

## Tendencias en automatización de la distribución

Lourdes Gallegos Grajales, Cuitláhuac Picasso Blanquel y José Martín Gómez López



El tema de la automatización de la distribución es una columna que debe soportar las Redes Eléctricas Inteligentes, considerando que la energía eléctrica adquiere mayor valor a través de la Generación Distribuida, por ejemplo, la energía eólica, solar, de biomasa, entre otras.

Actualmente las compañías eléctricas realizan esfuerzos para lograr mayor efectividad operativa en la automatización de la distribución (Kymura y Flynn, 2009). Entre las soluciones actuales, así como futuras, se consideran alternativas y métodos para establecer la automatización de la distribución, de acuerdo con sus diversas topologías y configuraciones. Dada la conformación de las redes eléctricas, la automatización se hace compleja debido al gran número de nodos con derivaciones que afectan las cargas de energía en los circuitos conformados por grandes distancias.

En la cadena de valor de la energía eléctrica, la distribución, como elemento final, establece los requerimientos de demanda con calidad, por lo que se hace necesario que los Sistemas Eléctricos de Distribución sean robustos, confiables y eficientes en el manejo de energía.

En los retos de automatización, el comportamiento heterogéneo de las redes de distribución se ve impactado en la eficiencia de calidad y servicio hacia los

usuarios finales. La implementación de los esquemas de automatización de la distribución se hace compleja si se considera el volumen de equipos requeridos, así como la implementación de funciones, la localización de fallas, y la reconfiguración de alimentadores de las redes, tomando en cuenta la optimización funcional.

En este contexto, las tendencias de automatización de la distribución (AD), se asocian directamente al concepto e integración de Redes Eléctricas Inteligentes (REI) (figura 1). El tema de la automatización de la distribución es una columna que debe soportar las REI, considerando que la energía eléctrica adquiere mayor valor a través de la Generación Distribuida, por ejemplo, la energía eólica, solar, de biomasa, entre otras. En este enfoque, el procesamiento de los sistemas no solamente es la automatización de las redes de distribución en sí complejas, sino que también es necesario considerar las aplicaciones de cómo se operará la entrada y salida para nuevas fuentes de energía a las redes de distribución.

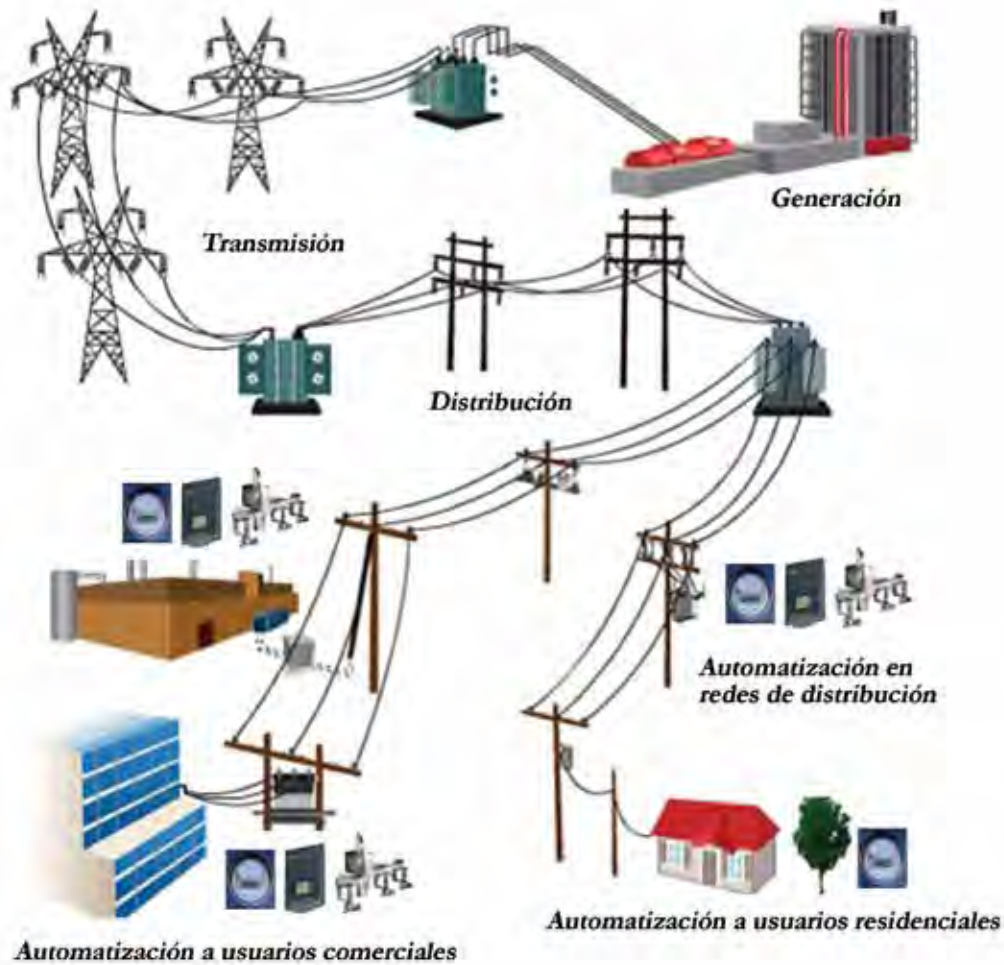
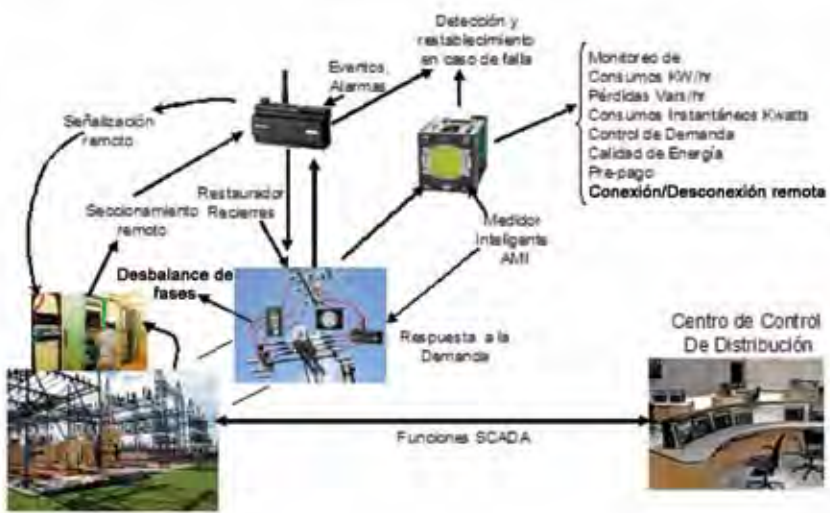


Figura 1. Esquema de automatización en la distribución.



En la implementación de aplicaciones para la automatización de la distribución, se consideran equipos y componentes con capacidad para procesar el restablecimiento del servicio eléctrico en tiempos mínimos (*Self-Healing*), incluso para responder a esquemas con reconfiguración sobre los alimentadores y fallas en redes eléctricas de grandes ciudades, con configuraciones entrelazadas por otras redes eléctricas. Asimismo se deberá considerar las cargas de energía variable en su demanda, y definitivamente la automatización es un gran reto a resolver, donde una solución puede resultar no-propia, inoperante, no-funcional o dar resultados no deseados.

En este contexto, la instrumentación en las redes de distribución considera equipo de protección con procesamiento avanzado, para ser programable de acuerdo con la configuración de las redes eléctricas de distribución, y de bajo costo por el gran número de aplicaciones que se requieren. Así también, la medición de energía que debe contar con diversas funciones que procesen algoritmos en diferentes parámetros, como medición instantánea, de estadísticas, de control, de tarifas, de programación por suministro y corte de energía, o también como el caso de los equipos de control, para seccionamiento y restauradores que permitan la reconfiguración automatizada de los alimentadores.

### Funciones actuales y futuras de la automatización de la distribución

Dada la complejidad de los sistemas de distribución es importante considerar de manera estratégica, la localización de los dispositivos de seccionamiento donde se incluirán las funciones de supervisión remota y control, que se combinan con el sistema SCADA de los Centros de Control. Por ello, cabe resaltar que los sistemas SCADA futuros deben considerar la interoperabilidad con otros sistemas, para llevar a cabo el análisis de operación de los sistemas de distribución. En la figura 2 se muestra un esquema de las funciones actuales y futuras.

Las funciones para la automatización de la distribución son conocidas como DMS (*Distribution Management System*) o sistema de administración de la distribución, de las cuales se mencionan las siguientes:

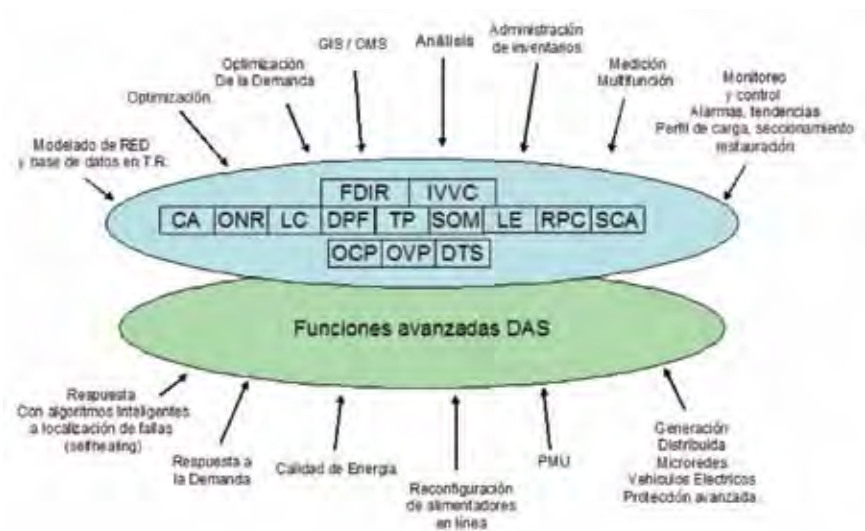


Figura 2. Esquema de las funciones actuales y futuras de los sistemas SCADA.

**FDIR** (*Fault Detection / Isolation and Service Restoration*). Para mejorar la confiabilidad, FDIR detecta una falla en el alimentador y con base en el sensado instrumentado de la red, manejado por los equipos DEI, la falla se aísla rápidamente en la sección del alimentador, lo cual reduce el tiempo del servicio de restauración de horas a minutos, obteniendo un mejoramiento en la confiabilidad y calidad del servicio.

**IVVC** (*Integrated voltaje / var control*). Esta función se enfoca a reducir pérdidas en la red, energizando o denergizando bancos de capacitores en la misma, asegurando un perfil optimizado de voltaje en la red y manteniéndolo en la red de los alimentadores para normalizar las condiciones de operación y reducir los picos de carta, esto podría ser manejado desde los taps del transformador ubicado en la subestación, pero para esta función se utilizan algoritmos avanzados.

**TP** (*Topology Processor*). El procesamiento topológico es un sistema fuera de línea que determina la topología de la red y la presenta a través de colores, presentando con precisión los datos del sistema SCADA. El sistema TP también proporciona procesamiento de alarmas, eliminando las que no modifican cambios topológicos.

**DPF** (*Distribution Power Flow*). Esta función permite corregir los desbalances de flujo de carga en el sistema trifásico, para los sistemas mallados o radiales. Además es importante en conjunto con la función FDIR e IVVE.

**LM/LE** (*Load Modeling / Load Estimation*). Es posible lograr un modelado de carga, o bien, una estimación de carga dinámica en la medida en que se obtiene toda la información posible del comportamiento de la red de distribución, incluido el manejo de transformadores, capacitancias, facturación, así como la medición en

tiempo real de los alimentadores. Se debe precisar el estimado de carga en la red de distribución, considerando la carga en esta red, como en la generación agregada. Si el modelado de cargas y sus valores reales no son lo suficientemente precisos, todas las soluciones de automatización resultan difíciles de utilizar.

**ONR (*Optimal Network Reconfiguration*).** Esta función permite recomendar reconfiguración de la red de distribución para minimizar pérdidas de energía, manteniendo el voltaje en el nivel deseado, así como el balance de cargas entre los transformadores de la subestación, los alimentadores y las fases de la red. La ONR también es utilizada para atender la recuperación en los apagones y en los planes de mantenimiento.

**CA (*Contingency Analysis*).** Esta función se integra en un sistema DMS, diseñado para analizar el potencial de posibilidades para reconfigurar escenarios fallados, que afectan a los usuarios o impactan la seguridad operativa del sistema. Esta función permite contemplar acciones preventivas o correctivas para cambios en la operación de la configuración de la red y garantizar que un mínimo de clientes queden sin servicio, maximizando la mayor confiabilidad.

**SOM (*Switch Order Management*).** Es una herramienta importante para la operación en tiempo real y cubre varias aplicaciones para el sistema DMS. Esta función se puede utilizar para generar varias opciones de reconfiguración que sean bien procesadas, verificadas, ejecutadas o rechazadas. SOM proporciona un análisis avanzado para todas las operaciones de reconfiguración en el sistema de distribución.

**SCA (*Short Circuit Analysis*)** o Análisis de Corto Circuito. Es una función fuera de línea que permite calcular la corriente de corto circuito para condiciones de falla hipotéticas, además que puede evaluar la posibilidad de impacto de una condición de falla de la red. Esta función puede verificar los puntos de ajuste de los sistemas de DEIs de protección y operación, para que se pueda lograr ajustar de manera más fina, los puntos de ajuste de los relevadores de protección.

**RPC (*Relay Protection Coordination*).** Administra y verifica los ajustes del relevador utilizados para los alimentadores de distribución, que permiten establecer diferentes condiciones de operación y reconfiguración de la red.

**OPC/OVP (*Optimal Capacitor Placement / Optimal Regulator Placement*).** Localización óptima de bancos de capacitores para regulación, localización óptima de la regulación del voltaje en las redes de distribución, para lograr un control más efectivo de la pérdida de energía de alimentadores VAR y del perfil de voltaje.

**DTS (*Dispatcher Training Simulator*)** o Simulador para Entrenamiento de Despacho de Energía. Esta herramienta se utiliza para simular efectos de condiciones de operación normal y anormal, así como escenarios de reconfiguración antes de ser aplicados en los sistemas de distribución en tiempo real. En la red de distribución, el sistema DTS es una herramienta importante de apoyo en la evaluación de impactos en el plan de operación futura o para simular escenarios de operación históricos para obtener valores que coadyuven en un conocimiento y capacitación del uso de esta herramienta.

Asimismo, el DTS es de gran utilidad para simular condiciones a la expansión de los sistemas de distribución.

En otro aspecto, las tendencias para aplicar la automatización de la distribución y de redes eléctricas inteligentes consideran la modernización de la red de distribución, pero con un enfoque hacia el incremento de la calidad del servicio, de la respuesta a la demanda, de la calidad de energía y de información hacia los usuarios, lo que implica:

- Modernizar la infraestructura actual de la red de distribución: líneas, transformadores, equipo primario, entre otros.
- Incrementar los índices de confiabilidad en la operación de la red eléctrica.
- El crecimiento en la población da por resultado un incremento en los servicios y demanda eléctrica, lo cual se ve reflejado en nuevas fuentes de generación de energía convencional o renovable.
- Informar sobre los costos de energía, de calidad y el comportamiento de las demandas, así como los riesgos de uso de equipo industrial o doméstico.

### Optimización de puntos de automatización

La optimización de los puntos de automatismo son elementos fundamentales en la automatización de la distribución. La ubicación de los dispositivos eléctricos para operar la red eléctrica por medio de la automatización requiere considerar:

- Una reingeniería de la zona en estudio, la cual está conformada por alimen-



tadores en donde se desea colocar los dispositivos automatizados. Este análisis debe considerar zonas conflictivas, índices de confiabilidad, balance de cargas entre los alimentadores, distribución geográfica de los alimentadores y reducción de pérdidas.

- Con base en estudios de eficiencia energética, así como de confiabilidad, se establecen los diseños y se definen los puntos en donde deben colocarse los dispositivos eléctricos para la automatización de cada alimentador y de los puntos de enlace con los alimentadores adyacentes. La instalación de los dispositivos automatizados dividen a cada alimentador en varios segmentos, cada segmento se define en función de la demanda de cada alimentador y de los alimentadores adyacentes, de manera que al ocurrir una transferencia de carga automática de un segmento al alimentador adyacente seleccionado, no ocasione una sobrecarga en éste.

La figura 3 muestra dos alimentadores, el primero cuenta con tres dispositivos eléctricos automatizados, los cuales dividen al alimentador en cuatro segmentos, cada uno de éstos tiene definido el respaldo hacia un alimentador adyacente.

### Aplicaciones de automatización de la distribución

En las REI se tiene un cambio fundamental. Dado que el sistema de distribución sufre cambios importantes, se vuelve un elemento dinámico en el sistema eléctrico y la flexibilidad que le da la automatización de los alimentadores debe ser orientada a no sólo cumplir con los requerimientos de confiabilidad, sino a incluir el requerimiento de eficiencia energética y optimización de recursos existentes.

En las siguientes figuras se esquematiza un aislamiento de falla convencional, el cual puede ser realizado a través de análisis

y algoritmos inteligentes que permitan contar con bases de conocimiento para restaurar los servicios en tiempos muy cortos de duración en fallo de energía.

### Tecnología AMI

El requerimiento del intercambio oportuno de información, referente al consumo de energía entre las empresas de electricidad y los consumidores, ha originado el desarrollo de la medición inteligente, la cual ha sido factor fundamental para desarrollar la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), en esta tecnología se integran especialidades de medición, telecomunicaciones, informática y control (figura 6).

La implantación de la tecnología AMI permitirá avances en la configuración de las redes eléctricas inteligentes y sus aplicaciones, adicionando procesamiento inteligente para el ámbito de la automatización de la distribución. AMI coadyuva

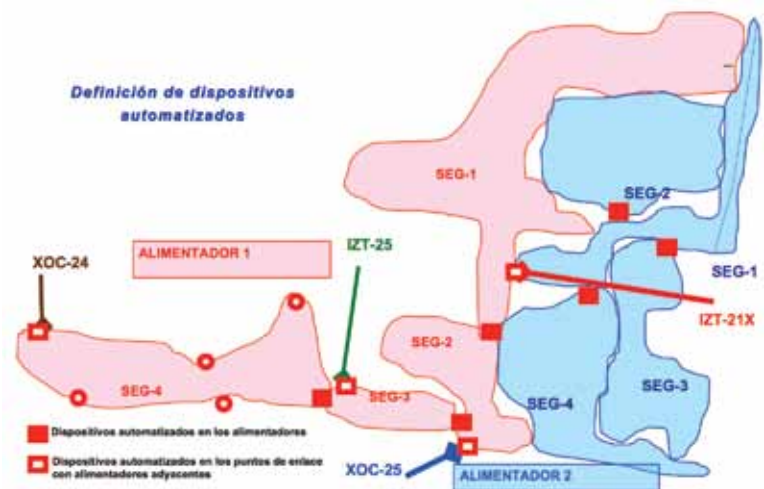


Figura 3. Ubicación de dispositivos automatizados en los alimentadores.

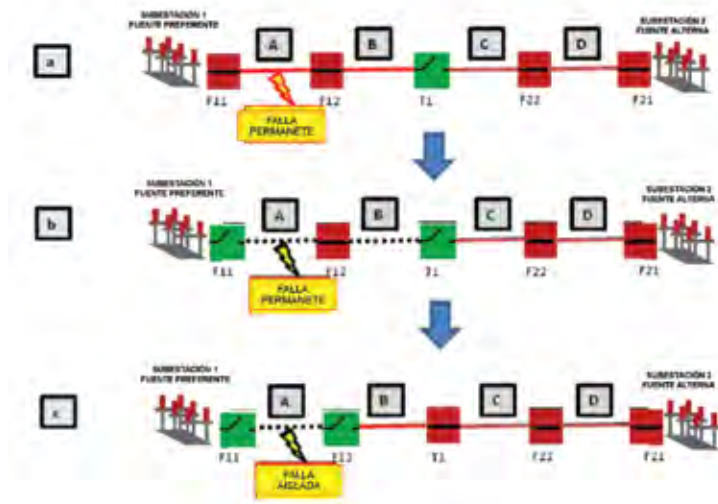


Figura 4. Restauración del sistema a través de una transferencia automática.

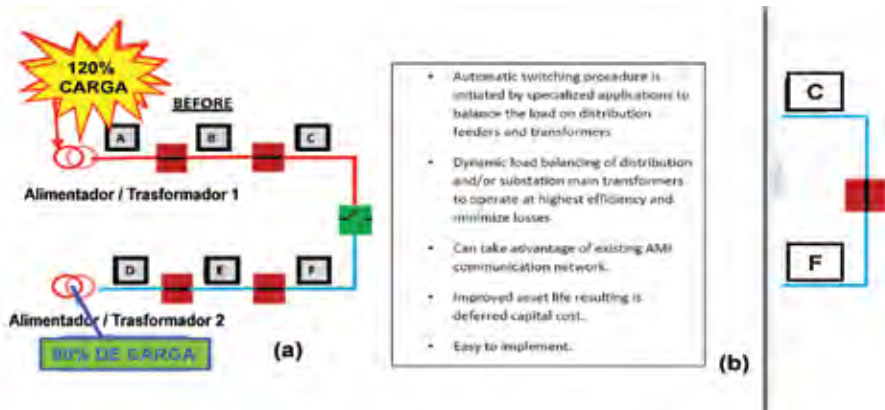


Figura 5. Balance de carga a través de transferencia automática: (a) Estado inicial y (b) Estado final.

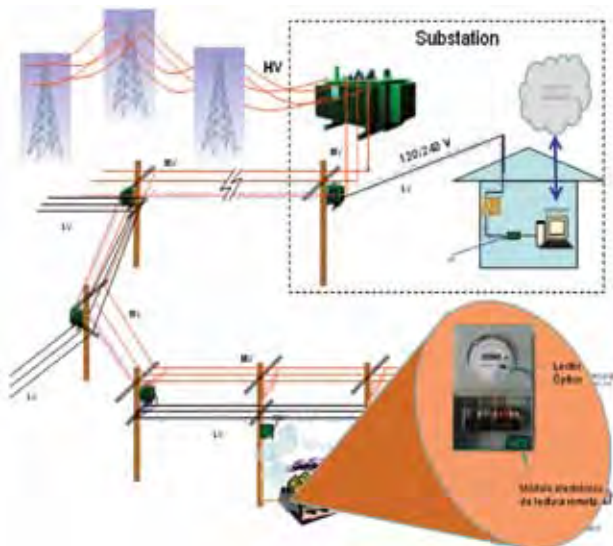


Figura 6. Integración de infraestructura AMI.

en soluciones para mejorar los índices en eficiencia energética de las redes eléctricas de distribución, seguridad en la operación y confiabilidad.

En cuanto a las aplicaciones de la AMI se hace énfasis para contar con infraestructura en:

- Gestión de la demanda de energía eléctrica
- Monitoreo de consumos KW/hr de acuerdo a las demandas
- Control de pérdidas técnicas y no técnicas de energía Vars/hr
- Administración de perfil de cargas
- Respuesta a la demanda
- Calidad de energía
- Conexión / desconexión remota de consumos
- Detección de ilícitos
- Control en medición para inserción de generación distribuida
- Reconfiguración de alimentadores dependiendo del balance de cargas
- Costos de energía, prepago y facturación a distancia

En este contexto, la tendencia está en el desarrollo de nuevos sensores y actuadores de medición que pueden ser insertados en equipos de proceso eléctrico, como restauradores, seccionadores, transformadores, entre otros.

Con el desarrollo e implantación de una infraestructura AMI se visualiza el desarrollo de funciones de análisis de los flujos de carga, algoritmos de estimación del estado y ajustes flexibles de control y de protecciones, todo esto orientado a la toma de decisiones en tiempo real que demandan las condiciones operativas de la red.

## Referencias

Kimura, R., GE Canada and Flynn B. GE-USA, 2009. *Justifying Distribution Automation*, Paper 0942, CIRED 2009, Session 3.

*A Vision of Self-Healing Protection and Control*, EPRI Report, Product ID: 1016038.

Belagur, J., 2009. *Implementing Low-Cost Distribution Automation Programs*, Power System Engineering, Inc.

*IEC Smart Grid Standardization Roadmap Prepared by SMB Smart Grid Strategic Group (SG3)* June 2010; Edition 1.0

Belagur, J., 2009. *Implementing Low-Cost Distribution Automation Programs*, Power System Engineering, Inc.

Lindgren, S.; O'Sullivan, B., 2003. *A Maintenance free, Monitoring solution for medium voltage overhead networks, to address new demand from the regulator on power quality performance*, CIRED17th International Conference on Electricity Distribution, Barcelona.

Weaver, T., 2010. *Transforming to a Smart Grid*, 978-1-4244-6547-7/10, 2010 IEEE PES.



De izquierda a derecha: Cuitláhuac Picasso Blanquel, Lourdes Gallegos Grajales y José Martín Gómez López.

### MARÍA DE LOURDES GALLEGOS GRAJALES

[mlgg@iie.org.mx]

Ingeniera Electricista por el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero en 1976. Maestra en Ingeniería por la División de Estudios de Posgrado de la UNAM en 1982, donde obtuvo la Medalla Gabino Barreda como el mejor promedio de su generación en esta división. Obtuvo el grado de Doctora por la Universidad de Londres en 1987. Desde 1980 es investigadora de la Gerencia de Transmisión y Distribución, donde creó la línea de desarrollo: Operación, Planeación, Diseño, Automatización y Análisis en Sistemas de Distribución.

### CUITLÁHUAC PICASSO BLANQUEL

[picasso@iie.org.mx]

Ingeniero en Comunicaciones por el Instituto Politécnico Nacional. Cuenta con 25 años de experiencia en el área de automatización. Ingresó a la División de Sistemas de Control del IIE en 1989, donde se ha desempeñado como desarrollador y líder de proyectos en el área de sistemas SCADA, sistemas de automatización de subestaciones y distribución, así como de las nuevas aplicaciones para Redes Eléctricas Inteligentes. Miembro del IEEE y del CIGRÉ. Ha escrito artículos internacionales y nacionales referentes a su área de apli-

cación, y en lo académico ha impartido la materia de Comunicaciones en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, así como de Sistemas Computacionales en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

### JOSÉ MARTÍN GÓMEZ LÓPEZ

[jmgomez@iie.org.mx]

Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones, y Maestro por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en 1982 y 1988, respectivamente. De 1982 a 1984 laboró en el área de pruebas en empresas de telecomunicación y de seguridad profesional. Ingresó a la Gerencia de Control e Instrumentación del IIE en 1984. Sus áreas de investigación y desarrollo tecnológico incluyen equipos y sistemas electrónicos aplicados a la medición inteligente de electricidad y agua, y al robo de energía eléctrica, así como la comunicación de datos utilizando tecnologías inalámbricas y de comunicación digital por la red eléctrica. Cuenta con cuatro patentes en temas asociados a la medición avanzada de energía eléctrica. Autor y coautor de diversos artículos en conferencias y revistas técnicas nacionales e internacionales. Maestro de cátedra en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.