

INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRICIDAD  
Y ENERGÍAS LIMPIAS

# Transformadores de potencia: operación, diagnóstico y gestión del mantenimiento

**Créditos: 6**  
**40 horas**

## Objetivo

Aplicar los aspectos principales de operación, pruebas y gestión del mantenimiento aplicado a transformadores eléctricos de potencia, con la finalidad de que el participante pueda realizar el diagnóstico y evaluación adecuado de estos equipos y sus componentes principales, para utilización en estándares y prácticas internacionales.

## Dirigido

Ingenieros electricistas o similares, que tengan la responsabilidad de la gestión, operación y evaluación de transformadores de potencia y que desean incrementar sus conocimientos acerca de los sistemas que constituyen a los transformadores y de las técnicas tradicionales y modernas de diagnóstico disponibles.

## Temario

Apertura (Todos los instructores)

1. Introducción. (Dr. Carlos Azcárraga)

1.1. Transformadores de potencia: características y clasificación de acuerdo a normas CFE, IEC y del IEEE.

1.2. Principios básicos de diseño y construcción.

1.2.1. Conceptos de teoría electromagnética aplicables a transformadores

1.2.2. Circuito eléctrico y magnético equivalente

1.2.3. Diagrama vectorial de un transformador ideal y real

1.3. Principales subsistemas que integran un transformador.

1.3.1. Dieléctrico

1.3.1.1. Aislamiento entre vueltas

1.3.1.2. Aislamiento fase a tierra

1.3.1.3. Aislamiento entre fases

1.3.2. Eléctrico

1.3.2.1. Devanados primario

1.3.2.2. Devanado secundario

1.3.2.3. Devanado terciario

1.3.3. Magnético

1.3.3.1. Núcleo

1.3.3.2. Estructura soporte

1.3.4. Térmico

1.3.4.1. Radiadores

1.3.4.2. Válvulas

1.3.4.3. Bombas de circulación de aceite

1.3.4.4. Ventiladores

1.3.5. Mecánico

1.3.5.1. Tanque principal

1.3.5.2. Tanque conservador

1.3.5.3. Válvulas de llenado

1.3.5.4. Válvulas de vaciado

- 1.3.5.5. Sistema para garantizar la integridad mecánica durante:
  - Corto circuito
  - Sismos
  - Transporte
- 1.3.6. Accesorios
  - 1.3.6.1. Boquillas ó pasamuros
  - 1.3.6.2. Cambiador de derivaciones
  - 1.3.6.3. Relevador Buchholtz
  - 1.3.6.4. Indicadores
    - Temperatura
    - Nivel
2. Operación de transformadores:
  - 2.1. ¿Qué se le opera a un transformador? Regulación, enfriamiento y tipo de conexión
  - 2.2. Operación normal de un transformador: condiciones de tensión, corriente, derivaciones, temperatura, vibración, humedad en el aceite y papel, ruido en operación normal. Vida útil esperada.
  - 2.3. Protección de transformadores.
    - 2.3.1. Tipos de fallas
    - 2.3.2. Protección diferencial 87T
    - 2.3.3. Protección de sobre-corriente 50/51
    - 2.3.4. Protección de tierra 64
    - 2.3.5. Protecciones mecánicas
  - 2.4. Condiciones transitorias de operación: Sobrecarga, sobretensiones transitorias, corto circuito, circuitos abiertos.
  - 2.5. Condiciones de sobrecarga, reducción de vida, contenido de humedad y formación de burbujas
  - 2.6. ¿Qué se tiene que hacer para operar un transformador?
- 2.7. Cómo afecta la aplicación o uso de transformadores en su operación
3. Diagnóstico de Transformadores: (Ing. Armando Nava)
  - 3.1. Importancia del transformador, interrupción del servicio, costos de reparación, energía no suministrada, incremento de capacidad en red para satisfacer la demanda
  - 3.2. Principales causas de falla, fallas incipientes. Revisión de la estadística de fallas de transformadores de potencia.
  - 3.3. Fundamentos de diagnóstico y monitoreo.
    - 3.3.1. Causas raíz de falla
    - 3.3.2. Identificación de problemas de diseño, materiales y procesos de fabricación
  - 3.4. Pruebas en sitio de rutina, Manual de Transformadores de la CFE
  - 3.5. Pruebas especiales: Pruebas de diagnóstico, norma IEEE C57.125 de investigación de fallas (Ing. Nava/Dr. Azcárraga)
    - 3.5.1. Descargas parciales por el método acústico
    - 3.5.2. Espectroscopia dieléctrica
    - 3.5.3. Análisis de respuesta a la frecuencia
  - 3.6. Indicadores y pruebas asociadas al diagnóstico de los elementos de un transformador
    - 3.6.1. Materiales aislantes
    - 3.6.2. Devanados
    - 3.6.3. Núcleo
    - 3.6.4. Boquillas ó pasamuros
    - 3.6.5. Cambiador de derivaciones
    - 3.6.6. Tanque

- 3.6.7. Radiadores (sistema de enfriamiento)
- 3.6.8. Accesorios
- 3.7. Diagnóstico del sistema aislante mediante pruebas fisicoquímicas y AGD (Ing. José Carlos Ruiz Vázquez)
  - 3.7.1. Introducción
  - 3.7.2. Características de los materiales aislantes
  - 3.7.3. Degradación del sistema aislante aceite/papel
  - 3.7.4. Pruebas para el diagnóstico del sistema aislante
    - 3.7.4.1. Pruebas al papel aislante
    - 3.7.4.2. Pruebas al aceite aislante
  - 3.7.5. Análisis de gases disueltos (AGD)
  - 3.7.6. Técnicas de diagnóstico por AGD
  - 3.7.7. Metodología para la toma de muestras de aceite
  - 3.7.8. Tendencias mundiales. Fluidos biodegradables
- 4. Gestión del mantenimiento: (M.I. Carlos Alberto Haro Hernández)
  - 4.1. Propósito del mantenimiento
  - 4.2. Límites de riesgo que detonan acciones de mantenimiento
  - 4.3. Factores de riesgo detonan que acciones de mantenimiento
  - 4.4. Gestión del mantenimiento
    - 4.4.1. Correctivo
    - 4.4.2. Preventivo
    - 4.4.3. Predictivo
    - 4.4.4. Centrado en confiabilidad
  - 4.5. Mantenimiento, diagnóstico y tendencias mundiales
    - 4.5.1. Criterios de mantenimiento
    - 4.5.2. Nuevas tecnologías

4.6. Cálculo de índices de salud

5. Mesa redonda: (Todos los participantes e instructores)

5.1. Presentación y discusión de casos de estudio

## Instructores



**Dr. Carlos Gustavo  
Azcárraga Ramos**

Doctor en Ingeniería Electrotécnica por la Universidad de Bolonia, Italia; Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con mención honorífica en la SEPI-ESIME del Instituto Politécnico Nacional e Ingeniero Electromecánico (Honores) por el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Desde 1997, el Dr. Azcárraga trabaja en la Gerencia de Equipos Eléctricos del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) en el desarrollo de técnicas de alta sensibilidad para el diagnóstico de transformadores de potencia y equipo primario de subestaciones. Representa al INEEL en diversos foros y grupos de trabajo de especialistas nacionales e internacionales. Fue el representante mexicano en el Comité SC A3 High Voltage Equipment de Cigré del 2009 al 2014. Es autor y coautor de más de 30 artículos técnicos relacionados con la evaluación del sistema dieléctrico de equipos de alta tensión. Ha liderado varios proyectos para

la Comisión Federal de Electricidad, Pemex y sector privado en el rubro de diagnóstico de equipo de alta tensión y adopción de nuevas tecnologías. Ha sido Profesor en la Universidad Cuauhnáhuac, la Universidad Fray Luca Paccioli, la Universidad Morelos y el Centro de Posgrado del INEEL, impartiendo cursos relacionados con diseño mecánico y teoría electromagnética aplicada. Ha dirigido becarios de Adiestramiento en Investigación Tecnológica y tesis de Licenciatura y Maestría.



**Ing. José Armando  
Nava Guzmán**

Ingeniero Electricista egresado del Instituto Tecnológico de Tepic, en julio de 1992. En 1993, ingresó al Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias donde actualmente se desempeña como investigador de la Gerencia de Equipos Eléctricos. Cuenta con 25 años de experiencia en la línea de equipo primario de subestaciones. Ha participado y dirigido proyectos relacionados con el diagnóstico en línea y fuera de línea de equipo eléctrico instalado en la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Petróleos Mexicanos (PEMEX) e industria privada.



**M.I. Carlos Alberto  
Haro Hernández**

Es Ingeniero Eléctrico y Maestro en Ingeniería Eléctrica con énfasis en Transformadores por la Facultad de Ingeniería Eléctrica, cuenta con una certificación en Termografía nivel I. Cuenta con Trayectoria con más de 10 años como ingeniero de investigación y desarrollo con experiencia en el desarrollo de metodologías para evaluar la condición de equipo primario de subestación basadas en índices de salud, incluyendo herramientas para determinar la capacidad de sobrecarga y estimar la vida residual de transformadores de potencia en función a las condiciones de operación. Así mismo, en la realización y análisis de pruebas eléctricas especializadas y no invasivas para equipos eléctricos de potencia incluyendo la evaluación de fluidos dieléctricos mediante el análisis de gases disueltos y pruebas fisicoquímicas.