
ANÁLISIS DE LA CRITICIDAD DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN COMO PARTE FUNDAMENTAL EN LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO ELÉCTRICO

Rubén A. Acevedo Rueda

RESUMEN

La Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico de diciembre de 2010 define el servicio eléctrico como la actividad prestacional ejercida por el Estado venezolano, destinada a satisfacer la necesidad de suministro de energía eléctrica a la colectividad para garantizar el desarrollo integral del país. A nivel mundial, se reconoce el acceso a la electricidad como un aspecto fundamental para el bienestar social y el desarrollo de las naciones. Este trabajo presenta un análisis funcional de los

sistemas utilizados para la prestación de este servicio, desde la obtención hasta entrega de la energía eléctrica, destacando la criticidad de los Sistemas de Distribución que, como parte de los Sistemas Eléctricos de Potencia, representan el vínculo directo con los usuarios finales. Se formulan conceptos y modelos que permiten una mejor comprensión de los postulados y se introduce, de forma general, una propuesta para abordar esa criticidad y fortalecer la prestación del servicio eléctrico.

Introducción

El servicio eléctrico está reconocido a nivel mundial como uno de los aspectos fundamentales para el desarrollo y bienestar social de las naciones. Su impacto sobre el medio ambiente también es considerado altamente significativo. Entre los indicadores de desarrollo del Banco Mundial, el acceso a la electricidad se encuentra dentro de la categoría de Cambio Climático. Las Naciones Unidas reconocen el impacto negativo

sobre la salud y el desarrollo, que ocasiona la carencia de acceso al servicio eléctrico. En Venezuela, se encuentra declarado entre los Bienes y Servicios de Primera Necesidad (Gaceta Oficial, 2003).

La Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico (Gaceta Oficial, 2010), como parte de sus aspectos novedosos y más relevantes, presenta las declaratorias de acceso universal y de servicio público, utilidad pública e interés social, y el modelo de gestión socialista. En éstas, se esta-

blece que todos los ciudadanos tienen derecho universal al servicio eléctrico, así como el carácter de servicio público de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica (Acevedo, 2011).

En este trabajo se consideran los aspectos que caracterizan a los sistemas de distribución, que permiten formular y sostener la hipótesis de su criticidad como elemento fundamental de los sistemas de potencia en la prestación del servicio eléctrico. Se presenta

también la propuesta que en otros trabajos ha desarrollado el autor, para atender esta criticidad y apoyar la modernización de la distribución de energía eléctrica, con una visión estratégica.

Análisis Funcional de los Sistemas Eléctricos de Potencia

Los textos educativos básicos y avanzados de ingeniería eléctrica identifican tres subsistemas fundamentales en los sistemas de potencia: genera-

PALABRAS CLAVE / Sistemas de Distribución / Servicio Eléctrico / Sistemas Eléctricos de Potencia /

Recibido: 22/11/2012. Modificado: 31/07/2013. Aceptado: 02/08/2013.

Rubén A. Acevedo Rueda. Ingeniero Electricista y M.Sc. en Ingeniería de Procesos, UNEX-PO, Venezuela. Profesor, Uni-

versidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela y Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José

de Sucre, Venezuela. Jefe de Departamento, CORPOELEC, Venezuela. Dirección: Despacho de Carga Centro Occidente,

Centro Nacional de Despacho, CORPOELEC, Barquisimeto, Venezuela. e-mail: racevedo@corpoelec.gob.ve

CRITICALITY ANALYSIS OF DISTRIBUTION SYSTEMS AS A FUNDAMENTAL PART OF ELECTRIC SERVICE SUPPLY

Rubén A. Acevedo Rueda

SUMMARY

The Electrical System and Services Law of December 2010, defines the electrical service as the activity exercised by the Venezuelan State, designed to meet communities' need for electrical supply so as to ensure the integral development of the country. Access to electricity is globally recognized as a key to social welfare and the development of nations. This paper presents a functional analysis of the systems used for the provision

of this service, from procurement to delivery of electric energy, highlighting the criticality of Distribution Systems that, as a part of the Electric Power Systems, represent the direct link with end users. Concepts and models are formulated to allow a better understanding of the postulates and, in a general way, a proposal is introduced to address such criticality and strengthen the provision of electrical service.

ANÁLISE DE CRITICIDADE DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO COMO PARTE FUNDAMENTAIS NA PRESTAÇÃO DO SERVIÇO ELÉTRICO

Rubén A. Acevedo Rueda

RESUMO

A Lei do Sistema e Serviço Elétrico de dezembro 2010 define o Serviço Elétrico como atividade prestacional exercida pelo Estado Venezuelano, projetada para atender a necessidade de abastecimento de eletricidade à comunidade para assegurar o desenvolvimento integral do país. O acesso à energia elétrica e reconhecido mundialmente como uma chave para o bem-estar social e desenvolvimento das nações. Este trabalho apresenta uma análise funcional dos sistemas utilizados para a presta-

ção deste serviço, desde o provisionamento até a entrega de energia elétrica, com destaque para a criticidade de sistemas de distribuição, como parte de Sistemas Elétricos de Potência, representando a ligação direta com os usuários finais. Conceitos e modelos são formulados para permitir uma melhor compreensão dos postulados e apresenta, em geral, uma proposta para resolver esta criticidade e fortalecer a prestação de serviço de energia elétrica.

ción, transmisión y distribución. En estos subsistemas se cumplen los procesos técnicos medulares para la prestación del servicio eléctrico.

Kundur (1994) señala que los sistemas de potencia se componen de las centrales de generación y las redes de transmisión, dividiendo esta última en transmisión, sub-transmisión y distribución. Weber (2005) y Stevenson (1985) coinciden en identificar como componentes de los sistemas de potencia a la generación, transmisión, distribución y los usuarios o cargas conectadas al sistema. Saccomanno (2003) incorpora, además de los tres subsistemas fundamentales, las interconexiones con otros sistemas de potencia.

Con base en los postulados de los autores mencionados, además de la raíz etimológica de sus términos, se formula el siguiente concepto general: Se denomina 'Sistema Eléctrico de Potencia' al conjunto de elementos que interactúan or-

ganizadamente entre sí, para cumplir con los procesos asociados a la producción de la energía eléctrica y su entrega a los usuarios finales.

En el Sistema Eléctrico de Potencia pueden identificarse los siguientes subsistemas:

Sistema de Generación. Conjunto de elementos que interactúan organizadamente entre sí para cumplir con los procesos asociados a la producción de energía eléctrica, generalmente trifásica y en grandes bloques de potencia.

Sistema de Transmisión. Conjunto de elementos que interactúan organizadamente entre sí para transportar grandes bloques de potencia desde los centros de generación hasta los centros de distribución, siendo el vínculo entre estos.

Sistema de Distribución. Conjunto de elementos que interactúan organizadamente entre sí para entregar la energía

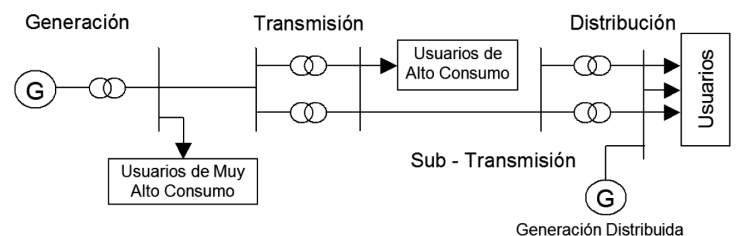


Figura 1. Sistemas eléctricos de potencia.

eléctrica a los usuarios finales. Técnicamente, es el vínculo directo y final con los usuarios del servicio.

En la Figura 1 se presenta un diagrama de los componentes de los sistemas eléctricos de potencia. En este esquema se resalta la sub-transmisión como componente intermedio entre la transmisión y la distribución, así como la generación distribuida, incorporada a la distribución.

En un enfoque sistémico, el servicio eléctrico, además de los procesos técnicos medulares, contempla también los aspectos económicos asociados, así como la supervisión y

control. Acevedo (2003) desarrolla el concepto general de los procesos de las empresas de distribución de energía eléctrica, además de sus interrelaciones, considerando tanto sus procesos operativos como el marco institucional en el que se rigen.

La Prestación del Servicio Eléctrico

De forma análoga a los procesos involucrados en la generación de potencia, los procesos que conforman la prestación del servicio eléctrico pueden esquematizarse como se muestra en la Figura 2, que contempla las siguientes

tes relaciones entre componentes:

Generación - Transmisión. El proceso de transmisión permite llevar los grandes bloques de potencia desde los centros de generación hasta las instalaciones de distribución de la energía eléctrica. A su vez, representa restricciones para la generación, ya que la capacidad de transporte limita la capacidad de generación: la energía eléctrica no puede ser almacenada en grandes bloques y solo se genera la que se puede transportar y consumir.

Generación / Transmisión - Distribución. En los procesos técnicos, la distribución es el vínculo, directo y final con los usuarios, por lo tanto, permite entregar a ellos la energía eléctrica. A pesar de que algunos usuarios de alto y muy alto consumo pueden estar servidos desde instalaciones de generación o transmisión, la mayoría se encuentran servidos del sistema de distribución. Las exigencias derivadas de los aumentos en la demanda inciden directamente sobre el sistema de distribución, pero se reflejan en requerimientos de expansión o mejora a la Generación / Transmisión.

Comercialización / Procesos Técnicos Medulares. A pesar de que el vínculo eléctrico entre los usuarios y el sistema eléctrico de potencia puede estar ubicado en cualquiera de sus subsistemas, la comercialización es el proceso que rige la relación con los usuarios, regulando aspectos técnicos y económicos de la misma. La comercialización vincula al usuario con los procesos técnicos medulares y garantiza la retribución de los costos del servicio prestado, lo que se refleja en un ingreso que permite mantener la operatividad del sistema eléctrico de potencia.

Marco Económico, Regulación Supervisión y Control. Se refiere a todos los procesos asociados con la formulación de políticas económicas y re-

gulatorias, de supervisión y control, orientadas a garantizar la operatividad del sistema eléctrico de potencia y la prestación del servicio eléctrico bajo las premisas que se planteen para el mismo.

Las interconexiones se presentan como el vínculo que permite el intercambio de energía con organismos externos al sistema. Generalmente se trata de otras empresas, nacionales o de países vecinos, y las políticas de intercambio se fijan en conjunto entre ambas partes.

Considerando que el objetivo fundamental de los sistemas de potencia es la entrega de energía eléctrica a los usuarios finales, la distribución reviste una importancia estratégica, dado que las fallas que allí se presenten, afectarán directamente el cumplimiento de ese objetivo. Sin embargo, con la incorporación de generación distribuida al subsistema de distribución, se pueden desarrollar esquemas de redes que ofrezcan un nivel aceptable de autonomía, respecto a la transmisión y generación. De esta forma, funcionalmente se puede conformar un sistema de potencia a menor escala, con los elementos de distribución, subtransmisión y generación distribuida, que permitiría su operación continua, de forma independiente, manteniendo el servicio a la mayoría de los usuarios, sin ser afectados significativamente por las fallas en generación o transmisión.

Sistemas de Distribución: Elemento Crítico en la Prestación del Servicio

Los Sistemas de Distribución son los que contabilizan la mayor cantidad de activos instalados (longitud de línea, número de estructuras de soporte, elementos de maniobra, transformadores, entre otros) en los Sistemas de Potencia, siendo además el vínculo directo con los usuarios finales, condición que les reviste de gran importancia en el aseguramiento de la calidad del

servicio ofrecido (Acevedo, 2009).

Según la Memoria y Cuenta del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE, 2013) en Venezuela se presentan indicadores consolidados que muestran que en transmisión se cuenta con 29.749km de líneas eléctricas, alcanzando apenas un 25% de lo instalado para redes de distribución, las que en 2012 sumaban un total de 119.406km. Solo en el Estado Lara se contaba en el 2010 con más de 25.500 transformadores de distribución de media a baja tensión, instalados en el sistema regional. En cuanto a las subestaciones, al 2012 se contabilizan 434 de transmisión contra 451 de distribución. Sin embargo, se debe aclarar que muchas de las subestaciones de transmisión también se encuentran equipadas y funcionan dando servicio a circuitos de distribución, por lo que estas cifras no reflejan totalmente la proporción real.

Ese mismo documento permite apreciar que, del total de 6.067.055 usuarios registrados en diciembre 2012, 5.348.895 son residenciales (88%). Del resto de los usuarios no residenciales, solo los de muy alto consumo se conectan directamente al sistema de transmisión, por lo que se puede decir entonces que más del 90% de los usuarios se encuentran servidos por las redes de distribución.

Estas características, aunadas al carácter estratégico de la energía eléctrica desde el punto de vista socioeconómico, han sido causas por las que, a nivel internacional, las empresas prestadoras de este servicio han abordado los aspectos relacionados con los sistemas de distribución como procesos principalmente operativos, sin llegar a tratarlos como problemas de ingeniería, investigación y desarrollo.

Debido a esto, en algunos casos, los sistemas de distribución han crecido con el solo objetivo de cubrir las necesidades de la mayor cantidad de usuarios posible y

mantener la continuidad, sin una visión estratégica que oriente su crecimiento hacia la prestación de un servicio de calidad, moderno y eficiente, desaprovechando las oportunidades de desarrollo académico, tecnológico y económico que ofrece esta área.

Venkata y Rudnick (2007) explican que en el pasado, a pesar de la reciente necesidad del servicio eléctrico como parte fundamental del desarrollo socioeconómico, no se le ha prestado la debida atención al desarrollo de la distribución, en comparación a la que recibieron la generación y transmisión, reiterando lo planteado anteriormente por Venkata y Balijepalli (2002).

Esto trae como consecuencia que, aún bajo esquemas de operación regulados, la planificación, diseño, operación y gestión de los sistemas de distribución han sido tópicos desatendidos durante muchos años, al igual que la optimización, eficiencia, regulación de voltaje y otros aspectos igualmente importantes.

Los resultados más tangibles se pueden apreciar, en la actualidad, en empresas eléctricas tanto públicas como privadas de diferentes países, que presentan pérdidas de energía de 30 a 50%. (Venkata y Rudnick, 2007)

En el balance energético 2004-2007 (CAVEINEL, 2004-2007) se destaca el hecho de que en Venezuela, mientras las pérdidas en alta tensión representan un 3% de la energía producida, a nivel de baja tensión las pérdidas alcanzan un 24,4% del total de la energía generada, alcanzando un promedio de 25.592GWhr. Esto refleja que del total de las pérdidas de energía, casi el 90% se produce a nivel de las redes de distribución, lo cual resulta consistente con el hecho de que, entre otros aspectos, son más extensas y cuentan con la mayor cantidad de elementos instalados.

En la referida Memoria y Cuenta del Ministerio (MPPEE, 2013) se presenta el ba-

lance energético que se muestra en la Tabla I, donde se observa que en Venezuela, las pérdidas por energía no facturada en el año 2012 alcanzan un total de 33,35% de la energía bruta generada. Esto representa una eficiencia de 66,65% en el sistema eléctrico nacional y se encuentra dentro de los rangos observados por otros autores.

Las estadísticas consolidadas del Banco Mundial (<http://data.worldbank.org>) y la Agencia de Información sobre Energía de Estados Unidos (EIA, por sus siglas en inglés; www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm), muestran que las pérdidas de energía eléctrica de distribución en el mundo alcanzan un 9,66% del consumo total. De 215 países con estadísticas registradas, 39 presentan pérdidas superiores al 20%.

En muchos países en vías de desarrollo, como en Venezuela, la proyección del servicio eléctrico como un derecho humano, ha motivado el crecimiento de los sistemas de distribución, en ocasiones al punto tal de hacer uso extremo de las instalaciones y equipamiento disponibles.

Es común entonces encontrar cables subterráneos, líneas aéreas, postes y transformadores con más de sesenta (60) años de servicio. La supervivencia de estos equipos e instalaciones se puede atribuir al enfoque conservador en el diseño y operación de las redes de distribución en años anteriores (Venkata y Rudnick, 2007). Sin embargo, el efecto sobre la eficiencia y la calidad del servicio ofrecido a los usuarios motiva a la reflexión y a una profunda evaluación de la necesidad de cambiar la visión que se ha tenido hasta ahora.

En la XXXIX Mesa Redonda Sobre la Industria Eléctrica (CAVEINEL, 2005) se destacó la necesidad de adecuación de los sistemas

de distribución, debido a las condiciones de los mismos. Entre otros datos, se puede señalar que para ese momento, el 41% de los circuitos de distribución había excedido su vida útil, 22% funcionaba con tecnología obsoleta y 49% no contaba con planes de adecuación.

Al igual que en otros países, como se explicó anteriormente, la relevancia que se ha dado a la generación y transmisión, junto al enfoque operativo y la carencia de un plan de modernización progresiva con mayor visión técnica en el diseño, planificación, operación y gestión de los sistemas de distribución, han sido las principales causas de esta situación.

En Venezuela, la creación de la Corporación Eléctrica Nacional (Gaceta Oficial, 2007) fija el objetivo de reorganizar el sector eléctrico nacional para mejorar la calidad del servicio en todo el país, maximizar la eficiencia en el uso de las fuentes primarias de producción de energía y en la operación del sistema y redistribuir las cargas y funciones de las actuales operadoras del sector. Esto supone un gran reto, tanto en el logro de los objetivos planteados en la Ley Orgánica de Reorganización del Sector Eléctrico (Gaceta Oficial, 2007), como en el cumplimiento de la Ley Orgánica del Sistema y

TABLA I
BALANCE ENERGÉTICO 2006-2011

	Unidad	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total de suscriptores a diciembre de cada año	Nº	5.270.778	5.418.498	5.544.262	5.669.384	5.802.010	6.067.055
Residencial	Nº	4.666.210	4.795.079	4.884.414	5.002.603	5.114.759	5.348.895
No residencial	Nº	604.568	623.419	659.848	666.781	687.251	718.160
Energía facturada consumidores finales	GWh	81.269	84.183	86.787	80.878	83.145	85.045
Residencial	GWh	21.364	23.515	25.691	27.421	28.541	31.439
No residencial	GWh	59.905	60.668	61.096	53.457	54.604	53.606
Ingresos facturados consumidores finales	MMBs.	5.993	6.189	6.583	7.586	8.382	8.988
Residencial	MMBs.	1.625	1.978	2.219	2.434	2.855	3.333
No residencial	MMBs.	4.367	4.211	4.364	5.152	5.526	5.655
Energía no facturada							
Energía	GWh	26.379	31.918	34.279	35.798	39.698	42.564
Porcentaje de la energía bruta generada	%	22,95	26,45	27,46	30,68	32,32	33,35
Consumo medio anual	kWh/sus	15.419	15.536	15.654	14.266	14.330	14.018
Residencial	kWh/sus	4.578	4.904	5.260	5.481	5.580	5.878
No residencial	kWh/sus	99.087	97.314	92.591	80.172	79.453	74.644

Fuente: MPPEE (2012). Indicadores Consolidados del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Servicio Eléctrico (Gaceta Oficial, 2010).

En los indicadores de la Memoria y Cuenta del MPPEE (2013) se observa que, mientras las inversiones contempladas en 2010, 2011 y 2012 en Generación y Transmisión han aumentado su ejecución hasta un 67% y 36% respectivamente, a nivel de Distribución ha bajado a un 18% de lo presupuestado, reafirmando lo señalado respecto a la menor relevancia que se le otorga a este aspecto, en relación con los demás subsistemas.

La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, 2011) presenta una estadística acumulada del 2001 al 2010, que muestra que del total de la inversión promedio en infraestructura eléctrica en Estados Unidos, solo se ha asignado entre 22 y 38% a distribución, mientras que en la estimación para el año 2020 de necesidades acumuladas de inversión, un 53% del total corresponde a este subsistema, lo que permite ver que la problemática expuesta no solo se observa en Venezuela. ASCE estima para el año 2020 una brecha de US\$ 107x1012 entre la inversión requerida y la inversión prevista en los Estados Unidos para la infraestructura del servicio eléctrico. Sin embargo, señala que con el avance de la tecnología y elevando la eficiencia,

esa brecha puede resultar menor a lo previsto.

Tendencias en la Modernización de la Distribución

Venkata y Balijepalli (2002) señalan que el acelerado crecimiento de las necesidades de los usuarios por un servicio eléctrico con mayores niveles de confiabilidad y consumo eléctrico, así como el acelerado desarrollo tecnológico, obliga a los ingenieros de distribución a reorientar su visión para adaptarse a las nuevas condiciones.

En trabajos de diversos autores se pueden encontrar proyectos que ofrecen a los sistemas de distribución una mayor relevancia dentro de la cadena productiva en la prestación del servicio eléctrico. Tal es el caso de FRIENDS (*Flexible, Reliable, Intelligent Energy Delivery Systems*) en Japón (Nara *et al.*, 2000) y el proyecto Microgrids (Hatziargyriou, 2008; Kroposki *et al.*, 2008), en los cuales se presentan propuestas de redes de distribución con tecnología que permite controlar los niveles de calidad ofrecidas a los usuarios, aprovechar la generación distribuida, la automatización de las redes y realizar gestión del lado de la demanda.

Fanning y Huber (2005), plantean que la visión de la distribución para el año 2010

se orientaría hacia la automatización de los procesos y operaciones. Bresesti y Cerretti (2007), en Italia, presentan su proyecto de redes de distribución con operación inteligente, integrando la generación distribuida con base en sistemas de protección, operación y control que buscan mejorar la eficiencia y optimizar los costos de inversión y mantenimiento.

La operación inteligente también es considerada por Kueck y Kirby (2003), dentro de otros aspectos que conforman su visión futurista de los sistemas de distribución en los Estados Unidos; estos autores plantean estrategias que minimizan la dependencia de la distribución con el sistema de transmisión y las grandes fuentes de generación.

Hatzigaryriou (2008) expresa que la estimación de una agencia energética internacional considera una inversión global de US\$ 16×10^{12} en el período 2003-2030, resaltando que las redes de distribución están pasando de ser pasivas a activas, en el sentido de que la toma de decisiones y el control se encuentra distribuido y el flujo de potencia comienza a ser bidireccional, con la inclusión de generación distribuida. Se reafirma así la característica funcional de los sistemas de distribución, que pueden llegar a operar como sistemas de potencia a menor escala, para mantener la continuidad del servicio a los usuarios.

En los trabajos mencionados se pueden identificar las siguientes constantes entre las tendencias:

Orientación hacia la confiabilidad. Los sistemas de distribución deben cubrir la necesidad y el deber de prestar un servicio continuo con valores que cumplan con límites establecidos como indicadores de calidad de energía. Esto resulta consistente con el hecho que representan el vínculo directo con la mayoría de los usuarios finales del servicio.

Orientación hacia la eficiencia. Los sistemas de distribu-

ción deben garantizar la eficiencia energética, tanto por razones de economía (costo de pérdidas) como por razones de sostenibilidad (reducción del desperdicio energético). Las pérdidas eléctricas y el hecho de que más del 80% de ellas se producen a

nivel de distribución, centran en éstas??? la atención para la formulación de criterios y proyectos de eficiencia.

Independencia del sistema de potencia El hecho de que los sistemas de distribución pueden mantener una autonomía funcional respecto a la generación y transmisión, motivan los estudios tendientes a garantizar la confiabilidad y eficiencia, apuntando a la necesidad de reducir el impacto de las perturbaciones en generación y transmisión sobre los sistemas de distribución y, por lo tanto, sobre el servicio prestado a los usuarios. Para esto se refuerza la necesidad de operación inteligente, además de la incorporación de generación distribuida.

Otras constantes que pueden identificarse, aportan y refuerzan los aspectos anteriores. Entre ellas se encuentran:

Control supervisorio. El uso de sistemas de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA, por las siglas de *Supervisory Control and Data Acquisition*) se ha extendido entre las empresas prestadoras del servicio eléctrico, por lo que cualquier visión de los sistemas de distribución, involucra de las capacidades de supervisión y operación remota, que ofrecen los sistemas SCADA.

Control distribuido. En sistemas donde la criticidad o complejidad de sus componentes amerita una estrategia de control más estricto y seguro, los sistemas de control

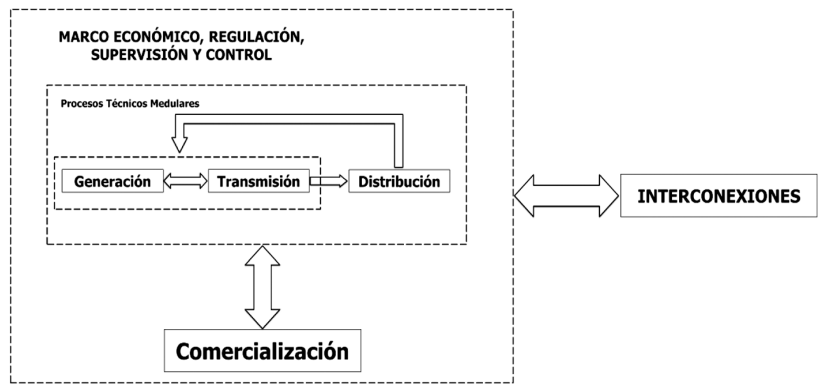


Figura 2. Servicio eléctrico: entorno, procesos e interrelaciones.

distribuido constituyen la base para garantizar la operación bajo esos criterios. La visión de modernización de los sistemas de distribución refleja una necesidad de complejizar su configuración, abriendo la necesidad del uso de control distribuido.

Operación inteligente. El uso de los avances tecnológicos en el diseño de equipos que permiten la operación remota y automatizada de sistemas y plantas ofrece capacidad para reducir los tiempos de ejecución de maniobras de aislamiento de fallas y restauración del servicio, aumentando la confiabilidad.

Ingeniería de Sistemas de Distribución

Los sistemas de distribución, su gestión, planificación y operación, abarcan una serie de actividades para las

que, desde diferentes enfoques y proyectos, se han tomado valiosas iniciativas. Sin embargo, la problemática expuesta en relación a las condiciones actuales, así como la tecnología y avances técnicos que ofrecen nuevas visiones y oportunidades, motiva la propuesta de agrupar y organizar en áreas de desarrollo a las diversas tareas que supone la modernización del servicio de distribución de electricidad.

En trabajos anteriores (Acevedo, 2007, 2009), se aplicaron herramientas de planeación estratégica, como el Análisis FODA y los Mapas Estratégicos, se identificaron y establecieron seis áreas de acción: planificación, optimización, gestión de recursos, operación y mantenimiento y calidad de energía.

Para cada una de ellas se propusieron iniciativas, proyectos especiales, indicadores de



Figura 3. Áreas estratégicas en la ingeniería de sistemas de distribución. Tomado de Acevedo (2009)

gestión y alineación con el entonces Cuadro de Mando Integral de la entonces C.A. Energía Eléctrica de Barquisimeto. El objetivo global de la propuesta, que se presenta en la Figura 3, fue desarrollar estudios orientados a avanzar en la modernización de las técnicas y metodologías utilizadas en la empresa para los sistemas de distribución.

Los objetivos específicos de las seis áreas de acción (A1 a A6) que integran la propuesta son:

A1. Planificación: Crecimiento sostenible. Ofrecer una visión global del crecimiento de las redes de distribución para establecer las estrategias de inversión que permitan garantizar la capacidad de prestación del servicio, bajo parámetros de calidad y criterios operativos que garanticen la confiabilidad del sistema, respetando al medio ambiente y orientando su interés al beneficio de la sociedad.

A2. Optimización: Minimización de pérdidas técnicas. Garantizar la operación eficiente de las redes de distribución, reduciendo los costos asociados a pérdidas técnicas de energía eléctrica y mejorando la confiabilidad del sistema mediante una topología que facilite la restauración del servicio ante fallas y asegure la selectividad en el accionamiento de las protecciones.

A3. Gestión de la información: Plataforma tecnológica. Generar y mantener una fuente de información confiable y oportuna que sirva de apoyo a los procesos que requieren consultar la topología y equipamiento del sistema de distribución.

A4. Gestión de recursos: Eficiencia en el uso de recursos físicos y financieros. Proyectar, planificar y gestionar eficientemente la disponibilidad y el uso de los recursos para la adecuación y expansión del sistema de distribución.

A5. Calidad de energía: Satisfacción de los usuarios. Garantizar el cumplimiento de

los parámetros de calidad de producto técnico en conformidad con los estándares y los indicadores adecuados.

A6. Operación y mantenimiento: Eficiencia en la prestación del servicio. Garantizar condiciones de operación y planes de mantenimiento eficientes, que permitan elevar la calidad en la prestación del servicio eléctrico.

Conclusiones

Para evaluar la criticidad de los sistemas de distribución como parte fundamental en la prestación del servicio eléctrico, se desarrolló un análisis funcional de los sistemas eléctricos de potencia, que permite comprender su estructura, con base en la descripción de sus partes: generación, transmisión y distribución. Se identifica la distribución como subsistema crítico, dado que cualquier falla en el mismo afecta directamente la entrega de energía a los usuarios finales. Sin embargo, un correcto equipamiento y la configuración adecuada permitirían independizar las redes de distribución del resto del sistema, sin afectar la continuidad del servicio.

La distribución de la energía eléctrica se cumple en uno de los subsistemas fundamentales de los sistemas eléctricos de potencia y es uno de los procesos técnicos medulares más importantes, dado que representa el vínculo directo con los usuarios del servicio. En Venezuela, por ejemplo, más del 90% de los usuarios se encuentran conectados a las redes de distribución.

Las redes de distribución representan la mayor cantidad de activos instalados en el sistema (longitud de línea, número de estructuras de soporte, elementos de maniobra, transformadores, entre otros). El caso venezolano muestra que las líneas de transmisión alcanzan apenas un 25% de kilómetros instalados respecto a distribución.

En el común de los casos, para la generación y transmi-

sión se contemplan grandes montos de inversión en largos horizontes de tiempo, en cambio, los sistemas de distribución presentan una dinámica mucho más acelerada, con inversiones de menor costo, pero mucho mayores en cantidad. Esto conduce a que las necesidades de mantenimiento y reconfiguración y, por tanto, su obsolescencia, se presenten más rápidamente que la de los sistemas de generación o transmisión.

A pesar de esto, los sistemas de distribución han sido tratados con un carácter operativo, dejando de lado la inversión en innovación y modernización de los mismos, lo cual se refleja en las marcadas diferencias en cuanto a ejecución de inversiones en la infraestructura eléctrica.

En resumen, la criticidad de los sistemas de distribución tiene como base los siguientes aspectos:

- Vínculo directo con los usuarios finales: cualquier falla en este sistema afecta directamente la entrega de energía.
- Capacidad funcional de independizarse del sistema de potencia: característica que no se presenta en generación ni transmisión.
- Mayor cantidad de activos instalados en el sistema de potencia: esto aumenta el riesgo de obsolescencia y necesidades de mantenimiento.
- Mayor incidencia de pérdidas de energía.
- Enfoque operativo, que se refleja en la baja inversión en relación con la generación y transmisión, restando la importancia estratégica que los anteriores aspectos le otorgan.

En los proyectos de redes de distribución futuristas, contemplados en diversos trabajos de investigación, se identifican tendencias comunes orientadas a la atención de los aspectos críticos de los sistemas de distribución: confiabilidad, por ser el vínculo directo con la mayoría de los usuarios del servicio, eficiencia, por ser donde se presentan con mayor incidencia las pérdidas de energía, y refuerzo a la independencia de las

redes de distribución respecto a la generación y transmisión, aprovechando su característica funcional de posibilidades de autonomía.

Sin embargo, estos trabajos no se corresponden con la realidad de regiones en las que se ha diagnosticado una situación crítica en los sistemas de distribución, con pérdidas de entre 30% y 50% y equipos con altos índices de obsolescencia, que deben ser resueltos progresivamente.

El desarrollo de las políticas adecuadas y la correcta gestión tecnológica en los procesos y sistemas de distribución de energía eléctrica pueden marcar la diferencia en los resultados de mediano y largo plazo, reflejados en la eficiencia y calidad del servicio prestado, así como el aprovechamiento del capital humano existente en la nación.

Los planteamientos que han sido adelantados del autor en varios trabajos han perseguido orientar el desarrollo de la ingeniería aplicada a sistemas de distribución, organizando los esfuerzos en seis áreas que permitirían la modernización de manera paulatina y constante de las redes, en casos en los que presenta un rezago en los avances tecnológicos, así como la problemática descrita. De esta forma se espera otorgar la importancia estratégica, que revisten los sistemas de distribución como elemento crítico en los sistemas de potencia y la prestación del servicio eléctrico, para atender de forma integral sus condiciones y particularidades.

REFERENCIAS

- Acevedo R (2007) Enfoque Estratégico en la Restructuración del Departamento de Estudios de Distribución de ENELBAR. Mem. 1^{er} Congr Venez. Redes Y Energía Eléctrica. Lecherías, Anzoátegui, Venezuela.
- Acevedo R (2009) Desarrollo de la Ingeniería de Sistemas de Distribución como base para la Modernización de Empresas de Servicio Eléctrico. Mem. 2^o Congr Venez. Redes Y Energía Eléctrica. Porlamar, Nueva Esparta, Venezuela.

- Acevedo R (2011) Análisis de la Evolución del Marco Legal del Servicio Eléctrico Venezolano Período 2000 al 2010. *Gestión y Gerencia*: 104-122.
- ASCE (2011) *Failure to Act: The Economic Impact of Current Investment Trends in Electricity Infrastructure*. American Society of Civil Engineers. [www.asce.org/Infrastructure/Failure-to-Act/Electricity/\(Cons. 06/2013\)](http://www.asce.org/Infrastructure/Failure-to-Act/Electricity/(Cons. 06/2013))
- Bresesti P, Cerretti A (2007) SDNO: Smart Distribution Network Operation Project. *Power Engineering Society General Meeting. IEEE* pp.1-4, 24-28.
- CAVEINEL (2005) Presentación de la Mesa Técnica: Necesidades de Adecuación del Sistema de Distribución. XXXIX Mesa Redonda Sobre la Industria Eléctrica. Caracas, Venezuela.
- CAVEINEL (2004-2007) *Estadísticas Anuales del Sector Eléctrico Venezolano*. www.caveinel.org.ve/estadisticas/EstadisticasConsolidadas2005.pdf (Cons. 10/2008)
- EIA (s/f) www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm U.S. Energy Information Administration. Department of Energy. Washington, DC, EEUU.
- Fanning R, Huber R (2005) Distribution Vision 2010: planning for automation. IEEE Power Engineering Society General Meeting (12-16/06/2005). Vol. 3, pp. 2614-2615.
- Gaceta Oficial (2003) *Decreto N° 2.304. Bienes y Servicios de Primera Necesidad*. Gaceta Oficial N° 37.626 del 06/02/2003. Imprenta Nacional. Caracas, Venezuela.
- Gaceta Oficial (2007) *Ley Orgánica de Reorganización del Sector Eléctrico*. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.736 del 02/05/2007. Imprenta Nacional. Caracas, Venezuela.
- Gaceta Oficial (2010) *Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico*. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.573 del 14/12/2010. Imprenta Nacional. Caracas, Venezuela.
- Hatziargyriou N (2008) Microgrids (editorial invitado) *Power Energy Mag. IEEE* 6(3): 26-29.
- Kroposki B, Lasseter R, Ise T, Morozumi S, Papatlianassiou S, Hatziargyriou N (2008) Making microgrids work. *IEEE Power Energy Mag.* 6(3): 40-53.
- Kueck JD; Kirby BJ (2003) The Distribution System of the Future. *The Electricity Journal* Junio 2003. www.ornl.gov/sci/btc/apps/Restructuring/EJ_Dist_Sys_of_Future.pdf (Cons. 11/2008)
- Kundur P (1994) *Power System Stability and Control*. McGraw Hill. NuevaYork, EEUU. pp. 5-8.
- MPPEE (2013) *Memoria y Cuenta 2012*. Tomos I y II. Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Caracas, Venezuela. www.mppee.gob.ve/inicio/ministerio/memoria-y-cuenta
- Nara K, Hasegawa J, Oyama T, Tsuji K, Ise T (2000) FRIENDS: Forwarding to future power delivery system. *Proc. 9th Int. Conf. on Harmonics and Quality of Power*. Vol. 1, pp. 8-18.
- Saccomanno F (2003) *Electric Power Systems: Analysis and Control*. IEEE/Wiley. New Jersey, pp. 1-4.
- Stevenson W (1985) *Análisis de Sistemas de Potencia*. McGraw-Hill. México. pp. 1-3.
- Venkata SS, Rudnick H (2007) Distribution systems. *IEEE Power Energy Mag.* 5(4): 16-22.
- Venkata SS, Balijepalli N (2002) The future of distribution systems in the deregulated environment: opportunities and challenges. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Ames, IA, EEUU. Vol. 3, p. 1704.
- Weber C (2005) *Uncertainty in the Electric Power Industry: Methods and Models for Decision Support*. Springer. Nueva York, EEUU. pp. 3,4.