



# Reconstrucción de tormentas: Reconstrucción inteligente

Reducir las interrupciones de energía, salvar vidas, proteger la propiedad

© Copyright 2017 Por NEMA

Todos los derechos reservados, incluida la traducción a otro idiomas, reservados bajo el Copyright Universal Convenio, el Convenio de Berna para la protección de Obras Literarias y Artísticas, y la Internacional y Pan Convenciones americanas de derechos de autor.

## CONTENIDO

### Resumen

#### Soluciones de la red inteligente

Medidores inteligentes y recuperación de desastres .....	11
Los medidores inteligentes pueden reducir interrupciones de energía y tiempo de restauración .....	13
Preparación y restauración de redes de energía utilizando tecnologías de red inteligente.....	16
Clima severo y automatización de la red de distribución .....	19
Integración de una localización de fallas, aislamiento y restauración del sistema en un sistema de gestión de la interrupción .....	22
Mejorar la resistencia de la red a través de ciberseguridad.....	26

#### Micro-redes, almacenamiento de energía y generación descentralizada

La energía de las micro-redes.....	29
Confiabilidad de la energía con micro-redes .....	31
El papel del almacenamiento de energía en la prevención y recuperación de desastres .....	35
Integración del almacenamiento de energía en el sistema de distribución.....	39
Energía y calor combinados y resistencia de la red.....	41
La clave para permanecer conectado es desconectar.....	43

#### Generación de respaldo

Sistemas de energía de respaldo.....	46
Incorporación de generadores y actualizaciones del sistema para la preparación por tormentas .....	49

#### Alambrado, cableado y componentes

Los sistemas de alambres y cables actualizados pueden acelerar la recuperación después de la tormenta.....	53
Transformadores e interruptores sumergibles, supervisión y control avanzados .....	57
Tablero de control automatizado sumergible .....	59

#### Reemplazo y reubicación del equipo

Preparación para emergencia y la importancia de la reposición del equipo .....	62
Reemplazo o actualización de equipos eléctricos dañados por el agua.....	65

#### Recuperación del desastre

Planificación de la recuperación del desastre .....	70
Priorizando actualizaciones necesarias: El principio de degradación agraciada.....	74

# Resumen

El clima severo, junto con una infraestructura eléctrica envejecida y sobreexplotada, está teniendo un impacto dramático en la población de los Estados Unidos.

A finales de 2012, la devastación de la súper-tormenta Sandy dejó 132 personas fallecidas; más de ocho millones de personas en 16 estados perdieron la energía eléctrica; los túneles del metro se inundaron; cuatro hospitales en la ciudad de Nueva York cerraron sus puertas; también en la ciudad de Nueva York 305 000 viviendas y en Nueva Jersey 72 000 viviendas y negocios fueron dañados o destruidos. Las plantas de aguas residuales fueron destruidas, causando que centenares de millones de galones de aguas residuales fluyeran en las vías pluviales.

La reconstrucción después de cualquier gran tormenta es un desafío formidable. La base principal de cualquier esfuerzo de reconstrucción debe ser la “reconstrucción inteligente”, asegurando que los fondos para la reconstrucción maximicen la implantación de tecnologías para mitigar futuras interrupciones de energía, salvar vidas y proteger la propiedad.

La energía resistente y confiable es fundamental para los equipos de primera respuesta, comunicaciones, salud, transporte, sistemas financieros, agua y tratamiento de aguas residuales, alimentos de emergencia y refugio y otros servicios vitales. Cuando se establecen tecnologías inteligentes, se evitan interrupciones y las vidas, hogares y empresas están protegidas.

Buenos ejemplos son la implantación de micro-redes, almacenamiento de energía y cogeneración. Como se informó en el *MIT Technology Review*:

- La generación de energía local con micro-redes demostró los beneficios de confiabilidad durante el huracán Sandy.
- Las instalaciones de investigación de la Administración de Alimentos y Medicamentos de Roble Blanco en Maryland cambió sus motores y turbinas de gas natural en el sitio que suministran energía a todos los edificios en su campus en dos días y medio.
- Princeton fue capaz de desconectar la red y parte de la energía del campus con cerca de 11 megawatts de generación local.
- De la misma manera, una planta de cogeneración en la Universidad de Nueva York fue capaz de proporcionar calefacción y energía a parte del campus.
- Una planta de calefacción y energía combinada de 40MW en el Bronx fue capaz de proporcionar electricidad y calefacción a un gran complejo de viviendas.<sup>1</sup>

Las 400-plus empresas de National Electrical Manufacturers Association (NEMA) y su personal de ingenieros experimentados y expertos en la electroindustria - que abarca más de 50 sectores de la industria - están listos para ayudar a los funcionarios de la industria y del gobierno para la reconstrucción después de un desastre.

---

<sup>1</sup> *Advanced Metering Infrastructure (AMI) Informe completo de la evaluación final para la Commonwealth Edison Company (ComEd)*, Black & Veatch, July 2011

*Las páginas restantes de esta sección de resumen describen tecnologías clave que se destacan en este documento, teniendo en cuenta su capacidad para contribuir a una red eléctrica más resistente.*

## **Soluciones de la red inteligente**

La reconstrucción del sistema de energía eléctrica debe incorporar el uso de soluciones de red inteligente: tecnologías de información y comunicaciones, como medidores inteligentes y sensores de alta tecnología, para aislar los problemas y evitarlos automáticamente. Estas tecnologías proporcionan resistencia y recuperación rápida de condiciones climáticas extremas y otras interrupciones.

Casi de la misma manera porque las nuevas tecnologías de información y comunicación están redefiniendo cómo trabajar, aprender y estar en contacto uno con otro, estas mismas tecnologías se están aplicando a la red eléctrica, proporcionando a las compañías de electricidad nuevas formas de gestionar el flujo de energía y acelerar los esfuerzos de restauración.

Mediante la integración de tecnologías de información y comunicaciones en la red eléctrica, las compañías de electricidad pueden no sólo minimizar el alcance de una interrupción, sino también identificar inmediatamente a los clientes que se ven afectados, desviando electricidad alrededor de las líneas de electricidad caídas para aumentar la seguridad pública y permitir una restauración más rápida de los servicios.

Por ejemplo, cuando se detectan perturbaciones en el flujo de energía, los interruptores automáticos modernos pueden abrir o cerrar automáticamente para ayudar a aislar una falla. Casi como un conductor que utiliza su GPS para encontrar una ruta alternativa en un accidente, este equipo automáticamente puede redirigir la energía alrededor de la zona del problema para que la electricidad continúe fluyendo a otros clientes. Las soluciones de la red inteligente permiten también a las compañías de electricidad proteger la red eléctrica de ataques cibernéticos.

*Cuestiones de la red inteligente y opciones que se discuten en esta guía:*

- Los medidores inteligentes tienen dos componentes principales: un medidor electrónico que mide con precisión la información de la energía y un módulo de comunicación que transmite y recibe datos.
- Los factores principales para la implementación de medidores inteligentes han sido la reducción en costos y ahorro de energía. Menos prominente, pero igual de importante, es el papel de los medidores inteligentes en situaciones de recuperación de desastres debido a sus capacidades como sensores inteligentes.
- Las comunicaciones del medidor inteligente proporcionan información en donde se han producido interrupciones, permiten que pueda cortarse la energía a ciertas áreas para minimizar el riesgo de incendio o lesiones y permiten la respuesta de la demanda para gestionar el consumo de electricidad del cliente en respuesta a un sistema de distribución tensionado.
- Otra ventaja de los medidores inteligentes es la verificación de la restauración de la energía, que se logra cuando un medidor informa después de volver a energizarse. Esto proporciona verificación automatizada y positiva de que se han restaurado todos los clientes, no existen interrupciones anidadas (aisladas), y las órdenes de problemas asociados se cierran antes de que los equipos de restauración dejen las áreas.
- Los sistemas de automatización de distribución pueden reducir los tiempos de interrupción detectando automáticamente una falla, aislando la sección con falla de la red y restaurando el servicio a las secciones sin falla. Los sistemas de gestión de la distribución integrada, junto con los medidores inteligentes, proporcionan a los operadores del cuarto de control información en tiempo real sobre las interrupciones, en lugar de esperar a que llamen los clientes.

- Si la mayor parte de una red todavía es funcional, un sistema de localización de fallas, aislamiento y restauración del servicio (FSLIR), integrado en un sistema de gestión de la interrupción puede restaurar la energía a las partes de la línea sin falla en segundos.
- Los sistemas FLISR en tándem con automatización de distribución avanzada permiten una eficiente restauración de la red.
- Los restauradores modernos que han acortado los tiempos muertos durante el auto cierre incluyen sensores de tensión y corriente y pueden equiparse con controladores inteligentes.
- Otro componente de la red inteligente es la fibra óptica resistente a la inundación, que puede utilizarse para medir la corriente.

### **Micro-redes, almacenamiento de energía y otros sistemas de generación distribuida**

Cuando se producen interrupciones de energía, las micro-redes, el almacenamiento de energía y otros sistemas de generación distribuida (es decir, descentralizados) pueden asegurar la continuidad del funcionamiento de instalaciones críticas.

Una micro-red, que a veces se denomina una isla eléctrica, es una agrupación localizada de generación de electricidad, almacenamiento de energía y cargas eléctricas. Donde existe una micro-red, las cargas normalmente se conectan a una red centralizada tradicional. Cuando la micro-red detecta una interrupción, se desconecta de la red central y utiliza sus propias capacidades de generación y almacenamiento para servir la carga eléctrica local.

En situaciones críticas las micro-redes pueden dirigir la energía a altas prioridades como los equipos de primera respuesta, servicios de cuidados críticos y hospitales.

Los recursos de generación de la micro-red pueden incluir gas natural, eólica, paneles solares, diésel u otras fuentes de energía. Unas fuentes de generación múltiple de una micro-red y la capacidad para aislarse de la red más grande durante una interrupción en la red central asegura energía altamente confiable.

La eficacia de las micro-redes es aún mayor a través del almacenamiento de energía. Los sistemas de almacenamiento no sólo proporcionan energía de respaldo mientras que las fuentes de generación de la micro-red vienen de la línea, también pueden utilizarse para regular la calidad de la energía y proteger los sistemas sensibles como equipos de hospitales que pueden ser vulnerables a las sobretensiones durante los esfuerzos de restauración.

Las micro-redes ofrecen ventajas adicionales. La energía en exceso de las micro-redes puede venderse a la red central o almacenarse para uso posterior. En combinación con el almacenamiento de energía y los sistemas de gestión de la energética, las micro-redes también pueden ofrecer servicios auxiliares a la red eléctrica más amplia tales como la regulación de la tensión y frecuencia. Las micro-redes también reducen la dependencia de líneas de transmisión de larga distancia, reduciendo las pérdidas de energía de la transmisión.

También de creciente importancia, las micro-redes pueden mitigar los efectos de los ataques cibernéticos al segmentar la red.

*Micro-red, almacenamiento de energía y sistemas de energía distribuida/descentralizada tratados en esta guía:*

- Las micro-redes esencialmente son versiones en miniatura de la red eléctrica que incluyen generación localizada y almacenamiento. La generación localizada y cada vez más limpia permite a las micro-redes proporcionar energía a escuelas y pequeñas comunidades independientes de una macro-red. Estas islas de estabilidad pueden mantener comunidades enteras de contribuyentes calientes, alimentados y seguros y permitir que los primeros en responder comiencen su trabajo lo antes posible.
- Una micro-red puede coordinar una red de generadores de respaldo asegurando el uso óptimo del combustible.
- Las micro-redes pueden enlazarse en fuentes alternativas de energía como la eólica y solar, turbinas de gas que proporcionan calefacción y energía combinados (CHP) y sistemas de almacenamiento de energía. También tienen la capacidad de desconectarse de la red automáticamente y pasar al modo de isla.
- Una micro-red exitosa debe tener métodos inteligentes de gestión y control de cargas eléctricas de los clientes.
- Los campus universitarios, bases militares y otras instalaciones federales, hospitales, centros grandes de investigaciones y de datos, parques industriales y plantas de tratamiento de aguas residuales son buenos candidatos para las micro-redes porque típicamente tienen una misión común y se administran por la misma organización
- Las micro-redes también son apropiadas para un área urbana densamente poblada, como Manhattan, donde la concentración del consumo de energía es alta y la escala significativa justifica conectar varias edificaciones como parte de una red de la micro-red.
- Los nuevos diseños del sistema de almacenamiento de energía ofrecen esperanzas de vida más segura y operacional, así como permiten a los clientes instalar sistemas de baterías grandes que proporcionan energía de emergencia para funciones críticas cuando falla la red. Igualmente importante es su capacidad para producir ingresos y reducir costos durante la operación normal.
- Los sistemas de baterías de tecnología avanzada han demostrado su capacidad de casi *duplicar* la eficiencia de los generadores de diésel que soportan.
- Los sistemas de almacenamiento de energía también pueden reducir la tensión térmica en la red durante períodos de carga pico y proporcionar una fuente de energía de respaldo confiable en caso de una gran tormenta, otro desastre natural o ataque cibernético.
- Los centros de asistencia de emergencia pueden sostenerse durante las interrupciones por sistemas de almacenamiento de energía avanzados incorporados.
- Una flota de unidades de almacenamiento de energía de gran capacidad de energía distribuidas a lo largo de la red puede soportar cientos de hogares, pequeños negocios e infraestructuras críticas durante una interrupción. Cuando se combina con recursos de generación renovables de la comunidad, la micro-red resultante es capaz de funcionar durante varias horas o incluso días.

- Para la mayoría de las instalaciones con la necesidad de mantener la energía a lo largo de cada tipo de interrupción de la red, debe considerarse el calor y energía combinados (CHP), que comúnmente también se le conoce como cogeneración. El CHP captura el calor residual de la generación de electricidad — por lo general mediante turbinas de gas natural — para proporcionar calor y agua caliente, vapor para un proceso industrial, o de enfriamiento para un centro de datos. CHP es más eficiente energéticamente que la producción de electricidad y calor por separado.
- La integración de sistemas de almacenamiento de baterías avanzados con CHP tiene el potencial para crear una red del campus de energía segura, resistente y eficiente.

## Generación de respaldo

La energía de respaldo en el sitio proporciona una manera confiable y rentable para mitigar los riesgos a las vidas, bienes y empresas de interrupciones de energía. Para varias instalaciones, tales como instalaciones de vida asistida y asilos para ancianos, existe un aspecto de seguridad de la vida a considerar. Otras instalaciones, tales como sitios de torres para celulares, centros de llamadas de emergencia y estaciones de gas, tienen profundo impacto social y la disponibilidad es crítica.

Para empresas con cargas altamente sensibles como centros de datos e instituciones financieras, el riesgo de pérdidas económicas ocasionadas por el tiempo de inactividad es alto. Una manera de mitigar estos riesgos diversos es el equipo de respaldo de energía en el sitio.

Tradicionalmente, los generadores de diésel y gas natural se utilizan para proporcionar generación de respaldo a largo plazo. Cuando se combinan con el almacenamiento de energía, pueden proporcionar energía continua sin interrupción incluso en los más sensibles equipos médicos y electrónicos.

*Cuestiones de generación de respaldo y opciones que se tratan en esta guía:*

- Los sistemas de generación de energía eléctrica en sitio están disponibles en una amplia variedad de diseños para usos específicos y aplicaciones de los clientes.
- Los sistemas de supervisión y de control remotos que permiten a un operador comprobar el estado del sistema y operar el sistema de forma remota se están volviendo más comunes.
- Es importante consultar los requisitos del código para la energía de emergencia.
- El costo total y la facilidad de instalación de la generación de respaldo depende de la distribución y ubicación física de todos los elementos del sistema, grupo generador, tanques de combustible, conductos de ventilación, accesorios, etc.
- Los sistemas de respaldo necesitan diseñarse para la protección contra inundaciones, fuego, hielo, viento y nieve.
- Los requisitos de la Agencia de Protección Ambiental y de Emisiones deben tenerse en cuenta en las etapas iniciales de la toma de decisiones de la energía de respaldo.
- La falta de adherencia a un programa de mantenimiento preventivo es una de las causas principales de falla de un sistema de energía de respaldo.
- Es importante trabajar con una empresa de generación de energía que pueda ayudar a evaluar las necesidades de la energía de respaldo para asegurar la selección del sistema óptimo de energía de respaldo.
- Es prudente tener suficiente combustible para el generador de emergencia a la mano que permita al menos 48 horas de funcionamiento o según se requiera por el código.

- Florida requiere que algunas gasolineras tengan generadores para accionar las bombas en caso de que los conductores necesiten combustible para una evacuación.
- Es esencial que los generadores se conecten correctamente; la conexión incorrecta puede resultar en electrocución o incendios.

### **Alambrado, cableado y componentes**

Para equipos críticos, el cableado que debe utilizarse debe ser resistente a la inmersión prolongada en agua, así como en aceite y otros contaminantes potencialmente presentes en aguas de inundación que pueden afectar los materiales de aislamiento menos robustos.

Además, existen clases de transformadores, interruptores y envolventes que están diseñados para ser sumergibles. La instalación inicial del equipo puede ser más cara que el equipo no sumergible pero puede pagarse por sí misma en sistemas del metro y ambientes de subestaciones que son susceptibles a inundaciones.

*Cuestiones del alambrado, cableado y componentes resistentes al agua y opciones que se tratan en esta guía:*

- Para las ciudades donde gran parte de la infraestructura de energía está bajo el nivel de la calle, instalar interruptores y transformadores sumergibles.
- Implementar tableros de control especialmente diseñados para aplicación subterránea en bóvedas resistentes a aguas de inundaciones que contengan contaminantes.
- El tablero de control de media tensión (MT) especialmente para subestaciones eléctricas, está disponible en forma de aislado con gas, lo que significa que todos los conductores eléctricos y los interruptores en vacío están protegidos contra el medio ambiente. Este tipo de contención hace que los conductores del tablero de control de MT sean resistentes a la contaminación del agua.
- En el esfuerzo de reconstrucción después de una gran tormenta, la cuestión de cómo reconstruir los circuitos existentes y que alambrado y cables instalar son consideraciones importantes, podría decirse que son las consideraciones más importantes desde una perspectiva del costo.
- La instalación de alambres y cables que tienen características de desempeño (por ejemplo, resistente o reforzado al agua), así como utilizando métodos de instalación que reducen la exposición a los elementos (por ejemplo, reubicación, subterráneo y redundancia) pueden mejorar una protección del sistema eléctrico de daños por tormenta.
- El daño a los cables se produce porque el cableado inundado no está diseñado para soportar la inmersión en agua. La respuesta es utilizar cables robustos clasificados para lugares mojados de uso interior en áreas que pueden verse expuestos a inundaciones.
- Cuando se actualiza la capacidad de la línea, líneas existentes endurecidas para tormentas o instalar nuevas líneas, los instaladores pueden beneficiarse utilizando sistemas de cables subterráneos de alta tensión que tienen una historia de alta confiabilidad y que son en gran parte inmunes a fuertes vientos e inundaciones.
- Los sistemas aéreos cubiertos de media tensión pueden mejorar en gran medida la confiabilidad y reducir la vulnerabilidad de la distribución aérea durante eventos meteorológicos importantes.
- Los cables de auto-regeneración aseguran que el daño del aislamiento menor a cables subterráneos de 600V es limitado. Los canales entre las capas de aislamiento que mantienen un sellador que fluye en el aislamiento se rompe y los sella permanentemente, previniendo las fallas por corrosión que ocurren normalmente con la exposición a la humedad.



- Utilizar productos clasificados para lugares mojados en aplicaciones industriales y comerciales, especialmente en circuitos críticos, puede reducir el tiempo y costo de las operaciones de la restauración después de las inundaciones.
- El cableado residencial en sótanos y otras zonas vulnerables puede hacerse más resistente a las inundaciones sustituyendo un producto clasificado para lugares secos comúnmente utilizado por el clasificado para lugares mojados. Esto puede permitir que se restaure la energía a las residencias más rápidamente sin el reemplazo extenso del cableado.

### **Reubicación o reposición del equipo**

Otro uso inteligente de los fondos de reconstrucción es reubicar o reposicionar el equipo o las líneas de energía. A la luz de la devastación causada por las tormentas y las inundaciones recientes, es hora de evaluar la ubicación de la infraestructura crítica e identificar situaciones donde invertir dinero hoy protegerá los equipos vitales de futuras tormentas.

*Cuestiones de reubicación y reposición y opciones que se tratan en esta guía:*

- El *Código Eléctrico Nacional*® requiere evaluaciones de riesgos para instalaciones de misión crítica. Una parte importante de la evaluación del riesgo es evaluar el posicionamiento del equipo crítico. Por ejemplo, ¿los generadores de respaldo están elevados sobre el piso para que estén seguros del agua en caso de inundaciones? ¿Las bombas de suministro de combustible para los generadores también se encuentran sobre el piso para que en caso de inundaciones aún sea posible alimentar los generadores?
- Una idea simple rentable es elevar los generadores de reserva en los sitios propensos a inundaciones a elevaciones más altas. Este concepto es particularmente importante al instalar nuevos equipos y subestaciones.

### **Planificación de la recuperación del desastre**

Después de un desastre, primero debe restaurarse la energía a los servicios más críticos. Además, los esfuerzos de planificación deben considerar cuidadosamente los problemas de seguridad que pueden surgir cuando se recupera de las inundaciones.

*Cuestiones de la planificación de la recuperación de desastres y opciones que se tratan en esta guía:*

- El equipo eléctrico que se ha sumergido nunca debe volver a energizarse sin ser inspeccionado minuciosamente. El equipo que se ha sumergido es probable que tenga residuos interrumpiendo su funcionamiento y dañando el aislamiento eléctrico que puede causar incendios y peligros de choques eléctricos cuando los dispositivos se han energizado.
- Todos los fabricantes de interruptores automáticos requieren que se reemplacen después de estar sumergidos.
- Realizar una auditoría de mitigación del riesgo antes de la crisis e identificar maneras de reducir al mínimo la vulnerabilidad en caso de desastre.
- Capacitar a los empleados para que sepan qué hacer. Asegurarse de que comprenden que las aguas de la inundación conducen electricidad.
- Obtener un proveedor de servicio calificado de primera respuesta con personal experimentado para el equipo en sus instalaciones.

- Identificar las fuentes de reparación y reemplazo del equipo.
- Planificación de la falla de los sistemas de comunicación.
- Instalar protección contra sobretensiones en todas la instalaciones para proteger las cargas sensibles de pulsos durante la restauración de energía.
- Instalar protección contra falla de arco y falla a tierra avanzada para quitar la energía de los circuitos dañados por la tormenta para que la restauración de la energía no provoque incendios y electrocuciones.
- Existen beneficios para actualizar en lugar de reemplazar los componentes dañados por la inundación incluyendo la disponibilidad de nueva tecnología y confiabilidad a largo plazo.

# Medidores inteligentes y recuperación del desastre

En la última década, se ha instalado la tecnología del medidor inteligente en millones de usuarios residenciales y comerciales en los Estados Unidos. De hecho, los Estados Unidos lleva la delantera de la mayoría del resto del mundo porque las compañías de electricidad instalan medidores inteligentes a través de sus áreas de servicio. Para gran parte de la industria, los incentivos comerciales principales para la implementación han sido la reducción de costos y ahorro de energía. La reducción de costos es relativamente fácil de justificar porque los medidores inteligentes pueden reducir o eliminar el costo de visitar físicamente los medidores para registrar lecturas para fines de facturación. Los medidores avanzados también incluyen interruptores de control remoto para desconectar la energía así como medir el tiempo de uso, otra vez sin la necesidad de visitas físicas. Para el ahorro de energía, los medidores inteligentes también proporcionan una forma para que las compañías de electricidad ofrezcan servicios para reducir el consumo mediante la gestión de aparatos individuales a cambio de una tarifa reducida. Estas tecnologías se prueban, maduran y están ampliamente implementadas.

Menos prominente, pero igual de importante, es el papel de los medidores inteligentes en situaciones de recuperación de desastres. Es importante recordar que los medidores inteligentes son sensores inteligentes. Además de medir el consumo de energía para fines de facturación, estos sensores pueden proporcionar valiosas funciones durante desastres y recuperación. Los párrafos siguientes describen un escenario de desastre climático y el papel que juegan los medidores inteligentes en el manejo de la situación. Todas las capacidades descritas aquí están disponibles y se envían con la tecnología actual del medidor inteligente.

## Escenario de ejemplo

Mientras llega la tormenta, los administradores de las compañías de electricidad empiezan a prepararse. Empiezan comparando las mediciones de la potencia real y reactiva en medidores comerciales e industriales (C&I) para ver qué clientes comerciales todavía están manejando grandes cargas inductivas. Estas cargas indican la actividad de grandes motores eléctricos y indican que fábricas están funcionando o apagándose. Los medidores inteligentes proporcionan estas mediciones durante cortos periodos, permitiendo a los administradores de las compañías de electricidad ver que carga del motor se desprendió antes de una tormenta. La información sobre paros de fábrica puede enviarse a los coordinadores de desastres públicos. A continuación, los administradores de las compañías de electricidad verifican que se conoce que edificios y casas vacíos se han desconectado de la red mediante el envío de mensajes a los medidores inteligentes. Esta acción ayuda a prevenir incendios en caso de daños estructurales importantes que de lo contrario no se informarían. Si los circuitos aún están activos, los comandos de desconexión pueden enviarse a medidores inteligentes bien equipados y ejecutarse en segundos.

Debido a que la tormenta tenga fuerte vientos, inevitables interrupciones empiezan a ocurrir porque los activos de energía se interrumpen. En algunos casos, los alimentadores de distribución se cortan y la energía se restablece automáticamente a través de otra trayectoria. Sin embargo, en otros casos, los alimentadores de distribución se interrumpen completamente y se pierde la energía. Todavía en otros lugares, se cortan las caídas individuales o se dañan transformadores u otros activos. Estas interrupciones son extremadamente difíciles de diagnosticar desde un punto de vista de la compañía de electricidad, porque la mayoría de las compañías de electricidad tienen poca o nada de instrumentación en ellas. Similar a la niebla de guerra, los operadores de la compañía de electricidad están abrumados por las olas de información de llamadas telefónicas, los equipos de primera respuesta y sus propios equipos. Es difícil priorizar el trabajo o incluso saber qué tipo de equipo enviar a una ubicación particular.

Afortunadamente, pueden ayudar los medidores inteligentes. Los medidores inteligentes utilizan capacitores o baterías para almacenar energía suficiente como para enviar un mensaje “el último suspiro” en caso de pérdida de energía. Como esta información se recopila y analiza, comienza a emerger una imagen clara de las diferentes interrupciones. Si un grupo grande de medidores se apagan al mismo tiempo en el mismo alimentador de distribución, es probable que esté dañado el alimentador. Además, si todos los medidores en un transformador particular o calle particular informan de interrupciones, el problema puede aislarse a esa ubicación. Los medidores inteligentes pueden utilizarse incluso para detectar interrupciones en cables de acometida individuales si los vecinos aún tienen energía. Más importante aún, estas interrupciones pueden localizarse, analizarse y actuar mucho antes de que los consumidores las empiecen a reportar con llamadas telefónicas. Esto permite que la compañía de electricidad y los coordinadores de emergencia no solo sepan dónde se desconecta la energía, sino predecir cuándo será restaurada en las direcciones individuales.

En situaciones particularmente malas con daño significativo de edificaciones, puede ser necesario para los coordinadores de emergencia cortar la energía a ciertas áreas para minimizar el riesgo de incendio o lesiones por líneas energizadas hasta que puedan inspeccionarse, pero con el uso de medidores inteligentes, puede apagarse la energía remotamente a direcciones individuales reportadas por el personal de emergencia.

Si la capacidad de generación o del alimentador se afecta negativamente durante la tormenta, la compañía de electricidad puede elegir deshacerse de la carga mediante la implementación de un sistema de respuesta de la demanda. Esto permite que la compañía de electricidad envíe un mensaje para apagar los calentadores de agua, aires acondicionados y otros aparatos de manera temporal. Normalmente, los sistemas de respuesta de demanda se ofrecen a los consumidores a cambio de tarifas favorables para equilibrar la demanda y nivel de carga; sin embargo, durante una situación de desastre, estas mismas herramientas pueden utilizarse para reducir la carga en un sistema de distribución tensionado. Los medidores inteligentes habilitan esta función proporcionando la vía de comunicaciones para que la compañía de electricidad envíe comandos de carga a los aparatos del consumidor y verificar su ejecución.

Por último, durante la fase de restauración del desastre, los medidores inteligentes son críticos al informar la reanudación de la energía. A menudo hay interrupciones anidadas en un área. Cuando un equipo de la compañía de electricidad notifica a su despachador que se ha restaurado la energía, es un asunto sencillo verificar que todos los medidores inteligentes en esa área están respondiendo adecuadamente, pero a menudo una segunda interrupción oculta se expone más profundamente en el vecindario por los medidores inteligentes. Si es el caso, el equipo de la compañía de electricidad puede arreglar fácilmente mientras que aún está en el sitio, en lugar de enviar posteriormente otro equipo.

Los medidores inteligentes son críticos durante los desastres y la recuperación. En preparación para una emergencia, pueden utilizarse para desconectar edificios vacíos y detectar cargas de motores grandes. Durante el desastre, los medidores inteligentes proporcionan vistas prácticamente en tiempo real de las interrupciones y las perturbaciones antes de que se informen por los consumidores. La visibilidad que proporcionan reduce el tiempo de restauración proporcionando al personal de operaciones, equipos de campo y coordinadores de emergencia una vista del proceso de restauración.

# Los medidores inteligentes pueden reducir interrupciones de energía y tiempo de restauración

## Resumen general de los medidores inteligentes

Los medidores inteligentes tienen dos componentes principales: un medidor electrónico que mide con precisión la información de la energía y un módulo de comunicación que transmite y recibe datos. Los medidores inteligentes son parte de un sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) que consiste de medidores inteligentes, una red de comunicación y una aplicación IT para administrar la red y alimentar datos y eventos del medidor requeridos para diversos sistemas IT de la compañía de electricidad, incluyendo su sistema de gestión de interrupción (OMS). El OMS permite a una compañía de electricidad la mejor gestión de eventos de interrupciones y de restauración así como reducir los costos y duración de la interrupción.

## Eventos de una sola interrupción

Los clientes a menudo llaman a su proveedor del servicio eléctrico cuando tienen problemas con el servicio en sus hogares. Algunas de estas llamadas vienen como resultado de una interrupción grande o un problema de la compañía de electricidad. Varias otras llamadas se reciben por interrupciones de un solo cliente cuando existe el problema del lado del cliente del medidor. Sin un medidor inteligente, estos casos “sin luz” se resuelven típicamente durante una conversación telefónica con el cliente o, más a menudo, durante un viaje a la residencia del cliente.

Los medidores inteligentes permiten a la compañía de electricidad entender mejor si la interrupción está relacionada con el servicio o se relaciona con un problema en las instalaciones del cliente. La compañía de electricidad entonces puede tomar la acción apropiada para resolver el problema de manera oportuna y rentable. Los medidores inteligentes proporcionan información del estado de la energía automáticamente y bajo solicitud. La información generada automáticamente incluye la indicación “falta de la energía” cuando se pierde la energía y la indicación de “restauración de la energía” cuando se restablece la energía. Una compañía de electricidad del medio oeste ha visto un gran beneficio para esta capacidad desde la instalación de medidores inteligentes. Eliminado casi todo los viajes de sin luz innecesarios y ayudando a los clientes a abordar los problemas más rápidamente.

El volumen de las llamadas sin luz por año en promedio son de 1.5 por ciento de la base total de clientes, y hasta al 30 por ciento de llamadas de un solo cliente determinaron que no deben ser un evento de interrupción. Por ejemplo, una compañía de electricidad promedio con 1 millón de clientes puede promediar 15 000 llamadas sencillas sin luz por año que equivaldría a 4 500 eventos de interrupción al año que no son interrupciones con base en la compañía de electricidad.

## Eventos de interrupciones múltiples (tormentas)

Los eventos de interrupciones múltiples vienen en cada tamaño y forma, desde un solo fusible a una interrupción masiva ocasionada por un evento importante como un huracán o una tormenta de hielo. Tales interrupciones tienen un impacto negativo en los clientes. Realizar las oportunas reparaciones y servicio de restauración son una prioridad para las compañías de electricidad. Para restaurar la energía lo más eficientemente posible, el primer paso es entender el alcance de la interrupción actual de la energía. La mayoría de las compañías de electricidad utilizan OMS para aprovechar toda la información disponible, tales como llamadas telefónicas al cliente, para definir el número y la ubicación de los clientes afectados.

Antes de los medidores inteligentes y la tecnología más avanzada, la única entrada a OMS fueron las llamadas telefónicas de los clientes o equipos de inspección de la compañía de electricidad. Las llamadas telefónicas de los clientes siempre son importantes, pero en general, menos del 20 por ciento de los clientes afectados informan una interrupción por una variedad de razones, por ejemplo, no ser del hogar o que ya se ha reportado la interrupción. Como AMI recoge y envía los datos, el OMS los procesa y analiza utilizando las funciones de análisis de seguimiento y predicción de un modelo de red de distribución en tiempo real para determinar el impacto. El OMS hará una predicción para la localización de la falla y la medida y enviará los equipos apropiados para restablecer el servicio con base en la información disponible.

Los medidores inteligentes envían un último mensaje de grito ahogado al sistema OMS de la compañía de electricidad antes que el medidor pierda la energía. No todos los últimos mensajes de grito ahogado lo hacen, pero generalmente se reciben suficientes mensajes para ayudar a la compañía de electricidad determinar adecuadamente cuáles clientes se ven afectados. Los datos de interrupción del medidor inteligente pueden aumentar la precisión de las predicciones de interrupción y ayudar al personal de la compañía de electricidad para reaccionar fácilmente y con precisión a los problemas. El resultado final es que se restablezca la energía de los clientes más rápidamente y que las compañías de electricidad operen más eficientemente y reducir costos.

Otro beneficio de los medidores inteligentes es la verificación de la restauración de la energía. La verificación de la restauración se logra cuando un medidor informa después de volver a energizarse. Esto proporcionará verificación automatizada y positiva de que se han restaurado todos los clientes, no existen interrupciones anidadas, y las órdenes de problemas asociadas están cerradas antes de que los equipos de restauración dejen las áreas. Esto reduce costos, aumenta la satisfacción del cliente y reduce aún más la duración de la interrupción.

Durante un evento mayor y antes de la tecnología del medidor inteligente, era común para las compañías de electricidad enviar equipos para restablecer el servicio a un cliente cuyo servicio ya se había restablecido. Las compañías de electricidad maximizan el valor de los medidores inteligentes para la restauración del servicio a través de la integración automática con AMI y OMS. Esta integración proporciona al personal de la compañía de electricidad la capacidad de visualizar el alcance de los daños y realizar reparaciones de servicio eficientes.

## **Resumen de los beneficios de la mejora de la gestión de la interrupción**

Las compañías de electricidad pueden utilizar medidores inteligentes para determinar si una interrupción está dentro de la infraestructura de la compañía de electricidad o en una residencia privada, pueden reducir el innecesario y caro desplazamiento de camiones. Recopilando datos de los contadores inteligentes, las compañías de electricidad pueden rápidamente localizar y reparar los problemas del lado de la compañía de electricidad. Utilizan medidores inteligentes para encontrar problemas anidados a menudo causados por eventos climáticos severos. Los beneficios incluyen una reducción en millas de viaje, especialmente durante clima severo, que mejora la seguridad del trabajador y reduce las emisiones de carbón del vehículo. Los datos del medidor inteligente pueden ayudar a las compañías de electricidad a visualizar, analizar y gestionar reparaciones eficientemente, reducir los tiempos de interrupción y costos mientras verifica rápida y precisamente la restauración del servicio.

## **Prevención de la interrupción**

Las compañías de electricidad, sus clientes y sus reguladores quieren reducir el número y duración de las interrupciones. Las herramientas que reducen el número de interrupciones sostenidas incluyen poda de árboles, mantenimiento de la red e implementar la automatización para restaurar el servicio. Los medidores inteligentes informan varios eventos anormales, como las interrupciones momentáneas sobre una base por cliente, que a menudo son un precursor de una falla de la red. Esta información puede ayudar a una compañía de electricidad predecir cuándo puede ocurrir una futura interrupción sostenida y estar mejor preparados cuando ocurre.

El equipo de cierre automático, como restauradores del circuito, siguen el conteo de la operación, pero a menudo es difícil correlacionar estos conteos al número de eventos y problemas reales. Recopilando datos de interrupción momentánea detallada en un número selecto de medidores, las compañías de electricidad pueden identificar el número de eventos y localizar lugares donde existe mucha actividad. Mapeando los datos momentáneos, las compañías de electricidad pueden determinar dónde podría necesitarse una poda de árboles adicional o donde algún equipo puede estar defectuoso. Entonces, las compañías de electricidad pueden tomar medidas correctivas para eliminar el problema y evitar una posible interrupción sostenida. Si una compañía de electricidad está buscando mejorar su capacidad de evitar interrupciones, entonces debe agregar aplicaciones de mapeo y análisis para maximizar el valor de los datos del medidor inteligente. Estas aplicaciones de mapeo y análisis están disponibles, pero aún no están ampliamente implementadas para esta aplicación en particular.

## **Mapeo preciso**

Un beneficio de los medidores inteligentes que trabajan con herramientas de mapeo y análisis sería verificar la fase eléctrica a la que se conecta un medidor inteligente monofásico. Los datos de los medidores inteligentes pueden utilizarse entonces para verificar y corregir los mapas eléctricos de la compañía en el OMS. Es esencial que la relación entre un medidor inteligente y su circuito eléctrico sea correcta para asegurar que el OMS predice correctamente el alcance de la interrupción. La comprensión exacta de la fase a la que un medidor se conecta también mejorará la carga monofásica. Esto conduce a la mejor utilización de los recursos.

## **Historia de la interrupción y métricas de confiabilidad**

Eventos de todo encendido y todo apagado de la fecha y hora de los medidores inteligentes. Así, pueden calcularse duraciones y tiempos de interrupción precisos. Las compañías de electricidad pueden utilizar esta información para un cálculo más exacto de sus métricas de confiabilidad (SAIFI, CAIDI, SAIDI, etc.), identificando el desempeño general así como el mejor y peor desempeño de los circuitos. Las compañías de electricidad entonces pueden desarrollar el plan de acción más rentable para las inversiones futuras de modernización de la red.

Los medidores inteligentes reducen el tiempo de interrupción y restauración de energía y son benéficos para eventos solos y múltiples. Los datos del medidor inteligente pueden utilizarse con las aplicaciones de mapeo y analíticas para ayudar a prevenir futuras interrupciones de la energía y asegurar que los mapas eléctricos en el OMS son correctos para predicciones más exactas.

La resistencia de la red, eficiencia energética y optimización operacional siempre han sido fuertes impulsores para las compañías de electricidad. Cuando se integra con programas de automatización de la distribución y de confiabilidad de la red, las inversiones en AMI permitirán a las compañías de electricidad reforzar y fortalecer más la infraestructura crítica de la compañía de electricidad antes y durante las tormentas, reduciendo los costos de restauración y minimizando interrupciones al cliente.

# Preparación y restauración de redes de energía utilizando tecnologías de red inteligente

El crecimiento en frecuencia e intensidad de eventos climáticos plantea una amenaza directa para nuestra infraestructura energética, con interrupciones a gran escala convirtiéndose en el lugar más común. Esto corresponde a un aumento de los costos de reparación y respuesta para las compañías de electricidad para restaurar las redes eléctricas. Esta tendencia puede mitigarse con la integración de las tecnologías más nuevas y más inteligentes.

La red inteligente encabeza los esfuerzos de innovación en el desarrollo e implementación de estas nuevas tecnologías para mejorar las operaciones de la red de transmisión y distribución y confiabilidad, al tiempo que también permite nuevas interacciones con los clientes. La red inteligente puede reducir al mínimo las interrupciones durante un evento climático extremo por la gestión eficaz de interrupciones no planificadas así como mejorar la restauración de la infraestructura de la energía después de una tormenta, disminuyendo el impacto en la vida humana y la infraestructura crítica.

## Soluciones de distribución inteligente para la restauración de las redes eléctricas

La industria eléctrica introdujo el término de distribución inteligente para clasificar algunos de los retos crecientes de las compañías de distribución eléctrica. Abarca requisitos fundamentales para mantener la confiabilidad de la red y permitir la restauración más eficiente de tormentas severas y otros desastres naturales. La distribución inteligente soporta el concepto de restauración autónoma y auto-recuperación, la capacidad de restaurar las secciones sin daño de la red después de una falla sin intervención manual. La distribución inteligente también mejora la seguridad de la calidad del suministro y de la energía, la capacidad de la red de distribución para mantener el suministro a clientes en condiciones anormales y entregar una calidad de energía que satisface las necesidades del cliente.

Las lecciones aprendidas de los esfuerzos recientes de restauración han creado oportunidades para las nuevas tecnologías de red inteligente. Los ejemplos de la súper-tormenta Sandy proporcionan importantes puntos de vista en la preparación y recuperación de las tormentas. En el centro de todo el proceso están las comunicaciones; comenzaron dentro de la organización y continuaron con los clientes y personal de campo.

La capacidad para mantener a las partes interesadas informadas ayudó significativamente en salvar vidas y restablecer el servicio eléctrico. Los clientes con teléfonos inteligentes fueron capaces de recibir actualizaciones de sus compañías de electricidad y en algunos casos, también fueron capaces de ayudar a las compañías de electricidad a localizar puntos de problema. Las comunicaciones entre el cuarto de control de la compañía de electricidad y el personal de campo fueron críticas en la evaluación de los daños y comprender las opciones para restablecer el servicio. Después de Sandy, los programas de asistencia mutua trajeron al personal de campo de todas las partes de los Estados Unidos para ayudar con la restauración. Mantener el trabajo de infraestructura de comunicación es fundamental para los esfuerzos de recuperación eficiente de la tormenta.

Como parte de las implementaciones de la red inteligente, las compañías de electricidad han tenido la oportunidad de dar una nueva mirada en cómo podrían beneficiarse de las nuevas tecnologías y al mismo tiempo resolver algunas de las debilidades de sus sistemas IT operativos actuales. Un área que ha experimentado un crecimiento significativo es en sistemas diseñados para las operaciones de cuarto de control. Los sistemas de gestión de la distribución integrada (IDMS) incluyen módulos SCADA, gestión de distribución y gestión de la interrupción en una única plataforma IT.



IDMS proporciona conocimiento en tiempo real de la situación de la red eléctrica y las interrupciones al cliente y es accesible por el personal de campo durante el proceso de restauración. La integración de IDMS con medidores inteligentes a través de la infraestructura automatizada de medición (AMI) proporciona a los operadores del cuarto de control información en tiempo real de las interrupciones, en lugar de esperar las llamadas de los clientes. La capacidad de conectarse con estos medidores del cuarto de control permite a los operadores comprobar la restauración del servicio y la calidad de la energía y notificar a los clientes vía teléfono, correo electrónico o redes sociales.

IDMS también incluye aplicaciones de optimización de la red avanzada para localizar fallas y restaurar automáticamente la red de distribución llamada ubicación de la falla, aislamiento y restauración del servicio (FLISR). FLISR es capaz de trabajar en tándem con equipos de automatización de distribución avanzada (ADA) implementados como parte de la red inteligente. Las secciones que requieren intervención manual, IDMS proporciona información adicional para ayudar a guiar al personal de campo a la ubicación aproximada en lugar de que busque la falla manualmente, reduciendo las interrupciones al cliente. La integración de FLISR con ADA permite eficiente restauración de la red. Volver a la normalidad sin IDMS normalmente sería un proceso tedioso y manual. Esto reduce significativamente el trabajo de campo requerido de los esfuerzos de recuperación que implican a equipos de compañías de electricidad extranjeros que no están bien versados con los procedimientos de las compañías de electricidad locales.

Otra aplicación clave es el control volt/VAR<sup>2</sup> integrado que ofrece regulación de la tensión de conservación (CVR), energía eficiente, lo que permite el desplazamiento o la reducción de la carga pico manteniendo las operaciones de la red dentro de los límites regulados. CVR puede ser crítico para los esfuerzos de restauración de la compañía de electricidad cuando el suministro de energía se ha alterado debido a interrupciones del generador o la pérdida de corredores críticos de la red.

Las compañías de electricidad generalmente realizan un entrenamiento y simulacros extensivos para preparativos en caso de tormenta para asegurar que sus empleados, sistemas y procesos de negocios están listos para reaccionar en caso de emergencia.

IDMS incluye el simulador de entrenamiento de operaciones de distribución de vanguardia (DOTS) que se utiliza para preparar a los ingenieros y operadores del cuarto de control para manejar esfuerzos de restauración después de tormentas severas. DOTS es capaz de recrear escenarios de eventos de tormenta anteriores, incluyendo simulación de llamadas de clientes y mensajes de apagado del medidor inteligente, proporcionando un entorno de simulación de vida real. El DOTS también pueden utilizarse para preparar la red de distribución para una tormenta mediante el estudio de los planos de conmutación a la isla de forma segura o desconectar partes de la red, previniendo la degradación adicional durante una tormenta y permitiendo una restauración más rápida después de la tormenta.

## **Equipos de distribución inteligente para la restauración**

Nuevas capacidades y funcionalidad de los dispositivos existentes pueden proporcionar alternativas para la restauración del sistema automatizado y una recuperación más rápida de los impactos de los desastres naturales. Como parte de la gama de equipos que pueden optimizar la implementación de la red inteligente, el restaurador es un dispositivo diseñado para interrumpir corrientes de carga y de falla. Cerrando varias veces en una secuencia predefinida, el restaurador puede rápidamente reparar el servicio después de una falla temporal. Tradicionalmente, su función es proporcionar protección contra sobrecorriente y normalmente se instalan en el alimentador de distribución. Las ubicaciones del restaurador están optimizadas para proteger partes del sistema de distribución donde las fallas son más frecuentes con el fin de mejorar la confiabilidad del servicio. Su capacidad para interrumpir la falla y volver a energizar más cerca a la localización de la falla permite la continuidad del servicio anterior. También puede utilizarse para configurar la red de distribución en rizos cuando se utiliza como un dispositivo de enlace normalmente abierto para aumentar la flexibilidad operacional.

---

<sup>2</sup> volt-ampere reactivos

Los restauradores modernos tienen asignaciones aumentadas de interrupción de la corriente de falla, capacidad operativa de polo independiente y disminución del tiempo muerto durante el cierre automático. Debido a su mayor capacidad de interrupción de la corriente, los restauradores se están instalando más cerca a o en la subestación.

El tiempo muerto se define como el intervalo entre la interrupción de la corriente en todos los polos en la operación de abertura y el primer restablecimiento de la corriente en la operación de cierre posterior. Ahora los restauradores son capaces de tiempos muertos en el intervalo de 100 ms para interrupciones de servicio muy breve. Sin embargo, el tiempo de cierre debe ser lo suficientemente largo para permitir eliminar la falla. Los restauradores pueden ser operados en forma trifásica o monofásica. La mayoría de las fallas en una red de distribución son fallas monofásicas. El desarrollo de los restauradores monofásicos permite la abertura y cierre solo en la fase con falla. El disparo y cierre monofásico aumenta la continuidad del servicio, lo que permite una operación temporal con sólo dos fases. Además, los restauradores que operan un solo polo pueden realizar operaciones de cierre controlado. En un cierre controlado, cada fase de la red se energiza en instantes de tiempo óptimo para reducir las corrientes y tensiones transitorias. Esto reduce el estrés en equipos de la red y cargas sensitivas durante la restauración del servicio.

Además, los restauradores modernos incluyen sensores de tensión y corriente; incorporan dos vías de comunicaciones y pueden equiparse con controladores inteligentes. Estas características permiten capacidades y funcionalidad adicionales. Las mediciones de tensión y corriente permiten la implementación de esquemas de protección adicional incluyendo la direccionalidad (discriminación del lado con falla) y protección contra baja/sobre tensión. También, permiten la supervisión de la falla (éxito en la eliminación de la falla, resultados de las operaciones de cierre, acumulación de historia de fallas, registros de fallas de corriente y tensión) y control de la carga. La comunicación de dos vías permite la transmisión de comando remoto, informe sobre el estado (abierto o cerrado) y transmisión de datos y eventos. La comunicación permite la integración del restaurador al sistema SCADA. Por último, los controladores inteligentes contienen lógica de funcionamiento, estiman la vida remanente y condición del dispositivo y pueden programarse remotamente para flexibilidad y condiciones cambiantes, así como programarse para almacenar, enviar y recibir datos y comandos.

Una gran tormenta u otro evento meteorológico puede causar fallas múltiples dentro de un corto tiempo en el sistema de distribución. Algunas de estas fallas son temporales y pueden eliminarse por restauradores, otras son repetitivas, y algunas son permanentes. El número máximo de operaciones de cierre permisible puede excederse durante fallas repetitivas o permanentes. En esta situación, los restauradores múltiples se bloquean abiertos, dejando a los alimentadores y secciones del sistema de distribución sin energía. Durante y después de una tormenta, puede programarse un grupo de restauradores inteligentes para operar en una secuencia predefinida para restaurar automáticamente el servicio a las secciones del sistema de distribución que no se han afectado en forma permanente. La información capturada por los controladores individuales durante el evento puede ser transmitida y analizarse en una ubicación central para evaluar la condición de la red que se permite. Esto permite la optimización de recursos y equipos de línea necesarios para reparar porciones de la red afectada por fallas permanentes y reduce el tiempo de recuperación.

## **Inversiones a corto plazo para obtener ventajas a largo plazo**

Los eventos climáticos extremos y sus impactos asociados están causando a las compañías de electricidad a cuestionar sus actuales sistemas tecnológicos y operativos. Como componentes esenciales de una red eléctrica más inteligente, los sistemas de gestión de la distribución integrada han demostrado ya que soportan la preparación y restauración de la tormenta, así como reducir las interrupciones de servicio. El costo inicial para invertir en equipos y sistemas de red inteligente se compensa por la reducción en las implicaciones de todos los costos cada que se produce una tormenta. Estas tecnologías también pueden disminuir dramáticamente el impacto sobre la vida humana y la infraestructura crítica. Las compañías de electricidad que han invertido en tecnologías de redes inteligentes son capaces de preparar mejor a su personal, gestionar sus redes, aumentar la satisfacción del cliente y cumplir con sus objetivos regulatorios.

# Clima severo y automatización de la red de distribución

## Sistemas de distribución y su susceptibilidad a eventos climáticos severos

El sistema de distribución aérea es vulnerable a fenómenos climáticos severos como los huracanes, viento, lluvia, relámpagos, hielo, aguanieve y nieve. Estos eventos pueden desafiar la resistencia de la red de distribución eléctrica y pueden resultar en interrupciones del servicio eléctrico.

Debido a esta vulnerabilidad, a menudo se considera mover los circuitos bajo tierra. Los sistemas subterráneos, sin embargo, son significativamente más caros que los sistemas aéreos y no son inmunes a los efectos climáticos. Las inundaciones pueden anegar rápidamente bóvedas e instalaciones subterráneas relacionadas conduciendo a interrupciones significativas. Las reparaciones con interrupciones subterráneas típicamente son más complejas, más caras y resultan en mayor tiempo de restauración.

## Mejores prácticas y madurez de la red de distribución

Hoy en día, las redes de distribución de la compañía de electricidad se operan utilizando una amplia gama de sistemas. Los más comunes consisten en un sistema de operación manual de los interruptores automáticos de la subestación a los interruptores de desconexión de la línea. Los sistemas más maduros incluyen relevadores de protección avanzada y controladores en la estación y en puntos estratégicamente seleccionados, controlados por software de automatización avanzada y bajo supervisión del operador remoto.

Para maximizar los beneficios y minimizar los costos de sistemas de automatización de la distribución (DA), las compañías de electricidad a menudo los priorizan. Implementan diferentes niveles de automatización, dependiendo de la criticidad de la carga, el número de clientes atendidos y factores técnicos tales como la infraestructura de las comunicaciones disponibles y niveles de control remoto existentes. La mayoría de las compañías de electricidad también intentan coincidir con el nivel de automatización a disposición de los consumidores para pagar por los niveles más altos.

Los circuitos más problemáticos se miden en minutos de interrupción total del cliente y en la frecuencia de las interrupciones sostenidas. Estos circuitos con peor desempeño se clasifican para recibir el más alto nivel de automatización. Las interrupciones asociadas con circuitos aéreos ocurren más frecuentemente que con los circuitos subterráneos, pero suelen ser de más corta duración. Figura 1 muestra un método común de circuitos pedidos con base en minutos de interrupción total del cliente por año.

Los datos permiten a una compañía de electricidad seleccionar un número menor de circuitos, 200 en este ejemplo, lo que representa 22 por ciento del número total de circuitos, pero representaron el 70 por ciento de los minutos de interrupción anual promedio total.

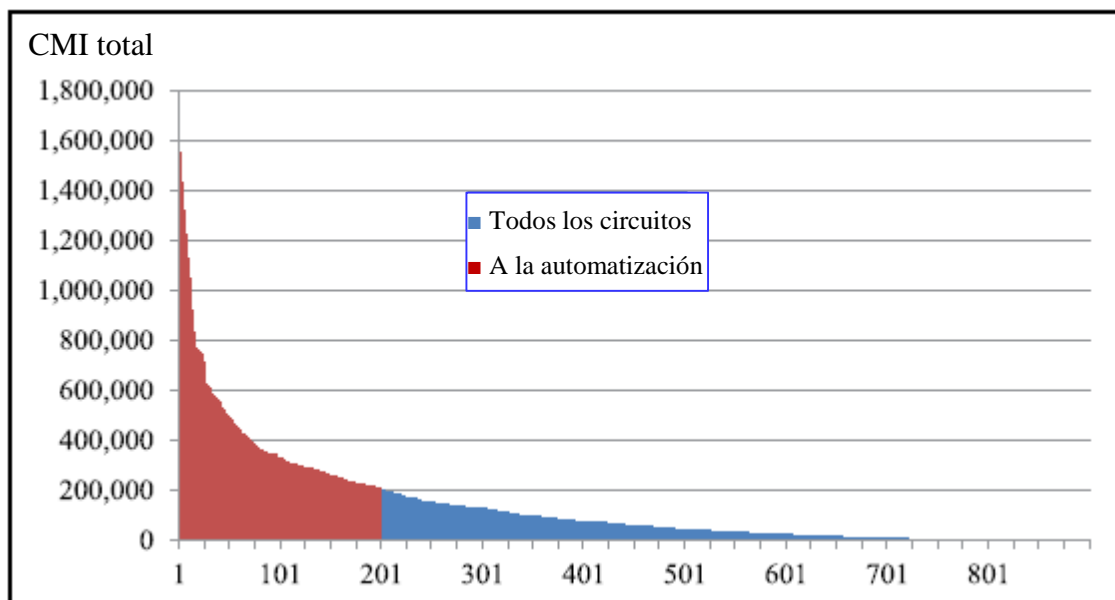


Figura 1: Ejemplo del método de priorización

## Automatización de la red de distribución y beneficios del sistema

Los sistemas de automatización más avanzados pueden reducir los tiempos de interrupción detectando automáticamente una falla, aislando la sección con falla de la red y restaurar el servicio a las secciones sin falla. El operador de la distribución entonces dirige un equipo para reparar el problema, restaurar el servicio y regresar el sistema a la normalidad. Esto puede reducir el tiempo y la frecuencia de las interrupciones y reducir los costos de localizar la falla y operar manualmente los interruptores. Estos sistemas también pueden mejorar la seguridad para el público y los trabajadores de la compañía de electricidad puesto que las fallas, tales como cables caídos, se eliminan rápidamente y los trabajadores de la compañía de electricidad pueden gestionar de manera eficiente su trabajo ya que pueden visualizar y controlar gran parte de la red de distribución.

Los eventos climáticos como huracanes o tormentas de invierno pueden desafiar la capacidad de una compañía de electricidad de restaurar la energía utilizando DA. Por ejemplo, las interrupciones pueden ser generalizadas y gran parte de la infraestructura de la red puede ser des-energizarse, reduciendo las opciones para restaurar las secciones sin falla.

Sin embargo, la supervisión remota y control del sistema de distribución pueden reducir significativamente los tiempos de reparación y restauración.

## Estudio del caso de modernización de la red de distribución NSTAR<sup>3</sup>

NSTAR es una compañía operativa de las compañías de electricidad del noreste que entrega electricidad segura y confiable a 1.1 millones de clientes eléctricos en 81 comunidades del este, centro y sureste de Massachusetts. Esto hace que las decisiones de modernización de la red se enfoquen en inversiones de mejora de la infraestructura de la red para proporcionar un servicio más seguro, más confiable y rentable para los clientes.

NSTAR ha hecho inversiones significativas en DA y otros equipos de red inteligente orientados a la red. Su sistema DA utiliza sensores que se comunican con operaciones remotas y se administran por un sistema de restablecimiento automático.

<sup>3</sup> Gelbien, Larry, Vice President of Engineering, NSTAR, and Schilling, Jennifer, Director of Asset Management, Western Massachusetts Electric Company. "Electric Grid Modernization Working Group Kick-Off Workshop," Department of Public Utilities, State of Massachusetts, November 14, 2012

El sistema consiste de un control de supervisión remota de más de 2 000 interruptores aéreos y subterráneos y más de 5 000 sensores de tensión y corriente. Casi el 80 por ciento de los clientes de NSTAR se benefician de su sistema DA.

El sistema de restauración automática NSTAR tiene tres modos de operador:

- Modo 1 supervisor — aprovecha el control remoto de interruptores y utiliza secuencias controladas del operador.
- Modo 2 reconocimiento operacional — utiliza secuencias de restauración simuladas por computadora y validación y ejecución del operador.
- Modo 3 auto-regeneración — secuencias de restauración que se determinan y ejecutan por computadora con poca intervención humana.

## Desempeño del sistema de automatización de la distribución NSTAR

Puesto que el sistema NSTAR DA primero fue implementado en 2004, se han evitado más de 600 000 interrupciones al cliente debido al seccionamiento de la red automatizada. Además, los clientes de NSTAR han experimentado beneficios resultantes de menos y más cortas interrupciones. Los operadores de NSTAR también han sido capaces de restaurar rápidamente la energía a los clientes utilizando una combinación de su sistema DA y el sistema de automatización de la transmisión. En 2011 durante la tormenta tropical Irene, NSTAR tuvo un total de 506 000 interrupciones al cliente y 232 000 clientes fueron restaurados en menos de una hora. Para las interrupciones durante los primeros nueve meses de 2012, 71 000 clientes evitaron una interrupción sostenida y 163 000 clientes se restauraron dentro de cinco minutos o menos. En 2012, la súper-tormenta Sandy impactó a 400 000 clientes y se restauraron 274 000 clientes en las primeras 24 horas.<sup>4</sup>

## Tendencias de la industria

Como con sistemas más maduros, los beneficios pueden llegar a ser cada vez más difíciles y costosos de lograr. La industria de las compañías de electricidad continúa buscando maneras de aprovechar los avances que ayudan a reducir el costo de ahorrar un corte adicional o reducir una interrupción adicional en un minuto.

El avance más común es una reducción adicional en los costos del sistema de sensor y de comunicación. Varias de estas reducciones vienen de aprovechar la funcionalidad adicional para obtener beneficios adicionales. Es común aprovechar la red de comunicaciones para usos adicionales incluyendo otras funciones de automatización tales como optimización de VAR y de la línea de retorno de la infraestructura de medición avanzada (AMI). Esto ayuda a reducir los costos de infraestructura de la red de comunicaciones.

Algunas compañías de electricidad aprovechan sus sistemas AMI para detectar o comprobar las interrupciones al cliente. Esto ayuda a reducir el tiempo de respuesta a una interrupción y mejora la capacidad para detectar una interrupción anidada. Varias compañías de electricidad también utilizan sistemas AMI para verificar una interrupción cuando reciben una llamada de "sin luz". Esto reduce los costos de validar manualmente la interrupción.

Las compañías de electricidad también están utilizando los medios sociales para entender mejor la ubicación de un problema y comunicarse con los clientes. Esto proporciona una cantidad significativa de datos que pueden analizarse y visualizarse por los operadores, el mantenimiento y los equipos de campo.

El clima severo desafía la resistencia de la red de distribución eléctrica; sin embargo, el compromiso de las compañías de electricidad para modernizar aún más la red puede cosechar los beneficios de reducir tiempos de interrupción, mejorar el servicio al cliente y gestionar mejor los costos. Estos esfuerzos preparan a la compañía de electricidad y su red de distribución para el próximo gran desafío.

---

<sup>4</sup> [www.nstar.com/ss3/nstar\\_news/press\\_releases/2012/NSTAR Sandy Restoration Update 10-31.pdf](http://www.nstar.com/ss3/nstar_news/press_releases/2012/NSTAR_Sandy_Restoration_Update_10-31.pdf)

# Integración de una localización de fallas, aislamiento y restauración del sistema en un sistema de gestión de la interrupción

Las compañías eléctricas a menudo emplean un sistema de gestión de la interrupción (OMS) para ayudar a determinar la ubicación de un dispositivo de protección que responde a una falla en su sistema de distribución. Este sistema también puede ayudarles a priorizar esfuerzos de restauración con base en el alcance de la interrupción y el número de clientes afectados.

Cuando se recibe una llamada por problemas, la compañía de electricidad envía un equipo para encontrar el sitio del problema. Si la compañía de electricidad tiene capacidad de SCADA, puede tener una idea de la ubicación, pero no el fusible exacto que se abrió o hasta qué punto está la falla del restaurador bloqueado. La ubicación de la falla y restauración de la energía puede tomar de 20 minutos a varias horas. La gestión de la interrupción después de una tormenta en una amplia zona a menudo requiere un gran número de equipos de la compañía de electricidad y gran cantidad de material. La restauración de la energía puede tomar días o más.

Si la mayor parte del sistema de distribución todavía es funcional, un sistema de localización de fallas, de aislamiento y de restauración (FLISR), integrado en el OMS, puede restaurar la energía en las partes sin falla de una línea con falla en segundos.

Los sistemas FLISR pueden utilizar una arquitectura ya sea de inteligencia centralizada o de inteligencia distribuida. Los sistemas que utilizan inteligencia distribuida ofrecen una ventaja clave en que aún pueden funcionar si se produce una falla de comunicación de los dispositivos en el campo de regreso a la central de operaciones de la compañía de electricidad. Con el cambio de decisiones hechas localmente, los sistemas FLISR que utilizan inteligencia distribuida puede responder rápidamente; no hay necesidad de transmitir continuamente datos a la central de operaciones y esperar instrucciones.

De acuerdo con un informe de la Comisión Federal Reguladora de Energía de 2006, menos del 20 por ciento de los alimentadores de distribución en los Estados Unidos están automatizados de alguna manera. En la mayoría de los casos, la implementación de un sistema FLISR requiere la adquisición de equipo para proporcionar detección y automatización de las líneas. Están disponibles varios tipos de sistemas FLISR y cada uno puede localizar y aislar fallas sin necesidad de un operador o equipo de campo y pueden minimizar la zona de interrupción re-direccionando la energía. Algunos, sin embargo, pueden sólo manejar un número limitado de dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs). Otros no pueden reequilibrar la carga después de que el sistema se ha reconfigurado. El lugar donde se toman decisiones de restauración por el FLISR puede tener un efecto dramático en la velocidad de la restauración.

## Sistemas FLISR centralizados

Los sistemas FLISR centralizados utilizan interruptores con base en SCADA y sensores ubicados en puntos clave en el sistema de distribución para detectar una interrupción, localizar el área con falla, aislar la falla y restablecer el servicio en áreas con falla.

Algunas operaciones de conmutación pueden realizarse automáticamente dependiendo de las capacidades de los IEDs y dispositivos seccionadores y la velocidad de comunicación del sistema SCADA. En varios casos, el sistema sólo envía una alarma al centro de control que debe activarse por un despachador. La restauración puede tomar más de 20 minutos.

En un sistema FLISR centralizado, son esenciales, la comunicación de datos bidireccional confiable y segura y un procesamiento central potente. La comunicación punto a punto o punto a multipunto se utiliza con datos recopilados en las subestaciones de distribución transmitidos hacia el sistema FLISR.

El sistema sondea individualmente cada control de la subestación y el IED servido por esa subestación y recopila cada respuesta antes de emitir un comando de restauración. Este arreglo es susceptible a un sólo punto de falla a lo largo de la vía de comunicación. La incorporación de vías de comunicación redundante generalmente es de costo prohibitivo.

Los sistemas FLISR centralizados requieren una gran cantidad de ancho de banda para operar. La adición de dispositivos en el sistema crea la latencia y aumenta el tiempo de restauración porque los dispositivos del sistema encuestan y recopilan datos. Un sistema punto a multipunto fácilmente puede saturarse y ser incapaz de procesar la información enviada desde múltiples dispositivos de campo al centro de control. Así que cuando más se necesita el sistema FLISR — durante una tormenta generalizada, desastre natural, ataque cibernético o período de carga alta, es más probable que un sistema centralizado experimente problemas.

Los sistemas FLISR centralizados también pueden ser más costosos y el tiempo de implementación más largo. Requieren mucho tiempo de integración con el sistema de distribución (DMS), puesta a punto y datos de limpieza del sistema de información geográfica (SIG) antes de que sean confiables. Cuanto mayor sea el nivel de automatización deseado, necesita programarse más lógica en el sistema, que puede hacer difícil el crecimiento futuro. Además, integrar un sistema FLISR centralizado con un sistema de control DMS o SCADA existente pueden disminuir la potencia de procesamiento de datos valiosa y ancho de banda que se necesita para el análisis del flujo de energía y balance de la alimentación.

## **Sistemas FLISR con base en la subestación**

Los sistemas FLISR con base en la subestación utilizan controles lógicos principales ubicados en las subestaciones de distribución; Estos sistemas trabajan con sensores de falla y equipos fuera de los alimentadores. Típicamente se requiere un centro de control de la subestación o “casa de relevadores”. Varios de estos sistemas pueden integrarse con control de capacitores con base en la subestación o sistemas de optimización volt/VAR.

Con los sistemas FLISR con base en la subestación, considerable carga cae si los interruptores automáticos de la subestación se utilizan para interrupción de la falla. Si se utilizan restauradores para interrupción de la falla, los esquemas de protección y seccionamiento de los IEDs deben resolverse antes de que el sistema pueda empezar la restauración del servicio. Cuando se ha completado la protección y el seccionamiento, el sistema FLISR encuesta al IEDs en gran parte al igual que con un sistema centralizado, recopilando datos sobre el estado de cada interruptor antes de emitir un comando de restauración.

Los sistemas FLISR con base en la subestación pueden tomar de tres a cinco minutos para restaurar la energía a las secciones sin falla dependiendo de la configuración de los IEDs y la distancia entre los controles de la subestación y los dispositivos. Un sistema FLISR con base en la subestación puede tener un sólo punto de falla: Si falla la comunicación del control de la subestación principal, todo el sistema queda fuera de línea.

A diferencia de un sistema FLISR centralizado, un sistema con base en la subestación no puede agregarse a un DMS existente. Si el equipo de comunicación, el control de la energía y una caseta de control no están disponibles en las subestaciones, añadirlos pueden ser costosamente prohibitivo. Los sistemas FLISR con base en la subestación pueden ser complicados para configurar, difíciles de ampliar y de mucho tiempo para aplicar, dependiendo de los IEDs seleccionados, la comunicación y el alcance deseado de la integración con un sistema SCADA existente.

## Sistemas FLISR de inteligencia distribuida

Los sistemas FLISR con inteligencia distribuida y las redes de malla son más fáciles de configurar y más rápidos de implementar. Fácilmente pueden integrarse en un SCADA existente o también a un sistema de automatización de distribución. Estos sistemas generalmente operan en segundos y pueden configurarse con la capacidad de “auto-regeneración”, redirigir la energía y desprenderse de cargas no esenciales en situaciones de múltiples contingencias.

Los sistemas FLISR de inteligencia distribuida también ofrecen un alto grado de escalabilidad. Pueden agregar uno o dos puntos de restauración automática en un lugar problemático en un alimentador o en todo el sistema de distribución — desde la subestación hacia fuera — pueden automatizarse con múltiples fuentes e interconexiones. Los sistemas FLISR de inteligencia distribuida pueden integrarse con una variedad de dispositivos de detección y seccionamiento de fallas y funcionan más rápido que los sistemas FLISR centralizados o con base en la subestación. A partir de algunos de estos dispositivos y aumentando sus números aumentan como requisitos de crecimiento o que el presupuesto lo permita, los sistemas de inteligencia distribuida son más fáciles de ampliar.

Con la comunicación de red de malla, cada dispositivo puede comunicarse a y alrededor de uno con el otro. La redundancia se construye en las vías de comunicación, proporcionando la capacidad de auto-regeneración para la red de comunicación si uno o más miembros de la malla dejan de funcionar. Los sistemas FLISR de inteligencia distribuida incluyen características de seguridad para evitar la conmutación automática mientras los equipos están trabajando en los alimentadores.

A diferencia de los sistemas FLISR centralizados, los sistemas FLISR de inteligencia distribuida, pueden instalarse sin implementar un DMS o GIS. No es necesaria la depuración extensiva de datos de un GIS existente y no hay necesidad de controles o una caseta de control en las subestaciones de distribución. Aunque son totalmente compatibles con sistemas SCADA, los sistemas FLISR de inteligencia distribuida no requieren un sistema SCADA para operar.

Los sistemas FLISR de inteligencia distribuida requieren la implantación de IEDs fuera en la línea. En varios casos, puede implementarse el software de control en los equipos existentes mediante la adición de un módulo de control de interfaz. Si se utiliza un DMS, la implementación de un sistema FLISR de inteligencia distribuida liberará ancho de banda y procesamiento de energía a estos sistemas, lo que les permite proporcionar análisis de flujo de energía y otras funciones que requieren más datos, tiempo y energía de procesamiento de datos.

Dependiendo del número de IEDs incluidos en el sistema, un sistema FLISR de inteligencia distribuida puede estar funcionando dentro de unos días o semanas.

## Ejemplo de resultados del sistema FLISR de inteligencia distribuida

La ciudad de Chattanooga implantó un sistema FLISR de inteligencia distribuida para reducir el impacto de las interrupciones de energía, que se estima tiene un costo a la comunidad de \$100 millones al año. El 5 de julio de 2012, una tormenta severa asoló la ciudad, provocando interrupciones generalizadas. La compañía de electricidad, EPB, realizó una reducción del 55 por ciento de la duración de las interrupciones experimentadas por sus clientes, aproximadamente el 90 por ciento de los dispositivos de detección y seccionamiento de fallas se programaron para la restauración automática de la energía.



EPB estima que fueron capaces de restaurar la energía a todos los clientes casi un día y medio antes de lo que hubiera sido posible antes de implementar su sistema FLISR. La compañía de electricidad había estimado que ahorraron aproximadamente \$ 1.4 millones en costos de restauración.

## Recomendaciones de la hoja de ruta

La implementación de un sistema FLISR por lo general involucra una serie de pasos, incluyendo:

- Una encuesta del sitio de comunicación para asegurar la fuerza de la señal aceptable entre los IEDs y la radio SCADA de cabecera, si procede
- Un estudio de coordinación del dispositivo de protección contra sobrecorriente para seleccionar apropiadamente los dispositivos de protección asignados y sus ajustes
- Determinación de las configuraciones del IED
- Pruebas de aceptación en fábrica del IED para verificar que el sistema funcionará con las configuraciones de la protección específica de la compañía de electricidad, las corrientes de falla disponibles, cargas conectadas, etc.
- Entrenamiento del personal de la compañía de electricidad
- Integración SCADA, si procede
- Puesta en servicio del sistema

# Mejorar la resistencia de la red a través de ciberseguridad

La red eléctrica es uno de los activos de infraestructura más importantes de nuestro país. Cada aspecto de nuestra economía y prácticamente todos los aspectos de la vida moderna dependen del flujo confiable de electricidad en nuestros hogares y empresas. Una falla del sistema debida a un ataque cibernético, especialmente durante condiciones climáticas severas u otro evento puede tener efectos devastadores a nivel local y regional.

Puesto que las compañías de electricidad se apresuran a restablecer el servicio durante una interrupción, necesitan tener confianza en que el sistema puede ser restaurado a un “estado correcto conocido”, asegurando que un sistema o proceso inicia y funciona en condiciones aceptables y verificables. Esta confianza depende en gran medida en la capacidad de la compañía de electricidad para identificar cambios intencionales o no intencionales a los programas operacionales o configuración del equipo, que podría causar daño adicional o prolongar las interrupciones si no se detectan. Como resultado, las compañías de electricidad deben mantener un alto nivel de confianza en sus sistemas para garantizar el retorno a un estado correcto conocido.

La ciberseguridad eficaz requiere de múltiples capas de defensa para proteger la base de una operación de intrusiones y actividades no autorizadas. Las aplicaciones comunes de defensa profunda incluyen políticas de comportamiento, cortafuegos, sistemas de detección de intrusos y procesos de gestión de parches. Los controles con base en la confianza pueden mejorar la ciberseguridad y mejorar la resistencia de la red global.

## Establecimiento de la confianza

La red eléctrica moderna de hoy se compone de varios diferentes activos que trabajan juntos para controlar el flujo y la entrega de energía. La compañía de electricidad depende de cada pieza del equipo para llevar a cabo una función específica, y a menudo ese equipo se localiza remotamente. Aunque el operador confía implícitamente en el equipo para trabajar continuamente en la forma prevista, existe la posibilidad de que un individuo, ya sea con mala intención o por descuido, podría modificar la configuración del equipo o programa de operación, dando por resultado activos dañados, interrupciones prolongadas o la seguridad comprometida.

Esto plantea varias cuestiones fundamentales para el establecimiento de la confianza:

- Previsión — ¿Quién construyó el equipo? ¿Quién lo entregó? ¿Quién lo instaló?
- Gestión — ¿Quién lo gestiona? ¿Quién podría haberlo manipulado o modificado?
- Estado: ¿El equipo está parchado? ¿Existe un virus? ¿Se tiene un juego de herramientas?

Estas cuestiones conciernen a la gestión de la cadena de suministro y la operación del equipo instalado en la red. Las compañías de electricidad controlan sus cadenas de suministro y sólo tienen personal capacitado autorizado que instala y mantiene el equipo. Las compañías de electricidad realizan pruebas de desempeño del sistema para asegurar que los componentes y sistemas funcionan correctamente después de la instalación y cuando los sistemas se modifican. Sin embargo, estas pruebas operacionales a menudo no son suficientes para garantizar que el sistema es seguro.

Las operaciones seguras exigen conocimiento de que el equipo está configurado y funciona correctamente. Si existen ambas condiciones, la compañía de electricidad tiene confianza en el nivel de confianza de la red y sabe que es un nivel específico de seguridad para ayudar a defenderse contra intrusiones y eventos inesperados.

## Determinación de la operación consistente del equipo

Cuando una compañía de electricidad enciende un equipo complejo, el operador debe tener confianza en que el activo se desempeñará constantemente en un estado correcto conocido. Para lograr esto, los equipos modernos a menudo incluyen un módulo de plataforma confiable (TPM) para controlar la secuencia de arranque del dispositivo. Un TPM es un circuito integrado que mide el software residente en el equipo cuando se inicia.

En el encendido, un TPM medirá y validará el código de inicio tomando un “control” en el archivo y lo compara con un control correcto conocido antes de permitir la ejecución del programa. Una función de control criptográfica es un algoritmo que toma un bloque de datos como un archivo o programa y regresa un único número que es similar a un largo número de serie. El valor control (criptográfico) establece la identidad del dispositivo, con cambios subsecuentes en los datos o programa dando por resultado un cambio en el valor de control. Comparando el valor de control medido al valor conocido, el TPM puede identificar modificaciones al código y alerta al operador de la compañía de electricidad, que a su vez determinará si debería permitirse que el equipo vuelva a conectarse. Las funcionalidades TPM en última instancia, pueden mejorar la conciencia situacional de la compañía de electricidad y fortalecer la resistencia de sus redes a una gama de amenazas.

## Configuración del control

La configuración del equipo controlado consiste en dos actividades: establecer parámetros de operación y actualización del software embebido. Los operadores necesitan saber si los parámetros operativos cambian y caen fuera de los límites de tolerancia. Las compañías de electricidad también necesitan la capacidad de actualizar de forma remota y automáticamente el software embebido como parches de seguridad disponibles.

Actualmente, más compañías de electricidad manualmente configuran y actualizan el software incorporado, ya sea en su centro o mediante el envío de un técnico al campo. Este es un proceso lento y costoso que a menudo resulta en múltiples niveles de revisión, que atraviesa la base del equipo de la compañía de electricidad. Históricamente, las compañías de electricidad han sido lentas para implementar actualizaciones oportunas.

Mediante la implementación de una red de comunicaciones de dos vías moderna, una compañía de electricidad puede configurar de forma remota parámetros operativos de un dispositivo y supervisar continuamente anomalías o cambios en la configuración del equipo. Si se producen estos eventos, se notifica automáticamente al centro de control y se asigna un operador para determinar un curso de acción.

En este escenario, el centro operacional mantiene la configuración de todos los dispositivos en una base central de datos segura. Como se reciben alertas de cambio no autorizado, el personal de la compañía de electricidad puede tomar acciones para determinar los próximos pasos apropiados incluyendo empujar remotamente la configuración correcta hacia el dispositivo. Si un técnico autorizado cambia el dispositivo en el campo, el personal de la compañía de electricidad en el centro de control puede jalar la configuración desde el dispositivo reprogramado y actualizar el repositorio central con la nueva configuración. Como con funcionalidades TPM, el control de la configuración puede mejorar el tiempo de respuesta de la compañía de electricidad ante eventos inesperados y mejorar la resistencia del sistema.

## Actualizaciones del Software

Los proveedores periódicamente liberan actualizaciones de los programas de software que se ejecutan en equipos y sistemas de la compañía de electricidad. Como en el caso de las prácticas actuales de control de la configuración, las compañías de electricidad suelen enviar un técnico al campo para actualizar manualmente los dispositivos. Esto conduce a un problema similar de múltiples versiones de software ejecutándose a través del equipo base de la compañía de electricidad.

Utilizando la misma red de comunicaciones descrita anteriormente, las compañías de electricidad pueden actualizar remotamente los dispositivos de campo desde el centro de control. Este proceso puede asegurarse mediante una combinación de certificados de claves privadas específicas de proveedores y certificados de clave pública incorporados. Específicamente, un proveedor de software firmará digitalmente una actualización del software con un único certificado de clave privada. Mediante el uso de la clave firmada pública del vendedor, la compañía de electricidad puede verificar que la actualización del software vino de proveedor y no fue alterada en tránsito. El vendedor también debe incorporar el certificado de clave pública de usuarios autorizados en el hardware antes de su envío. Esta metodología de certificados permite a un dispositivo verificar la firma de un usuario antes de aceptar una actualización del software, introduciendo un control adicional con base en la confianza para las operaciones de la compañía de electricidad. Para evitar la operación simultánea de versiones incompatibles del software, el sistema que actualiza el software incorporado debe funcionar en modo completo transaccional. Esto permite a un operador especificar un grupo de dispositivos a actualizar con un solo paquete de software. Al final del proceso de actualización, todo el equipo deberá ejecutar el mismo nivel de revisión; sin embargo, si falla una actualización, todos los dispositivos retroceden a su versión anterior para asegurar operaciones consistentes y confiables.

## Recomendaciones de la hoja de ruta

Los operadores de la compañía de electricidad deben considerar establecer confianza en el equipo en sus sistemas con el fin de mejorar la resistencia de la red. Mientras que los controles con base en la confianza están diseñados para defenderse contra las amenazas con base en la cibernética, estos mismos controles drásticamente pueden mejorar la capacidad de una compañía de electricidad para detectar y recuperarse de anomalías del equipo o problemas de integridad del sistema, especialmente durante eventos relacionados con el clima.

Para establecer un nivel adecuado de confianza, las compañías de electricidad deben centrar sus esfuerzos en tres actividades:

- Asegurarse de que el equipo inicia consistentemente en un estado correcto conocido mediante el uso de TPM y de técnicas de verificación del software.
- Implementar una red de comunicaciones segura automatizada para controlar y actualizar las configuraciones operacionales del equipo.
- Utilizar la red de comunicaciones seguras para llevar a cabo actualizaciones del software con base en las transacciones del equipo de campo.

# La energía de las micro-redes

Las secuelas de la súper-tormenta Sandy nos recuerdan la fragilidad de la infraestructura eléctrica de los Estados Unidos y su incapacidad para soportar altos niveles de tensión. Por otra parte, una vez que se fractura la infraestructura, el tiempo requerido para repararla una falta de seguridad en muchos compuestos, confort y eficiencia. Incluso considerando procesos altamente evolucionados — los equipos de las compañías de electricidad de todo el país convergieron en las zonas afectadas, los días y semanas siguientes son muy costosos a las ciudades y comunidades.

La destrucción generalizada a la red causada por Sandy refuerza el pensamiento creativo sobre la resistencia. Ahora que la energía se ha restaurado, la reconstrucción puede acelerarse en las zonas duramente afectadas, especialmente Nueva York y Nueva Jersey. Los gobernadores Andrew Cuomo y Chris Christie dicen que tenemos que hacerlo más inteligentemente; y no podrían ser más correctos. Aprovechar esta oportunidad para implementar tecnologías de la red incluso más inteligentes que aumentan la seguridad energética, mejoran la eficiencia y a menudo mejoran la calidad del aire, también es esencial. Existen soluciones rentables que pueden ofrecer múltiples beneficios a escala.

Las micro-redes son esencialmente versiones en miniatura de la red eléctrica que incluyen almacenamiento y generación localizada. Ofrecen las capacidades para “isla” y funcionan en paralelo con la macro-red o mantener el suministro de energía de generación local si la red no está disponible. Ofreciendo confiabilidad y estabilidad, así como integración renovable, las micro-redes comandan una mirada más dura.

El concepto de la micro-red se remonta a 1882, cuando Thomas Edison desarrolló la primera planta de energía — la estación de la calle Pearl Manhattan — se estableció incluso como la primera fuente de energía antes de la red eléctrica tal como la conocemos. Sin duda, la tecnología ha evolucionado desde entonces, pero el concepto fundamental sigue siendo el mismo.

La seguridad y la prosperidad dependen de la red moderna más que nunca, pero habitualmente se sacude por desastres naturales. El clima volátil puede causar interrupciones de hasta dos semanas. Estas interrupciones cuestan millones de dólares y ponen en riesgo vidas. De hecho, el Departamento de Energía (DOE) estima que Estados Unidos gasta más de \$26 billones anualmente en las interrupciones de más de cinco minutos. Mientras que la red de Estados Unidos es buena, su confiabilidad no se compara bien con otras naciones industrializadas en Europa y Asia. La generación de respaldo ayuda, pero a menudo se agota el combustible de emergencia antes de que se restablezca la red.

Para la confiabilidad, una característica convincente de las micro-redes es su capacidad a la isla, o separada de la red. La generación localizada y cada vez más limpia permite que la micro-red proporcione energía a escuelas y pequeñas comunidades independientes de una macro-red. Estas islas de estabilidad pueden mantener comunidades enteras de los contribuyentes, alimentados y seguros. Lo importante, las micro-redes permiten a los equipos de primera respuesta comenzar cuanto antes su trabajo. Por supuesto, los servicios de emergencia, comunicaciones, alojamiento, movimiento de combustible y supermercados no pueden tolerar semanas sin la red. Las micro-redes de la comunidad pueden ser un súper conjunto de sistemas de energía de emergencia que utilizan y racionan esta generación distribuida a través de planes concertados y controles automatizados.

Después de Sandy, las universidades como la Universidad de Nueva York (NYU) y Princeton demostraron cómo sistemas de cogeneración bien manejados mantuvieron los campus funcionando durante casi dos días.

Otros innovadores también están demostrando el poder de las micro-redes. José Marotta, ingeniero senior en Tampa General Hospital, ha asistido a la escuela de huracanes. Después de todo, Florida experimentó más de cuatro huracanes en 2004. Responsable de los grandes centros de trauma de nivel uno y un campus de 11 MW, el Sr. Marotta, rutinariamente vigila las condiciones de clima y de la red, aislando intencionalmente para proteger la misión de la instalación. El equipo del Sr. Marotta no sólo mejora la capacidad del centro de trauma, sino también su tolerancia a fallas de eventos internos y externos. La aplicación de la gestión de energía moderna y controles automáticos hace el trabajo consistente de su equipo y el sistema confiable.

Una micro-red puede mejorarse mediante diversificación del combustible. La micro-red de Tampa General puede extraerse de la energía de la red, generadores de diésel como combustible y quizás en el futuro, cogeneración limpia a partir de gas natural.

La cogeneración y la generación de emergencia se utilizan cada vez más para anclar también las fuentes de generación renovables locales. Las energías renovables que siempre están “encendidas” son las redes enlazadas, lo que significa que deben desconectarse cuando se interrumpe la red eléctrica. Cuando se aísla la micro-red, el recurso de anclaje proporciona una fuente estable de tensión y frecuencia, que hace la transición de estos recursos de la red enlazada a micro-redes. Esto sucede independientemente de la disponibilidad de la macro-red. Otras características de las micro-redes son la conmutación sofisticada entre diversas fuentes y la capacidad de “arranque en frío”. Si se interrumpe la alimentación, la restauración de los sistemas auxiliares proporciona lubricación, enfriamiento y a partir de la corriente es necesario restablecer la generación o cogeneración.

Llevando la generación más cerca de las cargas, podemos lograr una mayor penetración de las energías renovables, mitigar modificaciones costosas de la red para manejar la naturaleza intermitente de las energías renovables. Diversas fuentes de energía o almacenamiento de energía pueden llenar los espacios de suministro debido a la falta de sol o viento.

Además, el elemento de almacenamiento y su electrónica de potencia de alta velocidad pueden hacer la micro-red más tolerante a las fallas. La eficiencia energética y los proyectos económicos están siendo mejorados por la cogeneración a partir del gas, de calor y energía combinados (CHP) y energías renovables:

- Los precios del gas natural son menos de un tercio de los picos recientes.
- Cuando una compañía de electricidad necesita calor, el calor de generación local es mucho más fácil de implementar en forma de agua caliente o calor de proceso.
- Los refrigeradores de absorción pueden emparejarse con el CHP para enfriar centros de datos y edificaciones.
- La generación localizada reduce hasta siete por ciento las pérdidas de transmisión y distribución eléctrica, reportadas por la administración de información energética.

Los proyectos recientes buscan monetizar más las micro-redes a través de la participación en el mercado de servicios auxiliares. Proporcionando energía local para servicios de regulación y la demanda pico, los dueños de la micro-red están capturando créditos y reduciendo las tasas.

Pero hay más que hacer. Los permisos, códigos y normas deben seguir evolucionando para permitir las tecnologías de nueva generación. Las estructuras de tarifa especial para “cierta potencia” deben ser aprobadas por las comisiones de servicios públicos. Debe continuar el trabajo importante en la IEEE 1547, *Norma para interconectar recursos distribuidos con sistemas de energía eléctrica*. Es importante que más compañías de electricidad se adapten a y adopten el momento de la micro-red.

Mientras se están administrando los costos iniciales, precios y regulación, mayor colaboración con las compañías de electricidad, comisiones de servicios públicos y colaboración público-privada ayudará a la tecnología a alcanzar su potencial de gran escala. Pike Research prevé que más de 3.1 GW de capacidad de la micro-red estará disponible en 2015. Algunos estados son iniciativas piloto junto a DOE, pero tenemos que seguir construyendo conciencia alrededor de la tecnología

# Confiabilidad de la energía con micro-redes

La red compleja del sistema de suministro de energía de los Estados Unidos de subestaciones, líneas de transmisión y líneas de distribución no están diseñados para resistir o recuperarse rápidamente de daño infligido simultáneamente a varios componentes del sistema de energía. Lo hemos visto en los últimos años en eventos meteorológicos como el huracán Irene y la súper-tormenta Sandy.

El número y duración de las interrupciones en los Estados Unidos continúan aumentando, impulsado principalmente por los incidentes relacionados con el clima. La duración promedio de la interrupción en los Estados Unidos es de 120 minutos y sube cada año. La duración de la interrupción total en el medio oeste es 92 minutos por año y 214 minutos en el noreste. Por el contrario, la duración de la interrupción para el resto del mundo industrializado es menos de diez minutos al año y cada vez es mejor. Por ejemplo, Japón es de sólo cuatro minutos de servicio interrumpido cada año. La creciente prevalencia de las amenazas físicas y de ciberseguridad también plantean retos importantes para operaciones de misión crítica de las organizaciones para garantizar un acceso confiable a fuentes de alimentación.

Históricamente, cuando un desastre golpea el resultado es mejoras en la infraestructura para tratar la causa específica de cada falla de la energía. Varias veces, planeando fallas para anticiparse a futuras emergencias. Un gran terremoto, explosión nuclear o atentado terrorista podría causar sufrimiento y perturbación sobre un área mucho más grande que un huracán. El establecimiento de enclaves de refugio seguro para servir como bases de rescate y recuperación podrían recorrer un largo camino para abordar los impactos humanos y económicos de los eventos futuros, no previstos. Cuando una interrupción ocurre, los efectos se extienden a menudo más allá de la zona del impacto inicial. Las interrupciones regionales inhiben la capacidad de proteger a las personas en peligro y proporcionar las necesidades básicas como comida, saneamiento y vivienda. Podríamos recuperar más rápidamente si las islas dentro de cada área pueden mantener la energía y servir como centros para los servicios críticos y la recuperación.

Los generadores de diésel de respaldo y en espera a menudo son la única fuente de energía disponible. Sin embargo, los generadores de respaldo plantean algunos problemas:

- Por lo general sirven sólo a las edificaciones que se acoplan a ellos, de manera que las edificaciones cercanas no tienen energía.
- A menudo tienen menos de 72 horas de combustible diésel en su tanque. Los suministros de combustible pueden retrasarse considerablemente.
- A menudo se dimensionan para la carga máxima y no utilizan el combustible eficientemente cuando las cargas son mucho menores.

## Solución — Micro-redes

Para optimizar la generación disponible y hacer disponible la energía para un área más grande, las micro-redes ofrecen una solución viable durante las interrupciones repentinas.

Una micro-red puede aislarse a sí misma mediante un circuito derivado de la compañía de electricidad y coordinar generadores en la zona, en lugar de tener cada edificación funcionando independientemente de la red y utilizando generadores de respaldo. Utilizando solamente los generadores necesarios para soportar las cargas en un momento dado asegura un uso óptimo del combustible en el área de la micro-red.

Una micro-red puede integrar una serie de características más allá de los generadores diésel de respaldo. Las características incluyen:

- Fuentes de energía alternativa como la eólica y solar
- Turbinas de gas y centrales que proporcionan calor y energía combinados
- Almacenamiento de energía en baterías y vehículos eléctricos

La micro-red detecta cargas y condiciones de falla y puede redirigir la energía a tantas zonas críticas como sea posible ante cualquier situación. De esa manera, es de “auto-regeneración”.

Por lo tanto, definimos que una micro-red comprende cuatro elementos clave:

- Generación de electricidad local
- Gestión de la carga local
- Capacidad de desacoplarse automáticamente de la red y entrar en “modo de isla”
- Capacidad para trabajar coherentemente con la compañía de electricidad local

Los generadores de respaldo sólo soportan cargas inmediatamente conectadas a ellos y generalmente entran en acción durante las interrupciones de la compañía de electricidad. Por otro lado, una micro-red consiste en fuentes de generación en sitio que pueden incluir combinaciones diferentes de generadores de diésel, turbinas de gas, celdas de combustible, generadores fotovoltaicos y otros renovables en pequeña escala, dispositivos de almacenamiento y cargas de uso final controlables que permiten a una compañía de electricidad funcionar en un modo conectado a la compañía de electricidad así como en modo de isla, garantizando así la confiabilidad de la energía.

## Retos clave

Existen dos retos clave para hacer que trabajen las micro-redes: controles de interconexión de la compañía de electricidad y la micro-red.

### Interconexión de la compañía de electricidad

Mientras tenga la capacidad para operar en modo de isla es una característica definitoria de una micro-red, los generadores de electricidad local en su interior generalmente están conectados a la red de la compañía de electricidad. Esto permite a una instalación comprar energía y servicios auxiliares de la compañía de electricidad y vender electricidad generada localmente a la red de la compañía de electricidad en momentos de demanda pico. Cuando la micro-red está funcionando con la red de la compañía de electricidad, la compañía de electricidad es responsable de la estabilidad de la tensión y la frecuencia. El sistema de control de la micro-red necesita hacer funcionar los generadores y cargas dentro de ella para mantener el flujo de energía constante. Las micro-redes deben coordinarse con la gestión de la red de la compañía de electricidad para minimizar el riesgo de interrupción de la transmisión o peligro para los trabajadores de la línea y otros expuestos a corrientes de energía. Por lo tanto, necesita desarrollarse para cada micro-red un acuerdo de interconexión de la compañía de electricidad-micro-red que permita el flujo bidireccional de energía.



## Controles de la micro-red

Una micro-red exitosa debe tener métodos inteligentes para gestionar y controlar todas las cargas. Las fuentes de energía han definido la capacidad de salida y si se sobrecargan, distorsionan gravemente la tensión de salida o se apagan totalmente. Cuando una micro-red se separa de toda la capacidad de generación de la red y depende exclusivamente de la generación local, debe establecerse la gestión de todas las cargas para equilibrar adecuadamente la capacidad de generación de energía. Esto es extremadamente crítico si un sitio tiene múltiples fuentes de generación o simplemente más demanda de carga de la generación de energía local disponible. Como la capacidad de generación local se aumenta, las cargas también se traen en línea en una estrategia inteligente predefinida. Por lo general, las cargas críticas vienen primero y otras cargas se ajustan para no sobrecargar la capacidad de generación disponible.

Existen varios métodos para el control de cargas, en un nivel de alimentación de edificaciones, nivel de circuito o nivel discreto. Sin embargo, el administrador de la carga debe ser capaz de desconectar la energía rápidamente y cuando se restaura la energía, conocer la capacidad para no sobrecargar al generador.

El control de la micro-red es relativamente fácil cuando todos los recursos de generación dentro de ella están próximos, como una planta central de electricidad en un campus universitario. En una micro-red distribuida donde las fuentes de generación (por ejemplo, los generadores de respaldo) están conectadas a circuitos de distribución repartidos en una gran área geográfica, la regulación de la tensión y la frecuencia es muy importante. Los generadores de diferentes tamaños y los comportamientos de respuesta simplemente no pueden conectarse y sincronizarse en una gran superficie. Dicha red sería inestable porque los generadores en el circuito de distribución reaccionan uno al otro tomando y dejando caer su parte de la carga. Debe emplearse una estrategia de supervisión con controles centrales para asegurar la estabilidad. Los efectos pueden minimizarse en una red de nuevo diseño, pero la mayoría de las micro-redes se confeccionan junto con generadores existentes que tienen una gran variedad de épocas y comportamientos.

La operación y diseño de la micro-red requieren enfoque extra en la seguridad. Si se interrumpe la electricidad en un área, no necesariamente significa que todos los circuitos derivados se apaguen. La seguridad dicta que cada uno sea consciente de la posibilidad de que las micro-redes podrían volver a energizar cargas bajo el control de las micro-redes.

Las universidades, bases militares y plantas de tratamiento de aguas residuales son buenos candidatos para una micro-red distribuida. A menudo tienen una misión común y se administran por la misma organización, facilitando la coordinación. A menudo, también tienen plantas centrales que pueden utilizarse para cargas base sobre un área amplia con generadores distribuidos. Estos tipos de generadores se utilizan cuando las cargas son demasiado bajas para justificar el funcionamiento de la planta central o soportar la planta central sobre un área mayor.

## Aplicabilidad y beneficios

Un enfoque de la micro-red tiene sentido para varias organizaciones, sobre todo aquellas que tienen una alta demanda de energía en sus instalaciones y donde la pérdida de las operaciones críticas plantea un riesgo significativo de pérdida de ingresos o pérdida de datos y seguridad. Los candidatos a la micro-red incluyen:

- Bases militares donde el corte de energía plantearía riesgos inaceptables para la seguridad
- Instalaciones federales, incluyendo laboratorios de investigación, donde la confiabilidad de la energía oscilante podría significar la pérdida de datos y millones de dólares en pérdida de tiempo
- Hospitales que necesitan ofrecer atención sin interrupciones al paciente, independientemente del clima u otras condiciones
- Grandes centros de datos que son el corazón de las operaciones de negocios de la mayoría de las organizaciones

- Universidades orientadas a la investigación y que deben salvaguardar y mantener años de trabajo de la facultad
- Gobiernos locales que requieren ofrecer seguridad operacional para grandes empresas en su distrito, así como atraer nuevas empresas de fuerte creación de empleo
- Configuraciones de campus comercial donde la confiabilidad en la energía de 24/7 es crucial para la protección de las inversiones a largo plazo tales como investigación y desarrollo
- Un área urbana densamente poblada, como Manhattan, donde la concentración de uso de la energía es alta y la escala significativa justifica conectar varias edificaciones como parte de una red de la micro-red
- Casos donde traer nuevas líneas eléctricas para satisfacer los requerimientos de energía de la compañía de electricidad será prohibitiva en tiempo y costo a la organización y la compañía de electricidad

Las micro-redes distribuidas proporcionan beneficios adicionales a los operadores de la compañía de electricidad mediante la integración de recursos renovables en los circuitos de distribución. Hoy en día, los circuitos de distribución de la compañía de electricidad no están diseñados para absorber grandes cantidades de generación distribuida o renovable. Si los operadores de la micro-red pueden integrar las energías renovables como la solar en el techo mientras proporcionen estabilidad de la tensión y la frecuencia, su trabajo se hace más fácil.

## Visión

Uno puede prever que una infraestructura de la compañía de electricidad flexible y robusta del futuro puede construirse fuera de las micro-redes interconectadas en universidades, hospitales, parques industriales y zonas habitacionales. Las micro-redes individuales se conectarían nominalmente para formar una sola red de la compañía de electricidad pero también podrían aislarse de la red y funcionar independientemente en caso de interrupciones. Por otra parte, esto permitiría más fácil integración de generación distribuida y renovable.

# El papel del almacenamiento de energía en la prevención y recuperación de desastres

Desde linternas a fuentes de alimentación ininterrumpida, los activos de almacenamiento de energía tienen una larga historia de soporte a infraestructuras y servicios en tiempos de desastres naturales. Proporcionando energía e iluminación durante fenómenos meteorológicos a gran escala como la súper-tormenta Sandy y los huracanes Irene y Katrina, los sistemas de almacenamiento de energía de todos los tamaños y formas reducen el tiempo que toma para que los equipos de primera respuesta comiencen los esfuerzos de recuperación. Lamentablemente, mientras que son extremadamente valiosos cuando se necesitan, la mayoría de los activos de almacenamiento de energía permanecen inactivos durante largos períodos y se consideran costos “hundidos” sin la capacidad de generar ingresos. Además, varios sistemas de almacenamiento de energía requieren mantenimiento obligatorio y permanente, que si no se completa correctamente, pone en riesgo el funcionamiento total de los sistemas.

Hoy en día, las tecnologías emergentes en el campo del almacenamiento de energía están cambiando este paradigma. En lugar de representar costos fijos, los sistemas de almacenamiento de energía se están transformando en activos productivos que pueden utilizarse para crear fuentes de ingresos sostenibles. Ya sea a través de la participación en nuevos mercados de energía recientemente abiertos por la Comisión Federal Reguladora de Energía (FERC), o a través de su inherente capacidad de extender las capacidades del ciclo de vida, estos nuevos sistemas de almacenamiento de energía están a punto de bajar los costos de operación mediante la reducción de cargas de la demanda pico, aumentar la eficiencia de generación de energía en el sitio y prolongar el tiempo de funcionamiento del generador de emergencia. Es un nuevo enfoque que permite el almacenamiento de energía, una vez un recurso de recuperación de desastres costoso, pasivo (pero necesario), para emerger como un participante activo, rentable que está listo para hacer los sistemas de energía y servicios al consumidor más resistentes, más eficientes, y respondan mejor a la necesidad de un ambiente de energía sostenible, fácilmente adaptable.

Un ejemplo de una tecnología de almacenamiento de energía emergente es la reciente introducción de las baterías con base en níquel y sodio en el mercado. Con 4 500 ciclos de profundidad total de descarga, características de seguridad de varias capas, incluyendo la química del núcleo, con empaques de acero de triple envoltura y controles redundantes con capacidades de diagnóstico remoto, estas baterías permiten a los usuarios finales reducir diariamente costos operacionales y, cuando golpee el siguiente desastre, proporcionar un nivel adicional de resistencia a la red eléctrica o instalación receptora.

Este tipo de diseño de la batería es un claro alejamiento de tecnologías de las baterías tradicionales. Utilizando una química con base en sodio y níquel, las celdas dentro de la batería funcionan a temperaturas elevadas. Temperaturas elevadas ayudan a inmunizar la batería de extremos en el entorno de la temperatura ambiente.

El empaque de la batería que rodea las celdas contiene un aislamiento térmico altamente eficaz que reduce al mínimo las pérdidas de energía térmica y mejora la operación segura en una amplia gama de aplicaciones. La larga duración de la batería se origina en su electrolito sólido que experimenta degradación despreciable sobre la vida útil de la batería, incluso en descargas profundas y volúmenes de alto ciclo. Cuando se integran completamente en la infraestructura eléctrica existente o se utilizan en los esfuerzos de modernización de la red, esta tecnología de la batería puede tener un mayor impacto en cómo una zona maneja un evento catastrófico, al mismo tiempo proporcionar un medio de control de costos durante las operaciones diarias.

## Mercados emergentes para el almacenamiento de la energía

Los nuevos diseños de sistemas de almacenamiento de energía ofrecen esperanzas de vida más segura y más operativa, así como permiten a los clientes instalar sistemas de batería grandes que proporcionan energía de emergencia para funciones críticas cuando falla la red eléctrica. Igualmente importante es su capacidad para producir ingresos y reducir los costos durante la operación normal. Las últimas órdenes de FERC han permitido a los sistemas de baterías participar en los mercados de energía mayorista y realizar acciones tales como la regulación de la frecuencia, arbitraje de la energía e incluso funciones de respuesta de demanda. NYISO<sup>5</sup> y PJM<sup>6</sup> han habilitado recursos energéticos para participar en sus mercados de energía, y varias instalaciones de baterías están creando ingresos compatibles con estas instalaciones. Ejemplos adicionales de este nuevo enfoque se detallan a continuación.

### Implementación de la compañía de electricidad

Las compañías de electricidad continúan explotando capacidades mejoradas de seguridad y vida útil de la nueva tecnología de baterías mediante la instalación de baterías en subestaciones y sistemas de almacenamiento de energía de la comunidad. Los sistemas de baterías ayudan a proporcionar un uso eficiente de los recursos de la compañía de electricidad mediante la ampliación de sus capacidades de demanda pico. Además, durante períodos de tensión de la red, estas estaciones de almacenamiento de energía pueden proporcionar a la subestación o a la comunidad más grande con valiosa energía de funcionamiento prolongado para permitir que los usuarios finales carguen su equipo de comunicaciones o incluso sus vehículos.

### Detrás de las aplicaciones del medidor

Los clientes minoristas, incluyendo grandes farmacéuticas, fábricas y complejos de oficinas, están recurriendo a sistemas de almacenamiento de energía como un limpiador, de manera más rentable para gestionar su demanda pico y gastos de energía pico.

En caso de una interrupción de energía, estos sistemas están diseñados para funcionar como una fuente de alimentación ininterrumpida y alimentar sin problemas a la infraestructura crítica.

Por ejemplo, desde el desastre del terremoto y tsunami en marzo de 2011, Japón ha sido un autor importante de este enfoque<sup>7</sup>. La implementación del almacenamiento de energía entre compañías de electricidad y hogares se ha convertido en un componente clave de su esfuerzo de recuperación y reconstrucción.

### Calor y potencia combinados y micro-redes

Otra forma de aprovechar el valor de los sistemas de almacenamiento de energía activa es integrarlas con otros sistemas de energía en sitio. La integración de baterías con un sistema de calor y energía combinado, por ejemplo, tiene el potencial para crear una micro-red de campus seguro, flexible y eficiente de la energía. En este escenario, los motores impulsados por gas natural proporcionan las necesidades eléctricas base de las compañías de electricidad. Además, aprovechando la salida de alta temperatura del motor, cumple las necesidades de calentamiento y enfriamiento de la compañía de electricidad. La batería se carga cuando la carga eléctrica es baja y se descarga cuando la carga de la compañía de electricidad excede las capacidades del motor, proporcionando la tan necesaria capacidad de energía adicional para la micro-red. Durante las interrupciones, el sistema de baterías está configurado para trabajar con el sistema del generador de respaldo para optimizar el tiempo de ejecución del generador y aumentar la eficiencia del combustible.

<sup>5</sup> Operador del sistema independiente de Nueva York

<sup>6</sup> Una organización de transmisión regional

<sup>7</sup> *Almacenamiento de Energía: Sistemas asiáticos y aplicaciones. Percepciones de la red inteligente*, Agosto 2012 ([www.smartgridresearch.org](http://www.smartgridresearch.org))

## **Energía de respaldo, - Reducción del uso de combustible diésel**

En aplicaciones de telecomunicaciones de la red remota, los sistemas de baterías de tecnología avanzada han demostrado ya su capacidad de casi duplicar la eficiencia de los generadores diésel que soportan<sup>8</sup>. Esta reducción en el uso de combustibles tiene un impacto positivo en los costos de operación del usuario, pero también sirve para reducir el consumo total de combustible fósil.

Durante las interrupciones extendidas o desastres naturales, el suministro de combustible diésel puede llegar a ser seriamente limitado. Aunque las torres de celulares y centros de datos soporten varios servicios de comunicaciones críticas, no están solos en la necesidad de acceso prioritario al combustible. Otros servicios al consumidor también pueden afectarse.

Cuando Langone Medical Center en NYU experimentó falla en el generador de respaldo durante la súper-tormenta Sandy<sup>9</sup>, provocó una masiva evacuación de pacientes de la instalación. Un sistema de almacenamiento de energía no sólo podría proporcionar soporte de energía de respaldo para un centro médico o centro de emergencia, sino que también podría reducir el uso de combustible diésel de un generador existente como un todo, extendiendo los servicios a aquellos que lo necesitan más.

## **Visión del almacenamiento de energía para la reconstrucción**

La implementación del almacenamiento de energía por debajo de la red aumentará la resistencia de la red, promoverá una mayor eficiencia y generación de energía más sustentable. Aumentando la cantidad de almacenamiento de energía en todo el país, se aumentaría la capacidad de incorporar mayores penetraciones de fuentes de energía sostenibles, pero variables.

## **Centrales eléctricas**

Mediante la implementación del almacenamiento de energía correctamente dimensionado en plantas de energía, las capacidades de arranque en frío estarán más ampliamente disponibles para su uso según sea necesario. Sobre una base continua, estos sistemas de almacenamiento de energía serán capaces de aumentar los ingresos por participación en servicios auxiliares o en los mercados de energía.

## **Subestaciones**

La implementación del sistema en las subestaciones puede proporcionar soporte necesario de sobrecarga cuando el equipo está envejeciendo o si existe crecimiento substancial de la carga debido al inesperado aumento en la demanda. Los sistemas de almacenamiento de energía también podrían proporcionar todos los días tensión y soporte a los servicios auxiliares, proporcionando así una corriente de ingresos sólida.

## **Infraestructura crítica**

La infraestructura crítica como centros de comando de la policía, bomberos, torres celulares, y hospitales a menudo tienen generación diésel como energía de respaldo. Mediante la implementación de sistemas de almacenamiento de energía en estas instalaciones, se puede optimizar el sistema diésel para disminuir el tiempo de ejecución del generador. La nueva tecnología de baterías de almacenamiento de energía implementada en las estaciones remotas de comunicación ya ha demostrado que la capacidad del tiempo de ejecución de una sola unidad de combustible puede elevarse por casi un factor de dos cuando la batería está continuamente emparejada con un motor diésel. El componente de almacenamiento de energía puede entonces utilizarse diariamente para reducir la factura de la energía total de la instalación por reducción de compras de energía durante las horas pico y la reducción de gastos de energía y demanda.

---

<sup>8</sup> *Sodium-Metal Halide Batteries in Diesel-Battery Hybrid Telecom Applications*. General Electric Company, 2011 (<http://geenergystorage.com>)

<sup>9</sup> *Diesel: The Lifeblood of the Recovery Effort*. Data Center Knowledge, 2012 ([www.datacenterknowledge.com](http://www.datacenterknowledge.com))

Además, la comunidad, comunicación, refrigeración o calefacción de los centros ubicados en los campus, centros de convenciones y otras instalaciones públicas designados pueden mejorarse por la actualización de la infraestructura y la incorporación de sistemas de almacenamiento de energía para dar soporte durante las interrupciones. Estas instalaciones también pueden aprovechar el almacenamiento de energía para reducir sus costos de energía por nivelación de la demanda máxima y gastos de energía pico.

## **Conclusión**

El almacenamiento de energía se ha visto tradicionalmente como algo costoso “imprescindible” para los esfuerzos de recuperación ante desastres. Mientras que los acontecimientos recientes apoyan la importancia de la modernización de la red a través de sistemas de almacenamiento de energía — la idea de que estos sistemas podrían utilizarse para generar ingresos y reducir los costos operativos es un concepto más reciente. Sin embargo, las nuevas tecnologías de baterías, deben demostrar que el almacenamiento de energía puede crear de forma segura y al mismo tiempo valor constante y soporte en tiempos de crisis.

# Integración del almacenamiento de energía en el sistema de distribución

Los sistemas de almacenamiento de energía pueden reducir el esfuerzo térmico en la red durante períodos de carga pico y proporcionar una fuente confiable de energía de respaldo durante las interrupciones de la red. Estos sistemas hacen la red más resistente a daños causados por condiciones climáticas extremas, desastres naturales y ataques cibernéticos. Además, los sistemas de almacenamiento de energía, cuando se combinan con fuentes de energía renovables pueden ayudar a las compañías de electricidad cumplir los requisitos de la demanda pico sin la necesidad de generación adicional convencional de la quema de combustibles fósiles. La súper-tormenta Sandy causó grandes daños a la infraestructura utilizada para el transporte de combustibles como el gas natural que se utiliza en generadores de respaldo de gas.

## Sistemas de almacenamiento de energía a gran escala

Los sistemas de almacenamiento de energía a gran escala permiten a las compañías de electricidad utilizar mejor la generación renovable producida por plantas eólicas y solares comerciales. Estos sistemas, instalados en las subestaciones colectoras, pueden proporcionar megawatts horas de almacenamiento de energía y se incluyen controles que permiten que esta energía se expedita cuando se necesita más, durante los períodos de uso pico. Los sistemas a gran escala dramáticamente reducen gases de efecto invernadero defiriendo o eliminando, la necesidad de generación adicional producida por las fuentes de generación tradicionales. Estos sistemas desplazan los costos de energía pico con costos de temporada baja.

Existe mayor demanda de electricidad en determinados momentos del día. La red puede agregar más generación, tiempo de uso de carga o proporcionar tecnología que “rasuran” el pico. Esto se conoce comúnmente como rasurado del pico. La capacidad de rasurado del pico de sistemas de almacenamiento de energía a gran escala es especialmente valiosa durante olas de calor cuando la demanda alta de electricidad y con altas temperaturas puede causar esfuerzo térmico significativo al equipo de la red de energía. Dicho esfuerzo térmico puede acortar la vida útil de los activos de la red de energía y conducir a fallas del equipo que resultan en interrupciones.

Los sistemas de almacenamiento de energía a gran escala también pueden suministrar una fuente inmediata de energía de respaldo en el evento de una gran tormenta, otro desastre natural o resultados de ataques cibernéticos.

Los sistemas de almacenamiento de energía a gran escala pueden combinarse con un sistema de localización de fallas, aislamiento y de restauración (FLISR) para lograr aislamiento dinámico a la pérdida de energía al alimentador de la subestación que sirve. El servicio se restaura al número máximo de clientes con base en la carga de información captada por el sistema FLISR antes de la pérdida de energía y la cantidad de energía disponible en la batería. La isla se reduce al mínimo mientras la batería se agota y/o se restablece la energía en el alimentador.

## Sistemas de almacenamiento de energía de pequeña escala

Los sistemas de almacenamiento de energía a pequeña escala utilizan unidades de almacenamiento de energía de pedestal distribuidas a lo largo de los alimentadores residenciales en el borde de la red eléctrica. Estas unidades con base en baterías permiten la integración de recursos de generación renovable intermitente de la comunidad, tales como paneles fotovoltaicos en techo y turbinas eólicas, en la red, donde estos recursos cada vez más populares pueden despacharse cuando sea necesario.

Las unidades de almacenamiento de energía con base en baterías pueden agregarse para colectivamente proporcionar rasurado del pico, mejorar la calidad de la energía y mejorar el control local de la tensión para reducir las pérdidas y así mejorar la eficiencia del alimentador de distribución. Esta agregación de unidades de almacenamiento de energía puede eliminar la necesidad de construcción de infraestructura costosa, consumidora de tiempo. El almacenamiento de energía distribuida puede ser un medio para rasurar el pico ya que no requiere participación del cliente. El sistema de comunicación de malla utilizado para conectar las unidades de almacenamiento de energía puede ayudar a que la compañía de electricidad encuentre rápidamente el lugar de un problema en el sistema de distribución sin enviar primero un equipo para localizarlo.

Las unidades de almacenamiento de energía también ofrecen energía de respaldo local confiable para los consumidores. La proximidad de las unidades de almacenamiento de energía a los consumidores ayuda a asegurar la disponibilidad de energía suplementaria en caso de una interrupción. Una unidad de almacenamiento de energía de 25 kVA típica puede ofrecer energía suplementaria a varios hogares de hasta tres horas, más que suficiente para la duración de muchas interrupciones. También pueden implementarse en las señales de tráfico y utilizarse para iluminación de emergencia, comunicaciones de emergencia y más.

Una flota de unidades de almacenamiento de energía de mayor capacidad, típicamente asignada a 250 kVA, distribuidas a lo largo de la red puede soportar cientos de hogares, pequeñas empresas y las infraestructuras críticas durante una interrupción. Cuando se combinan con recursos de generación renovable de la comunidad, la micro-red resultante es capaz de funcionar por varias horas o incluso días. Grupos de estas unidades de almacenamiento de energía de mayor capacidad pueden arreglarse como “centrales eléctricas virtuales” y planificarse adecuadamente para estar listas en previsión de una interrupción. Con la implementación de centrales eléctricas virtuales, los equipos de la compañía de electricidad pueden concentrarse en la restauración del servicio en el sistema.

La red de distribución, transformada en micro-redes, ofrece un beneficio adicional: mayor resistencia a posibles ataques cibernéticos a la seguridad.

## **Ejemplo de resultados de un sistema de almacenamiento de energía a gran escala**

El servicio eléctrico en Presidio, Texas, es suministrado por una línea de 69 kV problemática, de difícil acceso. Las reparaciones de esta línea con frecuencia tardan bastante tiempo. Debido a su limitada conexión a la red — y sus altas cargas pico de verano e invierno — Presidio a menudo experimenta cortes de energía prolongados, especialmente de daños relacionados con tormentas.

Para mejorar la confiabilidad y calidad de la energía, la compañía de electricidad, AEP, adquirió un sistema de almacenamiento de energía a gran escala que se aplica en conjunto con un sistema de inteligencia distribuida FLISR para proporcionar aislamiento dinámico para toda la ciudad. El sistema de almacenamiento de energía sustancialmente ha mejorado la calidad de la energía y disminuyó el número de interrupciones experimentadas por los clientes de la compañía de electricidad en la zona de Presidio.

Los proyectos de almacenamiento de energía a pequeña escala de la comunidad se han implementado en los Estados Unidos, el Reino Unido, Nueva Zelanda y otros lugares.

## **Recomendaciones de la hoja de ruta**

La implementación de un sistema de almacenamiento de energía por lo general implica varios pasos, incluyendo:

- Realización de estudios analíticos para determinar la solución del almacenamiento de energía que deberá maximizar la confiabilidad y disponibilidad de la red
- Planificación y contratación de servicios adecuados para asegurar la oportuna terminación del proyecto
- Una encuesta del sitio de comunicación para asegurar la fuerza de señal aceptable entre radios instalados en las unidades de almacenamiento de energía



# Energía y calor combinados y resistencia de la red

Hacer la red más resistente a los desastres naturales es esencial para proteger a los clientes y reducir la magnitud de las interrupciones, así como los costos económicos asociados a ellos. El Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) proporciona un enfoque en tres aspectos útiles para mejorar la resistencia de la red que consiste en: endurecimiento (infraestructura), recuperación (restauración de energía) y supervivencia (equipamiento de los clientes). La generación distribuida (DG) soporta directamente dos de las áreas del enfoque del EPRI. Primero, los recursos de la DG pueden endurecer la red proporcionando energía ininterrumpida en el sitio para instalaciones críticas y generación de energía cerca de centros de carga de alta densidad. Segundo, la DG puede mejorar los esfuerzos de recuperación después de un desastre mediante el aumento de la velocidad de restauración de la energía.

## Endurecimiento y DG

Uno de los medios más evidentes para endurecer la red es enterrar las líneas de energía para evitar interrupciones por árboles caídos y postes rotos; sin embargo, hacer esto para todo el sistema puede ser costosamente prohibitivo. La manera más rentable para asegurar energía ininterrumpida para la infraestructura crítica, como hospitales y centros de comunicación, es generar en el sitio. Para la mayoría de las compañías de electricidad con la necesidad de mantener la energía a lo largo de cada tipo de interrupción de la red, el calor y energía combinados (CHP) es la solución DG más eficiente. Además, la DG puede fortalecer la red mediante la colocación de activos de generación de energía dentro de la red de distribución. Cuando los activos de generación de energía se colocan cerca de los centros de demanda, ayudan a mantener la energía a las partes críticas de la red incluso cuando se caen las líneas de transmisión o grandes plantas de energía centralizada.

## Endurecimiento de las compañías de electricidad

CHP, comúnmente también se refiere como cogeneración, es un método muy eficiente de generar energía eléctrica y energía térmica útil de un origen único. Esta generación simultánea es una característica distintiva y valiosa del CHP y a menudo resulta en el 80 por ciento del total de la eficiencia del combustible. Existen principalmente tres tecnologías utilizadas en aplicaciones CHP — turbinas de gas, motores de pistones de gas y calderas con turbinas de vapor. En sistemas CHP que utilizan cualquiera de estas tecnologías, el calor residual del proceso de combustión es capturado para proporcionar energía térmica útil para una variedad de aplicaciones: agua caliente para un complejo de apartamentos, vapor para una planta industrial, enfriamiento para un centro de datos, o calefacción para un hospital. Esto es además de la electricidad proporcionada directamente a la instalación y, en algunos casos, exportados a la red.

Instalar CHP tiene varias ventajas. La preparación para emergencias es la ventaja más prominente. Los edificios de departamentos, hospitales, aeropuertos y otras instalaciones estaban en línea durante la súper-tormenta Sandy mientras sus comunidades circundantes se sumieron en la oscuridad. CHP fue más confiable en estas situaciones porque los equipos de generación de energía se utilizaron continuamente precediendo el desastre, por lo tanto, estuvo regularmente en servicio y conectado a un suministro de combustible ininterrumpido a través de la red de gas natural. Esto contrasta de los generadores de respaldo de diésel que raramente se utilizan, dependen de una fuente limitada/cara de combustible y experimentaron fallas graves en Sandy.<sup>10</sup> CHP no sólo puede mantener las infraestructuras críticas en línea en caso de emergencia, sino que es gestionable, lo que significa que puede solicitarse que proporcione calor y electricidad en un momento, que no es el caso de tecnologías solares y eólicas en el sitio.

---

<sup>10</sup> [www.businessweek.com/news/2012-10-30/new-york-hospital-evacuates-patients-as-sandy-hits-power](http://www.businessweek.com/news/2012-10-30/new-york-hospital-evacuates-patients-as-sandy-hits-power)

También existen beneficios de no desastres de la instalación de sistemas CHP. Debido a la utilización del calor residual, estos sistemas a menudo lograr eficiencias del 70 a 80 por ciento, significativamente mayor que la producción de calor y la electricidad por separado, que cuenta con niveles promedio de eficiencia de 40 – 50 por ciento en los Estados Unidos. Las mayores eficiencias totales resultan en el menor uso de combustible, disminución de los costos de energía y reducción de emisiones. Además, los sistemas CHP utilizan abundante gas natural a bajo precio. Por ello, CHP es un activo valioso para reducir los costos de la energía de la compañía de electricidad, incluso sin considerar los beneficios que se proporcionan cuando una compañía de electricidad está resistiendo a un desastre.

Mientras Sandy cortó energía a millones de personas en el este de Estados Unidos, CHP mantuvo las luces a un número de compañías de electricidad. En Nueva Jersey, donde más de 2.6 millones perdieron energía — más del 65 por ciento de total de clientes de la compañía de electricidad — la planta CHP en la Universidad de Princeton proporcionó vapor y electricidad a la comunidad universitaria de alrededor de 12 000 personas a lo largo de la tormenta mientras las comunidades a los alrededores se quedaron sin energía. La planta, que funciona con gas natural, utiliza una turbina de gas derivado del aire (un motor jet modificado) y proporciona uno de los más altos niveles de confiabilidad.

Más al norte, una planta CHP que emplea una tecnología diferente (motores de gas de pistones) en el aeropuerto internacional de Rochester también fue capaz de mantener la energía entre interrupciones generalizadas en la región porque Sandy se movió más hacia el interior.<sup>11</sup> Existen numerosos ejemplos de que el CHP mantuvo las luces encendidas durante Sandy para decenas de miles en sólo la ciudad de Nueva York, desde instalaciones departamentales y de la Universidad de Manhattan a grandes complejos residenciales en las ciudades externas.<sup>12</sup>

## Endurecimiento de las redes de distribución

La colocación estratégica de activos de generación de energía dentro de una red de distribución es una manera eficaz para asegurar energía ininterrumpida para clientes que no pueden construir sus propias plantas CHP. Un ejemplo reciente es el caso de los sitios de energía ahora de New York Power Authority (NYPA). A principios de 2000, NYPA había implementado seis sitios de generación de energía distribuida por toda la ciudad cerca de centros de carga importante. Equipado con diez turbinas de gas aero-derivadas, pueden proporcionar más de 450 megawatts de potencia. Las plantas se mantuvieron funcionando durante la súper-tormenta Sandy y entregaron estabilidad de la tensión crítica a la red de la ciudad de Nueva York. Antes de Sandy, estas unidades probaron su valía en la estela de los ataques terroristas del 11 de septiembre de 2001. El Operador del Sistema Independiente Nueva York, que hace funcionar el sistema de transmisión del estado, limitó las entregas de energía eléctrica en el área de las plantas del norte del estado. En otra ocasión, — durante el apagón del noreste en agosto de 2003 — las plantas ayudaron a regresar la energía a Nueva York mientras se estabilizaba el sistema de transmisión al sur del estado.

## Recuperación y DG

Después que golpea un desastre natural, es la prioridad de la red eléctrica restaurar la energía a las partes dañadas severamente o que quedaron sin energía del sistema. Normalmente, esto toma la forma de reparar las líneas dañadas y traer de nuevo en línea las centrales que se apagaron como consecuencia del desastre. Sin embargo, existen circunstancias donde las plantas no pueden ponerse en línea fácilmente o las líneas de transmisión se dañan más allá de la reparación simple y rápida. Esto puede resultar en dejar grandes áreas de clientes en la oscuridad durante días o requerir reducciones de energía forzada que pueden durar semanas o incluso meses después de que ocurre el desastre.

---

<sup>11</sup> [nrg-concepts.com/rochester-international-airport/](http://nrg-concepts.com/rochester-international-airport/)

<sup>12</sup> [nrg-concepts.com/cogeneration-chp-plants-keep-the-lights-on-for-thousands-during-sandy/](http://nrg-concepts.com/cogeneration-chp-plants-keep-the-lights-on-for-thousands-during-sandy/)

En estas situaciones, una solución muy efectiva es tener una flota móvil, plantas de energía montadas en remolques que rápidamente puedan implementarse en áreas con las necesidades de energía más grandes o más críticas. Este tipo de solución utiliza tecnología probada, como turbinas de gas y motores de pistones, que rápidamente pueden conectarse y proporcionar energía a una red existente. Por ejemplo, después de que el terremoto de Fukushima y el tsunami dañaron líneas de transmisión y dejaron numerosas centrales fuera de línea en Japón, las turbinas de gas montadas en remolques fueron una parte fundamental de la estrategia que ayudó a evitar interrupciones generalizadas en el verano de 2011.

Las ventajas de una flota densa de energía con un diseño compacto que tiene funciones de doble combustible o gas natural son que:

- Puede conectarse a la red gas natural y subterránea sin interrupciones, y
- Puede evitar problemas de suministro de combustible líquido que surgen después de un desastre (por ejemplo, la escasez de combustible en Nueva Jersey y Nueva York después de Sandy).

Además, las compañías de electricidad pueden mejorar la recuperación de zonas residenciales, comerciales e industriales rápidamente conectando las flotas de generación de energía, que evitan prolongar más los esfuerzos de restauración de la transmisión.

## Conclusiones y próximos pasos

DG es un componente esencial de las inversiones de resistencia de la red debido a su capacidad de endurecer el sistema de energía y mejorar los esfuerzos de recuperación después de desastres.

- **Endurecimiento de una instalación:** CHP debe utilizarse para proporcionar energía ininterrumpida porque es gestionable, no depende de combustibles líquidos y tiene beneficios relacionados con no desastres como reducir los costos de energía y reducir las emisiones. Son necesarios incentivos adicionales de financiación y política para estimular las inversiones del sector privado.
- **Lugares estratégicos:** Los DG activos deben colocarse en lugares estratégicos dentro de las redes de distribución, específicamente, cerca de centros de carga de alta densidad.
- **Recuperación de un desastre:** Para evitar interrupciones de energía de larga duración, necesitan implantarse tecnologías DG móviles (por ejemplo, turbinas de gas y motores de pistones montadas en remolques) para ayudar a proporcionar energía a los clientes rápidamente proporcionando energía de emergencia/puente antes de que se restaure totalmente la red.
- **Participación del gobierno:** Los líderes del gobierno a nivel federal, estatal y local deben enfocar recursos en infraestructura que incluya aplicaciones DG como parte de una estrategia mayor para obtener una red más resistente.

# La clave para permanecer conectado es desconectar

En los días, semanas y quizá meses después de la súper-tormenta Sandy, se ha hecho evidente que la red que dependemos para casi todo es increíblemente susceptible a actos inclementes. En este caso vino de la madre naturaleza. Es en estos momentos que las cosas simples que damos por sentado, como la iluminación, no son tan fáciles de restaurar.

Las empresas de servicios públicos luchaban para restablecer los servicios, pero ¿qué pasa si las necesidades fundamentales como la iluminación pueden mejorarse desconectando y manteniendo como una "isla" (uso fuera de la red) hasta que se reestablezca el servicio normal? El alumbrado público, las edificaciones y comunidades, pueden desconectarse para protegerlos de fallas sistémicas y proporcionar energía para ejecutar los servicios esenciales, mitigando el impacto de eventos catastróficos. Hoy día existen tecnologías que permiten esto, pero requieren un cambio mayor en la manera de pensar, preparación y asociación público-privada.

La iluminación puede dirigir el camino hacia la recuperación. En lugar de evaluar la iluminación únicamente en los costos de la energía de la compañía de electricidad (kilowatt hora) y su eficiencia para producir luz de energía consumida (watts/pie cuadrado), es necesario agregar una métrica adicional: confiabilidad. La confiabilidad de la iluminación depende de la calidad y seguridad de la energía. Los problemas incluyen que no hay suficiente energía, recortes de la demanda pico, interrupciones y caídas de tensión, aumentando los costos, disminución de calidad, cada vez más consecuencias negativas extremas y la amenaza del terrorismo — nacional y extranjero.

LEDs (diodos emisores de luz) generalmente se consideran que son de energía eficiente, pero existen algunas características básicas a esta tecnología que los hace adecuados idealmente para añadir confiabilidad a un sistema de iluminación.

- Además de ser eficientes, tienen un muy bajo consumo de energía, que es importante en tiempos de interrupciones de energía. Reduciendo el consumo de energía, usted puede hacer más con menos, así como extender la vida de los sistemas de reserva de emergencia tales como baterías y generadores.
- LEDs ofrecen control — proporcionando iluminación donde usted lo desee, cuando lo desee. Pueden controlarse por controles digitales, sencillos y eficaces que proporcionan la cantidad adecuada de luz, en el lugar correcto en el momento adecuado.
- LEDs originariamente son de corriente directa (cd), lo que les permite integrarse con fuentes alternativas de alimentación de c.d. lo cual permite el aislamiento.

Mientras que algunas infraestructuras eléctricas no pueden sobrevivir la furia de un huracán, el alumbrado público con base en energía alterna podría ser independiente de la red. En los países en desarrollo, esto ya está sucediendo porque la tecnología está avanzando en la existencia de la red. Al igual que la rápida adopción de los teléfonos celulares, el alumbrado público solar se está convirtiendo en popular porque no requiere de infraestructura. Con paneles solares montados en luminarios de LED individuales y la capacidad de almacenar el valor de la energía varios días, esto permite a villas tener luz en ausencia de una red o incluso en un desastre natural.

En el caso de Sandy, mientras varios postes de luces de las calles se arrancaron del piso, varias quedaron en la oscuridad debido a interrupciones de energía. Si estas luces pudieran trabajar de la energía alterna que podrían recopilar y almacenar, el impacto que podrían tener en los esfuerzos de recuperación sería inconmensurable.

Puesto que la tecnología LED intrínsecamente requiere menos energía que las tecnologías tradicionales y se presta a corriente continua, los municipios pueden instalar sistemas solares u otros de reserva de energía, que permitirían a los equipos de primera respuesta tener iluminación y llegar a aquellos en necesidad. Mientras que no todo el alumbrado público pueda ser operable, ciudades y pueblos enteros no tendrían que estar en la oscuridad durante días o semanas.

Existen otros escenarios que podrían implementarse gradualmente. Por ejemplo, cada otro poste de la calle en áreas que son fundamentales para la ayuda en desastres — como hospitales o refugios — podría reemplazarse con sistemas de respaldo de baterías. Los municipios podrían reemplazar varios postes al año, cubriendo finalmente su pueblo o ciudad, sin grandes y costosas inversiones iniciales. Si el financiamiento es un reto, a menudo hay financiamiento privado asequible para estos sistemas. La otra ventaja de estos sistemas de respaldo de baterías en iluminación de LED de baja energía es un enfoque modular que podría incluir atenuación adaptativa. Esto no requeriría energía total para dar a los ciudadanos un sentido de seguridad o comodidad. Incluso la iluminación atenuada daría a la gente un sentido de esperanza mientras que se conserva energía y actúan como faros de luz para los equipos de primera respuesta.

El control de LEDs enlazados en un sistema de software centralizado no sólo permite a los administradores obtener luces cuando todavía están disponibles, sino también para ver exactamente cuando las luces están apagadas. Esto les da una idea de qué áreas están más afectadas y donde puede dirigir los equipos de primera respuesta. Debido a que estos postes están aislados, también pueden utilizarse como señales de comunicaciones — la distribución del texto de información para emergencia sigue ascendiendo o actuando como un lugar de encuentro para los afectados.

Por extensión, un poste de iluminación puede ser dimensionado para proporcionar suficiente almacenamiento de energía local para recopilar periódicamente mensajes de texto de banda ancha baja de celulares y periódicamente transmitirlos a otras redes de comunicación, replicando un sitio celular de telecomunicaciones pero en una dieta de energía. Esto permitiría a las personas contactar los equipos de primera respuesta y sus seres queridos en caso de interrupciones.

Otra extensión de este enfoque modular permite que la energía de respaldo del sistema de iluminación de LED energizar las cámaras que se utilizan para el control del tráfico, una vez más permitiendo a los administradores de la ciudad tener una vista de pájaro en las situaciones y ayudar a guiar al equipo de primera respuesta.

Este enfoque puede aplicarse a todo, desde su hogar hasta una oficina o edificio de apartamentos. Por ejemplo, la nueva legislación en la ciudad de Nueva York indica que los edificios deben reacondicionarse con sistemas más eficientes. Esto es una gran oportunidad para actualizarse a sistemas de iluminación LED que utilizan sustancialmente menos energía, mientras que tienen la capacidad para operar en corriente continua de baterías, celdas de combustible, o como parte de una micro-red en la edificación.

El activo máximo de la tecnología LED es que cuando no se aísla, aún puede utilizarse inteligentemente. Debido a su bajo consumo de energía y control, LEDs utilizarán hasta un 80 por ciento menos de energía y proporcionan una mejor calidad de luz.

La inversión es no sólo en eficiencia energética, sino también un peldaño para mejorar la posición de las comunidades en caso de desastre.

# Sistemas de energía de respaldo

La energía de respaldo en el sitio proporciona una manera confiable y rentable para reducir el riesgo de pérdidas económicas y dificultades sociales de interrupciones de energía. Varias empresas sufren pérdidas económicas debido a interrupciones en el suministro de energía eléctrica durante un desastre natural. Para las empresas con cargas altamente sensibles como centros de datos e instituciones financieras, el riesgo de pérdidas económicas ocasionadas por el tiempo de inactividad es alto. Para varias instalaciones, tales como instalaciones de vida asistida y asilos, existe un aspecto de seguridad de la vida a considerar.

Otras instalaciones, tales como sitios de torres de celulares, centros de llamadas de emergencia y estaciones de gas, tienen profundo impacto social y su disponibilidad es crítica. La inversión en equipos de respaldo de energía en el sitio puede garantizar confiabilidad, seguridad y productividad.

## Sistemas de energía de respaldo: Breve resumen

Los sistemas de respaldo en el sitio utilizan generación local en el sitio de la instalación para proporcionar energía cuando la compañía de electricidad no está disponible. El sistema de energía puede o no estar interconectado con la red eléctrica. Los sistemas de generación de energía eléctrica en el sitio están disponibles en una amplia variedad de diseños para usos específicos y aplicaciones de los clientes. Este tipo de sistema de energía consiste en una fuente de energía y un medio para transferir energía de esa fuente a la carga cuando ocurre una interrupción. Los sistemas de supervisión y control remoto que permiten a un operador comprobar el estado del sistema y operar el sistema de forma remota se están volviendo más comunes. La fuente primaria de combustible del generador puede ser gas natural (GN), gas propano o diésel.

**Selección del combustible:** La selección del NG, diésel o gas licuado de petróleo (GLP) debe hacerse con base en las características y requisitos de la aplicación. Las consideraciones para elegir entre los diferentes tipos incluyen:

- Costos del equipo (inicial y de instalación)
- Costos del combustible
- Disponibilidad del combustible
- Tiempo de arranque del equipo

## Consideraciones de diseño para sistemas del generador de diésel en el sitio

El diseño de la instalación del equipo generador requiere consideración de los requisitos del equipo y aplicación. Estos varían dependiendo de las razones para tener el equipo generador y utilizarlo. Revisar y entender estas razones es un punto de partida apropiado para opciones de diseño y equipamiento del sistema. Ninguna sola solución cumple con todas las necesidades. Antes de configurar un sistema, los administradores de la compañía de electricidad deben considerar el uso del equipo generador y un número de otros factores, como sigue:

**Requisitos generales:** Tener en cuenta los requisitos del código de energía de emergencia e instalaciones voluntarias de energía de reserva para mitigar el riesgo de pérdida de servicios, datos u otros activos valiosos. Puede utilizarse un sistema para ambas de estas necesidades generales siempre que la seguridad debe tener prioridad.

**Requisitos específicos de la carga:** Una amplio rango de requisitos específicos resultará en la necesidad de sistemas de generación eléctrica en el sitio que tienden a variar según el tipo de aplicación. Algunas instalaciones comunes son:

- Cuidado de la salud: Se requiere energía en espera para todos los sistemas de seguridad de la vida que incluyen iluminación de evacuación/salida, sistemas HVAC para la atención de los pacientes y quirófanos, equipos de proceso crítico como dispositivos médicos de visualización y aparatos de supresión de incendios para ayudar a equipos de respuesta en caso de emergencia.
- Centros de datos: Los servidores alojados en centros de datos conducen nuestras economías y la salud financiera de las empresas y hogares. Sin un sistema de respaldo de energía para estas cargas, la pérdida de datos podría causar una catástrofe global. Además de los datos contenidos en estas instalaciones, el equipo de enfriamiento necesario para mantener su operación debe estar en línea con el fin de que el equipo digital funcione correctamente.
- Comunicaciones: Desde torres de celulares a centros de llamadas 911, una respuesta de emergencia eficiente requiere comunicación. Sin energía a los transmisores y receptores, se retrasará el proceso de recuperación de la tormenta.
- Propiedades comerciales y residenciales: La iluminación ambiental, control de temperatura y las computadoras que la mayoría de nosotros depende cada día necesitan energía constante para funcionar. Sin electricidad, incluso las tareas más triviales se convierten en puntos de preocupación, desde enviar un correo electrónico para mantener alimentos fríos en el refrigerador.

**Ubicación:** Una de las primeras decisiones de diseño será determinar si la ubicación del equipo generador será dentro de un edificio o afuera en un refugio o caseta. El costo total y facilidad de instalación del sistema de energía dependen de la disposición y ubicación física de todos los elementos del sistema — equipo generador, tanques de combustible, conductos de ventilación y persianas, accesorios, etc. Para ubicaciones interiores y exteriores, las consideraciones claves incluyen:

- Montaje del equipo generador
- Regulaciones del ruido y las emisiones
- Ubicación del tablero de distribución e interruptores de transferencia
- Contención de combustible y refrigerante derramado o fugado accidentalmente
- Acceso al servicio para inspecciones y mantenimiento general
- Acceso y espacio de trabajo para revisión o remoción/reemplazo de componentes
- Acceso para pruebas de bancos de carga cuando sea necesario para el mantenimiento o ejercicio programado

Es fundamental reconocer y tener en cuenta todos estos factores al diseñar el sistema y pensar en posibles alteraciones de un evento de emergencia o desastre natural. Los componentes de los sistemas necesitan diseñarse para la seguridad de inundaciones, fuego, hielo, viento y nieve. Por ejemplo, durante la súper-tormenta Sandy, algunas compañías de electricidad experimentaron interrupción en la energía de respaldo porque se inundaron las bombas de combustible diésel. Esto podría haberse evitado mediante la colocación de las bombas en una ubicación diferente.

**Asignaciones del generador:** Los sistemas de generación de energía en el sitio pueden clasificarse por el tipo y asignación del equipo generador. El equipo generador se asigna utilizando asignaciones en espera, principal y continua. Las definiciones de las asignaciones son importantes para entender al aplicar el equipo y dependen del uso previsto del equipo. La asignación de la potencia para el equipo generador de diésel se publica por los fabricantes de acuerdo con ISO 8528. Estas asignaciones describen condiciones de la carga máxima permitida en un equipo generador.

Es importante operar los equipos generadores de acuerdo con las asignaciones publicadas y en una carga mínima suficiente para alcanzar las temperaturas normales y quemar bien el combustible.

**Consideraciones ambientales:** Los problemas ambientales más críticos son aquellos relacionados con el ruido, emisiones de escape y almacenamiento de combustible. Las emisiones son un tema complejo y deben tenerse en cuenta en las primeras etapas de toma de decisiones de la energía de respaldo. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) define las “aplicaciones de emergencia estacionarias” como aquellas en las que el equipo generador funciona sólo durante períodos de una interrupción de la alimentación de la compañía de electricidad normal (con la excepción de operación de duración limitada para pruebas y mantenimiento). Cualquier otro uso, como la energía principal, reducción de la tasa y evitación de la tormenta, constituye uso no de emergencia. Mientras que la EPA no impone un límite en el número de horas que un generador puede operar en situaciones de emergencia, la EPA limitan a los operadores a 100 horas por año.

## Recomendaciones de preparación y mantenimiento

El mantenimiento preventivo para generadores de motores diésel juega un papel fundamental en maximizar la confiabilidad, minimizando las reparaciones y reducción de costos a largo plazo. Debido a la durabilidad de los motores diésel, el mantenimiento de la mayoría es preventivo por naturaleza. Siguiendo los procedimientos de mantenimiento generalmente reconocidos del generador y las recomendaciones específicas del fabricante para la aplicación, las compañías de electricidad deben asegurarse que el sistema de energía de respaldo arrancará y funcionará cuando más se necesita. Generalmente es una buena idea establecer y adherirse a un programa de mantenimiento y servicio con base en la aplicación de la energía específica y la severidad del medio ambiente. Deben inspeccionadas con frecuencia las áreas siguientes para mantener una operación segura y confiable:

- El sistema de extracción
- El sistema del combustible
- El sistema eléctrico de corriente directa
- El motor

La falta de adherencia a un programa de mantenimiento preventivo es una de las principales causas de falla de un sistema de energía de respaldo. Al prepararse para una emergencia, uno debe prestar particular atención a las baterías de arranque. Las baterías de arranque débiles o descargadas son la causa más común de fallas del sistema de energía en espera. Incluso cuando se mantienen completamente cargada y con servicio, las baterías de arranque de plomo-ácido sufren deterioro con el tiempo y deben sustituirse periódicamente cuando ya no retienen una carga adecuada. Sólo un programa regular de inspección y pruebas bajo carga puede prevenir que el generador arranque sin problemas. Simplemente comprobando que la tensión de salida de las baterías no es indicativa de su capacidad para ofrecer suficiente potencia de arranque.



Puesto que las baterías envejecen, su resistencia interna al flujo de corriente aumenta y la única medición precisa de la tensión de la terminal debe realizarse bajo carga.

Los equipos generadores en modo de espera deben ser capaces de pasar de un arranque en frío a pleno funcionamiento en cuestión de segundos. Esto puede imponer una carga severa en las partes del motor; sin embargo, ejercitarlos regularmente mantiene las partes del motor lubricadas, previene la oxidación de los contactos eléctricos, utiliza combustible antes de que se deteriore y ayuda a proporcionar un arranque confiable. Los periodos de operación sin carga deben mantenerse a un mínimo porque el combustible sin quemar tiende a acumularse en el sistema de escape.

## Recomendaciones de la hoja de ruta

Para asegurar la continuidad de los servicios críticos y proteger a las compañías de electricidad cruciales de interrupciones de energía, los propietarios de las compañías de electricidad y los operadores debe seguir estas recomendaciones:

- **Evaluar y mitigar el riesgo:** Identificar las cargas críticas de la compañía de electricidad es un primer paso importante. Entender los riesgos sociales y costos de una interrupción de la compañía de electricidad e invertir en consecuencia en un sistema de energía de respaldo o hacer arreglos para alquiler de energía temporal.
- **Diseño para emergencias:** El trabajo con una empresa de generación de energía que puede ayudar a entender lo que su alimentación necesita sería asegurar la óptima selección de un sistema de respaldo de energía. Dependiendo de las necesidades, desarrollar un plan que incluya un contrato de arrendamiento con la empresa antes o después de un desastre.
- **Asegurar el suficiente almacenamiento de combustible y suministro:** Tener combustible del generador de emergencia a la mano para permitir al menos 48 horas de funcionamiento o según lo requiera el código (por ejemplo, algunos centros de salud requieren 96 horas) y desarrollar contratos con operadores de combustible para el reaprovisionamiento.
- **Asegurar la activación y mantenimiento programados:** Los generadores deben activarse periódicamente para asegurar que funcionarán como se diseñan en caso de emergencia. El mantenimiento preventivo juega un papel crítico en maximizar confiabilidad, minimizando reparaciones y reduciendo los costos a largo plazo. Seguir los procedimientos de mantenimiento diésel generalmente reconocidos y las recomendaciones específicas del fabricante para su aplicación.
- **Asegurar personal entrenado:** El personal necesita ser entrenado para mantener y operar la unidad del generador y debe estar listo para la implementación.

# Incorporación de generadores y actualizaciones del sistema para la preparación por tormentas

Por desgracia, el impacto de la súper-tormenta Sandy es una perfecta ilustración de una infraestructura de distribución eléctrica no confiable. Sin energía, poco más funciona — desde las comunicaciones celulares que han substituido la telefonía fija para varias personas hasta la calefacción que depende de la electricidad para operar los ventiladores.

Mucha gente piensa primero en la infraestructura eléctrica pública — las compañías de electricidad locales que operan las redes de transmisión y distribución. En varios desastres, como las tormentas de hielo o tormentas de viento, son estas líneas que se ven afectadas; y cuando se reparan, se restablece la energía a las residencias.

Sandy presentó una forma más severa de daño. Además de la infraestructura eléctrica pública, hubo destrucción esparcida de la infraestructura eléctrica privada que existe dentro de cada casa o edificio. Cuando se produce este daño, la recuperación generalmente es mucho más difícil porque:

- El daño es mucho más difuso, en varios edificios en lugar de concentrados en líneas claves y subestaciones
- Es probable que el daño esté escondido e inaccesible dentro de la estructura de una edificación.
- Los dueños individuales de las edificaciones son poco probable que tengan los conocimientos técnicos empleados por la compañía de electricidad. Esta falta de conocimiento puede conducir a acciones de recuperación imprudentes e inseguras.

## Seguridad del equipo eléctrico

La seguridad es un problema importante cuando la recuperación de la inundación se produce durante una tormenta como Sandy. El equipo eléctrico y electrónico que se ha sumergido nunca debe volver a energizarse sin haberse inspeccionado a fondo por personal técnico competente. El equipo que se ha sumergido es probable que tenga residuos y el aislamiento eléctrico dañado que puede causar incendios y peligros de choques eléctricos cuando los dispositivos están energizados.

Esto se aplica tanto a equipos eléctricos como para el cableado de un edificio. Todos los fabricantes de interruptores automáticos, por ejemplo, requieren que los dispositivos se reemplacen después de estar sumergidos. La corrosión y suciedad dejaron afectaciones a su calibración y capacidad de disparo, dejándolos ineficaces para sus funciones críticas de protección.

Los envoltentes que guardan a los interruptores automáticos a veces pueden limpiarse y reacondicionarse por personal de servicio de la fábrica, pero generalmente sólo es rentable para el equipo más grande. Para centros de carga más pequeños, generalmente es menos costoso el reemplazo.

Si no se ha dañado la infraestructura dentro de una edificación, todavía existe la cuestión de proporcionar energía eléctrica hasta que se reestablezca el servicio de la compañía de electricidad. Los hospitales y otras instalaciones críticas durante mucho tiempo han tenido generadores de reserva en el sitio. Como la electricidad se ha vuelto más vital para aprovechar otras fuentes de energía, se requiere que más instalaciones tengan al menos algún nivel de generación de reserva. Por ejemplo, Florida requiere que algunas gasolineras tengan generadores para hacer funcionar las bombas en caso de que los conductores necesiten combustible para una evacuación.

## Generación de respaldo

La generación de respaldo se está volviendo importante en la preparación para emergencia como tener una reserva de tres días de comida y agua. Aproximadamente el dos por ciento de las viviendas de los Estados Unidos ahora tienen cierta capacidad de generación de respaldo, y este porcentaje está creciendo. Más a menudo la capacidad de generación no es suficiente para reemplazar totalmente a la compañía de electricidad, pero es suficiente para operar ventiladores HVAC para calefacción, cargar teléfonos y funcionar refrigeradores para que no se eche a perder la comida. Los generadores de reserva pueden variar desde pequeñas unidades portátiles a máquinas más grandes que están conectadas permanentemente a la construcción. En todos los casos, existen algunas preocupaciones claves que deben abordarse:

- Debe haber un medio de transferir la carga de la fuente de la compañía de electricidad normal al generador. Para una unidad portátil, esto puede ser tan simple como desconectar un aparato de un receptáculo y conectarlo en el generador, pero para un generador más grande que está conectado al sistema eléctrico del edificio, se necesitará algún tipo de interruptor de transferencia. Esto puede ser un interruptor de transferencia manual que requiere de alguien que físicamente opere el interruptor o un interruptor de transferencia automática que encienda el generador cuando está funcionando y regrese a la compañía de electricidad cuando se restaura. Ninguna acción humana se necesita para operar estos interruptores. El interruptor de transferencia también incluye un dispositivo de seguridad que evita que el generador regrese la alimentación a la compañía de electricidad.
- Es esencial que los generadores sólo se conecten a un sistema eléctrico de la edificación, utilizando un interruptor de transferencia listado instalado por un electricista experto. Si un usuario conecta un generador al cableado de la compañía de electricidad sin necesidad de desconectarla, pueden ocasionarse condiciones peligrosas. En primer lugar, la energía que sale de las líneas de la compañía de electricidad hace que se energicen; esto puede electrocutar a los trabajadores de la línea. En segundo lugar, cuando se restablezca la energía estará fuera de fase con el generador y probablemente causará destrucción catastrófica de la unidad, por ejemplo, un incendio o metralla volando.
- Los interruptores de transferencia más sofisticados pueden advertir de las condiciones de sobrecarga o incluso rotar energía entre las cargas para optimizar el uso del generador. Algunos de los propietarios de edificios o propietarios de hogares optan por instalar generadores lo suficientemente grandes para reemplazar por completo su alimentación de la compañía de electricidad, pero en varios casos este costo no está garantizado. Se pueden utilizar generadores pequeños para operar sólo cargas claves; sin embargo, es posible sobrecargar los generadores si se encienden demasiados aparatos. Mientras que el generador tenga interruptores automáticos o dispositivos de apagado que van a intervenir para evitar daños a la unidad, esto causará otra interrupción de la energía y las cargas claves, tales como congeladores, pueden quedar sin energía.
- Obviamente, debe haber suficiente combustible para operar el generador durante el período de espera previsto. Dependiendo del tipo de motor en el generador, este puede ser gasolina, diésel, gas propano o natural. Si se utiliza gas natural, debe hacerse una evaluación de la estabilidad de la tubería del gas durante una falla generalizada.

## Actualizaciones del sistema

Existen dos actualizaciones más del sistema eléctrico que los dueños y administradores de las edificaciones deben considerar. Estos para proteger las edificaciones y los aparatos y cargas dentro.

Lo primero es la protección contra sobretensiones de todo el local. Los protectores contra sobretensiones normalmente se instalan en un envoltorio con interruptores automáticos para proteger las cargas, especialmente las sensibles como televisores y computadoras, de daños por impulsos eléctricos. Los impulsos a menudo son causados por relámpagos o cambio transitorios generados por restauradores o interruptores del alimentador en el sistema de la compañía de electricidad. Durante la restauración de la energía, los protectores contra sobretensiones continúan protegiendo contra sobretensiones eléctricas, como trabajo en las líneas de la compañía de electricidad.

La segunda mejora es la incorporación de la protección contra falla a tierra y falla por arco avanzadas para los circuitos que suministran energía en el edificio. Esta protección se proporciona por interruptores automáticos que contienen la nueva tecnología electrónica de detección que no estaba disponible hace 10 o 15 años. La protección mejorada puede detectar cables rotos o aislamiento eléctrico dañado y quita la alimentación de un circuito antes de que comience un incendio. En la mayoría de las nuevas construcciones residenciales, los dispositivos que ofrecen este nivel de protección se requieren por el código, pero también puede adaptarse en hogares y negocios más antiguos. Tal adaptación debe considerarse como un medio para fortalecer la infraestructura eléctrica de la edificación.

## Preparación para el uso del generador

Para asegurarse de que está preparado en caso de un desastre, siga estos pasos:

1. Evaluar el tamaño del generador que necesita con base en las cargas claves que se requieren para funcionar durante una interrupción prolongada.
2. Decidir si el generador será de montaje fijo o portátil.
3. Decidir el tipo de motor y combustible que utilizará.
4. Buscar las opciones de ubicación física para el generador. Esto es claramente necesario para unidades de montaje fijo, pero también debe haber un plan para unidades portátiles. La operación en interiores nunca es una opción ya que es extremadamente insegura.
5. Considerar cómo se conectará el generador a los aparatos. Si se utiliza cableado existente de la edificación, decidir sobre el tipo correcto de interruptor de transferencia — manual o automática — y las características requeridas.
6. Buscar el punto de conexión en el sistema eléctrico de la edificación. Determinar si es posible aislar eléctricamente y conectar a un punto más alto que cualquier inundación de agua esperada.
7. Encontrar un electricista calificado que instale el interruptor de transferencia y el generador y ver que se inspeccione según los requisitos de los códigos locales.
8. Verificar el suministro de combustible suficiente y probar el generador y el interruptor de transferencia sobre una base regular para comprobar el correcto funcionamiento.
9. Considerar la adición de protección contra sobretensiones de todo el local en el envoltorio del interruptor automático.
10. Considerar la adición de protección del circuito por falla de arco y falla a tierra en la infraestructura eléctrica.

# Los sistemas de alambres y cables actualizados pueden acelerar la recuperación de la tormenta

Las tormentas tienen el potencial para infligir daños masivos en los sistemas de cableado eléctrico. La súper-tormenta Sandy ilustra el efecto devastador que pueden tener el viento, nieve, hielo e inundaciones y el daño penetrante que el clima extremo puede infligir en la infraestructura. Las tecnologías, materiales y prácticas elegidas para reconstrucción deberían aprovechar las lecciones aprendidas. Los alambres y cables pueden jugar un papel importante para endurecer el sistema eléctrico de las tormentas futuras.

La entrega confiable de la electricidad que requiere cada pie del alambre y cable a lo largo de la trayectoria — desde la línea de transmisión al cable detrás de la salida — debe valorarse en el costo de la compra inicial, así como por su capacidad de soportar daños de las tormentas. Los propietarios de viviendas, dueños de negocios comerciales e industriales y servicios públicos incurrirán en costos significativos en la reconstrucción de sus redes de cables y alambres. El diseño de circuitos de reemplazo debe asegurar que se encuentran fuera de peligro cuando sea posible y subterráneos cuando sea apropiado. Además, los materiales seleccionados deben ser lo más robustos disponibles y adecuados para lugares mojados.

## Instalar soluciones de cables y alambres que son más resistentes al daño por la tormenta

En el esfuerzo de reconstrucción después de Sandy, la cuestión de cómo reconstruir los circuitos existentes y qué cables instalar son importantes consideraciones, podría decirse que son las consideraciones más importantes desde una perspectiva de costo.

Varias construcciones de cables pueden soportar el daño de la tormenta, como inmersión, así como cargas mecánicas e impacto. La instalación de alambres y cables que tienen características de desempeño (por ejemplo, resistente al agua o robustos) así como utilizando métodos de instalación que reducen la exposición a los elementos (por ejemplo, reubicación, subterránea, redundancia) puede mejorar una protección del sistema eléctrico de los daños de la tormenta.

## Impacto de la inundación

Gran parte de los daños de Sandy a los cables se produjo porque el cableado inundado no fue diseñado para soportar la inmersión en agua. En los barrios bajos de Nueva York, por ejemplo, varios sótanos residenciales se inundaron, esto dañó el sistema eléctrico de la residencia y dejó a los ocupantes atrapados en el frío y la oscuridad.

El problema empeoró cuando el equipo eléctrico tuvo que ser inspeccionado antes de volver a conectar la energía. La razón: los conductores NM-B, comúnmente utilizados en el cableado residencial, se clasifican únicamente para aplicaciones en seco. Después de estar expuesto al agua, se someten a la corrosión y pueden convertirse en un peligro de descarga eléctrica.

La respuesta es utilizar cables robustos de uso interior clasificado para lugares mojados en cualquier área que pueda estar expuesta a inundaciones. El *Código Eléctrico Nacional*® (NEC®) define lugares “mojados” en el artículo 100: “... instalaciones subterráneas o dentro de losas o mampostería de concreto en contacto directo con la tierra y lugares sujetos a saturación con agua u otros líquidos, tales como áreas de lavado de vehículos las áreas y lugares expuestos a la intemperie y sin protección.” Los lugares mojados requieren cables resistentes a la humedad, con clasificación en mojado.

## El impacto del viento

Al reemplazar los circuitos de transmisión y distribución montados en poste tras Sandy, debe darse seria consideración a la instalación subterránea, especialmente para líneas de distribución críticas y aquellas líneas que tienen historias relacionadas con interrupciones por el clima.

La instalación subterránea puede reducir interrupciones relacionadas con factores externos como el viento, árboles caídos y escombros volando. Reducir la exposición a estas amenazas tiene el potencial para reducir significativamente las interrupciones y cortes al cliente. Los costos relativos de opciones subterráneas y aéreas pueden variar sustancialmente para proyectos individuales, haciendo relaciones de valor al costo genéricas de uso muy limitado.

## Tecnologías clave, aplicaciones, y productos

Las tecnologías clave a continuación pueden aplicarse en varias áreas de aplicación: transmisión de alta tensión y distribución de media y baja tensión en instalaciones industriales, comerciales y residenciales.

### Transmisión y distribución

#### *Transmisión subterránea de alta tensión*

Cuando se actualiza la capacidad de la línea, las líneas existentes endurecidas para tormentas o instalación de nuevas líneas, los instaladores pueden beneficiarse utilizando sistemas de cable subterráneos de alta tensión. Disponibles en tensiones de sub-transmisión en 69 kV hasta niveles de extra-alta tensión de 345 kV y mayores, los cables con aislamiento de dieléctrico extruido se han utilizado en América del norte durante décadas.

Estos sistemas de alta ingeniería tienen una historia de muy alta confiabilidad, un mantenimiento mínimo, y son en gran parte inmunes a fuertes vientos e inundaciones.

#### *Distribución de media tensión*

Los sistemas de cables de distribución subterránea de la energía en tensiones de hasta 46 kV pueden utilizar una variedad de construcciones de cables que son adecuados para enterrarse directamente e instalaciones sumergibles. Los cables de vanguardia incluyen conductores resistentes a la humedad, aislamiento retardante a las arborescencias y al agua y opciones de cubierta y pantallas resistentes a la intemperie. Combinados con los accesorios, transformadores y tableros de control correctos, los alimentadores principales, convertidos a los sistemas de cables subterráneos proporcionará un gran beneficio a su infraestructura.

También existen alternativas mejores a las líneas aéreas normales. Los sistemas aéreos cubiertos de media tensión (CAMV) grandemente pueden mejorar la confiabilidad y reducir la vulnerabilidad de la distribución aérea durante fenómenos meteorológicos importantes. El área de árboles, estrecha vía, costera y múltiples instalaciones de circuitos, todos se benefician de diseños compactos, de tramos largos del CAMV y la capacidad para operar a través de contacto intermitente con árboles.

#### *Cable en tubo (conduit)*

Los productos de cable en tubo proporcionan a los instaladores con un conductor de su elección ya instalado en el tubo de plástico robusto en carretes listos para el enterrarse directamente en una zanja, lo que permite reemplazar rápidamente el cable. La protección adicional y los tiempos reducidos de interrupción aumentan la confiabilidad para aplicaciones de baja tensión y media tensión desde el alumbrado público a los cables del alimentador.

### *Cables UD de auto-restauración de 600 V*

Los cables de auto-restauración aseguran que el daño al aislamiento de cables subterráneos menores de 600 V es limitado. Los canales entre las capas de aislamiento mantienen un sellador que fluye en la rotura del aislamiento y la sella permanentemente, evitando fallas de corrosión que de otra forma son inevitables cuando se exponen a la humedad. Las aplicaciones van desde el servicio al hogar del alumbrado público y aplicaciones agrícolas.

### **Aplicaciones industriales y comerciales**

Utilizando productos clasificados en mojado en aplicaciones industriales y comerciales, especialmente en circuitos críticos, puede reducir el tiempo y costo de la restauración de las operaciones después de las inundaciones.

### *Cables tipo MC*

El uso de productos con clasificación en mojado como el cable multiconductor armado tipo MC en el interior donde los conductores podrían estar expuestos a la inundación de agua. El cable armado también proporciona resistencia a la compresión en caso de daño a la edificación. Aunque los conductores individuales dentro de los cables tipo MC son resistentes a la humedad, puede agregarse un nivel adicional de protección sellando los extremos abiertos de la armadura del cable. Esto evita que el agua que puede llevar contaminantes entren en el ensamble del cable. El cable Tipo MC está disponible en asignaciones de 600V y también en asignaciones de media tensión, con tamaño del conductor de 18 AWG hasta 2 000 kcmil.

### *Cables tipo TC*

Los cables tipo TC se utilizan para aplicaciones de potencia y control en instalaciones industriales. Estos cables son resistentes al calor, humedad y a la luz del sol. Están provistos con una cubierta resistente a la humedad en los conductores para protegerlos de daños por agua. Los cables tipo TC se clasifican para uso en lugares mojados. Pueden instalarse en interiores o exteriores, directamente enterrados, en tubo o en charolas metálicas.

### *Aislamiento de pared gruesa para monoconductores*

En aplicaciones de un solo conductor, los conductores de pared gruesa robusta, como RHH/RHW-2/USE-2 de clasificación múltiple, proporcionan un espesor de aislamiento de 0.045 pulgadas de polietileno de cadena cruzada (XLPE). Estos conductores tienen mejor resistencia a la humedad y daños físicos y pueden soportar condiciones severas mejor que los conductores aislados de pared delgada tales como el THHN/THWN (0.015 pulgadas de PVC y una cubierta de nylon de 0.004 pulgadas) y XHHW (0.030 pulgadas de XLPE).

### *Aplicaciones residenciales*

El cableado residencial en sótanos y otras áreas vulnerables puede hacerse más resistente a las inundaciones sustituyendo un producto NM-B con clasificación en seco de uso general por uno con clasificación en mojado como el UF-B. Esto puede permitir restaurar la energía a residencias más rápidamente sin el reemplazo extensivo del cableado.

## Los propietarios de edificios y contratistas deberían estar preparados para la recuperación de tormentas

Planificación proactiva para la ayuda en emergencia y entrega del producto:

- En la reconstrucción, especificar productos del catálogo normal del fabricante para que las existencias en el almacén estén disponibles rápidamente en fuentes en todo el país.
- Prepararse para acceder a la ayuda de otras partes del país y conocer contratistas y fabricantes que están familiarizados con el tipo de construcción y productos de alambres y cables típicamente utilizados en su área.
- Proactivamente establecer una conexión con un fabricante reconocido de alambres y cables que esté bien informado sobre cables resistentes a la humedad y puede proporcionar soporte de emergencia para la ingeniería, instalación y reparaciones relacionadas con daños por inundaciones.
- Tener un plan de recuperación con distribuidores y fabricantes. Saber:
  - A quien hay que llamar
  - Qué ordenar
  - Cómo expedir órdenes
- Conocer de antemano fabricantes y asociaciones comerciales que pueden contactarse por las últimas recomendaciones en el manejo de daños de la tormenta. Por ejemplo, NEMA y UL tienen posiciones en la industria sobre el manejo de productos eléctricos dañados por inundación. Familiarizarse con esta información. Conocer los procesos para el reemplazo de cables dañados por el agua:
- Conocer qué equipo y esfuerzo se necesitarán para reemplazar alambres y cables dañados.
- Si se moja un sistema eléctrico, hacer que lo inspeccione un electricista calificado antes de volver a energizarlo.
- Es posible instalar nuevos conductores en el tubo metálico, pero los tubos deben inspeccionarse por una persona calificada para confirmar la integridad del tubo y que esté libre de objetos extraños.



# Transformadores e interruptores sumergibles, supervisión y control avanzados

Las semanas siguientes a una gran tormenta proporcionan una oportunidad para que una compañía de electricidad evalúe su respuesta y busque maneras de mejorar. La súper-tormenta Sandy no fue la excepción. El tamaño de la tormenta y la naturaleza de los daños presentan a los operadores de la red varios nuevos retos que afrontar.

Las tecnologías siguientes pueden mitigar los efectos de grandes tormentas y acelerar el proceso de recuperación. Cabe destacar que mientras que algunas de estas incluyen productos de vanguardia que están aún en fase de programa piloto, otros ya son de uso generalizado.

## Transformadores e interruptores sumergibles

Dos productos que entran en esta categoría son interruptores y transformadores sumergibles. Como el término lo indica, son esencialmente lo mismo que los transformadores e interruptores que se utilizan en las redes de distribución en todo Estados Unidos. La diferencia radica en la capacidad de operar bajo el agua.

Dichos dispositivos se utilizan sobre todo en las ciudades donde gran parte de la infraestructura de la energía está por debajo del nivel de la calle. Es importante tener en cuenta que las bóvedas que albergan dichos equipos pueden estar muy por encima del plano de la inundación, pero sin embargo son susceptibles a inundación localizada durante lluvias excepcionalmente fuertes. Las bóvedas de transformadores, en particular, suelen tener una rejilla a nivel de la calle para permitir que el calor se escape, pero esto también significa que están expuestas al escurrimiento a nivel de la calle.

Los transformadores sumergibles utilizan una variedad de materiales y características de diseño para asegurar una operación continua: un tanque sellado, menos acero corrosivo, pintura resistente a la corrosión, alta resistencia a corto circuitos, mayor capacidad para soportar sobrecargas y capacidad para soportar eventos sísmicos. Los tanques también están diseñados para dirigir el fluido hacia abajo en el improbable caso de una rotura para reducir al mínimo la expulsión de material hacia arriba al nivel de la calle. Algunos transformadores no utilizan algún aislamiento líquido, eliminando así el riesgo de fuga o incendio asociados con el aislamiento de aceite. El diseño de interruptores sumergibles es similar en cuanto a materiales y desempeño.

Mientras que los dispositivos sumergibles se han utilizado durante años, se han convertido en más comunes recientemente. Los interruptores en particular ofrecen un buen ejemplo.

Si bien históricamente los operadores de la red de distribución podrían manejar las interrupciones a nivel de la subestación, la aplicación de interruptores proporciona un nivel mucho más fino de control. En otras palabras, en lugar de desconectar a grandes sectores de una ciudad, una compañía de electricidad podría aislar las áreas inundadas más precisamente. Tener interruptores sumergibles en el lugar significa que la compañía de electricidad puede continuar operando los dispositivos — remotamente — incluso cuando el área alrededor esté totalmente inundada.

A raíz del huracán Katrina (2005), las compañías de electricidad comenzaron a evaluar su capacidad para manejar inundaciones a gran escala. ConEd en Nueva York eligió instalar interruptores sumergibles en puntos clave en su red de distribución y los empleó durante Sandy, desconectando secciones de la parte baja de Manhattan. Mientras que se suministraba energía a través de trayectorias alternativas, los interruptores sumergibles ayudaron en la velocidad del proceso de recuperación permitiendo la restauración de la energía al circuito principal tan pronto como el equipo alrededor determinó que era seguro.

## Supervisión y control avanzados

La “Red inteligente” ha sido un mantra dentro de la industria de las compañías de electricidad, pero mientras la mayoría del discurso público se ha centrado en los contadores inteligentes, tal vez los aspectos más convincentes de la tecnología de la red inteligente recaen en su capacidad para hacer la red más resistente ante desastres. Cuando se trata de sistemas de supervisión y control, la clave es aumentar la conciencia situacional de los operadores. Esto no es sólo acerca de los datos, sino habla más bien de la disponibilidad de información a través de una interfaz eficiente del usuario.

Desde la década de 1970, las computadoras han jugado un papel cada vez más importante en los sistemas de supervisión y control que trabajan en sistemas de transmisión y distribución. En el corazón de ellos está SCADA/EMS<sup>13</sup>, pero debido a la latencia de lecturas y cálculos, estos sistemas proporcionan una visión de “lo que acaba de ocurrir” en la red a diferencia de lo que está sucediendo actualmente. El tiempo real o cerca de la supervisión en tiempo real es la meta de las unidades de medición del fasor (PMUs) que combinan las lecturas desde diferentes puntos de la red con fecha y hora GPS y sofisticados algoritmos para proporcionar a los operadores de la red un cuadro más detallado de las condiciones de la red con una fracción de segundo de latencia.

Los sistemas de supervisión de un área amplia recogen datos de las unidades de medición del fasor y luego los utilizan en una variedad de aplicaciones, algunas de las cuales son especialmente relevantes para situaciones de tormenta.

- Supervisión del ángulo de fase y supervisión de la oscilación de la energía (POM) — Las perturbaciones pueden detectarse mediante la supervisión de las relaciones ángulo-fase entre subestaciones estratégicamente elegidas, incluso si se producen fuera de la región del operador del sistema; lo mismo puede hacerse para oscilaciones de la energía.
- Supervisión de la estabilidad de la tensión — La supervisión de la estabilidad de la tensión de un corredor de transferencia de energía importante en tiempo real es con base en mediciones del fasor de ambos extremos del corredor. (Actualmente instalado en Hrvatska Elektroprivreda, Croacia).
- Estimador del estado asistido PMU (PMUinSE) — El estimador del estado de la red del administrador puede hacer uso de datos PMU para mejorar la precisión de la estimación de estado.

Para que sea eficaz, una función de protección y control del sistema debe tener una serie de medidas que van desde dispositivos de apertura/disparo y cierre primario a acciones más sutiles como el control de los compensadores estáticos VAR (SVC), y menos los quirúrgicos como activación de una resistencia de frenado en un generador. Un buen ejemplo es POM provocando el uso de un SVC. La mayoría de las redes operan criterios de n-1 y pueden manejar la pérdida de una línea importante, pero todavía experimentan oscilaciones porque el sistema cambia a una nueva configuración. Un operador del sistema equipado con estas tecnologías podría evitar perturbaciones a todo el sistema al hacer una transición suave.

En la actualidad, PG&E está llevando a cabo un proyecto de prueba de concepto en interoperabilidad de múltiples proveedores, integración de sistemas y laboratorio de validación de la aplicación, equipado con los últimos adelantos en tecnología sincrofasor.

Mientras que la medición de fasores es muy prometedora para la integridad del sistema de transmisión, el hecho es que la mayoría de las interrupciones se producen a nivel de distribución. Afortunadamente existe una amplia variedad de soluciones disponibles en la actualidad no sólo para mitigar el impacto de las tormentas mayores sino también para acelerar los esfuerzos de recuperación.

---

<sup>13</sup> Sistema de gestión de la energía

Estos caen bajo el término de la automatización de la distribución e incluyen aplicaciones tales como:

- Localización de fallas — Reduce el tiempo para localizar fallas y ha producido una reducción de 20 minutos en SAIDI<sup>14</sup> para algunas compañías de electricidad. Los operadores pueden comunicar la localización de posibles fallas a los equipos de campo, agilizando las reparaciones.
- Sistema de localización de fallas, aislamiento y restauración (FLISR) — FLISR da un paso más para determinar y evaluar las acciones de cambio del aislamiento disponible y restauración del servicio, luego las prioriza de acuerdo con múltiples criterios.
- Otras aplicaciones avanzadas pueden ayudar a los operadores con la restauración como la descarga de la línea, flujo de carga desequilibrada y simulaciones.

El valor de estas aplicaciones a menudo se multiplica por su integración con otros sistemas de la compañía de electricidad como los sistemas de gestión de interrupciones, gestión de la fuerza de trabajo móvil e infraestructura de medición automatizada. Todas estas tecnologías de red inteligente proporcionan a la compañía de electricidad con inteligencia de negocios mejorada cuando la organización lo necesita más.

La automatización de la subestación es otra área donde los avances tecnológicos han producido soluciones para la gestión y recuperación de tormentas. Las unidades terminales remotas representan uno de los elementos importantes que se utilizan para recopilar datos importantes digitalmente o a través del cableado en configuraciones centralizadas o distribuidas. Los datos se envían a través de redes de área local o amplia a una unidad central de inteligencia donde se analiza y se presenta información a los operadores de la red para tomar acciones en tiempo y forma.

El análisis del registro de fallas, la información de la secuencia de eventos e indicaciones de alarma ayudan a identificar “qué/cuándo y cómo ocurrió” para que el equipo de operaciones de la compañía de electricidad pueda tomar decisiones rápidas e informadas sobre las acciones de restauración. El sistema también proporciona una mayor visibilidad de los activos de la subestación y facilita la eficiente supervisión y control bajo condiciones normales o anormales.

Por último, cabe destacar que el título de “red inteligente” podría aplicarse a una variedad de tecnologías que necesariamente no involucren IT. Un ejemplo de esto son los transformadores de instrumento óptico, que utilizan fibra óptica para medir la corriente en vez del alambre de cobre aislado que se utiliza en los dispositivos convencionales. Son una fracción del tamaño de sus contrapartes convencionales y una décima parte de la masa. Además de su pequeña huella y exposición al cizallamiento del viento, también son libres de aceite y así no existe riesgo de fuego o contaminación de agua subterránea. También, mientras que la electrónica circundante se dañaría evidentemente por las inundaciones, el cableado de fibra óptica no lo hará. Estos dispositivos están en uso comercial, pero aún representan una proporción relativamente pequeña del mercado.

## Recomendaciones de la hoja de ruta

Las compañías de electricidad ya deben respetar jurídicamente las normas de confiabilidad. Sin embargo, hay más por hacer dentro de la industria para llegar a un acuerdo sobre normas técnicas de tecnologías como PMUs. Más trabajo también debe hacerse para asegurar un funcionamiento a prueba de fallas para aplicaciones en tiempo real. Asimismo, las crecientes demandas de comunicación y almacenamiento de datos de soluciones de uso intensivo de datos continuarán ejerciendo presión sobre los sistemas IT que los soportan. El apoyo para la investigación en estas áreas probablemente aceleraría los procesos de desarrollo y adopción.

---

<sup>14</sup> Índice de la duración de la interrupción promedio de sistema

# Tablero de control automatizado sumergible

Durante la súper-tormenta Sandy, la ciudad de Nueva York experimentó su peor oleada de tormenta en casi 200 años. El equipo de distribución eléctrica subterránea ubicado en áreas propensas a inundaciones se inundó, resultando en la más amplia interrupción relacionada con la tormenta en la historia de la ciudad. Aproximadamente 250 000 clientes de Manhattan se quedaron sin energía.

Mientras que los clientes servidos por el sistema de distribución aéreo de ConEd tuvo su servicio restablecido más o menos en una semana, aquellos a los les da servicio un sistema de distribución subterránea de la compañía de electricidad — en las partes más densamente pobladas de la ciudad — tuvieron que esperar mucho más tiempo. Los sistemas de distribución subterránea son mucho más difíciles de reparar, especialmente los de las zonas bajas.

Esta experiencia ha resaltado la necesidad de que los sistemas de distribución subterránea sean más resistentes a daños por inundación. La implementación del tablero de control especialmente diseñado para aplicación sub-superficial en bóvedas sujetas a inundaciones puede ayudar a lograr este objetivo. Este tipo de tablero de control puede seguir funcionando indefinidamente cuando se somete a inundación de agua que contiene los niveles típicos de contaminantes como sal, fertilizantes, aceite de motor y disolventes de limpieza.

Las configuraciones de eliminación de la falla de alta velocidad de este tablero de control están disponibles para el uso en redes que proporcionan un servicio esencialmente libre de interrupciones, una falla que ocurre en cualquier segmento de la red se elimina rápidamente y automáticamente se aísla, pero no se interrumpe el servicio a las cargas del cliente (o la interrupción es mínima).

## Tablero de control de media tensión sumergibles automatizados

El tablero de control de media tensión está disponible con características de interruptores de interrupción de la carga e interruptores de restablecimiento contra falla instalados en un tanque hermético al gas que contiene aislamiento de gas a presión. Este tipo de tablero de control puede proporcionarse en modelos sumergibles que son adecuados para instalación en bóvedas sujetas a inundaciones. En estos modelos, el tanque se fabrica con acero inoxidable tipo 304L para proteger contra la corrosión debido a las condiciones ambientales extremadamente duras. El tanque es capaz de soportar hasta 10 pies (3 metros) de agua por arriba de la base.

El tablero incluye un gabinete de baja tensión sumergible montado por separado, que también se fabrica con acero inoxidable tipo 304L. El gabinete de baja tensión en configuraciones de eliminación de la falla de alta velocidad alberga un relevador multifunción, con base en un microprocesador para cada interruptor de falla en el tablero de control. Un relevador multifunción, con base en un microprocesador también se aplica en cada interruptor automático de la subestación que alimenta el rizo de las unidades del tablero de control.

Todo el cableado para detectar la corriente y la tensión entre el tanque del tablero de control y el envoltorio de baja tensión también son sumergibles.

## Sistema de eliminación de la falla de alta velocidad

En este sistema, las unidades del tablero de control están conectadas una a la otra en un rizo. Los relevadores están configurados para comunicarse entre sí a través de una red de cables de fibra óptica. El arreglo de protección del relevador asegura que sólo se abran los interruptores de falla en cada lado de una sección del cable con falla.

En aplicaciones de circuito cerrado, ambos extremos del rizo se alimentan desde la misma barra conductora de la subestación de la compañía de electricidad. Con este arreglo, no se perderá la carga mientras se elimina una falla, aunque algunos clientes de la compañía de electricidad experimentará una caída de tensión.

Las aplicaciones de rizo abierto requieren un punto de conmutación abierto en el rizo. Este enfoque permite que se interconecten dos alimentadores de subestaciones diferentes. Sin embargo, con este arreglo, algunos clientes pueden experimentar una pérdida de tres a cuatro segundos de tensión mientras está cerrado el interruptor normalmente abierto.

Cada relevador es capaz de funcionar como una unidad terminal remota y puede comunicarse con la estación principal SCADA de la compañía de electricidad mediante protocolos de automatización del proceso. La unidad terminal remota puede aceptar una gran variedad de entradas, como un sensor personal de la bóveda; sensor del nivel del agua de bóveda; sensor de gases explosivos de la bóveda; sensor de la temperatura de la bóveda; y sensores de tensión, corriente y temperatura del transformador.

## Ejemplos de la aplicación del tablero de control de media tensión sumergible automatizado

Varias compañías de electricidad principales de los Estados Unidos han implementado unidades de tableros de control de media tensión sumergibles en áreas seleccionadas de sus sistemas, incluyendo ConEd, United Illuminating y Oncor. Sistemas de eliminación de la falla de alta velocidad instalados en Florida, Illinois y California.

Eletropaulo, CEMIG y Ampla, las mayores compañías eléctricas de Brasil — así como Chilectra, una compañía de electricidad grande en Chile, han instalado más de 500 unidades de tableros de control de media tensión sumergibles automatizadas en sistemas de eliminación de la falla de alta velocidad. Se están considerando sistemas similares por otras compañías de electricidad en la región.

## Recomendaciones de la hoja de ruta

La implementación de un sistema de distribución subterráneo automatizado implica típicamente un número de pasos, incluyendo:

- Análisis de ingeniería para determinar la estrategia de automatización ideal para el sistema de distribución subterránea
- Integración SCADA, si procede
- Un estudio de la comunicación si el sistema es para comunicarse con el sistema SCADA de la compañía de electricidad.
- Gestión del proyecto
- Entrenamiento del personal de la compañía de electricidad
- Puesta en servicio del sistema

# Preparación para emergencia y la importancia de la reposición del equipo

En los últimos años, Estados Unidos ha enfrentado diferentes tipos de desastres de devastadoras inundaciones, tornados y huracanes a la súper-tormenta Sandy. Estos desastres nos han hecho reflexionar sobre cómo garantizar la seguridad y confiabilidad de nuestras infraestructuras y compañías de electricidad.

Como resultado, en 2008, el artículo 708, Sistemas de energía de operaciones críticas (COPS) se agregó al *Código Eléctrico Nacional*® (NEC) NFPA 70 para proporcionar misión crítica a las instalaciones con un mayor nivel de protección de manera que en el caso de una emergencia, estas instalaciones seguirán funcionando. El mandato del NEC se aplica específicamente a instalaciones vitales que, si se destruyen o incapacitan, podrían afectar la seguridad nacional, la economía, salud pública y seguridad. Estas instalaciones incluyen hospitales, policía y bomberos, centros de llamadas de emergencia e instalaciones del gobierno involucradas en la seguridad nacional. En algunos casos la directiva se aplica a un área específica dentro de una instalación que es designada área de operaciones críticas (DCOA). De otra forma, toda la instalación será designada como un área de operaciones críticas.

Para estas instalaciones de misión crítica o áreas designadas de operaciones críticas dentro de una instalación, el NEC requiere realizar una evaluación del riesgo para identificar peligros potenciales (desastre natural o error humano), la probabilidad de su ocurrencia y la vulnerabilidad del sistema. Con base en la evaluación del riesgo, debe desarrollarse e implementarse un plan de operaciones de emergencia para mitigar los riesgos potenciales. Una parte importante de la evaluación del riesgo es evaluar el posicionamiento del equipo crítico. Por ejemplo, ¿los generadores de respaldo están elevados sobre el piso de manera que estén seguros del agua en caso de inundaciones? ¿Las bombas de suministro de combustible para los generadores también se encuentran sobre el piso para que en caso de inundaciones aún sea posible alimentar los generadores?

Más allá de estas instalaciones de misión crítica, otras organizaciones como escuelas y edificios de oficinas que se ven afectados o en peligro de desastre natural, deben considerar implementar medidas similares para preparar sus infraestructuras para desastres.

Sin embargo, implementar algunas de las medidas de protección incluidas en el mandato del NEC puede ser muy costoso. ¿Cómo pueden las organizaciones que no están obligadas a cumplir con ella determinar cuál de estas medidas es más útil?

Dichas organizaciones y operaciones primero deben determinar sus respectivos “estado deseado” o la “capacidad operativa o misión deseada” durante eventos críticos. Por ejemplo, ¿qué estética necesita considerarse?, ¿qué tan amigable con el ambiente quieren que sea?, ¿qué requisitos de construcción necesitan cumplirse?, ¿qué peligros pueden surgir y qué probabilidades existen? y ¿qué tan preparada para los riesgos debe ser la infraestructura? Y finalmente, ¿cuánto dinero tienen que gastar para llegar a ese estado deseado? En definitiva, además de una evaluación del riesgo, también debe realizarse un análisis costo-beneficio en relación con su estado deseado y sus fondos disponibles.

Los factores que una gestión de la instalación tiene que considerar para determinar sus necesidades de máxima confiabilidad efectiva variarán dependiendo del tipo de instalación, qué equipo es crítico para las operaciones deseadas y donde estará ubicado el equipo. Por ejemplo, una planta de alcantarillado se encuentra típicamente cerca de un cuerpo de agua, por lo que está sujeta a inundaciones. Como resultado, cuando se pesen los riesgos potenciales y el costo de la preparación para esos riesgos, un gerente de la instalación probablemente querrá centrarse en colocar sus sistemas de energía y emergencia en un terreno más alto para evitar daños e posibles interrupciones de la energía por las inundaciones. Otros tipos de instalaciones, como hospitales o centros de datos tendrán diferentes riesgos a considerar al determinar las necesidades de confiabilidad y preparación para ciertos riesgos.

Durante la súper-tormenta Sandy, una compañía de electricidad en la ciudad de Nueva York se inundó con agua — en algunos lugares el agua y las aguas residuales en el sótano fueron de hasta seis pies de profundidad. Cuando la tormenta causó que se apagara la energía de la compañía de electricidad, ésta se conmutó a los generadores que se encontraban por arriba de los niveles de inundación potencial. Las bombas de combustible responsables para aprovisionar de combustible a los generadores, sin embargo, se encontraban en el sótano que estaba bajo el agua. Como resultado, fallaron los generadores y la compañía de electricidad se volvió inoperante.

Después de la tormenta, la compañía de electricidad comenzó su proceso de restauración y medidas para prepararse mejor para la próxima tormenta. Con fondos para restaurar la compañía de electricidad, incluyendo los equipos eléctricos dañados, la gerencia decidió reubicar los equipos con el fin de evitar que se dañen en caso de futuras tormentas. La gerencia de la compañía de electricidad instaló nuevos equipos en nuevos cuartos eléctricos en el primer piso.

Al decidir dónde reubicar ciertas piezas del equipo, la gerencia de la compañía de electricidad tomó varios factores en cuenta incluyendo costo, preparación para emergencia y mantenimiento futuro de los equipos a ser reubicados. Por ejemplo, para garantizar la facilidad de mantenimiento en el futuro, el contratista construyó con base en la capacidad de tener respaldo del generador implementado fácilmente mediante la adición de dos principales servicios a todos los tableros de control de reemplazo. Además, se especificó que todos los interruptores automáticos principales y enlazados debieran ser de un tipo de “extracción” con el fin de facilitar un programa de mantenimiento preventivo mejorado. Este tipo de interruptor automático es más fácil de mantener que el estilo anterior (energía conmutada con fusibles).

Dichos debates y acciones después de la súper-tormenta Sandy son buenos ejemplos de cómo las compañías de electricidad pueden buscar no sólo recuperarse, sino recuperarse de una manera que haga la infraestructura más robusta y confiable. Varias compañías de electricidad podrían aprender de estos ejemplos y prepararse para futuros desastres o eventos pensando estratégicamente e invirtiendo en una evaluación de amplia confiabilidad. Una parte importante de esa evaluación de la confiabilidad debe considerar la colocación de los equipos de la compañía de electricidad e identificar qué equipo es más importante proteger.

Una evaluación de la confiabilidad permitirá a los administradores de las compañías de electricidad a pensar más allá de conseguir el regreso de la energía al equipo y su funcionamiento. Esto puede conducir a consideraciones de largo término como la confiabilidad del sistema de distribución de energía y todos los equipos de utilización, incluyendo sistemas HVAC, de bombeo y de comunicación soportados por el equipo de energía. Los administradores de la compañía de electricidad deben considerar la confiabilidad del equipo de energía y crítico correspondiente a factores ambientales, así como posibles amenazas externas y cómo funcionar y mantener los niveles adecuados y necesarios de confiabilidad.

Una vez que se ha identificado el equipo clave de energía y utilización, la gerencia de la compañía de electricidad puede considerar cómo ubicar los equipos para aumentar la energía eléctrica confiable y operaciones durante futuras emergencias o desastres. Los desastres naturales continuarán ocurriendo; habrá un proceso cada vez más importante para todos los tipos de organizaciones para preparar sus infraestructuras para soportar estas tormentas. Las organizaciones responsables reconocen que la recuperación de la súper-tormenta Sandy no es solo levantarse nuevamente y funcionar; se trata de reconstruir más inteligentemente reduciendo el impacto de los acontecimientos futuros.

## Reubicación o reposicionamiento del equipo

La reubicación de la infraestructura de transmisión no es factible, sin embargo, tendiendo mayores líneas de tensión y la incorporación de la red inteligente o equipo sensorial ayudará a identificar y aislar los problemas más rápido, permitiendo a las compañías de electricidad acelerar la recuperación.

Los equipos de la subestación se fabrican para cumplir con las normas, como las desarrolladas por NEMA y el American National Standards Institute, deben desempeñarse en un ambiente húmedo, pero no pueden sumergirse. La clave es mantener las partes energizadas separadas de las partes no energizadas. La subestación debe protegerse de las inundaciones por barreras o construirse lo suficientemente alto para soportar el oleaje de tormenta.

Como regla general, los interruptores de mayor tensión se montan a 10 pies del piso, permitiendo la operación del interruptor si la estación aún está energizada. Los interruptores automáticos, transformadores y medición dentro de las cacetos de interruptores también son susceptibles a daños por inundaciones. Las compañías de electricidad deben considerar si es más rentable construir subestaciones para soportar eventos severos o construirlos para repararse o volver a energizarse rápidamente. Tomando la distribución de energía de líneas aéreas a subterráneas es relevante para áreas no propensas a oleaje de tormenta.

Mientras que es costosa la construcción de la infraestructura subterránea, elimina los costos adicionales para la sustitución de postes, anclas y herrajes. La infraestructura subterránea es más resistente a las condiciones de fuertes vientos. La contrapartida es mayores costos de mantenimiento y reparación.

En áreas donde la ubicación subterránea no es una solución viable, pueden agregarse más puntos de conmutación, y en algunas áreas, auto-restauración. Esto segmenta el sistema en secciones más manejables, aislar daños y permitiendo que el servicio se restablezca más rápidamente en áreas más pequeñas, en lugar de esperar hasta que se reparen áreas mucho más grandes.

## Recomendaciones de la hoja de ruta

Es importante que cuando se implementen algunas recomendaciones para el endurecimiento del sistema o preparación para la tormenta, existe una correlación directa entre los costos de reparación promedio debido a las tormentas frente a la inversión de construcción o reubicación de nuevas infraestructuras.

- **Crear una norma nacional para equipos y estructuras en zonas vulnerables.** Aunque existen normas que deben cumplir los equipos y estructuras para llevar ciertos niveles de tensión, no existe una norma de clasificación nacional para el equipo en zonas altamente susceptibles al daño por tormentas. Los productos en estas áreas requieren cumplir con normas de viento e inundaciones mayores para reducir al mínimo las interrupciones y la destrucción a otros equipos. Las normas también deben incluir la frecuencia en que se inspeccionen los productos, postes y estructuras buscando daños o corrosión.



- **Trabajar con otras organizaciones y oficinas gubernamentales para crear un plan de respuesta de emergencia unificado para la tormenta.** Si se obstruye el acceso a carreteras, los trabajadores de las líneas y otros equipos de emergencias no pueden reparar el daño a las líneas eléctricas. Por lo tanto, es necesario comunicarse con los departamentos adecuados para asegurar que existe un plan coherente para los desastres naturales, contabilizando las líneas de comunicación dañadas o caídas.
- **Determinar la efectividad del costo de la implementación de cambios a la infraestructura.** En las zonas que ven pocos o infrecuentes daños de las tormentas, no es rentable implementar las mismas medidas como en costeras u otras áreas vulnerables. El costo para los usuarios finales de implementar estos cambios puede ser enorme. Una simple comparación de costos de daños por tormentas recientes contra la inversión para actualizar el equipo ayudará a determinar las áreas de interés para la reubicación de los equipos.
- **Trabajar para endurecer sistemas y reubicar el equipo.** Después de determinar las áreas de mayor vulnerabilidad, considerar todas las opciones viables para fortalecer y reubicar el equipo existente para soportar mejor vientos dañinos, inundaciones y hielo. Considerar elevar el equipo por arriba de los diez pies de la norma en áreas susceptibles a inundaciones y áreas por debajo del nivel del mar. Configurar el equipo en postes para soportar mejor grandes ráfagas de viento. Al reemplazar postes, considerar el uso de los más grandes en diámetro que tienen mejor resistencia al viento. En áreas con daño mínimo por inundaciones, considerar mover el equipo y las líneas subterráneas para evitar que el viento y el hielo dañen las líneas.

# Reemplazo o actualización de equipos eléctricos dañados por el agua

La *Evaluación del Equipo eléctrico Dañado por Agua* de NEMA, publicado por primera vez en 2004, contiene material de referencia excelente para evaluar equipos eléctricos que han sido expuestos al agua a través de inundaciones, actividades de lucha contra incendios, huracanes y otras circunstancias.

El documento proporciona una tabla que resume acciones recomendadas para varios tipos de equipo eléctrico para determinar si debe reemplazarse o reacondicionarse. Se han desarrollado nuevas soluciones tecnológicas que proporcionan una tercera opción: el dispositivo fundamental (por ejemplo, interruptor automático de potencia, envolvente del centro del control de motores) se reemplaza con un dispositivo actualizado que coincide con la mecánica del equipo original y las interfaces eléctricas. El dispositivo actualizado es consistente con los avances tecnológicos y nuevas normas de equipos sin perturbar el envolvente principal, conexiones de cables entrantes y salientes, o controles operativos.

Los beneficios de actualizar frente a la opción de reemplazo tradicional son:

- Los costos de reemplazo directo de dispositivos actualizados son iguales o menores que el equipo de reemplazo del diseño original. La ventaja del costo se deriva por el uso de componentes y dispositivos manufacturados disponibles contra herramientas necesarias para la fabricación del equipo que puede haber estado en servicio de diez a veinte años o más.
- La entrega es más rápida, puesto que los dispositivos de reemplazo directo están en las existencias y las interfaces mecánicas y eléctricas se han diseñado y almacenado para el equipo común de la época.
- La nueva tecnología puede incorporarse dentro de las estructuras existentes sin ningún costo adicional. También pueden incluirse las características de seguridad adicionales para manejar mejor las preocupaciones por arco eléctrico y personal de seguridad.
- La velocidad de corrección se aumenta considerablemente ya que no se requiere una remoción completa de toda la estructura eléctrica, los cables no se perturban y las mejoras al equipo pueden realizarse en intervalos — permitiendo seleccionar la restauración de energía seleccionada durante el proceso de corrección. Para interruptores automáticos de potencia o centros de control de motores, los dispositivos individuales pueden instalarse como avances de la corrección.
- La confiabilidad a largo plazo se mejora añadiendo mejoras en el sistema opcional durante el período de recuperación e incluye supervisión de los modos de falla predictivos tales como: humedad, temperatura, polvo, humo, intrusión, vibración, agua del suelo, calidad de la energía u otros parámetros. Para equipos de media tensión, también puede supervisar la actividad de descarga parcial continua. Estas mejoras de confiabilidad proporcionan alarmas audibles, mensajes (texto, voz y correo electrónico) y también envío por servicio, dependiendo de las necesidades del cliente.

- NOTA: Los daños por agua de cualquier cuerpo de agua generalmente se definen como “daños por inundaciones”, por lo tanto un vapor aéreo o fuga de agua puede definirse como daño por inundaciones. La notificación de agua del suelo y/o la humedad creciente permite acciones correctivas inmediatas, previniendo de fallas posteriores del equipo eléctrico.
- La extensión de la vida de las inversiones de capital existentes se logra debido al reemplazo de los componentes y dispositivos críticos fundamentales por “nuevos” dispositivos.

Los siguientes son ejemplos de categorías dentro de la *Evaluación del Equipo eléctrico Dañado por Agua* de NEMA. Se incluye una opción de actualización además de las opciones de reemplazo o reacondicionamiento. Estas soluciones se han aplicado en los últimos huracanes y otras condiciones de inundación.

## Equipo del centro de control de motores

El equipo del centro de control de motores de nueva tecnología, comúnmente denominado como insertos o cubos MCC, puede equiparse con interfaces mecánicas y eléctricas para ser reemplazos directamente por el equipo de control de motores de varios fabricantes.

### Ejemplo de escenario

En octubre de 2012 la súper-tormenta Sandy golpeó el noreste y varias instalaciones sufrieron daños importantes. Una compañía de electricidad importante perdió una línea entera de MCCs en una de sus instalaciones de generación de energía. La compañía de electricidad contactó a un grupo de servicios en Nueva Jersey para obtener una evaluación sobre la sustitución y actualización de las capacidades.

Una fábrica miembro de NEMA fue capaz de suministrar reemplazos al cliente dentro de días. Debido a que el grupo de servicio de la fábrica proporcionó la instalación y puesta en marcha, el tiempo de paro de la compañía de electricidad se redujo drásticamente.

## Equipo de potencia

Los interruptores automáticos de nueva tecnología pueden encerrarse dentro de una interfaz mecánica y eléctrica, incluyendo la boquilla aislante y controles eléctricos secundarios, para proporcionar reemplazo directo a ensambles de interruptores automáticos de varios fabricantes. Estas soluciones se aplican a interruptores automáticos de potencia de baja tensión (600 V) así como ensambles de 5/15kV. Figura 1 ilustra un ejemplo de una solución de actualización de un interruptor automático de potencia de baja tensión y figura 2 ilustra un ejemplo de una solución de actualización del interruptor automático de 4.16 kV o de 15 kV.

La sección 4.3 en la *Evaluación del Equipo eléctrico Dañado por Agua* también analiza el potencial del reacondicionamiento de relevadores de protección, medidores y transformadores. Una recomendación sugiere ponerse en contacto con el fabricante del equipo original para asegurar que todas las funciones de protección y control electrónicas se han restaurado completamente. Una opción de actualización también está disponible para estas aplicaciones puesto que los relevadores multifunción nuevos y medición pueden reemplazar varios dispositivos tradicionales. Los beneficios descritos anteriormente en cuanto a ahorro de costos, velocidad de entrega y la mejora de la tecnología también se aplican en esta aplicación. Figura 3 ilustra un ejemplo de una solución de actualización para relevadores, medición y controles manteniendo la estructura del equipo existente.



Figura 1. Equipo de potencia — Opción de actualización del interruptor automático de 480 V



Figura 2. Equipo de potencia — Opción de actualización del interruptor automático de 5/15 kV



Relevadores, medidores y controles originales



Relevadores multifuncionales, medidores y controles actualizados

*Figura 3. Equipo de potencia — Opción de actualización del relevador de protección, medidores y controles*

# Planificación de la recuperación del desastre

El mejor momento para planificar un desastre es antes de que llegue. Desafortunadamente, para varias de las víctimas de la súper-tormenta Sandy, este consejo no ayuda en la recuperación de daños mayores. Afortunadamente, con soluciones de gestión de la energía de hoy, el equipo puede instalarse y prepararse antes y después de un incidente catastrófico. Garantizando que las instalaciones comerciales se reacondicionan con la última iluminación de eficiencia energética y sistemas de control, las empresas y los gobiernos pueden garantizar que se conservan los datos de operaciones vitales y las operaciones pueden estar en línea tan pronto como sea posible. Los sistemas inteligentes vuelven a la línea y se recuperan con poca necesidad de intervención humana.

Como resultado, las empresas no necesitan esperar días o semanas para la respuesta del rescate de emergencia para ayudar a mitigar el daño y recuperar las operaciones. Se reducen también significativamente los costos de mano de obra para el mantenimiento y solución de problemas. Dicha confiabilidad es esencial para empresas comerciales e instituciones para sobrevivir una tormenta.

No existe un tamaño único que se ajuste a todas las plantillas para la planificación de desastres. Varios sistemas dentro de una instalación responden de manera diferente a la pérdida de energía. Después de un desastre, la energía debe restaurarse primero a los servicios más críticos, pero la definición de “crítico” cambia dependiendo de la duración de la interrupción. Los congeladores y almacenamiento refrigerado pueden ser sistemas críticos, pero una vez que el contenido alcance una temperatura crítica y se pierda el contenido, otras cargas dentro de una instalación pueden llegar a ser más críticas.

Tratar de resolver estas prioridades durante el caos que sigue a un evento hace la toma de decisiones más difícil. Si ocurre un desastre, pueden minimizarse las consecuencias de la pérdida de energía eléctrica con los procedimientos de emergencia establecidos.

Entrenar a los empleados para que sepan qué hacer. Hacer la preparación de emergencia parte de la cultura de una organización.

## Antes del desastre

- Obtener un proveedor calificado de servicio de primera respuesta con la amplitud y profundidad de personal capacitado y experimentado para el equipo en sus instalaciones.
  - Pasar el tiempo para identificar y cumplir con aquellos recursos que podrían contactarse para ayuda de desastres. Investigación de las capacidades de los proveedores. Asegúrese de que su personal recorrió las instalaciones y ha identificado las áreas críticas. Reconocer que para desastres generalizados como huracanes, los empleados se verán afectados. Asegúrese de que el proveedor puede proporcionar personas y materiales fuera de la zona como sea necesario.
- Realizar una auditoría de mitigación del riesgo antes de la crisis para estimar el impacto potencial de escenarios de desastres creíbles e identificar maneras de minimizar la vulnerabilidad en caso de un desastre.
  - Realizar una auditoría de la carga crítica para identificar todas las cargas que requieren energía de respaldo (que puede ser más de lo que está realmente respaldado hoy).

- Identificar las consecuencias de amenazas potenciales naturales (por ejemplo, inundación, tornado, huracán, terremoto) y artificiales (por ejemplo, terrorismo, error humano dentro de la organización). Este análisis debe tener en cuenta el entorno físico (por ejemplo, cerca del ferrocarril, aeropuertos, puertos o carreteras) e incluir el impacto financiero resultante de la pérdida de ese equipo.
- Describir las consecuencias de la pérdida de la electricidad (por ejemplo, falla del equipo de cómputo, pérdida de acceso, contaminación, personas atrapadas, liberación de productos químicos, etc.) con diferentes duraciones de interrupción. Tener un plan de contingencia para hacer frente a cada consecuencia (por ejemplo, clave de entrada manual de respaldo a cerraduras electrónicas).

**Nota:** Las auditorías antes de la crisis proporcionan beneficio adicional para identificar potencialmente los problemas internos — Recuerde que no todos los problemas son causados por acontecimientos externos — que podrían causar varios problemas incluyendo: almacenamiento bloqueo de las rutas de acceso/escape del equipo, pérdida de la estantería del interruptor automático o herramientas de elevación, pérdida de planos, etc.

- Llevar a cabo una auditoría de seguridad y establecer procedimientos para asegurar el remedio libre de lesiones.
- Asegurar la sensibilización del cumplimiento regulatorio
- Identificar toda la documentación crítica y crear un plan para almacenar esta información para que pueda accederse fuera del sitio en uno o más lugares seguros. No asuma que la nube de comunicaciones estará disponible en todos los escenarios de desastre.
- Considerar adicionar generación de energía eléctrica local. Esto puede tomar la forma de:
  - La generación local permanente en el sitio es de alto costo, pero elimina la necesidad de confiar en una compañía de alquiler que tenga un generador cuando lo necesite. Sin embargo, esto aumenta la responsabilidad para asegurar que el sistema está funcionando. Una solución común es contratar el mantenimiento a un distribuidor de motores calificado, normalmente el vendedor. No se olvide de contratar con los proveedores de combustible para suministro de combustible porque la entrega del combustible normal probablemente se verá afectada después de un problema que afecte una amplia zona.
  - Agregar provisiones para conectar energía temporal. Abrir y trabajar el equipo eléctrico sólo puede hacerse por profesionales capacitados y certificados, y esto incluye la conexión de un generador de emergencia. Recuerde, durante situaciones de emergencia, los comerciantes estarán en la alta demanda y escasez porque comienza la ardua labor de recuperación de la energía. Considerar tener provisiones ya instaladas para permitir simplemente conectar un generador de respaldo.
  - Las fuentes alternativas de energía, como un sistema de energía solar, típicamente se diseñan para funcionar cuando el suministro de energía de la red está disponible y automáticamente se apagan cuando la energía eléctrica se pierde; sin embargo, en tiempos de emergencia, tener energía eléctrica es altamente deseable. Reunirse con un proveedor de instalación solar o un proveedor de servicio de ingeniería calificado para explorar formas de configuración de fuentes de energía alternativas locales en una “isla” o una micro-red sobre una base como se necesita. Esto puede implicar agregar dispositivos adicionales de protección o dispositivos para automáticamente desprenderse de cargas de menor prioridad puesto que la energía alternativa raramente se dimensiona para alimentar la carga de un edificio entero.

- Identificar las fuentes de reparación de equipos y reemplazo. Estas fuentes deben estar certificadas para los equipos instalados. Puesto que varias instalaciones son antiguas y pueden incluir equipo eléctrico de una variedad de proveedores eléctricos, buscar las fuentes que tienen la certificación u otras que han demostrado capacidad para reparar, restaurar y renovar el equipo eléctrico instalado en su instalación.
- Asegúrese de que las organizaciones de apoyo contratadas tengan conocimientos en montaje de equipos de soporte, incluyendo generadores, equipos eléctricos de repuesto y redes de comunicación vía satélite.
- Desarrollar un plan de vida y alojamientos de apoyo para un equipo de respuesta a crisis internas y garantizar que los equipos de apoyo contratados están preparados similarmente. Los alojamientos para alimentos, agua y para dormir pueden ser escasos para asegurar que los equipos de apoyo puedan sostenerse a sí mismos.
- Con un sistema de comunicación por radio, garantizar su operatividad después de una falla del sistema eléctrico. Por lo general involucra el suministro de energía a cargadores y repetidores.
- Documentar su equipo instalado (marca, modelo, serie), configuración del dispositivo y software (proveedor proporcionado y usuario comprado). Actualizar la documentación al comprar o cambiar equipo o configuración. Asegúrese de que los nuevos miembros del personal están entrenados en este procedimiento como el personal anterior. Tener responsabilidades claras en cuanto a quién es responsable de mantener los datos actualizados.

## Recuperación después del desastre

- Dependiendo de la extensión del desastre, reconocer que puede prevenirse la falla de los sistemas de comunicación poniéndose en contacto con los proveedores de servicios. Considerar un arreglo previo con los proveedores para comprobación después de un evento en un área extensa.
- Ejecutar el plan de recuperación de desastres. Movilizar el equipo de recuperación de desastres, cada uno con las tareas asignadas.
  - El equipo incluye personal interno de la compañía y contratistas externos.
  - Utilizar líderes del equipo establecidos para priorizar tareas. Considerar la subcontratación de gestión de proyectos de especialidades tales como reparación o restauración de equipos eléctricos.
- Las aguas de la inundación conducen electricidad. Entrar en un edificio inundado, especialmente los cuartos que contengan equipo eléctrico, es peligroso. Sólo personal calificado en la operación en este entorno debe entrar en esas instalaciones.
- Si ha realizado alguna planificación anticipada o no, una vez que golpea un desastre, no entre en pánico. Elija cuidadosamente los proveedores de servicio eléctrico. Mientras que el personal de servicio calificado puede ser escaso después de un desastre en un área extensa, tenga cuidado en su apuro por encontrar apoyo. Contratar sólo proveedores de servicios calificados. Varios fabricantes de equipos eléctricos tienen programas donde los proveedores de servicios eléctricos están certificados por el fabricante. Revisar sus recomendaciones al visitar sitios web de los fabricantes. Un listado de fabricantes de equipo eléctrico está disponible en [www.nema.org/mfgs](http://www.nema.org/mfgs).



- Una vez que se ha recuperado de un desastre, dedique tiempo para revisar lo trabajado, lo que no, y lo que podría haberse hecho diferentemente o prevenido. Actualizar su plan si su equipo es comprado, actualizado, cambiado o reparado.

## Ejemplo

El huracán Rita, uno de los más intensos huracanes del Atlántico registrados, sacudió a Lake Charles, Louisiana, el 24 de septiembre de 2005. Una fábrica de productos químicos en Lake Charles se encontró en circunstancias extremas porque el huracán Rita dejó la planta sin energía en un punto crítico en su ciclo de producción. Varios millones de dólares de materiales de proceso y equipos corrían peligro y resultarían en una pérdida total dentro de una semana sin la restauración de la energía. Mediante el uso de un equipo externo especializado en este tipo de recuperación de emergencia, el equipo se salvó y se cumplieron los plazos de envío.

## Recomendaciones de la hoja de ruta

- Desarrollar una relación con un proveedor de servicio aprobado.
- Revisar y comprender los puntos críticos de la energía dentro de la operación.
- Analizar las oportunidades para energía alternativa y la generación de respaldo para cargas de energía críticas.
- Evaluar que el sistema de gestión de la energía sea el adecuado para su instalación. Las compañías de soluciones de iluminación y energía pueden evaluar el tamaño de la instalación, la naturaleza de los negocios y operaciones, las amenazas de desastre (por ejemplo, terremotos o inundaciones), y otras consideraciones para recomendar y cotizar tecnologías más nuevas, más inteligentes y adecuadas para necesidades específicas.
- Cuando se instala un sistema nuevo, asegúrese de que está correctamente programado para emergencias. Si es posible, conecte el sistema a los protocolos emergencia del sistema de automatización de la edificación. Correr pruebas de diagnóstico para asegurar que se recuperan la iluminación y los datos en caso de emergencias.
- Si ha experimentado daños por las tormentas, explorar opciones de modificación. Por ejemplo, las soluciones inalámbricas de recolección de energía son ideales para la sustitución y readaptación de edificios dañados. Pueden colocarse y programarse en minutos y no requieren tender cables. Como resultado, las funciones esenciales de negocio pueden continuar ininterrumpidas, acelerando la recuperación.
- Investigue las actualizaciones de los sistemas existentes. Si ya ha invertido en un sistema de control centralizado o control distribuido, investigar qué opciones están disponibles para actualizar a tecnologías más nuevas, más inteligentes con una recuperación confiable y preservación de datos constante. Estas tecnologías mejoradas son más seguras con asignaciones más altas de tensión y tiempos de recuperación mucho más ágiles, más rápidos después de las interrupciones de energía.

## Referencia

*Evaluating Water-Damaged Electrical Equipment* National Electrical Manufacturers Association (NEMA)

- [www.nema.org/Standards/Pages/Evaluating-Water-Damaged-Electrical-Equipment.aspx](http://www.nema.org/Standards/Pages/Evaluating-Water-Damaged-Electrical-Equipment.aspx)

# Priorizando actualizaciones necesarias: El principio de degradación agraciada

¿Qué debería guiar futuras actualizaciones?

Un “sistema bien pensado”. Algo que “mejora y crece con el tiempo”.

Algo que puede “construir y mejorar nuestro sistema, pero no arriesgar la confiabilidad de nuestras infraestructuras y servicios más críticos”.

En el mundo actual impulsado por IT, este concepto se llama “degradación agraciada” y en el contexto de la actualización de nuestra red eléctrica, puede considerarse como un enfoque para priorizar las mejoras necesarias.

Puede trabajar de una red concéntrica de configuraciones normales que disminuyen sucesivamente en círculos de prioridad hasta llegar a un núcleo central que debe funcionar en todo momento. Este círculo más pequeño tendría los más altos requisitos de confiabilidad. Varios pueden ver este mapa circular como empezando en el alimentador de la compañía de electricidad, luego definir áreas de micro-red, después campus limitados y terminando en edificios individuales.

Esto requiere un cambio de paradigma de diseños interconectados normalmente a los modelos de entrega que no dependen principalmente de una sola fuente de energía. La automatización restauradora es uno de los aspectos de este diseño, pero se extiende más a un diseño de red que tiene niveles de capas de pérdida de suministro bajo condiciones de emergencia.

## Una red más inteligente

Antes de proceder con cualquier cosa, una implementación de elementos básicos, rentables de una “red inteligente” debe tener lugar para asegurar más resistencia en el sistema actual. Dichos elementos incluyen:

- Redundancia aumentada de la red que soporta varias rutas de abastecimiento
- Automatización de la distribución para reconectar a los clientes
- Supervisión y control SCADA remoto para mejor evaluación de las condiciones actuales y gestión de la seguridad
- Gestión de interrupciones para guía eficiente de la restauración
- Análisis de la restauración de la carga y tensión para evitar problemas de restauración

Un concepto clave en esta fase es la interoperabilidad. La eficiencia y eficacia óptimas no podrán alcanzarse si no existe integración entre la tecnología de operaciones y tecnologías de la información que se utilizan para sistemas de supervisión, control, de analizar y gestionar los aspectos claves de operaciones del día a día y de emergencia. Afortunadamente, existen sistemas en la actualidad que son más “abiertos” y permiten la integración de los sistemas existentes en los nuevos.

Sería beneficioso para las compañías de electricidad con más de 50 000 clientes conectados tener un sistema de información geo-espacial para localizar activos, un sistema de gestión de distribución para visualizar y controlar la red y un sistema de gestión de la interrupción para el manejo automático y respuesta a los problemas. Esto aceleraría la evaluación y respuesta a los problemas en la red y facilitaría la comunicación con los consumidores.

## **Infraestructura: Trabajo hacia islas eléctricas auto-sustentables**

El mantenimiento de las infraestructuras críticas como hospitales, prisiones, estaciones de policía y bomberos y alumbrado público requiere más que sólo generación de respaldo para edificios o sistemas aislados; requiere infraestructuras de energía auto-sustentables como micro-redes integradas. Esencialmente, en una gran tormenta o evento, la disponibilidad del servicio eléctrico debe “degradarse con gracia” en áreas auto-sustentables de acuerdo con las prioridades en capas asignadas a las diferentes áreas de carga.

La generación y almacenamiento local permiten que las secciones de la red eléctrica funcionen independientemente en un modo de isla intencional durante una perturbación mayor de la red, como las recientes interrupciones generalizadas causadas por la súper-tormenta Sandy. La eficacia se aumenta ubicando la generación cerca del consumo lo que reduce costos y pérdidas asociadas con la transmisión.

Una micro-red utilizará recursos de energía distribuida (generación de energía) a través de su sistema para proporcionar energía cuando se desconecta de la red principal. Esto normalmente incluye una combinación de generación térmica y generación renovable. Lo importante, la micro-red puede escalarse para diferentes aplicaciones e implementarse en bases militares, instalaciones de cuidados intensivos críticos, centros hospitalarios, recintos de atención asistida, y otras áreas señaladas de alta prioridad o celulares que esencialmente se agregan y coordinan la carga y la alimentación en un área definida. Al implementar estas micro-redes, los diseños deben incluir tecnologías de modernización importantes incluyendo fuentes alternativas de generación, equipos de estabilización de la red, software de gestión de la red, almacenamiento de energía y una red de comunicaciones.

Las nuevas micro-redes utilizarán múltiples fuentes renovables y de generación de combustible alternativas (eólica, solar, celdas de combustible y gas natural) que pueden proporcionar energía a las cargas múltiples. Estas fuentes de energía alternativa no sólo permiten la redundancia, sino también reducir la dependencia de la generación de combustibles fósiles.

## **Tablero de control aislado con gas: Protección de fuentes de alimentación del agua**

Los tableros de control de media tensión (MT), especialmente para subestaciones eléctricas, están disponibles en forma de aislado con gas. El tablero de control aislado con gas (GIS) está contenido en un recipiente totalmente sellado, lo que significa que todos los conductores eléctricos y los interruptores en vacío están protegidos contra el medio ambiente. Este tipo de contención hace a los conductores del tablero de control de MT resistentes a la contaminación del agua. Además, los cables aislados que conectan al SIG utilizan un tipo de conector que es resistente a la inmersión temporal. Mientras que GIS normalmente no está diseñado para funcionar en condiciones sumergidas, es probable que soportaría una interrupción importante si temporalmente está sumergido en agua.

## **Confiabilidad habilitada con capacidad de comunicación**

Las tecnologías de mejora de la confiabilidad avanzadas de hoy ofrecen protección avanzada para líneas aéreas radiales. Son capaces de eliminar casi totalmente los efectos de las corrientes de falla temporales en las líneas radiales y cuando se aplican con velocidad de eliminación de la falla única (medio ciclo), también pueden proteger el fusible en el caso de fallas temporales. Esta tecnología generalmente está diseñada para instalarse en serie con el fusible. Cuando detecta una corriente de falla, se abre y permanece abierta por un determinado tiempo (tiempo muerto). A continuación, se cerrará otra vez y permanecerá cerrada. Si la falla es temporal, entonces la línea radial se vuelve a energizar. Si la falla es permanente, entonces se fundirá el fusible, protegiendo el sistema.

Con el fin de minimizar los costos de la instalación y de operación, esta tecnología se ofrece a menudo como parte de un sistema integrado de herramientas y accesorios. Uno de los más importantes es el módulo de comunicaciones que permite al equipo la interfaz con la tecnología del nivel del suelo utilizando una laptop o dispositivo portátil. Todos los diferentes componentes del sistema, cuando se trabajan juntos, permiten fácil instalación, rápida puesta en marcha y operación confiable en todas las condiciones.

## **Sistemas de distribución del alimentador localizar, aislar y restaurar**

Para ser más eficaz inmediatamente, las soluciones de automatización de la distribución de hoy deben ser inmediatamente aplicables con un enfoque con base en el modelo de acuerdo con las normas nacionales existentes, incluyendo las del Departamento de Energía y del Instituto Nacional de Normas y Tecnología.

Los controladores de automatización deben montarse fácilmente en nuevos o ya existentes restauradores, interruptores e interruptores automáticos de la subestación. El propósito de estos controladores de automatización es detectar y ubicar fallas en el circuito alimentador, aislar la sección con falla, luego restaurar la energía a las secciones sin falla hasta la capacidad asignada de la fuente de alimentación alternativa. La detección se proporciona a través del transformador de corriente y de posibles entradas del informador. Los controladores de automatización pueden instalarse dentro del tablero de control de cualquier fabricante y pueden configurarse para trabajar con la lógica existente de protección del alimentador.

## **Restauración rápida: Energía confiable a través del almacenamiento de energía modular**

El mercado de distribución de la energía está cambiando. El aumento de la utilización actual de la generación distribuida y energías renovables lleva a nuevos retos que se derivan de la capacidad de generación impredecible de las energías renovables, especialmente durante las interrupciones imprevisibles.

Los sistemas de almacenamiento de energía modulares son una solución viable para un suministro de energía confiable y sostenible en el futuro, ya sea por la integración de fuentes de energía renovables fluctuantes en la red, energía autosuficiente para micro-redes o como reserva confiable durante las interrupciones.

Estos sistemas combinan la electrónica de potencia avanzada para aplicaciones en la red y las baterías de más alto rendimiento de iones de litio. Importante, su diseño modular permite que la energía y la capacidad se adapten a las demandas específicas y garantiza alta disponibilidad y confiabilidad.

## **Recomendaciones de la hoja de ruta**

- Hacer la red existente más inteligente con tecnologías abiertas, de sobreponer que se implementan fácilmente, que permiten una degradación agraciada de todo el sistema.
- Mejorar la infraestructura crítica de los sitios con islas protegidas, auto-sustentables de energía en forma de micro-redes integradas.
- Mejorar la resistencia, el tiempo de notificación y de restauración para áreas menos críticas con soluciones sobrepuestas, flexibles y extensibles que permiten la futura integración en un sistema más amplio y más inteligente.

# Índice

## A

Automatización de distribución avanzada 5, 17

Automatización de la distribución 7, 17, 19, 21, 26, 61, 77, 79

Automatización de la distribución 6

Almacenamiento de la energía 5, 7, 8, 9, 32, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 46, 78, 79

**Almacenamiento de la energía** 3, 7, 31, 37, 38, 39, 40, 41

Alambre 10, 55, 58, 61

## B

Baterías 14, 34, 37, 38, 45, 49, 50, 79

Batería 8, 9, 37, 38, 39, 40, 41, 46

## C

Cable 10, 55, 56, 57, 58, 63, 69

**Cable** 4, 55, 56

Cables 10, 55, 56, 57, 58, 69, 78

Cogeneración 5, 9, 31, 32, 42, 43

Calor y energía combinadas 5, 8, 9, 32, 34, 38, 42

Calor y energía combinadas 3, 38, 42

Ciberataque 6, 8, 25, 28, 40

Ciberataques 7, 40

Ciberseguridad 28, 33, 41

Código Eléctrico Nacional® 11, 55, 65

## D

Dispositivos electrónicos inteligentes 24

## E

Energía de respaldo 5, 6, 39, 40, 41, 46, 47, 48, 49, 50, 73

Energía de respaldo 2, 38, 47

Energía renovable 32, 40, 79

Equipo eléctrico dañado por agua 4, 69, 70, 76

Estabilidad de la tensión 34, 36, 43, 60

Evaluación de daño por agua del equipo eléctrico 69, 70, 76

## F

Fuentes de alimentación ininterrumpida 37

## G

Generadores 8, 9, 10, 11, 32, 33, 34, 35, 38, 40, 42, 45, 49, 51, 52, 65, 66, 75

Generación distribuida 31, 79

**Generación distribuida 7**

## I

Infraestructura de medición avanzada 13, 21

## L

LEDs 45, 46

Localización de la falla, aislamiento, y restauración 40

Localización de la falla, aislamiento, y servicio de restauración 7, 24

## M

Micro-red 7, 8, 9, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 46, 74, 78

**Micro-red 7, 8, 34, 35**

Medidores inteligentes 6, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 60

Medidores inteligentes 6, 13, 14, 15, 16, 17

**Medidores inteligentes 3, 13, 15**

Módulo de plataforma confiable 29

## N

National Electrical Manufacturers Association 5, 69, 76

## R

Reconectores 7, 17, 19, 20, 25, 53, 79

Respuesta a la demanda 6, 14, 38

**Red inteligente 3, 6, 7, 13, 18, 19, 20, 22, 38, 60, 61, 67**

## S

Seguridad 6, 9, 11, 16, 22, 26, 28, 31, 35, 37, 38, 46, 47, 48, 65, 69, 74, 77

SCADA 20, 24, 25, 26, 27, 63

Sistema de gestión de la distribución 25, 77

Sistemas de gestión de la distribución 6, 18, 20

Sistema de gestión de la energía 60

Sistema de información geográfica 25

Sistemas de gestión de la distribución integrada 6, 18

Sistema de gestión de la interrupción 7, 15, 24, 77

Supervisión del ángulo de fase 60

Supervisión de la oscilación de la energía 60

Súper-tormenta Sandy 5, 18, 23, 31, 33, 37, 40, 42, 43, 45, 48, 51, 55, 59, 62, 65, 66, 67, 70, 73, 78

## T

Tablero de control 10, 56, 62, 63, 78, 79

Transmisión y distribución 18, 32, 51, 56, 60

## U

Unidades de medición del fasor 60

## V

VAR 23, 60

Volt/VAR 19