

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS

Plan de Estudios de la Maestría en Ingeniería Eléctrica con Énfasis en Interruptores Clave SEEM200745

Objetivo

Brindar los elementos principales para la operación, diseño, mantenimiento y análisis de fallas de instalaciones y equipo de transmisión de energía eléctrica. Se analizarán los principales criterios de diseño, fabricación, selección y aplicación del equipo de interrupción de potencia para efectuar una operación y mantenimiento óptimos.

Antecedentes Académicos de Ingreso

Título de ingeniero eléctrico o áreas afines con experiencia en diseño, mantenimiento y operación de equipo primario de potencia o Certificado total de la Especialidad en Interruptores

Perfil del egresado

La Maestría en Ingeniería Eléctrica proporcionará a los egresados una preparación de alto nivel que los capacitará con las habilidades y conocimientos suficientes para:

- Desarrollar proyectos de aplicación en el área de transmisión.
- Apoyar trabajos de investigación en el área de operación, mantenimiento e investigación de fallas de Líneas de Transmisión, Interruptores, Transformadores de Potencia y Equipo Afin.
- Proponer proyectos enfocados al desarrollo tecnológico.
- Analizar, interpretar y generar soluciones a los problemas de la Industria que afectan a la empresa en el entorno productivo con un sentido ético, a través de la autocrítica, la creatividad y la disciplina.

- Aplicar la normatividad nacional o internacional vigente para cubrir los requisitos operacionales óptimos de los sistemas de transmisión

Evaluación Final del Plan de Estudios

- Obtener 80 como calificación mínima aprobatoria en las materias
- Elaborar una tesis y aprobar el examen de grado

Requisitos de Egreso

Haber cubierto el 100% de los créditos

Observaciones

- El tiempo mínimo para cursar el posgrado es de cuatro semestres y el tiempo máximo es de ocho semestres.
- Una vez concluido el plan de estudios, el tiempo máximo para obtener el grado es de 2 años.

Plan de Estudios

	Lista de Asignaturas o Unidades de Aprendizaje	Clave	Créditos
SEM 1	Física de materiales aislantes	IE0701	8
	Introducción a transmisión	IE0702	8
	Normatividad	IE0703	8
SEM 2	Interruptores I	IE0721	6
	Física del plasma	IE0713	6
	Transitorios	IE0714	6
SEM 3	Conducción	IE0715	6
	Interruptores II	IE0716	6
	Diagnóstico y monitoreo	IE0706	6
	Termodinámica	IE0722	6
SEM 4	Equipos periféricos para interruptores	IE0717	6
	Interruptores III	IE0718	6
	Modelado de equipo para análisis transitorio	IE0719	6
	Análisis numérico de campos electromagnéticos	IE0720	6
	Subestaciones	IE0709	6
Total de Créditos del Programa			96

Programa de Estudios

Asignatura: Física de Materiales Aislantes

Objetivo General

Describir los procesos atómicos que interrelacionan la conducción de carga eléctrica y sus propiedades aislantes. Identificar la existencia de fenómenos cuánticos en los procesos de conducción y los balances energéticos.

Temas y Subtemas

1. Cálculo de campos eléctricos
 - 1.1. Conducción en metales dieléctricos
 - 1.2. Dieléctricos
 - 1.3. Contaminación
 - 1.4. Descargas parciales
2. Aislamientos
 - 2.1. Papeles aislantes
 - 2.2. Aceite mineral y aceites vegetales
 - 2.3. Falla por sulfato en aceites
 - 2.4. Muestreo y factores que afectan en la química de análisis de gases y líquidos aislantes

Asignatura: Introducción a Transmisión

Objetivo General

Analizar los principios que fundamentan la transmisión de energía eléctrica, revisar los circuitos eléctricos de representación de los elementos de transmisión. Revisión de los circuitos equivalentes eléctricos y magnéticos y análisis de los principales métodos de solución de campos electromagnéticos.

Temas y Subtemas

1. Principios básicos
 - 1.1. Consideraciones de transmisión de energía eléctrica
 - 1.2. Elevación y reducción de tensiones
 - 1.3. Corrientes de falla
 - 1.4. Flujo de potencia
2. Circuitos eléctricos equivalentes
 - 2.1. Circuito ideal
 - 2.2. Resolución de circuitos con cargas
 - 2.3. Impedancia
 - 2.4. Conexiones trifásicas
3. Circuitos magnéticos
 - 3.1. Circuito real con circuito de magnetización

- 3.2. Corrientes de eddy y saturación
- 3.3. Aceros magnéticos
- 3.4. Saturación y ferresonancia
4. Modelado de equipos
 - 4.1. EMTP y ATP
 - 4.2. Distribución de impulso
 - 4.3. Corrientes de corto circuito
5. Campos electromagnéticos
 - 5.1. Ecuaciones de Maxwell
 - 5.2. Inducción de voltaje
 - 5.3. Tensiones transitorias
6. Cálculo de campos electromagnéticos
 - 6.1. Métodos y solución de ecuaciones de Maxwell
 - 6.2. Diferencias finitas
 - 6.3. Elemento finito
 - 6.4. CALIE 2D

Asignatura: Normatividad

Objetivo General

Identificar las principales estructuras internacionales y nacionales de creación de normas para equipos de transmisión, los tipos de pruebas y las estructuras de voto para aprobación de normas. Se identificarán los diferentes tipos de pruebas y la obligatoriedad de las normas.

Temas y Subtemas

1. Comités nacionales e internacionales de normatividad
2. Normas aplicables a transformadores
3. Validez y precedencia de normas
4. Pruebas de aceptación, prototipo y rutina

Asignatura: Interruptores

Objetivo General

Lograr que el alumno se involucre con los principios básicos de interruptores de potencia, los efectos de la red de transmisión y las consideraciones generales de los transitorios y sobretensiones que se presentan en la misma.

Temas y Subtemas

1. Teoría básica del arco
2. Corrientes de corto circuito
 - 2.1. Cálculo de corrientes de corto circuito

- 2.2. Fallas desbalanceadas
- 2.3. Fuerzas producidas por corrientes de corto circuito
- 3. Tensión Transitoria de Recuperación (TTR)
 - 3.1. Consideraciones generales
 - 3.2. Cálculo de los voltajes transitorios de recuperación
- 4. Sobretensiones de maniobra
 - 4.1. Cerrado de contactos
 - 4.2. Apertura de contactos

Asignatura: Física del plasma

Objetivo General

Lograr que el alumno obtenga los conocimientos básicos sobre el proceso de interrupción en interruptores de potencia así como las bases matemáticas que se utilizan para modelar el fenómeno del arco eléctrico.

Temas y Subtemas

- 1. Física de arcos en interruptores de potencia
 - 1.1. Características generales del plasma
 - 1.2. El cátodo
 - 1.3. El ánodo
 - 1.4. La columna del arco
 - 1.5. Ionización en arcos
 - 1.6. Tipos de arcos
 - 1.7. Descripción del fenómeno de recuperación
- 2. Características de arco eléctrico
 - 2.1. Características estáticas
 - 2.2. El arco como elemento de interrupción en interruptores de circuito
 - 2.3. Efecto de la velocidad y medio interruptor sobre la TTR
 - 2.4. Modelos matemáticos de arcos en alta corriente
 - 2.5. Modelos matemáticos de arcos en baja corriente

Asignatura: Transitorios

Objetivo General

Que el alumno conozca los fenómenos transitorios que se presentan en la red de transmisión y sus efectos sobre el equipo primario de potencia. Que adquiera los conocimientos sobre la forma de mitigar tales fenómenos para un mejor funcionamiento del equipo primario mediante la protección con

dispositivos tales como apartarrays, resistencia de preinserción y blindaje.

Temas y Subtemas

- 1. Voltaje a la frecuencia del sistema
- 2. Sobretensiones
 - 2.1. Sobretensiones por maniobra
 - 2.2. Sobretensiones por descargas atmosféricas
 - 2.3. Formas de onda de sobretensiones normalizadas
- 3. Dispositivos para la limitación de sobretensiones
 - 3.1. Apartarrays
 - 3.2. Resistencias de preinserción
 - 3.3. Blindaje

Asignatura: Conducción

Objetivo General

Lograr que el alumno se involucre con los principios básicos de las estructuras de los materiales eléctricos y sus propiedades tales como conductividad y movilidad. Que conozca los aspectos matemáticos de los fenómenos de difusión y continuidad para su aplicación en interruptores de potencia.

Temas y Subtemas

- 1. Estructura de los materiales eléctricos
- 2. Conductividad y movilidad electrónica
- 3. Portadores
- 4. Teoría de bandas de energía
- 5. Nivel de Fermi
- 6. Tunneling
- 7. Hopping
- 8. Efecto Hall
- 9. Ecuaciones de difusión y continuidad
- 10. Densidad de corriente
- 11. Efecto piel

Asignatura: Interruptores II

Objetivo General

Lograr que el alumno obtenga los conocimientos necesarios sobre el diseño mecánico y eléctrico de los interruptores de potencia, las metodologías de pruebas de rutina y prototipo así como de su aplicación en la red de transmisión.

Temas y Subtemas

1. Tipos de Interruptores
2. Diseño mecánico de interruptores
 - 2.1. Teoría de contactos
 - 2.2. Características de operación mecánica
 - 2.3. Mecanismos operativos
3. Comparación de normas internacionales en interruptores de alta tensión
4. Prueba de corto circuito
 - 4.1. Metodología de prueba
 - 4.2. Mediciones procedimientos de pruebas
5. Aplicaciones prácticas de interruptores
 - 5.1. Corrientes de sobrecargas e incremento de temperatura
 - 5.2. Interrupción de corrientes en circuitos de alto H/R
 - 5.3. Aplicaciones en alta y baja frecuencia
 - 5.4. Aplicaciones de interrupción en capacitores
 - 5.5. Interrupción de corriente de reactores y aplicaciones de TTR alta
 - 5.6. Consideraciones dieléctricas de gran altitud
 - 5.7. Factores de reducción de capacidad por ciclos de recierre
 - 5.8. Selección entre vacío y SF₆

Asignatura: Diagnóstico y Monitoreo

Objetivo General

Lograr que el alumno obtenga los conocimientos necesarios para la investigación de las fallas que se presentan en interruptores de potencia y de esta forma obtener su causa raíz. Obtendrá los conocimientos necesarios para decidir que tipos de señales deben ser monitoreadas en línea, conocer los sensores existentes y la instrumentación necesaria para la medición en tiempo real de los parámetros eléctricos y mecánicos del interruptor.

Temas y Subtemas

1. Diagnóstico de fallas
 - 1.1. Investigación de fallas
 - 1.2. Procedimiento para investigación de fallas en interruptores
 - 1.3. Recopilación de datos
 - 1.4. Análisis de falla

- 1.5. Fallas dieléctricas internas y en la cámara de interrupción
- 1.6. Tipos de falla y causas
- 1.7. Diagnóstico de fallas
2. Monitoreo en línea
 - 2.1. Selección de variables a monitorear
 - 2.2. Variables mecánicas
 - 2.3. Variables eléctricas
 - 2.4. Características de los sensores
 - 2.5. Acondicionamiento de señales
 - 2.6. Adquisición de datos
 - 2.7. Procesamiento de señales y diagnóstico
 - 2.8. Monitoreo periódico

Asignatura: Termodinámica

Objetivo General

Que el alumno se involucre con los principios básicos de la termodinámica y la transferencia de calor, para lograr un entendimiento sobre el proceso de interrupción en los diferentes medios de extinción existentes tales como SF₆, vacío y aceite.

Temas y Subtemas

1. Temperatura y otras definiciones básicas
2. Trabajo, calor y primer principio de la termodinámica
3. Gases ideales y reales
4. Conducción en estado estable unidimensional.
5. Conducción multidimensional y transitoria.
6. Convección forzada, mixta y libre. Correlaciones experimentales.
7. Fundamentos de la radiación.
8. Ebullición, evaporación y condensación.
9. Efectos termo-eléctricos

Asignatura: Equipos periféricos para interruptores

Objetivo General

Lograr que el alumno obtenga los conocimientos necesarios sobre la operación de los equipos periféricos y su interacción con los interruptores de potencia así como conocer los métodos para diagnosticar dichos equipos.

Temas y Subtemas

1. Apartarrayos
 - 1.1. Clasificación por elementos de protección

- 1.2. Tipo de conexión
- 1.3. Envolventes
- 1.4. Pruebas de diagnóstico
2. FACT ' S
 - 2.1. Definición
 - 2.2. Aplicación en flujos de potencia
 - 2.3. Problemáticas asociadas a interrupción de corriente
 - 2.4. Ejemplos
3. Compresores
 - 3.1. Tipos de compresores
 - 3.2. Almacenamiento de energía
 - 3.3. Refaccionamiento
 - 3.4. Tendencias
4. Cuchillas
 - 4.1. Tipos
 - 4.2. Mecanismos de operación
 - 4.3. Contactos
5. Bancos de baterías
 - 5.1. Cálculos
 - 5.2. Construcción
 - 5.3. Electrolitos y geles
6. Operación y diagnóstico
 - 6.1. Pruebas operativas
 - 6.2. Monitoreo
 - 6.3. Problemática en cargadores
 - 6.4. Requerimientos operativos

Asignatura: Interruptores III

Objetivo General

Lograr que el alumno obtenga los conocimientos necesarios para la investigación y diagnóstico de fallas en interruptores de potencia. Que conozca el desarrollo cronológico de las generaciones de interruptores de potencia así como de las subestaciones aisladas en gas SF₆.

Temas y Subtemas

1. Diagnóstico de fallas
 - 1.1. Procedimiento para investigación de fallas
 - 1.2. Recopilación de datos
 - 1.3. Análisis de la falla
 - 1.4. Tipos de falla y causas
 - 1.5. Diagnóstico de fallas
2. Interrupción sincronizada y monitoreo de la condición

3. Desarrollos recientes en interruptores de potencia
 - 3.1. Primera generación de interruptores en SF₆
 - 3.2. Segunda generación de interruptores en SF₆
 - 3.3. Tercera generación de interruptores en SF₆
4. Subestaciones aisladas en gas

Asignatura: Modelado de equipo para análisis de transitorio

Objetivo General

Que el alumno conozca el manejo de las herramientas computacionales existentes para el modelado de fenómenos transitorios que se presentan en la red de transmisión. Que aprenda a modelar cada uno de los componentes del sistema de transmisión principalmente interruptores y transformadores de potencia con la finalidad de modelar las diferentes configuraciones existentes de la red y prever posibles fallas en el sistema.

Temas y Subtemas

1. Programas para el modelado de sobretensiones
2. El ATP y el ATPDraw
 - 2.1. Pre-procesadores ATP GNU y ATP Mig
 - 2.2. Instalación
 - 2.3. Modelado por codificación
 - 2.4. Interfaz gráfica del ATP (ATPDraw)
 - 2.5. Modelado de componentes usando el ATPdraw
3. Modelado de componentes
 - 3.1. Modelado de líneas de transmisión
 - 3.2. Modelado de transformadores
 - 3.3. Modelado de interruptores
 - 3.4. Modelado de máquinas eléctricas
 - 3.5. Flujos de potencia
 - 3.6. Casos de estudio

Asignatura: Análisis numérico de campos electromagnéticos

Objetivo General

Que el alumno adquiera las bases matemáticas de la teoría electromagnética en dos dimensiones tanto en estado estable como en estado dinámico. Lo anterior para el cálculo de campos eléctricos y magnéticos de componentes de equipo primario principalmente interruptores y transformadores de

potencia. Aprenderá a manejar herramientas computacionales para el cálculo de los campos mediante los métodos de elemento finito, elemento frontera y diferencias finitas.

Temas y Subtemas

1. Ecuaciones electromagnéticas básicas para análisis en 2-d
 - 1.1. Campos estáticos
 - 1.2. Campos dinámicos
2. Desarrollo del elemento finito aplicado a problemas en estado estable senoidal
 - 2.1. Método de Galerkin
 - 2.2. Características de los elementos triangulares de primer orden
 - 2.3. Ensamble de la matriz global
 - 2.4. Condiciones frontera
3. Repaso al uso del CALIE_2D
 - 3.1. Armado de mallas
 - 3.2. Definición de problemas
 - 3.3. Desplegado de resultados
4. Definición y solución de problemas eléctricos
 - 4.1. Definición de parámetros por región.
 - 4.2. Condiciones frontera: Diritchlet y Nodos Flotantes.
 - 4.3. Postprocesamiento
5. Definición y solución de problemas magnéticos
 - 5.1. Definición de parámetros por región.
 - 5.2. Condiciones frontera: Diritchlet y Periódicas.
6. Postprocesamiento

Asignatura: Subestaciones

Objetivo General

Actualizará sus conceptos de diseño de subestaciones, integrando elementos de bajo perfil, diseños compactos y el uso de líneas de transmisión aisladas en gas. Identificará los métodos de diagnóstico para subestaciones aisladas en gas.

Temas y Subtemas

1. Diseño de subestaciones
 - 1.1. En aire
 - 1.2. Encapsuladas
 - 1.3. Consideraciones de operación y mantenimiento
 - 1.4. Confiabilidad
 - 1.5. Crecimiento

- 1.6. Nivel de corto circuito
2. Subestaciones SF₆
 - 2.1. Gas SF₆
 - 2.2. Diagnóstico de subestaciones en SF₆
3. Líneas aisladas en gas SF₆
 - 3.1. Criterios de longitud
 - 3.2. Consideraciones de construcción
 - 3.3. Ejemplos y aplicación

Más información en:

www.iie.org.mx/posgrado

Vía telefónica:

Instituto de Investigaciones Eléctricas

Teléfono: (777) 362 3811

Desde el extranjero: (+52) 777 362 3811

- Dr. Raúl Velázquez Sánchez ext. 7413

rvs@iie.org.mx

- Dr. Roberto Liñan García ext. 7420

rlinan@iie.org.mx

- Dr. V. Rodolfo García Colón H. ext. 7770

gcolon@iie.org.mx

- LAE Xiuling Yuan González ext. 7455

xyuan@iie.org.mx