

## **ETAP 115AR**

### **Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia: Curso Básico**

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 de este 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®19.5, los asistentes adquirirán experiencia, conocimientos y habilidades que le facilitarán la realización de estudios de régimen permanente 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®19.5. 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. Tableros. Adaptadores de fase. Redes compuestas. Centro de Motores de CA. Equipamiento de CC: cables, motores y dispositivos de protección. Centro de Motores de CC. 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 Equilibrado. Modelos matemáticos y Algoritmos computacionales. Módulo LF. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Analizador de resultados. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5. Dimensionamiento (MVA) de transformadores de dos devanados según normas ANSI/IEEE. Módulo de dimensionamiento. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

### SEGUNDO DÍA (8 Horas)

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

Análisis de Flujo de Potencia Trifásico (o Desequilibrado). Flujo de potencia en el dominio del tiempo. Modelos matemáticos y Algoritmos computacionales. Módulo UBLF. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Modelado de fallas serie o de fase abierta. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.

#### **Tarde (14:00 – 18:00 horas.)**

Análisis de Cortocircuito. Modelos matemáticos y Algoritmos computacionales. Módulo SC. Editor del Caso de Estudio. Análisis de Cortocircuito según normas ANSI/IEEE. Metodología de cálculo bajo la serie ANSI/IEEE C37. Evaluación de las exigencias de servicio de interruptores. Edición de Informes. Analizador de resultados. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5. Análisis de Cortocircuito según normas IEC. Metodología de cálculo bajo IEC 60909. Evaluación de las exigencias de servicio de interruptores. Cálculo de la corriente de cortocircuito transitoria bajo IEC 61363. Edición de Informes. Analizador de resultados. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

### TERCER DÍA (8 Horas)

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

Coordinación de Protecciones en Sistemas de Distribución. Módulo STAR. Editor del Caso de Estudio. Funciones del módulo STAR. Característica tiempo-corriente: STAR TCC. Funciones STAR-TCC. Secuencia de operación de dispositivos de protección. Star Auto-Evaluation. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

#### **Tarde (14:00 – 18:00 horas.)**

Análisis de riesgo de Arco Eléctrico en CA. Normas de protección IEEE Std. 1584 y NFPA 70E. Equipamiento de Protección Personal. Módulo ARCFI. Edición de Rótulos. Analizador de Informes de Riesgo de Arco Eléctrico. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

#### CUARTO DÍA (8 Horas)

**Mañana** (09:00 – 13:00 Horas.)

Análisis de Sistemas de Puesta a Tierra según norma IEEE. Método de Elementos Finitos. Módulo GGS. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

**Tarde** (14:00 – 18:00 horas.)

Transferencia de calor en sistemas de cables. Modelado térmico de cables utilizando análogos de redes eléctricas. Evaluación de parámetros. Cálculos de régimen permanente. Editor de cables. Biblioteca de componentes. Cálculos de régimen transitorio. Análisis térmico de canalizaciones subterráneas. Módulo UGS. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Análisis de esfuerzos mecánicos en el tendido en canalizaciones subterráneas. Módulo CP. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

#### QUINTO DÍA (8 Horas)

**Mañana** (09:00 – 13:00 Horas.)

Análisis de Flujo de Potencia en corriente continua bajo estándar IEEE. Modelos matemáticos y Algoritmos computacionales. Módulo DCLF. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5. Análisis de Cortocircuito en corriente continua bajo estándar IEEE. Modelos matemáticos y Algoritmos computacionales. Módulo DCSC. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

**Tarde** (14:00 – 18:00 horas.)

Análisis de dimensionamiento y descarga de baterías. Módulo BDA. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

### Bibliografía

#### **ETAP®19.5 User Guide**

P. M. Anderson *Power System Protection* IEEE Press Power Engineering Series. 1.999.

S. Kahn *Industrial Power Systems*. CRC Press. 2.008.

L. G. Hewitson, M. Brown, R. Balakrishnan *Practical Power System Protection*. Elsevier. 2004.

P. M. Anderson *Analysis of Faulted Power Systems* IEEE Press Power Engineering Series. 1.995.

N. Tleis *Power System Modelling and Fault Analysis: Theory and Practice*. Elsevier. 2008.

I. Kasikci *Short Circuits in Power Systems: A Practical Guide to IEC 60909*. Wiley-VCH. 2002.

**IEEE Std 242™-2001 (Buff Book)** IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems.

**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 551™-2006 (Violet Book)** Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems

**IEEE Std C37.2™ -2008** IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations

**IEEE Std C37.5™-1979** Guide for Calculation of Fault Currents for Application of AC High -Voltage Circuit Breakers Rated on a Total Current Basis.

**IEEE Std C37.04™-1979 (1988)**: Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.

- IEEE Std C37.04f™ –1990:** Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.
- IEEE Std C37.04g™–1986:** Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.
- IEEE Std C37.04h™–1990:** Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.
- IEEE Std C37.04i™–1991:** Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.
- IEEE Std C37.04™–1999:** Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.
- IEEE Std C37.010™–1979 (1988):** IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Basis and Supplements.
- IEEE Std C37.010b™–1985:** IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Basis and Supplements.
- IEEE Std C37.010e™–1985:** IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Basis and Supplements.
- IEEE Std C37.010™–1999:** IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Basis and Supplements.
- IEEE Std C37.13™–1990:** Standard for Low-Voltage AC Power Circuit Breakers Used in Enclosures.
- IEEE Std C37.013™–1997:** Standard for AC High-Voltage Generator Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.
- IEEE Std C37.20.1™– 2002:** Standard for Metal Enclosed Low-Voltage Power Circuit Breakers Switchgear.
- IEC 60909- 0 Ed. 1.0 2001-0.** Short-circuit currents in three-phase a.c systems – Part 0: Calculation of Currents
- IEC 60909- 1 Ed. 2.0 2002-0.** Short-circuit currents in three-phase a.c systems – Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents according to IEC 60909-0.
- IEC 60909- 2 Ed. 2.0 2008-11.** Short-circuit currents in three-phase a.c systems – Part 2: Data of Electrical Equipment for short-circuit currents calculations.
- IEC 60909- 3 Ed. 3.0 2009-03.** Short-circuit currents in three-phase a.c systems – Part 3: Currents during two separate simultaneous line-to-earth short-circuits and partial short-circuit currents flowing through earth.
- IEC 60909- 4 Ed. 1.0 2000-07.** Short-circuit currents in three-phase a.c systems – Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents.
- IEC 61363- 1 Ed. 1.0 1998-02.** Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units – Part 1: Procedures for calculating short-circuit currents in three-phase a.c.
- IEC 60947- 1 Ed. 5.0 2007-06.** Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General Rules.
- IEC 60947- 2 Ed. 4.1 Consol. With am1 2009-05.** Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-Breakers.
- IEC 60282- 1 Ed. 7.0 2009-10.** High-voltage Fuses – Part 1: Current-limiting Fuses.
- IEC 60282- 2 Ed. 3.0 2008-04.** High-voltage Fuses – Part 1: Expulsion Fuses
- IEC 62271-SER Ed. 1.0 2010-06.** High-voltage switchgear and controlgear. ALL PARTS
- IEEE Std C37.60™–2012:** High-voltage switchgear and controlgear – Part 111: Automatic circuit reclosers and fault interrupters for alternating current systems up to 38 kV
- IEEE Std C37.90™–2005:** IEEE Standard for Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus.
- IEEE Std 142™ - 2007:** IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
- IEEE Std 367™ - 1996:** IEEE Recommended Practice for Determining the Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage From a Power Fault.
- ANSI/IEEE Std 81™ - 1983:** IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System.
- IEEE Std 80™ - 2000:** IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- IEEE Std 665™ - 1995:** IEEE Guide for Generating Station Grounding.

**IEEE Std 1584™-2002/2018** (IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations)

**IEEE Std 1584.1™-2013** (IEEE Guide for the Specification of Scope and Deliverable Requirements for an Arc-Flash Hazard Calculation Study in Accordance with IEEE Std 1584™)

**NFPA 70E-2.018 (National Fire Protection Agency-USA)** Standard for Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces.

**AEA 92606-2.016 (Asociación Electrotécnica Argentina)** Reglamentación para la Protección contra el Arco Eléctrico: Cálculo de magnitudes representativas de los efectos térmicos y su protección.

**OSHA 1910.296** Appendix E, Tables 2 – 3.

**NESC C2** 2012/2017.

R. Lee *The Other Electrical Hazard: Electric Arc Blast Burns*. **IEEE Trans. On Industry Applications**, Vol. IA-18, No.3, May-June 1982, pp. 246–251.

R. Lee *Pressures Developed by Arcs*. **IEEE Trans. On Industry Applications**, Vol. IA-23, No.4, July-August 1987, pp. 760–763.

T. Neal, R. Parry, *Shrapnel, pressure, and noise*. **IEEE Industry Applications Magazine**, Vol. 11, No.3, May-June 2005, pp. 49–53.

R. Ammerman, P. Sen, J. Nelson *Electrical Arcing Phenomena: A Historical Perspective and Comparative Study of the Standards IEEE 1584 and NFPA 70E*. **IEEE Industry Applications Magazine**, Vol. 15, No.3, May/June 2009, pp. 42–52.

A. Marroquin *Assessing the Hazards of High and Low Voltage Single-Phase Arc Flash*. **Electrical Safety Measures**. Supplement Summer 2.009, pp. 26-30

A. Marroquin *Evaluating the Hazards of Low-Voltage Arcs*. **Electrical Products & Solutions**. June 2.007, pp. 26-30.

A. Marroquin *Assessing Low-Voltage Arc Hazards*. **Electrical Source**. May/June 2.008, pp. 26-29.

A. Marroquin *Assessing the Limitations of Arc Flash Hazard Tables*. **Electrical Safety Measures**. Supplement Summer 2.008, pp. 13-16

**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

**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.