.

Los VSC convierten el voltaje DC mediante los dispositivos de almacenamiento en tres fases AC a la salida. Estas tres fases AC están en fase y acopladas con el sistema AC mediante la reactancia del transformador acoplado. D-VAR o DSTATCOM son movibles y pueden ser trasladados con facilidad. Los dispositivos utilizan transistores bipolares de puerta aislados (IGBT) que son enfriados por el aire, y opera con alta eficiencia que reduce los armónicos.

Figura 9. Esquema Básico de un STATCOM



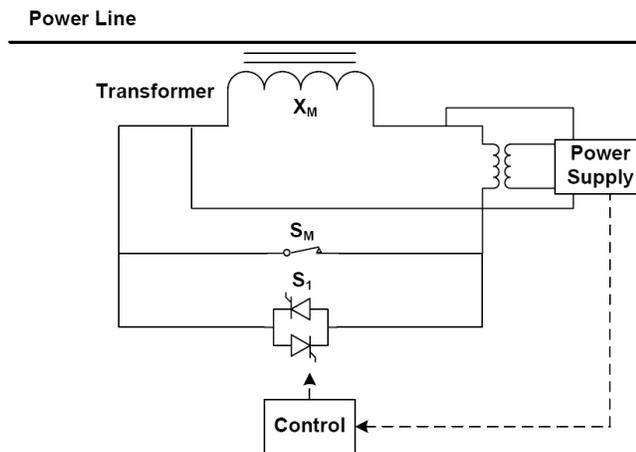
Fuente: Conelec- Estudio perspectivas de la incorporación de FACTS en el sistema nacional de transmisión del ECUADOR.

**Aplicaciones:** Se puede colocar en las interfases de Transmisión y Distribución para proporcionar apoyo a la tensión, reducir el parpadeo de generación, mejora la calidad de la energía, alivia el impacto del viento generado sobre las líneas de transmisión, etc. Los DVARs tienen la capacidad de un pico de su producción de 3 a 4 veces la capacidad nominal, antes de regresar a su valor nominal, que es esencial para la gestión de flicker (parpadeo), la inestabilidad de voltaje.

### 2.1.11 CURRENT LIMITING CONDUCTOR (CLIC)

Son una serie de dispositivos autónomos sujetos a las líneas de energía, que desvían automáticamente la corriente de sobrecarga a otras líneas de menor uso, a fin de evitar sobrecargas térmicas en la línea, incrementando la capacidad del sistema y mejorando la fiabilidad porque activa el aumento gradual de la impedancia serie de la línea en un punto de operación predeterminado, sin ningún tipo de comunicación y auto organizado. La simple implementación de limitar la corriente en el conductor asegura un bajo costo (Figura 10).

Figura10. Current Limiting Conductor (CLiC)



*Fuente: National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology*

Los clic de distribución son dispositivos de impedancia serie que pueden operar en forma remota con previa programación lógica para cada uno, estos quitan impedancia serie a la línea. Los Clic son enganchados sobre las líneas de transmisión o torres sub transmisión. El dispositivo puede también controlar el flujo de energía y tienen la capacidad de balancear el flujo de potencia entre la fase y entre líneas paralelas y también puede reducir los transitorios. El dispositivo promete importantes beneficios en todo el sistema incluyendo el aumento de la capacidad de uso; incremento en la rentabilidad; mejoras en el manejo de contingencias; incremento en la distribución por ser modular; y rápida implementación.

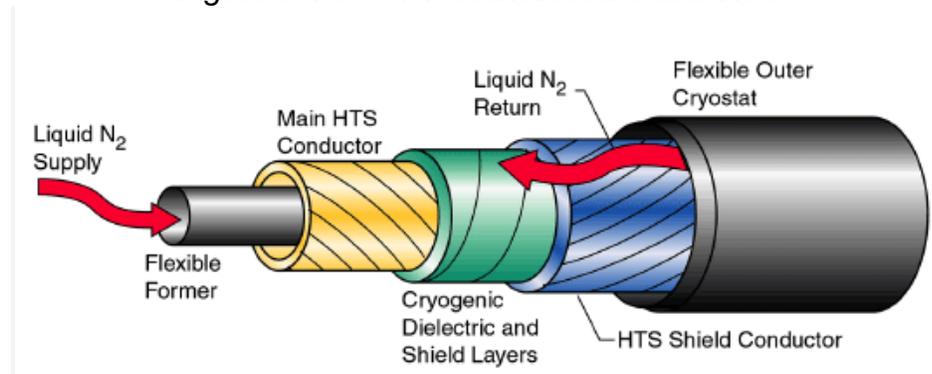
**Aplicaciones:** Actualmente se utilizan principalmente para desviar automáticamente la corriente de sobrecarga a otras líneas infrautilizadas.

### 2.1.12 FLOW CONTROL USING HTS CABLE

Los cables superconductores de alta temperatura (HTS) se utilizan principalmente para la transmisión de potencia, el Cable es de alta capacidad, es de muy baja impedancia (VLI) que puede mejorar la eficiencia

en la transmisión, reduce las pérdidas del sistema y alivia la congestión de la red. En la figura 11 se aprecia la constitución de cable HTS.

*Figura 11. Sección Transversal Cable HTS*



*Fuente: Oak Ridge National Laboratory*

Este permite conseguir una mejor capacidad para controlar el flujo de potencia, mediante la regulación del ángulo de fase, en serie con el cable HTS, y para aumentar la confiabilidad. Sin embargo, la gestión de falla es diferente a los cables convencionales, debido a sus características únicas. Los cables superconductores de potencia ofrecen las siguientes ventajas sobre la transmisión convencional y los sistemas de distribución:

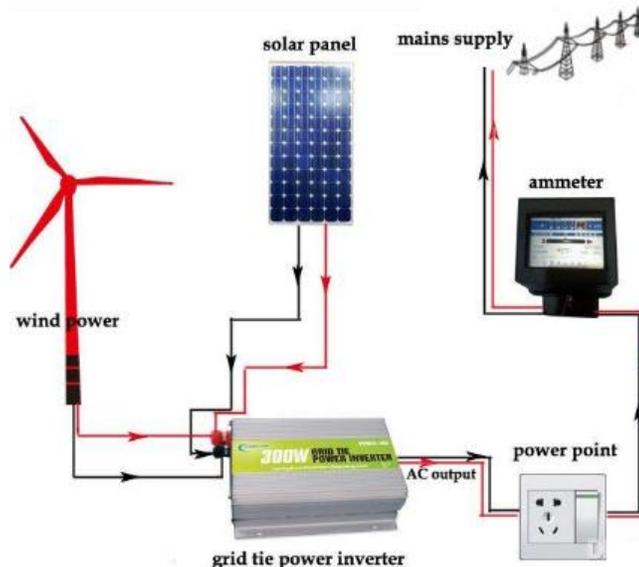
- Mayor capacidad de transmisión de energía.
- Mayor fiabilidad de la red y la seguridad.
- Muy baja impedancia.
- La capacidad de energía de alta tensión.
- Una larga vida útil.
- Bajo impacto medioambiental.

**Aplicaciones:** Los cables superconductores de alta temperatura se utilizan principalmente para transmisión de potencia.

### 2.1.13 GRID TIE INVERTER

Es un tipo especial de inversor usado para integrar las fuentes de energía renovable a la red eléctrica. Un Grid Tie Inverters es también conocido como un inversor interactivo de red o un inversor síncrono. El inversor interactivo de red puede ser ejecutado inteligentemente sobre la red o independiente. Posee un terminal adicional que permite la integración de almacenamiento de energía de reserva.

*Figura 12. Esquema de un Grid Tie Inverter*



*Fuente: [http://www.waldeneffect.org/blog/Plug\\_and\\_play\\_grid\\_tie\\_inverters](http://www.waldeneffect.org/blog/Plug_and_play_grid_tie_inverters)*

Algo muy importante es la alta compatibilidad con paneles solares, turbinas eólicas, almacenamiento de energía sistemas, generadores de corriente continua y corriente alterna para diversas cargas. Además, ofrece una variedad de voltajes de entrada añadiendo mayor flexibilidad. En la figura 12 se observa un esquema usando un Grid Tie Inverter.

**Aplicaciones:** Proporcionar interfaz para la interconexión de fuentes de energía renovables.

### **2.1.14 LOAD CONTROL RECEIVER**

Son dispositivos utilizados para controlar cargas de manera directa o indirecta a través de un circuito de baja tensión, como un termostato o contactor de un aire acondicionado. Los receptores de control de carga son generalmente localizados cerca de los medidores eléctricos o aires acondicionados, bombas de piscinas, calentadores de agua. En algunos modelos el panel de luz en el centro de control de carga, indica que cargas están controladas. Los eventos de control pueden ser interrumpidos o volver a su funcionamiento normal, sin haber recibido instrucciones adicionales. También se utilizan para interrumpir temporalmente la energía de acuerdo a los programas de respuesta a la demanda.

**Aplicaciones:** La típica aplicación de los load control receiver incluyen calentadores de agua residenciales, aire acondicionado central, bombas calentadoras, sistemas de calefacción simples o duales, bombas de riego y bombas de piscina. También se utilizan para interrumpir temporalmente la energía en respuesta a los programas de demanda.

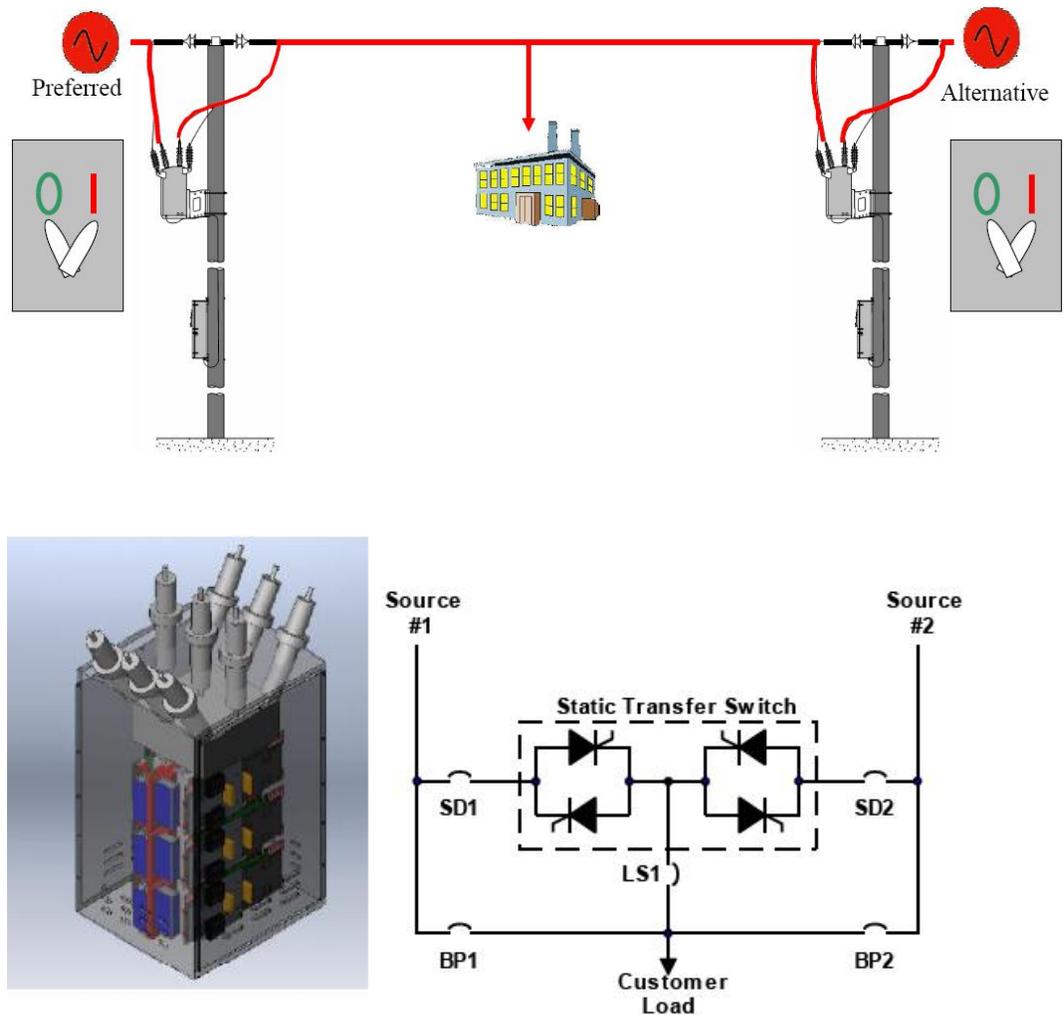
### **2.1.15 MEDIUM VOLTAGE STATIC TRANSFER SWITCH (MV-STS)**

El interruptor de transferencia estática (STS) es un dispositivo eléctrico que permite la transferencia instantánea de energía a la carga. Esta rapidez de conmutación significa que si una fuente de alimentación falla, el STS cambia a una segunda fuente de energía o de respaldo, tan rápido que la carga nunca reconoce quien realizó la transferencia.

Los STS está clasificado en: STS de baja tensión (tensiones de hasta 600V, corrientes en el rango de 200 amperios a 4.000 amperios) y STS de media tensión (tensiones entre 4,16 kV hasta los 34,5 kV). La acción rápida de STS para conmutar entre dos fuentes de alimentación es de 4 a 20 milisegundos, su uso se han incrementado últimamente para proteger cargas de gran tamaño e instalaciones completas, para perturbaciones eléctricas de corta duración. Estos utilizan dispositivos de estado sólido de potencia para la

conmutación, ofreciendo rapidez y bajo mantenimiento en comparación con los conmutadores electromecánicos, que son demasiado lentos para la aplicación. Un ejemplo de MV-STS se observa en la figura 13.

Figura 13. Esquema de una Medium Voltage Static Transfer Switch



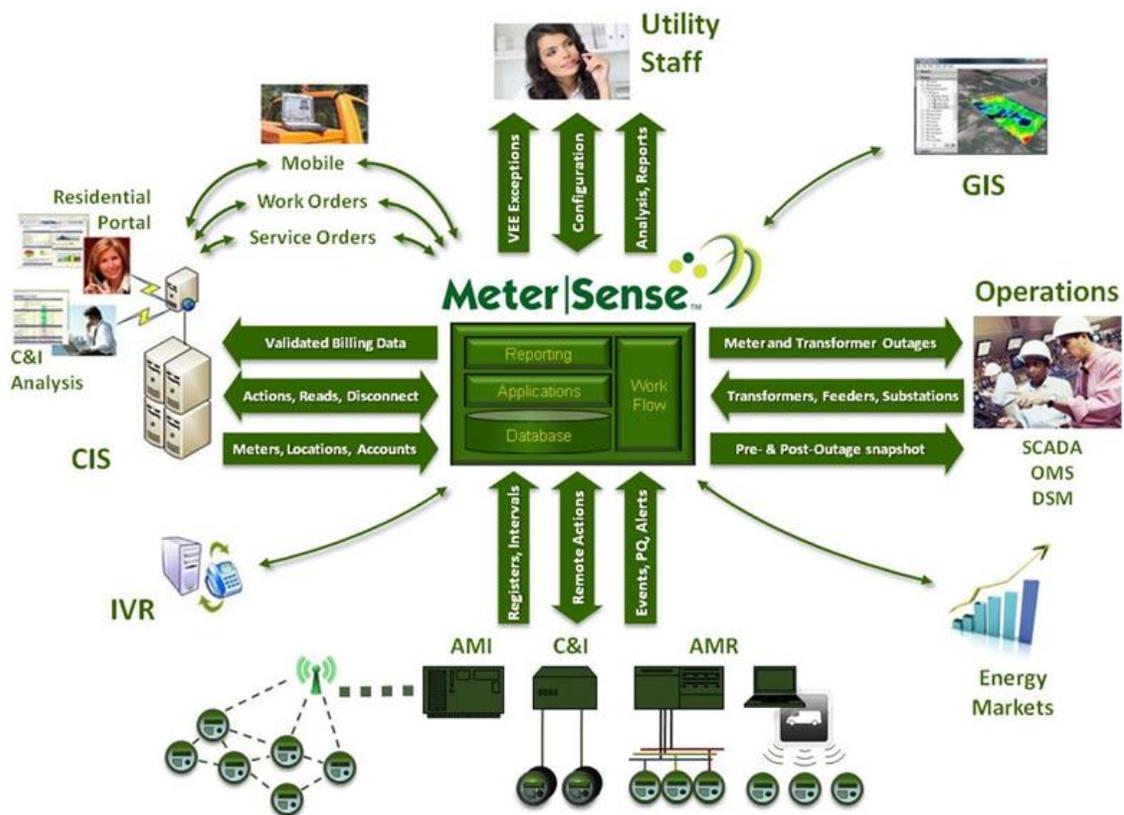
Fuente: <http://www.siliconpower.com>

**Aplicaciones:** Encontramos aplicaciones en las áreas de la fabricación automatizada y líneas de ensamble, centros de telecomunicaciones, calidad de la energía, parques industriales y centros de datos de Internet.

## 2.1.16 METER DATA MANAGEMENT (MDM)

Es un componente clave de la infraestructura para una red inteligente que está capacitado para leer los contadores, validar los datos del medidor, y estimar los datos faltantes. Los MDM proporcionan almacenamiento a largo plazo y administración de la mayoría de los datos que se reciben de los dispositivos (AMI) o de lectura automática de medidores (AMR).

Figura 14. Meter Data Management (MDM)



Fuente: <http://www.metersense.com/>

Los sistemas MDM evalúan y procesan los datos antes de ser enviados para ser facturados y analizados. Un ejemplo de la arquitectura de manejo de información se aprecia en la figura 14.

El MDM recopila los datos en bruto del medidor utilizando cualquiera de las siguientes tecnologías de lectura:

- En el sitio de medida del proceso de lectura.
- Módem como una línea telefónica dedicada conectada a una interfaz remota.
- La tecnología de radio.
- Localizador de tecnología.

**Aplicaciones:** Incluyen pero no se limitan a la facturación, la gestión de servicio al cliente de interrupciones y el análisis de utilidad de las operaciones.

#### **2.1.17 NARROW-BAND PLC SoC IC SOLUTIONS**

Este sistema es un chip fabricado en silicio y encapsulado como un circuito integrado, que ofrece soluciones para el uso de aplicaciones en comunicaciones de banda estrecha, existentes sobre el cableado eléctrico de CA.

**Aplicaciones:** Tienen múltiples campos de aplicación como la domótica, control de iluminación industrial, medición de energía inteligente, máquina de uso doméstico y metrología para paneles solares.

#### **2.1.18 ONE CYCLE CONTROL CONTROLLER (OCC)**

Es un método universal para controlar componentes de potencia monofásicos o trifásicos, tales como MOSFET, IGBT o GTO, para realizar la conversión de energía a cuatro cuadrantes con el fin de actuar como inversores conectados a la red, filtros activos de potencia, rectificadores de factor de potencia corregido, componentes flexibles de sistema de transmisión de C.A., etc. Debido a su alta velocidad, sencillez, estabilidad y su adaptabilidad universal, esta promete un alto rendimiento, rentabilidad y robustez. El control de un ciclo es una técnica simple y versátil PWM aplicada a los convertidores de conmutación. Esta técnica aprovecha la

naturaleza pulsátil y no lineal de los convertidores de conmutación y logra un control dinámico instantáneo con el valor promedio de una variable conmutada, por ejemplo, el voltaje o corriente, más específicamente sólo se necesita un ciclo de conmutación para obtener el valor promedio de la variable para alcanzar un nuevo estado estable después de un transitorio. No hay error de estado estacionario ni error dinámico entre la referencia de control y el valor promedio de la variable conmutada. Este método proporciona una rápida respuesta dinámica, excelente rechazo a la perturbación de fuente de alimentación, un rendimiento sólido, y la corrección automática de error conmutación.

**Aplicaciones:** Es usado en la corrección del factor de potencia (PFC) rectificador, filtros activos de potencia (APF) e inversores conectados a la red.

#### **2.1.19 REAL-TIME DEMAND RESPONSE AND DER CONTROL DEVICE**

La respuesta a la demanda en tiempo real y el dispositivo de control DER es una herramienta de control y medición que tiene la capacidad de vigilar la frecuencia de la red, permitiendo un control en la señal para responder ante una subfrecuencia.

**Aplicaciones:** se utiliza para dar respuesta a la demanda en tiempo real e incorporación en múltiples lugares, igualmente dar respuesta instantánea a la frecuencia. Brinda gestión de la demanda y ofrece control de la generación distribuida. Un ejemplo de la arquitectura básica donde se usa es mostrado en la figura 15.

Figura 15. Esquema Básico Real-time Demand Response



Fuente: <http://www.institutebe.com/smart-grid-smart-building/>

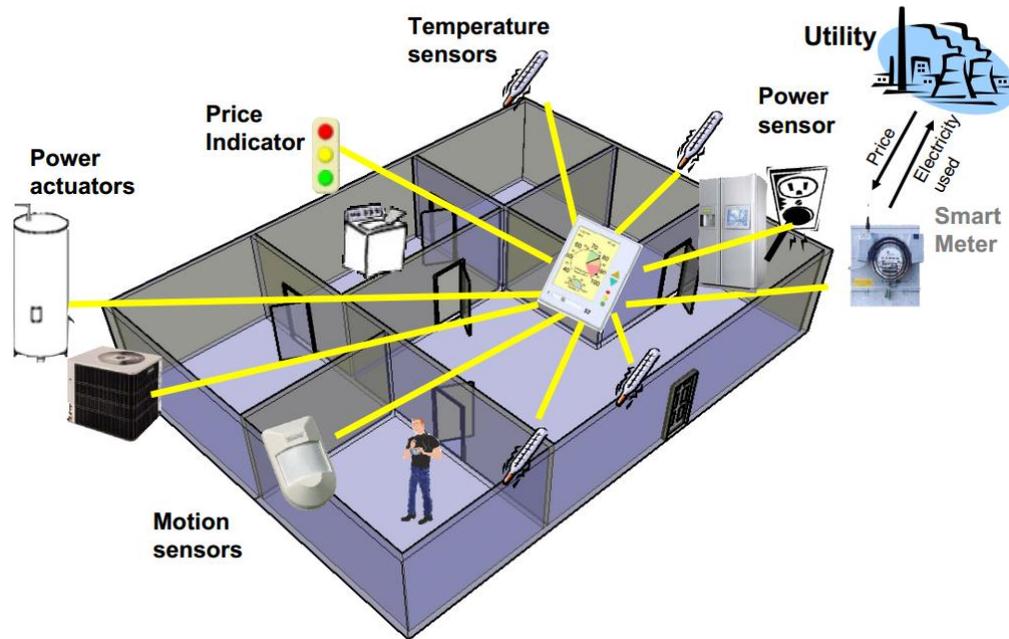
### 2.1.20 PROGRAMMABLE COMMUNICATION THERMOSTATS (PCT)

Los PCT son termostatos que se comunican con la empresa de servicios y recibe información de precio o fiabilidad del sistema, pueden ser programados por el cliente para reducir automáticamente el consumo de energía a través del ajuste del set point del termostato. Los PCT tienen puertos de expansión que permiten añadir módulos de comunicación y establecer vínculos con otros dispositivos. (Ver figura 16) Los PCT por lo general vienen con la mayoría de las siguientes características:

- Programación 7 días.
- Control de temperatura individual para establecer puntos de: calor y frío ocupado o calor y frío desocupado.
- Controladores PI para reducir al mínimo las fluctuaciones de temperatura.

- Módulos de recuperación para optimizar el tiempo de arranque en función de la carga adicional.
- Sensores remotos opcionales.

Figura 16. Esquema de funcionamiento de un PTC



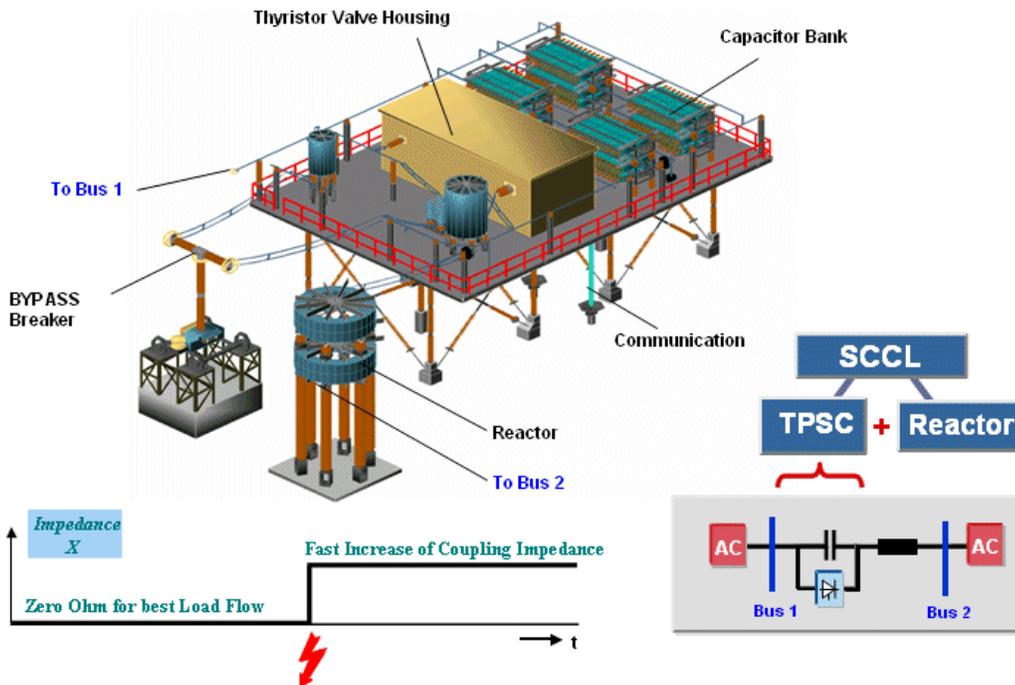
Fuente: <http://www.institutebe.com/smart-grid-smart-building/>

**Aplicaciones:** Son útiles en la integración como soporte al cliente para conocer los precios, la eficiencia y los programas de respuesta a la demanda en un único dispositivo interoperable y ampliable. Además, los PCT se prevén para apoyar la fijación dinámica de precios, programas de incentivos y la fiabilidad del sistema. Por ejemplo, los PCT Tantalus, también sirven como una Red de Área Doméstica (HAN) y como puerta de entrada a través de Tunes o ZigBee. El dispositivo también incorpora aplicaciones avanzadas como la mensajería que permite una utilidad para comunicarse directamente con sus clientes y facilitar el acceso a la facturación de los hogares y la historia del consumo.

### 2.1.21 SHORT CIRCUIT CURRENT LIMITER (SCCL)

SCCL es un sistema de limitación de corriente corto-circuito utilizando tiristores de alta potencia. El sistema funciona con cero impedancias en condiciones de estado. En la figura 17 se muestra un ejemplo.

Figura 17. SCCL - Short-Circuit Current Limitation con FACTS



Fuente: <http://www.ptd.siemens.de/artikel0412.html>

Los SCCLs tienen las siguientes ventajas:

- Mejora la distribución de corriente en los transformadores de alimentación
- Reducción de las pérdidas de los transformadores de alimentación
- Mayor fiabilidad del suministro de energía

**Aplicaciones:** Se utilizan principalmente para limitar los cortos circuitos y a mantener la magnitud de la corriente dentro de límites aceptables de los equipos del sistema.

### 2.1.22 SMART METER (MEDIDORES INTELIGENTES)

El sistema Smart Meter aplica tecnología de medidores programables para proporcionar una comunicación bidireccional entre el medidor del lado del cliente y el proveedor, utilizando la tecnología de red inalámbrica segura. El medidor Smart Meter cada hora lee y transmite las lecturas a través de una red inalámbrica a la empresa de servicios públicos. Estos medidores se pueden actualizar de forma remota. En la figura 18 se observa la apariencia de un medidor inteligente.

*Figura 18. Medidor Inteligente*

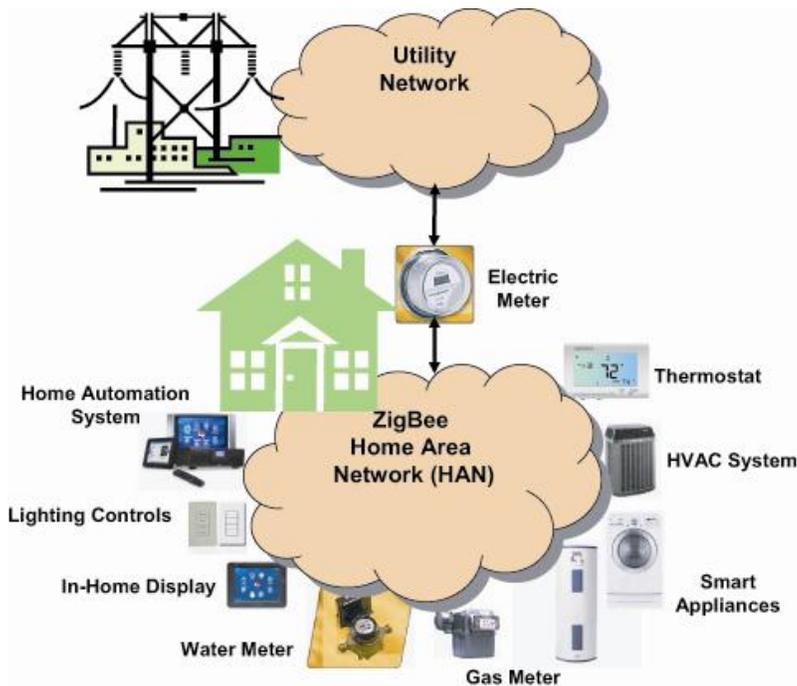


*Fuente: [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)*

Se utilizan principalmente para controlar o leer de forma remota los contadores eléctricos colocados en los hogares de los usuarios. También encuentran su uso en programas de respuesta a la demanda que forman parte de las iniciativas de red inteligente por parte de las empresas de servicios públicos. En la figura 19 se observa la arquitectura de los Smart meters.

**Aplicaciones:** Se utilizan principalmente para controlar o leer los contadores eléctricos colocados en hogares de los clientes desde las empresas de servicios públicos de forma remota. También encuentran su uso en programas de respuesta a la demanda que forman parte de las iniciativas de la red inteligente por parte de las empresas de servicios públicos.

Figura 19. Integración de los Smart Meter



Fuente: Courtesy of EmberCorp

## 2.2 METODOS AVANZADOS DE CONTROL

Son los dispositivos y algoritmos que analizarán, diagnosticarán y predecirán las condiciones de la red eléctrica moderna y tomarán las acciones correctivas apropiadas para eliminar, mitigar y prevenir las interrupciones y alteraciones de calidad de energía. Estos métodos proporcionan un control en la transmisión, distribución, y los niveles de consumo, administrando tanto la potencia activa como la reactiva. Los métodos utilizados en las Smart grid en la actualidad son:

- Advanced Feeder Automation
- Advanced Substation Gateway
- Distributed Intelligent Control Systems
- Distribution Automation (DA)
- Energy Management System (EMS)

- Fault Locator for Distribution Systems
- Grid Friendly Appliance™ Controller
- SCADA
- Substation Automation (SA)

### **2.2.1 ADVANCED FEEDER AUTOMATION**

Consiste en la detección, aislamiento, reconfiguración y restauración (FDIR) de las líneas en los sistemas de distribución. El FDIR se logra mediante el uso de sensores, controladores, redes de comunicación, dispositivos electrónicos inteligentes (IED) y el software. La detección de fallos es realizada por los indicadores IED y la corrección de los fallos por los indicadores de fallas en el circuito (FCI) y relés. El aislamiento y la restauración se logran mediante el uso de IED, breakers / interruptores y re-conectores, respectivamente. FDIR puede ser gestionada de forma centralizada por el sistema de control y adquisición de datos o por medio de la inteligencia distribuida y la tecnología peer-to-peer.

**Aplicaciones:** Se utiliza en la detección de fallas del sistema de distribución, el aislamiento de fallos, y la restauración del servicio.

### **2.2.2 ADVANCED SUBSTATION GATEWAY**

También conocido como multiproceso simétrico (SMP) de puerta de enlace - es una plataforma de computación avanzada que sirve como punto de acceso único a todos los dispositivos electrónicos inteligentes (IED) en el sistema de distribución. Además de agilizar el flujo de datos y automatización de procesos, el SMP Gateway funciona como convertidor de protocolo, concentrador de datos, servidor de Terminal, procesador de automatización y sincronizador de tiempo. Gateway SMP se encuentra localizado entre el SCADA y RTU, trabajando como un maestro o esclavo.

**Aplicaciones:**

Se puede utilizar como un traductor de protocolo, como un concentrador de datos, y como servidor de terminales.

**2.2.3 DISTRIBUTED INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS**

Son adaptativos, auto-consciente, auto-correctivos y sistemas de control semiautónomos en que los elementos de control no están centralizados, sino que se encuentran distribuidos en todo el sistema en un arreglo paralelo y distribuido. Con el fin de lograr un objetivo o tarea, la computación distribuida, es la configuración de varios equipos independientes en paralelo, que se comunica entre sí a través de una red para el intercambio de datos requeridos. Los Sistemas de control distribuido inteligentes están basados en agentes del sistema. Los sistemas multiagente comprende varias entidades de software inteligentes (agentes) que trabajan juntos para resolver un problema complejo, que es difícil o imposible para un agente individual. Algunas de las aplicaciones en los sistemas de energía son: la detección de fallas y reconfiguración autónoma, la protección y la coordinación, control de potencia reactiva, etc.

**Aplicaciones:**

Se pueden utilizar para la detección de fallas y reconfiguración autónoma, control de potencia reactiva, en los sistemas de apoyo a las decisiones, las telecomunicaciones y gestión de redes, para la protección y la coordinación, y se integran en los mercados de energía.

**2.2.4 DISTRIBUTION AUTOMATION (DA)**

Automatización de la distribución (DA) es el sistema completo que permite al proveedor de servicios controlar de forma remota, coordinar y operar los componentes de distribución en tiempo real desde estaciones remotas. Comprende la distribución SCADA, medios de comunicación, así como todos los componentes de campo intermedio que son necesarios para la

automatización del alimentador, control de voltaje, sistema de gestión de interrupción, la lectura del medidor avanzado, y el seguimiento de datos para la estimación de estado en tiempo real y control.

Este sistema puede incluir secuencias para: detección de fallos, localización, aislamiento y restauración de la carga. Es decir, la DA detecta un fallo, se localiza a un segmento de alimentador, se abre interruptores alrededor del fallo y restaura alimentación a través de líneas de subestaciones no falladas y fuentes de energía alternativa disponible. La DA también puede realizar la comprobación automática de la carga de los equipos y los límites térmicos para determinar si la transferencia de energía hacia la carga se realiza de forma segura.

**Aplicaciones:** En La detección de fallos, localización, aislamiento, restauración de la carga y detección del límite térmico.

### **2.2.5 ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (EMS)**

Sistema de Gestión de la Energía (EMS) es un grupo de aplicaciones y tecnologías que permitan el seguimiento, control y optimización del rendimiento de los recursos distribuidos y las cargas en el sistema de distribución. Estos incluyen la gestión de energía en el hogar, sistema de almacenamiento, la gestión de plug-in de vehículos híbridos, la integración de las energías renovables, y control de carga, tales como HVAC y calentamiento de agua.

**Aplicaciones:** Permite la administración y seguimientos de recursos y dispositivos dentro de un sistema de distribución.

### **2.2.6 FAULT LOCATOR FOR DISTRIBUTION SYSTEMS**

Son dispositivos y software instalados típicamente en una subestación para identificar los eventos de fallas, identificar los tipos de fallas: en tres fases-tierra, doble línea a tierra, línea-tierra y calcular la distancia en un sistema de distribución desde un punto de seguimiento a la fuente de fallo identificado.

Debido a la complejidad y la topología de los sistemas de distribución, los métodos utilizados en los sistemas de transmisión no son fácilmente aplicables al sistema de distribución. Para mejorar aún más el rendimiento a menudo éstas son integradas con los sistemas de gestión de distribución (DMS).

**Aplicaciones:** Los Localizadores de fallas para los sistemas de distribución calculan la distancia a la ubicación de la falla desde el punto de control (por lo general en la subestación).

### **2.2.7 CONTROLADORGRIDFRIENDLY APPLIANCE™**

Laboratorio Pacific Northwest National (PNNL) ha desarrollado el controlador Grid Appliance Friendly™ (GFA). El controlador GFA es un chip de computadora simple que se puede instalar en varios de los consumidores (hogares). El controlador GFA sensa las condiciones de la red mediante el monitoreo de frecuencia del sistema y proporciona una respuesta automática en el momento de la interrupción. Es decir, el controlador GFA automáticamente puede desactivar aparatos durante unos pocos segundos hasta unos pocos minutos en respuesta a un evento red eléctrica. El controlador GFA puede ser programado para retrasar el arranque de sistemas hasta que las condiciones mejoren. Por lo tanto, el controlador de GFA puede proporcionar la capacidad de respuesta a la demanda de aparatos electrodomésticos como refrigeradores, aires acondicionados, calentadores de agua, etc.

**Aplicaciones:** Los controladores de GFA pueden controlar los electrodomésticos.

### **2.2.8 SCADA**

SCADA o Sistema de Control y Adquisición de Datos es un sistema para vigilar y controlar la generación, transmisión y distribución de potencia

eléctrica y energía. SCADA es un sistema centralizado que comprende los siguientes componentes:

- Equipo host y los servidores de bases de datos SCADA a menudo conocidos como centro o estación maestra que recoge y procesa los datos de las unidades terminales remotas distribuidas en el sistema.
- Una serie de dispositivos de interfaz conocido como las unidades terminales remotas (RTU) conectado a los sensores, controladores lógicos programables (PLCs), interruptores, relés, etc.
- Una comunicación de dos vías del sistema utilizando protocolos estándar para la transferencia de datos y señales de control entre la estación principal y los dispositivos de campo.
- Una gran cantidad de software y hardware proporciona la interfaz hombre-máquina (HMI) para los operadores en el SCADA.

**Aplicaciones:**

Se utiliza para la recolección de datos en tiempo real, del monitoreo de dispositivos y control remoto de equipos.

**2.2.9 SUBSTATION AUTOMATION(AS)**

Automatización de Subestaciones (AS) es un sistema que permiten a una empresa eléctrica de forma remota, controlar y coordinar los componentes de distribución instalados en la subestación. SA se compone de sensores inteligentes con tecnologías de comunicación integradas y control sobre los equipos de la subestación. AS mejorará la confiabilidad del servicio eléctrico, garantizará una rápida y lo más importante, corrección a sucesos imprevisibles en la red al tiempo que reduce costos de operación y mantenimiento.

**Aplicaciones:** Ofrece un control local, control remoto y supervisión al nivel de la subestación. Asimismo, los dispositivos electrónicos inteligentes (IED) proporcionan interfaz hombre-máquina para el control local, monitoreo y configuración del sistema. En esta etapa varios usuarios se pueden conectar

a los IEDs y una red local para sentar las bases de funciones de nivel superior a distancia.

### **2.3 DETECCION Y MEDICION**

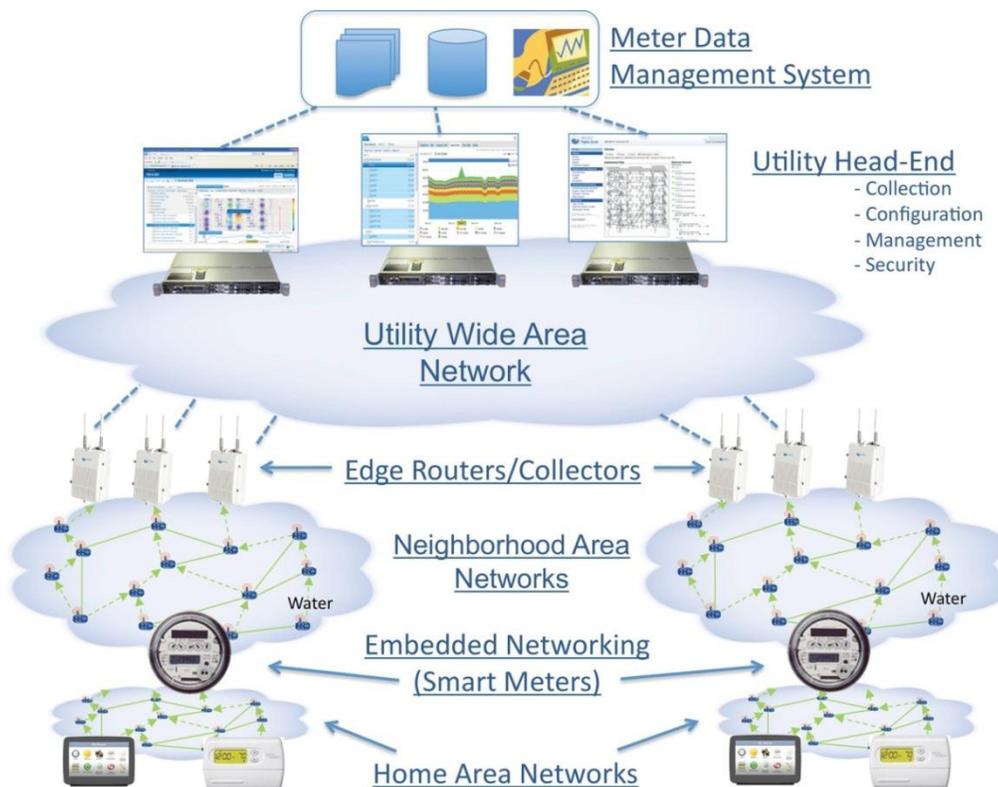
Son los componentes esenciales de una red eléctrica moderna. Avanzados sensores y tecnologías de medición para adquirir, transformar datos en información y mejorar los múltiples aspectos de la gestión de energía del sistema. Estas tecnologías evalúan el estado de los equipos y la integridad de la red. Ellos apoyarán las frecuentes lecturas de los medidores, eliminan las estimaciones de la facturación, y evitan el robo de energía. También ayudará a aliviar la congestión y reducir las emisiones, permitiendo la elección del consumidor, la respuesta a la demanda y el apoyo a nuevas estrategias de control. Las tecnologías de detección y medición más comunes en las smart grid son:

- Advanced Metering Infrastructure (AMI)
- Battery Monitoring System
- Cable Monitoring System
- Circuit Breaker Monitoring System
- Current Sensor
- Fiber Optic Sensor
- Instrument Transformer
- Outage Management System
- Power Quality Monitoring System
- Sag Profile and VAR Monitoring System
- Temperature Monitoring System
- Transformer Monitoring System
- Wide Area Measurement System (WAMS)
- Wireless Condition Monitoring

### 2.3.1 ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE (AMI)

Se refiere a los sistemas que miden, recolectan y analizan el uso de la energía, e interactúan con dispositivos como los medidores inteligentes de electricidad, de gas, o de agua. Dichos sistemas están en capacidad de gestionar toda la información recolectada y tomar decisiones, incluye el hardware, software, equipos de comunicaciones, pantallas con información de consumo para los usuarios, etc.

Figura 20. Tecnología AMI



Fuente: [www.news.cnet.com](http://www.news.cnet.com)

Un sistema AMI cuenta con un concentrador de datos y contadores de energía, haciendo uso de las últimas tecnologías de comunicación, reduciendo los costos operativos y permite estar al día en los procesos de la empresa mediante el uso de la comunicación bidireccional. Un sistema AMI

puede proporcionar y facilitar la capacidad de conexión/desconexión a distancia, la lectura de demanda, sabotajes, detección de fraudes, detección de corte de luz, y quizás más importante, horarios o intervalos de bajo consumo de energía, aplicables a los programas de respuesta a la demanda. Dentro de la tecnología AMI el Medidor Inteligente es un dispositivo eléctrico digital equipado con tecnología de comunicación inalámbrica y son la esencia de la red eléctrica inteligente del futuro(ver figura 20). Los clientes podrán administrar mejor su consumo de energía, ahorrar dinero y disminuir el impacto en el medioambiente gracias a los medidores avanzados.

La información que los Medidores Inteligentes, permitirá que los clientes puedan controlar su presupuesto energético. Les permitirá tomar decisiones para conservar la energía y los recursos naturales, reduciendo al mínimo el impacto en el medioambiente. Otros beneficios incluyen:

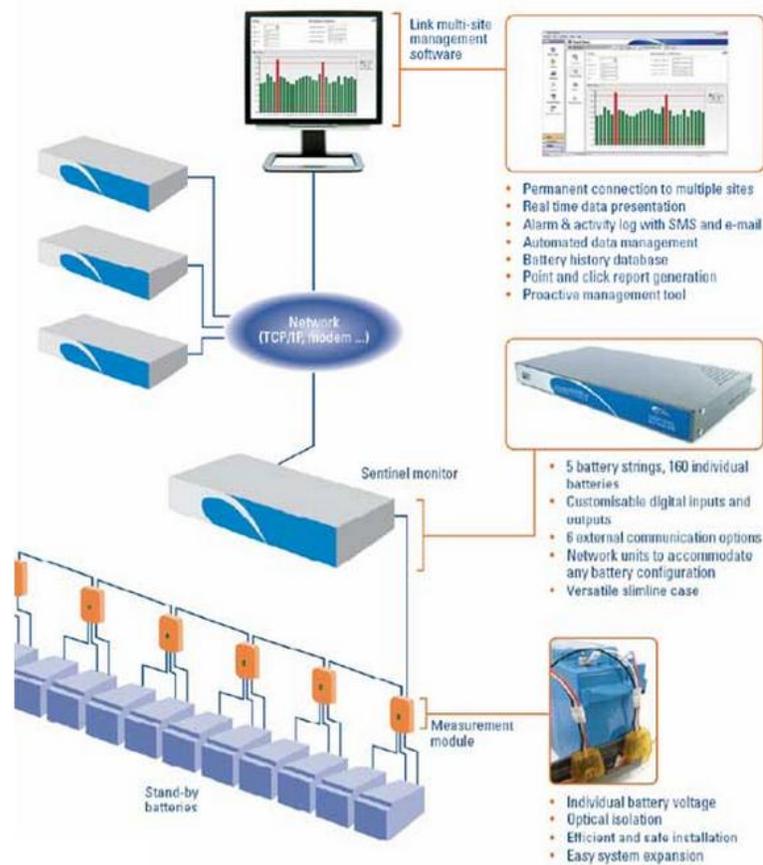
- Mejor confiabilidad por ejemplo los Medidores Inteligentes mostrarán automáticamente la ubicación de los apagones para que las reparaciones puedan hacerse rápidamente.
- Disminución en las tarifas del servicio - Gracias a la capacidad de conexión remota, se podrá reducir las tarifas del servicio.
- Más opciones de productos - Los Proveedores Minoristas de Electricidad le podrán ofrecer nuevos e innovadores planes de precios, como tarifas por tiempo de consumo y medidores propagados.
- Mejor servicio al cliente mediante la capacidad remota, puede suministrar una lectura del medidor y conexiones al servicio más rápidas.
- Mayor privacidad, los Medidores Inteligentes se pueden leer en forma remota, por lo que los lectores de medidores ya no tendrán que ingresar a su propiedad.

**Aplicaciones:** Se utiliza para controlar la información del consumo de energía y para enviar información y el estado del sistema a un proveedor de energía.

### 2.3.2 BATTERY MONITORING SYSTEM

Puede tener múltiples significados, desde el simple monitoreo de la batería, cuando se usan en aplicaciones para la reserva de energía, hasta cuando es usada como un componente necesario de un sistema complejo en aplicaciones de automoción. En la figura 21 se aprecia un esquema de funcionamiento de Battery Monitoring System.

Figura 21. Esquema de funcionamiento de Battery Monitoring System.



Fuente: [www.cti-telcopower.com](http://www.cti-telcopower.com)

Monitoreo simple de la batería: Lleva el control sobre los parámetros operacionales claves durante la carga y descarga. Cuando parámetros tales como el voltaje, corriente y temperatura están fuera de los valores tolerables,

el circuito desconecta la batería de la fuente, varía los ciclos de carga y descarga o genera alarmas para brindar protección.

Cuando se usa en aplicaciones para la reserva de energía: Los sistemas de gestión de la batería proveen a la red la última defensa contra los apagones y bajones de voltaje. El sistema de monitoreo de la batería no sólo vigila y protege a la batería, sino que también trabaja para prolongar la vida útil de esta y mantenerla a plena capacidad para cuando se necesite la energía.

Hay tres principales objetivos comunes de los Sistemas de Gestión de las baterías y son:

- Proteger las células o la batería de daños.
- Prolongar la vida de la batería.
- Mantener la batería en un estado en el que puede satisfacer los requisitos funcionales de la aplicación para la que fue especificada.

**Aplicaciones:** Es usada para monitorear las baterías y gestionar su uso.

### 2.3.3 CABLE MONITORING SYSTEM

El término principalmente es usado, como un aparato de medición en múltiples puntos a lo largo de la longitud de los cables para medir parámetros de operación de los cables. Estos parámetros proveen un método por el cual la condición del cable puede ser monitoreado por múltiples razones. Un ejemplo de estos dispositivos es el mostrado en la figura 22.

*Figura 22. CDR – Sistema de Monitoreo de cables de Alta Tensión.*



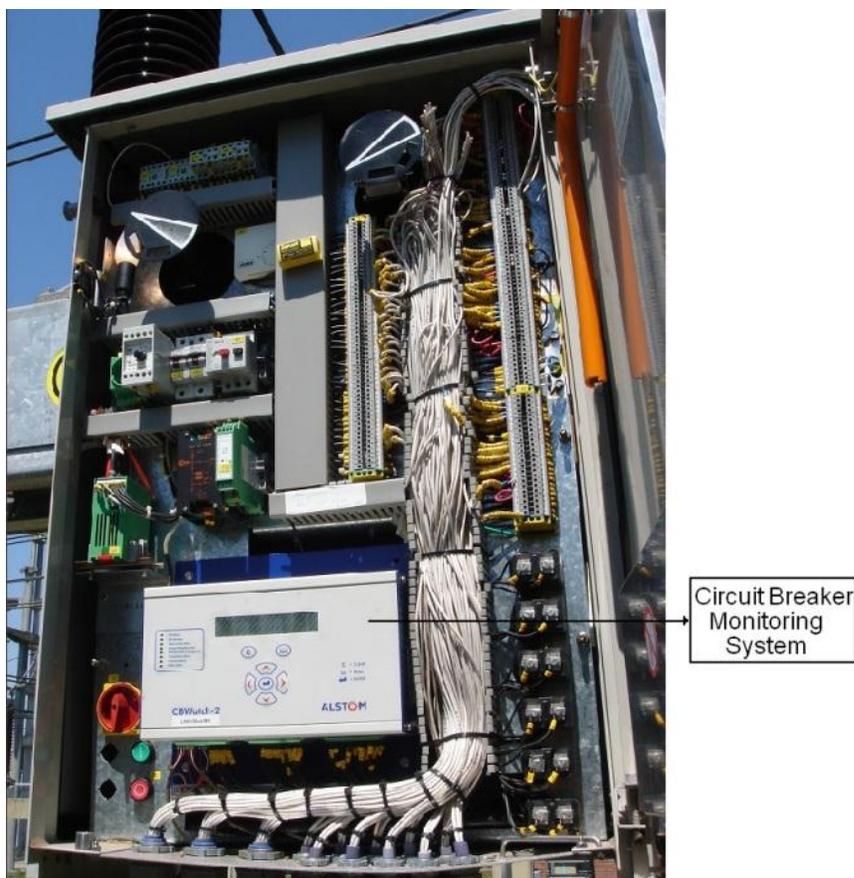
Fuente: <http://www.dimrus.com/production/cables/cdr.html>

**Aplicaciones:** Un sistema que se utiliza para monitorear y analizar el estado de los cables de alimentación.

### 2.3.4 CIRCUIT BREAKER MONITORING SYSTEM

Utiliza un aparato de medición en el breaker, a menudo de forma inalámbrica, para medir los parámetros del breaker y del circuito, de modo que cuando la corriente es interrumpida durante la operación normal, la condición del breaker se puede determinar para incrementar la seguridad del sistema. En la figura 23 se puede ver un sistema Alstom.

*Figura 23. Instalación del Circuit Breaker Monitoring System*



*Fuente: [www.alstom.com](http://www.alstom.com)*

**Aplicaciones:** Se utiliza para monitorear y analizar el estado de los interruptores de circuito.

### 2.3.5 CURRENT SENSOR

Es un dispositivo que detecta la corriente eléctrica (corriente alterna AC y corriente directa DC), en un sistema, y genera una señal proporcional a ella.

**Aplicaciones:** Supervisa las corrientes de varios componentes dentro de un sistema de potencia.

### 2.3.6 FIBER OPTIC SENSOR

Utiliza pulsos de luz a través de un medio de vidrio o fibra de plástico para las señales del proceso ya sea de un sensor conectado o como el elemento de detección real.

*Figura 24. TED Series Fiber Sensors*



*Fuente: [www.ctiautomation.net](http://www.ctiautomation.net)*

Cuando el sensor de fibra óptica se conecta con un sensor mecánico o eléctrico con una fuente de luz que puede producir señales para transmitir a lo largo de la fibra. En la figura 24 se observa un ejemplo de los sensores.

Cuando un sensor de fibra óptica se utiliza como el elemento real de detección está recogiendo una fuente de luz, que se mide directamente. En

ambos casos la señal de luz del sensor de fibra óptica puede ser transportada a lo largo del medio, con el uso de repetidores, a un lugar donde puede ser interpretada la señal.

**Aplicaciones:** Como un elemento de detección, midiendo propiedades de la luz, donde un sensor de fibra óptica utilizado en conjunto con un sensor mecánico o eléctrico puede medir cualquier propiedad mecánica o eléctrica.

### **2.3.7 INSTRUMENT TRANSFORMER**

Convierten las corrientes y voltajes a valores que los relays e instrumentos son capaces de tolerar. En este rango de valores son capaces de proteger los circuitos de medición de los sistemas de alto voltaje que se miden.

**Aplicaciones:** transformar variables de voltajes y corrientes a valores tolerables para los equipos de medidas.

### **2.3.8 OUTAGE MANAGEMENT SYSTEM (OMS)**

Es un sistema basado en la computación, para ayudar al restablecimiento de la energía a menudo permitiendo un arranque de la generación sin energía y brinda a los operadores los cálculos necesarios para restaurar el sistema (Black start).

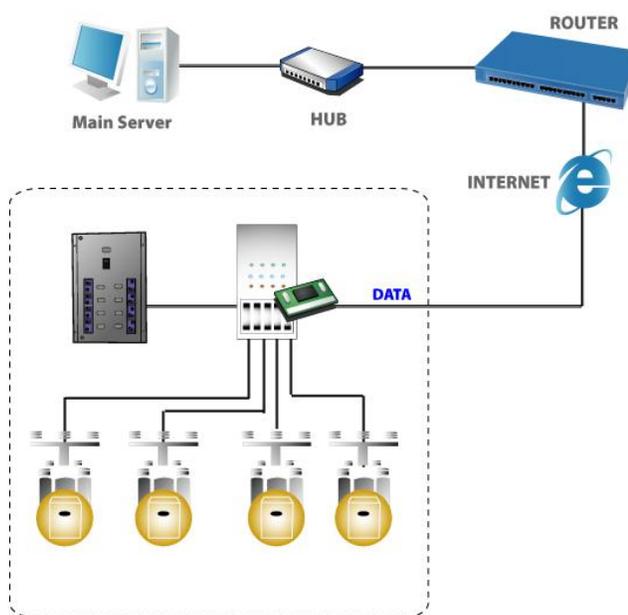
**Aplicaciones:** OMS es usado para apoyar el restablecimiento de energía, ayuda en los cálculos basados en el impacto de este, prioriza los esfuerzos para la restauración y ayuda a la predicción de la ubicación de algún fusible o interruptor que se haya abierto en caso de fallo.

### **2.3.9 POWER QUALITY MONITORING SYSTEM**

Se utiliza para medir el voltaje y corriente para determinar y gestionar la calidad de la energía del sistema. Ver figura 25.

**Aplicaciones:** Comprueba la calidad de la energía del sistema y realiza los ajustes necesarios para la protección del sistema.

Figura 25. Esquema del sistema de monitoreo de la calidad de la potencia



Fuente: [www.eztcp.com](http://www.eztcp.com)

### 2.3.10 SAG PROFILE AND VAR MONITORING SYSTEM

Puede controlar saltos de tensión y potencia reactiva a lo largo de la línea para administrar y aumentar la confiabilidad de la red y el desempeño del mercado.

**Aplicaciones:** Controlar el perfil de tensión del sistema.

### 2.3.11 TEMPERATURE MONITORING SYSTEM

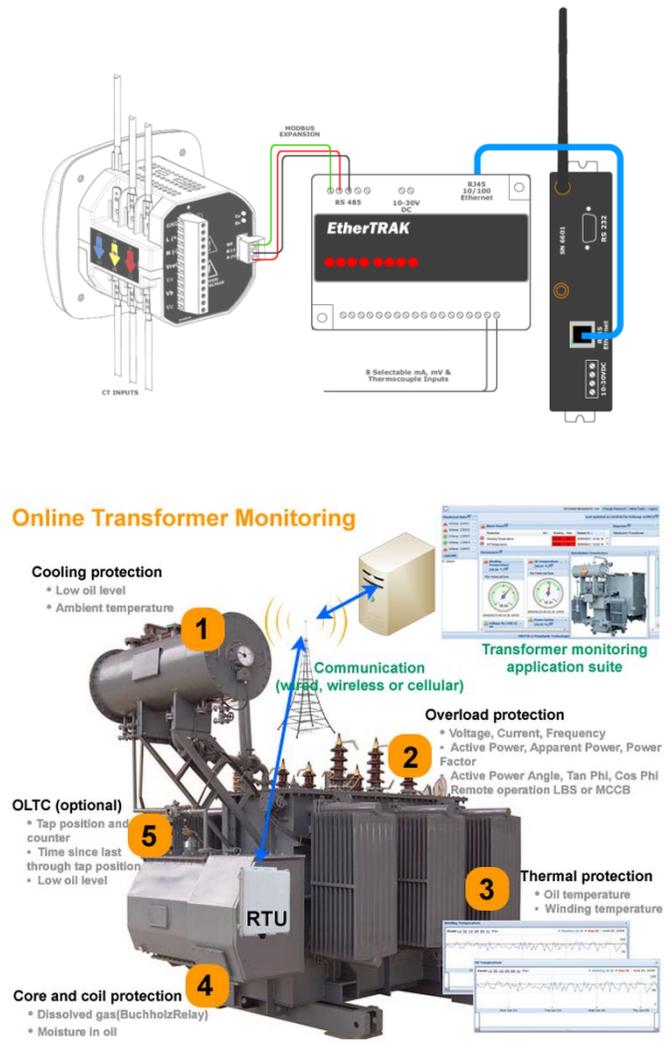
Un sistema de Monitoreo de temperatura controla la temperatura de los equipos (set point) para determinar si los consumos de energía están dentro de tolerancias aceptables para aumentar la fiabilidad del sistema.

**Aplicaciones:** Controlan la temperatura de los componentes múltiples dentro de un sistema de energía.

### 2.3.12 TRANSFORMER MONITORING SYSTEM

Puede supervisar diferentes aspectos de los transformadores, incluyendo los niveles de aceite y múltiples temperaturas dentro del transformador. Esto permite analizar la condición física de cualquier transformador de energía o múltiples transformadores conectados a la red. En la figura 26 se aprecia el sistema Ether TRAK de logic ladder.

Figura 26. Módulo de comunicación y Sistema de Monitoreo.



Fuente: [www.logicladder.com](http://www.logicladder.com)

**Aplicaciones:** Supervisa la condición de uno o más transformadores.

### **2.3.13 WIDE AREA MEASUREMENT SYSTEM (WAMS)**

Consiste en la tecnología de medición avanzada, herramientas de información, y la infraestructura operativa que facilitan la comprensión y el manejo de la conducta cada vez más compleja exhibida por los sistemas de energía de gran tamaño. En su forma actual, un WAMS puede ser utilizado como una infraestructura independiente que complementa sistema de control y supervisión de la red y sistema de adquisición de datos (SCADA). Como un sistema complementario, un WAMS está expresamente diseñado para mejorar el desempeño del operador en tiempo real que es necesario para el funcionamiento de red segura y confiable.

**Aplicaciones:** Utiliza una tecnología diferente para proporcionar la supervisión completa, protección y control del sistema de energía.

### **2.3.14 WIRELESS CONDITION MONITORING**

Utiliza la tecnología inalámbrica sobre los equipo de supervisión. Esto reduce la necesidad de usar cables físicos para las comunicaciones y reduce longitudes de cable sensores.

**Aplicaciones:** Se puede utilizar en cualquiera de los sistemas de supervisión, incluyendo, sistema de batería, cables, temperatura, interruptores de circuito, transformadores, control de sag y sistemas VAR para analizar las condiciones de los equipos.

## **2.4 INTERFACES MEJORADAS Y APOYO EN LAS DECISIONES**

Son "las tecnologías esenciales que deben ser implementadas, para que los operadores de red y administradores tengan las herramientas que se necesitan para el manejo eficiente de la red moderna. Mejoran la interfaz y el soporte tecnológico para la toma de decisión, convirtiendo el complejo sistema de potencia en datos e información que pueden ser entendidos por

los operadores en un vistazo. La animación, el contorno de color, realidad virtual, y otras técnicas de visualización de datos puede evitar las sobrecargas de los datos y ayudar a los operadores a identificar, analizar y actuar sobre los problemas emergentes”. Las más utilizadas en las redes Smart grid son:

- Consumer Gateway and Portal
- Distributed Energy Resources Controller
- Grid Friendly Appliance™ Controller
- Microgrid Control Software
- Power Distribution Analysis Software
- Power Transmission Analysis Software
- Real Time Digital Simulator (RTDS)
- Smart Appliance Interface (SAI) Unit
- System Visualization Software
- Universal Power Interface

#### **2.4.1 CONSUMER GATEWAY AND PORTAL**

Permite a los clientes interactuar con los servicios públicos, proporcionando información en tiempo real, así como la adopción de medidas para reducir el consumo de energía con el conocimiento sobre la dinámica de las tarifas eléctricas y los programas de respuesta a la demanda puestas en marcha por empresas de servicios públicos como parte de las iniciativas de redes inteligentes. Portales para consumidores, le permitirá leer sus dispositivos, como los contadores inteligentes, termostatos inteligentes, etc.

Los servicios públicos también se beneficiarán ya que al reducir la demanda de energía durante las horas pico, mejorará la eficiencia energética, lo que conduce a la satisfacción del cliente. Los consumidores también pueden estar al tanto de las ofertas y promociones por parte de empresas de servicios públicos, por ejemplo, un cambio de los precios de las tarifas.

**Aplicaciones:** Proveen apoyo en la gestión de software, mensajería o servicios de email, actualización en línea en la solución de problemas, fácil medio de almacenamiento, gestión de cuentas, herramientas de seguimiento de estado, acceso y gestión de archivos, copias de seguridad y opciones de restauración y mucho más.

#### **2.4.2 DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES CONTROLLER**

Arreglos de Plantas Fotovoltaicas en campos, parques eólicos etc., utiliza la tecnología computacional para actuar como interfaz para redes y protocolos, incorporar el control local de la generación, y coordinar la respuesta a la demanda de las cargas del sistema. Proporcionan un control de alto nivel para implementaciones fijas o portátiles de los recursos distribuidos.

**Aplicaciones:** Se utilizan en la medición y el control de la producción de electricidad a partir de los recursos energéticos distribuidos. Además, son esenciales en el equilibrio de la producción de energía y el consumo.

#### **2.4.3 GRID FRIENDLY APPLIANCE™ CONTROLLER**

El Controlador GFA sensa la condición de la red eléctrica mediante la frecuencia del sistema y automáticamente apaga los electrodomésticos durante unos pocos segundos o unos pocos minutos en respuesta a un evento de la red eléctrica. El controlador GFA es un circuito de dos por dos y media pulgadas, que se puede instalar en una amplia gama de electrodomésticos como refrigeradores, aires acondicionados, calentadores de agua, etc.

**Aplicaciones:** Permite que los aparatos respondan a las alteraciones en la red para despojarse de carga, por lo tanto, proporcionan la capacidad de respuesta a la demanda de los electrodomésticos. Los Controladores GFA podrían ayudar a estabilizar las redes de energía y evitar los cortes de la energía eléctrica, mediante la activación de encendido y apagado de los aparatos en diferentes momentos.

#### **2.4.4 MICRORED SOFTWARE CONTROL**

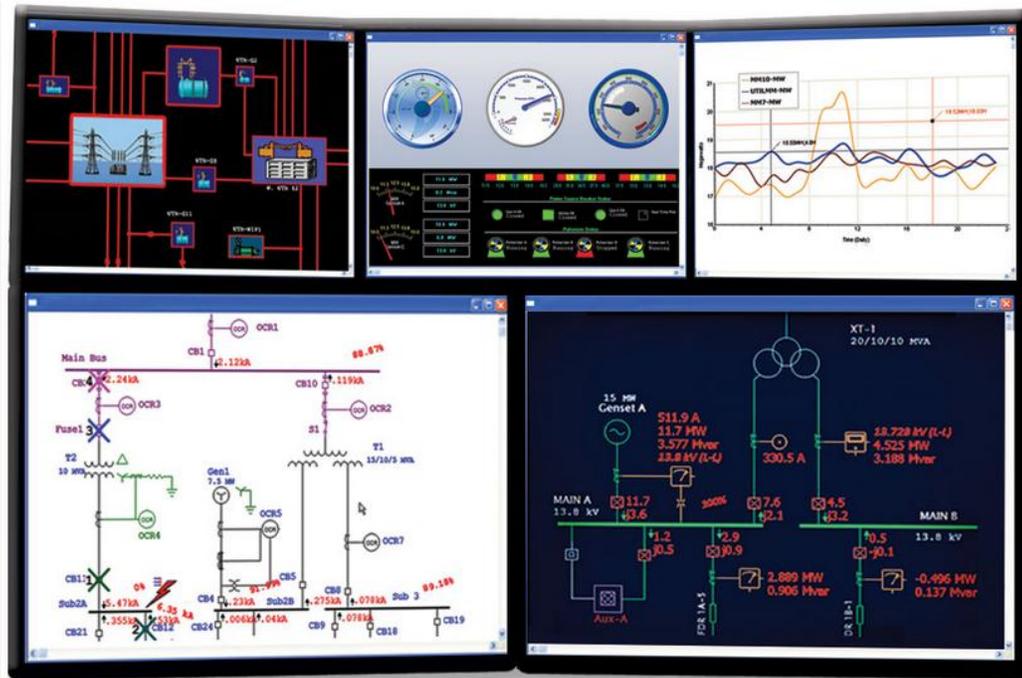
Está diseñado para administrar y controlar on-line las micro-redes y los sistemas de generación distribuidos en el sistema de potencia convencional, por ejemplo, la energía solar, las turbinas eólicas, baterías de almacenamiento, etc. Estas optimizan el consumo de energía, por que abastecen de energía al sistema desde múltiples lugares. Si nos centramos en un único objetivo tal como minimizar: el consumo de carbón, los picos de carga y el consumo de servicios públicos o una combinación de estos objetivos que varían en el tiempo, obtendríamos grandes beneficios que se verían reflejados en la reducción de costos, fuentes de energía confiables y una mejor conservación del ambiente.

**Aplicaciones:** Software de control de Micro-red pueden realizar el trabajo de un controlador maestro para el diseño de Smart Grid, el seguimiento y el comercio de electricidad. Asimismo, supervisar la calidad de la potencia de la micro-red, la utilización y la capacidad en tiempo real. Además, toda la información sobre las tarifas entre el servicio público eléctrico y la infraestructura Micro Grid, pueden ser seguidas con la ayuda de este tipo de software.

#### **2.4.5 POWER DISTRIBUTION ANALYSIS SOFTWARE**

Está diseñado para estudiar y simular el comportamiento de las redes de distribución eléctrica bajo diferentes cargas y condiciones de operación. El paquete por lo general incluye varias funciones necesarias para la planificación de la red de distribución, explotación y análisis. Las funciones de análisis, como el flujo de carga en cortocircuito, y la optimización se puede realizar en la red de distribución equilibrada o desequilibrada. En la imagen de la figura 26 se observa la apariencia de un software para Power Distribution Analysis.

Figura 26. Aplicaciones del Power Distribution Analysis Software



Fuente: <http://etap.com/smart-grid/smart-grid-distribution-network.htm>

**Aplicaciones:** simulación y análisis de flujos de potencia y caídas de tensión, estudio de fallas, ubicación óptima y dimensionamiento de condensadores, balanceo y asignación de carga, análisis de armónicos optimización en la ubicación de puntos de conmutación (tie-points), modelamiento de generación distribuida, servicios de restauración, análisis de contingencias, coordinación de protecciones y planificación de la red.

#### 2.4.6 POWER TRANSMISSION ANALYSIS SOFTWARE

Es un paquete que consta de herramientas para crear, configurar, personalizar y administrar los sistemas de transmisión de potencia basados en modelos que son muy similares a los sistemas de transmisión reales.

Las herramientas básicas del software permiten a los ingenieros crear fácilmente redes de tres fases y una fase de CA y CC, con un número

ilimitado de barras y elementos, incluyendo la instrumentación detallada y los componentes de conexión a tierra.

**Aplicaciones:** Se utiliza en múltiples aplicaciones, incluyendo los cálculos de flujo de potencia, análisis de fallas, simulaciones dinámicas, análisis de límite de transferencia, y modelos de fijación de precios.

#### **2.4.7 REAL TIME DIGITAL SIMULATOR (RTDS)**

Es un simulador de transitorios en tiempo real (totalmente digital).

**Aplicaciones:** se puede utilizar como una red virtual para realizar pruebas de la medición de la red inteligente, los controles, los sistemas de gestión y de apoyo a las decisiones de hardware / software.

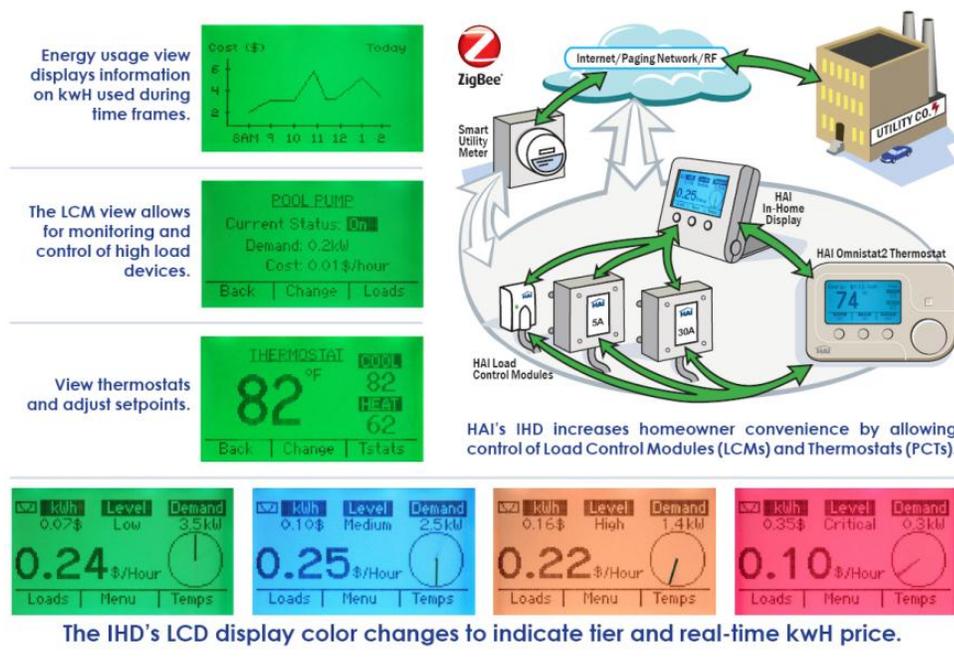
#### **2.4.8 SMART APPLIANCE INTERFACE (SAI) UNIT**

Es una unidad multifuncional diseñada para el consumidor en casa. El dispositivo de pantalla táctil se comunica usando ZigBee y Wi-Fi, con contadores, electrodomésticos y termostatos inteligentes, instalados en una casa.

El panel de la pantalla contiene información en tiempo real para que los dueños lo revisen en un formato que es muy fácil de usar. Los consumidores de energía puedan tomar decisiones informadas y re-ajustar su consumo de acuerdo a las fluctuaciones de precios de la energía durante todo el día.

**Aplicaciones:** Es una unidad que permiten la interconexión con un medidor inteligente en combinación con un programa time-based-pricing. También interactúan con electrodomésticos inteligentes, al reaccionar a las fluctuaciones de precios de la energía al instante. Adicionalmente, los consumidores mejoran la administración en el consumo de la energía sobre la base de la información en tiempo real. En la figura 28 se observa ejemplos de las aplicaciones.

Figura 28. Aplicaciones de las SAI



Fuente: [http://portlandwiki.org/The\\_Smart\\_Grid\\_in\\_Oregon](http://portlandwiki.org/The_Smart_Grid_in_Oregon)

## 2.4.9 SYSTEM VISUALIZATION SOFTWARE

Paquetes que habilitan las empresas de servicios a visualizar todo el sistema a través de una representación gráfica detallada y estar a sólo un clic de distancia. Ellos pueden ayudar al operador a tomar mejores decisiones al comparar el sistema en tiempo real, con uno simulado y con la información histórica de una manera fácil. También el operador puede identificar rápidamente algunas anomalías de la red y patrones sobre la vista, usando pantallas con mapas, colores, símbolos y animaciones.

**Aplicaciones:** Software de visualización del sistema que presenta al operador, una visión completa desde la simulación en un tablero, un diagrama de líneas, una vista de la subestación, de la zona y más, sobre una pantalla de PC. Además, estos pueden ayudar en la prevención y la gestión de los cortes con un simple portal.

#### **2.4.10 UNIVERSAL POWER INTERFACE**

Interfaz que usa una gran cantidad de lógica y puede transferir energía bidireccionalmente entre cualquier combinación de sus conexiones. Por ejemplo, el HEART TRANSVERTER HT2000 es un módulo de potencia que tiene dos conexiones de CC y dos conexiones de corriente alterna. En cada terminal DC se puede alimentar elementos entre los 10 y 50 voltios como baterías químicas, paneles solares, pilas de combustible, generadores DC de viento, alternadores, etc. Las conexiones AC son para redes, generadores y todas aquellas cargas de corriente alterna. Este sistema transvertidor incluye un panel de control remoto, que reporta la condición de todos los elementos conectados al sistema, permitiendo al usuario controlar el modo como es administrada la energía.

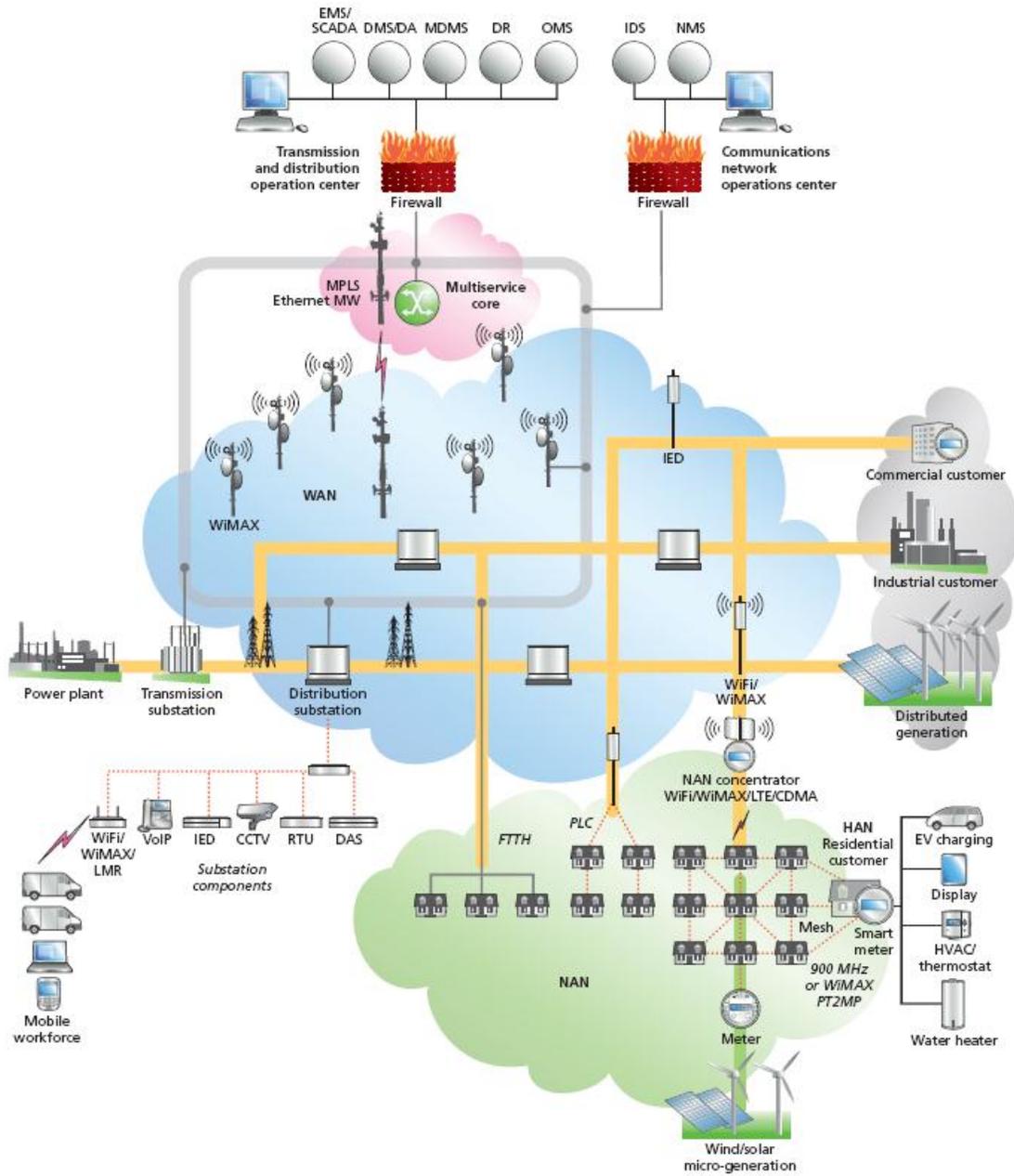
**Aplicaciones:** La interfaz de energía universal se puede utilizar para aumento de asistencia a la red, corrección automático del factor de potencia, capacidad de almacenamiento colectivo de energía, información en tiempo real y registro de datos.

#### **2.5 INTEGRATED COMMUNICATIONS**

De las cinco tecnologías claves que permiten el funcionamiento de las smart grid (ver capítulo 2) la implementación de las comunicaciones es una necesidad fundamental, requerida por las otras tecnologías y es esencial en el sistema de potencia moderno.

La integración de las comunicaciones crea, una infraestructura dinámica e interactiva, que maneja información en tiempo real y que permite a los usuarios interactuar con varios dispositivos electrónicos inteligentes en un sistema sensible, que requiere diversas velocidades por la diversidad de aplicaciones interconectadas. En la figura 29 se identifican varias tecnologías de comunicación y su localización en la red.

Figura 29. Diversas Tecnologías de la Comunicaciones en una Smart Grid



Fuente: [www.palindrometech.com](http://www.palindrometech.com)

Las tecnologías de las Comunicaciones más comunes en las Smart Grid son:

- Broadband Cable
- Broadband Power Line (BPL)
- Cellular (3G)
- Cellular (CDMA and TDMA)
- Digital Subscriber Line (DSL)
- Fiber-to-the-Home (FTTH)
- Integrated Digital Enhanced Network (IDEN)
- Internet Protocol (IPv4 and IPv6)
- IPv6 over Low power WPAN (6lowpan)
- Leased Lines & Dial-up
- Multiple Address (MAS) Radio
- Paging Network
- Power Line Communications (PLC)
- Radio Frequency Identification Devices (RFID)
- Spread Spectrum (SS) Radio Systems
- Three GPP (3GPP) Long Term Evolution (LTE)
- Very Small Aperture Terminal (VSAT)
- Wavenis Wireless
- Wi-Fi
- WiFiber
- Wireless Interoperability for Microwave Access (WiMAX)
- X10, UPB, INSTEON, Z-Wave, Zigbee for Home Automation
- ZigBee

### **2.5.1 BROADBAND CABLE**

Proporciona acceso a Internet banda ancha mediante la transmisión de datos a altas velocidades por las líneas de televisión o teléfono. La conexión requiere de un modem para transmitir los datos. El Cable de banda ancha a

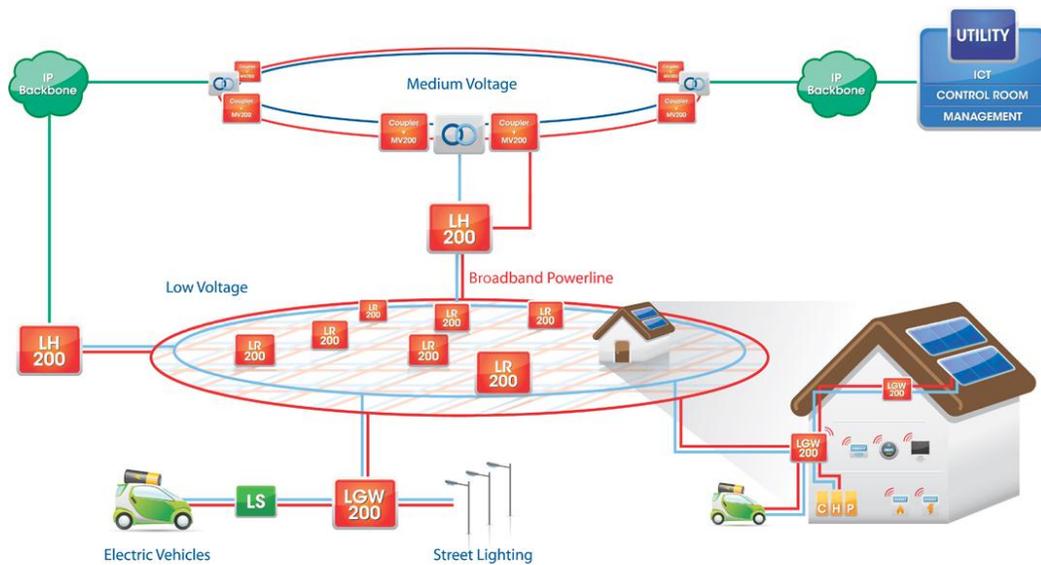
Internet ofrece un rango de velocidades entre 3 y 50 Mbps hasta por 100 millas. A medida que el número de usuarios que acceden a Internet aumenta la tasa de transferencia de datos disminuye.

**Aplicaciones:** El cable de banda ancha puede servir como un enlace de comunicación entre dispositivos domésticos, como los contadores inteligentes, y la empresa de servicios públicos. Además, el cable de banda ancha se utiliza para los servicios de domótica, seguridad en casa y en los sistemas de gestión de la energía.

### 2.5.2 BROADBANDPOWER LINE (BPL)

Es un tipo de comunicación a través de la línea eléctrica (PLC) capaz de ofrecer velocidades de datos significativamente mayores que los sistemas tradicionales PLC.

*Figura 30. Interacción de los BPL en la Smart Grid*



*Fuente: www.ppc-ag.de*

BPL es una tecnología que permite, la transmisión de datos a través de las líneas eléctricas de servicios públicos, mediante la modulación de ondas de alta frecuencia, con señales digitales de Internet. BPL típicamente ocupa el rango de frecuencias entre 0,5 MHz y 30MHz. En el hogar tienen el potencial de proporcionar una conexión simplificada a computadores y periféricos, y un costo rentable en el suministro de datos en la última milla. En la figura 30 se observa un ejemplo del uso de tecnología BPL. El uso del cableado existente en la red eléctrica reduce los costos y proporciona un acceso cómodo a la interconexión de banda ancha entre los dispositivos. Los BPL pueden alcanzar velocidades de transmisión de 20-400 Mbps. También es eficaz en distancias cortas, de hasta una milla, sin repetidores y en largas distancias de hasta decenas de kilómetros con repetidores.

**Aplicaciones:** BPL responde a algunas de las necesidades de comunicaciones de datos con la infraestructura de medición avanzada (AMI), la distribución automática (DA) y la respuesta a la demanda (DR). También puede servir en las subestaciones como supervisor remoto, control y adquisición de datos (SCADA), unidades de medición fasorial (PMU) en la transmisión de datos, vigilancia de la estación y proporcionar enlaces de alta velocidad de datos entre las subestaciones.

### **2.5.3 CELLULAR (3G)**

3G es la tercera generación de estándares de telefonía móvil según lo establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). La Norma inalámbrica 3G fue motivada por la necesidad de movilidad y la compatibilidad de Internet con las aplicaciones móviles, paquetes y circuitos de conmutación en la transmisión de datos y poder ofrecer velocidad de 144 kbps, 384 kbps y 2 Mbps en alta movilidad, baja movilidad y entornos fijos, respectivamente. La banda de frecuencia entre 400MHz a 3GHz es la técnicamente adecuada para 3G. 3G es un conjunto de tecnologías, incluyendo mejoras en las velocidades de datos en la Evolución de

GSM (GSM EDGE), el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS), High Speed Packet Access (HSPA) y Code Division Multiple Access (CDMA) 2000.

La tecnología celular trabaja en la reutilización de frecuencias. Una red celular consiste en grupos de células y cada célula tiene una estación base que se comunica con una Oficina de Conmutación Móvil (MSO), ya sea a través de líneas fijas o enlaces de microondas. El MSO está conectado a la red telefónica pública conmutada (PSTN). El tamaño de la célula depende de la densidad de abonados en la zona que va desde decenas de metros a cientos de metros.

**Aplicaciones:** La tecnología celular 3G se puede usar para bajar los costos en la automatización de las sub-estación con el fin de controlar y supervisar el rendimiento de estas, usando el servicio de mensajes cortos (SMS) en función de una red celular digital, sin embargo un SMS de una red celular digital no será capaz de proporcionar la calidad del servicio online de control y vigilancia que la subestación requiere.

#### **2.5.4 CELLULAR (CDMA AND TDMA)**

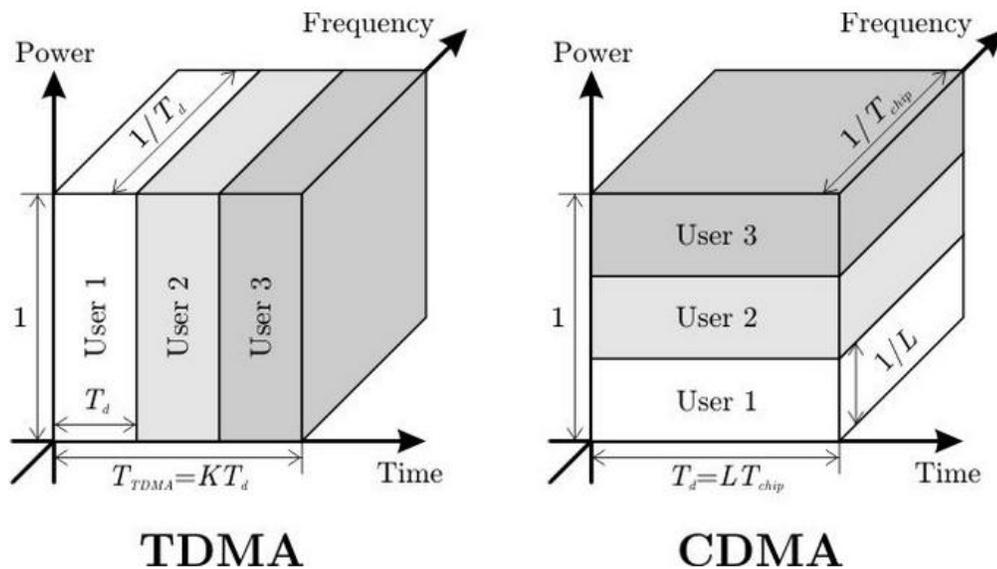
Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) es un método dinámico de acceso al canal que se basa en la IS-95 desarrollado por la ANSI y TIA Asociación industrial Acreditada de Telecomunicaciones. En un sistema CDMA, la tecnología de espectro ensanchado o esquema especial de codificación, que se emplean para permitir que varios usuarios puedan ser multiplexados sobre en el mismo canal físico. El receptor conoce el código correcto de propagación y es capaz de detectar fácilmente la señal deseada.

La señal de cada usuario será de baja potencia y será vista por otros como ruido de fondo. Por lo tanto, siempre que la potencia total del ruido (es decir, interferencia multi-usuario) sea inferior a un umbral, es posible detectar la señal deseada utilizando el código de propagación usada para

codificar la señal en el transmisor. Los nuevos usuarios pueden ser añadidos simultáneamente con el sistema en cualquier momento, siempre que la potencia total no cause interferencia multi-usuario. CDMA ofrece velocidad de datos de 64 kbps. Una de las ventajas de CDMA sobre TDMA es que puede utilizar el espectro de manera más eficiente. Ver figura 36.

Acceso Múltiple por división de tiempo (TDMA) es un método de acceso al canal por la división del medio, que permite a varios usuarios compartir la misma frecuencia. Esto puede lograrse dividiendo la señal en intervalos de tiempo diferentes, cada uno de los cuales está asignado a un solo usuario para transmitir la información de datos. Un usuario puede enviar un archivo de datos grande dentro de las ranuras de los marcos de tiempos periódicos. Ver figura 31.

Figura 31. Multiplexación TDMA y CDMA



Fuente: <http://computer.howstuffworks.com/bpl3.htm>

Los datos de un usuario siempre son ubicados en el mismo momento para una ranura de tiempo en una trama, de modo que en el receptor toda la

información de esta porción, puede ser recogida y agregada para formar el paquete original que se transmitió. TDMA se usa en los sistemas digitales 2G de los sistemas celulares, satelitales y para combatir a los sistemas de radio. En la técnica TDMA, los intervalos de tiempo son fijos y asignado a un solo usuario durante todo el período de las comunicaciones. Esto garantiza la calidad del servicio, pero es ineficiente en la utilización del espectro, especialmente con el aumento exponencial de los usuarios. TDMA ofrece velocidad de datos entre 64-120 kbps.

**Aplicaciones:** Actualmente CDMA es la tecnología preferida en todo el mundo y está disponible en combinación con la tecnología 3G. El estándar G.hn para cables de redes se basa en la tecnología TDMA.

### **2.5.5 DIGITAL SUBSCRIBER LINE (DSL)**

Línea de abonado digital (DSL) ofrece transmisión de datos digitales a través de las líneas telefónicas. Las conexiones DSL están dedicadas punto a punto a los circuitos que siempre están conectados y los que no necesitan conexión telefónica. La línea telefónica se utiliza para transmitir la voz y los datos requeridos para Internet, y estas son mantenidas por separado. Un módem ADSL se conecta al computador y la línea telefónica en el lado del suscriptor. Un DSL multiplexor sobre el lado del proveedor del servicio tiene múltiples peticiones de los usuarios y los envía a través de la una única conexión a internet. Hay diferentes tipos de servicios DSL que van desde velocidades de 16 kbps a 52 Mbps. Ver figura 32.

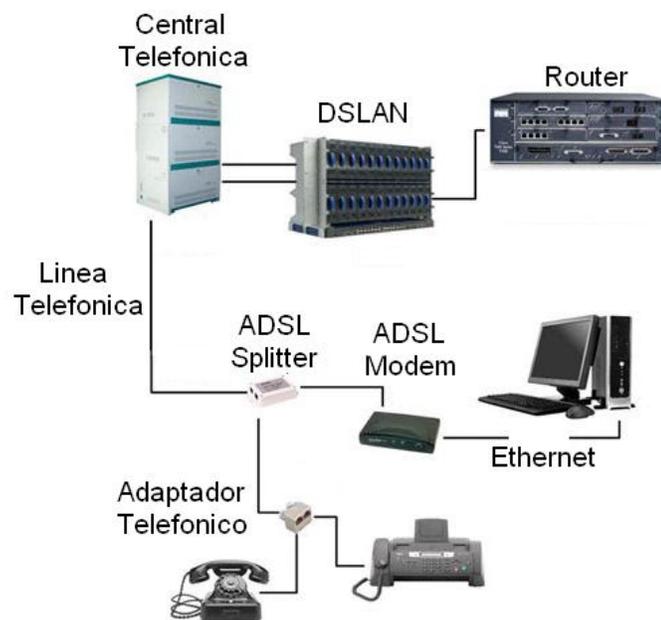
Por ejemplo:

- DSL de alta velocidad (HDSL) soporta velocidades de datos de 1,544 Mbps a una distancia de 3,6 km.
- DSL asimétrico (ADSL) tiene un rango de velocidades de bajada dependiendo de la distancia. Para un máximo de 9000, 12000, 16000, 18000 pies, la velocidad es de 8,448, 6,312 (DS2), 2.048 (E1) y

1.544 (T1) Mbps, respectivamente. Las velocidades de subida van desde 16 Kbps a 640 Kbps.

- DSL de muy alta velocidad de datos DSL (VDSL) con velocidades de bajada espera que estén a 12.96 (1/4 STS1), 25.82 (01.02 STS-1) y 51.84 (STS-1) Mbps para pies4500, 3000 y 1000 de alambre respectivamente. Velocidades de subida dentro de un rango sugerido de 1,6 Mbps a 2,3 Mbps.

*Figura 32. Esquema DSL*



*Fuente: [www.guaadaa.blogspot.com](http://www.guaadaa.blogspot.com)*

**Aplicaciones:** DSL ofrece principalmente una red de retorno para los datos de redes inteligentes de viviendas a los servicios públicos.

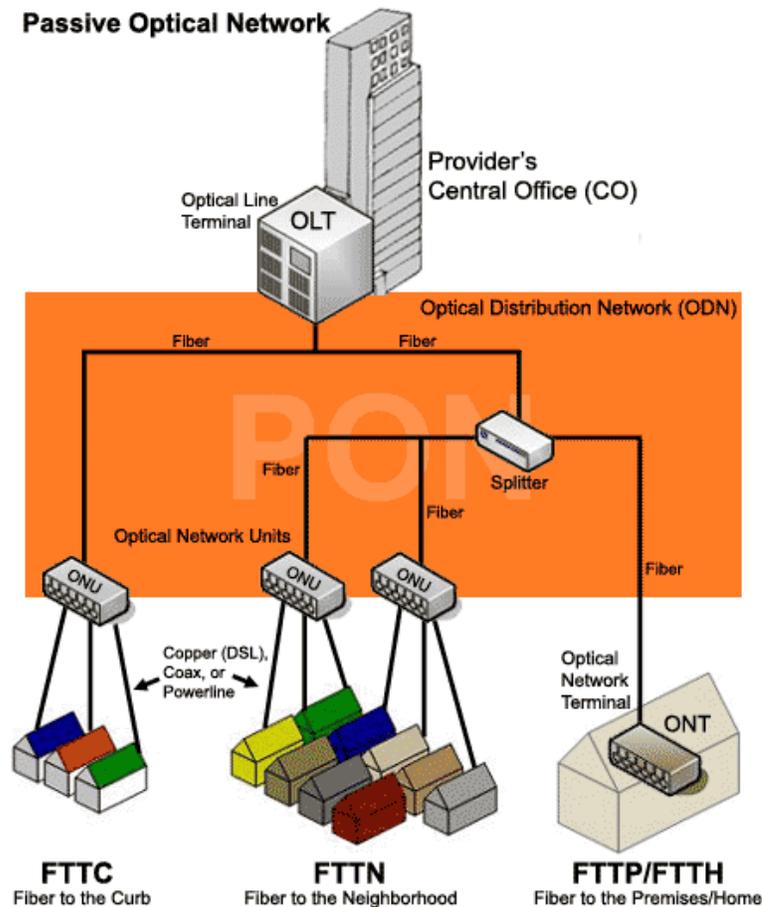
### 2.5.6 FIBER-TO-THE-HOME (FTTH)

Fibra hasta el hogar (FTTH) es también conocida como fibra hasta las instalaciones (FTTP) o fibra hasta el edificio (FTTB). FTTH puede prestar un

servicio mucho más rápido que el cable convencional, ya que utiliza la luz para transmitir información.

Su arquitectura de red está basada en cualquiera de las redes ópticas activas (AONs) o redes ópticas pasivas (PON). Una AON es una fibra punto a punto en la arquitectura de red local, que utiliza equipos accionados eléctricamente de conmutación para distribuir y gestionar la señal. Un PON es una fibra punto a multipunto en la arquitectura de la red, que utiliza splitters ópticos para separar y reunir las señales ópticas a medida que avanzan a través de la red.

*Figura 33. Instalaciones FTTC, FTTN y FTTH*



*Fuente: [www.iptvinformation.net](http://www.iptvinformation.net)*

La principal tecnología FTTH se basa en la arquitectura PON. El equipo PON en el extremo principal u oficina central (CO) es una interfaz en la red telefónica conmutada pública (PSTN) usando DS-1 y está conectado a las interfases ATM o Ethernet. Las señales eléctricas recibidas son convertidas en señales ópticas y se combinan en una sola fibra y se transmite al usuario final a través de un divisor óptico pasivo que divide la única fibra hasta 128 veces. La señal se entrega al usuario a través de una única fibra que puede ser de hasta 3000 pies. La señal óptica se convierte a continuación en señal eléctrica mediante convertidor óptico eléctrico (OEC), dividiendo la señal en los servicios requeridos por el usuario final. Ver figura 33.

FTTH proporciona típicamente 30-100 Mbps de servicio, pero debido a las características inherentes de la fibra óptica FTTH literalmente podría proporcionar ancho de banda infinito. Las Normas de transmisión utilizados en las redes FTTH se basan en el modo de transferencia asíncrono (ATM) y Tecnologías de Ethernet.

**Aplicaciones:** FTTH encuentra su uso en el transporte dinámico y confiable de información en tiempo real como las señales de precios en tiempo real dentro de la red inteligente. FTTH también es compatible con Advanced Metering Infrastructure (AMI) y datos de medición de gestión de sistemas (MDM).

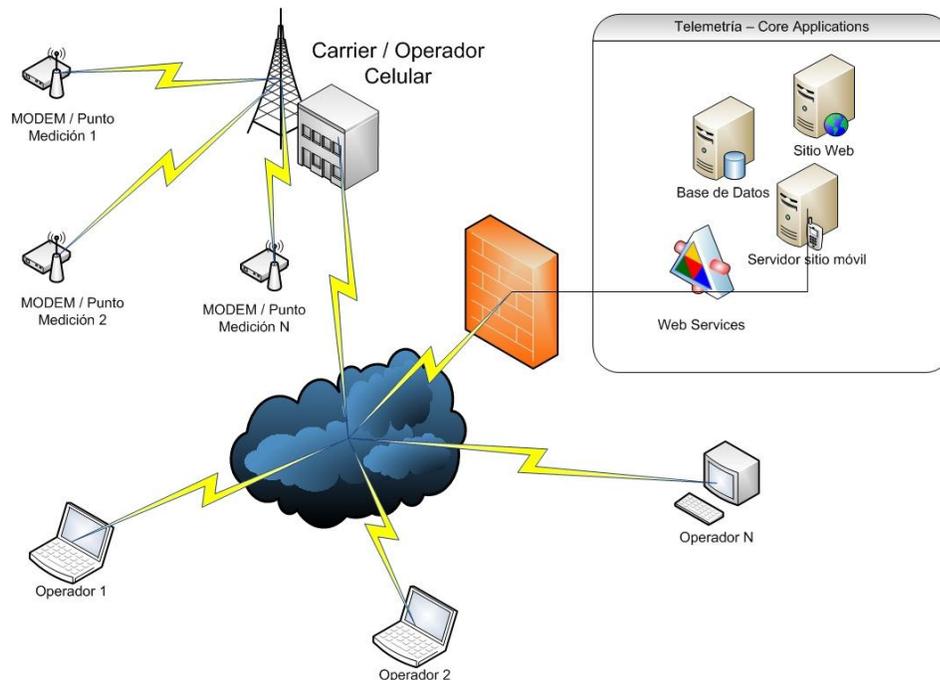
### **2.5.7 INTEGRATED DIGITAL ENHANCED NETWORK (IDEN)**

Es una tecnología inalámbrica que presentó Motorola en 1994. IDEN usa Time División Múltiple Access (TDMA) para colocar a más usuarios en el espacio espectral en comparación con los celulares analógicos de dos vías y sistemas de radio. IDEN es compatible tanto con los datos (buscapersonas y mensajes de texto) y las comunicaciones de voz. Operando en las bandas entre los 800 MHz y 1,5 GHz basado en TDMA, IDEN entrega 64 kbps en un canal de 25 KHz que ocupa 20 KHz sólo para proporcionar protección contra la interferencia a través de las bandas de

resguardo. Cada canal es compartido por seis usuarios para transmitir cualquier combinación de voz, datos y mensajes de texto. Sprint Nextel es un gran proveedor de servicios IDEN en los EE.UU. En la gráfica 34 se observa un ejemplo de la topología IDEN.

**Aplicaciones:** IDEN se utiliza para transmitir datos desde y hacia los contadores inteligentes de energía a las empresas de servicios públicos como es el caso de los contadores de energía avanzados, desarrolladas conjuntamente por Trilliant y Motorola iDEN ® basado en soluciones de comunicaciones.

Figura 34. Esquema Tecnología IDEN



Fuente: Fuente: [www.palindrometech.com](http://www.palindrometech.com)

## 2.5.8 INTERNET PROTOCOL (IPV4 AND IPV6)

Es una conexión entre el protocolo operativo de la red, a través de una red heterogénea que es una combinación de Ethernet, Asynchronous Transfer

Mode (ATM), Fiber Distributed Data Interface (FDDI), Wireless Fidelity (WiFi), Integrated Services Digital Network (ISDN) y otros. Los datos de un protocolo de capa superior se encapsulan en forma de paquetes o datagramas. El paquete consta de un encabezado y los datos del mensaje en sí. Cada equipo en Internet tiene un número de identificación único llamado dirección de Protocolo de Internet (IP). Con base en estas direcciones, los router permiten que los paquetes viajen entre las redes, dirigiéndolos a su destino.

#### Protocolo de Internet versión 4:

IPv4 es la cuarta versión del protocolo de Internet para su uso en la conmutación de paquetes en la capa de enlace como Ethernet. La dirección de IPv4 es de 32-bit de ancho dividida en cuatro bytes, con  $2^{32}$  únicas direcciones. Algunas de las direcciones son reservadas para redes privadas o direcciones de multidifusión. La dirección IP se divide en dos secciones: Net y Host. El octeto más significativo se utiliza para la identificación de la red y el resto es para identificación del host.

#### Protocolo de Internet versión 6:

IPv6 ha sido diseñado para satisfacer las necesidades que no existían cuando IPv4 se concibió por primera vez. Los principales cambios de IPv6 son: (1) una extensión de la dirección IP de 32 bits (IPv4) a 128 bits (IPv6) para permitir más nodos direccionables, (2) el flujo del etiquetado, (3) la simplificación del encabezado; y (4) más apoyo para las extensiones y las opciones. Soporte en la seguridad de servicios como la autenticación y la encriptación de mensajes, son también necesarias para cualquier implementación de IPv6. Las ventajas incluyen las siguientes: IPv6 ha aumentado el espacio de direcciones y tiene muchas mejoras en áreas tales como el enrutamiento de red y la auto-configuración automática mientras que las desventajas son que, debido a la gran inversión ya realizada en IPv4, y los escasos beneficios adicionales de IPv6, Esta última versión no se ha aplicado ampliamente todavía.

**Aplicaciones:** El Protocolo de Internet provee soporte para la funcionalidad de múltiples proveedores y también ofrece una infraestructura abierta, común, un lenguaje interoperable para los dispositivos y medios de comunicación que funcionan en el entorno de la red inteligente.

### **2.5.9 IPV6 SOBRE WPAN DE BAJA POTENCIA (6LOWPAN)**

6LoWPAN es un acrónimo de IPv6 sobre las redes inalámbricas de bajo consumo de energía en áreas personales. 6LoWPAN consume muy baja potencia, la velocidad del enlace se encuentra en el rango de 20-250 kbps, y opera en las bandas de frecuencia entre los 900 y 2400 MHz. Mediante la introducción de una capa de adaptación entre el enlace de la pila IP y las capas de red, permite la transmisión eficiente de los datagramas IPv6 sobre enlaces IEEE 802.15.4 reduciendo dramáticamente los gastos indirectos del IP. IEEE 802.15.4 es ampliamente utilizado en aplicaciones embebidas que requieren numerosos nodos de bajo costo que se comunican a través de múltiples saltos para cubrir grandes áreas geográficas y en funcionamiento sin vigilancia durante años en las baterías modestas. 6LoWPAN se puede conectar a otras redes IP, por lo que la conectividad se proporciona a través de enlaces arbitrarios como Ethernet, Wi-Fi, GPRS y satélite.

**Aplicaciones:** 6LoWPAN permite bajo consumo de energía en dispositivos inalámbricos que trabajan sobre la IEEE 802.15.4, Wi-Fi, dispositivos de Ethernet, y un sin número de otras tecnologías. En otras palabras, se convierte 6LoWPAN IEEE 802.15.4 en el siguiente enlace habilitado para IP.

### **2.5.10 LEASED LINES & DIAL-UP**

Una línea dedicada es un contrato de servicio entre un proveedor y un cliente, mediante el cual el proveedor se compromete a entregar una línea simétrica de telecomunicaciones que conecta dos o más lugares a cambio de una renta mensual. Se conoce a veces como un "circuito privado" o "Línea de Datos" en el Reino Unido. A diferencia de las tradicionales líneas PSTN

que no tienen un número de teléfono, las líneas arrendadas pueden utilizarse para telefonía, datos o de servicios para Internet. Algunos son servicios ring down, y algunos para conectar a dos PBX .Por lo general, las líneas arrendadas son utilizadas por las empresas para conectar oficinas distantes geográficamente. A diferencia de las conexiones de marcación, una línea dedicada siempre está activa. El costo de la conexión es una tarifa fija mensual. Los principales factores que afectan la cuota mensual son la distancia entre los puntos extremos y la velocidad del circuito. Debido a que la conexión no lleva ninguna información adicional, el proveedor puede asegurar un nivel de calidad.

Una línea de Internet arrendado es un producto de conectividad a Internet de alta calidad, entregado a través de fibra normalmente, que se dedica y proporciona velocidades simétricas, full dúplex.

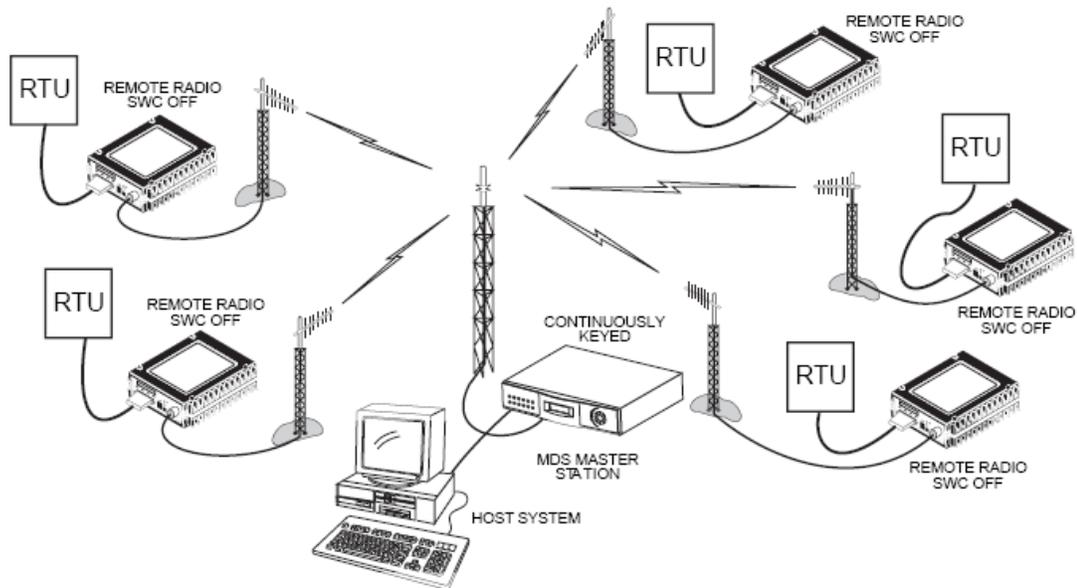
**Aplicaciones:** Las líneas arrendadas y redes de acceso telefónico proporcionan conexiones rápidas a diversas instalaciones y dispositivos que de otro modo no se puede llegar en una red estructurada.

### **2.5.11 MULTIPLE ADDRESS (MAS) RADIO**

Es el medio de comunicación preferido para el control, supervisión adquisición de datos (SCADA) y automatización de la distribución (DA) de las comunicaciones por radio. Un sistema típico de radio MAS consta de una estación maestra y varias estaciones remotas. La estación maestra se conecta a un controlador de adquisición de datos, ya sea directamente, a través de un enlace dedicado de una línea fija o inalámbrica. Cada estación de radio remoto se conecta a una unidad recolectora de datos como Unidad Terminal Remota (RTU), Controlador Lógico Programable (PLC) o Dispositivo Electrónico Inteligente (IED). Un Radio MAS es un sistema de un solo canal que la unidad principal utiliza para comunicarse con múltiples unidades remotas de estaciones de radio. La unidad maestra siempre está lista para transmitir y recibir, para prevenir retrasos debido a la codificación

del transmisor. Cada unidad de control remoto tiene una dirección única y está siempre en el modo de escucha. Para grandes zonas de servicio, las unidades maestro son necesarias para cubrir grupos de unidades remotas. Cada enlace cubre normalmente de 15 km que se puede ampliar mediante el uso de repetidores. La velocidad de datos es de 4,8 kbps y se puede aumentar a 9,6 kbps, pero reduce la cobertura. La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) permite que el ancho de banda de canal de 12.5 kHz, que limita la expansión y la capacidad de actualización del sistema de radio del MAS. En la figura 35 se muestra la topología de la tecnología MÁS.

*Figura 35. Tecnología Múltiple Address Radio*



*Fuente: Fuente: [www.palindrometech.com](http://www.palindrometech.com)*

**Aplicaciones:** Es el medio de comunicación preferido utilizados ampliamente por las empresas de sistemas SCADA y DA. Además, la radio del MÁS es también ampliamente utilizado para las comunicaciones de datos en el seguimiento de las vías férreas, la vigilancia de tuberías con agua, gasolina, gas y el monitoreo de sistemas de aguas residuales.

### 2.5.12 PAGING NETWORK

Es un sistema de radio unidireccional que proporciona los medios para enviar una señal de alerta o un mensaje corto a un localizador. Una variedad de tecnologías, incluyendo microondas y por satélite, se puede utilizar para proporcionar servicios de búsqueda, aunque muchos sistemas de localización siguen siendo de propiedad o con licencia, los ejemplos de las normas existentes incluyen la oficina de códigos de correos Standard Advisory Group (POCSAG) y European Radio Messaging System (ERMES).

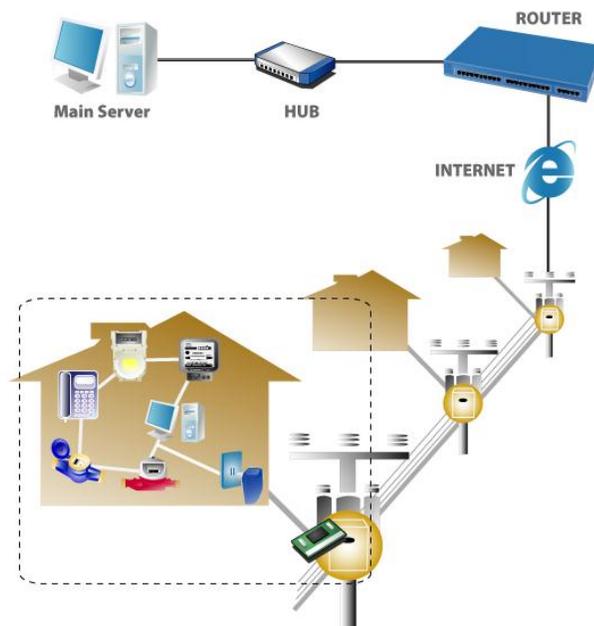
El mensaje puede ser una señal de tono, numérico o alfanumérico, o una cadena binaria transparente. El paging network no tiene un conocimiento preciso de la ubicación del localizador, por lo tanto, el mensaje mismo se envía a una gran área geográfica, en cuanto a un transmisor se refiere, a la torre de RF que transmite mensajes a través de una área más amplia (25-30 millas de radio) que los transmisores celulares, a fin de proporcionar grandes áreas de cobertura con transmisiones confiables. El mismo mensaje debe ser enviado por varias o por todas las estaciones base simultáneamente alrededor de la zona. Cada mensaje se agrega como prefijo con una dirección electrónica llamada Código de Radio Identidad (RIC), que coincide con el localizador. Cuando el localizador recibe la RIC, alerta y muestra el mensaje.

**Aplicaciones:** Además de enviar señales de alerta o mensajes cortos a los terminales remotos o móviles, un sistema de paging networks ampliamente utilizado para realizar el control de carga, control de bancos de condensadores, alimentación y distribución de control de dispositivos, y la prestación de servicios de notificación de interrupción. De igual forma, este sistema también puede proporcionar enlaces de comunicaciones de baja velocidad hasta las subestaciones.

### 2.5.13 POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC)

También conocido como Power Line Carrier, es un sistema de transmisión de información sobre un conductor eléctrico destinado al transporte de energía eléctrica sobre las líneas de alta tensión, líneas de distribución, así como a las líneas de bajo voltaje utilizados en el interior de edificios. Todos los sistemas PLC operan mediante la aplicación de una señal portadora modulada en el sistema de cableado eléctrico existente. Hay diversos tipos de comunicaciones de línea eléctrica, dependiendo de las bandas de frecuencia utilizadas. Ver figura 36.

*Figura 36. Tecnología Power line Communications (PLC)*



*Fuente: [http://www.eztcp.com/en/applications/powerline\\_comm\\_en.php](http://www.eztcp.com/en/applications/powerline_comm_en.php)*

Un buen ejemplo de PLC que utiliza la comunicación de alta frecuencia (rango MHz) es la banda ancha sobre líneas eléctricas (BPL). BPL emplea PLC para proporcionar datos de banda ancha y servicios de voz a través del uso de las líneas eléctricas existentes. Típicamente los servicios BPL operan

mediante la modulación en una onda portadora de entre 1,6 y 80 MHz en las líneas eléctricas.

PLC se ha utilizado, con modulación de frecuencia media (kHz), para la medición a distancia e información. Las aplicaciones son por ejemplo, para empresas de servicios públicos para controlar y llevar a cabo la telemetría de los equipos eléctricos tales como medidores (AMR), SCADA, gestión de la demanda de energía y sistemas de monitoreo de la calidad. PLC también puede ser utilizado para la automatización del hogar, por ejemplo, para la iluminación y control de equipos de forma remota.

**Aplicaciones:** PLC puede ser usado para proveer acceso a Internet de banda ancha para el hogar, de telemetría remota y automatización del hogar. PLC es una de las tecnologías que se utilizan en la infraestructura de sistemas de medición avanzada (AMI).

#### **2.5.14 RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION DEVICES (RFID)**

Ciertas aplicaciones del sistema smart grid, pueden trabajar con etiquetas de identificación para dispositivos de radiofrecuencia (RFID). Las etiquetas ya están en uso en la mayoría de las tiendas al por menor, para realizar un seguimiento de la identificación, ubicación y especificaciones de productos, tales como precio, fecha de compra, etc. En un sistema RFID, un objeto está equipado con una etiqueta, que contiene un chip de memoria digital que se le asigna un código electrónico único. El lector RFID puede leer y escribir datos en la etiqueta, mediante la emisión de una señal para activarla. No existe un organismo mundial que rija el uso de las frecuencias para RFID. Los sistemas de baja frecuencia (30 kHz - 500 kHz) tienen un alcance de transmisión cortos, menos de 6 pies. Los sistemas de alta frecuencia (850 MHz-950 MHz y 2,4 GHz-2.5) tienen un mayor alcance de transmisión, más de 90 pies.

**Aplicaciones:** En el entorno de red inteligente, la tecnología RFID se puede utilizar para realizar un seguimiento de los medidores inteligentes, para la

gestión de activos así como el rastreo de los recursos energéticos distribuidos "o aparatos de información de identificación. Por ejemplo:

- Información sobre bancos de baterías, es decir, la cantidad de vida útil restante, fecha, hora, ubicación de la última recarga, etc.
- Monitoreo del PHEV información de carga, es decir lugar donde fue recargado el PHEV, así como el tiempo que estuvo conectado a la fuente de alimentación.

### **2.5.15 SPREAD SPECTRUM (SS) RADIO SYSTEMS**

Es una técnica de modulación empleada en telecomunicaciones para la transmisión de datos digitales, por radio frecuencia. La configuración del sistema de radio SS, que comprende un maestro y radios a distancia, es muy similar al sistema de radio MÁS. Estas señales pueden ser configuradas por un módem SS punto a punto, punto a multipunto, en modo de emisión, y como repetidor. El fundamento básico es el "ensanchamiento" de la señal a transmitir a lo largo de una banda muy ancha de frecuencias, mucho más amplia, de hecho, que el ancho de banda mínimo requerido para transmitir la información que se quiere enviar. No se puede decir que las comunicaciones mediante espectro ensanchado son medios eficientes de utilización del ancho de banda. Sin embargo, rinden al máximo cuando se los combina con sistemas existentes que hacen uso de la frecuencia.

**Aplicaciones:** Al igual que en el sistema de radio MAS, el sistema de SS radio se puede utilizar para el control, supervisión y adquisición de datos (SCADA) y aplicaciones en la automatización de la distribución (DA).

### **2.5.16 THREE GPP (3GPP) LONG TERM EVOLUTION (LTE)**

Es una generación de alto rendimiento para la interfaz de comunicación de la tecnología móvil celular. Es un proyecto de la 3rd Generation Partnership Project (3GPP). LTE se cataloga como tecnología 4G, ofrece mayor ancho de banda, menor costo y permite muchos servicios multimedia. LTE,

teóricamente, puede ofrecer hasta 326 Mbps en descarga y hasta 226 Mbps en el enlace ascendente.

Aquí se mencionan algunas características:

### **Rendimiento Superior**

- Mayores velocidades de datos en la descarga hasta los 100 Mbps y velocidades de carga hasta 50 Mbps, LTE enfrenta mayores requisitos de exigencias en las aplicaciones actuales y futuras.
- Baja latencia (suma de los retardo en la red) útil para aplicaciones en tiempo REAL y aplicaciones interactivas, como VoIP y juegos en línea. LTE ofrece una latencia en el rango de 10-20 ms de ida y vuelta, mejorando el tiempo de respuesta de la red entre el 50-200% en comparación con las redes 3G más avanzadas.

### **Menor Costo**

- Requerimiento de las BTS para hacer frente a todas las necesidades de cobertura.
- Desarrollo acelerado e implementación de estaciones bases compactas, reducción de uso de tecnología cableada.
- Menores costos de instalación, con menos nodos para desplegar y administrar.
- La superior eficiencia de la red da como resultado menor consumo de energía, la reducción de respaldo de baterías, la reducción de los sistemas de ruido de refrigeración.

**Aplicaciones:** LTE puede servir como una plataforma de comunicación, para el envío de los datos energéticos de los medidores de los clientes para empresas de servicios públicos.

### **2.5.17 VERY SMALL APERTURE TERMINAL (VSAT)**

Es una estación de microondas pequeña que proporciona comunicaciones de dos vías a través de satélite. En los sistemas de VSAT se tiene acceso a los satélites en la órbita geoestacionaria, datos de terminales en tierra y en

otros centros, con esquemas de transmisión TDM / TDMA y CDMA (que se utiliza para una pequeña parte). El centro también realiza funciones de gestión de red. Un satélite puede cubrir casi un tercio de la superficie terrestre, que ofrece un amplio alcance que cualquier otra red terrestre puede lograr.

*Figura 37. Tecnología VSAT*



Fuente: <http://www.solarstorms.org/Quote8.html>

**Aplicaciones:** VSAT se utiliza en la industria de la electricidad para proporcionar interconexión un sistema SCADA entre las subestaciones remotas y la sede de SCADA. Ver figura 37.

### 2.5.18 WAVENIS WIRELESS

Wavenis wireless es una tecnología emergente que proporciona una comunicación inalámbrica de ultra-bajo consumo de energía y de largo alcance para las soluciones inalámbricas (M2M) de aplicaciones máquina a máquina. Wavenis soporta una variedad de configuraciones de red, desde el

simple punto a punto, hasta las estructuras de árbol avanzados con múltiples repetidores. Wavenis opera a nivel mundial en las bandas libres de licencia ISM. La mayoría de las aplicaciones Wavenis operan a 19.2 kbps. Wavenis tiene un alcance de hasta 200m.

**Aplicaciones:**

Muchos dispositivos basados en Wavenis se despliegan en aplicaciones de redes inteligentes. Estos incluyen, por ejemplo, aplicaciones remotas de telemetría, en infraestructura de medición avanzada (AMI), en lectura automática de medidores (AMR), monitoreo de medidor de servicios públicos, domótica y control de iluminación inteligente.

**2.5.19 WI-FI**

Wi-Fi, también conocido como Red Inalámbrica de Área Local (LAN), es la tecnología inalámbrica más común generalmente se utiliza para conectar un ordenador a Internet. Wi-Fi opera sobre la base de estándares IEEE 802.11. Los puntos de acceso son conocidos como hotspots los cuales son pequeñas, por lo que la cobertura es escasa. Un punto de acceso puede soportar 30 usuarios y puede funcionar dentro de un rango de 100-150 metros en interiores y hasta 300-500 metros al aire libre. En la figura 38 se aprecia la alta conectividad del Wi-Fi.

**Aplicaciones:** Wi-Fi puede servir como una plataforma de comunicación para dispositivos inteligentes, redes para el hogar, las redes vecinales, y la integración de redes de área extensa con una red eléctrica inteligente. Wi-Fi también se puede implementar en un entorno de la subestación para apoyar el funcionamiento de los sensores inalámbricos. Sin embargo, Wi-Fi requiere de encriptación para una mayor seguridad.

Figura 38. Tecnología WiFi



Fuente: <http://keloko03.blogspot.es/1259097360/>

### 2.5.20 WiFiber

Es la nueva tecnología de transmisión de datos que dice tener las ventajas de un sistema inalámbrico con la velocidad de la fibra óptica. Este sistema alcanza velocidades de 1 Giga por segundo, por lo que su potencial comprende diferentes tipos de aplicaciones. Los sistemas que antes habían tratado de aumentar la velocidad, utilizaban frecuencias en el orden de los Terahertz, un área muy cercana a la luz visible. En este caso, el inconveniente es que las condiciones ambientales, como la lluvia o la niebla, pueden alterar la transmisión de información. WiFiber explota parte diferente del espectro cerca de la luz visible, transmite en el rango de los 71-76GHz y 86GHz, de 81 bandas del espectro radioeléctrico, donde hay menos tráfico y este fenómeno no se presenta.

La velocidad alcanzada por la tecnología WiFiber es similar a la que provee la fibra óptica, pero como toda tecnología innovadora, ésta tiene desventajas. Por ejemplo, la Operación de WiFiber requiere línea de vista, en condiciones áridas alcanza distancias considerables de hasta 9 kilómetros, pero con lluvia sólo se despliega un kilómetro.

En todo caso, WiFiber no es capaz de reemplazar los grandes tendidos de fibra óptica que atraviesan océanos y países, pero si es una buena opción para entornos de negocios permitiendo enlazar sucursales y clientes, por ejemplo, en forma rápida, fácil, simple y económica.

**Aplicaciones:** WiFiber puede servir como una solución de última milla inalámbrica para sistemas de transmisión y distribución de comunicación, y de apoyo a las aplicaciones de sistemas AMI. También se puede utilizar para soportar aplicaciones WiFi para subestaciones o sistemas de distribución. WiFiber se puede implementar rápidamente (en un día) y es una solución mucho más rentable en comparación con su contraparte de fibra terrestre.

#### **2.5.21 WIRELESS INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WiMAX).**

Es el nombre dado al grupo de sistemas y tecnologías cubiertas por la norma IEEE 802.16, también llamada acceso inalámbrico de banda ancha. Tiene variantes que pueden operar en el punto-a-Punto (PTP), punto a multipunto (PMP). Esta utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz.

Es una tecnología dentro de las conocidas como tecnologías de última milla, que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costos por usuario muy elevados (zonas rurales).

**Aplicaciones:** WiMAX es una tecnología emergente para muchas aplicaciones de redes inteligentes. WiMAX, debido a su gran ancho de banda puede ofrecer la velocidad de comunicación rápida, se pueden utilizar para apoyar y proporcionar una infraestructura de back haul para la operación de los medidores inteligentes (AMI), servir como back bone para la comunicación de los sistemas de transmisión y distribución, soporte Wi-Fi

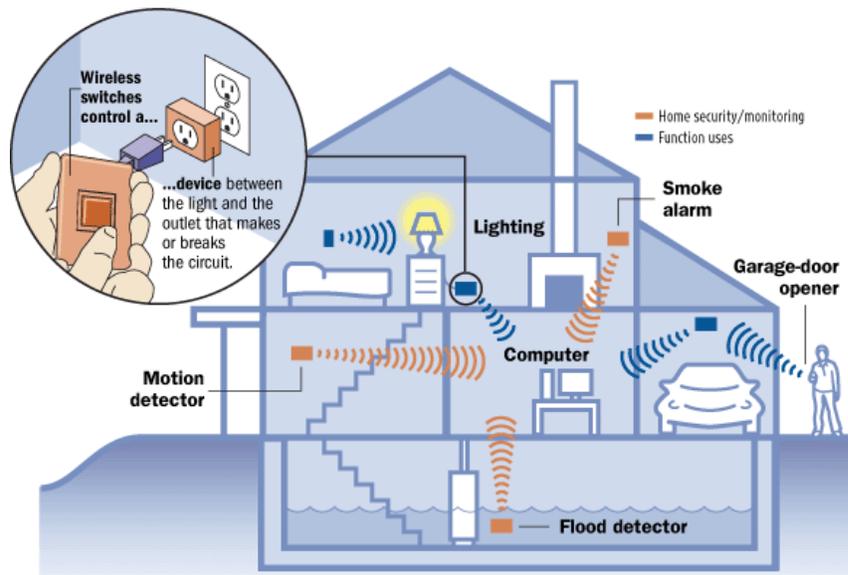
para aplicaciones de subestación o sistemas de automatización de la distribución.

### 2.5.22 ZigBee

Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal área network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

**Aplicaciones:** ZigBee es una tecnología cada vez más popular en los contadores inteligentes y algunos aparatos de administración de energía en un hogar. Puede proporcionar la automatización del hogar, seguimiento y control industrial, control de uso de la energía, gestión de la energía y la respuesta a la demanda. En figura 39 se muestra la tecnología.

Figura 39. Tecnología ZigBee



Fuente: <http://vijayraghavang.blogspot.com/p/zigbee-technology.html>

### **2.5.23 X10, UPB, INSTEON, Z WAVE EN LA DOMÓTICA.**

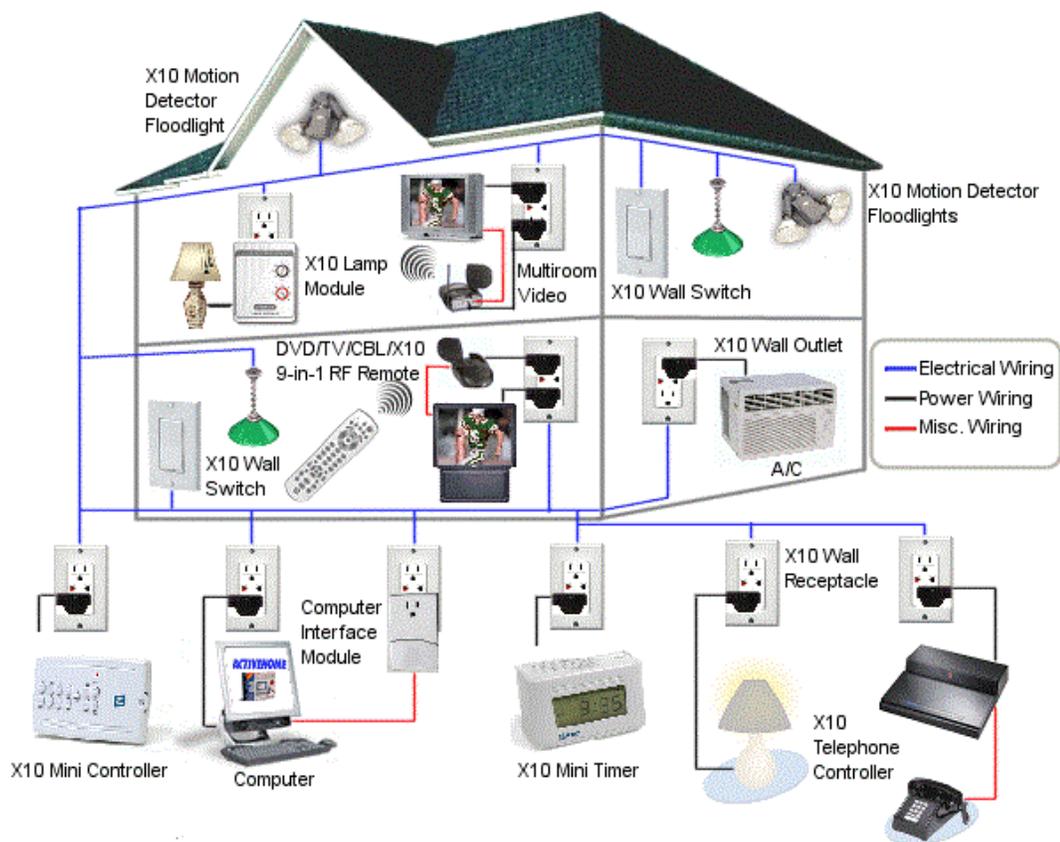
La domótica se refiere a la capacidad de controlar aparatos o dispositivos dentro de una casa. Ejemplos de automatización del hogar incluye el control de iluminación (desde cualquier lugar de la casa o a través de Internet), el sistema de monitoreo de seguridad, termostatos de control remoto, y muchos más.

La domótica puede lograr, al permitir la transmisión de datos entre el usuario y sus dispositivos a través de los medios de comunicación determinados. La mayoría de los sistemas de domótica, se basan en dos redes: una para la distribución de contenidos (se requiere tecnología de banda ancha, como Wi-Fi), y el otro para controlar el estado de los dispositivos en el hogar (requiere de una tecnología de menor ancho de banda, como la PLC). Esta última es bastante económica, y tiene bajo consumo de energía. Ejemplos de las tecnologías y protocolos de menor ancho de banda y de baja potencia en la automatización del hogar son:

- X10: es un protocolo estándar de automatización del hogar, que utiliza la red eléctrica existente en el hogar para la transmisión de comandos (on / off, aumentar / disminuir el brillo, etc.) Su bajo costo, facilidad de uso y variedad de equipos han hecho del X10 el protocolo de automatización del hogar más conocido en el mundo. ver figura 40.
- Universal Power line Bus (UPB <sup>™</sup>): "La UPB es un sistema fiable y rentable, que utiliza una tecnología de comunicación de 2 formas, que permite controlar los equipos a través las líneas eléctricas existentes tanto para aplicaciones residenciales y comerciales.
- Insteon: Es una tecnología de automatización del hogar utilizando los cables existentes (línea de Alimentación) en el hogar y la comunicación de radiofrecuencia, Insteon añade control remoto y automatización para iluminación, electrodomésticos y de todo tipo.

- Z-Wave: Es la próxima generación inalámbrica que permite a todos los equipos electrónicos del hogar que se comuniquen entre sí, y el usuario, a través de control remoto, Z-Wave utiliza la tecnología de radiofrecuencia para permitir las comunicaciones entre los dispositivos en casa. Esta utiliza ondas de radio simple, confiable y de bajo consumo de energía que viajan fácilmente a través de paredes, pisos y muebles.

*Figura 40. Tecnología X10 para el Hogar*



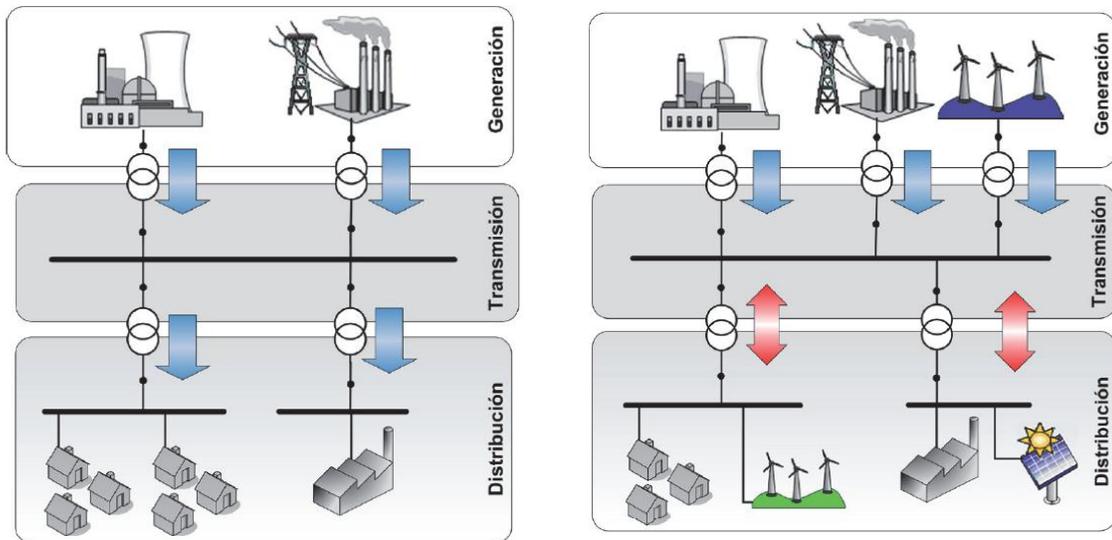
*Fuente: <http://www.x10-store.com/>*

**Aplicaciones:** estas tecnologías brindan un control sobre los dispositivos del hogar a un bajo costo y bajo consumo de energía, además constituyen una herramienta fundamental para la automatización del hogar

### 3. GENERACION DISTRIBUIDA

Una de las características más importantes que diferencia una red eléctrica inteligente de una tradicional es su capacidad de soportar un flujo de energía bidireccional, es decir, de pasar del esquema en que el flujo de energía va solo desde las grandes plantas de generación hacia los usuarios finales, particulares o industriales (Figura 41) a otro que incorpora y aprovecha la capacidad de almacenamiento y generación distribuida, con un rol activo para los usuarios, en el que son capaces de proveer energía a otros usuarios.

*Figura 41. Sistema de Energía Tradicional y Sistema de Energía de la próxima Generación.*



*Fuente: The Top-Bottom Structure y the Bidirectional Paradigm*

En realidad no existe una definición única y común acerca del concepto de generación distribuida y muchos autores manejan diferentes esquemas, así como intervalos de trabajo, para caracterizar servicios que pueden caer en el margen de la generación distribuida (GD). Sin embargo, se entenderá por generación distribuida el proceso de producción (ó generación) y distribución

de energía eléctrica a pequeña o mediana escala (desde los cientos de kW hasta los 10 MW), con una cercanía a los centros finales de consumo y con posibilidad de interactuar con las redes de interconexión eléctrica. Resulta necesario adicionar a la definición de GD algunos elementos más que marcan la esencia fundamental de esta alternativa de generación, tales como el empleo de diversas fuentes de energía, como pueden ser la energía eólica, solar, térmica, hidráulica, entre otras; diferentes tipos de combustibles, tales como biomasa, gas natural, diesel, biodiesel, etanol, gasolina, etc

En la GD se pueden identificar cuatro tipos de aplicaciones básicas definidas como: generación para carga base, generación para carga en picos, generación aislada y generación para soporte de la red de distribución. El primer escenario ubica a la GD como un sistema de generación principal y continuo, interconectado a la red de distribución para operaciones de compra y venta de energía. El segundo escenario muestra la GD como un sistema alternativo de respaldo para reducir el consumo desde la red de distribución en los periodos de mayor precio del kWh, de acuerdo con las fluctuaciones de la oferta en el mercado. El tercer caso ubica a la GD como un sistema de generación para poblaciones totalmente aisladas del sistema de interconexión eléctrica. Finalmente, el cuarto escenario sitúa la GD como un sistema de respaldo empleado especialmente en empresas de alto consumo energético solo en ciertos periodos del año, o para casos en los que se requiere elevar los niveles de confiabilidad en el suministro eléctrico.

Además, en un sistema que permita la comunicación bidireccional entre el consumidor final y las compañías eléctricas la información proporcionada por los consumidores es utilizada por las compañías para permitir una operación más eficiente de la red eléctrica. Así mismo, indican que dicha información permitirá ofrecer nuevos servicios a los clientes de forma complementaria a la propia energía eléctrica, tales como: monitoreo en línea del consumo, servicios de carga de vehículos eléctricos, negociación de energía con los

sistemas de almacenamiento distribuidos y de generación renovable, entre otros.

Que los usuarios se conviertan en proveedores es posible gracias al desarrollo de tecnologías de generación de energía renovable, como la energía solar fotovoltaica y la eólica al estar estas pequeñas generadoras integradas a la red de distribución, y a los adelantos de los sistemas de micro almacenamiento residencial distribuido: pequeñas unidades de almacenamiento residencial con capacidad de unos pocos kW/h. Un factor importante a considerar en el diseño de una infraestructura de Smart Grids la condición intermitente y variable inherente a las fuentes de energía renovable.

### **3.1 BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

A continuación se describen algunos beneficios que tienen la generación distribuida:

- La incorporación de productores de energía a una red de distribución convencional realza la fiabilidad del suministro de energía, y reduce la necesidad de inversiones en transmisión y distribución que sirven a la demanda creciente.
- Producen energía cuando la demanda es máxima, lo que hace innecesaria la construcción de nuevas plantas de generación que satisfagan los picos de demanda.
- La generación distribuida permite disminuir la vulnerabilidad a los cortes en el suministro al reducir la congestión del sistema.

Entre las tecnologías de generación distribuida, la más importante en términos de capacidad de generación es la denominada de ciclo combinado o cogeneración, por la que se produce tanto electricidad como vapor y a la vez permite la generación de energías en casos de emergencia cuando la red no es lo suficientemente estable. Las plantas de cogeneración eran

inicialmente grandes instalaciones, pero recientemente se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten abordar proyectos de micro-generación.

Las tecnologías renovables han irrumpido con fuerza en el sector de la generación distribuida en los últimos años, especialmente la energía eólica y los sistemas fotovoltaicos. También cobran importancia las células de combustible y las microturbinas como tecnologías emergentes de alta eficiencia energética.

## **3.2 TIPOS DE GENERACION DISTRIBUIDA EN LAS SMART GRID**

Dentro de los tipos de generación distribuida, las que tienen mayor adaptabilidad a las smart grid son: la generación solar fotovoltaica y la generación eólica.

### **3.2.1 GENERACION SOLAR FOTOVOLTAICA**

Es un tipo de electricidad renovable (energía eléctrica, -voltaica) obtenida directamente de los rayos del sol gracias a la foto-detección cuántica de un determinado dispositivo; normalmente una lámina metálica semiconductor llamada célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamada capa fina.

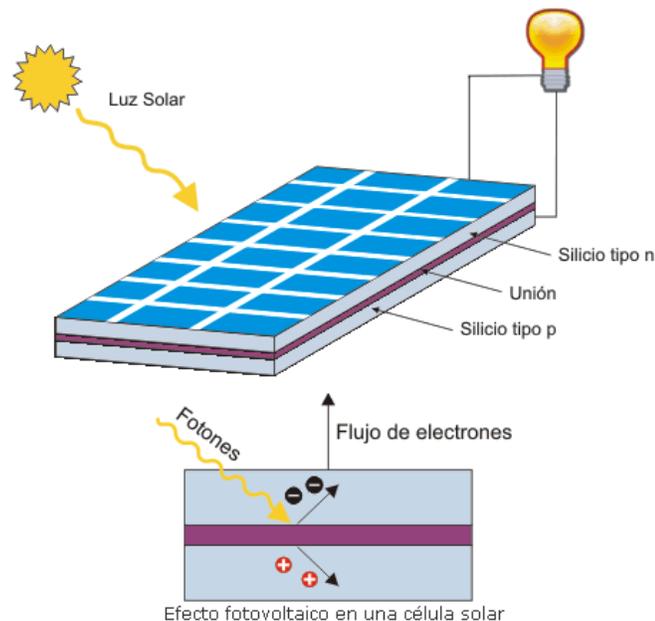
Se genera la energía a bajas tensiones (380-800 V) y en corriente continua. Se transforma con un inversor en corriente alterna. Mediante un centro de transformación se eleva a Media tensión (15 ó 25 kV) y se inyecta en las redes de transporte de la compañía.

#### **3.2.1.1 CELDAS FOTOVOLTAICA**

Son dispositivos formados por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos. Convierten energía luminosa en energía eléctrica, utilizando como materia prima la radiación solar, los paneles captan la energía solar transformándola directamente en eléctrica en forma de corriente continua, que se almacena en acumuladores,

para que pueda ser utilizada fuera de las horas de luz como se observa en Figura (42). Los módulos fotovoltaicos admiten tanto radiación directa como difusa, pudiendo generar energía eléctrica incluso en días nublados.

*Figura 42. Composición de una Celda Fotovoltaica*



*Fuente:* [www.textoscientificos.com](http://www.textoscientificos.com)

Tradicionalmente este tipo de energía se utilizaba para el suministro de energía eléctrica en lugares donde no era rentable la instalación de líneas eléctricas. Con el tiempo su uso se ha ido diversificando hasta el punto que actualmente resultan de gran interés las instalaciones solares en conexión con la red eléctrica. La energía fotovoltaica tiene muchísimas aplicaciones, en sectores como las telecomunicaciones, automoción, náuticos, parquímetros, la única limitación existente es el costo del equipo o el tamaño del campo de paneles. Alrededor del mundo existen varios países que se han convertidos en productores de energía fotovoltaica como medio alternativo para la producción de energía eléctrica como lo son:

- JAPÓN: Actualmente, es el principal país productor de energía fotovoltaica a nivel mundial, el segundo puesto lo ocupa ALEMANIA.
- ESPAÑA: Es uno de los países europeos con niveles más altos de radiación solar y tiene un elevado mercado en sistemas conectados a la red. La producción mundial de módulos fotovoltaicos viene creciendo desde el año 2000 en un 30% anual, actualmente España es considerada, junto con Estados Unidos, Israel y Australia, como uno de los grandes inversionistas mundiales en el desarrollo de la energía solar para producir electricidad.

### **3.2.2 VENTAJAS DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS**

- No produce emisiones de CO<sub>2</sub> ni otros gases contaminantes a la atmósfera.
- No consume combustibles.
- No genera residuos.
- No produce ruidos.
- Es inagotable
- Requiere poco mantenimiento.
- Resiste condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad.
- Instalación en zonas rurales → desarrollo tecnologías propias.
- Venta de excedentes de electricidad a una compañía eléctrica.

### **3.3 GENERACION EOLICA**

Es la conversión de la energía eólica en una forma útil de energía, como la electricidad, usando turbinas de viento. A finales de 2008, la capacidad nominal en todo el mundo de los generadores eólicos fue de 121,2 gigavatios (GW). En 2008, la energía eólica produjo el 1.5% de consumo de electricidad en todo el mundo, y está creciendo rápidamente, habiéndose duplicado en los tres años comprendidos entre 2005 y 2008. Varios países han alcanzado

niveles relativamente altos de penetración de energía eólica, como el 19% de la producción de electricidad estática en Dinamarca, el 11% en España y Portugal, y el 7% en Alemania y la República de Irlanda en 2008. En mayo de 2009, ochenta países de todo el mundo están utilizando la energía eólica sobre una base comercial.

Los grandes parques eólicos se conectan a la red de transmisión de energía eléctrica, las instalaciones más pequeñas se utilizan para proveer electricidad a lugares aislados. La energía eólica como fuente de energía es atractiva, como una alternativa a los combustibles fósiles, debido a que es abundante, renovable, ampliamente distribuida, limpia y no produce emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la construcción de parques eólicos no está bien acogidas por todos debido a su impacto visual y otros efectos sobre el medio ambiente.

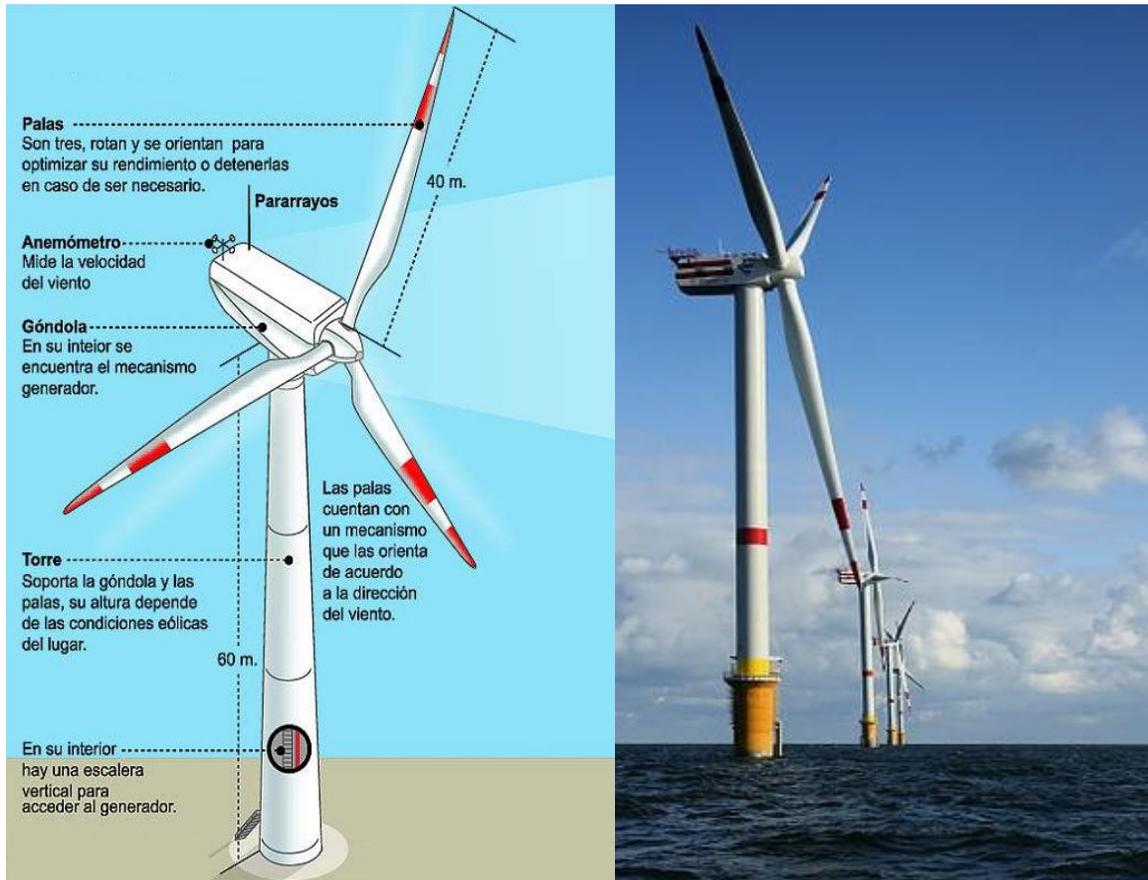
### **3.3.1 AEROGENERADORES**

Es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento. Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. Ver figura 43 y 44.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores, dependiendo de su potencia, la disposición de su eje de rotación, el tipo de generador, etc.

Para aportar energía a la red eléctrica, los aerogeneradores deben estar dotados de un sistema de sincronización para que la frecuencia de la corriente generada se mantenga perfectamente sincronizada con la frecuencia de la red.

Figura 44 Partes del exterior de un aerogenerador



Fuente: Diario de Cuyo

### 3.3.2 VENTAJAS DE LA ENERGIA EOLICA

- Es una energía limpia ya que no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.
- No requiere una combustión que produzca dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), por lo que no contribuye al incremento del efecto invernadero ni al cambio climático.
- Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables.

- Puede convivir con otros usos del suelo, por ejemplo prados para uso ganadero o cultivos bajos como trigo, maíz, patatas, remolacha, etc.
- Crea un elevado número de puestos de trabajo en las plantas de ensamblaje y las zonas de instalación.
- Su instalación es rápida, entre 4 meses y 9 meses
- Su utilización combinada con otros tipos de energía, habitualmente la solar, permite la auto alimentación de viviendas, terminando así con la necesidad de conectarse a redes de suministro, pudiendo lograrse autonomías superiores a las 82 horas.
- Posibilidad de construir parques eólicos en el mar, donde el viento es más fuerte, más constante y el impacto social es menor, aunque aumentan los costes de instalación y mantenimiento. Los parques offshore son una realidad en los países del norte de Europa, donde la generación eólica empieza a ser un factor bastante importante.

### **3.3.3 INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA EOLICA**

- Requiere el respaldo de las energías convencionales (centrales de carbón o de ciclo combinado).
- Necesita construir líneas de alta tensión que sean capaces de conducir el máximo de electricidad que sea capaz de producir la instalación.
- Además de la evidente necesidad de una velocidad mínima en el viento para poder mover las aspas, existe también una limitación superior: una máquina puede estar generando al máximo de su potencia, pero si el viento aumenta lo justo para sobrepasar las especificaciones del aerogenerador, es obligatorio desconectar ese circuito de la red o cambiar la inclinación de las aspas para que dejen de girar, puesto que con viento de altas velocidades la estructura puede resultar dañada por los esfuerzos que aparecen en el eje. La consecuencia inmediata es un descenso evidente de la producción eléctrica, a pesar de haber viento en

abundancia, y otro factor más de incertidumbre a la hora de contar con esta energía en la red eléctrica de consumo.

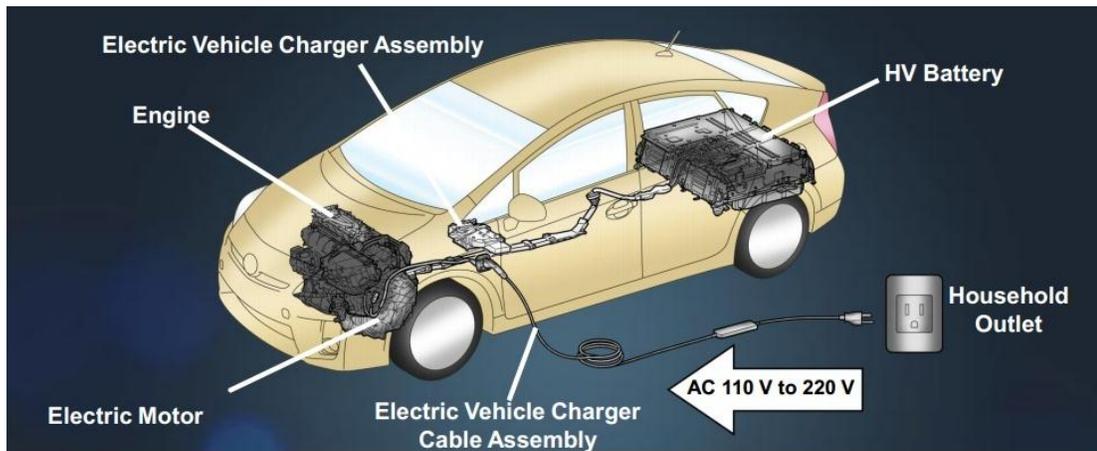
- Al comienzo de su instalación, los lugares seleccionados para ello coincidieron con las rutas de las aves migratorias, o zonas donde las aves aprovechan vientos de ladera, lo que hace que entren en conflicto los aerogeneradores con aves y murciélagos.
- El impacto paisajístico es una nota importante debido a la disposición de los elementos horizontales que lo componen y la aparición de un elemento vertical como es el aerogenerador. Producen el llamado *efecto discoteca*: este efecto aparece cuando el sol está por detrás de los molinos y las sombras de las aspas se proyectan con regularidad sobre los jardines y las ventanas.

### **3.4 VEHICULO ELECTRICO**

Los vehículos eléctricos obtienen su capacidad de movimiento por la energía eléctrica liberada por unas baterías o bien por una célula de combustible de hidrógeno (ver figura 48). El sistema de generación y acumulación de la energía eléctrica constituye el sistema básico para mover un vehículo eléctrico. Generalmente, para ello se utilizan los acumuladores electroquímicos, formados por dos sustancias conductoras bañadas en un líquido también conductor. El intercambio de cargas positivas y negativas entre ambos componentes mantiene una corriente eléctrica que puede ser utilizada para el funcionamiento del motor del vehículo eléctrico.

En el motor de combustión, sólo el 18% de la energía del combustible es utilizada para mover el vehículo, el resto sirve para accionar el motor. En el vehículo eléctrico el 46% de la energía liberada por las baterías sirve para mover el vehículo, lo que indica una eficiencia entre 10-30% superior de este respecto al vehículo convencional con motor de explosión.

Figura 48. Vehículo Eléctrico



Fuente: Advanced Technology Group, Toyota Motor Sales, USA, INC

En un vehículo eléctrico puede haber un solo motor de tracción o varios, adosados a las ruedas. Su función es transformar la energía eléctrica que llega de las baterías en movimiento. Esta energía puede ser aprovechada tal cual llega, o sea, en forma de corriente continua o bien, y gracias a un transformador, en forma de corriente alterna.

### 3.4.1 INTERACCION DEL VEHICULO ELECTRICO Y LAS SMART GRID

El vehículo eléctrico como nuevo consumidor de electricidad puede convertirse en un aliado para operar de forma más eficiente el sistema eléctrico, reduciendo las grandes diferencias que se producen entre los periodos de mayor y menor consumo eléctrico y facilitando la integración de las energías renovables. Para una mejor operación del sistema es muy importante que la demanda se desplace hacia las horas de menor consumo; y es ahí donde la recarga lenta nocturna del coche eléctrico puede jugar un papel fundamental en el aplanamiento de la curva de la demanda.

#### **3.4.3.1 OPORTUNIDADES QUE OFRECE AL SISTEMA ELÉCTRICO**

Mejorar la eficiencia del sistema, aplanando la curva de la demanda: si los usuarios, que pueden elegir cuándo recargar las baterías, deciden recargarlas en los periodos de menor consumo (entre la 01:00 y las 07:00 horas de la mañana) ayudarán a aplanar la curva al disminuir las diferencias producidas entre las horas pico (o periodos de mayor consumo) y las horas de menor consumo eléctrico.

#### **3.4.3.2 INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SISTEMA PARA CREAR CONDICIONES DE SEGURIDAD.**

La producción de energía eólica es muy variable y con frecuencia aumenta durante la noche, cuando no siempre es posible integrarla en el sistema si la oferta es mayor que la demanda de electricidad. Por eso, recargar los vehículos eléctricos durante las horas nocturnas permitirá aprovechar mejor la energía disponible y reducir los casos en los que los parques eólicos se desconectan, porque su producción excede los límites de seguridad del sistema eléctrico.

## CONCLUSIONES

- Los avances tecnológicos en las comunicaciones, el control, la electrónica de potencia y otras áreas, han dado la posibilidad de visionar cambios importantes en el futuro de los sistemas eléctricos. Varios países como los Estados Unidos, han creado proyectos, que en la actualidad se encuentra en la fase de desarrollo y que prometen autonomía a la red, para mejorar su eficiencia. Sin embargo dada la alta complejidad de algunas tecnologías y los altos costos que estas representan, solo entre el 2020 y 2030 la implementación de una Smart Grid en su totalidad será una realidad.
- Los países con mayor avance en la implementación de la Smart Grid, se encuentran en la fase de instalación de medidores inteligentes “Smart Meter” e implementación de la tecnología AMI.
- Las fuentes alternativas son un gran avance en la búsqueda de nuevas formas de generación, sin embargo estas aun no logran ser tan eficiente como se quisiera, por lo que requieren del respaldo de las fuentes de generación convencionales, acarreado todas las desventajas mencionadas en el desarrollo de este trabajo como: la dependencia del carbón, los combustibles fósiles y las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera; por estos motivos se deben seguir realizando investigaciones que conlleven a perfeccionarlas y a mejorarlas o eventualmente buscar otras nuevas tecnologías que puedan satisfacer nuestra demanda creciente de energía.
- Las Smart Grid pueden sensar y entregar mucha información al operador, sobre el estado de los diversos elementos que la conforman, por ejemplo de un transformador se podría conocer: su

presión interna, temperatura, voltaje etc., en tiempo real, variables que son totalmente desconocidas en el sistema de potencia actual, beneficiando la toma de decisiones y la prevención de fallas o apagones que podría perjudicar a muchos usuarios.

- Los consumidores finales, podrán hacer mejor uso del recurso eléctrico, beneficiándolos en la obtención de mejores tarifas, que a su vez le representaría menor costo en el pago de la factura; al realizar mayores consumos en horas donde el Kw sea más económico, también se mejoraría, la curva de demanda en las hora pico, permitiéndole al sistema un mejor funcionamiento. Otro aspecto que también reduce el costo de la tarifa y además también mejora el funcionamiento de la red es la posibilidad que tienen los usuarios de implementar sistemas para generar energía con recursos renovables no solo para el consumo propio, sino para la entrega a la red. Cabe resaltar la importancia de la participación de los consumidores dentro del buen desarrollo de la Smart Grid.
- Los Vehículos eléctricos, podrían servir como acumuladores de energía, generando un negocio atractivo para sus dueños, Porque cargan el vehículo en horario nocturno donde el Kw es económico y luego lo entregan a la red en una hora pico obteniendo un margen de ganancias por dicha operación, siendo así el coche eléctrico puede ser, a largo plazo, un sistema de almacenamiento eléctrico reversible.

## BIBLIOGRAFIA

- Gellings, Clark W., (2009); The smart Grid, Enabling Energy Efficiency and Demand Response, Boca Raton CRC, The Fairmont.
- The U.S department of energy,(2007),The smart grid an introduction; United States of America.
- Dirección General de Planeación Energética, (2010), Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025 México.
- Carrasco, Juan M; Galvan, Eduardo; Portillo, Ramón, (2006),Wind Turbine Applications; Power Electronics Handbook.
- Kaplan, Mark; Smart Grid-Electric Power Transmission, (2009), Congressional Research Service.
- Ramírez, Juan M; Caicedo, Gladys; Correa, Rosa E,(2010), Sistemas de Transmisión Flexible FACTS, Colección ciencias físicas, exactas y naturales.
- Banco de Documentos, Portal Colombia Inteligente [En línea]. Fecha de consulta 12 de Febrero 2012. Disponible en:  
[www.colombiainteligente.com.co/Pages/Documentos.aspx](http://www.colombiainteligente.com.co/Pages/Documentos.aspx)