



INSTITUTO DE  
INVESTIGACIONES  
ELECTRICAS



# Boletín IIE

Año 39, octubre-diciembre de 2015, vol. 39, núm. 4, ISSN0185-0059

**Pérdidas técnicas y  
no técnicas de energía**

## Junta Directiva

**Presidente:** Enrique Ochoa Reza, Director General de la Comisión Federal de Electricidad

**Secretario:** Sergio Valdés Ramírez, Presidente de la Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas

**Prosecretario:** Fernando A. Kohrs Aldape, Director de Planeación, Gestión de la Estrategia y Comercialización, Instituto de Investigaciones Eléctricas

**Consejeros propietarios:** • Francisco Leonardo Beltrán Rodríguez, Subsecretario de Planeación y Transición Energética, Secretaría de Energía • Luis Carlos Hernández Ayala, Director de Operación, Comisión Federal de Electricidad • Guillermo Turrent Schnaas, Director de Modernización, Comisión Federal de Electricidad • Pedro Luna Tovar, Subdirector de Programación, Comisión Federal de Electricidad • Noé Peña Silva, Subdirector de Transmisión, Comisión Federal de Electricidad • Alejandro Sibaja Ríos, Director General de Programación y Presupuesto "B" de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público • Enrique L. Graue Wiechers, Rector de la Universidad Nacional Autónoma de México • Enrique Fernández Fassnacht, Director del Instituto Politécnico Nacional • Salvador Vega y León, Rector General de la Universidad Autónoma Metropolitana • Sergio Hernández Vázquez,

Director Adjunto de Centros de Investigación, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

• Hugo Gómez Sierra, Director de División Cables, Conдумex • Carlos Rafael Murrieta Cummings, Consejero independiente • Ernesto Ríos Patrón, Consejero independiente

**Comisarios públicos:** • Mario Alberto Cervantes García, Delegado y Comisario Público Propietario del Sector Energía de la Secretaría de la Función Pública

• Federico Millán del Portillo, Subdelegado y Comisario Público Suplente del Sector Energía de la Secretaría de la Función Pública

**Invitados:** • Odón de Buen Rodríguez, Director General de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

• Carlos Antonio Álvarez Balbas, Socio Director, Despacho Álvarez Balbas, S. C.

• Luis Javier Freyre Rizo, Gerencia de Laboratorio de Pruebas de Equipo y Materiales, CFE

## Comité Técnico Operativo

**Presidente:** Carlos Ortiz Gómez, Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Formación de Recursos Humanos, Secretaría de Energía

**Secretario técnico:** Fernando A. Kohrs Aldape, Instituto de Investigaciones Eléctricas

- Luis Carlos Hernández Ayala, Comisión Federal de Electricidad
- Mario Alberto Cervantes García, Secretaría de la Función Pública
- Federico Millán del Portillo, Secretaría de la Función Pública
- Alejandro Sibaja Ríos, Secretaría de Hacienda y Crédito Público
- Enrique L. Graue Wiechers, Universidad Nacional Autónoma de México

- Enrique Fernández Fassnacht, Instituto Politécnico Nacional • Salvador Vega y León, Universidad Autónoma Metropolitana
- Sergio Hernández Vázquez, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
- Odón de Buen Rodríguez, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
- Salvador Portillo Arellano, Prolec GE Internacional S. de R.L. de C.V.

## Comité Editorial

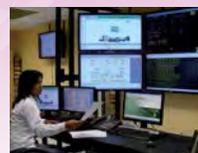
- José Luis Fernández Zayas, Director Ejecutivo • Ángel Fierros Palacios, Director de Energías Alternas • Salvador González Castro, Director de Tecnologías Habilitadoras • Rolando Nieva Gómez, Director de Sistemas Eléctricos • José M. González Santaló, Director de Sistemas Mecánicos
- Fernando A. Kohrs Aldape, Director de Planeación, Gestión de la Estrategia y Comercialización • Alfredo Gómez Luna Maya, Director de Administración y Finanzas • Gladys Dávila Núñez, Jefa del Departamento de Difusión

- Federico Estrada Arias, Coordinador Editorial
- Arturo Frago Malacara, diseño gráfico
- Verónica García Rodríguez, diagramación, formación y cuidado de la edición
- Wendy Lugo Sandoval, publicación electrónica
- Sergio Ortega López, fotografía
- Ana María Sámano Ramírez, distribución

Boletín IIE es una publicación trimestral, de distribución gratuita y editada por el Departamento de Difusión del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). Los artículos firmados son responsabilidad de sus autores. El material de este boletín solo puede reproducirse parcial o totalmente, con la autorización escrita del IIE. ISSN0185-0059. Certificado de licitud de título 01777. Franqueo pagado, publicación periódica, permiso número 002 0583, características 319 321412, autorizado por Sepomex.

El tiraje de esta publicación es de 1,800 ejemplares.

Impreso en los talleres de Dicograf S.A. de C.V., Av. Poder Legislativo 304, col. Prados de Cuernavaca, C.P. 62239 Cuernavaca, Morelos, México.



166



**Editorial**

168



**Tendencia tecnológica**

Beneficios del Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución / *Benefits of the on-line simulator for distribution control centers*  
 Alfredo Espinosa Reza, Rafael López Montejo, Alejandro Razo Miranda, Manuel Romero Castellanos, Héctor Aguilar Valenzuela y José Luis García Urresti

180



**Artículos técnicos**

- Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas / *Deployment of Advanced Metering Infrastructure (AMI) for power distribution losses reduction*  
 José Martín Gómez López, Roberto Castán Luna, Julio César Montero Cervantes, Javier Meneses Ruiz y Joaquín García Hernández
- Modelo para detectar y prevenir pérdidas no técnicas en sistemas de distribución eléctrica con base en técnicas de minería de datos y redes bayesianas / *Model for detecting and preventing non-technical losses in power distribution systems based on data mining techniques and Bayesian networks*  
 María Yasmín Hernández Pérez, Gustavo Arroyo Figueroa, Martín Santos Domínguez, Guillermo Rodríguez Ortiz e Hilda Escobedo Hernández

200

**Soluciones innovadoras con energía**

202



**Comunidad**

- Finalización y entrega del proyecto SAMPyM<sup>3D</sup> / *Completion and delivery of the project SAMPyM<sup>3D</sup>*
- Ceremonia de premiación de los XXV Certámenes Nacionales de Tesis / *Awards ceremony of the XXV National Thesis Contests*
- Otorga el IIE un grado más de Maestría en Ingeniería Eléctrica / *IIE awards another Master's degree in Electrical Engineering*
- Oportunidades de cogeneración en México / *Cogeneration opportunities in Mexico*
- Investigadores del IIE participan en edición de libro / *IIE researchers involved in book editing*
- Investigadores del IIE participan con un capítulo en publicación de libro / *IIE researchers involved with a chapter in a book publishing*
- Se gradúa el XLVII grupo de AIT / *XLVII AIT group graduates*
- El IIE muestra sus capacidades en la IX Carpa de la Innovación / *IIE shows its capabilities in the IX Tent Innovation*

206

**40 Aniversario**

210



**Entrevista**

Entrevista al Ingeniero Félix Omar Flores Peraza / *Interview with Engineer Felix Omar Flores Peraza*  
 Subgerente de Ingeniería de Servicios al Cliente en la División de Distribución Valle de México Centro (DVMC),  
 Subgerencia de Ingeniería de Servicio al Cliente de la Comisión Federal de Electricidad

214



**Breves técnicas**

- Evaluación ex post de proyectos de inversión para reducción de pérdidas de energía / *Ex post evaluation of investment projects for reducing energy losses*  
 José Conrado Velázquez Hernández
- Simuladores de redes eléctricas para prueba de equipos en una Red Eléctrica Inteligente / *Electrical networks simulators to test equipment in a Smart Grid*  
 Guillermo Romero Jiménez
- Sistema Integral de Gestión de Activos de Generación para enfrentar los retos de la reforma energética / *Integral System for Asset Management Generation to meet the challenges of the energy reform*  
 Isaac Alberto Parra Ramírez, Sergio Aranda Ávila, Andrés F. Rodríguez Martínez, Salvador Carlos de Lara Jaime y José Israel Chávez Estrada
- Arquitectura empresarial para la implantación de gestión de activos / *Enterprise architecture to implement the asset management*  
 Andrés F. Rodríguez Martínez

224

**Reseña Anual 2015**

## Editorial



En el marco de la transformación energética por la que atraviesa México, tendiente a la apertura de los mercados energéticos, las empresas, tanto públicas como privadas, requieren desarrollar e implementar estrategias que les permitan afrontar los retos que dichos cambios implican, de tal forma que puedan transitar con éxito hacia el nuevo escenario, más demandante en competitividad y sustentabilidad.

Una de estas estrategias consiste en la optimización de recursos, que entre otras acciones promueve la reducción

de pérdidas técnicas y no técnicas de energía, considerando que éstas impactan directa e indirectamente en su economía.

En atención a ello y con base en sus líneas de desarrollo tecnológico, el Instituto de Investigaciones Eléctricas ha desarrollado proyectos encaminados a apoyar a sus clientes, en aras de garantizar no sólo su confiabilidad sino su rentabilidad en un ambiente que se está tornando más competitivo.

De esta forma, el número cuatro del Boletín IIE nos presenta, en su sección de **tendencia tecnológica**, un artículo que muestra algunos de los resultados y beneficios más relevantes que se han obtenido en la aplicación del Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución (SimSED) en dos Divisiones de Distribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Esta edición también incluye dos artículos **técnicos**: uno que nos habla de la aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas técnicas y no técnicas de energía, y otro que nos describe un modelo para detectar y prevenir pérdidas no técnicas en sistemas de distribución eléctrica con base en técnicas de minería de datos y redes bayesianas.

En esta ocasión, con base en el tema del Boletín IIE, se incluye una **entrevista** al Ingeniero Félix Omar Flores Peraza, Subgerente de Distribución en la



División de Distribución Valle de México Centro (DVMC), Subgerencia de Ingeniería de Servicio al Cliente de la CFE, quien nos dice cuál ha sido el principal reto en la reducción de pérdidas en la DVMC.

Las **breves técnicas** abordan una evaluación *ex post* de proyectos de inversión para reducción de pérdidas de energía; simuladores de redes eléctricas para prueba de equipos en una Red Eléctrica Inteligente; una arquitectura empresarial para la implantación de gestión de activos, y una propuesta de un modelo del Sistema Integral de Gestión de Activos de Generación para enfrentar los retos de la reforma energética.

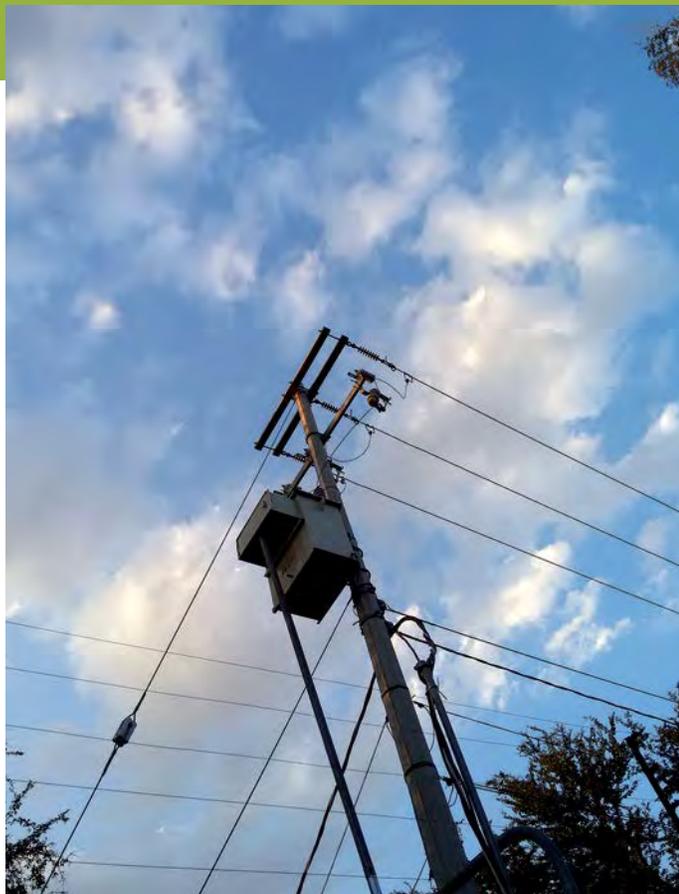
Los esfuerzos del IIE para implementar diversas acciones encaminadas a disminuir las pérdidas eléctricas, incrementar la confiabilidad y mejorar los tiempos de restablecimiento y calidad de la energía han sido arduos y lo seguirán siendo, pues así lo demanda y requiere la reforma energética a la que nuestro país se está enfrentando, una transformación que no es exclusiva de México sino que se da en el ámbito internacional, donde la globalización marca la pauta a seguir para competir en un mercado mundial que tiene, como principal meta, la reducción de los efectos dañinos al ambiente y el uso cada vez mayor de energías limpias y renovables, rubro en el que IIE ha trabajado desde sus inicios hace cuatro décadas y en el que seguirá trabajando, ya que también es parte de esta transformación energética.

# Beneficios del Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución

Alfredo Espinosa Reza<sup>1</sup>, José Rafael López Montejó<sup>2</sup>, Alejandro Razo Miranda<sup>2</sup>, Manuel Romero Castellanos<sup>2</sup>, Héctor Aguilar Valenzuela<sup>3</sup> y José Luis García Urresti<sup>4</sup>

## Abstract

*This paper reports results and benefits of applying the Online Simulator for Electric Power Distribution Systems (SimSED) in two Distribution Control Centers at Comisión Federal de Electricidad in Mexico. A discussion of methodologies that were applied to model electric power distribution grids is presented. In addition, this paper describes a series of studies that were conducted in order to implement functions that achieve energy losses reduction, reliability improvement, reduction of service restoration time, and better energy quality. In the context of Smart Grid, the analyzed functions include: Distribution Management (DMS), Distribution Operation Modeling and Analysis (DOMA), Fault Detection, Isolation and Restoration (FDIR), Distribution Planning and Optimization, among others. Some economic benefits were quantified and discussed.*



## Introducción

El Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución (SimSED) con funciones de apoyo para la Gestión de la Distribución (DMS por sus siglas en inglés) fue desarrollado e integrado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) para la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en México (Espinosa et al., 2010; Jara et al., 2014; NEPLAN Inc.).

Actualmente el SimSED está instalado en varios sitios de la CFE, entre ellos:

División Golfo Centro:

- Centros de Control de Distribución (CCD) de las Zonas Tampico, Victoria y San Luis Potosí.
- Simulador Divisional.

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Eléctricas

<sup>2</sup>Comisión Federal de Electricidad, División de Distribución Peninsular

<sup>3</sup>Comisión Federal de Electricidad, División Valle de México Centro

<sup>4</sup>Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Normalización de Distribución



División Valle de México Centro:

- Centro de Control de Distribución “Verónica”
- Portátil para atención a contingencias.

División Peninsular:

- Centros de Control Regionales de Distribución de los Estados Campeche, Yucatán y Quintana Roo con nueve Zonas de Distribución.

El SimSED fue instalado en los tres Centros de Control Regionales de Distribución de la División Peninsular de la CFE en 2012, actualmente atiende las nueve Zonas de Distribución de la División. Cabe destacar que con el apoyo y esfuerzo conjunto del personal técnico y operativo de la CFE se ha realizado una serie de actividades que han permitido capitalizar el costo del producto en beneficio de la empresa, clientes, personal, sociedad y medio ambiente, con un enfoque a resultados que a la fecha se pueden cuantificar.

En este contexto, la División Peninsular ha desarrollado de forma paralela una serie de esfuerzos encaminados a la definición, documentación e implementación de la Red Eléctrica Inteligente (REI) en el ámbito de su competencia (Espinosa et al., 2010; Romero 2014; Romero 2010) por ejemplo:

- Cuentan con el Mapa de Ruta de implementación de la REI (Romero 2010).
- Han instalado equipamiento



en el Sistema Eléctrico de Distribución para realizar transferencias automatizadas.

- Se cuenta con una red eléctrica de Media Tensión urbana totalmente transferible en cada uno de los alimentadores (maniobras programadas y no programadas).
- Se adecuaron las instalaciones y se integraron los sistemas necesarios para los tres Centros de Control Regionales de la Distribución.
- Se han integrado diversos sistemas de información, tal como SCADA (con cuádruple redundancia), PLAN10 (análisis de la operación de la distribución), SIG-CFE (información geoespacial con acceso a datos históricos y en tiempo real), SIMOCE (registro histórico), PME (análisis de pérdidas de energía), SimSED (planeación de la operación), GIL (licencias para maniobras), SIG-CFE WFM (ubicación de cuadrillas), SIAD (administración de la distribución), SICOSS (solicitudes de servicio), SICOM (gestión de clientes), Monitoreo de Activos en Línea (transformadores de potencia), Gestión de Datos Medidos (análisis de la operación), entre los más importantes.

- Se inició la operación de la primera fase del Centro de Monitoreo de Activos de Distribución (CEMODAD) para la Optimización de Recursos (Romero 2014).
- Se adoptó el Modelo de Dirección para la Competitividad Sostenible (MDCS) y el Modelo de la Red Eléctrica Inteligente (REI) de la CFE.

Con todas estas acciones se ha avanzado en la adopción de nuevas tecnologías innovadoras que permitan incrementar la productividad y competitividad del personal, de los activos y de los procesos involucrados.

## Descripción del SimSED

El SimSED es una herramienta de *software* de apoyo a la Gestión de la Distribución (DMS por sus siglas en inglés), de apoyo a la toma de decisiones (DSS por sus siglas en inglés) y de entrenamiento en el trabajo (OJT por sus siglas en inglés), integra varias funciones nativas mediante la herramienta de *software* NEPLAN (NEPLAN Inc.), entre ellas:

- Flujo de Cargas
- Estimador de Estados
- Flujo de Cargas con Perfiles de Cargas.
- Coordinación de protecciones (selectividad)
- Optimización de Redes de Distribución
- Ubicación Óptima de Capacitores
- Restablecimiento del Suministro
- Confiabilidad
- Editor gráfico
- Interfaz a Bases de Datos
- API para desarrollo de nuevas funciones (NPL o *Neplan Programming Library*).

Adicionalmente, el SimSED integra otras funciones que le permiten la interacción con otros sistemas existentes, así como funciones de análisis específicamente desarrolladas para las características de la información y formatos de la CFE (Espinosa et al., 2010; Jara et al., 2014), entre las más importantes:

- Detección de fallas mediante alertas del SCADA
- Ubicación topológica de fallas por cálculo de sobrecorriente de falla

- Sistema Experto para Restablecimiento de Suministro mediante segmentación parcial de redes e identificación de clientes importantes afectados en la red
- Detección de valores nulos o negativos en medidores de Media Tensión
- Validación, Estimación y Edición (VEE) de valores adquiridos no válidos
- Identificación de inconsistencias en el Modelo de Red
- Identificación de mallas en redes radiales
- Cálculo de pérdidas eléctricas considerando el Modelo de Red seleccionado
- Balanceo de fases mediante maniobras en redes asimétricas
- Ubicación de Capacitores en redes asimétricas

De igual manera, cuenta con cuatro interfaces de datos personalizadas a los sistemas de la CFE:

- Interfaz al Sistema de Información Geográfico y Eléctrico de Distribución (SIGED). Permite extraer el Modelo de Red en forma georeferenciada y asigna parámetros eléctricos a los elementos primarios (incluye una librería de más de 90,000 arreglos de conductores y estructuras).
- Interfaz al Sistema de Control Supervisorio (SCADA) del Centro de Control de Distribución. Extrae, acondiciona y utiliza la información en tiempo real de la red eléctrica, estados de interruptores y valores analógicos



de medidores. Genera un registro histórico para usar las funciones de ingeniería de distribución en el análisis de eventos y fallas o en el análisis y predicción de situaciones similares a las ocurridas previamente.

- Interfaz al Sistema de Monitoreo de Calidad de la Energía (SIMOCE). Accede al registro histórico de mediciones de estado estable de medidores de Media Tensión de subestaciones y eventos de calidad de la energía. Utiliza un algoritmo de extracción inteligente para optimizar los tiempos y datos de consulta.
- Interfaz CIM. Basada en el Modelo de Información Común (CIM) permite importar y exportar archivos de Instancias CIM acorde al Perfil CIM definido en la CFE como parte del proceso de interoperabilidad semántica para la Red Eléctrica Inteligente de la CFE (Espinosa y Sierra 2011).

De esta forma, el SimSED integra un conjunto muy poderoso de herramientas para la extracción, adecuación y uso de información de los sistemas existentes, así como herramientas de análisis de apoyo a la toma de decisiones en la planeación y la operación del Sistema Eléctrico de Distribución.

La figura 1 muestra la arquitectura lógica y de interfaces del SimSED (Espinosa et al., 2010).

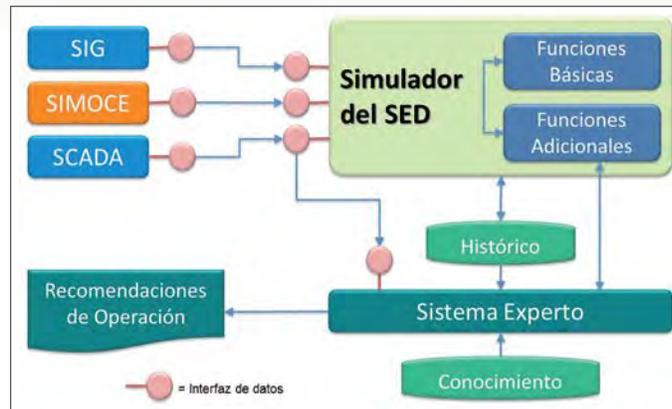


Figura 1. Arquitectura del Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución (SimSED).

## Estudios

En la División Peninsular de la CFE, el SimSED se ha utilizado para realizar varios estudios que permiten analizar la situación, antes, durante y posterior a una maniobra de optimización, de forma que se cuenta con información altamente confiable de que los resultados tendrán la menor incertidumbre posible. Se han hecho mediciones en campo para validar la precisión del Modelo de Red y se han encontrado diferencias menores al 2% con respecto al algoritmo de estimación de estados integrado.

Entre los estudios más importantes que se realizan se encuentran:

- Reducción de pérdidas por balanceo de fases de circuitos asimétricos.
- Reducción de pérdidas por corrección de Factor de Potencia.
- Ubicación de fallas frecuentes para mejorar la calidad de la energía, el tiempo de interrupción por usuario (TIU) y el tiempo de restablecimiento (Razo et al., 2014).
- Cálculo de pérdidas y su cuantificación económica.
- Planeación de la integración de recursos energéticos renovables (DER por sus siglas en inglés) de alta penetración e intermitentes y control de voltaje y reactivos (Corona et al., 2014).

- Cálculo de confiabilidad para elementos telecontrolados y justificación económica de la inversión para modernización y adopción de tecnología.
- Capacidad de transferencia de todos los circuitos urbanos y vigilancia de límites operativos.

A manera de ejemplo, la figura 2 muestra el proceso de negocio (en BPMN) para la reducción de pérdidas por balanceo de fases.

En esta fase, acorde al Modelo de Información Común (CIM por sus siglas en inglés) de los estándares IEC 61968 e IEC 61970 (Espinosa y Sierra 2011) se desarrolló una herramienta para la División Valle de México Centro (DVMC) que permite calcular el desbalance de circuitos de

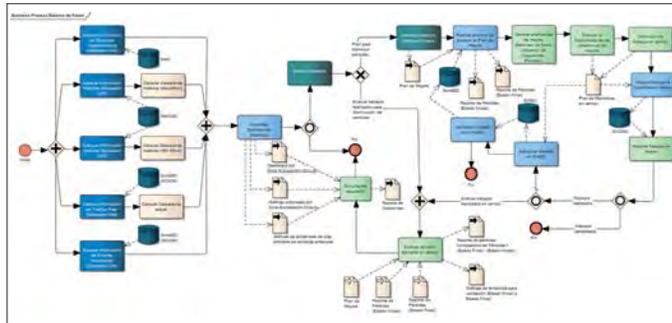


Figura 2. Proceso de negocio para la reducción de pérdidas por balanceo de fases con apoyo del SimSED.

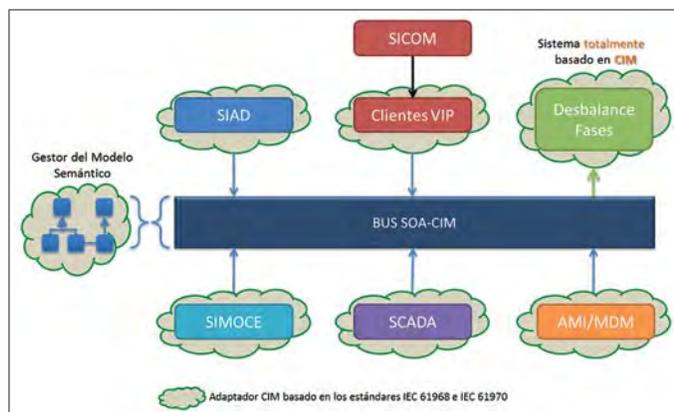


Figura 3. Arquitectura de la herramienta de software para cálculo de desbalance de fases de circuitos de Media Tensión.

media tensión para una subestación o una Zona de Distribución completa.

La figura 3 muestra la arquitectura implementada para la estrategia de interoperabilidad semántica en la DVMC y que permite la ejecución de la herramienta de software para cálculo de desbalance de fases de circuitos de Media Tensión, independientemente de la fuente de datos, estructura de la información o tecnología aplicada.

Así, un analista cuenta con una herramienta automatizada que permite agilizar notablemente el proceso de análisis para la toma de decisiones y minimizar los tiempos de respuesta. Esta herramienta automatiza completamente la primera parte del proceso de negocio mostrado en la figura 2. La figura 4 muestra el segmento del Proceso de Negocio (en BPMN) que permite automatizar el cálculo de desbalance de fases de circuitos de Media Tensión, muestra los resultados para la corriente, Potencia Real, Potencia Reactiva y Voltaje de fases, histórica y en tiempo real, como se observa en la figura 5.

Este sistema está totalmente basado en CIM y permite extraer y explotar la información de otros sistemas de fuente con ningún inconveniente para el usuario. La figura 6 muestra el resultado de una función para comparación de comportamiento histórico de los perfiles diarios en alimentadores de media tensión.



## Resultados

Para aportar a la reducción de pérdidas de energía, incrementar la productividad y competitividad, proponer obras rentables, aportar a la optimización de recursos, mejorar la calidad de la energía, disminuir el Tiempo de Interrupción por Usuario (TIU) y el Número de Interrupciones por Usuario (NIU), se han realizado estudios de ubicación geoespacial de fallas frecuentes sobre circuitos reales de la Zona Mérida con el SimSED, aportando a la evolución del mantenimiento e incrementando su efectividad preventiva, de forma que las acciones y maniobras en campo para remediación y corrección de la causa raíz pueden ser altamente enfocadas y así optimizar el tiempo, movimientos y recursos invertidos.

Con el objeto de prevenir los esquemas operativos adecuados se ha realizado con el SimSED una serie de análisis del impacto de la generación distribuida mediante la planeación de la integración de recursos energéticos renovables (DER por sus siglas en inglés) de alta penetración e intermitentes, así como los esquemas operativos para control de voltaje y reactivos bajo esta situación.

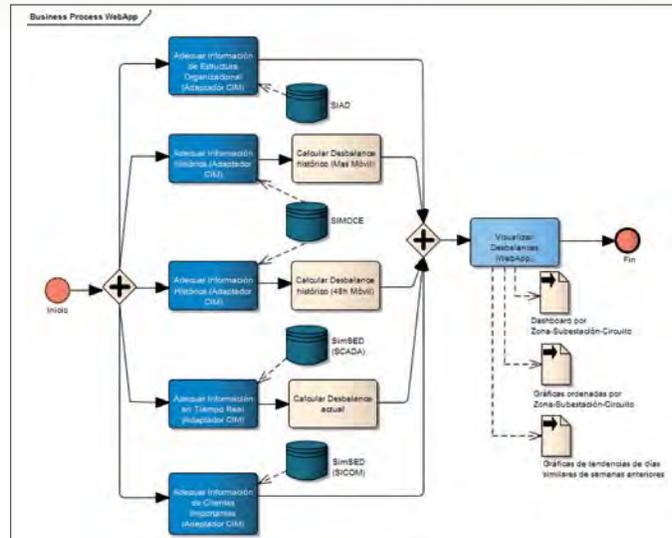


Figura 4. Segmento del proceso de negocio para cálculo de desbalance de fases de circuitos de media tensión.

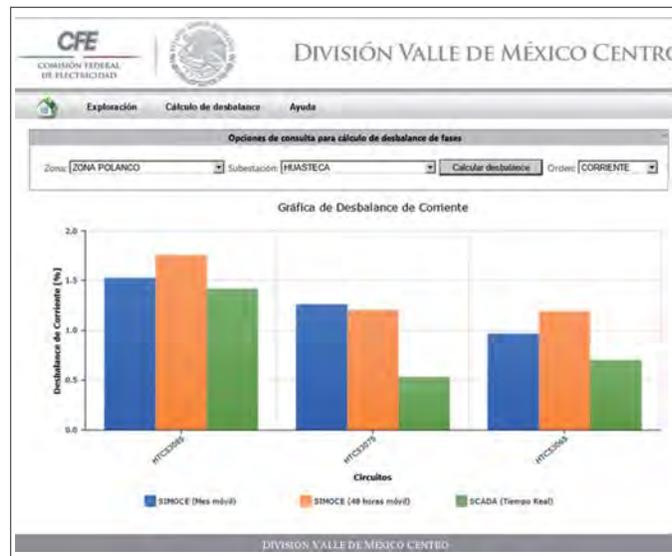


Figura 5. Resultado de la automatización del cálculo de desbalance de fases de circuitos de media tensión.

En Corona et al. se documentan varios resultados sobre la simulación de sistemas fotovoltaicos, eólicos y modelos de inversores tecnológicamente adelantados, lo que permite:

- Transformar un problema en un beneficio para el sistema eléctrico de potencia.
- Mejorar el comportamiento del voltaje.
- Disminuir la energía reactiva y pérdidas eléctricas por calentamiento de los conductores.
- Optimizar la operación de los activos.
- Aumentar la capacidad de alojamiento de fuentes de energías renovables, así como el almacenamiento requerido para los periodos de intermitencia.

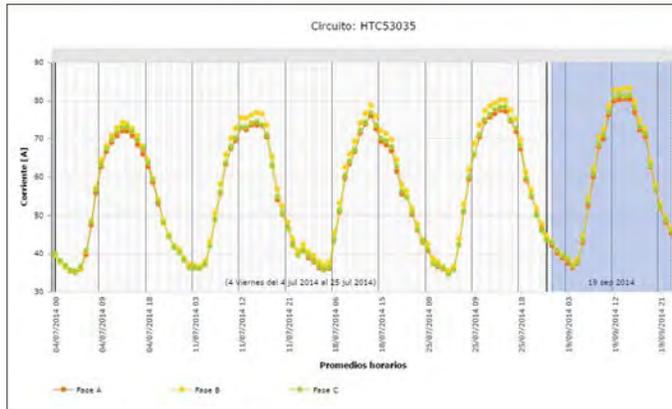


Figura 6. Resultado de la automatización de la comparación de comportamiento histórico de los parámetros con respecto a un mismo día de la semana.



Figura 7. Identificación y ubicación geoespacial de fallas frecuentes en un circuito.

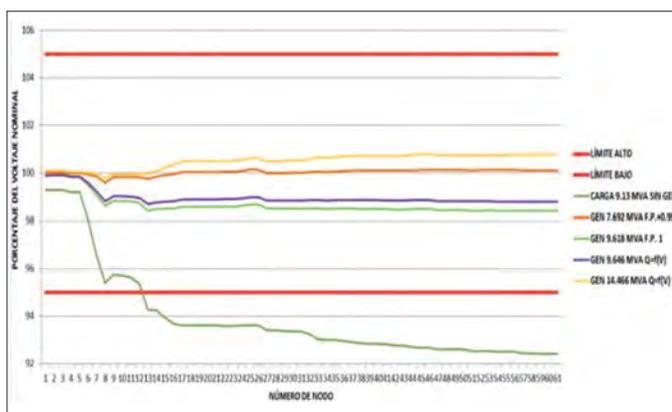


Figura 8. Resultados de perfiles de voltaje del circuito NTE 4050 con 9.13 MVA de carga, considerando diferentes cantidades de generación distribuida y diferentes valores de Factor de Potencia.

La figura 8 muestra una gráfica con diferentes resultados para los perfiles de voltaje que se obtienen sobre del circuito NTE 4050 de la Zona Mérida con 9.13 MVA de carga, al integrar diferentes cantidades de generación distribuida e inyección de reactivos para lograr diferentes valores de Factor de Potencia. De esta forma, el conjunto de acciones permite incentivar la mejora del medio ambiente en general.

Por otra parte, para la evaluación de inversiones y obras en circuitos de distribución, se cuenta con la opción de análisis de confiabilidad, con el enfoque principal de reducción del Tiempo de Interrupción de Usuario (TIU). En este concepto, el SimSED permite:

- Evaluación de alternativas de configuración, operación, automatización, crecimiento de la demanda y comportamiento de la carga.
- Evaluación de opciones de recalibración de circuitos, instalación de equipos telecontrolados, autorización de conexión de carga y e inversiones, cambio de tipo de conductor y línea.
- Cuantificación de afectaciones por no contar con equipo telecontrolado.

## Beneficios reales

En la estimación de beneficios se tienen varios resultados, como ejemplo, el estudio para el circuito SUR-4010 en la Ciudad de Mérida. Este circuito fue analizado con el

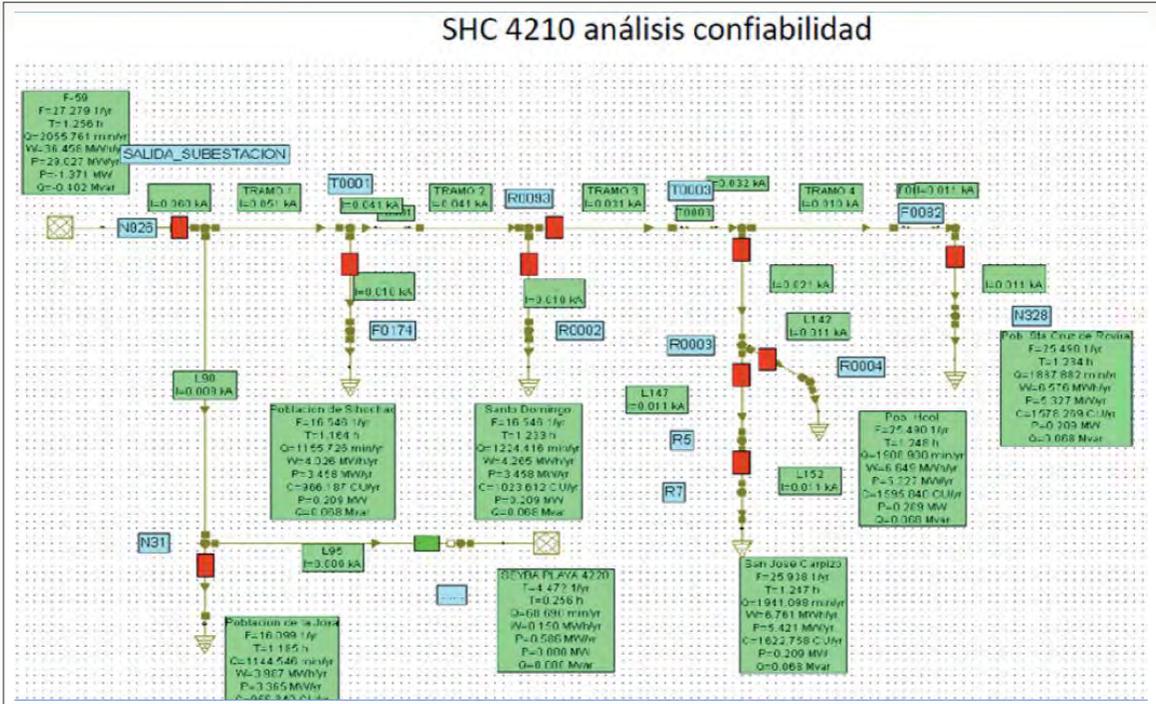


Figura 9. Evaluación de inversiones en circuitos de distribución mediante análisis de confiabilidad.

SimSED y se calculó el balance de fases y se realizaron las correcciones en campo. Se obtuvo una reducción pérdidas del 10% del valor inicial moviendo en la red 15 bancos de transformación y se mejoró el desbalance en más del 18%.

La reducción en tan solo este circuito de los 562 que tiene la División Peninsular, es de 15.65 [kW] en pérdidas en este circuito, implica una recuperación económica promedio anual de \$212,000.00 aproximadamente, mientras que el costo de la maniobra (sin alterar o agregar infraestructura) fue de menos de \$5,000.00.

Por otra parte, con el análisis de confiabilidad, por ejemplo para

Pérdidas [kW]	Desbalance de Potencia Reactiva [%]	Desbalance de Corriente [%]
148.38	37.1	37.4

Tabla 1. Situación inicial del circuito SUR4010.

Pérdidas [kW]	Desbalance de Potencia Reactiva [%]	Desbalance de Corriente [%]
132.73	17.8	18.0

Tabla 2. Situación final del circuito SUR4010.

el circuito CRO-4020 en la Zona Mérida, haciendo un cambio de cable desnudo por semiaislado y moviendo la ubicación de un restaurador telecontrolado, se logra reducir el costo de la energía dejada de suministrar de monto original de \$95,963.52 a solo \$16,669.25, es decir, una reducción del 82.63%. El mismo estudio para el caso del circuito SHC-4210 permitió determinar que mediante la integración de un enlace se reduce el costo de la energía

Aplicación / Industria	Costo (EUROS)	Tipo de estimación
Hospitales		La vida humana
Mercado de valores y transacciones financieras	6,500,000	Por hora
Producción de semiconductores	3,800,000	Por evento
Ventas en tarjetas de crédito	2,600,000	Por hora
Centros de cómputo	750,000	Por evento
Industria del acero	350,000	Por evento
Industria del vidrio	250,000	Por evento
Petroquímica	100,000	Por hora
Reservación de aerolíneas	90,000	Por hora
Telefonía móvil	30,000	Por hora
Telecomunicaciones	30,000	Por minuto
Industria automotriz	30,000	Por hora
Farmacéutico	30,000	Por hora
Alimentos y bebidas	20,000	Por hora
Industria del cemento	15,000	Por hora

Tabla 3. Estimaciones del impacto financiero (en EUROS) de los cortes de energía no programada.

dejada de suministrar de \$7,743.51 a solo \$1,106.45, equivalente a tener una reducción del 85.71%. De igual manera, en todos los casos, se pueden hacer evaluaciones de diferentes alternativas para determinar la mejor combinación costo-beneficio y mejorar así la rentabilidad general de las acciones a implementar en el SED.

En Schneider-Electric 2009 (1); Schneider-Electric 2009 (2); Denis 2014 y Bruch 2011 se documentan estimaciones del impacto financiero de los cortes de energía no programada en diferentes aplicaciones e industrias. La tabla 3 resume algunos de los resultados de los estudios publicados.

Considerando este impacto, la disminución del Tiempo de Interrupción por Usuario (TIU) y el Número de Interrupciones por Usuario (NIU) se logra un beneficio muy importante, desde el punto de vista económico para el cliente, y desde el punto de vista ecológico para el medio ambiente y la sociedad.

En México, el tipo de carga tiene aproximadamente la siguiente composición:

55.52%	Industrial
28.10%	Residencial
06.36%	Comercial
06.06%	Rural
03.95%	Servicios públicos

Se estima que con el SimSED, los estudios y acciones realizadas permiten una optimización del SED, aportando a la reducción de pérdidas de energía, mejora para disminución del Tiempo de Interrupción por Usuario (TIU), esto implica que para una Zona de Distribución con tipo de carga combinada se puede calcular el impacto positivo en la satisfacción de los clientes de la CFE. Se estima una disminución de costos de afectación al usuario en el mediano plazo, del orden de \$95,000,000.00 anuales, sólo por la continuidad mediante la disminución de cortes de energía no programada, más la reducción de pérdidas de energía, lo cual incrementa la confiabilidad, mantiene operando la cadena productiva, así como las transacciones electrónicas comerciales, entre otros beneficios para la sociedad en general.

## Conclusiones

Mediante el uso y la aplicación del SimSED para modelar, analizar y simular el comportamiento del Sistema Eléctrico de Potencia bajo una gran cantidad de condiciones (normal y de emergencia) se ha logrado mejorar la planeación y la operación del Sistema Eléctrico de Distribución con criterios



de rentabilidad y optimización de recursos. En este campo se han tenido grandes avances con la aplicación de modelos matemáticos altamente eficientes y precisos, los cuales permiten minimizar la incertidumbre de una maniobra real en campo, así como asegurar los resultados mucho antes de aplicar las adecuaciones en el sistema real.

De esta forma, la CFE está avanzando en la implementación de estrategias, innovaciones, funciones y sistemas en apoyo a mejorar la rentabilidad de las inversiones así como establecer el camino para la Red Eléctrica Inteligente en México.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento por apoyo y contribución para concluir este trabajo a las siguientes personas:

Del IIE: Alejandro Villavicencio, Raúl García, Tito Calleros, Mirna Molina, Marxa Torres, Néstor Alemán y Jürgen Cruz.

De la CFE: Héctor Hernández, Raúl Usla, Fidel Borjas, Leopoldo Meza, Miguel Mendoza, Elizabeth Serna, Cristóbal Rivera, Oscar Olvera y Rafael Torres A.

## Referencias

Espinosa A., Quintero A., García R., Borjas J. F., Calleros T. M., Sierra B., Torres R. *On-Line*

*Simulator for Decision Support in Distribution Control Centers in a Smart Grid Context.* . WSEAS Transactions on Systems and Control, Issue 10, Volume 5, October 2010, ISSN: 1991-8763, pp. 814-816.

Jara A., Calleros T., Espinosa A., Aguilar H. *Ubicación de Bancos de capacitores en redes de distribución radiales de media tensión.* (in Spanish). IEEE-RVP 2015, Reunión de Verano de Potencia 2014, Acapulco, Gro. México, 19-25 de julio del 2015.

NEPLAN Inc. ([www.neplan.ch](http://www.neplan.ch)).

Espinosa A. and Sierra B. *Towards Distribution Smart Grid in Mexico.* UCAIug 2011 Summit - CIM Users Group Meeting - Austin 2011, Austin, Texas, USA, November 15 – 18 2011. (<http://www.ucaiug.org/Meetings/Austin2011/>).

Razo A., Gutiérrez J. H. y Romero M. *Evaluación de inversiones en circuitos de distribución mediante análisis de confiabilidad para la reducción de Tiempo de Interrupción de Usuario* (in Spanish). IEEE-RVP 2014, Reunión de Verano de Potencia 2014, Acapulco, Gro. México, 21-25 de Junio de 2014.

Corona V., Gutiérrez J., Razo A. y Ricalde L. J. *Beneficios que se obtienen con la participación de los sistemas fotovoltaicos en el control voltaje y reducción de pérdidas de la red eléctrica de distribución a la cual están conectados* (in Spanish). IEEE-RVP 2014, Reunión de Verano de Potencia 2014, Acapulco, Gro. México, 21-25 de Junio de 2014.

Schneider-Electric. *Administración de la red eléctrica*, folleto de capacidades de la empresa (disponible en [http://www.schneider-electric.com.mx/documents/productos-servicios/servicios/boletin\\_programas\\_conversion\\_base\\_instalada.pdf](http://www.schneider-electric.com.mx/documents/productos-servicios/servicios/boletin_programas_conversion_base_instalada.pdf)), consultado el 24 de septiembre de 2014.

Schneider-Electric. *System sure. Comprehensive support contracts designed for you*, folleto de capacidades de la empresa, julio 2009. (disponible en (<http://www.schneider-electric.co.uk/documents/products-services/services/Systems-Support.pdf>)).

Denis K. *A Comparison of On-Demand vs. Service Plan for Electrical System Maintenance Programs.* (2014). Schneider-Electric White Paper (disponible en <http://oreo.schneider-electric.com/flipFlop/448690905/files/docs/all.pdf>), consultado el 24 de septiembre de 2014.

Bruch et al. *Power Blackout Risks*, Position Paper, November 2011.

Romero M. *Centro de Monitoreo de Activos de Distribución de la División Peninsular* (in Spanish), IEEE-RVP 2014, Reunión de Verano de Potencia 2014, Acapulco, Gro. México, 21-25 de Junio de 2014.

Romero M. *Desarrollo del SmartGrid de la División de Distribución Peninsular de la Comisión Federal de Electricidad* (in Spanish), IEEE-RVP 2010, Reunión de Verano de Potencia 2010, Acapulco, Gro. México, 11-17 de Julio de 2010.

## Currículum vitae

**Alfredo Espinosa Reza**

[aer@iie.org.mx]

Ingeniero Mecánico Electricista en el área de electricidad y electrónica por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1994. Ingresó al IIE en 1995 como investigador de la Gerencia de Gestión Integral de Procesos (GGIP) y en 2015 fue nombrado Gerente de la misma, en donde desarrolla e integra sistemas de información en tiempo real para centrales generadoras de energía eléctrica, subestaciones y redes de distribución. Coordinó el proyecto del Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución (SimSED) para apoyo en la toma de decisiones en Centros de Control de Distribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), así como el proyecto para establecer la arquitectura e infraestructura de interoperabilidad semántica para sistemas de información de apoyo a la Gestión de la Distribución (DMS) mediante el uso del Modelo de Información Común (CIM) definido en las normas IEC 61968 e IEC 61970. Ha publicado más de 30 artículos técnicos en diversos foros y revistas nacionales e internacionales, y es participante en 10 registros de derechos de autor de *software* y metodologías de integración de sistemas.

**José Rafael López Montejó**

[rafael.lopez13@cfе.gob.mx]

Ingeniero Mecánico Electricista por la Universidad Autónoma de Campeche. Ingresó a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en 2006, a la División de Distribución Peninsular en la Zona de Distribución Campeche. Actualmente labora en la Zona de Distribución Mérida en el Centro de Monitoreo de Activos de Distribución Peninsular. Su área de especialidad es la optimización, operación y mantenimiento del sistema eléctrico de distribución en equipos y redes menores a 69 kilovolts. Su actividad principal se enfoca en aspectos del mantenimiento basado en desempeño y condición, así como la operación óptima de los activos relacionados con el sistema eléctrico de distribución. Ha desarrollado estudios de balance de cargas, factor de potencia óptimo, ajustes óptimos del TAP de los transformadores en subestaciones, con enfoque a reducción de pérdidas técnicas de energía, así como la coordinación de protecciones con criterios de reducción de tiempo de restablecimiento en falla de ramales. Actualmente trabaja en la integración de los sistemas para el CEMODAD con enfoque a reducción de pérdidas y optimización del recurso de mantenimiento con criterios de rentabilidad para la empresa. Es autor de varios artículos nacionales presentados en la Reunión de Verano de Potencia de la IEEE.

**Alejandro Razo Miranda**

[alejandrорazo01@cfе.gob.mx]

Ingeniero en Instrumentación Electrónica por la Universidad Veracruzana en 2001. Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Consorcio Clavijero en 2015. Ingresó a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en 2002, a la División Oriente, en la especialidad de protecciones y control. También fue operador del Centro de control de Distribución en la Zona Córdoba y actualmente se desempeña como Jefe de la Oficina de Control en la División Peninsular, por lo que su especialidad se relaciona con los sistemas SCADA y la operación de los sistemas eléctricos de distribución. En 2001 obtuvo el tercer lugar nacional en el examen EGEL de Ingeniería Electrónica del CENEVAL. Desarrolló el sistema SALID: Sistema de Autorización de Licencias en Distribución, el cual obtuvo el premio CFE INNOVA en 2006. Desarrolló los sistemas WEBSCADA e IHMSE, participantes de dicho premio en las ediciones 2007 y 2008. Asimismo obtuvo el premio CFE INNOVA Peninsular en 2011. Ha participado en el grupo DLI (Distribución, LAPEM, IIE) en la especialidad de control para la creación y revisión de especificaciones CFE-LAPEM. Participó con el IIE en la implementación del proyecto SIMSED en la División Peninsular. Ha participado en varios congresos nacionales como ponente.

**Manuel Romero Castellanos**

[manuel.romero03@cfе.gob.mx]

Máster en Liderazgo Desarrollador en 2008. Ingeniero Mecánico Eléctrico en 1998. Ingresó a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en 1998, a la División Oriente. Actualmente es Subgerente de Distribución de la División Peninsular. Ha laborado en diferentes áreas en las especialidades de protecciones, comunicaciones, control y subestaciones. Ha participado e impulsado el desarrollo e implementación de diferentes proyectos de redes inteligentes para la CFE, entre los que destacan la implementación del Centro de Monitoreo de Activos en Distribución (CEMODAD), DMS, SIG-CFE, OMS; automatización de subestaciones y circuitos, e integración de energías renovables. En 2012 fue participante, como representante de la Subdirección de Distribución, en la creación del mapa de ruta CFE REI. Ha participado en grupos de lineamientos operativos entre los que destacan la gestión de activos para la evolución del mantenimiento y la Guía Nacional del Plan Rector a Corto y Mediano Plazo. Ha obtenido diferentes reconocimientos entre los cuales destacan el primer lugar en el curso de formación de ingenieros en la División Oriente en 1998, primer lugar en curso de automatización de subestaciones CENACSUR en 2000, y como panelista, ponente y conferencista en congresos de redes inteligentes, IEEE (miembro activo), CIGRE (miembro activo) y DOBLE (miembro activo).

**Héctor Raúl Aguilar Valenzuela**

[hector.aguilar05@cfе.gob.mx]

Maestro en Sistemas Eléctricos de Potencia por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Sonora en 2008. En la Comisión Federal de Electricidad (CFE) desempeñó el cargo de jefe de oficina de automatización en la División de Distribución Valle de México Centro y actualmente se desempeña como Jefe de Departamento en la Coordinación de Distribución. Su área de especialidad es la automatización de la distribución. En la División Valle de México Centro (DVMC) trabajó en el proyecto de implementación del Sistema Eléctrico de Distribución Inteligente (SEDI). Publicó un paper en el *International Council on Large Electric Systems* (CIGRE) en Buenos Aires, Argentina en 2011 titulado: "Modernización de la red eléctrica del Centro Histórico de la Ciudad de México". Con el *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) participó en la Reunión de Otoño de Comunicaciones y Control (ROCC'12), en Acapulco, Guerrero en 2012 con la ponencia: "Primeros pasos hacia las redes eléctricas inteligentes en el valle de México", y en la Reunión de Verano de Potencia en Acapulco, Guerrero, en 2013 con la ponencia: "Efectos de la corriente de cortocircuito y su contención en la red eléctrica de la Ciudad de México". También participó en el Coloquio Internacional de Mecatrónica (CIM) en Obregón, Sonora, en noviembre de 2013 en la conferencia: "Tendencias actuales en los Sistemas Eléctricos de Potencia, un horizonte de oportunidades para el ingeniero en mecatrónica".

**José Luis García Urresti**

[luis.garcia06@cfе.gob.mx]

Ingeniero Mecánico Eléctrico por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ingresó a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en enero de 1998, a la División de Distribución Centro Oriente como Ingeniero de Área en la Zona de Distribución Izúcar de Matamoros, Puebla. En enero de 1998 se integró al proceso de construcción de la División Centro Sur, como supervisor de construcción en obras de líneas y subestaciones desde la parte de proyecto hasta su puesta a punto y puesta en servicio. En febrero de 2000 adquirió el cargo de Jefe de Oficina de Obra Pública Financiada en la misma División Centro Sur, fecha en la que da inicio, en la Subdirección de Distribución, la ejecución de obras a través del esquema PIDIREGAS. En febrero de 2002 se integró a la División Oriente, ocupando cargos como el de Jefe de la Oficina de Proyectos de Líneas y Subestaciones de 2002 a 2008 y Jefe del Departamento de Proyectos y Construcción Divisional hasta diciembre de 2009, desarrollando entre otras funciones la de Residente de Ingeniería y Construcción en Proyectos PIDIREGAS. En enero de 2010 se integró a la Gerencia de Normalización de Distribución como Jefe de la Oficina de Normas hasta diciembre de 2012, para posteriormente ocupar el cargo de Subgerente de Construcción en enero de 2013. A partir del mes de junio de 2013 tiene a su cargo la Gerencia de Normalización de Distribución de la Coordinación de Distribución.

# Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas

José Martín Gómez López, Roberto Castán Luna, Julio César Montero Cervantes, Javier Meneses Ruiz y Joaquín García Hernández

## Abstract

Smart Grid has been conceived as the integration of the power grid (generation, transmission and distribution) with technologies of information and communications in the Electric Power Utility. Smart Grid will enable applications such as SCADA, distribution automation systems, energy management systems, demand response management, smart meters communication, and new applications such as: Advanced Metering Infrastructure (AMI), substation automation, microgrids, distributed generation, energy storage, and monitoring and control of the electrical power system, among others. The emerging technologies of communications, architectures, protocols and standards are regarded as the fundamental enabling technologies to achieve the integration of a standard communications infrastructure to transport data between facilities, electrical substations, power distribution systems and control centers, in a smart grid environment. AMI systems deploy communications technologies to send daily data from smart meters to the control center regarding energy consumption, service interruption alarms, and manipulation of energy meters. However, there are inherent losses in the process of transmission and distribution of electric power. Losses occurring in transmission and distribution of electric power systems include losses in the power transmission system between energy sources and distribution end points, and from the distribution network to consumer's service drops including the illegal use of energy. Energy losses consist of subtracting energy generated, received or supplied from energy sold, delivered, or billed by electric power utilities. Energy losses are quantified based on two components: technical and non-technical losses. This paper presents an analysis of deployment of advanced metering infrastructure (AMI) for the reduction of energy losses.



## Introducción

En los distintos componentes de las redes eléctricas se producen, en condiciones normales de funcionamiento, pérdidas técnicas. La economía de la red eléctrica está ligada a su dimensionamiento y a su operación, y en particular a las pérdidas que en ella se producen.

Los esfuerzos realizados por las empresas distribuidoras para reducir las pérdidas de energía eléctrica no han sido suficientes y actualmente representan un serio problema que se refleja en deficiencias operativas de las empresas de distribución, originando costos internos altos y un serio impacto sobre las tarifas eléctricas, así como en la salud de las finanzas de la empresa eléctrica.

Las empresas proveedoras de energía eléctrica enfrentan problemas de pérdida de ingresos, originado por pérdidas en los procesos y subprocesos de transmisión, distribución y comercialización de la energía, cada uno de los cuales



tiene asociada una problemática particular que tradicionalmente ha demandado atención y soluciones particulares. Los esfuerzos que se realicen en la recuperación de cualquier porcentaje de este ingreso representan un aumento del beneficio bruto de la organización, por ello las empresas de electricidad están orientando esfuerzos en la búsqueda e implantación de soluciones amplias y automatizadas, capaces de manejar detectando, analizado y corriendo de forma sistémica y consistente, la problemática asociada a las pérdidas de energía eléctrica.

La infraestructura avanzada de medición (AMI por sus siglas en inglés) es una tecnología habilitadora que permite incrementar la eficiencia en el proceso de distribución de las empresas eléctricas e incluye el *hardware*, el *software*, las comunicaciones, los sistemas asociados con la distribución de energía, los sistemas asociados con el consumidor y el *software* de gestión de datos de medidores inteligentes. La infraestructura AMI permite la configuración de medidores inteligentes, manejo de tarifas dinámicas, monitoreo de calidad de la energía, control de carga y reducción de pérdidas.

## Los sistemas eléctricos de distribución

El diseño y construcción de los sistemas eléctricos tienen una influencia decisiva en su posterior



explotación, particularmente los sistemas de distribución de las empresas eléctricas que se conforman típicamente por líneas de subtransmisión, subestaciones, redes de distribución, transformadores, dispositivos de interrupción, acometidas y sistemas de medición para usuarios finales. En las subestaciones eléctricas se reduce el voltaje del nivel de alta tensión (A.T.), al nivel de media tensión (M.T.), y desde éstas se distribuye la energía al resto de la red, hasta las acometidas de los consumidores finales en el nivel de media o baja tensión (B.T.), como se muestra en la figura 1.

Los consumidores residenciales y comerciales se alimentan típicamente en B.T., los consumidores industriales se alimentan en M.T. o en B.T., según sus requerimientos particulares. Estos sistemas de distribución se alimentan a través de acometidas de diferente tipo: trifásicas, bifásicas o monofásicas. En M.T. la gran mayoría son redes trifásicas, aunque también se pueden encontrar cargas bifásicas, especialmente en zonas rurales.

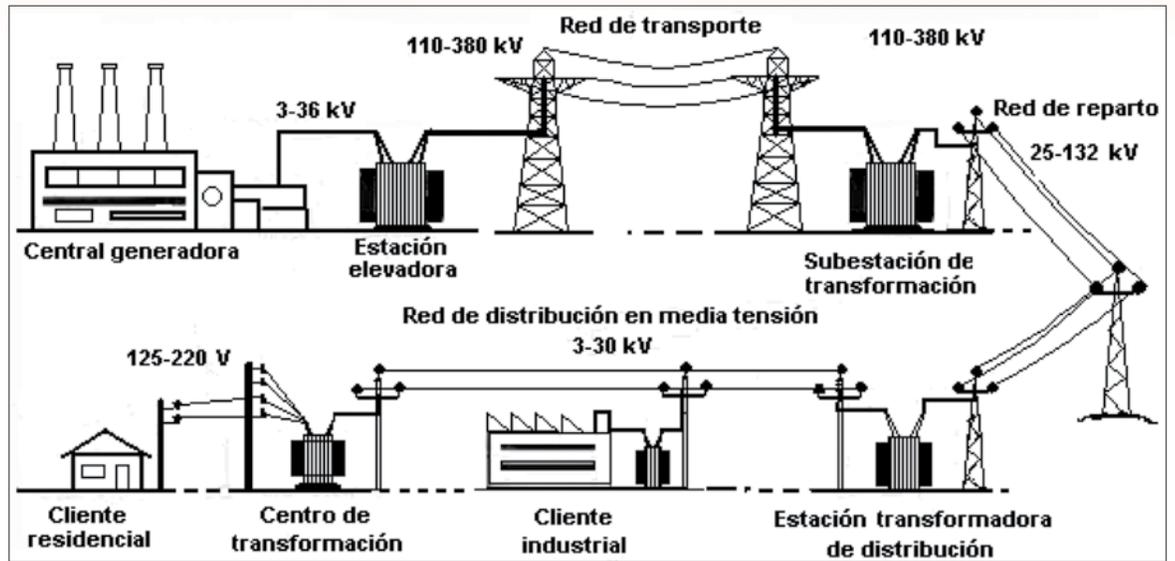


Figura 1. Diagrama esquematizado del sistema de suministro eléctrico.

En B.T. se interconectan a la red de distribución cargas de distinta naturaleza: residenciales, comerciales, industriales, cada una caracterizada por poseer un factor de potencia típico y un determinado comportamiento frente a las variaciones de voltaje y temperatura. En la red de B.T. se interconectan, mayoritariamente, cargas residenciales de naturaleza monofásica.

## Pérdidas de energía eléctrica

Las pérdidas que se producen en los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica incluyen las pérdidas en la transmisión entre fuentes de suministro y puntos de distribución, y en la red de distribución a las acometidas de los consumidores, incluyendo el uso ilícito de la energía. Las pérdidas equivalen a la diferencia entre la energía generada, recibida o suministrada y la energía vendida, entregada o facturada por las compañías eléctricas.

El nivel de pérdidas de las empresas eléctricas de distribución y comercialización de energía es un indicativo de la eficiencia técnica, comercial y administrativa con la que brinda un servicio de calidad y costo a los consumidores. Como punto de referencia, el promedio de

pérdidas de energía en la distribución con respecto a la producción reportado en 2014 por los países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) es del 6%. En los sistemas eléctricos de algunos de sus miembros como Alemania, Finlandia y Japón se observan índices del 4% y algunos otros, como es el caso de Corea del Sur, el índice es del 3% [1]. En países en desarrollo el índice de pérdidas es mayor (del 9% a 55%), de acuerdo al Banco Mundial (Banco Mundial, 2015). En los últimos años en México, las pérdidas de energía eléctrica en la transmisión y distribución de la CFE se han reducido en un punto porcentual cada año, pasando de 16.4% en 2012, al 15.7% en 2013 (SENER, 2013) y al 14% al cierre de 2014 (CFE, 2014). La Secretaría de Energía ha programado diversas acciones para que las pérdidas técnicas



y no técnicas se reduzcan al 10% en 2018 (PRODESEN, 2015). Las pérdidas de energía se cuantifican con base en dos componentes: las pérdidas de carácter técnico y las pérdidas no técnicas.

### **Pérdidas técnicas**

Éstas constituyen una parte de la energía que no es aprovechada, que el sistema de transporte y distribución del fluido eléctrico consume y requiere para su operación. Dicha energía no es facturada y es catalogada como pérdida, debido a que es consumida durante los procesos de transporte, transformación y distribución, hasta su entrega al consumidor final, por ejemplo, la energía consumida en las líneas de subtransmisión o en los conductores de los circuitos de distribución primaria o secundaria, o la energía que se consume en los procesos de transformación, de subtransmisión a distribución, o en los transformadores de distribución, o en las acometidas de última milla para entregar el servicio eléctrico al consumidor final.

Las pérdidas generadas en los procesos de conducción y transformación de la energía eléctrica se deben a los fenómenos de histéresis y corrientes parásitas que se manifiestan, por ejemplo, en circuitos o transformadores energizados, aun sin carga conectada a ellos y al denominado efecto *Joule*, que se manifiesta como calentamiento en conductores eléctricos y en bobinas

de diversos elementos del sistema eléctrico de distribución, tales como líneas de subtransmisión, alimentadores primarios, transformadores de distribución, redes secundarias, dispositivos de interrupción y protección, acometidas, etc. La variación de la demanda en el lado de la carga impacta la magnitud y las condiciones del flujo de energía y se constituye en otro factor que contribuye al incremento de las pérdidas de tipo técnico.

Por su naturaleza asociada a la operación propia de equipos y redes, las pérdidas técnicas son inevitables en cualquier sistema de distribución de energía y se debe considerar que en su mayoría, las pérdidas integran las ineficiencias que se van produciendo a lo largo del tiempo con el envejecimiento natural de los sistemas que no son renovados oportunamente, o que se ha considerado que no es rentable sustituirlos y que poco a poco revelan las consecuencias de criterios de diseño erróneamente determinados. La evaluación integral de esta problemática a través de estudios de flujos de carga para optimizar la operación de líneas y redes, el análisis de la ubicación óptima de transformadores y usuarios, y el estudio de la reconfiguración de alimentadores primarios, entre otros, son de gran importancia para reducir este tipo de pérdidas hasta niveles permisibles con los que se contribuya al incremento de la eficiencia, seguridad y confiabilidad del sistema de distribución.

### **Pérdidas no técnicas**

Es la energía del sistema eléctrico consumida por los usuarios y que no es facturada por la empresa que la distribuye. Estas pérdidas son causadas, particularmente, en la red de distribución de baja tensión (SENER, 2013) y es resultante del uso ilícito y clandestino del servicio de energía eléctrica a través de diversos mecanismos y estrategias instrumentadas, muchas de ellas, por el propio consumidor, como por ejemplo la sustracción de energía de la red eléctrica de distribución para aprovechamiento y uso en forma directa mediante conexiones ilegales no autorizadas, o el fraude provocado por usuarios a través del daño o manipulación intencional de los medidores o de

sus equipos asociados, con lo que logran alterar el registro total del consumo, consiguiendo que sea inferior al real para pagar menos del consumo devengado a la red.

Las pérdidas no técnicas también se originan por la incorrecta gestión comercial y administrativa del sistema de medición o facturación de la empresa distribuidora de energía, por ejemplo, la que resulta por el uso de medidores mal calibrados, obsoletos o inadecuados; por errores de lectura en equipos de medición; por clientes sin identificación comercial; por falta de registro de los consumos propios; por retrasos de la facturación, o por demoras en las reconexiones de servicios, entre otros. La figura 2 muestra un resumen de los diferentes tipos de pérdidas.



Figura 2. Clasificación de las pérdidas de energía eléctrica.

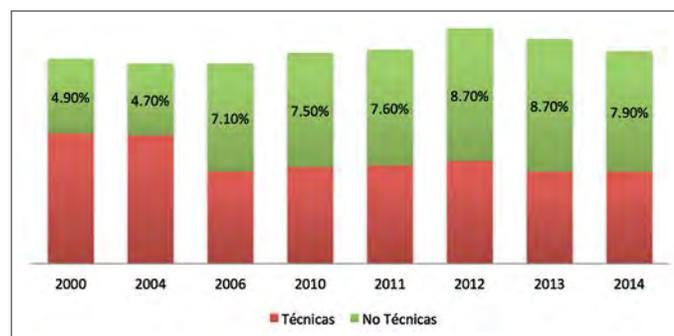


Figura 3. Pérdidas de energía en distribución en media y baja tensión de la CFE en el período 2000-2014 (CFE, 2014; SENER 2013).

## Reducción de pérdidas de energía eléctrica

Las pérdidas de energía eléctrica impactan de manera negativa en la continuidad y en la calidad del servicio eléctrico que proporcionan las empresas de electricidad y afectan sustancialmente la salud de sus finanzas.

Como se indicó anteriormente, las pérdidas totales en distribución reportadas en 2014 por los países miembros de la OCDE fueron un promedio del 6%; en México se registraron pérdidas promedio del 14%, de las cuales el 6% corresponde a pérdidas técnicas, y el 8% restante a pérdidas no técnicas, lo que corresponde a 37,186 millones de kilowatts-hora y equivalen aproximadamente a 50 mil millones de pesos anuales. Los índices de pérdidas en la región central del país son más altas del promedio. La figura 3 muestra los porcentajes de pérdidas técnicas y no técnicas de energía en distribución en media y baja tensión de la CFE en el período 2000-2014.

La figura 4 muestra los porcentajes de pérdidas totales de energía en distribución que se han tenido en la CFE en el período 2002-2014. La proyección de la SENER (PRODESEN, 2015) es alcanzar el 10% de pérdidas en 2018.



## Qué se está haciendo en México

La Secretaría de Energía y la Subdirección de Programación de la CFE han impulsado iniciativas y lineamientos que han sido plasmadas en diversos documentos como la “Estrategia Nacional de Energía 2013-2027”, las “Perspectivas del Sector Eléctrico 2013-2027”, el “Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018”, el “Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2011-2025”, y el “Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional, 2015-2029”, en ellos se reconoce la importancia y el impacto de la problemática asociada a las pérdidas de energía eléctrica en el sistema eléctrico nacional (SEN) y se definen directrices, estrategias y acciones para que la CFE y los organismos reguladores de energía se coordinen y sumen esfuerzos para reducir el nivel de pérdidas totales a un mínimo de 10% en 2018 y 8% en 2024 (SENER, 2014).

Para lo anterior, en la Estrategia Nacional de Energía 2013-2027 se establecen dos líneas de acción que tienen el propósito de impulsar la reducción de pérdidas de energía, y éstas se refieren a la identificación y ejecución de la inversión necesaria que coadyuve a identificar y reducir las pérdidas técnicas y no técnicas a niveles “costo-eficientes” mediante la modernización de las redes de transmisión y distribución, así como la incorporación gradual de tecnologías

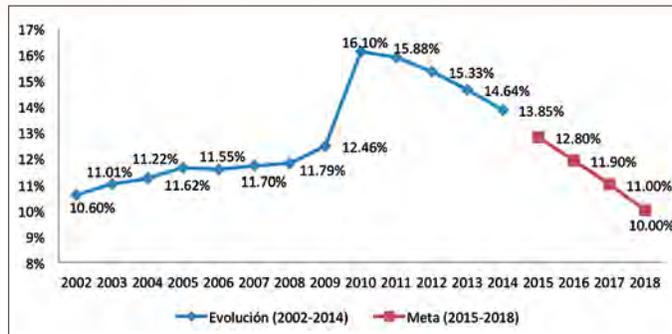


Figura 4. Evolución y meta de pérdidas de energía en distribución (2002-2018) (CFE, 2015; PRODESEN, 2015).

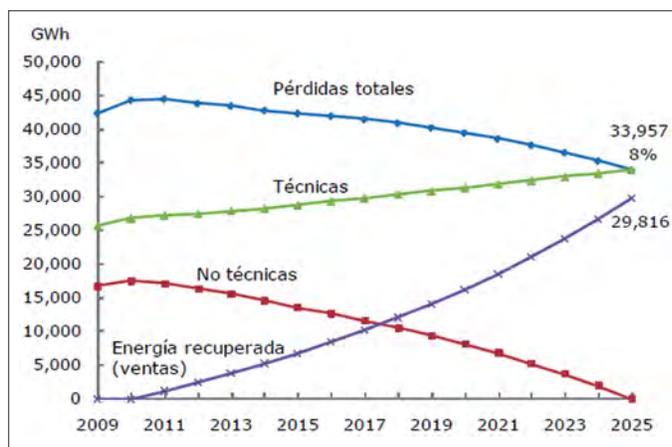


Figura 5. Estimación del comportamiento de las pérdidas en el sistema eléctrico en México.

avanzadas para administrar la demanda de energía eléctrica, de tal forma que contribuyan a abatir las pérdidas en el proceso de distribución, considerando que con ello se procurará el mejoramiento de las finanzas de la empresa de electricidad de una manera socialmente responsable. La otra línea de acción se refiere a la modificación del marco legal para tipificar el robo de energía eléctrica como delito federal grave y promueve la coordinación con la sociedad civil para que participe con la denuncia de acciones ilícitas relacionadas con la toma, transporte, almacenamiento o comercialización de energía, así como la coordinación con autoridades para instrumentar acciones encaminadas a eliminar el uso ilícito de energía eléctrica. La aplicación de estas acciones ha llevado a estimar el comportamiento reciente de las pérdidas en el SEN (figura 5).

Adicionalmente se considera que la reducción de pérdidas de energía es un impulsor de la Red Eléctrica Inteligente, que tiene relación con otros factores de gran relevancia tales como la continuidad y calidad del servicio, la seguridad en el suministro y la disminución del impacto en el medio ambiente, a través de la reducción de emisiones por el uso de combustibles.

## **Tecnologías de medición avanzada**

### **Infraestructura de medición avanzada (AMI)**

La medición es un proceso clave de los sistemas de energía eléctrica que permite, a las empresas prestadoras del servicio, cuantificar la cantidad de energía que se genera, transmite, distribuye y se factura. El proceso tradicional de medición es periódico y genera valores acumulados (mensuales o bimestrales) que únicamente muestran la cantidad de energía consumida, pero que no proporcionan información de la forma de uso de la misma, ni de los niveles de carga en tiempo real de los consumidores, particularmente de los que consumen energía en baja tensión, ni permite tener el control de los consumos ni acciones de reacción inmediata en presencia de eventos que perturban la operación de la red. Ni las empresas que comercializan la energía, ni los usuarios que la consumen, tienen información suficiente, ni datos sobre los flujos de energía en los nodos de la red de distribución, ni en las cargas de los consumidores, lo que se traduce en falta de herramientas eficaces para hacer frente a desafíos que presenta el control eficiente de la red de distribución en condiciones de operación normal o en presencia de perturbaciones. Las empresas eléctricas tampoco cuentan con herramientas para cuantificar eficientemente las pérdidas de origen técnico y no técnico.

### **Qué son los sistemas AMI**

Se conoce como sistemas avanzados de medición o sistemas con infraestructura de medición avanzada AMI, a los sistemas con capacidad de medir, registrar, recolectar y transferir remotamente, la información asociada al consumo, la demanda, los parámetros eléctricos y la forma

de uso de la energía eléctrica, para su posterior presentación, análisis, gestión y toma de decisiones. Un sistema AMI en general se compone de tres componentes principales: medidores inteligentes, redes de comunicaciones y el sistema de gestión de datos de medición (MDMS por sus siglas en inglés), como se muestra en la figura 6.

Uno de los elementos clave de estos sistemas es el medidor inteligente, que tiene integradas capacidades avanzadas de medición, registro de datos, análisis de uso de los servicios y comunicación bidireccional, para transferir remotamente la información a sistemas de procesamiento de datos, para fines de monitoreo remoto y facturación. Otro elemento importante de los sistemas AMI son los concentradores o colectores de datos que realizan la recolección de datos de los medidores inteligentes, para transferirlos a través de redes domésticas (HAN), redes de medidores (NAN), redes de campo (FAN) y redes de área amplia (WAN), utilizando distintas tecnologías de comunicaciones (espectro disperso, radiofrecuencia, microondas, WiMax, Ethernet, Wi-Fi, ZigBee, celular, líneas eléctricas de potencia, fibras ópticas, etc.), hasta alcanzar los sistemas de explotación y gestión de datos (MDM) en las oficinas de la empresa suministradora del servicio eléctrico de distribución, en donde se procesa la información para propósitos de facturación y el monitoreo de la calidad del servicio.

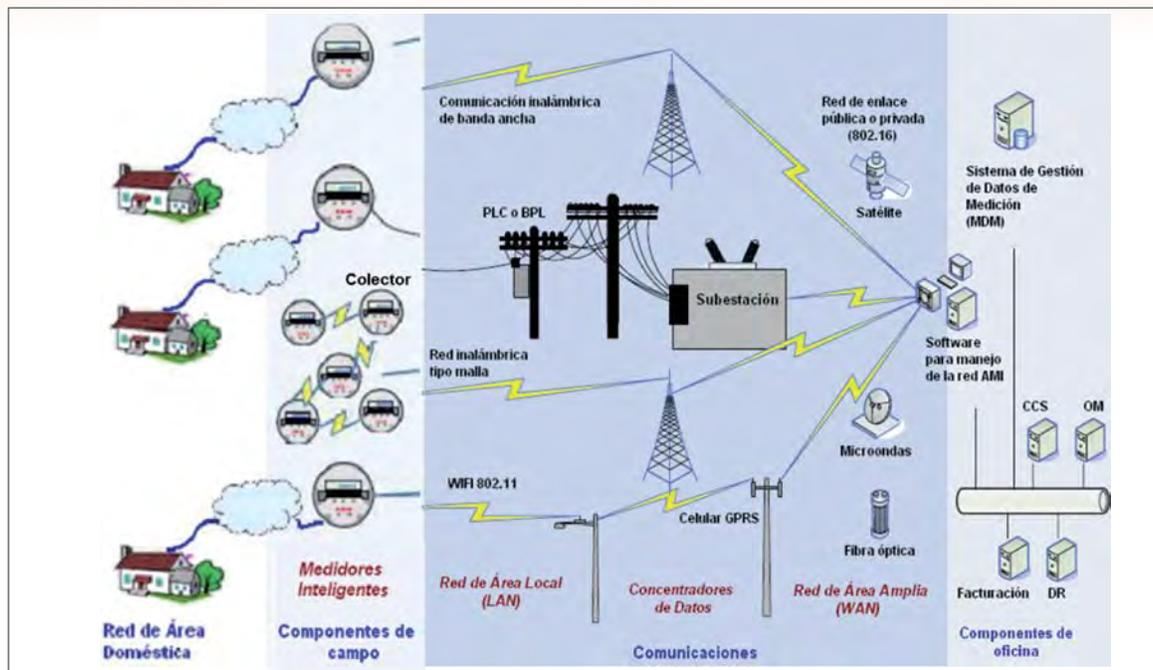


Figura 6. Arquitectura general de un sistema AMI.

La tecnología AMI es un componente clave para la reducción de pérdidas en las redes eléctricas inteligentes, originado del requerimiento del intercambio oportuno de información en tiempo real, del consumo de energía y de la demanda entre las empresas de electricidad y los consumidores. El avance alcanzado por la tecnología de circuitos electrónicos especializados ha sido un factor fundamental para el desarrollo de las comunicaciones y de la medición inteligente que ha permitido desarrollar la tecnología AMI, la cual integra especialidades de medición, telecomunicaciones, informática y control. Con estos sistemas se facilita la comunicación automatizada de dos vías entre dispositivos de medición inteligente

y los procesos de las compañías de electricidad, para que éstas obtengan información de consumo, de demanda, de la forma y momentos de uso de la energía por parte de los consumidores, quienes obtienen información de gran utilidad para tomar decisiones respecto a la forma, períodos de uso y control de la energía que consumen.

La tecnología AMI permite realizar mediciones remotas, detección de fallas, detección de pérdidas de energía, control de carga, generación distribuida, incorporación de vehículos híbridos eléctricos, entre otras, lo cual se traduce en diversos beneficios tanto para las empresas de electricidad, como para los usuarios del servicio eléctrico. Esta tecnología también permite la generación de información necesaria para que los usuarios puedan modificar sus hábitos de consumo y a la empresa de electricidad le permite detectar fallas y pérdidas, lo que puede redundar en un mejor uso de la energía eléctrica, teniendo como consecuencia beneficios económicos y ambientales, tanto para la empresa como para el consumidor.

Los sistemas de medición avanzada incluyen los medidores inteligentes con capacidades avanzadas de medición en dos direcciones (“neteo”), registro de datos y de perfiles de parámetros y de energía, monitoreo y detección de ilícitos, al igual que registro de eventos asociados a fallas y a calidad de la energía. También incorporan capacidad de comunicación en dos vías con enlace a redes domésticas (HAN) para intercambio de datos y mensajes entre consumidores y la empresa de electricidad, así como para el control remoto del consumo de electrodoméstico y capacidad para desconexión y reconexión remota del servicio eléctrico.

### **Beneficios de incorporar tecnologías avanzadas de medición**

La incorporación de estas tecnologías para la cuantificación de los flujos eléctricos de las redes eléctricas permite visualizar, de forma clara, los puntos en donde se consume energía de forma general y de forma específica, en los procesos asociados al transporte, distribución y comercialización del flujo eléctrico. La medición avanzada es una herramienta que genera información basada en el monitoreo permanente de parámetros eléctricos y en la transferencia de la información hasta los centros de control. Entre los beneficios que esto representa se distingue la capacidad del sistema para poder mostrar, de forma precisa, los detalles de consumo de los usuarios en cantidad y en la forma en que usa la energía, así como los detalles del consumo en los diferentes nodos de la red en donde se efectúa la medición, lo anterior puede servir por ejemplo para efectuar balances de energía en diferentes niveles de la red de distribución, con los que se pueden identificar y conocer los puntos en donde se consume tanto la energía que es facturada por el proceso de comercialización, como la energía que no es facturada y puede ser catalogada como pérdida por factores técnicos o no técnicos. Lo anterior es la base para instrumentar acciones orientadas a la reducción de pérdidas de energía, principalmente en el área de Distribución. La infraestructura de los sistemas AMI permite obtener información que incide en aplicaciones relacionadas con la problemática asociada al control de

pérdidas y a la operación eficiente de la red eléctrica, como por ejemplo:

- Gestión de la demanda de energía eléctrica.
- Respuesta a la demanda.
- Monitoreo de consumos kW/h, de acuerdo a las demandas.
- Administración de perfil de cargas.
- Conexión/desconexión remota de consumos.
- Detección de ilícitos.
- Calidad de energía.
- Control en medición para inserción de generación distribuida.
- Reconfiguración de alimentadores dependiendo del balance de cargas.
- Costos de energía, prepago y facturación a distancia.

La incorporación de tecnologías de medición avanzada en las redes eléctricas de distribución puede traer beneficios directos, uno importante es la reducción del impacto técnico y económico que producen las altas pérdidas de energía en las empresas de distribución de energía eléctrica y por consiguiente, la mejoría en sus ingresos por la comercialización de la misma. Otro beneficio está relacionado con el incremento en la disponibilidad de recursos de las empresas de distribución de energía, para invertir en obras de mejoramiento de la infraestructura eléctrica que permitan proporcionar a los consumidores redes más confiables y seguras y un mejor servicio del flujo eléctrico.

En general, la incorporación de sistemas de medición avanzada en la



estructura de la red puede beneficiar a los actores relacionados con la generación, transporte, distribución, comercialización y consumo del servicio eléctrico. También a las entidades gubernamentales para el suministro, regulación y ahorro del consumo eléctrico, lo cual impacta favorablemente al medio ambiente al promover la reducción de emisión de contaminantes.

Entre los beneficios específicos que pueden ser obtenidos por las empresas de electricidad al incorporar sistemas AMI en sus instalaciones eléctricas se cuentan los siguientes:

- Identificación de los puntos específicos en donde se pierde energía por factores técnicos y no técnicos, para instrumentar acciones orientadas al abatimiento de las mismas.
- Optimización de las actividades relacionadas con la toma de lecturas, corte, reconexión y atención de inconformidades.
- Incremento en la calidad y confianza en la lectura de consumos y en el proceso de facturación.
- Identificación puntual de forma automática de los nodos en donde ocurren interrupciones de energía y la posibilidad de efectuar acciones oportunas para el restablecimiento del suministro.
- Balance de energía automático.
- Reducción del impacto ambiental.
- Reducción del número de accidentes derivado de menores procesos de lectura, de corte y

reconexión de servicios, y del traslado de personal para su ejecución.

- Disposición de fuerza de trabajo para atender otras áreas críticas del proceso de comercialización.
- Fortalecimiento de la imagen institucional como empresa eficiente.
- Fomento al ahorro de energía.

La incorporación de tecnologías de medición avanzada puede beneficiar el servicio eléctrico que se proporciona a los usuarios de la siguiente manera:

- Mayor exactitud y confiabilidad en el registro de sus consumos.
- Mayor calidad del servicio a través de la vigilancia automática de las condiciones de la tensión y la continuidad del suministro.
- Lectura automática y remota de la medición del consumo sin acudir al domicilio.
- Detección automática de fallas en el suministro y atención más oportuna para su restablecimiento.
- Reconexión inmediata del suministro de energía eléctrica por falta de pago, al realizar el mismo.
- Facilidad en la verificación visual de consumos en el medidor.
- Información precisa acerca del consumo de energía, sus patrones de uso para poder controlarlos y administrarlos.

Las entidades gubernamentales también se benefician con la incorporación de los sistemas AMI a la operación de la red eléctrica de distribución para el suministro, regulación y ahorro del consumo eléctrico de la siguiente manera:

- Obtienen mayor información para poder influenciar a los consumidores respecto a los patrones de consumo y al uso de la energía, con el propósito de mejorar la predicción de la demanda.
- Oportunidad para influir sobre la eficiencia, confiabilidad y seguridad de la red y del servicio eléctrico, a través de la implantación de acciones orientadas a mejorar la eficiencia energética del lado de la demanda.
- Posibilidad de realizar ahorros en los costos de operación y mantenimiento por generación diferida y anticipación a fallas en la red eléctrica.

- Alineación con los conceptos de eficiencia energética de acuerdo a la normatividad internacional (ISO 50001).

La capacidad de monitorear el consumo de energía con más frecuencia y mayor detalle a través de los sistemas AMI contribuye a la reducción del impacto ambiental relacionado con la generación de electricidad, por lo siguiente:

- Los sistemas AMI, como herramienta de administración y uso de la energía por parte de los consumidores, puede coadyuvar a obtener ahorros del orden del 30% del consumo de la energía, reduciendo sustancialmente el impacto ambiental asociado a la generación de electricidad.
- La transferencia automática de la información desde los nodos en donde se genera hasta los centros de gestión y control reducen el consumo de recursos asociados a la ejecución de actividades básicas de toma de lecturas, desconexión y conexión, que la tecnología AMI permite realizar remotamente.
- La reducción del consumo de combustible en vehículos utilizados con fines de transporte y traslado de personal a los puntos de conflicto de red y para proporcionar los servicios básicos de atención a interrupciones en la red, y desconexiones y reconexiones del servicio a los consumidores, da como resultado la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes al medio ambiente.

## Conclusiones

La tecnología AMI es un componente clave para la reducción de pérdidas en las redes eléctricas inteligentes, asociada principalmente al consumo de energía y la demanda entre las empresas de electricidad y los consumidores.

La incorporación de tecnologías avanzadas de medición para la cuantificación de los flujos eléctricos en las redes eléctricas permite visualizar, de forma clara, los puntos en donde se consume energía de forma general y de forma específica, en los procesos asociados al transporte, distribución y comercialización de la energía eléctrica.

En los últimos años en México, las pérdidas de energía eléctrica en la transmisión y distribución de la CFE se han reducido en un punto porcentual cada año, pasando de 16.4% en 2012, al 15.7% en 2013 y al 14% al cierre de 2014.

Por su parte, la Secretaría de Energía y la Subdirección de Programación de la CFE han impulsado iniciativas y lineamientos donde se reconoce la importancia y el impacto de la problemática asociada a las pérdidas de energía eléctrica en el sistema eléctrico nacional y se definen directrices, estrategias y acciones para que la CFE y los organismos reguladores de energía se coordinen y sumen esfuerzos para reducir el nivel de pérdidas a un mínimo de 10% en 2018 y de 8% en 2024.

## Referencias

Banco Mundial. *Transmisión de energía eléctrica y pérdidas en la distribución (% de producción)*. [En línea]. Recuperado el 19 de octubre de 2015, <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.LOSS.ZS>.

Comisión Federal de Electricidad, Informe Anual 2014.

Estrategia Nacional de Energía 2013-2027. Secretaría de Energía, México. 2013, pág. 19.

Estrategia Nacional de Energía 2014-2028. Secretaría de Energía, México. 2014, pág. 13.

Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional, PRODESEN 2015-2029, Secretaría de Energía, año 2015.

Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2018. Secretaría de Energía, México. 2014, pág. 95.



## Currículum vitae



### José Martín Gómez López

[jmgomez@iie.org.mx]

Maestro en Ciencias (1988) e Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). De 1982 a 1984 laboró en el área de pruebas en empresas de telecomunicación y de seguridad profesional. Ingresó al Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) en 1984. Aquí ha participado y tenido a su cargo proyectos de desarrollo tecnológico relacionados con equipos y sistemas electrónicos aplicados a la medición inteligente de electricidad y agua, y al robo de energía eléctrica. En colaboración cuenta con diversas patentes y derechos de autor en temas asociados a la medición avanzada de energía eléctrica y ha sido autor y coautor de diversos artículos en conferencias y en revistas técnicas nacionales e internacionales. Ha sido profesor de cátedra en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) durante 21 años. Actualmente se desempeña como investigador de la Gerencia de Control, Electrónica y Comunicaciones del IIE, como colaborador y jefe de proyectos de desarrollo de tecnología en el campo de la medición avanzada y pérdidas de energía eléctrica.

### Roberto Castán Luna

[rcastan@iie.org.mx]

Egresado del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas en 1989. Ingresó al IIE en febrero de 1990, al Departamento de Electrónica, actualmente Gerencia de Control e Instrumentación (GCI). En marzo de 2003 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Ha participado y dirigido varios proyectos de infraestructura y bajo contrato, desarrollando *software* de aplicación para módulos electrónicos e interfaces hombre-máquina para lectura y programación de módulos y equipos electrónicos. Actualmente colabora con en el grupo de medición de la GCI, donde se han diseñado equipos y sistemas para medición de energía eléctrica y balance de energía.

### Julio César Montero Cervantes

[jcmc@iie.org.mx]

Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) en 1994. Ingeniero Industrial en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Piedras Negras, en Coahuila, en 1988. Ingresó al Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) en 1992 como investigador en el entonces Departamento de Comunicaciones. Sus áreas de desarrollo son las comunicaciones digitales y analógicas vía fibras ópticas y sistemas automatizados en general. Ha dirigido proyectos que incluyen redes de fibra óptica, tele-medición, intercomunicación, CCTV, instrumentación y control para la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Petróleos Mexicanos (PEMEX). Ha publicado diversos artículos en revistas nacionales e internacionales, y ha obtenido diversos registros de propiedad intelectual en conjunto con otros investigadores. Actualmente es Gerente de Control, Electrónica y Comunicaciones de la División de Tecnologías Habilitadoras.

### Javier Meneses Ruiz

[jmeneses@iie.org.mx]

Maestro en Ciencias por el Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Manchester, UMIST Inglaterra en 1986. Ingeniero Mecánico Electricista por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1984. Ingresó al Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) en 1983, donde se ha desempeñado como investigador y Jefe de Proyecto en el entonces Departamento de Comunicaciones y posteriormente en la Gerencia de Control, Electrónica y Comunicaciones. Ha participado y dirigido proyectos de investigación, desarrollo tecnológico, ingeniería, consultoría y análisis sobre sistemas y tecnologías de telecomunicaciones para sistemas eléctricos de potencia y para centros de control de energía. Es autor de varios artículos nacionales e internacionales de su especialidad. Ha dirigido varias tesis de licenciatura y de maestría. Es profesor de asignatura en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) desde 1987. Es miembro del Sistema Estatal de Investigadores del Estado de Morelos y *Senior Member* del IEEE. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de 1987 a 1993.

### Joaquín García Hernández

[jgarciah@iie.org.mx]

Doctor de Filosofía (Ph.D.) en Ingeniería Sistemas Electrónicos con especialidad en Redes de Comunicaciones Multimedia de la Universidad de Essex, Inglaterra en 1999. Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) en 1990. Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por el Instituto Politécnico Nacional (IPN) en 1986. Es investigador de la Gerencia de Control, Electrónica y Comunicaciones del IIE y cuenta con 29 años de experiencia profesional.

Ha trabajado en el desarrollo de proyectos relacionados con redes y sistemas de comunicaciones aplicados al sector eléctrico, diseño de sistemas de comunicaciones para la automatización de subestaciones y tecnologías de comunicaciones para la red eléctrica inteligente (*smart grid*). Ha publicado más de 55 artículos en revistas y congresos. Posee dos derechos de autor relacionados con el desarrollo de interfaces de comunicación para redes de computadoras. Es miembro del CIGRE e instructor certificado del programa académico CISCO Networking Academy.

# Modelo para detectar y prevenir pérdidas no técnicas en sistemas de distribución eléctrica con base en técnicas de minería de datos y redes bayesianas

María Yasmín Hernández Pérez, Gustavo Arroyo Figueroa, Martín Santos Domínguez, Guillermo Rodríguez Ortiz e Hilda Escobedo Hernández

## Abstract

*The energy sector faces a considerable loss of energy in both, the technical field and the non-technical field. Non-technical losses are related to the energy delivered, but whose cost is not recovered. Several attempts have carried out to reduce this problem; however, it still persists. The application of data mining algorithms to the commercial and technical databases provides patterns of energy consumption. These consumption patterns can be related to social, economic and demographic information, and in this way it allows to know the phenomena behind energy losses. In turn, consumption patterns are useful for designing models of energy losses prediction. In this paper, we proposed a prediction model based on Bayesian networks which includes a wide range of parameters and relationships and allows the use of minimal evidence for potential or early losses. The structure of the Bayesian network is based on the consumption patterns and on expert knowledge. We have evaluated several algorithms to prepare data and to select relevant data because there is a large amount of data and in many cases incomplete or irrelevant. In this paper, the current results in the construction of diagnostic model are presented.*



## Introducción

Las pérdidas de energía en los sistemas de distribución es un problema importante que enfrentan las empresas de energía eléctrica. En México, cada año se pierde más del 21% de la energía que se genera (Acosta, 2010). Este problema recae principalmente en la gestión de los servicios públicos, es decir, en la eficiencia y optimización de recursos. La falta de inversión en los sistemas de distribución y comercialización de energía eléctrica no sólo conduce al deterioro en la calidad del servicio, sino que también es uno de los principales factores en el aumento de las pérdidas de energía, tanto técnicas como no técnicas.

Primordialmente, las pérdidas técnicas se deben al calor que se produce cuando la electricidad pasa a través de las líneas de transmisión y de los transformadores, mientras que las pérdidas no técnicas se producen cuando la energía se toma del sistema sin que el medidor de energía registre el consumo, ya sea por robo, por manipulación de equipos



o de los sistemas de facturación para modificar los registros de consumo, entre otros (Rodríguez, 1997).

En México se han llevado a cabo diversos intentos para minimizar las pérdidas no técnicas, que en su mayoría han consistido en dispositivos físicos que se han interesado en el robo, sin embargo, el problema ha persistido, ya que no se han considerado otros factores como una mala administración y la falta de mantenimiento.

Las bases de datos técnicas y comerciales de las empresas de energía eléctrica almacenan información de consumo de varias décadas, de tal manera que es posible aplicar técnicas de minería de datos para descubrir patrones de comportamiento que expliquen las causas de las pérdidas no técnicas de energía. Con la aplicación de estos algoritmos se podría conocer, entre otros factores, las zonas geográficas que tienen mayores pérdidas no técnicas de la energía. A su vez, con los patrones de consumo se pueden predecir las pérdidas potenciales o detectarlas en etapas tempranas.

Los algoritmos de minería de datos descubren y muestran conocimiento oculto en los datos. Se trata de un proceso largo que incluye diversas etapas: pre-procesamiento, transformación y post-procesamiento. Proponemos un modelo que incluye el pre-procesamiento de las bases de datos técnicas y comerciales, a través de algoritmos de selección de atributos



para detectar la información relevante. Para el diseño del modelo se están evaluando diversos algoritmos de minería de datos y se propone un modelo bayesiano para detectar y prevenir las pérdidas no técnicas de energía a partir de los patrones descubiertos.

El artículo está organizado de la siguiente manera: La sección 2 presenta el modelo para detectar las pérdidas no técnicas de energía. La sección 3 presenta la red Bayesiana, la cual es un elemento fundamental del modelo. Finalmente, las conclusiones y el trabajo futuro se presentan en la sección 4.

## Modelo para detectar pérdidas de energía en sistemas de distribución

El sistema de distribución de energía eléctrica es el encargado de proporcionar la energía a los consumidores finales, la cual se transporta a través de redes de distribución de las plantas eléctricas a los usuarios. Las pérdidas de

energía se refieren a la energía eléctrica que se produce y transporta, pero que las empresas que prestan el servicio no facturan. Esto sucede a causa de que la energía se pierde a lo largo del proceso, o a causa de problemas de gestión, o porque se ha tomado de manera ilegal, por lo tanto, las pérdidas se clasifican en técnicas y no técnicas.

Las pérdidas técnicas se deben principalmente al calor que se produce cuando la electricidad pasa por las líneas de transmisión y transformadores.

Las pérdidas no técnicas se producen cuando la energía se toma de manera ilegal desde el sistema sin ser registrada por el medidor de energía, principalmente por robo, manipulación de equipos o de los sistemas de facturación (Rodríguez, 1997).

El aumento de las pérdidas no técnicas afecta a las empresas de distribución de energía. Por ejemplo, en el aspecto

socioeconómico se afectan las inversiones futuras y puede llegar a la racionalización del uso de la energía. La falta de inversión en los sistemas de distribución y comercialización de energía eléctrica conduce no sólo al deterioro de la calidad del servicio que se presta, sino que es uno de los factores que más contribuyen al aumento de las pérdidas técnicas y no técnicas.

En el trabajo previo se ha tratado de evitar las pérdidas no técnicas que atacan sólo el robo, sin embargo, estudios recientes han detectado otras causas de pérdidas no técnicas, las cuales se encuentran principalmente en los sistemas de administración (Acosta, 2010) . El porcentaje de pérdidas

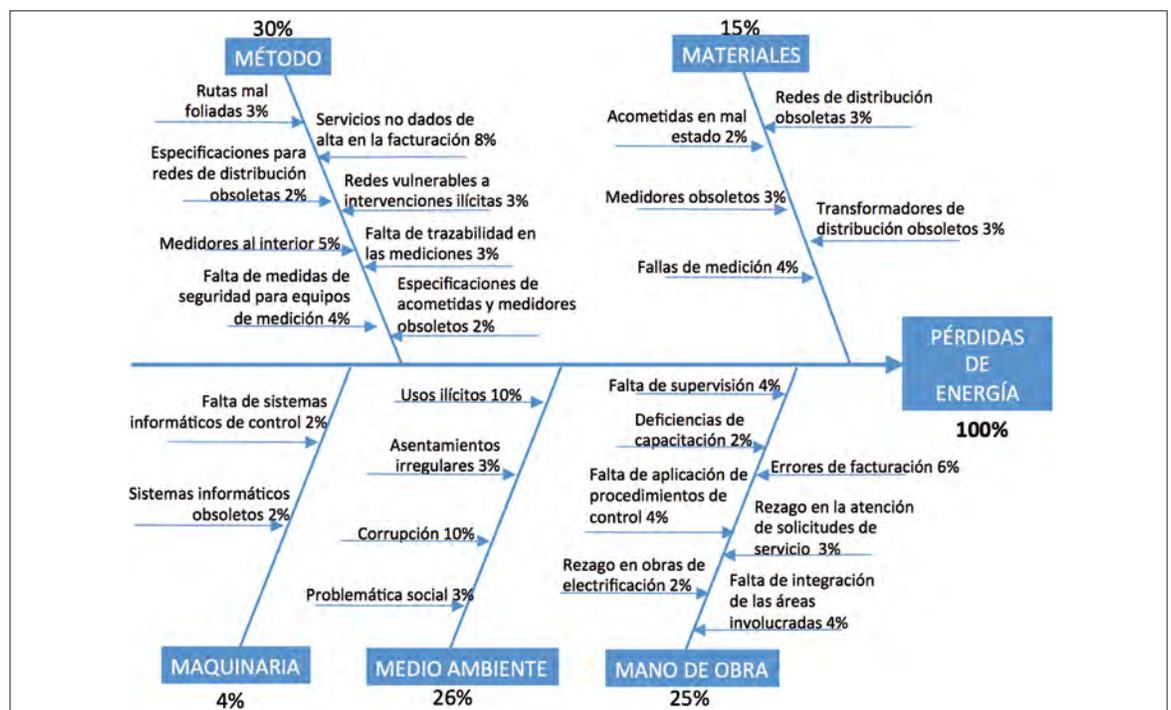


Figura 1. Causas de pérdidas no técnicas de energía. Se identifican cinco categorías de causas importantes en el Área Metropolitana de México (Acosta, 1997).



varía entre regiones y entre actividades económicas. En la figura 1 se muestra un análisis de las causas de las pérdidas no técnicas en el área metropolitana de México.

Como puede verse en la figura 1, el robo de energía es sólo una de las causas de las pérdidas no técnicas en el área metropolitana y como un primer intento de reducirlas, se ha atacado el problema del robo de energía mediante la aplicación de algoritmos de minería de datos a la información histórica de la facturación.

La base de datos comercial SICOM contiene información detallada de los contratos de los consumidores que incluyen el consumo de energía y los medidores de consumo. Esta base de datos ha estado en operación durante varias décadas, por lo tanto, cuenta con millones de registros que constituyen una fuente importante para detectar patrones de consumo de energía, pero se tienen que establecer relaciones con otras bases de datos con información técnica y demográfica, para tratar de identificar un espectro más amplio de las pérdidas no técnicas.

Nuestro modelo incluye el pre-procesamiento de los datos, la minería de bases de datos, el análisis del conocimiento descubierto, y la aplicación de los nuevos conocimientos. En la figura 2 se presenta este proceso.

En la etapa de pre-procesamiento de los datos se consideran varias tareas, tales como completar los registros

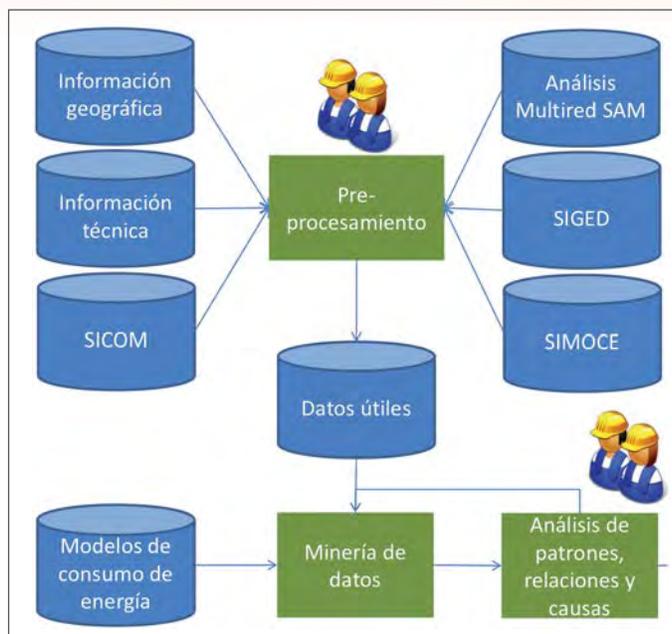


Figura 2. Diagrama de detección de pérdidas no técnicas. La propuesta incluye el pre-procesamiento de los datos, la aplicación de algoritmos de minería de datos, el análisis de los patrones descubiertos y la aplicación del nuevo conocimiento.

incompletos. En esta etapa, la participación de expertos es muy importante, ya que conocen el proceso y por lo tanto pueden generar reglas para completar los registros, generar los registros faltantes, así como establecer relaciones entre los datos.

La minería de datos de bases de datos juega un papel central en la explotación de la gran cantidad de información disponible, sin embargo, cuando se trata de bases de datos muy grandes, los algoritmos de minería requieren mucho tiempo para procesar la información. Una forma de abordar este problema es reducir la cantidad de datos antes de aplicar los algoritmos de minería a través del pre-procesamiento. Por otro lado, los datos del mundo real generalmente están incompletos, con discrepancias o inconsistencias: faltan valores en algunos atributos, faltan atributos relevantes, sólo contienen los datos agregados, con errores o con valores atípicos. Las tareas en el pre-procesamiento de datos son:

- Limpieza de datos: completar los valores perdidos, reducir los datos ruidosos, identificar y eliminar los valores atípicos, y eliminar las inconsistencias.

- Integración de datos de diferentes bases de datos, cubos de datos o archivos.
- Transformación de datos a través de la normalización y la agregación
- Reducción de datos: se reduce el volumen de datos, pero se producen los mismos resultados analíticos o similares
- Discretización de datos: se sustituyen atributos numéricos con valores nominales.

La aplicación del método de pre-procesamiento de selección de atributos antes de la minería de datos ha demostrado que este método es prometedor, ya que puede eliminar los atributos irrelevantes o redundantes que hacen que las herramientas de minería se conviertan en ineficientes (Mejía, 2004). Al mismo tiempo se puede conservar y aumentar la calidad de la clasificación del algoritmo de minería (precisión predictiva) y ayudar a entender los modelos inducidos, ya que tienden a ser más pequeños y por lo tanto se hacen más entendibles para el usuario final.

En el aprendizaje supervisado es conveniente aplicar un método de clasificación. El método buBF y el método dG (Mejía, 2004) consideran interdependencias entre los atributos nominales.

Como resultado del análisis y la aplicación de algoritmos de minería de datos a la base de datos SICOM hemos encontrado algunos patrones para detectar el robo de energía, sin embargo, ahora estamos buscando otras relaciones para tratar de detectar y prevenir las pérdidas no técnicas de la energía que incluye otras causas como se indica en la figura 1. Estamos evaluando diferentes algoritmos para saber cuál es más eficaz.

Adicionalmente estamos construyendo un modelo para detectar las pérdidas potenciales o en una etapa temprana con base en redes bayesianas.

## **Modelo Bayesiano para detección de pérdidas de energía**

Las pérdidas no técnicas de energía involucran muchos factores, de tal manera que cada factor puede contribuir con la evidencia para identificar un patrón, por lo que no se tiene una única fuente directa de evidencia, sino que se cuenta con varias y diferentes fuentes de evidencia. El razonamiento bayesiano proporciona mecanismos robustos para trabajar con cualquier evidencia mínima que permite hacer frente a la incertidumbre inherente en la evaluación de las pérdidas de energía.

Se han modelado redes bayesianas en varios dominios. Se propone diseñar un sistema de diagnóstico basado en redes probabilísticas temporales (Arroyo, 2000). El sistema de diagnóstico utiliza un análisis causa-consecuencia, con base en un modelo que hace frente a la incertidumbre y el tiempo. El modelo está representado por medio de una red bayesiana de eventos temporales (RBET) (Arroyo, 1999). Una RBET es un grafo acíclico dirigido (DAG) donde los nodos representan un evento y las aristas representan una relación causal temporal entre los nodos temporales. Una RBET es una representación formal de la causalidad y las relaciones temporales entre eventos. En otras palabras, una RBET es un modelo de comportamiento de consumo que puede compararse al consumo real. Una RBET se define de la siguiente



manera:  $RBET = (V, E)$ , donde  $V$  es el conjunto de nodos temporales y  $E$  es el conjunto de aristas. Cada nodo temporal está definido por un par ordenado  $(\sigma, \tau)$  y la matriz de probabilidad condicional que especifica la probabilidad de cada par ordenado dados sus padres (Mejía, 2004).

Los valores de cada nodo temporal pueden verse como el producto vectorial entre el conjunto de valores  $(\Sigma)$  y el conjunto de intervalos de tiempo  $(T)$ , a excepción del estado predeterminado que se asocia a un solo intervalo.

El análisis de causa-consecuencia se utiliza para indicar que el énfasis principal está en la determinación de las causas de los acontecimientos que se han producido, así como la predicción de consecuencias futuras. El formalismo RBET incluye el manejo de la incertidumbre y del tiempo para el diagnóstico del consumo y la predicción de eventos, utilizando la evidencia como pieza importante de información. El análisis comienza cuando el módulo de detección de eventos detecta un evento, éste toma las lecturas y compara su valor con los límites bajos y altos. Un evento es una señal que sobrepasa los límites especificados.

El mecanismo de inferencia de un modelo RBET se basa en la detección de eventos y en la propagación de la evidencia. El mecanismo de inferencia actualiza las probabilidades marginales posteriores de cada nodo

(variable) de la red, debido a la ocurrencia de un evento o eventos. Definimos  $t_c$  como el tiempo cuando se detecta un evento y  $\alpha$  como la función de ocurrencia en tiempo real. Esta función se define como el valor absoluto de la diferencia entre el tiempo de ocurrencia de un par de eventos conectados. A medida que la red no tiene ninguna referencia temporal, el tiempo de ocurrencia del primer evento fija el tiempo de la red. El valor de  $\alpha$  se utiliza para determinar el intervalo de tiempo del nodo efecto, teniendo en cuenta el nodo causa como evento inicial. Después, la evidencia se propaga a través de la red para actualizar las probabilidades de los otros nodos. Estas posibilidades indican la ocurrencia potencial de eventos en el pasado y en el futuro. La función termina cuando se alcanza un nodo terminal o de la hoja.

Se han identificado tres pasos principales en el proceso de inferencia:

- 1) Detección de la ocurrencia del evento o eventos y definición del intervalo de tiempo de ocurrencia del evento o eventos.
- 2) Propagación de la evidencia de la ocurrencia a través de la red y actualización de las probabilidades de las variables.
- 3) Determinación de los eventos pasados y futuros potenciales.

Una RBET se construye con base en los patrones descubiertos en la fase de minería de datos y también es importante el conocimiento de un experto. La red bayesiana implícita en RBET se muestra en la figura 3. Esta RBET inicial representa las causas de las pérdidas no técnicas de energía.

## Conclusiones

Las pérdidas no técnicas de energía son un tema importante en la generación de energía eléctrica y representan un gran reto, ya que las empresas de generación eléctrica están perdiendo una cantidad considerable de dinero. Se han realizado diversos esfuerzos para atacar este problema, que se han centrado principalmente en el robo de la energía, sin embargo, el problema ha persistido.



Figura 3. Red Bayesiana inicial para la detección de pérdidas no técnicas de energía. Incluye datos sobre demografía, equipo y gestión.

Además del robo de energía se han identificado diversas causas de las pérdidas, tales como equipo de medición obsoleto. Se ha trabajado en la detección de robo de energía, tratando de identificar los patrones de consumo en las bases de datos de facturación. Ahora se quiere detectar otras causas de las pérdidas no técnicas de energía, por medio del descubrimiento de nuevos patrones en la base de datos de facturación y a través de la identificación de relaciones con las bases de datos técnicas y demográficas. Además, se está construyendo un modelo Bayesiano con la base de los patrones descubiertos y con el apoyo de expertos. En este artículo presentamos nuestra propuesta general y como trabajo futuro nos gustaría aplicar los algoritmos de minería de datos que hemos evaluado y comparar los resultados.

## Referencias

Acosta, F. Sector Energético Mexicano, Talk at Regional Conference on Smart Grids in Latin America and Caribbean: Feasibility and Challenges. CEPAL. Santiago de Chile, Octubre, 12-13, 2010.

Arroyo G., Álvarez Y., Sucar L. E. SEDRET – an intelligent system for the diagnosis and prediction of events in power plants, *Expert Systems with Applications*. vol. 18, No. 2, 2000, pp. 75-86.

Arroyo G., Sucar L. E. *Temporal Bayesian Network for diagnosis and prediction*. In Laskey K., Prade H. (eds.) Proc. 15th Conference on

Uncertainty on Artificial Intelligence, 1999, pp. 13-20.

Mejía, M., Rodríguez, G., Arroyo, G., Morales, *Feature selection-ranking methods in a very large electric database*. MICAI 2004: Advances in Artificial Intelligence, 3rd Mexican Int. Conf. on Artificial Intelligence, Springer Berlin, April, pp. 292-301.

Rodríguez, R. L., Vidrio, G. Tendencias en medición: detección de robos de energía eléctrica. *Boletín IIE*, 1997.



## Currículum vitae



### Yasmín Hernández Pérez

[myhp@iie.org.mx]

Doctora en Ciencias Computacionales por el Tecnológico de Monterrey. Maestra en Ciencias Computacionales por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Ingeniera en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Ingresó al Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) en 1998, a la División de Tecnologías Habilitadoras. Su área de especialidad es la inteligencia artificial, particularmente interacción humano-computadora, modelado de usuario, sistemas tutores inteligentes, e-learning y computación afectiva. Ha desarrollado y aplicado tecnologías para sistemas de capacitación avanzada en diversos proyectos para la industria eléctrica y energética de México. Es autora de diversas publicaciones en revistas, capítulos de libro y memorias de conferencias internacionales. Actualmente coordina el eje temático de interacción y emociones de la red temática en tecnologías del lenguaje del CONACYT. Es miembro del Sistema Estatal de Investigadores de Morelos y de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial.

### Gustavo Arroyo Figueroa

[garroyo@iie.org.mx]

Doctor en Ciencias Computaciones por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Maestro en Ciencias Químicas e Ingeniero Industrial Químico por el Instituto Tecnológico de Celaya. Ingresó al IIE en 1991, donde colaboró en proyectos relacionados con la automatización integral de plantas eléctricas, algoritmos de control avanzado, sistemas de información en tiempo real y aplicación de técnicas de inteligencia artificial en la supervisión y diagnóstico de procesos. Desde 1999 es Gerente de Tecnologías de la Información. Autor de más de 100 publicaciones nacionales e internacionales; editor de *Lectures Notes on Artificial Intelligence*. Pertence al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) desde 1991 y actualmente es investigador nivel II. Miembro de la mesa directiva de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, de la IEEE, del Comité de Plantas Eléctricas del IASTED, y del Comité Estudios D2 “*Information Systems and Telecommunications*” del CIGRE.

### Martín Santos Domínguez

[msantos@iie.org.mx]

Maestro en Ciencias con la especialidad en Fibras Ópticas por la Universidad de Salford, Inglaterra en 1994. Licenciado en Física por la Universidad Veracruzana en 1987. Tiene experiencia en el desarrollo de sistemas de instrumentación virtual y procesamiento de imágenes (visión robótica), diseño, instalación y administración de redes LAN y WAN. También ha laborado en el campo de las aplicaciones multimedia con integración de servicios de audio y video digital. Desde 1988 es Jefe de proyecto en la Gerencia de Tecnología de la Información del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). Ha dirigido proyectos para Pemex Exploración y Producción y para la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

### Hilda Escobedo Hernández

[escobedo@iie.org.mx]

Maestra en Inteligencia Artificial en el programa UV-LANIA (Universidad Veracruzana-Laboratorio Nacional de Informática Avanzada A.C.). Licenciada en Informática por la Facultad de Informática de la UV. Desde 1989 es investigadora en la Gerencia de Tecnologías de la información. Ha participado en el desarrollo de varios proyectos relacionados con base de datos, portales y capacitación para la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Sus áreas de interés son minería de datos y tecnologías de información.





INSTITUTO DE  
INVESTIGACIONES  
ELÉCTRICAS

## *Soluciones innovadoras en energía*

**2005-2015**

En la recta hacia cuatro décadas de existencia, y en el marco de la reforma energética de nuestro país, así como la llegada de los mercados energéticos abiertos, el Instituto de Investigaciones Eléctricas se ha mantenido como un centro de investigación que promueve y apoya la innovación, impulsando el desarrollo sustentable del país.

En ésta, la década de su cuarenta aniversario, el IIE realizó, entre diversos proyectos, la actualización de los procedimientos para el diseño eólico de estructuras y para el diseño por viento de sistemas de líneas de transmisión, y por viento y sismo de subestaciones eléctricas, así como el desarrollo de una red inalámbrica de sensores para monitorear los potenciales de corrosión en un ducto enterrado.

Con base en el énfasis mundial sobre el cambio climático y el protocolo de Kyoto, el IIE orientó sus estudios a las energías limpias, haciendo énfasis en la utilización del biogás producido por rellenos sanitarios, los biocombustibles para producción de electricidad, y en una mayor eficiencia en mecanismos de mitigación y captura de dióxido de carbono, realizando aplicaciones de cogeneración para el sector petrolero.

La modernización y las nuevas tecnologías son la plataforma sobre las cuales el Instituto basa sus innovaciones para el sector eléctrico, tal es el caso del desarrollo, para la red eléctrica inteligente, de la ruta tecnológica, modelos para la operación del mercado eléctrico mayorista, así como equipos como el SIM IV y el SICAD; la nanotecnología aplicada en aisladores eléctricos; la creación de robots y dispositivos autónomos como el brazo mecánico para la inspección de álabes de turbinas, la sonda borosónica para inspección del eje de la turbina y un robot que inspecciona pared de tubos de agua de calderas.

En el tema de la capacitación, el Instituto incursionó en dos frentes: la realidad virtual, creando sistemas de capacitación para ambientes de riesgo para linieros, y su Centro de Posgrado, que ofrece cursos de capacitación nacionales e internacionales, así como maestrías y especialidades.

Como proyectos nacionales de gran envergadura, el Gobierno Federal ha implementado, en años recientes, los Centros Mexicanos de Innovación, de los cuales el IIE lidera el CEMIE Eólico y es parte del CEMIE Geotérmico.

La lista de proyectos es extensa, y aunque algunos no se han mencionado aquí son parte importante de su historia, una que aún se sigue escribiendo pues falta mucho por hacer. El compromiso del Instituto de Investigaciones Eléctricas de satisfacer las necesidades de sus clientes y superar sus expectativas sigue vigente y se hará patente, ya que es un centro de investigación clave en el desarrollo de la industria eléctrica y energética del país.



## Finalización y entrega del proyecto SAMPyM<sup>3D</sup>

Con el objetivo de apoyar en el adiestramiento en mantenimiento a protecciones y medición en subestaciones de distribución, el IIE, a través de su Grupo de Realidad Virtual (GRV), desarrolló SAMPyM<sup>3D</sup>, que es un sistema de realidad virtual para adiestramiento en mantenimiento a protecciones y medición.

Este desarrollo, que estuvo a cargo de Miguel Pérez Ramírez, investigador de la Gerencia de Tecnologías de la Información (GTI) del Instituto, incluye 26 pruebas a protecciones de diferentes equipos de una subestación, como alimentadores, líneas de transmisión, bancos de transformación, bancos de capacitores y verificación de esquemas de protección. También permite recorridos virtuales libres en una subestación de distribución e incluye tres modos de operación: aprendizaje, práctica y evaluación, y puede registrar el progreso de los estudiantes.

Con este sistema, el personal de la CFE no sólo tendrá acceso al conocimiento especializado para la realización de pruebas a protecciones en subestaciones, sino que con ayuda del sistema podrá practicar e incluso autoevaluarse y hacer recorridos libres por una subestación. El sistema será una herramienta de apoyo para mejorar el proceso de capacitación y certificación del personal.



## Ceremonia de premiación de los XXV Certámenes Nacionales de Tesis

El pasado 25 de noviembre de 2015 se llevó a cabo, en las instalaciones del IIE, la “Ceremonia de Premiación de los XXV Certámenes Nacionales de Tesis”, evento convocado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el IIE.

El objetivo de estos certámenes es reconocer los mejores trabajos de tesis, cuyo tema esté incluido en alguna de las especialidades de eficiencia, ahorro energético y sustentabilidad; redes eléctricas inteligentes; energías renovables; materiales; gestión de activos, y capacitación avanzada. Se premió a un total de 31 estudiantes de Licenciatura, Maestría y Doctorado de diversas universidades de educación superior e institutos de investigación de todo el país.

Fernando A. Kohrs Aldape, Director de la División de Planeación, Gestión de la Estrategia y Comercialización del IIE destacó que éstos certámenes nacieron de una iniciativa de la CFE y el Instituto, con el propósito de despertar el interés de las instituciones de educación superior por realizar trabajos de tesis relacionados con el sector eléctrico, y que aunque los grupos temáticos han cambiado, ha habido continuidad en el propósito y en la entusiasta participación del sector educativo, así como en la alta calidad de los trabajos que han concursado, dando como resultado mayor competencia y una alto grado de innovación.

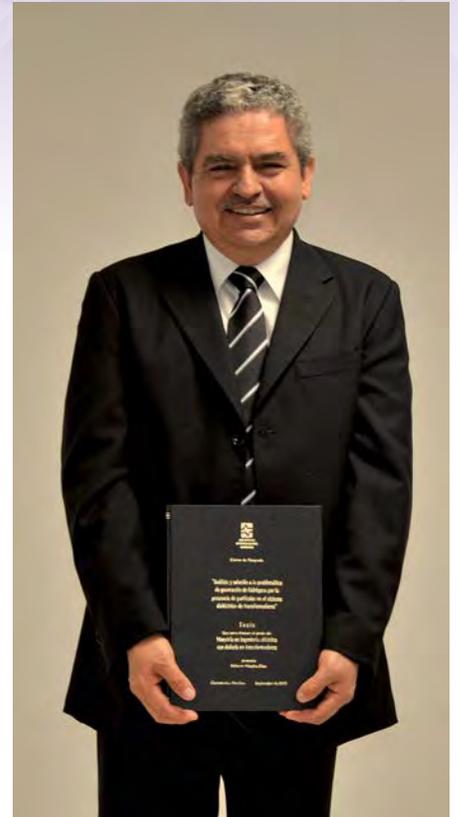
## Otorga el IIE un grado más de Maestría en Ingeniería Eléctrica

El pasado 14 de octubre de 2015, Heberto Méndez Díaz presentó el examen de grado para obtener el título de Maestro en Ingeniería Eléctrica con énfasis en Transformadores, con la tesis: “Análisis y solución a la problemática de generación de hidrógeno por la presencia de partículas en el sistema dieléctrico de transformadores”.

El jurado calificador estuvo integrado por: Georgina Blass Amador, Carlos G. Azcárraga Ramos, Roberto Liñán García, y H. Octavio de la Torre Vega.

Tras la presentación, la sesión de preguntas y respuestas, así como la deliberación, el jurado decidió aprobar a Heberto por unanimidad y acto seguido se procedió a tomarle la respectiva protesta que marca el protocolo.

En su tesis, Heberto analiza una de las problemáticas que se tiene actualmente en transformadores de potencia con más de 20 años en operación instalados en la red de transmisión de la Comisión Federal de Electricidad (CFE): la generación de gas hidrógeno, provocado por partículas en el aceite aislante, generadas como consecuencia del deterioro normal de los aislamientos y de algunas partes metálicas internas, y para analizar dicha problemática utiliza el método de investigación de fallas de acuerdo a la Norma IEEE C57.125-2005 y pruebas que no se tienen de rutina o normalizadas en la CFE. También realiza una simulación, utilizando una herramienta de elemento finito modelando la partícula para diferentes tamaños y materiales.



## Oportunidades de cogeneración en México

Del 10 al 12 de noviembre de 2015, el IIE llevó a cabo el seminario: “Oportunidades de cogeneración en México”, en las instalaciones del Centro de Capacitación en Calidad (CECAL) de la Secretaría de Energía (SENER) en la Ciudad de México.

Entre los objetivos de este evento destacaron la promoción de las capacidades, recursos y experiencia del Instituto en el tema de cogeneración; la capacitación, a través de dos cursos, sobre los beneficios técnicos y económicos, así como de diseño óptimo con tecnologías disponibles en autoabastecimiento de energía, y conocer los aspectos legales y regulatorios en la materia. Cabe destacar que los instructores fueron investigadores de distintas gerencias del Instituto; las ponencias fueron presentadas por proveedores de equipos, desarrolladores de centrales y usuarios.

José Luis Fernández, Director Ejecutivo del IIE dijo que revertir o, al menos, reducir a límites aceptables los efectos del calentamiento global es el reto más importante que tiene la humanidad para continuar viviendo en el planeta Tierra y que para ello existen alternativas como incrementar la eficiencia en el uso de la energía, así como cambiar los combustibles fósiles por energías renovables y energías limpias. También destacó que hoy el Instituto cuenta con la autorización, por parte de la Comisión Reguladora de Energía, para realizar la medición de variables en los sistemas de cogeneración que los permisionarios soliciten acreditar como su sistema de cogeneración eficiente.





## Se gradúa el XLVII grupo de AIT

El pasado 10 de noviembre se llevó a cabo la clausura del cuadragésimo séptimo grupo del programa en Adiestramiento en Investigación Tecnológica (AIT), el cual tiene como objetivo captar a los mejores estudiantes de ingenierías para invitarlos a participar en un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico, para apoyar su formación. Este programa es coordinado por la Gerencia de Desarrollo de Capital Humano del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), evento al que asistieron familiares, invitados, becarios, asesores y miembros de la Comunidad IIE.

José Luis Fernández Zayas, Director Ejecutivo del Instituto destacó que las presentaciones técnicas, informes y artículos que elaboraron los becarios reflejan el buen desempeño y la calidad de sus trabajos, y dan cumplimiento al compromiso adquirido por cada uno de ellos al integrarse al programa, el cual ha sido de vital importancia, ya que además de que le ha permitido al IIE detectar y eventualmente reclutar a los mejores egresados de las carreras de ingeniería, ha sido un mecanismo fundamental para la formación de investigadores.

Tras entregar los reconocimientos a cada uno de los becarios y becarias provenientes de diferentes universidades e institutos de Morelos y del país, se escucharon las palabras de agradecimiento de parte de Marlene Alejandra Pérez Villalpando, Maestra en Ciencias, quien realizó su estancia en la Gerencia de Sistemas Avanzados de Capacitación y Simulación.



## Investigadores del IIE participan con un capítulo en publicación de libro

Como resultado de la selección de una de las mejores ponencias presentadas en el *World Congress on Engineering and Computer Science 2014 (WCECS 2014)*, organizado por la *International Association of Engineers (IAENG)*, en San Francisco, California, Estados Unidos, los investigadores adscritos la Gerencia de Sistemas Avanzados de Capacitación y Simulación (GSACyS) del IIE, Eric Zabre y Víctor Jiménez, recibieron la invitación a participar en la elaboración de un capítulo del libro *Transactions on Engineering Technologies*, el cual lleva por nombre: *Diagnosis of Alarm Systems: A Useful Tool to Impact in the Maximization for Operator's Effectiveness at Power Plants*, publicado por la Editorial Springer en junio de 2015.

El trabajo es el desarrollo de un prototipo denominado ASARHE® (Análisis de Señales de Alarmas basado en Registros Históricos de Eventos), y consiste en una herramienta genérica para llevar a cabo un diagnóstico de los sistemas de alarmas que contribuya a determinar el nivel de rendimiento operativo de cualquier unidad, en una central generadora de energía eléctrica.

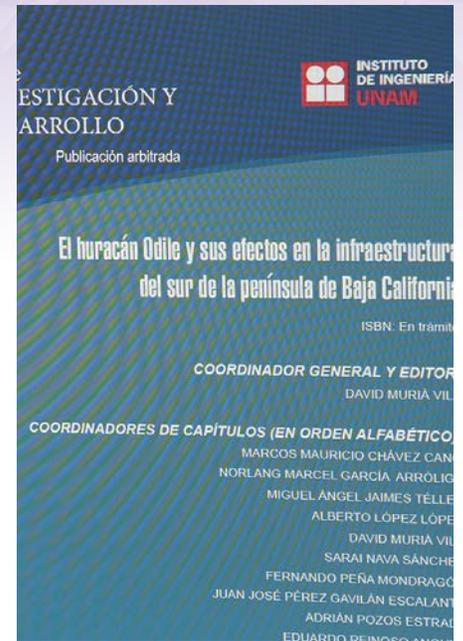
El desarrollo tiene como propósito llevarla a la práctica y extenderla como soporte de evaluación y complemento a los lineamientos sugeridos por las normas internacionales de referencia ANSI/ISA 18.2 y EEMUA-191. Esta herramienta ha sido utilizada en actividades del proyecto "Gestión Inteligente de Sistemas de Alarmas" que, de 2009 a la fecha, se ha estado implantando en centrales generadoras de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) con personal de la GSACyS.

## Investigadores del IIE participan en edición de libro

Con el objetivo de realizar una memoria de los daños y pérdidas que sufrió principalmente la infraestructura del Estado de Baja California Sur, ocasionada por el huracán Odile en septiembre de 2014, así como plantear recomendaciones a corto y mediano plazo con el fin de mitigar los daños ocasionados por estos fenómenos meteorológicos extremos, el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM) publicó el libro electrónico titulado: “El huracán Odile y sus efectos en la infraestructura del sur de la península de Baja California”, en el que participaron dos investigadores del IIE: Alberto López López y Ulises Mena Hernández.

El libro consta de 13 capítulos, y el Instituto participó como coordinador de los capítulos 5 y 11, y como colaborador en el desarrollo de los capítulos 2, 3, 4, 5, 11 y 12.

Desde 1969, el IIE inició el desarrollado de la metodología para estimar velocidades máximas de viento en México ocasionadas por eventos extremos meteorológicos, con fines de diseño por viento de estructuras. Asimismo, ha implantado los criterios de diseño por viento en el capítulo de Diseño por Viento del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE, cuya última edición apareció en 2008. Esta obra ha tenido un gran reconocimiento tanto a nivel nacional como internacional. Asimismo se han realizado varios proyectos para la CFE, relacionados con el análisis y diseño contra los efectos del viento de estructuras tales como las estructuras de soporte de LT y estructuras de subestaciones eléctricas.



## El IIE muestra sus capacidades en la IX Carpa

El Instituto participó, en el último trimestre de 2015, en la IX Carpa de la Innovación que organiza la Central Nuclear de Laguna Verde en sus instalaciones, donde dio a conocer sus tecnologías innovadoras y mostró sus capacidades en el área de realidad virtual (RV). Miguel Pérez Ramírez, investigador de la Gerencia de Tecnologías de la Información, presentó un sistema de entrenamiento para la realización de pruebas a protecciones (SAMPyM<sup>3D</sup>) que constituye un apoyo a la capacitación en un entorno virtual, y que ya se está implementando en las 16 divisiones de distribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Miguel Pérez también mostró el sistema de mantenimiento a válvulas, el cual llamó la atención del personal de la CNLV que opera este tipo de equipos y que percibió la utilidad de la tecnología de RV para entrenamiento libre de riesgos que es utilizado durante la capacitación en actividades de mantenimiento, pero en presencia de elementos radioactivos. Estos proyectos permitieron mostrar los beneficios de dicha tecnología, que puede ser efectuada en diversos campos de aplicación, según las necesidades de capacitación de las empresas.

Por su parte Norberto Pérez Rodríguez, investigador de la Gerencia de Comercialización y Desarrollo de Negocios del IIE, dio a conocer algunos sistemas desarrollados en el Instituto, como el sistema computarizado para el análisis dinámico (SICAD); sistemas robóticos para la inspección de rotores, álabes e inspección de tubos de calderas, así como proyectos o desarrollos relacionados con energías renovables. También se dio a conocer la oferta educativa con la que cuenta el Centro de Posgrado del IIE.



## ¡Celebremos 40 años de vida!

El 1 de diciembre de 1975, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) fue creado por decreto presidencial como un centro de investigación de apoyo para el sector eléctrico del país, en particular de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Consolidado como un semillero de especialistas en investigación, el IIE festejó, el 1 de diciembre de 2015, cuatro décadas de realizar proyectos de calidad e innovadores que les permiten a nuestros clientes mantenerse en la frontera del conocimiento al obtener soluciones de vanguardia que los nuevos tiempos demandan.

Esta celebración reafirmó, además, nuestro compromiso de seguir siendo un centro de investigación clave en el desarrollo de la industria eléctrica y energética del país y para ello contamos con líneas de investigación alineadas a la estrategia nacional de energía en las áreas de redes eléctricas inteligentes; gestión de activos; eficiencia energética, ahorro energético y sustentabilidad; energías renovables; materiales, y capacitación avanzada, lo que nos permite y permitirá seguir ofreciendo soluciones innovadoras en energía.

**¡Feliz 40 aniversario!**









# Entrevista al Ingeniero Félix Omar Flores Peraza

*Subgerente de Ingeniería de Servicios al Cliente  
en la División de Distribución Valle de México Centro (DVMC),  
Subgerencia de Ingeniería de Servicio al Cliente  
de la Comisión Federal de Electricidad*





**IIE:** *¿Cuál considera que ha sido el principal reto en la reducción de pérdidas en la DVMC?*

**FOFP:** El principal reto al que nos hemos enfrentado es la falta de cultura de pago del servicio de energía eléctrica además del alto grado de obsolescencia de las redes de distribución y medidores en la División. Ha sido muy importante acercarnos con la población para invitarlos a regularizar su servicio, de tal forma que se conviertan en clientes regulares y cuenten con todo el respaldo que la empresa les puede ofrecer en términos de confiabilidad y seguridad del mismo.

En el rubro de las pérdidas técnicas, la asignación oportuna de recursos de inversión, de acuerdo a las condiciones particulares de las redes de distribución en el Valle de México y en particular de la División Valle de México Centro, ha sido fundamental para ir disminuyendo las pérdidas de energía.



**IIE:** *¿Cuáles han sido las principales estrategias que han desplegado en la DVMC para obtener resultados favorables en la reducción de pérdidas técnicas y no técnicas?*

**FOFP:** Hemos establecido programas de verificación de las condiciones de la medición de la energía eléctrica de nuestros clientes, para contar con la certeza de que los instrumentos de medición (medidores) se encuentren en condiciones óptimas, brindando certeza de la facturación, tanto a nuestros clientes como a la empresa. Estos programas rutinarios se realizan año con año. Continuamos trabajando en modernizar la infraestructura con la que prestamos nuestros servicios, en particular la modernización de la medición con nuevas tecnologías disponibles en el mercado, de acuerdo con las mejores prácticas observadas en la industria, esto también contribuirá al objetivo de reducción de pérdidas de energía, además de reducir costos operativos para la empresa y, finalmente, brindar un mejor y renovado servicio a nuestros clientes. La División ha pasado de niveles de pérdidas superiores al 34.97% en 2010, a un 18.72 % a septiembre del 2015.



**IIE:** *¿Qué impacto ha tenido en la DVMC el proyecto de modernización para la medición automática de energía en la zona Polanco?*

**FOFP:** Este proyecto ha contribuido a incrementar la eficiencia en el proceso de facturación y cobranza de la agencia comercial en la que se desplegó y con ello nos ha permitido, en la propia División, la reducción de las pérdidas de energía y cartera vencida, así como ofrecer un mejor servicio en algunas actividades de la empresa. También ha servido como referencia para el despliegue de nuevas zonas con infraestructura avanzada de medición. Actualmente este polígono presenta pérdidas de energía del 4.09% al primer trimestre de este año.

**IIE:** *¿Cuáles son las estrategias a mediano y largo plazo de la DVMC para continuar con la reducción de pérdidas?*

**FOFP:** Continuamos trabajando para la optimización de nuestras redes de distribución para la reducción de pérdidas técnicas y también trabajamos en el fortalecimiento del proceso comercial, regularización y crecimiento de clientes, así como la modernización de la infraestructura de la medición de la División y seguimos realizando los programas de verificación de servicios a nuestros clientes. Actualmente contamos con proyectos de modernización de la medición por más de medio millón de medidores en diferentes etapas de implementación o autorización.



**IIE:** *¿Cuáles fueron los principales beneficios que se obtuvieron con la evaluación Ex post del proyecto de infraestructura avanzada de medición en la zona Polanco?*

**FOFP:** Nos permitió contar con una evaluación amplia que cumple con la metodología de evaluación establecida por nuestras autoridades, que además nos dio certeza de los beneficios obtenidos con el despliegue en Polanco, el cumplimiento con los objetivos iniciales del proyecto, así como las áreas de oportunidad observadas desde la posición de un tercero.

**IIE:** *¿Cómo considera que el IIE ha impactado y puede contribuir en el futuro inmediato con la DVMC, en su estrategia para la reducción de pérdidas?*

**FOFP:** Hemos venido trabajando con el Instituto prácticamente desde el arranque de operaciones de la División, generalmente adecuando o generando herramientas de análisis que nos permiten contar con mejor información para la toma de decisiones, además de la referida evaluación. Todos saben del proceso de cambio en la que se encuentra la empresa, nuestra División en particular, para alcanzar la competitividad y rentabilidad necesaria de acuerdo a la nueva legislación, en ese sentido vemos al IIE como un socio muy importante, por sus capacidades tecnológicas, de conocimiento, flexibilidad y habilidades prácticas para desplegar proyectos que nos permitan avanzar más rápido en nuestros objetivos de reducción de pérdidas de energía eléctrica.





## Evaluación ex post de proyectos de inversión para reducción de pérdidas de energía

José Conrado Velázquez Hernández  
[jconrado@iie.org.mx]

En el marco de la Gestión para Resultados (GPR) se implantó, en la Administración Pública Federal, el Presupuesto Basado en Resultados (PBR), que mejora la eficiencia, eficacia y calidad del gasto público para fortalecer el Sistema de Inversión Pública (SIP) y uso eficiente de los recursos públicos, procurando la alineación entre la planeación, programación, presupuesto, ejercicio, seguimiento y la evaluación del gasto público.

El Sistema de Evaluación del Desempeño (SED) permite monitorear, evaluar y dar seguimiento a las políticas públicas y los programas presupuestarios a través del seguimiento y verificación del cumplimiento de metas y objetivos con base en indicadores estratégicos y de gestión, con el objetivo de mejorar los resultados de los mismos.

Con base en el PBR-SED se desarrolló una metodología para fortalecer el ciclo de inversiones para promover el uso eficaz de los recursos públicos en programas y proyectos de inversión, la cual contempla siete puntos: la planeación estratégica de la inversión, el análisis y evaluación, la priorización, la presupuestación, el seguimiento a la ejecución y la *evaluación ex post*.

### Evaluación de resultados

La Gerencia de Ingeniería de Servicio al Cliente de la Coordinación Comercial de la Subdirección de Distribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) solicitó en 2014, al Instituto de Investigaciones Eléctricas, realizar la evaluación ex post para dos proyectos de inversión

de sistemas piloto de Infraestructura Avanzada de Medición en las zonas de distribución de Acapulco y Polanco.

Esta evaluación compara los resultados planeados con los alcanzados, con la finalidad de analizar las desviaciones entre ambos, generando un aprendizaje y mejora continua de los Programas y Proyectos de Inversión (PPI) similares. Además es un requerimiento de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) cuando otorga recursos públicos para un PPI.

La importancia de la evaluación de los resultados obtenidos de estos proyectos, encaminados a la reducción de pérdidas de energía, radica en determinar el cumplimiento de los beneficios planteados para conocer su



rentabilidad, el retorno de la inversión y generación de experiencia para nuevas solicitudes de recursos para PPI similares de mayor cobertura.

## La solución

Empleando la metodología para la evaluación de programas de inversión de adquisiciones y mantenimiento SHCP, se realizaron las **evaluaciones ex post** de los proyectos AMI Polanco y Acapulco. Se realizó la recopilación de los resultados observados:

**Montos de inversión y gastos anuales:** Son todos los gastos e inversiones del proyecto e incluye personal, materiales y gastos relacionados con la ejecución por año.

**Costos y beneficios:** Se cuantifican todos los costos y beneficios del proyecto que fueron planteados en el análisis costo beneficio. Se pueden descubrir beneficios que no fueron considerados al inicio del proyecto.

**Costos y beneficios intangibles:** Son aquéllos que no se pueden cuantificar, pero que impactan a la percepción de los usuarios.

**Indicadores de rentabilidad:** Son indicadores financieros que describen el comportamiento del proyecto.

También se consideran otros datos operativos y técnicos, como el tiempo de ejecución del proyecto, costo total, las fuentes de financiamiento empleadas, la capacidad instalada, la demanda y los riesgos detectados para completar la evaluación.

Finalmente se comparan los resultados con el ex-ante o el análisis costo

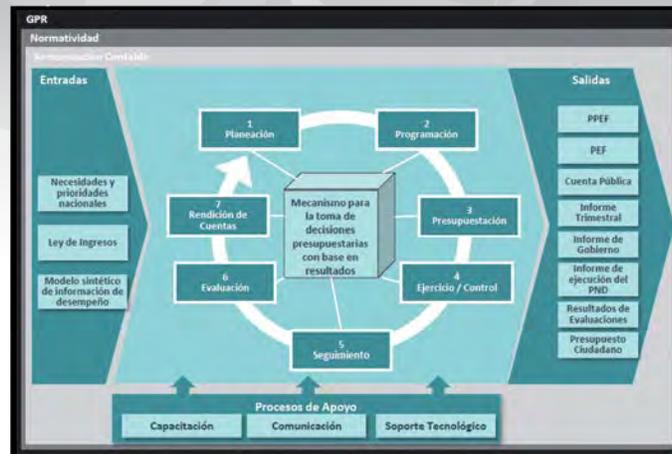


Figura 1. Proceso del PBR-SED.

beneficio que fue presentado para la solicitud de los recursos financieros y se presentan los resultados en un informe.

## Beneficios

Los resultados de la evaluación ex post le permitieron al cliente contar con una evaluación amplia y objetiva, que cumple con la metodología de evaluación establecida por la SHCP, generando certeza de los beneficios obtenidos con el despliegue en Acapulco y Polanco, verificando el cumplimiento con los objetivos iniciales del proyecto, así como las áreas de oportunidad observadas desde la posición de un tercero independiente.

Una vez revisada y concluida la evaluación, se cuenta con información suficiente para evaluar, con base en los resultados y su justificación, si un programa o proyecto de inversión fue adecuadamente planeado y ejecutado. Los resultados entregados podrán ser publicados en el sitio de internet de la SHCP, considerando la normatividad aplicable.

## Valor agregado

La evaluación de los proyectos requiere de la integración de grupos multidisciplinarios de especialistas, desde expertos en finanzas, especialistas en cálculo de perdidas técnicas y no técnicas, hasta expertos en Infraestructura Avanzada de Medición. El enfoque integral de evaluación permitió descubrir beneficios no considerados y generar una serie de recomendaciones técnicas y financieras para los proyectos evaluados.



## Simuladores de redes eléctricas para prueba de equipos en una Red Eléctrica Inteligente

Guillermo Romero Jiménez  
[gromero@iie.org.mx]

Una de las tendencias mundiales en el sector eléctrico es contar con infraestructura de alto nivel tecnológico que permita emular las funcionalidades de las redes y sistemas eléctricos de distribución (SED) para apoyar la transición a la estructura de Redes Eléctricas Inteligentes (REI).

Una REI o *smart grid* como se le conoce en el ámbito internacional, se refiere a una visión estratégica tecnológica para la modernización de los sistemas de suministro de energía eléctrica, incluyendo el monitoreo, la protección y optimización automática de la operación de los elementos interconectados: desde los grandes centros de generación, a generación distribuida, líneas de transmisión y sistemas de distribución, a los usuarios industriales, sistemas de almacenamiento de energía, consumidores finales y sus sistemas de calefacción, vehículos eléctricos, electrodomésticos y otros dispositivos del hogar.

Una REI se caracteriza por un flujo bidireccional de electricidad e información para crear una amplia red automatizada de suministro de energía eléctrica. Se incorporan en la red los beneficios del cómputo distribuido, así como las comunicaciones, para entregar información en tiempo real y permitir el balance casi instantáneo de la oferta y la demanda a nivel de dispositivos.

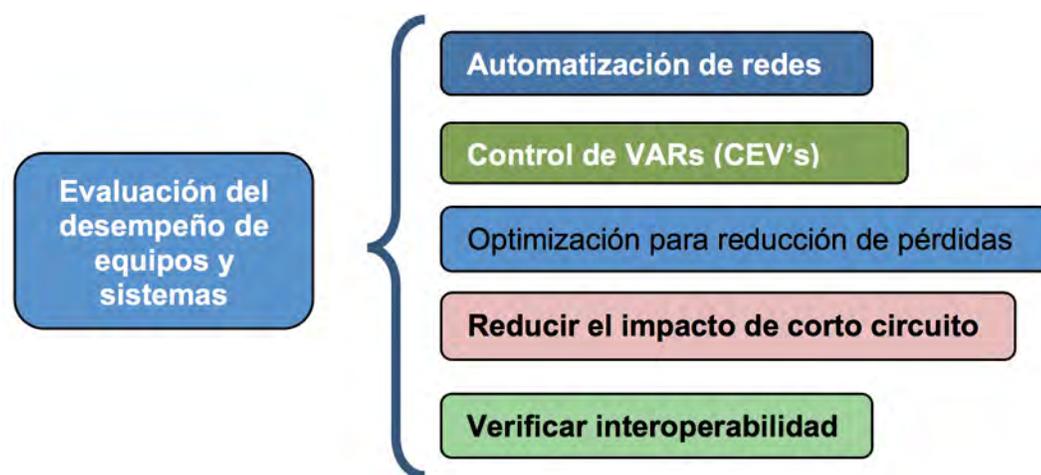
En el contexto de las REI, un Simulador de Sistemas de Distribución puede apoyar a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) a la implementación de la visión y la estrategia de una red eléctrica de distribución más eficiente, segura y confiable, para obtener como resultado un alto impacto o beneficio en áreas tan importantes como calidad de la energía, mejora en el tiempo de respuesta a fallas o tiempo de interrupción al usuario (TIU), detección y reparación automática de fallas, integrar generación distribuida y almacenamiento, lo que a su vez trae como

resultado incentivar la generación con fuentes de energía más limpias y dispositivos de consumo más eficientes para lograr un desarrollo sustentable, como apoyo en la mitigación del impacto ambiental.

Así, el Laboratorio de Pruebas, Equipos y Materiales (LAPEM) tiene en perspectiva el desarrollo de un simulador de sistemas eléctricos utilizando una plataforma abierta con capacidad de simulación de señales digitales y analógicas, para probar en tiempo real el desempeño de equipo y dispositivos en el contexto de las REI. Con el desarrollo de este simulador en un entorno de laboratorio



diseñado para realizar pruebas normalizadas se podrán reproducir fallas y condiciones que difícilmente se pueden reproducir en condiciones reales. El objetivo de este simulador es probar sistemas (por ejemplo, configuraciones de control, de interoperabilidad, de protecciones interactuando con los equipos reales asociados) para la REI, emulando las condiciones de campo. Este simulador para prueba de desempeño de dispositivos de REI deberá al menos incluir:



Adicionalmente se tendría la capacidad de probar el desempeño de los dispositivos involucrados en los siguientes sistemas:

Evaluación del impacto por:

- Integración de recursos energéticos distribuidos
- Carga de vehículos eléctricos (rápida y lenta)
- Vehículos eléctricos a la red (V2G)

Generación distribuida, restablecimiento automático en caso de fallas (FLIR), evaluación de la confiabilidad operativa, protección adaptiva (AP), control de voltaje y reactivos (VVC), monitoreo de calidad de la energía, administración de la energía en el hogar, comunicaciones en el hogar, almacenamiento de energía, respuesta a la demanda, seguridad cibernética.

## Ventajas y beneficios de contar con un simulador para prueba de equipos y dispositivos de REI

Entre las ventajas y beneficios que se obtienen con el desarrollo de un simulador para prueba de desempeño de dispositivos y equipos involucrados en las REI se pueden mencionar los siguientes:

Se contaría con una plataforma abierta, propietaria de CFE-IIE, con funcionalidades de pruebas y certificación (estándares) de dispositivos de REI. Otra característica de la plataforma es que sería modular, flexible y expandible a REI con dispositivos del contexto de transmisión y finalmente una mayor disponibilidad para el número de dispositivos y/o usuarios.

Los beneficios económicos que se obtendrán son:

- Mejora en el TIU (Tiempo de Interrupción por Usuario). Derivado de mejores esquemas de automatización y a través de la disponibilidad de equipos probados y certificados.

- Reducción en los tiempos requeridos para implementar proyectos de generación distribuida.
- Reducción en los plazos para prueba de equipo de protección, control y medición.
- Mejora en la calidad de la energía ofrecida a los usuarios
- Confiabilidad en el desempeño de equipos y sistemas de REI.
- Adopción de nuevas tecnologías.
- Dominio del concepto integral de redes inteligentes.
- Disminución de accidentes del personal y reducción de daños a herramientas y equipos de trabajo.
- Aumento de personal capacitado.
- Registrar eventos relacionados con el uso de la energía y la detección de fraudes.
- Obtener las mediciones y registros del medidor en forma remota.
- Contar con comunicación bidireccional entre los medidores y el centro de control de la empresa.
- Efectuar de forma remota, cuando se requiera, la conexión/desconexión del suministro.

## Emuladores para prueba de equipo y dispositivos de REI, etapa I, prueba de Sistemas AMI

Ante el tamaño que pudiera tener un simulador integral para prueba de dispositivos y equipos de REI, la CFE considera pertinente iniciar con el desarrollo de un simulador para prueba de Sistemas de Infraestructura de Medición Avanzada o AMI (*Advanced Measurement Infrastructure*). Como la sección 4.47 de la especificación CFE GWH00-09 menciona las siguientes funciones mínimas de un sistema AMI:

- Medir los parámetros de la energía eléctrica para fines de facturación y/o análisis.

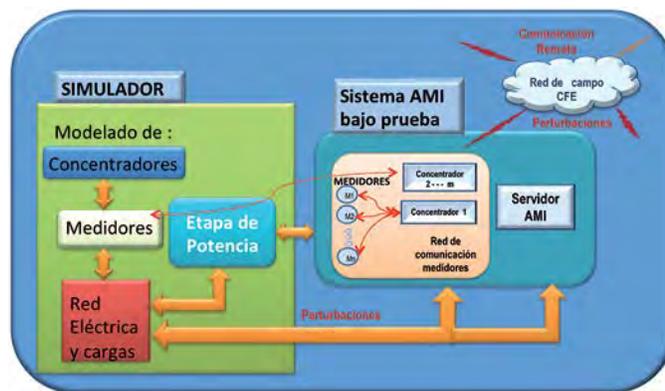


Figura 1. Arquitectura conceptual del simulador para prueba de sistemas AMI.

La propuesta del IIE para el desarrollo del simulador para pruebas de sistemas AMI se muestra en la figura 1.

En la figura de la propuesta conceptual se presenta la arquitectura sugerida del prototipo de simulador para prueba de funcionalidades y desempeños de sistemas AMI comercial. El sistema AMI comercial bajo prueba sólo incluye una parte de los medidores, concentradores, enlaces de comunicación y un servidor con el *software* de gestión. El simulador contendrá modelos matemáticos de: una red eléctrica, cargas eléctricas, fuentes distribuidas, medidores, concentradores, enlaces de comunicación, perturbaciones eléctricas y perturbaciones en comunicaciones. Además el simulador contendrá una etapa de potencia que tomará las señales simuladas de corriente y de voltaje en un punto de la red eléctrica modelada para enlazar con los medidores reales.



El propósito del simulador es la validación de funcionalidades de sistemas AMI comerciales y sólo se usará para pruebas funcionales posteriores a las pruebas prototipo que se realizan en los laboratorios del LAPEM. Debido a que cada fabricante es propietario de sus protocolos de comunicación, se acordará con la CFE un protocolo de comunicación común para realizar las pruebas con el simulador al cual tendrán que ajustarse los fabricantes de sistemas integrales AMI comerciales.

Si el LAPEM cuenta con un tipo de simulador como el que se está planteando en este proyecto, estaría además en condiciones de validar y hasta poder certificar los sistemas AMI comerciales, garantizando que los sistemas reales que se vayan a instalar en las diferentes zonas de distribución cumplan con los requerimientos mínimos de funcionalidad, para adelantarse a problemáticas reales al momento de iniciar su puesta en servicio.

Actualmente se están licitando e instalando los sistemas AMI comerciales de diferentes proveedores y marcas, y varios de ellos están presentando problemáticas, principalmente relacionadas con las comunicaciones. De esta forma, contar con un banco de pruebas, como en todos los contextos de la ingeniería, permite recrear o emular las condiciones que permitan precisamente probar, validar y certificar los sistemas, sin necesidad de esperar las pruebas en sitio y anticipándose para sugerir a los proveedores comerciales de sistemas AMI que corrijan, modifiquen o rediseñen sus sistemas, para garantizar tanto a los usuarios como a la CFE, un adecuado y pertinente esquema de suministro y de generación de información de consumos, facturación, prepago y predespacho, entre otras funcionalidades.

## Conclusiones

Se han tenido interacciones con la Subdirección de Distribución, la Gerencia de Ingeniería y Servicio al Cliente y el LAPEM de la CFE, en donde se ha manifestado un gran interés por este tipo de herramientas: los simuladores y emuladores para prueba de equipo y dispositivos que forman parte de las Redes Eléctricas Inteligentes, y la iniciación del proyecto por parte del IIE es inminente. Se comenzará con la elaboración de la especificación del simulador para prueba de sistemas AMI, tomando en cuenta una arquitectura modular para ir incorporando otras funcionalidades y esquemas afines, como el simulador para entrenamiento de operadores y analistas de los cuartos de control de distribución (CCD).

# Sistema Integral de Gestión de Activos de Generación para enfrentar los retos de la reforma energética

*Isaac Alberto Parra Ramírez [iaparra@iie.org.mx],  
Sergio Aranda Ávila [aranda@iie.org.mx],  
Andrés F. Rodríguez Martínez [afrm@iie.org.mx],  
Salvador Carlos de Lara Jaime [sdelara@iie.org.mx]  
y José Israel Chávez Estrada [ichavez@iie.org.mx]*

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) y las compañías de generación de energía están sujetas a aumentar la calidad, la seguridad y cumplir con las restricciones ambientales que, en un escenario altamente competitivo, lleve a la maximización de la confiabilidad y disponibilidad de los activos, eficiencia y flexibilidad, al mismo tiempo que los costos de operación y mantenimiento se reduzcan.

La gestión integrada del ciclo de vida de activos es un importante contribuyente a la mejora del retorno de la inversión y a la maximización de la rentabilidad de las empresas.

Para ello, los datos técnicos y financieros se combinan con los datos de información de diseño de la instalación, programación y operación, para sistematizar la información disponible, analizarla de forma automática y optimizar los procesos de toma de decisiones relacionadas con la inversión de activos, operación, mantenimiento y opciones de reemplazo.

Gestión de activos es un proceso de negocio, con un empleo intensivo de datos que requieren definiciones de procedimientos y la aplicación de herramientas para recopilar, administrar, analizar y compartir la información que, como resultado, se convierta en una parte fundamental integrada a los procesos clave de producción en la organización.

Actualmente, la CFE cuenta con algunos procesos y sistemas que le permiten manejar algunos aspectos de la Gestión de Activos, como son:

- El módulo PM del SAP que se usa para gestionar los inventarios de los equipos, administrar las órdenes de mantenimiento y dar seguimiento a los programas de mantenimiento,
- Procedimientos documentados para la ejecución de los diferentes procesos involucrados.

Sin embargo es necesario contar con un enfoque integral basado en el estándar internacional ISO-55000, que permita dirigir y encauzar las directrices y los esfuerzos de la mejor manera, aplicando las mejores prácticas en la gestión de activos en la organización.



La gestión integrada del ciclo de vida de activos es un importante contribuyente a la mejora del retorno de la inversión y a la maximización de la rentabilidad de la empresa.

## Gestión de activos basado en el estándar ISO-55000

La gestión de activos es importante porque:

- Es un tema de interés mundial sobre el que se han definido estándares internacionales que se utilizan como marcos de referencia, tales como la especificación del PAS 55 y recientemente el ISO-55000.
- Es uno de los ocho dominios para el modelo de madurez de redes eléctricas inteligentes que propone la Universidad de Carnegie Mellon en Estados Unidos, el cual se ha convertido en una referencia mundial para las industrias de la energía eléctrica.
- Es un proyecto estratégico de la CFE para lograr la transformación de la red eléctrica de potencia actual, a una Red Eléctrica Inteligente.

Con el objetivo de satisfacer las necesidades y asumir los retos de la reforma energética, con el conocimiento del negocio y de la tecnología, el IIE propone desarrollar un sistema integral de gestión de activos que incluya:

Integración y gestión de datos, monitoreo, supervisión, análisis y diagnóstico de las condiciones de los activos, gestión del rendimiento de los activos, e integración de los sistemas de información existentes.

## Conclusiones

Se han tenido interacciones con la Subdirección de Generación de la CFE, en donde han manifestado un gran interés por la aplicación de gestión de activos como lo propone el estándar ISO-55000. Es de interés para la CFE, ya que la gestión de activos ha sido un instrumento a nivel mundial para:

- Lograr la operación óptima de los activos, con la mejor relación costo beneficio, buscando para el activo su menor riesgo, menor costo y su mejor desempeño.
- Tener un mejor conocimiento de las condiciones de los equipos críticos y de soporte.
- Reducir el índice de fallas en equipos críticos,
- Alargar la vida útil de los equipos y
- Ahorrar al aplicar las estrategias de mantenimiento más adecuadas, logrando con ello una mayor disponibilidad y un aumento en las utilidades de las empresas. El contar con un Sistema Integral de Gestión de Activos de Generación (SIGA) le permitirá a la CFE alcanzar mayores niveles de eficacia, eficiencia, así como responder adecuadamente a las exigencias del mercado eléctrico nacional.



Gestión de activos basado en el estándar ISO-55000.



# Arquitectura empresarial para la implantación de gestión de activos

Andrés F. Rodríguez Martínez  
[afrm@iie.org.mx]

La **gestión de activos** es definida por el estándar ISO 55000 como un conjunto de actividades coordinadas que debe realizar una organización, para crear valor de sus activos. La creación de valor normalmente involucra un equilibrio de costos, riesgos, oportunidades y beneficios de desempeño, y se logra haciendo que el activo cumpla con el objetivo para lo que fue adquirido el mayor tiempo posible, al menor costo y con el mínimo de riesgos.

Para una organización, el crear valor de sus activos implica contar con las capacidades requeridas por la gestión de activos, la cual debe estar alineada con la gestión estratégica y capacidades requeridas por otros sistemas de gestión como la gestión de riesgos, la gestión del conocimiento y los sistemas de gestión del ciclo de vida de un activo. La organización debe contar con todas estas capacidades para poder integrar los diferentes sistemas de gestión, tal como lo muestra el modelo de gestión de activos ISO 55000 en la figura 1.

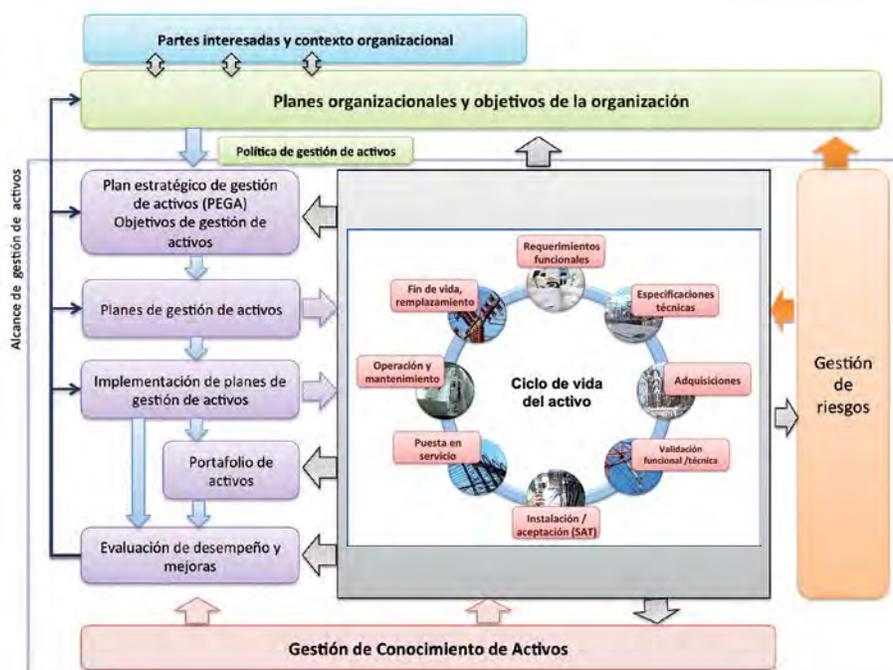


Figura 1. Modelo de gestión de activos ISO 55000.



Por lo general, para una organización la integración de sus sistemas de gestión es una actividad compleja que requiere de modelos y/o herramientas que le ayuden en el proceso de transición, para llevarla de su estado actual a un estado deseado de gestión de activos, e ir creando el valor establecido de los mismos.

Una **arquitectura empresarial (AE)**, es un modelo y/o herramienta que ayuda a una organización, de una manera más ordenada, en su proceso de transición para implantar gestión de activos y cualquier otro sistema de gestión; es un marco compuesto de un conjunto de capas que describen, a través de modelos, la **arquitectura de negocio** (estrategias, capacidades y procesos) de la empresa y la **arquitectura de tecnologías de la información y comunicaciones** (sistemas y tecnologías) que lo soportan.

La construcción de una arquitectura empresarial permite, por una parte, establecer con qué capacidades, procesos de negocio, activos de información y

estructura organizacional cuenta la organización y por otra, permite describir los sistemas de información e infraestructura tecnológica con que cuenta la organización, además de conocer la alineación que éstos (sistemas de información y tecnología) tienen con el negocio.

La AE de una organización se debe construir en su estado actual, donde se determina cómo está la organización realmente en cada una de las capas de la arquitectura y en un estado deseado, donde se define para cada capa de la arquitectura, qué se requiere en la organización para cumplir con una nueva misión. Contar con los dos estados permite construir planes de transformación para que la organización logre los objetivos de la nueva misión.

Un ejemplo de una arquitectura empresarial en sus dos estados se muestra en la figura 2, la cual es el resultado de proyecto P-00213TRAN: “Arquitectura de Gestión de Activos / CEMODAT y Fuerza de Trabajo para la Subdirección de Transmisión”, que la Dirección de Tecnologías Habilitadoras del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) realizó para la Subdirección de Transmisión (SDT) en 2014.

Apoyarse en la AE facilita a una empresa el proceso de transición que debe realizar para lograr una nueva misión. Implantar la gestión de activos es una nueva misión que las empresas están realizando para crear valor en sus activos.

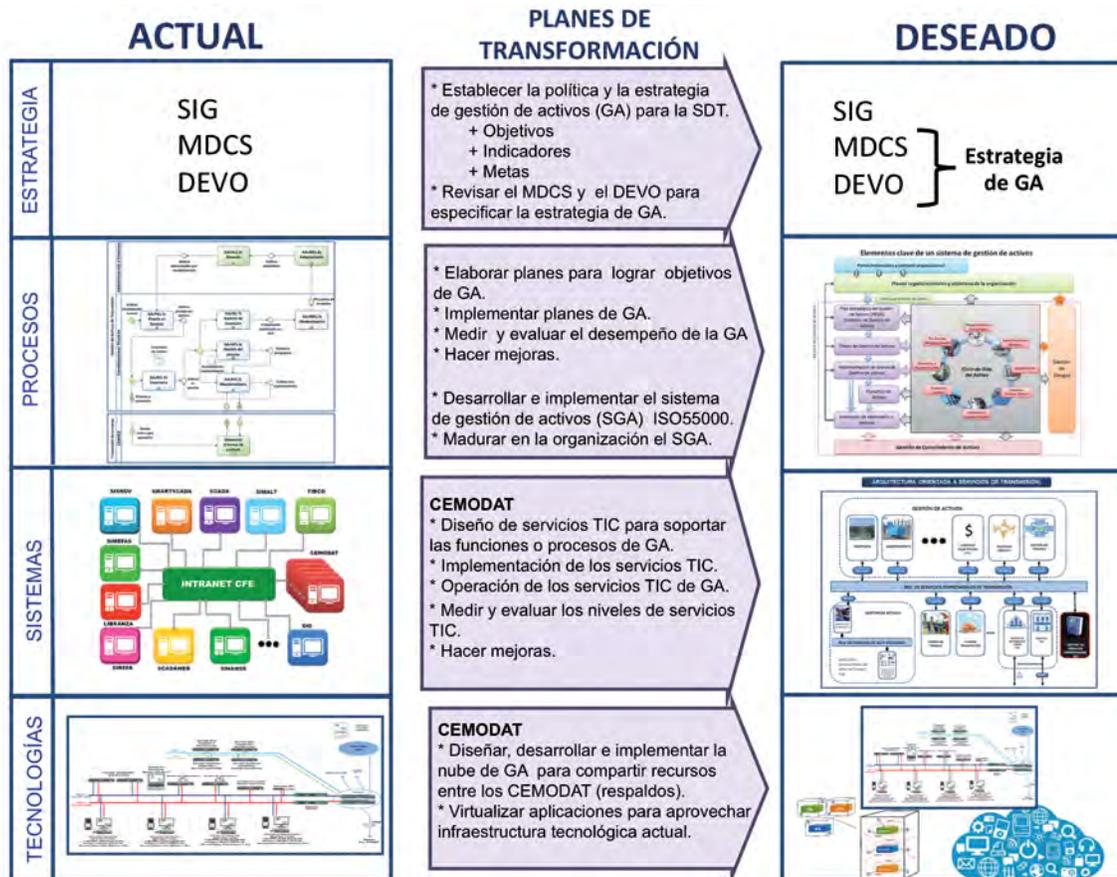
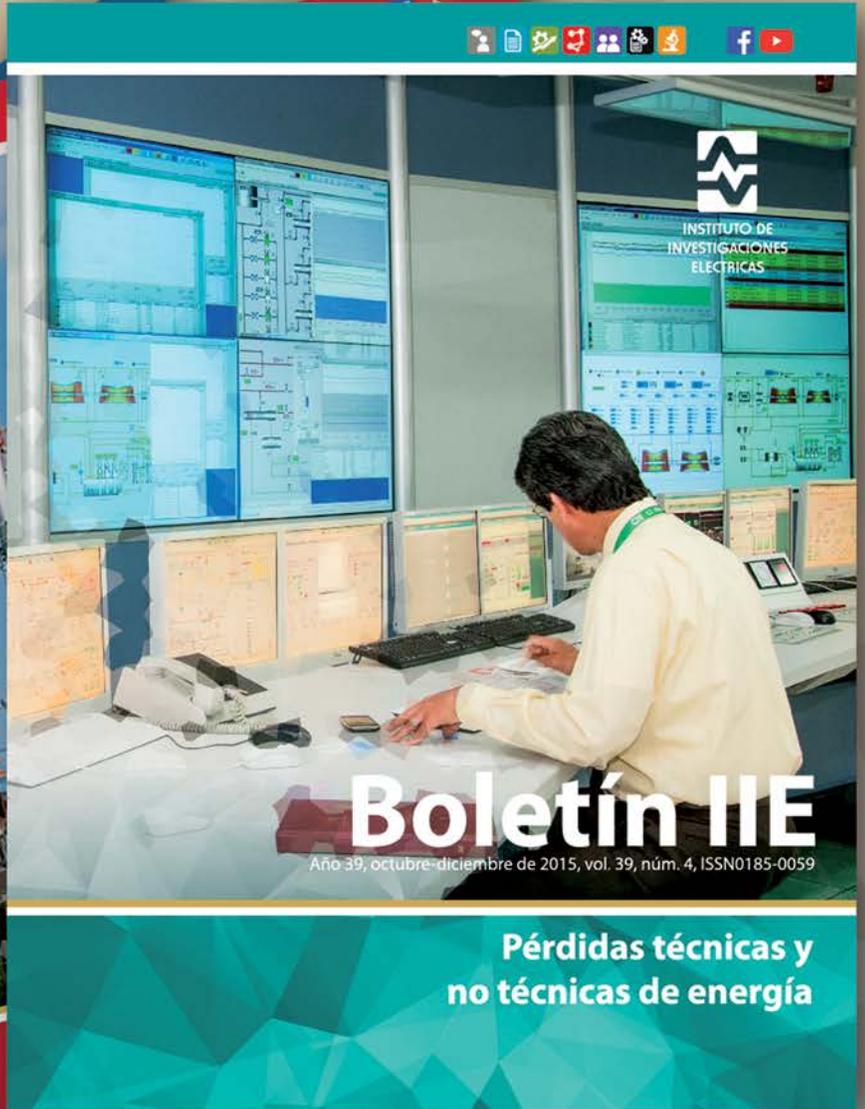


Figura 2. Arquitectura empresarial, actual y deseada, de la Subdirección de Transmisión de la CFE.



**Pérdidas técnicas y  
no técnicas de energía**

# Reseña Anual 2015

## Índice por tema

### Energías renovables: una alternativa viable para México

**Aprovechamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) /  
Use of municipal solid waste (MSW)**  
Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 73-79.  
*César Alfredo Romo Millares.*

**La biomasa en la transición energética de México /  
Biomass in Mexico's energy transition**  
Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 56-63.  
*Jorge Maximilano Huacuz Villamar.*

**Potential assessment in Mexico for solar process heat  
applications in food and textile industries / Evaluación  
del potencial para aplicaciones de calor de proceso en  
industrias de alimentos y textiles en México**  
Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 98-104.  
*Carlos Ramos Berumen, Juan Rafael Ramírez Benítez  
y José Beltrán Adán.*

**Producción de biogás con nopal / Biogas production  
with nopal**  
Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 64-72.  
*José Luis Arvizu Fernández.*

**Producción de gas de síntesis (gasificación de bambú) /  
Production of synthesis gas (gasification of bamboo)**  
Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 80-91.  
*Hipólito Romero Tehuitzil.*



## Generadores eléctricos: diagnóstico y monitoreo para mejora de la confiabilidad y disponibilidad



### **Computer Assisted Detection of Interturn Short-Circuits in Rotor Windings / Asistencia computarizada para la detección de cortocircuitos en devanados de rotores**

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 46-52.  
*José Tomás Ramírez Niño y Alberth Pascacio de los Santos.*

### **Diagnóstico de generadores de potencia a través del Sistema de Monitoreo en línea AnGeL / Diagnosis of power generators through Online Monitoring System AnGeL**

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 4-16.  
*Ignacio Roberto Campuzano, H. Octavio de la Torre Vega, Jaime Carrillo Corona y Eduardo Reyer Aguas.*

### **Evaluación de la eficiencia energética de generadores en plantas hidroeléctricas: Casos de estudio / Efficiency Assessment of Hydroelectric Power Plants Generators: Case Studies**

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 17-25.  
*Francisco Antonio Carvajal Martínez y Rosario Esther González del Castillo.*

### **Experiencias en el diagnóstico de cortocircuitos en el devanado de rotores en generadores de potencia usando bobinas exploradoras / Experience in diagnosing short circuits in the rotor winding in power generators using search coils**

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 26-35.  
*Jaime Carrillo Corona, H. Octavio de la Torre Vega, Ignacio Roberto Campuzano Martínez, Salvador Adrián Torres Montes de Oca y José Tomás Ramírez Niño.*

## Soluciones para la sustentabilidad

### **Entrenamiento con métodos sistemáticos y centros integrales en la industria de procesos / *Systematic methods training and comprehensive centers in the process industry***

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 118-131.

*Edgardo Javier Roldán Villasana, José Antonio Tavira Mondragón y Guillermo Romero Jiménez.*

### **Generación eléctrica y almacenamiento de energía en transporte eléctrico / *Power generation and energy storage in electric transport***

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 108-117.

*Ulises Cano Castillo, Félix Loyola Morales, Javier de la Cruz Soto, José Roberto Flores Hernández, Irma Lorena Albarrán Sánchez, Manuel de Jesús López Pérez, Tatiana Romero Castañón y Jorge Avilés Fano.*

### **Medición de variables para la certificación de plantas de cogeneración como cogenerador eficiente / *Measuring variables for certification of cogeneration plants as efficient cogeneration***

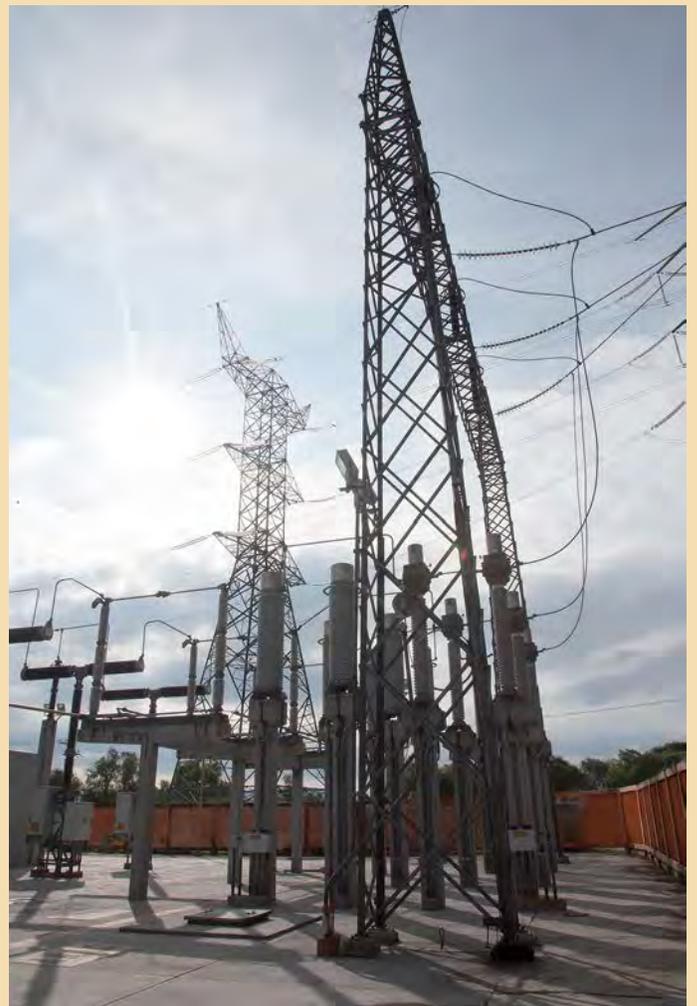
Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 132-137.

*Gaudencio Ramos Niembro.*

### **Reliability of power electric systems in Pemex Refining: experiences and realities / *La confiabilidad de los sistemas eléctricos en Pemex Refinación: experiencias y realidades***

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 150-164.

*Luis Iván Ruiz Flores y Francisco Cuauhtémoc Poujol Galván.*



## Tecnologías Habilitadoras



**Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas / *Deployment of Advanced Metering Infrastructure (AMI) for power distribution losses reduction***

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 180-191.

*José Martín Gómez López, Roberto Castán Luna, Julio César Montero Cervantes, Javier Meneses Ruiz y Joaquín García Hernández*

**Beneficios del Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución / *Benefits of the on-line simulator for distribution control centers***

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 168-179.

*Alfredo Espinosa Reza, Rafael López Montejo, Alejandro Razo Miranda, Manuel Romero Castellanos, Héctor Aguilar Valenzuela y José Luis García Urresti*

**Modelo para detectar y prevenir pérdidas no técnicas en sistemas de distribución eléctrica con base en técnicas de minería de datos y redes bayesianas / *Model for detecting and preventing non-technical losses in power distribution systems based on data mining techniques and Bayesian networks***

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 192-199.

*María Yasmín Hernández Pérez, Gustavo Arroyo Figueroa, Martín Santos Domínguez, Guillermo Rodríguez Ortiz e Hilda Escobedo Hernández*

## Breves Técnicas

**Arquitectura empresarial para la implantación de gestión de activos / *Enterprise architecture to implement the asset management***

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 222-223.

*Andrés F. Rodríguez Martínez.*

**Desarrollo de equipos para el diagnóstico de generadores eléctricos / *Development of equipment for diagnosing generators***

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 40-41.

*Óscar Alfonso Reyes Martínez y Óscar Escorsa Morales.*

**Desarrollo de un simulador económico de granjas solares urbanas para la CFE / *Development of an urban solar farms economic simulator for CFE***

Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 92-93.

*Humberto Rubén Becerra López y M. Consolación Medrano Vaca.*

**Diagnóstico de motores de gran capacidad en sitio / *On-site diagnostic of high capacity induction motors***

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 42-45.

*Rosario Esther González del Castillo.*

**Evaluación del recurso eólico en el Istmo de Tehuantepec / *Wind resource assessment in the Tehuantepec Isthmus***

Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 90-91.

*Ubaldo Miranda Miranda y Ramón Lira Argüello.*

**Evaluación ex post de proyectos de inversión para reducción de pérdidas de energía / *Ex post evaluation of investment projects for reducing energy losses***

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 214-215.

*José Conrado Velázquez Hernández.*

**Monitoreo remoto de aplicaciones vía satélite / *Remote monitoring of satellite applications***

Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 94-95.

*Javier Lagunas Mendoza, Raúl Ángel Leal Hernández y Esmeralda Pita Jiménez.*

**Proyecto llave en mano: Desarrollo de experiencias interactivas para la nueva sala de física del Museo Tecnológico de la CFE / *Turnkey project: Development of interactive experiences for the new physics room at the CFE Technological Museum***

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 148-149.

*Andrés Ayala García.*

**Proyecto planta deshidratadora de Chile en el estado de Zacatecas. Integración de colectores de canal parabólico / *Chile dehydration plant project in the state of Zacatecas. Integration of parabolic trough collectors***

Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 96-97.

*Carlos Ramos Berumen, Juan Rafael Ramírez Benítez, José Beltrán Adán, Octavio García e Issac Pilatowsky.*

**Simuladores de unidades de generación eléctrica accesibles vía web / *Simulation of power generation units accessible via the web***

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 144-147

*Ana Karenina Vázquez Barragán, José Alfonso Vergara del Canto, Mayolo Salinas Camacho y José Antonio Tavira Mondragón.*

**Simuladores de redes eléctricas para prueba de equipos en una Red Eléctrica Inteligente / *Electrical networks simulators to test equipment in a Smart Grid***

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 216-219.

*Guillermo Romero Jiménez.*

**Sistema Integral de Gestión de Activos de Generación para enfrentar los retos de la reforma energética / *Integral System for Asset Management Generation to meet the challenges of the energy reform***

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 220-221.

*Isaac Alberto Parra Ramírez, Sergio Aranda Ávila, Andrés F. Rodríguez Martínez, Salvador Carlos de Lara Jaime y José Israel Chávez Estrada.*

## Índice por autor

- A**
- Albarrán Sánchez Irma Lorena**  
Gerencia de Energías No Convencionales  
**Generación eléctrica y almacenamiento de energía en transporte eléctrico**  
Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 108-117.
- Arroyo Figueroa Gustavo**  
Gerencia de Tecnologías de la Información  
**Modelo para detectar y prevenir pérdidas no técnicas en sistemas de distribución eléctrica con base en técnicas de minería de datos y redes bayesianas**  
Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 192-199.
- Arvizu Fernández José Luis**  
Gerencia de Energías Renovables  
**Producción de biogás con nopal**  
Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 64-72.
- Avilés Fano Jorge**  
Gerencia de Energías No Convencionales  
**Generación eléctrica y almacenamiento de energía en transporte eléctrico**  
Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 108-117.
- B**
- Beltrán Adán José**  
Gerencia de Energías Renovables  
**Potential assessment in Mexico for solar process heat applications in food and textile industries**  
Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 98-104.
- C**
- Campuzano Martínez Ignacio Roberto**  
Gerencia de Equipos Eléctricos  
• **Experiencias en el diagnóstico de cortocircuitos en el devanado de rotores en generadores de potencia usando bobinas exploradoras**  
Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 26-35.
- **Diagnóstico de generadores de potencia a través del Sistema de Monitoreo en línea AnGeL**  
Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 4-16.
- Cano Castillo Ulises**  
Gerencia de Energías No Convencionales  
**Generación eléctrica y almacenamiento de energía en transporte eléctrico**  
Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 108-117.
- Carrillo Corona Jaime**  
Gerencia de Equipos Eléctricos  
• **Experiencias en el diagnóstico de cortocircuitos en el devanado de rotores en generadores de potencia usando bobinas exploradoras**  
Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 26-35.
- **Diagnóstico de generadores de potencia a través del Sistema de Monitoreo en línea AnGeL**  
Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 4-16.
- Carvajal Martínez Francisco Antonio**  
Gerencia de Equipos Eléctricos  
**Evaluación de la eficiencia energética de generadores en plantas hidroeléctricas: Casos de estudio**  
Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 17-25.
- Castán Luna Roberto**  
Gerencia de Control, Electrónica y Comunicaciones  
**Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas**  
Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 180-191.
- D**
- De la Cruz Soto Javier**  
Gerencia de Energías No Convencionales  
**Generación eléctrica y almacenamiento de energía en transporte eléctrico**  
Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 108-117.
- De la Torre Vega H. Octavio**  
Gerencia de Equipos Eléctricos  
• **Experiencias en el diagnóstico de cortocircuitos en el devanado de rotores en generadores de potencia usando bobinas exploradoras**  
Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 26-35.
- **Diagnóstico de generadores de potencia a través del Sistema de Monitoreo en línea AnGeL**  
Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 4-16.

**E**

**Escobedo Hernández Hilda**

Gerencia de Tecnologías de la Información

**Modelo para detectar y prevenir pérdidas no técnicas en sistemas de distribución eléctrica con base en técnicas de minería de datos y redes bayesianas**

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 192-199.

**Espinosa Reza Alfredo**

Gerencia de Gestión Integral de Procesos

**Beneficios del Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución**

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 168-179.

**F**

**Flores Hernández José Roberto**

Gerencia de Energías No Convencionales

**Generación eléctrica y almacenamiento de energía en transporte eléctrico**

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 108-117.

**G**

**García Hernández Joaquín**

Gerencia de Control, Electrónica y Comunicaciones

**Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas**

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 180-191.

**Gómez López José Martín**

Gerencia de Control, Electrónica y Comunicaciones

**Aplicación de tecnologías de**

**medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas**

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 180-191.

**González del Castillo Rosario Esther**

Gerencia de Equipos Eléctricos

**Evaluación de la eficiencia energética de generadores en plantas hidroeléctricas: Casos de estudio**

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 17-25.

**H**

**Hernández Pérez María Yasmín**

Gerencia de Tecnologías de la Información

**Modelo para detectar y prevenir pérdidas no técnicas en sistemas de distribución eléctrica con base en técnicas de minería de datos y redes bayesianas**

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 192-199.

**Huacuz Villamar Jorge Maximiliano**

Gerencia de Energías Renovables

**La biomasa en la transición energética de México**

Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 56-63.

**L**

**López Pérez Manuel de Jesús**

Gerencia de Energías No Convencionales

**Generación eléctrica y almacenamiento de energía en transporte eléctrico**

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 108-117.

**Loyola Morales Félix**

Gerencia de Energías No Convencionales

**Generación eléctrica y almacenamiento de energía en transporte eléctrico**

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 108-117.

**M**

**Meneses Ruiz Javier**

Gerencia de Control, Electrónica y Comunicaciones

**Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas**

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 180-191.

**Montero Cervantes Julio César**

Gerencia de Control, Electrónica y Comunicaciones

**Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas**

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 180-191.

**P**

**Pascacio de los Santos Alberth**

Gerencia de Equipos Eléctricos

**Computer Assisted Detection of Interturn Short-Circuits in Rotor Windings**

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 46-52.

**Poujol Galván Francisco Cuauhtémoc**

Gerencia de Gestión Integral de Procesos

**Reliability of power electric systems in Pemex Refining: experiences and realities**

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 150-164.

## R

**Ramírez Benítez Juan Rafael**

Gerencia de Energías Renovables

**Potential assessment in Mexico for solar process heat applications in food and textile industries**

Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 98-104.

**Ramírez Niño José Tomás**

Gerencia de Equipos Eléctricos

• **Computer Assisted Detection of Interturn Short-Circuits in Rotor Windings**

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 46-52.

• **Experiencias en el diagnóstico de cortocircuitos en el devanado de rotores en generadores de potencia usando bobinas exploradoras**

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 26-35.

**Ramos Berumen Carlos**

Gerencia de Energías Renovables

**Potential assessment in Mexico for solar process heat applications in food and textile industries**

Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 98-104.

**Ramos Niembro Gaudencio**

Gerencia de Turbomaquinaria

**Medición de variables para la certificación de plantas de cogeneración como cogenerador eficiente**

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 132-137.

**Rodríguez Ortiz Guillermo**

Gerencia de Tecnologías de la Información

**Modelo para detectar y prevenir pérdidas no técnicas en sistemas de distribución eléctrica con base en**

**técnicas de minería de datos y redes bayesianas**

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 192-199.

**Roldán Villasana Edgardo Javier**

Gerencia de Sistemas Avanzados de Capacitación y Simulación

**Entrenamiento con métodos sistemáticos y centros integrales en la industria de procesos**

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 118-131.

**Romero Castañón Tatiana**

Gerencia de Energías No Convencionales

**Generación eléctrica y almacenamiento de energía en transporte eléctrico**

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 108-117.

**Romero Jiménez Guillermo**

Gerencia de Sistemas Avanzados de Capacitación y Simulación

**Entrenamiento con métodos sistemáticos y centros integrales en la industria de procesos**

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 118-131.

**Romero Tehuitzil Hipólito**

Gerencia de Energías Renovables

**Producción de gas de síntesis (gasificación de bambú)**

Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 80-91.

**Romo Millares César Alfredo**

Gerencia de Energías Renovables

**Aprovechamiento de residuos sólidos urbanos (RSU)**

Boletín IIE, año 39, núm. 2, abril-junio de 2015, pp. 73-79.

**Ruiz Flores Luis Iván**

Gerencia de Equipos Eléctricos

**Reliability of power electric systems in Pemex Refining: experiences and realities**

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 150-164

## S

**Santos Domínguez Martín**

Gerencia de Tecnologías de la Información

**Modelo para detectar y prevenir pérdidas no técnicas en sistemas de distribución eléctrica con base en técnicas de minería de datos y redes bayesianas**

Boletín IIE, año 39, núm. 4, octubre-diciembre de 2015, pp. 192-199.

## T

**Tavira Mondragón José Antonio**

Gerencia de Sistemas Avanzados de Capacitación y Simulación

**Entrenamiento con métodos sistemáticos y centros integrales en la industria de procesos**

Boletín IIE, año 39, núm. 3, julio-septiembre de 2015, pp. 118-131.

**Torres Montes de Oca Adrián**

Gerencia de Equipos Eléctricos

**Experiencias en el diagnóstico de cortocircuitos en el devanado de rotores en generadores de potencia usando bobinas exploradoras**

Boletín IIE, año 39, núm. 1, enero-marzo de 2015, pp. 26-35.



Soluciones  
innovadoras  
en energía

Instituto de  
Investigaciones  
Eléctricas



**40 Aniversario**  
1 de diciembre de 2015  
**[iie.org.mx](http://iie.org.mx)**



Soluciones innovadoras en energía | Instituto de Investigaciones Eléctricas

Reforma 113,  
colonia Palmira,  
C.P. 62490,  
Cuernavaca, Morelos  
Tel: (777) 362 3811

[iie.org.mx](http://iie.org.mx)