



## ETAP 215AR

### **Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia utilizando ETAP®16: Curso Avanzado**

La planificación de la expansión y la programación de la operación de un sistema de potencia requieren de la realización continua de un amplio y abarcativo conjunto de estudios eléctricos que permitan evaluar el comportamiento del sistema frente a diversas contingencias y establecer la efectividad de planes alternativos para la expansión futura del mismo. El trabajo de computo necesario sólo para determinar los flujos de potencia (activa y reactiva) y los niveles de tensión en barras (modulo y fase) resultantes se torna inaccesible si se quiere realizar en forma manual, aún para una relativamente pequeña red eléctrica industrial. El uso de las actuales herramientas de software disponibles comercialmente hace posible estudiar el comportamiento del sistema de potencia bajo distintas condiciones de operación. Distintos tipos de estudios eléctricos se requieren para evaluar el comportamiento del sistema eléctrico existente o bien de una expansión futura de la instalación frente a distintas condiciones operativas. El objetivo de estos estudios es garantizar que el sistema eléctrico de potencia sea seguro, confiable, fácil de operar y mantener, al mínimo costo. El impacto que tienen distintos factores en el diseño y operación del mismo se pueden obtener a partir de la realización de distintos tipos de estudios eléctricos de régimen permanente o de régimen transitorio. Los avances logrados en tecnología computacional, plasmados en la disponibilidad de computadoras personales con poderosas capacidades gráficas, así como el desarrollo de software basado en las más modernas técnicas de análisis de sistemas eléctricos de potencia a nivel del estado del arte, no solo han reducido los tiempos de cálculo sino también las horas de ingeniería necesarias para la utilización de estos programas.

El curso está dirigido a Ingenieros Electricistas; en consecuencia se supone que los participantes poseen una base de conocimiento teórico-práctico de Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia. A través de ejemplos y ejercicios desarrollados usando ETAP®16, los asistentes adquirirán experiencia, conocimientos y habilidades que le facilitarán la realización de estudios de optimización de la operación y de régimen transitorio (electromecánico) en sistemas eléctricos.

El curso tiene una duración total de cuarenta (40) horas reloj distribuidas según el cronograma siguiente:



## Cronograma y Contenidos

### PRIMER DÍA (8 Horas)

#### **Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)**

Descripción general del ETAP®16. Requerimientos y preparación de datos para estudios de un Sistema Eléctrico de Potencia. Modelos matemáticos del equipamiento y parámetros característicos: Barras, Cables, Ductos de Barras, Líneas Aéreas de transmisión, Máquinas Síncronas, Máquinas Asíncronas. Transformadores de Potencia de dos y tres devanados, Cargas Estáticas, Reactores y Capacitores. Compensador de Var. Interruptores y Reconectores. Fuentes de potencia ininterrumpibles (UPS). Variadores de frecuencia (VFD). Cargadores de CC. Inversores CC/CA. Filtros Armónicos. Equivalente estático del Sistema de Potencia. Editor de elementos. Construcción del diagrama unifilar. Biblioteca de componentes.

#### **Tarde (14:00 – 18:00 horas.)**

Análisis de Flujo de Potencia Óptimo. Formulación del problema. Función objetivo y restricciones. Modelos y Algoritmos computacionales. Módulo OPF. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16.

### SEGUNDO DÍA (8 Horas)

#### **Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)**

Optimización de la relación de transformación de los transformadores de bloque. Modelos y Algoritmos computacionales. Módulo de Optimización. Análisis bajo norma ANSI/IEEE. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16. Ubicación Óptima de Capacitores. Formulación del problema. Función objetivo y restricciones. Modelos y Algoritmos computacionales. Análisis bajo norma IEEE. Módulo OCP. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16.

#### **Tarde (14:00 – 18:00 horas.)**

Análisis de Flujo de Potencia con Armónicos. Modelos y Algoritmos computacionales. Factores de Distorsión Armónica Total de Tensión y Corriente. Modelado de fuentes de armónicos: transformadores, maquinas rotante, VFD de 6, 12, 18 y 24 pulsos, etc. Aplicación de normas IEEE y de normas IEC en estudios de distorsión armónica. Biblioteca de componentes. Módulo HLF. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16.

### TERCER DÍA (8 Horas)

#### **Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)**

Interarmónicos. Modelado y simulación. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16. Relevamiento de frecuencias armónicas. Resonancia de bancos de capacitores shunt. Diseño de filtros pasivos. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16.

#### **Tarde (14:00 – 18:00 horas.)**

Introducción al análisis de seguridad. Estados de operación del sistema eléctrico de potencia. Análisis de contingencias (determinístico en régimen permanente) en sistemas de transmisión. Criterios N-1 y N-2. Factores de sensibilidad. Análisis de contingencias usando factores de sensibilidad. Análisis no lineal: selección de contingencias. Modulo CA. Editor del caso de estudio. Índices de comportamiento. Edición de Informes. Analizador de resultados. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16.



#### CUARTO DÍA (8 Horas)

##### **Mañana** (09:00 – 13:00 Horas.)

Análisis de Confiabilidad de Sistemas de Distribución. Confiabilidad de componentes. Confiabilidad de sistemas. Índices de Confiabilidad en puntos de carga. Índices de Confiabilidad del sistema de distribución. Evaluación del valor de la Confiabilidad. Biblioteca de componentes. Módulo RA. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16.

##### **Tarde** (14:00 – 18:00 horas.)

Análisis de Aceleración de Motores. Modelado de Motores Asíncronos y Síncronos. Modelos dinámicos de la carga. Biblioteca de componentes. Módulo MA. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16. Estimación de parámetros de Motores Asíncronos. Módulo PE. Editor del Caso de Estudio. Editor de actualización de parámetros del motor. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16.

#### QUINTO DÍA (8 Horas)

##### **Mañana** (09:00 – 13:00 Horas.)

Análisis de Estabilidad Transitoria. Modelos dinámicos del generador síncrono (Transformación de Park), del regulador automático de tensión y del regulador automático de velocidad del motor primario. Biblioteca de componentes. Módulo TS. Editor del Caso de Estudio. Inicialización de la simulación, aplicación de contingencias, análisis de resultados. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16. Análisis de conexión a la red de generadores síncronos. Módulo Generator Start-Up. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16.

##### **Tarde** (14:00 – 18:00 horas.)

Modelos Dinámicos definidos por el Usuario (UDM). Editor gráfico-lógico (GLE). Importación de UDM desde Matlab Simulink®. Creación de modelos dinámicos utilizando GLE. Estimación y ajuste de parámetros dinámicos. Módulo DPET. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®16.

### Bibliografía

#### **ETAP®16 User Guide**

**IEEE Std 399™-1997 (Brown Book)** IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis.

**IEEE Std 3001.5™-2013** - IEEE Recommended Practice for the Application of Power Distribution Apparatus in Industrial and Commercial Power Systems

**IEEE Std 1366™ – 2003:** IEEE Guide Electric Power Distribution Reliability Indices.

**IEEE Std C57.12.00™ – 2.006:** IEEE Standard for Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers

**IEEE Std C57.12.01™ – 2.005:** IEEE Standard General Requirements™ for Dry-Type Distribution and Power Transformers, Including Those with Solid-Cast and/or Resin Encapsulated Windings.

**IEEE Std C57.12.90™ – 2.006:** IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers

**IEEE Std C57.12.91™ – 2.001:** IEEE Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers

**IEEE Std C57.12.80™ – 2.002:** IEEE Standard Terminology for Power and Distribution Transformers

**IEEE Std 18™ - 2.002:** IEEE Standard for Shunt Power Capacitors

**IEEE Std 1110™ - 2002:** IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Applications in Power Systems Stability Analyses

**IEEE Std 421.1™ - 2007:** IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines

**IEEE Std 421.2™ - 1990:** IEEE Guide for Identification, Testing and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems

**IEEE Std 421.3™ - 1997:** IEEE Standard for High-Potential Test Requirements for Excitation Systems for Synchronous Machines



- IEEE Std 421.4<sup>TM</sup> - 2004:** IEEE Guide for the Preparation of Excitation System Specifications
- IEEE Std 421.5<sup>TM</sup> - 2005:** IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power Systems Stability Studies.
- IEEE Std 67<sup>TM</sup> - 2005:** IEEE Guide for Operation and Maintenance of Turbine Generators.
- IEEE Std 94<sup>TM</sup> - 1991:** IEEE Recommended Definitions of Terms for Automatic Generation Control on Electric Power Systems.
- IEEE Std 115<sup>TM</sup> - 2009:** IEEE Guide for Test Procedures for Synchronous Machines.
- IEEE Std 122<sup>TM</sup> - 1991:** IEEE Recommended Practice for Functional and Performance Characteristics of Control Systems for Steam-Turbine Generator Units.
- IEEE Std 125<sup>TM</sup> - 2007:** IEEE Recommended Practice for Preparation of Equipment Specifications for Speed-Governing of Hydraulic Turbines Intended to Drive Electric Generators.
- IEEE Std 1010<sup>TM</sup> - 2006:** IEEE Guide for Control of Hydroelectric Power Plants.
- IEEE Std 1207<sup>TM</sup> - 2004:** IEEE Guide for the Application of Turbine Governing Systems for Hydroelectric Generating Units.
- NEMA Standards Publication MG 1-2009:** Motors and Generators.
- IEC 60034-30-1** Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)
- IEC/TS 60034-31** Rotating electrical machines – Part 31: Selection of energy-efficient motors including variable speed applications – Application guide
- Task Force on Harmonics Modeling and Simulation. *Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks. Part I: Concepts, Models, and Simulation Techniques.* **IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, N° 1**, January 1996, pp. 452-465.
- Task Force on Harmonics Modeling and Simulation. *Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks. Part II: Sample Systems and Examples.* **IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, N° 1**, January 1996, pp. 466-474.
- Working Group on Power System Harmonics. *Power System Harmonics: An Overview.* **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No 8**, August 1983, pp. 2.455-2.460.
- Load Characteristics Task Force and Effects of Harmonics Task Force. *The Effects of Power System Harmonics on Power System Equipment and Loads.* **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No 9**, September 1985, pp. 2.555-2.563.
- Task Force on the Effects of Harmonics on Equipment. *Effects of Harmonics on Equipment.* **IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, N° 2**, April 1993, pp. 672-680.
- D. Rice *A Detailed Analysis of Six-Pulse Converter Harmonic Currents.* **IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, No 2**, March/April 1994, pp. 294-304.
- J. M. Frank *Origin, Development, and Design of K-Factor Transformers.* **IEEE Industry Applications Magazine.** September/October 1997, pp. 67-69.
- S. Ansuji; F. Shokoh; R. Schinzinger *Parameter Estimation for Induction Machines Based on Sensitivity Analysis* **IEEE Trans. On Industry Applications**, Vol IAS 25, pp. 1035-1040, Nov./Dec. 1989.
- IEEE Committee Report *Computer Representation of Excitation Systems*, **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, Vol. PAS-87, no. 6, pp. 1460-1464, June 1968.
- IEEE Committee Report *Excitation System Dynamic Characteristic*, **IEEE PES Summer Meeting**, San Francisco, Calif., July 9-14, 1972. Paper T 72 590-8 .
- IEEE Committee Report *Excitation System Models for Power System Stability Studies*, **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, Vol. PAS-100, pp. 494-509, February 1981.
- IEEE Committee Report *MW Response of Fossil Fueled Steam Units* **IEEE/ASME Power Generation Conference**, Boston, Mass., September 10-14, 1972. Paper T 72 633-6.
- IEEE Committee Report *Dynamic Models for Steam and Hydro Turbines in Power System Studies*, **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, Vol. PAS-92, No. 6, pp. 1904-1915, Nov./Dec. 1973.
- IEEE Committee Report *Supplementary Definitions & Associated Test Methods for Obtaining Parameters for Synchronous Machine Stability Study Simulations*, **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, Vol. PAS-99, N° 4, pp. 1625-1633, July/Aug 1980.
- IEEE Committee Report *Dynamic Models for Fossil Fueled Steam Units in Power System Studies*, **IEEE Transactions on Power Systems**, Vol. PS-6, No. 2, pp. 753-761, May 1991.
- IEEE AGC Task Force Report *Understanding Automatic Generation Control*, **IEEE Transactions on Power Systems**, Vol. 7, No. 3, pp. 1106-1122, August 1992.



**NOTA:** Se entregarán copias en soporte magnético del material teórico presentado por el instructor, así como los archivos ETAP de los ejemplos y ejercicios desarrollados durante el curso.

## **Instructores ETAP**

**Diego Moitre** obtuvo el grado académico de Magíster en Ciencias de la Ingeniería por la Pontificia Universidad Católica, Chile. Egresó como Ingeniero Mecánico-Electricista y como Licenciado en Matemática de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Córdoba, Argentina. Actualmente se desempeña como Profesor Titular con dedicación exclusiva en la UNRC y desarrolla su actividad académica en el Grupo de Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia (GASEP) de la Facultad de Ingeniería de la UNRC. Es Senior Member de la IEEE, Power & Energy Society, Reliability Society. Está matriculado en el Colegio de Ingenieros Especialistas de Córdoba, Argentina.

**Fernando Magnago** obtuvo los grados académicos de M.Sc y Ph.D por Texas A&M University-USA. Egresó como Ingeniero Mecánico-Electricista de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Córdoba, Argentina. Actualmente se desempeña como Profesor Titular con dedicación exclusiva en la UNRC y desarrolla su actividad académica en el Grupo de Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia (GASEP) de la Facultad de Ingeniería de la UNRC. Desde el año 2.000, desarrolla software para Nexant, Inc. San Francisco, California, USA. Es Senior Member de la IEEE, Power & Energy Society. Ha sido Presidente del Capítulo de Potencia, IEEE Argentina, años 2.010-2.011.