



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN

### Programa de la asignatura Análisis de sistemas de potencia

Docentes responsables

Prof. Jorge Fernando Gutierrez Gómez  
[jfgutierrezgo@unal.edu.co](mailto:jfgutierrezgo@unal.edu.co)

Prof. Carlos Edmundo Murillo Sánchez  
[cmurillo@unal.edu.co](mailto:cmurillo@unal.edu.co)

En el análisis de los sistemas de potencia convergen diversos tipos de estudios de diseño y operación como flujos de carga, estabilidad, planeación de la operación estática y temporal, seguridad de operación, confiabilidad, estimación del estado de la red, y el cálculo de corrientes de fallo para coordinar sistemas de protección, entre otros. Los modelos de los componentes del sistema han sido cubiertos en su mayoría por asignaturas previas, pero es en esta asignatura donde se explora su interacción conjunta. El componente computacional y numérico es esencial en el estudio de los problemas relevantes, ya que esencialmente cualquier sistema real es de gran escala.

#### Objetivo general

- Analizar y planear la operación de un sistema de generación y transmisión con un enfoque integral que permita estudiar las interacciones de sus partes constituyentes mediante el uso fundamentado de herramientas computacionales.

#### Objetivos específicos

- Analizar matricialmente las redes circuitales de sistemas de generación y transmisión.
- Apropiación del paradigma de solución de redes circuitales cuando en los puertos de las mismas lo que se especifica son las inyecciones de potencia y no las impedancias de las cargas externas (flujos de carga y métodos de solución).
- Conocer las técnicas básicas de planeación de operación óptima y segura de sistemas de generación y transmisión, identificando las interacciones entre las condiciones operativas técnicas y los aspectos económicos.
- Conocer los aspectos dinámicos y de estabilidad de sistemas de generación y transmisión.
- Analizar fallos y calcular las corrientes de fallo en sistemas de generación y transmisión.

#### Metodología

- Clase magistral con notas de clase y ayuda de medios visuales.
- Trabajos, tareas y ejercicios extra-clase.
- Lecturas de bibliografía recomendada en lengua inglesa.
- Prácticas computacionales sustentadas para flujos de carga, corto circuito, operación económica, y estabilidad (transitoria y de tensión) (pueden o no recogerse – recolección al azar).
- Visita(s) técnica(s) (opcional) Centro Regional de Despacho CHEC, etc.

- El programa tiene un cierto grado de flexibilidad temática a juicio del profesor, que podrá escoger entre diversos temas opcionales que se indican, u otros que considere apropiados, con miras a lograr el objetivo principal de estudiar los sistemas de generación y transmisión como un todo, de manera integral.

### Intensidad horaria

A LA SEMANA			AL SEMESTRE		CRÉDITOS
HAP	HAI	THS= HAP +HAI	No. semanas	THP= THS x Semanas	No. de Créditos=THP/48
6	6	12	16	192	4

HAP: Horas de actividad presencial a la semana.

HAI: Horas de actividad independiente.

THS: Total de horas de actividad académica por semana.

THP: Total de horas de actividad académica por semestre.

1 Crédito equivale a 48 horas de trabajo del estudiante.

### Evaluación

La evaluación de la asignatura se hará mediante exámenes parciales escritos o trabajos acumulables, tareas por tema y prácticas de laboratorio.

### Contenido detallado

#### 1. TRATAMIENTO MATRICIAL DE REDES A PARTIR DE PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

- Redes lineales de  $n$  puertos, matriz de admitancia nodal, matriz de impedancia nodal.
- Otras configuraciones de modelos de representación de redes lineales.
- Cálculos automáticos de matrices  $Y_{bus}$  y modificaciones por cambio de elementos individuales.
- Cómputo selectivo de columnas específicas de  $Z_{bus}$ .

#### 2. FLUJO DE POTENCIA

- Transmisión de potencia activa y balance reactivo en una línea de transmisión individual.
- Solución a partir de la potencia entregada, curvas de tensión vs. potencia, modelos de carga y máxima transferencia.
- Ecuaciones de flujo de potencia desde los puntos de vista de inyección nodal y de balance complejo.
- Organización y supuestos del problema de flujo de potencia.
- Método de Gauss-Seidel.
- Método de Newton y el jacobiano de las ecuaciones de balance.
- Cálculo matricial del jacobiano.
- Desacoplamiento PQ y método de Newton desacoplado.
- Métodos rápidos desacoplados.
- Modelo DC de flujo de activa.
- Factores de distribución parcial de transmisión.
- Factores de distribución de transmisión por pérdida de línea.
- Discusión general de flujo de cargas, sus supuestos y su empleo fundamentado.

#### 3. OPERACIÓN ECONÓMICA

- Despacho económico, criterio de costo marginal uniforme, costo marginal del sistema.
- Costos cuadráticos y solución por sistemas de ecuaciones lineales simultáneas.
- Condiciones de Karush-Kuhn-Tucker.
- Programación cuadrática y restricciones.

- Modelo de pérdidas de transmisión con fórmula de Kron y obtención de la matriz de pérdidas.
- Despacho económico con pérdidas usando modelo de Kron.
- Despacho económico con reserva rodante (opcional).
- Método de la iteración lambda para despacho económico.
- Seguridad de transmisión en despacho económico.
- Flujo óptimo de potencia: formulación y análisis de solución.
- Congestión de transmisión en la operación económica.
- Subastas demanda inelástica y elástica.
- Mercados inteligentes y ofertas bilaterales.
- Manejo algorítmico de costos lineales a tramos (opcional).
- Flujo óptimo generalizado en MATPOWER (opcional).
- Mercados multidimensionales co-optimizados: caso de energía y reserva (opcional).
- Problemas con dimensión temporal (opcional).
- Coordinación hidrotérmica y valor del agua (opcional).
- Cargas con flexibilidad temporal (opcional).
- Sistemas despachables de almacenamiento (opcional).
- Comisionamiento de unidades: introducción y gráficos de transición factibles (opcional).
- Programación dinámica restringida con lista de prioridad para comisionamiento de unidades (opcional).
- Comisionamiento de unidades por relajación lagrangiana (opcional).

#### **4. ESTIMACIÓN DE ESTADOS (OPCIONAL)**

- Introducción: solución de mínima norma.
- Estimación estadística lineal.
- Estimación estática de estados.
- Solución por método de minimización de Newton aproximado.
- Identificación de parámetros.
- Detección de datos malos.
- Posicionamiento de medidores.

#### **5. CONTROL AUTOMÁTICO DE GENERACIÓN, TENSIÓN Y SU ESTABILIDAD**

- Modelos de generadores, gobernadores y cargas.
- Error de frecuencia, error de intercambio programado de área.
- Esquema clásico distribuido interárea de control automático de frecuencia y de intercambio programado.
- Ecuación de oscilación (swing equation) para una máquina sencilla y bus infinito.
- Modelo dinámico total del sistema bajo desajustes de frecuencia.
- Simulación dinámica, oscilaciones y estabilidad.
- Introducción a la estabilidad de tensión.

#### **6. FALLOS EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN**

- Introducción.
- Transitorios durante una falla balanceada (circuito serie R-L.).
- Fallos balanceados.
- El método de los componentes simétricos.
- Redes de secuencia.
- Fallo línea a tierra.
- Fallo doble línea a tierra.
- Fallo línea a línea.

- Fallos trifásicos desbalanceados.
- Fallas simultáneas.
- Introducción a zonas de protección, relays digitales de protección, coordinación de protecciones.

## 7. TÓPICOS ESPECIALES EN SISTEMAS DE POTENCIA

- A juicio del profesor, apuntando siempre al análisis integral del sistema.

### **Bibliografía**

*Power Generation, Operation and Control.* Wood & Wollenberg, 2nd. Ed, John Wiley and Sons.

*Power Systems Analysis* 2nd. Ed., Bergen & Vittal, Prentice Hall 1999.

*MATPOWER 5.0b User's Manual.* R.D. Zimmerman y C.E. Murillo-Sánchez, <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/> .

*Análisis de Sistemas de Potencia.* Grainger, John J. - Stevenson, William D. Ed. Mc Graw Hill 1997.

*Electrical Power Systems: Design and Analysis.* El-Hawary Mohamed E. Ed. IEEE Press 1995.

IEEE Std 399 – 1990, *IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis.* Power Systems Engineering Committee. Ed. IEEE Press 1990.

*Analysis of Faulted Power Systems.* Anderson, Paul M. Ed. IEEE Press 1995.

*Power System Analysis.* Saadat, Hadi. Ed. Mc Graw Hill 1999.

*Elements of Power System Analysis.* Stevenson Jr, William David. Second Edition. Ed. Mc Graw Hill - Novaro 1965.

*Computer Analysis of Power Systems.* Arrillaga, J. and Arnold, C.P. Ed John Wiley & Sons 1990.

*Computer Methods and Power System Analysis.* El-Abiad, Ahmed H.; Stagg, Glenn W. Ed. Mc Graw Hill 1969.

*Power System Control and Stability.* Anderson, Paul M.; Fouad, A.A. Ed. IEEE Press 1993.

*Power System Stability and Control.* Kundur, Prabha. Ed. Electric Power Research Institute – Power System Engineering Series 1994.

*Power System Voltage Stability.* Taylor, Carson W. Ed. Electric Power Research Institute – Power System Engineering Series 1994.

*Calculations and Programs for Power System Networks.* Wallach, Y. Ed. Prentice-Hall

**Última revisión:** 14 de febrero del 2016