

## CURSO PROFESIONAL

# ESTABILIDAD Y CONTROL DE SISTEMAS MODERNOS DE POTENCIA



Viernes del 04 al 25 de octubre del 2019.  
De 8:00 a.m. a 5:00 p.m.



Edificio de Educación Continua.  
Ciudad de la Investigación.  
UCR.



Ing. Gustavo Valverde Mora.



\$690 por persona.

Precios especiales para empresas:

- \$660 2 personas.
- \$630 3 o 4 personas.
- \$600 5 personas o más.

## OBJETIVO GENERAL

Entender el concepto de estabilidad de sistemas eléctricos de potencia incluyendo los métodos para el análisis de estos.

Al finalizar el curso los participantes estarán en capacidad de modelar el comportamiento de los elementos que rigen la dinámica de los sistemas de potencia, así como entender la participación de cada elemento en los diferentes tipos de estabilidad de sistemas interconectados.

## DESCRIPCIÓN DEL CURSO

En este curso se analizará la dinámica de los sistemas de potencia y los diferentes tipos de estabilidad según la clasificación convenida a nivel internacional. Para esto, se estudiarán a profundidad los modelos matemáticos de los elementos que rigen la dinámica de los sistemas eléctricos ante perturbaciones de pequeña y gran magnitud, así como los sistemas de control asociados.

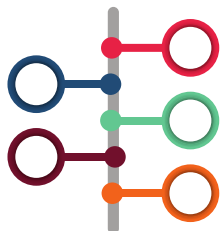
Además, se estudiarán los métodos de análisis de estabilidad y las medidas de mitigación contra escenarios de inestabilidad transitoria, de pequeña señal, de tensión y frecuencia.

Finalmente, se estudiarán y analizarán opciones de modelado y control de generadores renovables no convencionales (integrados a la red por medio de electrónica de potencia) y sistemas de almacenamiento por baterías para ser incorporados a estudios de estabilidad de sistemas de potencia.



## METODOLOGÍA

- El curso se basa en una serie de presentaciones magistrales con los conceptos teóricos que se requieren para interpretar los resultados de cualquier software de simulación.
- El proceso de aprendizaje se complementa a partir de la experiencia del participante en la solución de problemas de simulación por computadora.



Está dirigido a profesionales graduados en ingeniería eléctrica o electromecánica que deseen profundizar sus conocimientos en estabilidad de sistemas eléctricos de potencia, dando énfasis al modelado matemático y la simulación de los elementos y sistemas de control que conforman la red. El curso se apoya en software no comercial de simulación de sistemas de potencia en régimen dinámico, de modo que no es necesario contar con licencia de uso de PSS/e, ETAP, EasyPower, u otros.

## INSTRUCTOR

### **Dr. Gustavo Valverde Mora.**

Profesor Catedrático del Departamento de Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica (UCR).

El Dr. Valverde es ingeniero graduado de la UCR con énfasis en sistemas de energía. Obtuvo los títulos de maestría y doctorado en sistemas eléctricos de Potencia de la Universidad de Manchester, Inglaterra. Trabajó en proyectos posdoctorales de redes inteligentes e integración de generación distribuida en el Instituto Montefiore de la Universidad de Lieja, Bélgica, y en esquemas de coordinación TSO-DSO en el Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zúrich, Suiza. El Dr. Valverde es experto en modelado y simulación de redes de transmisión y distribución en régimen permanente y dinámico, análisis de estabilidad, control y monitoreo de sistemas de potencia. Es consultor para entidades públicas de Costa Rica, es investigador activo y cuenta con publicaciones científicas internacionales en temas como monitoreo de redes eléctricas, estabilidad y control de tensión de redes de transmisión, integración de energía renovable a la red eléctrica, modelado de redes de distribución, estimación en línea de parámetros de máquinas sincrónicas, entre otros.



Es miembro del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica y miembro activo del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). Actualmente cursa una maestría profesional de la UCR en Administración de Empresas con Énfasis en Finanzas.



# CONTENIDO

## **TEMA 1: INTRODUCCIÓN A DINÁMICA Y ESTABILIDAD DE SISTEMAS DE POTENCIA (0.5 H)**

- Clasificación de estabilidad en sistemas de potencia.
- Escala de tiempo de fenómenos en sistemas de potencia.
- Estabilidad transitoria de ángulo (o rotor).
- Estabilidad de pequeña señal de ángulo.
- Estabilidad de tensión.
- Estabilidad de frecuencia.

## **TEMA 2: MODELADO DE LÍNEAS, TRANSFORMADORES Y CARGAS NO ROTATIVAS (1.5 H)**

- Parámetros de líneas de transmisión.
- Modelo Pi de línea corta, mediana y larga.
- Modelado de transformadores de dos y tres devanados.
- Modelo Pi de transformadores con derivaciones.
- Modelado y simulación de cambiador de derivaciones bajo carga.
- Modelado y simulación de cargas estáticas (exponencial y ZIP) y dinámicas.

## **TEMA 3: MODELADO Y SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA SINCRÓNICA (COMO GENERADOR) (5 H)**

- Ecuaciones y suposiciones del modelo de la máquina síncrona.
- Devanados e inductancias de la máquina síncrona.
- Transformación de Park y modelo en variables d, q, 0.
- Sistema en p.u. aplicado a parámetros de la máquina síncrona en variables d, q, 0.
- Expresión del par eléctrico de la máquina síncrona.
- Dinámica del movimiento del rotor - 2da Ley de Newton, par de aceleración de rotor.
- Obtención de constante de inercia (en s) y su interpretación física.
- Modelo completo de máquina síncrona para estudios de estabilidad.
- Cálculo de inductancias y constantes de tiempo transitoria y subtransitoria.
- Modelos simplificados del generador y sus requerimientos de información.
- Uso de constante de amortiguamiento en ecuación de oscilación de generador.
- Simulación de generador ante perturbación (modelos de 6to, 5to, 4to, 3er orden).
- Modelado y simulación de saturación del generador (método de 2 puntos).
- Curvas de capacidad de generadores síncronos.

## **TEMA 4; MODELADO Y SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA ASÍNCRONA (COMO MOTOR) (1 H)**

- Ecuaciones y suposiciones del modelo de la máquina asíncrona.
- Transformación de Park y modelo en variables d, q, 0.
- Valores típicos de modelos de motor.
- Expresión de par eléctrico (y potencia convertida a mecánica).
- Dinámica del movimiento del rotor.
- Modelado de par mecánico de motores.
- Modelo de motores en estudios de estabilidad.
- Modelos simplificados de motores y requerimientos de información.
- Simulación de motor de inducción trifásico ante perturbación.

## **TEMA 5: MODELADO Y SIMULACIÓN DE LA RED USANDO APROXIMACIÓN CUASI-SENOSOIDAL (0.5 H)**

- Creación de la matriz de admitancias.
- Marcos de referencia giratorios: síncrono o basado en centro de inercia (COI).
- Integración de generadores y cargas a la red.
- Modelo completo de la red y sus inyectores.



# CONTENIDO

## **TEMA 6: MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE EXCITACIÓN DE GENERADORES (1.5 H)**

- Funciones de AVR y excitadores.
- Modelo de sistema de excitación Tipo DC.
- Modelo de sistema de excitación Tipo AC.
- Modelo de sistema de excitación Tipo ST.
- Modelos genéricos y simplificados de sistemas de excitación.
- Estabilizadores de sistemas de potencia (PSS).
- Limitadores de sobreexcitación.
- Limitadores de subexcitación.

## **TEMA 7: MODELADO Y SIMULACIÓN DE TURBINAS Y REGULADORES DE VELOCIDAD (1 H)**

- Modelado de turbinas térmicas.
- Modelado de reguladores de velocidad de unidades térmicas.
- Modelado de turbinas hidráulicas.
- Respuesta de turbinas hidro a perturbación: sistema de fase no mínima.
- Modelado y simulación de reguladores de velocidad de unidades hidro-

## **TEMA 8: ESTABILIDAD TRANSITORIA DE ÁNGULO (5 H)**

- Simplificación del modelo del generador sincrónico (modelo clásico).
- Criterio de áreas iguales para análisis de estabilidad transitoria de generador contra barra de potencia infinita.
- Tiempos críticos de liberación de fallas.
- Extensión de criterio de áreas iguales para fallas asimétricas.
- Extensión del concepto a sistemas multi-máquina
- Simulación de sistema multi-máquina sujeto a grandes perturbaciones para evaluación de tiempos críticos, grupos coherentes de generadores, entre otros.
- Medidas para mejorar estabilidad transitoria de ángulo

## **TEMA 9: ESTABILIDAD DE PEQUEÑA SEÑAL (DE ÁNGULO) (5 H)**

- Caso de máquina conectada a barra de potencia infinita.
- Modelo no lineal y modelo linealizado del sistema.
- Diagrama de bloques de modelo linealizado.
- Análisis de estabilidad a partir de función de transferencia (lugar de las raíces).
- Análisis de pequeña señal en sistemas grandes de potencia (multi-máquina).
- Matrices A, B, C y D del modelo linealizado del sistema multi-máquina.
- Introducción a métodos de Lyapunov.
- Análisis modal (autovalores y autovectores).
- Factores de participación.
- Clasificación de modos de oscilación.
- Simulación de estabilidad/inestabilidad de pequeña señal.
- Uso y sintonización de estabilizadores de sistemas de potencia.

## **TEMA 10: ESTABILIDAD Y CONTROL DE TENSIÓN (3 H)**

- Control de tensión en sistemas de potencia.
- Fundamentos de inestabilidad de tensión.
- Estabilidad de corto alcance (elementos que intervienen).
- Estabilidad de largo alcance (elementos que intervienen).
- Efecto de cargas en estabilidad de tensión.
- Medidas para mejorar y asegurar estabilidad de tensión.
- Efecto de generación distribuida en estabilidad de tensión.
- Respuesta de la demanda para mejoramiento de estabilidad de tensión.
- Simulación de escenarios de estabilidad/inestabilidad de tensión.



# CONTENIDO

## TEMA 11: ESTABILIDAD Y CONTROL DE FRECUENCIA (2 H)

- Control primario de frecuencia (estatismo y participación de unidades).
- Control secundario de frecuencia (corrección de ACE y frecuencia).
- Simplificación de sistema de potencia para análisis de control de frecuencia.
- Ejemplo de control primario y secundario de frecuencia.
- Estabilidad en sistemas con poca inercia (integración de renovables).
- Medidas para mejorar y asegurar estabilidad de frecuencia.

## TEMA 12: MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN RENOVABLE NO CONVENCIONAL Y ALMACENAMIENTO POR BATERÍAS (4 H)

- Introducción a generación renovable no convencional.
- Modelado y simulación de generadores eólicos (WT3 y WT4) para estudios de estabilidad según CIGRE.
- Modelado y simulación de plantas fotovoltaicas según CIGRE.
- Modelado y simulación de baterías para estudios de estabilidad según CIGRE.
- Modelos agregados de recursos de energía distribuidos (DER en inglés) para estudios de estabilidad de sistemas de potencia.

# EVALUACIÓN

Para aprobar el curso se debe obtener una nota mínima de 70%.

De lo contrario, pueden optar por un certificado de participación siempre y cuando haya asistido al 75% de las clases.

- Desarrollo de ejercicios en clase 40%
- 4 Tareas cortas 20%
- 2 evaluaciones (Tipo quiz) 40%.

# FORMAS DE PAGO

### Transferencia o depósito bancario:

- Banco Nacional.
- A nombre de Fundación de la UCR para la Investigación.
- Cédula Jurídica: 3-006-101757.
- Número de cuenta en dólares 100-02-000-603735-2 IBAN: CR1515100010026037353.
- INDICAR EN EL DETALLE P.2989-10 y nombre del participante.

**Pago con tarjeta o efectivo** en instalaciones de la [FundaciónUCR](#) de 8:00 a.m. a 4:00 p.m.

**Pago en línea** disponible a partir del 9 de setiembre del 2019 en <https://tienda.fundacionucr.com>

**Favor enviar el comprobante de pago al correo [econtinua.eie@ucr.ac.cr](mailto:econtinua.eie@ucr.ac.cr)**

REGISTRO

