

# FACULTAD DE INGENIERÍA

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO



**Nombre de la materia:** Estabilidad de sistemas eléctricos de potencia

**Clave Facultad:**

**Clave U.A.S.L.P.:**

**Clave CACEI:**

**Nivel del Plan de Estudios:** Maestría, segundo semestre

**No. de créditos:** 6

**Horas/Clase/Semana:** 3

**Horas totales/Semestre:** 48

**Horas/Práctica (y/o Laboratorio):**

**Prácticas complementarias:**

**Trabajo extra clase Horas/Semana:** 3

**Carrera/Tipo de materia:** Obligatoria

**No. de créditos aprobados:** 6

**Fecha última de Revisión Curricular:** Abril de 2014

**Materia y clave de la materia requisito:**

### JUSTIFICACIÓN DEL CURSO

La estabilidad de sistemas eléctricos de potencia ha sido reconocida como un problema importante de seguridad en la operación de los sistemas eléctricos desde principios del Siglo XX. Un larga lista de fenómenos asociados a la pérdida de estabilidad que ilustran la importancia de este problema son: grandes apagones, oscilaciones inter-área, colapso de voltaje, salida de generadores, pérdida de sincronismo y de regulación adecuada de frecuencia, entre otros. Por lo anterior, es vital entender los fundamentos de estabilidad en sistemas de potencia.

### OBJETIVO DEL CURSO

Que el alumno adquiera y aplique los conocimientos generales de estabilidad de sistemas de potencia utilizando un enfoque teórico y práctico.

### CONTENIDO TEMÁTICO

#### 1. INTRODUCCIÓN.

**3 hrs.**

Objetivo: Dar al alumno una descripción general del fenómeno de estabilidad de sistemas de potencia, incluyendo los conceptos fundamentales, clasificación y definición de los términos asociados.

- 1.1. Conceptos básicos.
- 1.2. Clasificación de la estabilidad de sistemas de potencia.
- 1.3. Revisión histórica de los problemas de estabilidad.
- 1.4. Consideraciones de la estabilidad en el diseño y operación de sistemas.

#### 2. MODELADO DEL SISTEMA DE POTENCIA.

**6 hrs.**

Objetivo: Introducir al alumno a los modelos matemáticos de los componentes eléctricos de un

sistema de potencia utilizados para estudios de estabilidad.

- 2.1. Modelos simplificados.
- 2.2. Modelos que preservan la estructura de la red.
- 2.3. Modelos avanzados del sistema de potencia.

#### 3. ESTABILIDAD DE PEQUEÑA SEÑAL.

**13 hrs.**

Objetivo: Introducir al alumno a los conceptos generales de estabilidad de pequeña señal de sistemas eléctricos, así como al modelado y a las técnicas de análisis empleadas.

- 3.1. Introducción.
- 3.2. Conceptos fundamentales de la estabilidad de sistemas dinámicos.
  - 3.2.1. Representación en espacio de estado.
  - 3.2.2. Estabilidad de un sistema dinámico.
  - 3.2.3. Linealización.
  - 3.2.4. Análisis de estabilidad.

- 3.3. Propiedades de valores y vectores propios de la matriz de estado.
  - 3.3.1. Valores propios.
  - 3.3.2. Vectores propios.
  - 3.3.3. Matrices modales.
  - 3.3.4. Forma del modo, sensibilidad y factores de participación.
  - 3.3.5. Frecuencia compleja.
  - 3.3.6. Relación entre propiedades de valores y vectores propios y funciones de transferencia.
  - 3.3.7. Controlabilidad y observabilidad.
  - 3.3.8. Cálculo de valores propios.
- 3.4. Estabilidad de pequeña señal de un sistema máquina bus infinito.
  - 3.4.1. Modelo clásico del generador.
  - 3.4.2. Efectos de la dinámica del circuito de campo de la máquina síncrona.
- 3.5. Efectos del sistema de excitación.
- 3.6. El estabilizador del sistema de potencia.
- 3.7. Matriz de estado del sistema con amortiguadores.
- 3.8. Matriz de estado con amortiguadores.
- 3.9. Estabilidad dinámica de sistemas de múltiples máquinas.
- 3.10. Técnicas especiales para el análisis de sistemas grandes.
- 3.11. Casos de estudio

#### 4. ESTABILIDAD TRANSITORIA.

**13 hrs.**

Objetivo: Conocer y aplicar los conceptos generales de estabilidad transitoria, así como el modelado y las técnicas de análisis empleadas.

- 4.1. Conceptos fundamentales de estabilidad transitoria.
  - 4.1.1. Ecuación de oscilación.
  - 4.1.2. Respuesta a cambio de potencia mecánica.
  - 4.1.3. Criterios de áreas iguales.
  - 4.1.4. Respuesta durante fallas en la red.
  - 4.1.5. Factores que influyen la estabilidad transitoria.
- 4.2. Métodos de integración numérica.
  - 4.2.1. Estabilidad numérica de métodos de integración explícita.
    - 4.2.1.1. Método de la regla trapezoidal.
  - 4.2.2. Métodos de integración implícita.
    - 4.2.2.1. Método de Euler.
    - 4.2.2.2. Método de Euler modificado.
    - 4.2.2.3. Métodos de Runge-Kutta (R-K).
- 4.3. Criterio de áreas iguales.
- 4.4. Sistemas de múltiples máquinas.
  - 4.4.1. Modelo clásico de un sistema de múltiples máquinas.
- 4.5. Modelo diferencial-algebraico.
- 4.6. Simulación numérica de la respuesta dinámica del sistema de potencia.
  - 4.6.1. Modelo del sistema de potencia.
  - 4.6.2. Representación de la máquina síncrona.
  - 4.6.3. Representación del sistema de excitación.

- 4.6.4. Representación de la red y de las cargas.
- 4.6.5. Sistema completo de ecuaciones.
- 4.6.6. Solución del sistema completo de ecuaciones.
- 4.7. Casos de estudio.

#### 5. ESTABILIDAD DE VOLTAJE.

**7 hrs.**

Objetivo: Conocer y aplicar los conceptos generales de estabilidad de voltaje, así como el modelado y las técnicas de análisis empleadas.

- 5.1. Conceptos básicos de estabilidad.
  - 5.1.1. Características del sistema de transmisión.
  - 5.1.2. Características del generador.
  - 5.1.3. Características de la carga.
  - 5.1.4. Características de los dispositivos de compensación de potencia reactiva.
- 5.2. Colapso de voltaje.
  - 5.2.1. Escenario típico de colapso de voltaje.
  - 5.2.2. Clasificación de la estabilidad de voltaje.
- 5.3. Análisis de estabilidad de voltaje.
  - 5.3.1. Necesidades especiales de modelado.
  - 5.3.2. Análisis dinámico.
  - 5.3.3. Análisis estático.
  - 5.3.4. Determinación de la distancia más corta a la inestabilidad.
  - 5.3.5. Análisis de continuación de flujos de potencia.
- 5.4. Casos de estudio.

#### 6. OSCILACIONES SUBSÍNCRONAS.

**3 hrs.**

Objetivo: Conocer y aplicar los conceptos generales sobre el problema de oscilaciones subsíncronas, así como su representación matemática modelado y los problemas asociados a este fenómeno.

- 6.1. Características de torsionales entre la turbina y el generador.
  - 6.1.1. Modelo de la flecha.
  - 6.1.2. Frecuencias naturales y formas de modos.
- 6.2. Interacción entre la torsión y los controles del sistema de potencia.
- 6.3. Resonancia subsíncrona.

#### 7. ESTABILIDAD DE MEDIA Y LARGA DURACIÓN.

**3 hrs.**

Objetivo: Presentar los conceptos generales sobre el problema de estabilidad de media y larga duración, así como sus consideraciones de análisis y los problemas asociados a estos fenómenos.

- 7.1. Introducción.
- 7.2. Distinción entre estabilidad de mediana y de larga duración.
- 7.3. Respuesta de la planta de potencia durante disturbios severos.

- 7.3.1. Plantas de potencia térmicas.
- 7.3.2. Plantas de potencia hidráulicas.
- 7.4. Simulación de la respuesta dinámica de larga duración.
  - 7.4.1. Propósito de simulaciones dinámicas de larga duración.

- 7.4.2. Requerimientos de modelado.
- 7.4.3. Técnicas de integración numérica.
- 7.5. Casos de estudio de disturbios severos en el sistema.

## METODOLOGÍA

- El profesor explicará por diversos métodos los conceptos iniciales de cada tema.
- Organizar sesiones grupales de discusión de conceptos.
- Participar en la solución de ejercicios individual o grupal.
- Proponer ejercicios extra clase.
- Promover el uso de software de simulación en problemas relacionados con las unidades de aprendizaje.
- Trabajos de investigación de temas específicos en forma individual o en equipo.

## EVALUACIÓN

Se realizarán tres evaluaciones parciales en el curso y los indicadores para obtener una calificación serán los siguientes: tareas 40 %, examen 40 % y exposiciones 20%. El porcentaje indica la ponderación del indicador sobre la calificación final de cada evaluación parcial. La calificación final del curso será el promedio de la calificación de los tres parciales.

## BIBLIOGRAFÍA

Kundur, Prabha. *Power system stability and control*. Tata McGraw-Hill Education, 1994.

Sauer, Peter W., and M. A. Pai. *Power system dynamics and stability*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

Anderson, Paul M., and Aziz A. Fouad. *Power system control and stability*. IEEE press. Second edition, 2003.

El-Abiad, Ahmed H. *Computer methods in power system analysis*. Tata McGraw-Hill Education, 2006.

Hadi Saddat, *Power Systems Analysis*, McGraw-Hill, 1999.

Artículos Científicos.