

INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRICIDAD  
Y ENERGÍAS LIMPIAS

## **Medición e interpretación de descargas parciales en equipo de alta tensión**

**Créditos: 6  
40 horas**

### **Objetivo**

Conocer los fundamentos de las descargas parciales y sus principios de medición aplicados a las pruebas de equipos de alta tensión, incluyendo generadores, transformadores, subestaciones aisladas en gas, motores y cables subterráneos, para realizar o supervisar mediciones de descargas parciales dentro de un programa basado en la condición del aislamiento eléctrico que permita el control de calidad o el diagnóstico de equipos de alta tensión tomando como base los estándares, prácticas internacionales y experiencia personal.

### **Dirigido**

Ingenieros responsables de la ejecución y análisis de pruebas eléctricas en laboratorio y campo que deseen adquirir conocimientos básicos y avanzados de la teoría y aplicación de mediciones normalizadas y no convencionales de descargas parciales en los distintos tipos de equipo eléctrico de potencia, con la finalidad de establecer los requisitos normativos y prácticos que deben reunir los detectores de descargas parciales y los circuitos de prueba, los detalles prácticos de la implementación de las mediciones, las limitaciones de las mismas y alternativas para subsanarlas.

### **Temario**

1. Introducción
  - 1.1. ¿Qué son las descargas parciales?
  - 1.2. Evidencias de descargas parciales
  - 1.3. Efectos de las descargas parciales
2. Teoría electromagnética asociada
  - 2.1. Campo eléctrico
  - 2.2. Influencia de la permitividad en cavidades
  - 2.3. Influencia de la permitividad en interfaces
  - 2.4. Ley de Paschen
3. Teoría básica de materiales
  - 3.1. Susceptibilidad a las DP's
  - 3.2. Tipos de fallas en equipo de alta tensión

- 3.3. Resistencia a las DP de los materiales
- 3.4. Composición de los aislamientos
- 3.5. Estructura atómica
- 3.6. Bandas de energía
- 3.7. Potencial de ionización
- 3.8. Estructura cristalina
- 3.9. Estructuras orgánicas e inorgánicas
- 3.10. Polimerización
- 3.11. Cristalización y polimerización
- 3.12. Esferulitas
- 3.13. Conducción en polímeros
4. Teoría básica de descargas
  - 4.1. Capacitancia
  - 4.2. Estudio de la descarga
  - 4.3. Gases: temperatura y presión
  - 4.4. Electrón inicial
  - 4.5. Distancias moleculares en gases
  - 4.6. Energía cinética del electrón
  - 4.7. Captura electrónica
  - 4.8. Avalancha electrónica
  - 4.9. Metaestables
  - 4.10. Efecto de las DP
  - 4.11. Métodos de detección de descargas parciales
  - 4.12. Algunos tipos de descargas parciales
  - 4.13. Factores de refuerzo de campo
  - 4.14. Formación de avalanchas
  - 4.15. Equivalentes eléctricos
  - 4.16. Inyección de carga
  - 4.17. Patrones de descargas parciales en cavidades
  - 4.18. Patrones de descargas parciales en superficies
  - 4.19. Patrones de descargas parciales tipo corona
  - 4.20. Patrones de descargas parciales por elementos flotados
  - 4.21. Otros fenómenos: DP en sistemas HVDC
5. Instrumentación para detección de descargas parciales
  - 5.1. Norma IEC 60270
  - 5.2. Carga aparente
  - 5.3. Tasa de repetición
  - 5.4. Potencia y tasa cuadrática de la descarga
  - 5.5. Circuito ABC y sus consecuencias
  - 5.6. Dominios del tiempo y la frecuencia
  - 5.7. Calibración
  - 5.8. Influencia del ancho de banda
  - 5.9. Respuesta al pulso de DP en equipos de banda ancha
  - 5.10. Respuesta al pulso de DP en equipos de banda angosta
  - 5.11. Retenedores
  - 5.12. Pre-amplificadores
  - 5.13. Estimación de la carga
6. Interferencia y su control
  - 6.1. Interferencia proveniente de la fuente de alta tensión
  - 6.2. Interferencia radiada
  - 6.3. Interferencia conducida
  - 6.4. Interferencia acoplada inductivamente
  - 6.5. Interferencia acoplada por tierra
  - 6.6. Interferencia conducida de modo común

- 6.7. Interferencia conducida de modo normal
- 6.8. Sistema de puesta a tierra
- 6.9. Mejores prácticas para construir un circuito de DP
- 6.10. Apantallado y aterrizamiento
- 6.11. Supresión de disturbios
- 6.12. Electrodo de alta tensión
- 7. Fuentes de errores
  - 7.1. Conceptos de atenuación y propagación
  - 7.2. Posición de la fuente de DP
  - 7.3. Resonancias
  - 7.4. Atenuación
  - 7.5. División del pulso de DP
- 8. Poner todo junto: equipo de detección
- 9. Detección de descargas parciales en transformadores
  - 9.1. Método normalizado
  - 9.2. Método acústico
  - 9.3. Método en UHF
  - 9.4. Transformadores de instrumento
- 10. Detección de descargas parciales en máquinas rotatorias
  - 10.1. Componentes del sistema aislante de los devanados del estator
  - 10.2. DP en el sistema aislante de los devanados del estator
  - 10.3. Medición de DP fuera de línea
  - 10.4. Medición de DP en línea
- 11. Detección de descargas parciales en subestaciones aisladas en gas
  - 11.1. Modos de propagación
  - 11.2. Atenuación
  - 11.3. Medición de DP en UHF

- 11.4. Ejemplos
- 12. Detección de descargas parciales en cables de energía
  - 12.1. Problemas en cables de energía
  - 12.2. Graduación de campo eléctrico
  - 12.3. Técnicas de evaluación
  - 12.4. Hi-Pot en CA
  - 12.5. Medición de DP
  - 12.6. Sistemas resonantes
  - 12.7. VLF
  - 12.8. Mediciones distribuidas empleando UWB
  - 12.9. Sensores UWB
- 13. Tensión de radio interferencia
- 14. Métodos para mejorar las mediciones

## 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.

Especialista en el área de máquinas eléctricas rotatorias. Ha dirigido varios proyectos para la CFE, Luz y Fuerza del Centro, PEMEX y Compañías Privadas del Sector Eléctrico. Estos proyectos incluyen: Evaluación y diagnóstico de motores y generadores mediante pruebas en línea y fuera de línea, Supervisión de rehabilitación de motores y generadores, Especificación de alcances de mantenimiento, Participación en grupos de normalización de la CFE, Desarrollo de metodologías para la evaluación de generadores y transformadores de potencia, Evaluación de cables de alta tensión, Evaluación de transformadores de instrumento.

Autor de varios artículos nacionales e internacionales dentro del área de Máquinas Eléctricas Rotatorias. Ha sido representante de México ante el grupo SC-A1 "Máquinas eléctricas rotatorias" del Cigré.



**M.C. Oscar A. Reyes  
Martínez**

Ingeniero industrial eléctrico, por el Instituto Tecnológico de Veracruz y maestro en ciencias con especialidad en sistemas eléctricos de potencia por la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Es investigador de la Gerencia de Equipos Eléctricos del INEEL.