

Evolución de la confiabilidad y la eficiencia en el sector eléctrico colombiano*¹

[Evolution of the reliability and the efficiency in the electrical colombian sector]

LUIS EDUARDO ARANGO SÁNCHEZ², ÓSCAR AGUDELO GIRALDO³

RECIBO: 15.12.2010 - AJUSTE: 11.04.2011 - APROBACIÓN: 10.06.2011

Resumen

El documento hace un recorrido por la normatividad y las perspectivas dentro del mercado de los energéticos, en el caso específico de la energía eléctrica, la necesidad de adaptarse a la evolución tecnológica, de libre mercado, libre competencia, y por su relevancia en los procesos de manufacturas y como factor esencial en la cotidianidad, ha hecho que Colombia se prepare para afrontar estos retos, de manera inicial con normatividades que deben cumplir las empresas encargadas de su manejo y distribución, principalmente en lo que corresponde a la calidad y eficiencia energética. En principio, exigiendo de estas empresas su adaptabilidad a lo planteado, y posteriormente inversiones a corto mediano y largo plazo en reposición de redes, modernización de equipos y la adopción de tecnologías en informática para manejo, control y en especial para la seguridad de quienes las operan. Se emiten leyes, reglamentos y códigos aplicables a las instalaciones eléctricas que garanticen un uso eficiente racional y seguro de esta. Y posteriormente, la integración de tecnologías

* Modelo para citación de este artículo monográfico de reporte de caso
ARANGO SÁNCHEZ, Luis Eduardo y AGUDELO GIRALDO, Óscar (2011). Evolución de la confiabilidad y la eficiencia en el sector eléctrico colombiano. En: Ventana Informática. No. 24 (ene-jun., 2011). Manizales (Colombia): Universidad de Manizales. p. 115-133. ISSN: 0123-9678

1 Artículo obtenido a partir del trabajo presentado por los autores, como opción de grado de la Especialización en Informática y Computación, de la Universidad de Manizales, aprobado en 19.10.2010.

2 Ingeniero Electricista, Especialista en Informática y Computación.
Líder, CHEC, Manizales, Colombia. Correo electrónico: larango@chec.com.co

3 Ingeniero Electricista, Especialista en Informática y Computación.
Gerente, O.A.G ingeniería. Manizales, Colombia. Correo electrónico: oagingenieria@gmail.com.

en sistemas SIG, SCADA, medidores inteligentes hasta llegar a la implementación de redes inteligentes que día a día permitan su utilización y control de forma óptima.

Palabras Clave: *Eficiencia Energética, Energías alternativas, Redes Inteligentes, Sistema SCADA, Uso Racional de Energía.*

Abstract

The document does a tour for the norms and the perspectives inside the energy market in the specific case of the electric power, the need to adapt to the technological evolution, free market, free competition, and its relevance in the processes of manufactures and as essential factor in the commonness, has done that Colombia prepares for meet these challenges, so initial norms that must comply with the undertakings entrusted with the management and distribution, especially as it concerns the quality and energy efficiency. Initially, these companies demanding their adaptability to the points, and then short-term investments and long-term replacement of networks, equipment upgrades and the adoption of computer technologies to manage, control and especially for the safety of those who operate. Then, laws, regulations and codes of electrical installations to ensure rational and efficient use of insurance are issued, to end the integration of technologies in GIS, SCADA, smart meters up to the implementation of intelligent networks daily allow its use and best control.

Keywords: *Alternative energies, Energy efficiency, Intelligent Networks, Rational Use of Energy, System SCADA.*

Introducción

El sector energético ha venido adquiriendo cada vez más relevancia por su papel en la economía, del desarrollo de las comunidades y de los sectores productivos. La necesidad de contar con políticas energéticas eficientes, ha generado una serie de cambios estructurales y regulatorios en los diferentes países. En Colombia estos cambios han promovido la competencia entre los diferentes agentes de los sectores gas y electricidad, estableciendo políticas para el mejoramiento de la confiabilidad y la calidad en el suministro del servicio.

En materia energética, Colombia a partir de la Constitución de 1991, las leyes 142 y 143 de 1994, establece políticas para la expansión eficiente del sistema, las metodologías para la remuneración por el uso

de la infraestructura eléctrica y del traslado de costos eficientes vía tarifa a los usuarios. Adicionalmente, la UPME⁴ elabora y actualiza el Plan Energético Nacional y el Plan de Expansión del sector eléctrico, en concordancia con el proyecto del Plan Nacional de Desarrollo.

Los criterios y procedimientos para la planeación, la expansión, la operación y el mantenimiento de los STR y/o SDL⁵, de acuerdo con los diferentes niveles de tensión existentes en el país, son regulados por la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG, a través de sus resoluciones, correspondiendo la planeación y ejecución de los proyectos de expansión a las empresas distribuidoras de energía. La regulación además establece los criterios de calidad de la potencia y del servicio suministrado por los diferentes OR⁶, con el propósito de dar garantías mínimas en estos aspectos a los Usuarios conectados al STR y/o SDL del OR respectivo y las metas que deben cumplir las empresas distribuidoras de energía para garantizar la confiabilidad del suministro.

Las empresas distribuidoras de energía con el objeto de dar cumplimiento a lo dispuesto, y brindar un mejor servicio a sus clientes; han efectuado proyectos de modernización de la infraestructura eléctrica, mediante la implementación de tecnología en sistemas de comunicaciones, control, operación y protección. De igual forma, han realizado la implementación de sistemas informáticos orientados a la operación, supervisión y control en tiempo real de los sistemas de potencia y la localización geográfica de los elementos que hacen parte de la red de distribución.

La experiencia en la interconexión del sistema eléctrico nacional que se ha dado en el país en los últimos veinte años, ha motivado el desarrollo de proyectos para la interconexión con países vecinos, que brinden mayor seguridad y confiabilidad en el suministro eléctrico, situación que se ve regulada por la Decisión 536, surtida dentro del Marco General para la interconexión subregional de sistemas eléctricos e intercambio intracomunitario de electricidad, y aprobada por la Comisión de la

4 UPME – Unidad de Planeación Minero Energética constituida a partir del 29 de diciembre de 1992, mediante Decreto 2119 del Ministerio de Minas y Energía, con el objetivo de planear en forma integral, indicativa, permanente y coordinada, tanto en entidades públicas como Privadas del sector minero-energético, el desarrollo y aprovechamiento de los recursos energéticos y mineros.

5 STR - Sistema de Transmisión Regional Sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por los Activos de Conexión del OR al Sistema de Transmisión Nacional - STN y el conjunto de líneas, equipos y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan en el Nivel de Tensión 4. (CREG, 2008).

SDL - Sistema de Distribución Local; Sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a los Niveles de Tensión 1, 2 y 3. (CREG, 2008)

6 OR - Operador de Red Persona encargada de la planeación de la expansión, las inversiones, la operación y el mantenimiento de todo o parte de un STR o SDL. (CREG, 2008)

Comunidad Andina de Naciones (2002, 12), en reunión ampliada con los ministros de energía, estableciendo: *«Que la interconexión de los sistemas eléctricos de los Países Miembros y los intercambios comerciales intracomunitarios de electricidad pueden brindar importantes beneficios a los Países Miembros en términos económicos, sociales y ambientales y pueden conducir a la utilización óptima de sus recursos energéticos y a la seguridad y confiabilidad en el suministro eléctrico»*.

Paralelamente, el estado con el fin de garantizar un uso racional de los recursos energéticos por parte de los usuarios, tendientes a una formulación adecuada del plan de inversiones para la construcción y entrada en operación de nuevas plantas de generación, subestaciones de potencia y líneas de transmisión, que garanticen la estabilización y la atención de la demanda, ha establecido políticas que se encuentran en la Ley para el Uso Racional de Energía, URE, y en el Reglamento Técnico para el Alumbrado Público, RETILAP.

1. Confiabilidad y eficiencia en el sector eléctrico colombiano

En la búsqueda de mejorar los niveles de confiabilidad y la eficiencia energética en el Sistema Eléctrico Colombiano, se han establecido normas y políticas, como son la regulación nacional enfocada a la confiabilidad y las políticas de eficiencia energética.

1.1 La Regulación Nacional enfocada a la Confiabilidad del Sector Eléctrico

La Constitución Política de Colombia de 1991, establece la intervención del Estado en los servicios públicos, entre otras disposiciones, para garantizar la calidad del bien objeto del servicio público y su disposición final para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios, ampliación permanente de la cobertura y prestación continua e ininterrumpida, sin excepción alguna, salvo cuando existan razones de fuerza mayor o caso fortuito o de orden técnico o económico que así lo exijan.

En el año 1994, son expedidas las Leyes 142 y 143, denominadas Ley de Servicios Públicos Domiciliarios y Ley Eléctrica respectivamente, las cuales regulan entre otros aspectos, sobre la expansión y la confiabilidad del servicio de energía, la Ley 142 establece que las tarifas tendrían un carácter de integral, en el sentido que en ellas se incorporarían la calidad y grado de cobertura del servicio, mientras que la Ley 143 establece que los cargos asociados, con el acceso y uso de las redes del sistema interconectado nacional, cubrirán en condiciones óptimas de

gestión, los costos de inversión de las redes de interconexión, transmisión y distribución, incluido el costo de oportunidad de capital, de administración, operación y mantenimiento, en condiciones adecuadas de calidad y confiabilidad, y de desarrollo sostenible.

La Resolución 070 de la CREG, emitida en el año 1998 y conocida como Reglamento de Distribución, genera un cambio absoluto respecto a la expansión y la calidad del servicio de energía eléctrica, estableciendo reglas que deben cumplir las empresas distribuidoras para asegurar los niveles de cobertura y garantizar la calidad, confiabilidad y seguridad del servicio de energía eléctrica.

El concepto de calidad del servicio de energía comprende los aspectos de calidad de la potencia, y confiabilidad del servicio suministrado, la calidad de la potencia se refiere a las desviaciones de los valores especificados para las variables tensión y frecuencia, mientras que la confiabilidad se refiere a la continuidad en la prestación del servicio. Sin embargo, el presente artículo solo hace referencia a la confiabilidad del suministro.

La Tabla 1, relaciona las normas y los aspectos más relevantes de la regulación nacional para la expansión y la confiabilidad del servicio.

Tabla 1. Normas y aspectos relevantes de expansión y confiabilidad

Norma	Organismo	Ámbito de aplicación
Constitución Nacional de 1991	Asamblea Nacional Constituyente	Define la intervención del Estado en los Servicios Públicos, para garantizar la cobertura y la calidad.
Ley 142 de 1994	Congreso de la República	Establece que las Comisiones de Regulación serán las encargadas de definir las características de la cobertura y de la calidad del servicio
Ley 143 de 1994	Congreso de la República	Establece la competencia del Ministerio de Minas y Energía para definir los planes de expansión de la generación y la red de interconexión y fijar los criterios para orientar el planeamiento de la transmisión y la distribución.
Resolución 070 de 1998	CREG	Define y hace operativos los criterios técnicos de calidad, confiabilidad y seguridad del servicio de energía eléctrica, se establecen procedimientos para la planeación, operación y expansión de los Sistemas de Transmisión Regional - STR y los Sistemas de Distribución Local SDL.
Resolución 096 de 2000	CREG	Dicta normas relacionadas con el periodo de transición de que trata el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, en materia de confiabilidad del servicio.
Resolución 18 2148 de 2007	Ministerio de Minas y Energía	Define los criterios de seguridad y confiabilidad para los Sistemas de Transmisión Regional – STR.
Resolución 097 de 2008	CREG	Establece las reglas que se deben cumplir en cuanto a la calidad en la prestación del servicio de distribución de energía eléctrica tanto en los STR como en los SDL.

Para la medición de la confiabilidad, la CREG a través de resoluciones emitidas ha establecido los indicadores de calidad DES (Duración Equivalente de Suspensiones) y FES (Frecuencia Equivalente de Suspensiones); el primero de los cuales mide las indisponibilidades acumuladas en horas que un cliente ha estado sin servicio de energía, mientras que el segundo mide la cantidad de veces que el servicio ha estado ausente, se exceptúan del cálculo de los indicadores mencionados las interrupciones debidas eventos de fuerza mayor o por racionamientos de emergencia.

Para la evaluación de estos indicadores se establecen cuatro grupos de calidad, a saber:

- “- *GRUPO 1, Circuitos ubicados en Cabeceras municipales con una población superior o igual a 100.000 habitantes según último dato certificado por el DANE.*
- *GRUPO 2, Circuitos ubicados en Cabeceras municipales con una población menor a 100.000 habitantes y superior o igual a 50.000 habitantes según último dato certificado por el DANE.*
- *GRUPO 3, Circuitos ubicados en Cabeceras municipales con una población inferior a 50.000 habitantes según último dato certificado por el DANE.*
- *GRUPO 4, Circuitos ubicados en Suelo que no corresponde al área urbana del respectivo municipio o distrito” (Ortega, 2006).*

Los Valores Máximos Admisibles de los indicadores a partir de la entrada en vigencia de las metas de calidad, han requerido de un mayor grado de exigencia por parte de las empresas distribuidoras de energía para cumplir con las metas establecidas. En la tabla 2, se registran las metas por año y por grupo de calidad para el indicador DES, que fueron establecidas para la última década en el país.

Tabla 2. Metas anuales de disponibilidad por grupo de calidad (CREG 096, 2000; CREG 084, 2002)

Grupo de calidad	Metas aplicadas por año (horas)	
	2001	2002 -2010
1	19	11
2	29	19
3	39	29
4	61	39

Las desviaciones en las metas de calidad, cuando estas se sobrepasan, son penalizadas con el pago de compensaciones a los usuarios de acuerdo con formulas que consideran los tiempos de indisponi-

bilidad, la demanda promedio y los costos de la energía a precios de racionamiento. Los requerimientos en materia de calidad para las empresas de energía son cada vez mayores, la resolución 097.08 de la CREG, ha establecido para los próximos años, unas nuevas exigencias que consideran el pago de compensaciones por indisponibilidad de activos del sistema de distribución, por energía no suministrada y a los usuarios peor servidos en el período de aplicación del esquema de calidad.

En el marco del 14° Congreso del Mercado de Energía Mayorista CNO y CAC, Vera (2008, 4) plantea: *«No obstante, teniendo en cuenta que para la confiabilidad se requieren acometer importantes inversiones en actualización y repotenciación de equipos y elementos de los sistemas eléctricos mencionados, aún se tienen retos importantes que garanticen la adecuada remuneración y por ende la ejecución de dichas inversiones futuras»*.

El informe *Evolución de la Calidad de Servicio 2001-2005* presentado por la SSPD (calcula los indicadores promedios, para los cuatro Grupos de Calidad, logrados por las diferentes empresas del sector en Colombia), se resume en la Tabla 3.

1.2 Políticas de Eficiencia Energética

1.2.1 Uso Racional y Eficiente de la Energía, URE. Mediante la Ley 697 del 5 de octubre de 2001, el gobierno nacional declara el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

Así mismo, el Estado debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos, URE, a corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, al tiempo que generen la conciencia URE y el conocimiento y utilización de formas alternativas de energía.

El URE se define como el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente, su producción, transformación, transporte, distribución, y consumo incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades, de la cadena el desarrollo sostenible.

Tabla 3. Indicadores promedios de DES y FES para los grupos de calidad (Construido a partir de Ortega, 2006)

Empresa	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
	DES	FES	DES	FES	DES	FES	DES	FES
CEDELCA	6,41	12,28			14,37	27,80	10,13	15,80
CEDENAR	5,88	11,24	19,04	15,45	14,11	11,91	16,10	9,82
CENS	0,75	4,59	2,95	7,90	4,18	12,24	6,81	17,29
CETSA	1,70	4,42			4,90	6,37	0,06	0,47
CHEC	2,83	5,07	5,73	8,19	8,13	12,68	9,02	9,51
CODENSA	1,37	2,21	4,38	4,65	5,17	5,18	5,84	4,99
DISPAC			33,88	38,10	38,81	19,18	54,47	
E.E.B.P.					3,54	2,80	3,43	3,54
E.E.C.			6,08	7,71	7,80	6,93	13,38	
EADE	0,41	0,47	5,27	8,90	8,66	14,05	7,49	11,41
EBSA	4,25	8,26	11,97	19,52	18,17	21,42	31,37	34,21
EDEQ	4,82	10,91	5,91	14,59	9,48		7,90	15,36
EEP	1,89	3,73						
EEPPM	0,36	0,86	0,87	1,13	2,63	2,80	2,53	2,04
EESA					9,88		11,43	12,93
Electricaribe	15,08	10,14	21,82	12,72	34,00	18,32	29,16	11,23
Electrocaqueta			9,19	9,31	14,37	19,65	21,64	19,53
Electrochoco						10,48		13,08
Electrocosta	16,29	8,63	19,76	16,60	31,59	20,25	37,70	18,05
Electrohuila	5,17	7,38	3,63	8,47	6,48	9,67	8,96	9,43
Electrotolima						6,04		9,35
EMCALI E.I.C.E.	2,03	1,88	2,31	3,00	12,30	14,21	9,02	
Emcartago	1,30	3,79					0,46	1,39
EMDEP					2,39	6,63	4,43	9,65
EMSA	4,10	14,46			6,95	18,67	3,76	10,15
Enelar					10,05		32,46	15,29
Enertolima	2,32	4,43	6,09	6,13	5,44	9,16	5,43	
EPSA	1,50	2,28			1,83	3,47	2,74	3,34
ESSA	2,86	5,52	3,21	6,65		11,11		
Municipio de Entreríos					1,29	0,84		
Putumayo					1,84	4,43		
Ruitoque	0,28	0,32					0,98	0,89
Sibundoy							31,05	15,95
Yarumal					6,67	5,67	0,45	

Este desarrollo implicó el esfuerzo de varias entidades en un trabajo cooperativo, en donde estuvieron involucrados, el Estado como ente financiador del proyecto (Colciencias y Unidad de Planeación Minero Energética, UPME), y las universidades Pontificia Bolivariana y Nacional Sede Medellín, como diseñadores de un curso virtual aplicado al sector

industrial y académico, cuyo objetivo consiste en transmitir los principales conceptos de la física y de la química aplicados a un programa de eficiencia energética en el sector industrial.

En él se pueden encontrar conceptos básicos de termodinámica, electricidad y combustión, una disertación sobre el problema de la energía y del medio ambiente, y una serie de módulos relacionados con el uso de la energía en aplicaciones tales como: sistemas de vapor, aire comprimido, aire acondicionado, refrigeración, sistemas eléctricos, bombas, ventiladores, hornos y torres de enfriamiento. Además, el curso incluye temas específicos como la aplicación de las energías alternativas, cogeneración en el sector industrial, optimización de sistemas, gestión e indicadores y una metodología para la evaluación financiera de proyectos energéticos.

1.2.2 Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, RETILAP – Expedido mediante la Resolución No. 18 1331 de agosto 6 de 2.009, con el objetivo fundamental de establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados, por la instalación y uso de sistemas de iluminación.

El Reglamento establece las reglas generales que se deben tener en cuenta en los sistemas de iluminación interior y exterior, y dentro de estos últimos, los de alumbrado público en el territorio colombiano, inculcando el uso racional y eficiente de energía en iluminación. En tal sentido señala las exigencias y especificaciones mínimas para que las instalaciones de iluminación garanticen la seguridad y confort con base en su buen diseño y desempeño operativo, así como los requisitos de los productos empleados en las mismas.

El reglamento, igualmente, es un instrumento técnico-legal para Colombia, que sin crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa, permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en los sistemas de iluminación interior y exterior, cumplan con los siguientes objetivos legítimos:

- La seguridad nacional en términos de garantizar el abastecimiento energético mediante uso de sistemas y productos que apliquen el Uso Racional de Energía.
- La protección de la vida y la salud humana.
- La protección de la vida animal y vegetal.
- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario.
- La protección del Medio Ambiente.

Los requisitos y prescripciones técnicas del reglamento son de obligatorio cumplimiento en Colombia, en todas las instalaciones de iluminación nuevas, remodelaciones o ampliaciones, públicas o privadas. Las prescripciones técnicas del presente reglamento serán exigibles en condiciones de operación normal de las instalaciones. No serán exigibles en los casos de fuerza mayor o de orden público que las alteren; en estos casos, el propietario de la instalación procurará restablecer las condiciones exigidas por el presente reglamento en el menor tiempo posible.

2. Contribución de la Informática a la Confiabilidad del Sector Eléctrico

2.1 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Estos sistemas constituyen uno de los campos más dinámicos y novedosos de utilización de la Informática, con un indudable efecto en la sociedad, con aplicaciones como cartografía digital e información espacial.

Con la aparición de las estaciones de trabajo UNIX, en la década de los 80, se proporcionó una plataforma adecuada para desplegar toda la potencia de los SIG. La entrada en el mercado informático de los sistemas Windows de 32 bits, con prestaciones tanto gráficas como de procesos comparables a las estaciones de trabajo, ha permitido la popularización de la tecnología SIG.

Los SIG utilizan unos modelos de datos que poseen dos componentes, un componente vectorial que permite la creación de la parte gráfica, a través de la cual se pueden realizar representaciones de la topología de una red y un componente *raster* a través del cual se maneja toda la información de las variables definidas de forma geométrica y de otras variables. Con el fin de facilitar el manejo a usuarios no expertos se aplican conceptos de programación orientada a objetos, dando lugar a lo que se ha definido como el SIG basado en temas. Esta tecnología consiste en asociar o encapsular, con cada tipo de datos, los métodos adecuados para su manipulación. De esta forma, el usuario se despreocupa del tipo de representación interna de cada tipo de datos, limitándose a enviar requerimientos o mensajes que el tema sabrá interpretar.

Los SIG soportan sistemas de información de diferentes sectores productivos y de la economía, como se relaciona en la tabla 4.

Tabla 4. Aplicación de SIG en algunos sectores
(Construida a partir de Rubio y Gutiérrez, 1997, 99-100)

Aplicación	Descripción
Redes eléctricas y de transporte.	Cálculo de caminos mínimos, conectividad o accesibilidad a redes.
Sector ambiental, recursos naturales y planificación urbanística.	Estudios y análisis de viabilidad.
Inventarios y catastros.	Almacenamiento de las entidades espaciales (predios), junto con sus atributos (propietario, uso, etc.)
Servicios Públicos.	Soporte para operaciones como mantenimiento, reparaciones, calidad de servicio, o inclusive la atención a clientes.
Geomarketing.	Análisis de mercados para la expansión de las redes de productos y servicios.

Los SIG son ampliamente reconocidos por su importante papel en la gestión de la energía eléctrica tradicional, transmisión y distribución y de las redes de telecomunicaciones, proporcionando un inventario exhaustivo de los componentes de la red de distribución eléctrica y sus localizaciones espaciales. La Figura 1 muestra la topología de una red urbana de media tensión.

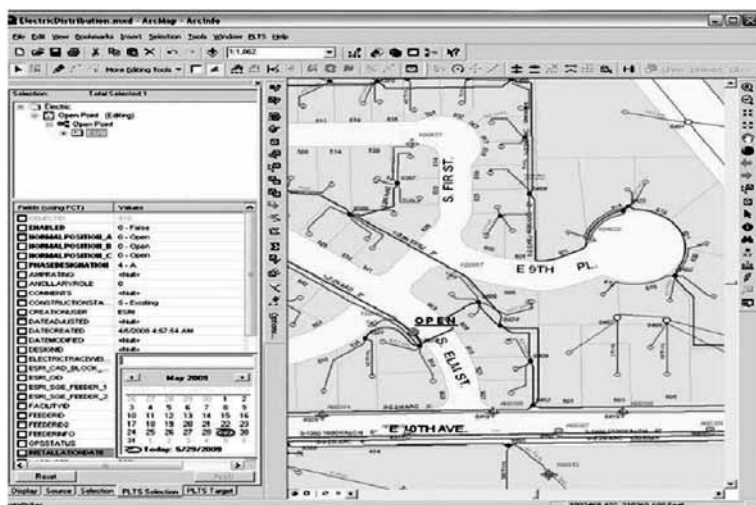


Figura 1 Topología de una red de media tensión urbana (ESRI, 2009, 15).

La industria eléctrica en Colombia, aunque comenzó a utilizar los SIG hacia los años 90 del siglo anterior, con la recolección de la información

de la topología de la red para realizar su representación gráfica, los mayores avances se dan en la última década, debido a los requerimientos estatales en materia de gestión de la distribución de la energía eléctrica y la calidad del servicio, lo que ha exigido que las empresas realicen grandes desarrollos informáticos y de gestión de la información.

2.2 Sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

El SCADA es un sistema de control digital utilizado en la industria eléctrica para el manejo de subestaciones y adquisición de datos cumpliendo funciones supervisoras y de operación remota desde un Centro de Control, a través del cual se imparten órdenes para apertura y cierre de interruptores de líneas de transmisión y plantas de generación, regulación de frecuencia y tensión y la supervisión de las diferentes medidas y señalizaciones del sistema de potencia. De igual manera, sirve para manejar contingencias en la red, mediante el uso de consignas de operación coordinadas, y así lograr el restablecimiento de energía eléctrica en forma ágil y ordenada.

Los centros de control son soportados a través de arquitecturas TCP/IP que contienen servidores de aplicación SCADA específica como: Supervisión y control de nivel superior, servicios de comunicaciones, servicios de bases de datos y redundancia de equipos para las aplicaciones de supervisión y control y comunicaciones. En la figura 2 se ilustra la arquitectura tradicional de un centro de control, de un sistema de potencia eléctrica, soportado por un sistema SCADA.

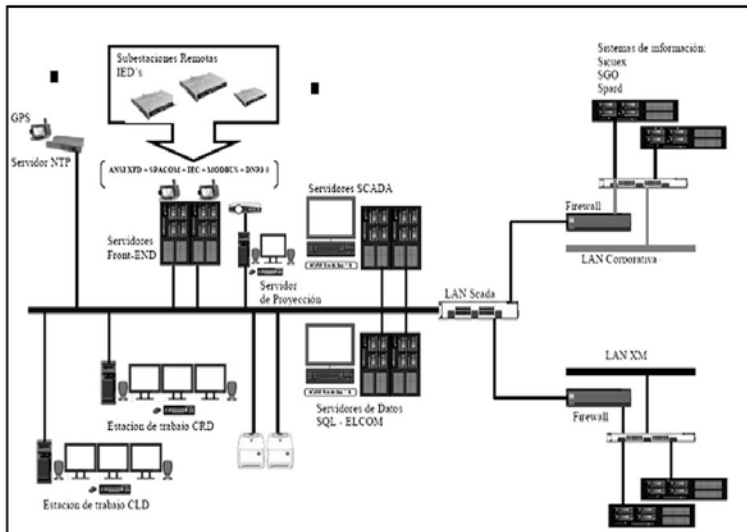


Figura 2. Arquitectura tradicional de un centro de control soportado en un sistema SCADA

El software utilizado generalmente es suministrado por el proveedor de la aplicación SCADA. La comunicación con sistemas de control de subestación remotos se hace a través de enlaces de fibra óptica dedicada y redundante y sistemas de radio enlaces inalámbrico y microondas. El Sistema SCADA da respuesta a las necesidades de integración, la utilización de nuevas tecnologías de la comunicación, intercambio de datos en tiempo real y el acceso a la información por parte de los usuarios, además de entregar el servicio de energía de forma fiable y segura.

El SCADA de un centro de control de un sistema de potencia eléctrica, esta conformado como se describe a continuación:

- Sistema base en hot - stand by: Encargado de correr los programas principales de control, supervisión y procesamiento de datos.
- Front - end redundantes: Controlan el intercambio de datos de proceso entre el sistema base y los IED.
- Estaciones de trabajo: Usadas por los operadores para la supervisión y control y por los ingenieros para el desarrollo, configuración, diseño y desarrollo.
- Sistemas base dedicados: Encargados del intercambio de datos con un centro de control superior utilizando el protocolo ELCOM - 90 y de registrar en una base de datos Oracle externa, los valores de operación.

En cada subestación operada en tiempo real, existe un SCADA con su propio sistema *base* y *front - end*. La comunicación entre el centro de control y las subestaciones se hace entre SCADAS o entre SCADA y las IED. Los protocolos que están soportados para comunicación con RTU (Unidad de Terminal Remota), son: ANSI X3.28, PAC5, RP570/571, Spa, P124, ADLP80, COMLI, LCU500, CCU, TCS101, IDLC, DNP3, Westinghouse F4F, LonTalk (LonWorks), General ASCII, RCOM (Procontic), Mastercom, ModBus RTU/TCP/IP, ABB Alpha, IEC1107, IEC870-5-103 (unbalanced master), IEC870-5-101/104 y ABB EXCOM.

Los protocolos que están soportados para comunicación con otros sistemas: ICCP (Tase 2), OPC (OLE for process control), ODBC, DDE, ELCOM90 y SQL, IEC61850.

El Sistema SCADA se divide en aplicaciones como las siguientes:

- Servidores Principales. Utilizados en la gestión principal de la información, para traer la información desde los sistemas remotos de cada Subestación hasta el Centro de Control.
- Comunicación: COM. La aplicación COM es la interfaz de comunicación entre la aplicación y la información remota.

- **SQL (*Structured Query Language*):** Es la comunicación directa entre el software del SCADA y las bases de datos, esta comunicación se hace a través de un vínculo ODBC (*Open Database Connectivity*) que es el que proporciona los medios para acceder a base de datos y aplicaciones que soportan el SQL y para los sistemas de información diseñados para consulta de información.
- **ELCOM:** La aplicación ELCOM es la comunicación directa con Centros de Control de niveles superiores, mediante un canal de información monitoreado por un nivel jerárquico superior y un canal de respaldo.

Un sistema SCADA puede manejar más de un millón de señales y cuenta con un sistema de posicionamiento global GPS, un frecuencímetro, un sistema de grabación de voz y un sistema de Seguridad (*Firewall*) para la red corporativa y para la comunicación con otros centros de control. Puede ser complementado por despliegues propios de las empresas usuarias como: Diagramas unifilares dinámicos, diagramas de tensiones de todas los barrajes que componen el sistema eléctrico, análisis de balance de corrientes por barras, diagramas unifilares de subestaciones para operación en tiempo real, diagramas unifilares de subestaciones no automatizadas para operación simulada. Cabe anotar que para garantizar la seguridad de las personas y del sistema eléctrico, su disponibilidad debe ser superior al 99.99%

3. Perspectivas de confiabilidad y eficiencia de los sistemas eléctricos en Colombia

Si bien existen aplicaciones orientadas a facilitar la gestión de los sistemas de distribución de energía eléctrica, y el gobierno ha dictado políticas con el fin de lograr un desarrollo sostenible en el tema energético, la implantación de una red inteligente es una solución que presta servicios para aumentar la capacidad, mejorar la eficiencia energética, controlar las pérdidas de energía.

Una red inteligente necesitará sistemas de gestión y comunicaciones que permitan efectuar *análisis en tiempo real* de la red, determinar el estado actual y el estado del sistema, predecir lo que puede suceder, y desarrollar planes. Estos sistemas necesitan datos de la empresa y datos externos, como la meteorología. La combinación de los contadores inteligentes, gestión de datos, red de comunicaciones y aplicaciones específicas a la medición es *la infraestructura de medición avanzada (AMI)*.

Una red inteligente no es una pieza de hardware o un sistema informático, sino más bien un concepto, se trata de un sistema de prestación

eléctrica inteligente que responde a las necesidades y se comunica directamente con los consumidores.

Igualmente, mediante la gestión de cargas, las tarifas en los servicios públicos mejorarían su costo, se optimizaría la entrada en operación de plantas de generación, para reducir el consumo de combustible y disminución de la emisión de gases de efecto invernadero.

La tecnología de red inteligente permite, a las compañías de electricidad, interactuar con los consumidores, permitiéndoles conocer las señales de precios e información acerca de las implicaciones del uso de energía y realizar el corte del servicio cuando las circunstancias lo requieran.

Hoy, con sofisticados SCADA y sistemas de gestión de distribución, los operadores hacen una interpretación individual de las situaciones para realizar la mayor parte de las maniobras y conmutaciones. Una vez implementada la red inteligente, el sistema eléctrico se adaptará a las nuevas condiciones sin intervención humana.

La clave para la red inteligente es la instalación de contadores inteligentes⁷ que proporcionan un vínculo entre el comportamiento de los consumidores y el consumo de energía eléctrica. La red inteligente tendrá *sensores* para detectar fallas, voltaje y corriente a lo largo de la red de distribución y comunicarlos a la red central. El sistema de distribución eléctrica pasará de una sola red a un sistema de red dual integrado. Una red representa el sistema de poder, y la otra representará un sistema avanzado de comunicación

Los sistemas tradicionales de SCADA son principios de las tecnologías de red inteligente. Sin embargo, el alcance de ellos es generalmente limitado a las subestaciones y a unos dispositivos de automatización, para desconectar a distancia los elementos de la red a través de la operación de interruptores. Los datos manejados por SCADA juegan un papel importante en cualquier aplicación de red inteligente.

Por su parte, los SIG proporcionan las herramientas, aplicaciones, los flujos de trabajo, y la capacidad de integración para apoyar a la red inteligente. Es difícil imaginar una aplicación de red inteligente, sin un completo y detallado modelo de red que figura en el SIG, las utilidades deben enfrentar una serie de desafíos para garantizar la eficacia de un programa de red inteligente.

Los datos no admiten ningún tipo de error para controlar automáticamente el sistema de distribución eléctrica. Las normas y los procesos

7 Un contador inteligente es un medidor de electricidad que mide el consumo de un pequeño intervalo de tiempo (segundos o *less*), controla los dispositivos eléctricos de la instalación, guarda los datos en la memoria, se comunica directamente con la compañía y brinda información al usuario.

deben ser controlados estrictamente, con el propósito de examinar cuidadosamente los datos, garantizar su actualización y asegurar los procedimientos de calidad.

Dado que el objeto principal de una red inteligente es agregar más capacidad de supervisión y control, los SIG son fundamentales para su éxito. Es imprescindible tener modelos sólidos de todos los activos eléctricos, de los clientes, y de los sistemas de telecomunicaciones que impulsarán la red.

En el tema de eficiencia energética, se hace necesaria la búsqueda de otras fuentes que garanticen el cubrimiento de la demanda de energía. Las energías renovables o alternativas (eólica y solar), son excelentes opciones para conseguir un ahorro energético y tener futuro más limpio, eficaz, amigable con la naturaleza y contribuir a la solución de problemas tan graves como el calentamiento global. Para la integración de estas nuevas fuentes de generación de energía que son geográficamente más dispersas, se requieren dotar a la red de mayor inteligencia.

Para afrontar los retos del país en materia energética, la UPME recientemente ha puesto a consideración de los agentes del sector eléctrico y de los usuarios, un documento que servirá de base para la construcción del PEN (Plan Energético Nacional 2010-2030), relacionado con el análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollo.

Los retos de Colombia en materia de eficiencia energética y uso racional de la energía, comprenden:

- Desarrollar estrategias de comunicación que trasciendan Crear un organismo específico para la promoción efectiva y pro-activa de políticas de uso racional de la energía.
- Fomentar una cultura nacional de la eficiencia energética, entendida como el uso racional y eficiente de la energía y el uso de fuentes no convencionales de energía, con beneficios reales y una adecuada protección e información a los consumidores y usuarios.
- Promover la formación académica en eficiencia energética desde el nivel básico hasta el avanzado incluyendo el nivel técnico y tecnológico; como también la investigación aplicada y la innovación tecnológica en las universidades y centros de investigación.
- Crear capacidades para el desarrollo tecnológico, la innovación y la gestión el conocimiento en el sector productivo a fin de consolidar una cultura energética en el marco del desarrollo sostenible.
- las coyunturas y las crisis para ser ejecutadas por todos los actores de acuerdo con las directrices que sobre el tema establezca

el Ministerio de Minas y Energía como ente rector de la eficiencia energética en Colombia. Las campañas de divulgación e información realizadas por las Empresas de Servicios Públicos deben responder a dichas estrategias.

- Construir las condiciones, tanto económicas, técnicas, regulatorias y de información para impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos en Colombia.
- Fomentar la innovación, la vigilancia tecnológica y la prospectiva para la incorporación de tecnologías y procesos eficientes en la cadena de suministro y uso de los energéticos.
- Definición de una estrategia financiera y un plan de incentivos (tributarios, económicos, reconocimientos) como también de mecanismos y esquemas de mercado para la financiación y estructuración económica de proyectos.
- Fomentar el desarrollo de esquemas empresariales y de negocios, convenios e impulso en la creación y consolidación de agentes de mercado.
- Coordinación de las políticas para fijar los precios de los energéticos y generar señales para que los esquemas tarifarios induzcan a la eficiencia energética.
- Velar por la estabilidad normativa que regula los aspectos relacionados con los proyectos de Eficiencia Energética y definir metas claras en la reducción de la intensidad energética para el corto, mediano y largo plazo

4. Conclusiones

- Las formulaciones y requerimientos de aplicabilidad de las leyes y códigos de instalaciones eléctricas para las empresas del sector de la energía, contribuyen a la prestación de un servicio en mejores condiciones técnicas y de seguridad para quienes la utilicen y para los encargados de su control y operación.
- Las Leyes, Resoluciones y Reglamentos de Instalaciones Eléctricas, como el Código de Distribución, URE, RETILAP, y en última instancia el PEN, pretenden que los usuarios, en especial su mayor demandante como es el sector Industrial, usen confiable, eficaz, eficiente y, en especial, racionalmente este recurso.
- La normatividad de igual forma lleva a la proyección y análisis de inversiones a corto mediano y largo plazo para la adquisición de nuevos equipos y tecnologías que se adapten no solo al sistema

- energético colombiano, sino también a las nuevas condiciones de uso y en especial a su control y operación.
- La entrada al país de nuevas tecnologías conlleva la presencia de inversionistas extranjeros inmersos en el mercado de la energía, interesados en participar y plantear otras estrategias que permitan hacer de este un mercado cada vez más competitivo y atrayente.
- Con la implementación de herramientas como el SCADA y SIG, se simplifica la operación, brindando seguridad y calidad, convirtiéndose en un factor primordial para el funcionamiento y operabilidad de los sectores comercial, residencial e Industrial de un país en vía de desarrollo.
- La búsqueda de nuevas tecnologías, la implementación de redes inteligentes y del Plan Energético Nacional, marcan el futuro del sector energético, buscando consolidar un desarrollo sostenible y ampliamente confiable.
-

Bibliografía

- ABB (2010). Remote Terminal Unit RTU560 [en línea]. Zurich (Suiza): Asea Brown Boveri, ABB. <<http://www.abb.com.co/product/db0003db004281/c12573e700330419c1256d8200401704.aspx>> [consulta: 20/07/2010]
- ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE (Colombia). (1991). Constitución Política de Colombia [en línea]. Bogotá (Colombia): Presidencia de la República. <<http://web.presidencia.gov.co/constitucion/index.pdf>> [consulta: 15/07/2010]
- CEPAL. (2004). Serie Recursos Naturales e Infraestructura - Seguridad y calidad del abastecimiento eléctrico a más de 10 años de la reforma de la industria eléctrica en países de América del Sur [en línea]. Santiago de Chile (Chile): <<http://www.cepal.org>> [consulta: 15/07/2010]
- COMUNIDAD ANDINA DE NACIONES. (2002). Marco General para la interconexión subregional de sistemas eléctricos e intercambio intracomunitario de electricidad [en línea]. Lima (Perú): Comunidad Andina de Naciones. <<http://comunidadandina.org/normativa/dec/D536.htm>> [consulta: 14/07/2010]
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA (Colombia) (1994). Ley 142: Ley de Servicios Públicos Domiciliarios [en línea]. Bogotá (Colombia): Congreso de la República de Colombia. (11/07/1994). <http://www.creg.gov.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-67&p_options=>> [consulta: 30/06/2010]
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA (Colombia) (1994). Ley 143: Ley Eléctrica. [en línea]. Bogotá (Colombia): Congreso de la República de Colombia. (11/07/1994). <http://www.creg.gov.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-67&p_options=>> [consulta: 30/06/2010]
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA (Colombia) (2001). Ley 697: Uso Racional de la Energía - URE. [en línea]. Bogotá. Congreso de la República de Colombia. 03/10/2001. <http://www.creg.gov.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-67&p_options=>> [consulta: 10/07/2010]
- CREG (2008). Resolución 097 [en línea]. Bogotá (Colombia): Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG. 26/09/2008. <http://www.creg.gov.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-182&p_options=>> [consulta: 15/07/2010]

- CREG. (1998). Resolución 070: Código de Distribución [en línea]. Bogotá (Colombia): Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG. (28/05/1998). <http://www.creg.gov.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-75&p_options=> [consulta: 05/07/2010]
- CREG. (2000). Resolución 096 [en línea]. Bogotá (Colombia): Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG. (30/11/2000). <http://www.creg.gov.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-182&p_options=> [consulta: 08/07/2010]
- CREG. (2002). Resolución 084 [en línea]. Bogotá (Colombia): Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG. 30/12/2002. <http://www.creg.gov.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-182&p_options=> [consulta: 08/07/2010]
- ISBELL, Paul y STEINBERG, Federico (2008). El nuevo escenario energético en América [en línea]. En: Revista Económica de la Energía ICE (may.-jun.). No. 842, Madrid (España): Unidad de Estudios del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. p. 111-123. ISSN: 0019-977X <http://www.revistasice.com/cmsrevistasICE/pdfs/ICE_842_111-123__E742ED349304BD4622AED917A051B466.pdf > [consulta: 25/07/2010]
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (Colombia) (2009). Resolución 18 1331: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP [en línea]. Bogotá (Colombia): ACIEM. <<http://www.aciem.org/bancoconocimiento/R/REGLAMENTOT%C3%89CNICODEILUMINACI%C3%93NYRETAILAP.pdf>> [consulta: 15/07/2010]
- OLADE (1997). Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y El Caribe: Enfoques para la política energética [en línea] Bonn (Deutschland): Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH <<http://www.gtz.de/de/dokumente/es-olade-4.pdf> [consulta: 15/07/2010]
- ORTEGA, Miguel (2006). Unión Fenosa Colombia: un ejemplo de mala calidad de servicio al servicio del beneficio empresarial [en línea]. Barcelona (España): Observatorio de la Deuda en la Globalización (ODG). <http://www.odg.cat/documents/enprofunditat/Transnacionals_espanyoles/calidad.pdf> [consulta: 18/12/2010]
- PLTS AND DATABASE SERVICES FOR UTILITIES TEAMS, ESRI (2009). How to Use Production Line Tool Set (PLTS) for ArcGIS [online]. En: Energy Currents (Fall). p. 14-15. Redlands (CA, USA): ESRI. <<http://www.esri.com/library/newsletters/energycurrents/energyfall2009.pdf>> [consult: 05/08/2010]
- REMCO ENGINEERING (2007) SCADA – Plant Automation Solutions [en línea]. Ventura (CA, USA): Remco Engineering <<http://www.remco.com/scadas.htm>> [consulta 25/07/2010]
- RESTREPO, Jaime Eduardo (2008). Foro de Normalización y Contexto Nacional en Energía Solar y Eólica [en línea]. Bogotá (Colombia): Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME. (25/11/2008) <http://www.upme.gov.co/Eventos/Foro_Normalizacion/lcontec_eolicaUPME.pdf> [consulta: 26/07/2010]
- RUBIO BARROSO, Alfonso y GUTIÉRREZ PUEBLA, Javier. (1997). Los sistemas de información geográficos origen y perspectivas [en línea]. En: Revista General de Información y Documentación, Vol. 7, No. 1, Madrid (España): Servicio de Publicaciones, Universidad Complutense. p. 93-106. ISSN: 1131-8635. 2008 <<http://revistas.ucm.es/byd/11321873/articulos/RGID9797120093A.PDF>> [consulta: 25/07/2010]
- UPME (2008). Memoria Foro de Normalización y Contexto Nacional en Energía Solar y Eólica [en línea]. Bogotá (Colombia): Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME. (25/11/2008) <http://www.upme.gov.co/Eventos/Foro_Normalizacion/Memorias.pdf> [consulta: 26/07/2010]
- VERA, Marco Antonio (2008). La confiabilidad de la energía en Colombia. En: 14° Congreso del Mercado de Energía Mayorista CNO y CAC, (30/10/2008). Cali (Colombia): ANDESCO – Cámaras sectoriales de energía y gas. 13 p.