

en servicio. En general, estos elementos se deberían discutir durante las reuniones de la puesta en servicio. Por lo común, las discrepancias se identifican inicialmente mediante una inspección visual.

31.5.2 Revisión de las FPT. Las pruebas deberían ser revisadas por el cliente, por los contratistas eléctricos, por el personal de aseguramiento de la calidad, el personal de mantenimiento, y el resto del equipo de puesta en marcha. Las áreas de preocupación deberían incluir las siguientes:

- (1) ¿Todas las funciones del sistema que está siendo sometido a prueba?
- (2) ¿Se incluyen todos los componentes principales?
- (3) ¿Las pruebas reflejan los documentos de funcionamiento del sistema?
- (4) ¿Las pruebas son realistas? etc.

31.5.3 Efectuar los cambios necesarios en las FPT. Aquí es donde se implementarán las correcciones, las soluciones a los interrogantes, y las adiciones pertinentes. La autoridad a cargo de la puesta en servicio será quien se encargue de esto.

31.5.4 Aprobación de las FPT. Después de efectuar los cambios en las pruebas de desempeño funcional (FPT), éstos se presentan al equipo a cargo de la puesta en servicio. Cuando éstos sean aceptables, la autoridad a cargo de la aprobación o el cliente aprueban dichas pruebas. Se debería tener en cuenta que aunque las pruebas FTP estén aprobadas, se deberían tratar los problemas que surjan durante la prueba o en las áreas no tratadas.

31.6 Implementación de las pruebas. El tercer y último paso en un plan exitoso de puesta en servicio es la prueba y la ejecución correcta de las pruebas del sistema integrado. (*Ver las listas de verificación pertinentes en el Anexo H: Figura H.21(a), Figura H.23, Figura H.24, Figura H.25, y Figura H.35.*)

31.6.1 Listas de verificación. Por razones de coherencia, se recomienda que los formularios y listas de verificación, similares a los que se muestran en el Anexo H sean utilizados. Estos formularios asegurarán que los resultados de las FPT sean adecuadamente registrados, atestiguados, y aprobados. Adicionalmente, estos formularios asegurarán que los datos básicos existan para ser comparados con las mediciones futuras, para así establecer los requisitos de mantenimiento necesarios.

31.6.2 Sistema listo para funcionar. Las pruebas de desempeño funcional (FTP) se pueden implementar a medida que los diferentes sistemas se hacen operativos (por ej., la prueba del sistema del generador) o cuando todo el sistema está instalado. Sin embargo, la prueba final de “terminación” se realiza únicamente después de que todos los sistemas estén instalados en su totalidad. Si el contratista eléctrico (o el subcontratista) implementan las pruebas, un testigo debería firmar cada etapa de la prueba. El testigo no debería ser empleado directo o indirecto del contratista eléctrico.

31.6.3 Ejecución de pruebas (FPT). Si el sistema falla en la prueba, el problema debería ser resuelto y el equipo o el sistema se deberían volver a probar, o los requisitos de prueba se deberían volver a analizar hasta que se testifiquen pruebas exitosas. Una vez que el sistema o el equipo pasan la prueba, el funcionario a cargo de la puesta en servicio debería verificarlo.

31.6.4 El cliente recibe el sistema. Después de finalizar todas las pruebas (incluyendo la prueba de “terminación”) el sistema se debería ser entregado al cliente.

31.7 Costos de la puesta en marcha. Los costos de puesta en marcha para un sistema eléctrico dependen de muchos factores, incluyendo el tamaño del sistema, la complejidad, y el nivel de confiabilidad deseado. La construcción de nuevos edificios, la renovación de edificios existentes, o la modernización, también afectan los costos de puesta en servicio, los cuales para un edificio nuevo pueden fluctuar del 0.5 al 1.5 por ciento del costo total de la construcción, como se muestra en la Tabla 31.7. El costo de puesta en marcha es pequeño comparado al costo potencial del sistema completo. La experiencia ha demostrado que el costo de puesta en marcha inicial es compensado con creces por el aumento de la confiabilidad del sistema y la reducción de costos de operación.

Tabla 31.7 Costos de puesta en marcha, nueva construcción

Alcance de la puesta en servicio	Costo
Puesta en marcha de todo el edificio (sistemas de HVAC, control, eléctricos, mecánicos).	0.5%–1.5% del costo total de la construcción.
Puesta en marcha del sistema de HVAC y sistema automatizado de control.	1.5%–2.5% del costo del sistema mecánico.
Puesta en marcha de los sistemas eléctricos.	1.0%–1.5% del costo del sistema eléctrico.

(Fuente: Administración de Servicios Generales y Departamento de Energía de los Estados Unidos, Guía de Puesta de marcha del edificio, 30 de Julio, 1998.)

Capítulo 32 Recuperación de desastres y restablecimiento del sistema eléctrico

32.1 Introducción. Cuando los sistemas eléctricos se enfrentan a un desastre, ya sea de carácter natural o provocado por el hombre, se debería producir una secuencia muy específica y detallada de eventos para restablecer el sistema eléctrico de manera rápida y segura. También pueden tomarse medidas para la reducción de daños al sistema, con el objetivo de acortar los tiempos de recuperación. Es especialmente crítico, después de un desastre, analizar y reparar el sistema de energía eléctrica en una secuencia lógica y segura. Este Capítulo, describe los pasos que se deberían seguir para restablecer el sistema eléctrico y los equipos relacionados antes y después de ocurrir un evento de desastre eléctrico.

32.2 Categorías del evento catastrófico. Los acontecimientos que rodean a un desastre pueden describirse en fases específicas del evento.

32.2.1 El evento inicial. Los esfuerzos para la recuperación ante un desastre pueden deberse a las consecuencias de eventos naturales o de eventos provocados por el hombre. Los escenarios de desastre, incluyendo los siguientes aunque la lista no es exhaustiva, pueden causar daños de mayor o menor grado a las instalaciones:

- (1) Fuego: hollín, daños a equipos y materiales, daños por agua, daños estructurales.

- (2) Inundaciones: daños por agua, daños estructurales.
- (3) Huracán: daños por agua, daños estructurales, daños a la infraestructura de red pública.
- (4) Tornado: daños por agua, daños estructurales, daños a la infraestructura de red pública.
- (5) Terremoto: daño estructural, daños a la infraestructura de red pública.

32.2.2 Asegurar la instalación para limitar el daño. Si es posible, una instalación debería ser asegurada antes del evento de desastre para limitar los daños eléctricos y mecánicos a los equipos y sistemas. Los sistemas eléctricos y mecánicos deben ser detenidos y asegurados, y los componentes críticos deberían ser retirados o resguardados. Ejemplos de tareas para limitar el daño son:

- (1) Retire los motores críticos de su base y elévelos por encima de la línea de inundación o retírelos del sitio de la inundación.
- (2) Desenergice la energía para evitar daños por cortocircuitos y arcos eléctricos.
- (3) Asegure los tanques de almacenamiento seguros y otros dispositivos de gran tamaño que podrían irse flotando.
- (4) Coloque bolsas de arena frente de los cuartos de equipos eléctricos para limitar la entrada de agua y escombros.
- (5) Retire los equipos electrónicos y de computación críticos del sitio.
- (6) Retire todos los equipos eléctricos, planos, manuales y suministros almacenados a nivel del suelo.

32.2.3 Movilización de personal de recuperación. Durante los eventos del desastre a gran escala, uno de los mayores desafíos para un centro industrial o comercial es proveer suficientes contratistas calificados y especialistas en la recuperación de desastres para realizar la remediación requerida para la instalación. Antes de que un desastre ocurra, un plan previo debería ser desarrollado para la movilización del personal de recuperación. También deberían considerarse las necesidades del personal durante la recuperación del desastre, incluyendo un plan para abordar las necesidades físicas y las provisiones básicas tales como el transporte, comida, refugio, e higiene.

32.2.3.1 Personal de planta. Antes de que ocurra un desastre, el personal responsable de las operaciones de recuperación de desastres y la reparación de las instalaciones deberían ser designados y tener posesión del plan de acción que se va a aplicar. Dependiendo de la magnitud del evento, el esfuerzo de recuperación se puede hacer únicamente con personal propio o con la ayuda de empresas de restauración profesional.

32.2.3.2 Personal externo (contratista). Antes del evento de un desastre, en las instalaciones se debería evaluar la instalación de acuerdos maestros de servicios (MSA, por sus siglas en inglés) con múltiples proveedores calificados especializados en servicios de recuperación de desastres eléctricos. De esta manera se evitan confusiones y retrasos en los esfuerzos de recuperación. Decida quién realizará la limpieza (remoción de escombros y la restauración de equipo eléctrico) y provea los equipos de apoyo (por ej., bombas sumergibles, equipo pesado y operadores, equipos de alimentación de emergencia, y servicios eléctricos temporales). Las instalaciones de reparación calificada deberían ser identificadas antes

de un evento de recuperación de desastres.

32.2.3.3 Notificación a la compañía de seguros. Tan pronto como sea posible, el representante para la liquidación de siniestros de la compañía de seguros debería ser notificado del evento.

32.2.4 Desarrollo de un plan de seguridad. Un plan de seguridad específico del emplazamiento debería desarrollarse antes de que ocurra un desastre. Al realizar la recuperación de los equipos eléctricos, la seguridad, el medio ambiente y la salud son primordiales. El bloqueo/etiquetado, las pruebas de antes de entrar en contacto, y la aplicación de puestas a tierra de seguridad, son típicamente abordados en los planes de seguridad eléctrica del sitio. Si bien estos son los aspectos de seguridad clave para colocar el equipo en una condición eléctricamente segura, hay otros elementos de seguridad que deberían abordarse e integrarse al plan de seguridad, tales como los siguientes:

- (1) La calidad del aire.
- (2) Cuestiones estructurales.
- (3) Riesgo de exposición a derrames químicos y biológicos.
- (4) Riesgos específicos del sitio.
- (5) Requisitos de EPP específicos para el sitio.

32.2.5 Generación de energía temporal y de emergencia.

Cuando ocurren desastres, muchas veces hay una pérdida del suministro de energía de la red pública. Esto crea un desafío único de seguridad y logística en el suministro de la energía eléctrica necesaria en la instalación para los sistemas críticos y la iluminación. La energía temporal de la planta debería ser suministrada por partes para reducir los riesgos de choque y arco eléctrico. Para ello, debería haber personal dedicado responsable de la energía temporal, y el mismo debería desarrollar todas las normas y procedimientos escritos a seguir. Los procedimientos de energía de emergencia típicos deberían identificar elementos tales como los siguientes:

- (1) Retroalimentación de los equipos.
- (2) Arrancadores individuales de motores para las bombas.
- (3) Señalización temporal y barricadas.
- (4) Mapas de ubicación del generador del sitio.
- (5) Horarios de abastecimiento de combustible.
- (6) Formularios escritos para la adición de energía eléctrica.
- (7) Flujo de acceso y escape.

32.2.6 Evaluación inicial de daños. Una de las primeras tareas en la evaluación del daño a los equipos y el sistema que afectan a los equipos eléctricos involucrados en un caso de desastre es reunir todos los planos pertinentes y la documentación disponible y realizar un recorrido haciendo la evaluación inicial de toda la infraestructura eléctrica.

32.2.6.1 Planos, esquemas, y documentación del equipo. En algunos casos los planos y la documentación no están disponibles debido a la destrucción a partir del evento de desastre. Todos los libros de instrucciones de equipos, manuales de operación y mantenimiento (O&M), y la documentación deberían ser identificados y deben estar ubicados de forma centralizada.

32.2.6.2 Evaluación de prioridades. Las prioridades para la reposición de los equipos deberían evaluarse comenzando por los equipos de la más alta prioridad. Los ejemplos de las categorías de equipos típicos son:

- (1) Categoría 1: equipos de media tensión, incluyendo los transformadores de distribución.
- (2) Categoría 2: equipos de distribución de baja tensión.
- (3) Categoría 3: motores eléctricos.
- (4) Categoría 4: equipos de sistemas auxiliares [Balance de Planta (BoP, por sus siglas en inglés)].

32.2.7 Documentación. Todos los componentes o equipos eléctricos deberían estar debidamente documentados antes de su traslado, para asegurar que el equipo se vuelva a instalar correctamente como se encontró. El proceso de documentación incluye lo siguiente:

- (1) Marcar cada pieza del equipo.
- (2) Etiquete todos los cables de control y potencia.
- (3) Tome una fotografía digital de cada pieza de equipo.
- (4) Dibuje un diagrama preciso de cada equipo en la hoja de dibujo de equipos eléctricos.
- (5) Rellene el formulario de seguimiento de los equipos eléctricos.
- (6) Guarde todas las imágenes en una base de datos local.
- (7) Archive la hoja de dibujo de equipos eléctricos.
- (8) Inicie un documento principal de seguimiento de los equipos eléctricos.
- (9) Envíe documentos de todos los equipos eléctricos.

32.2.7.1 Actividades del servicio autorizado. Si el equipo se va a quitar de la instalación afectada para su reparación a un centro de servicio autorizado fuera de las instalaciones, el equipo debería ser etiquetado, identificado y rastreado y el estado debería ser actualizado en una base de datos central de reparación de equipos.

32.2.7.2 Etiquetado del equipo. La información sobre cada etiqueta debería incluir un número de secuencia único, número de identificación de planta, descripción de la planta, fecha, centro de potencia, o número de cuarto. La etiqueta debería ser llenada con un marcador permanente de medio punto para que la información sea legible. La etiqueta debería estar unida al equipo con un lazo de alambre de plástico fijo y seguro.

32.2.7.3 Etiquetado de cables. Todos los cables de control deberían ser etiquetados con los números de cable y los cables de alimentación con cinta adhesiva de color. Asegúrese de que cada lado de la terminación, tanto el alambre y el dispositivo conectado, se identifica. Esto asegurará que el cableado sea reconectado como se instaló originalmente.

32.2.7.4 Fotografías del equipo. Después de que el equipo ha sido etiquetado y los conductores están rotulados, deberían tomarse un mínimo de tres fotografías de cada pieza de equipo. La primera foto debería incluir la etiqueta de equipo, asegurándose de que la etiqueta sea legible y la imagen sea clara. La segunda foto es una visión general con el único propósito de documentar y esclarecer el cableado para el proceso de reinstalación y debería incluir todo el cableado asociado con el dispositivo. La tercera fotografía debería ser de la placa de características del equipo. Fotografías adicionales se deberían tomar cuando se considere apropiado.

32.2.7.5 Bosquejo de campo. Se debería generar un bosquejo de campo detallado del equipo eléctrico. El boceto debería registrarse en una plantilla de dibujo de equipamiento eléctrico. Esta hoja de dibujo debería incluir el nombre del trabajo, número de trabajo, centro de potencia, número de

secuencia, el número de equipos de la planta, descripción de la planta, nombre técnico, la fecha y suficiente espacio para dibujar la pieza de equipo.

32.2.7.6 Hoja de seguimiento del equipo. Después de que se hizo el boceto de la pieza de equipo, el equipo debería añadirse a una hoja de seguimiento de los equipos eléctricos. La hoja de seguimiento del equipo eléctrico debería ser personalizada y detallada. La hoja de seguimiento debería incluir información general tal como la condición general, el número de artículo, número de secuencia, la prioridad, área de la planta, centro de potencia o número de cuarto, transformadores, subestaciones, posición de la celda, tipo de equipo, identificación del circuito, número de identificación de planta, fabricante, nivel por ciento de agua, número de modelo, tamaño y tensión. El campo información de seguimiento debería incluir también la fecha documentada, fecha de retiro, fecha de envío, la fecha de regreso, la fecha de instalación, y cualquier fecha que se realizaron los procedimientos de aseguramiento de calidad.

32.2.7.7 Reparación o reemplazo. Durante el proceso de documentación, las decisiones iniciales deberían tomarse considerando cada pieza del equipo que está dañada. Buscar los servicios del personal de evaluación de equipos calificado, o representantes de fabricantes o expertos en la materia, es importante para el proceso de toma de decisiones.

32.2.7.7.1 Decisiones de reemplazo o reparación. Muchos factores pueden afectar la decisión de reemplazo/reparación. Algunas de las decisiones probables son:

- (1) ¿El equipo puede ser reparado o necesita ser reemplazado?
- (2) ¿Las reparaciones pueden llevarse a cabo en el lugar o el equipo necesita ser llevado a una instalación de reparación?

32.2.7.7.2 Factores de reemplazo o reparación. Algunos de los factores que pueden afectar la decisión de reparar o reemplazar son:

- (1) ¿El equipo se sigue fabricando?
- (2) ¿Hay plazo de entrega para reemplazar con uno nuevo?
- (3) ¿El rendimiento del equipo se verá comprometido si se repara?
- (4) ¿Cuál es la antigüedad del equipo?
- (5) ¿Cuál es el requerimiento de confiabilidad?
- (6) ¿Puede ser efectivamente reparado?
- (7) ¿El fabricante sigue operando?
- (8) ¿El técnico contratista está calificado para esta tarea?
- (9) ¿La autoridad competente permitirá la reparación o reemplazo?
- (10) ¿Cuál es el impacto financiero?
- (11) ¿Cuál es el tiempo total de parada requerido?

32.2.8 Normas y guías de la industria. Las normas y guías de la industria deberían ser consultadas para obtener más información. Puede encontrarse información disponible en:

- (1) Asociación de servicios de aparatos eléctricos (EASA), ANSI/EASA AR100, *Práctica recomendada para la reparación de aparatos eléctricos rotatorios*.
- (2) Agencia federal para el manejo de emergencias (FEMA), FEMA P-348, *Protección de las instalaciones de edificios de los daños de inundación: Principios y prácticas para el diseño y construcción de sistemas e instalaciones en edificios resistentes a las inundaciones*.

- (3) Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE), IEEE 3007.2, *Práctica recomendada IEEE para el mantenimiento de sistemas de energía industriales y comerciales.*
- (4) Asociación nacional de fabricantes eléctricos (NEMA) NEMA, Evaluación de equipos eléctricos dañados con agua.
- (5) Asociación internacional de pruebas eléctricas (NETA) ANSI/NETA ATS, *Norma para las especificaciones de pruebas de aceptación.*
- (6) ANSI/NETA MTS, *Norma para las especificaciones de pruebas de mantenimiento de sistemas y equipos de distribución de energía eléctrica.*
- (7) Asociación nacional de protección contra incendios (NFPA), *NFPA 70 y NFPA 70E*
- (8) Conferencia técnica anual de prueba de potencia, 2009, *Reparación de inundación de equipos eléctricos; 12 de marzo, 2009, Pat Beisert, Shermco Industries*
- (9) Asociación nacional de fabricantes eléctricos (NEMA), *Evaluación de equipos eléctricos dañados con fuego y calor.*

32.2.9 Equipos de media tensión. Los equipos de media tensión normalmente sirven como la columna vertebral del sistema de energía eléctrica y debería ser el objetivo principal de las actividades iniciales de recuperación.

32.2.10 Equipo de distribución de bajo voltaje. Los componentes afectados del equipo de media tensión deberían ser retirados para facilitar la limpieza y el secado de las estructuras. Durante el retiro de los equipos, se debería tener cuidado de mantener todo el cableado para cada componente bien marcado y reunido.

32.2.11 Motores eléctricos. Cuando un evento de desastre involucra el agua, la reparación de los motores eléctricos se vuelve un componente principal dentro del proyecto de recuperación de inundaciones. El proceso de documentación es muy similar al de otros equipos eléctricos pero hay elementos adicionales que deberían ser documentados. El proceso de documentación debería incluir lo siguiente:

- (1) Registre los datos de la placa de características y la ubicación del motor.
- (2) Marque la base del motor y el motor con un número de secuencia único.
- (3) Marque y registre las conexiones eléctricas.
- (4) Anote la información de los acoples y la condición en que se encuentran.
- (5) Marque y registre la información de los suplementos.
- (6) Recoja todos los materiales y herrajes del montaje, acoples, y suplementos almacénelos en su propio envase etiquetado. Este equipo debería quedar en el sitio guardado en un lugar central.

32.2.12 Cableado de alimentación y control. El cableado de alimentación y control debería someterse a prueba para determinar su capacidad de servicio. (Ver 11.21, Cables.)

32.2.13 Reparaciones eléctricas de balance de planta (BoP, por sus siglas en inglés). El “balance de planta” está compuesto por todos los equipos y sistemas de las instalaciones auxiliares; aparte de los equipos de media tensión, equipos de distribución de baja tensión, y motores. Estos dispositivos son típicamente reparados mediante el reemplazo.

32.2.14 Reenergización de la instalación. La reenergización inicial con energía de la red pública en una instalación dañada por un desastre debería ser cuidadosamente planificada

y ejecutada de forma metódica. Para reducir la posibilidad de que ocurra la energización accidental de los equipos, puede ser prudente prescindir de la energización de red hasta tanto no se hayan reparado o reemplazado todos los equipos afectados.

32.2.15 Puesta en servicio del sistema. Durante la reenergización de la instalación, se deberían verificar el funcionamiento y el desempeño de los equipos. [Ver el Capítulo 31, MEP desde la puesta en marcha (prueba de aceptación) y durante el mantenimiento, y la Figura H.35 en el Anexo H.] Debería establecerse un período de monitoreo para verificar y documentar que el buen funcionamiento ha sido restaurado.

32.2.16 Resumen del proyecto. Después de un evento de recuperación de desastres hay información recopilada que debería quedar disponible para futuras consultas. El informe final del proyecto ejecutado debería contener estos datos y debería incluir información tal como la siguiente:

- (1) Condiciones de la infraestructura eléctrica al inicio (como se encontró).
- (2) Listado de equipos reparados o reemplazados.
- (3) Resultados de las pruebas de todos los equipos que fueron puestos a prueba.
- (4) Evaluación de la condición individual de los equipos.
- (5) Plan de reemplazo de equipos a largo plazo.

Capítulo 33 Sistemas fotovoltaicos

33.1 Introducción.

33.1.1 Un sistema de energía eléctrica solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable. Los principales componentes del sistema eléctrico incluyen el circuito serie, el/los inversor(es), y el/los controlador(es). El circuito serie (o arreglo) generalmente se encuentra montado sobre el techo de un edificio o sobre soportes en arreglos montados sobre el suelo. Los sistemas fotovoltaicos pueden ser interactivos, con otras fuentes de energía eléctrica, o autónomos; con o sin almacenamiento de energía eléctrica, como las baterías.

33.1.2 El programa de mantenimiento debería planificarse en el momento en que el sistema está instalado para asegurar el mayor nivel de seguridad para el trabajador de mantenimiento y obtener el más alto nivel de eficiencia en la operación del sistema.

33.1.3 Los elementos meteorológicos y los cambios climáticos pueden tener un impacto significativo en el sistema fotovoltaico, y se le debería poner especial atención al sistema, después de eventos ambientales o climáticos significativos.

33.1.4 Los sistemas fotovoltaicos suelen generar tensiones en el rango de 400 V c.c. a 1000 V c.a. Sólo las personas calificadas deberían realizar el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos debido a los peligros específicos asociados con los arreglos, que siempre están produciendo energía eléctrica.

33.2 Mantenimiento del sistema fotovoltaico.

33.2.1 Un sistema fotovoltaico recientemente instalado debería acompañarse con la documentación de respaldo que incluya especificaciones, esquemas eléctricos, dibujos mecánicos, y una lista de materiales.