

## ETAP 153AR

### Análisis de Riesgo de Arco Eléctrico

Los temas cubiertos en este curso corresponden a los fundamentos del análisis de riesgo de arco eléctrico en instalaciones eléctricas en baja, media y alta tensión. El énfasis del curso está puesto en la metodología de cálculo requerida para determinar la protección (parcial) contra la exposición a los efectos térmicos (no se consideran otros efectos) de arco eléctrico del personal operativo en instalaciones energizadas y en las técnicas de mitigación implementadas a través de una adecuada selección, aplicación y coordinación de los componentes que conforman el esquema de protecciones del sistema eléctrico. En primer término, se presentará el módulo STAR de ETAP®18, con todas sus funcionalidades, especialmente la evaluación automática de la protección y coordinación de relevadores de sobrecorriente y el módulo STARZ de ETAP®18, con todas sus funcionalidades asociadas a la protección de impedancia (o de distancia). Seguidamente, se revisarán los principales conceptos y metodologías a aplicar en el **análisis de riesgo de arco eléctrico, tanto en corriente alterna como en corriente continua**. En el caso del análisis de riesgo de arco eléctrico en corriente alterna, se analizará como la metodología de cálculo implementada en el módulo ARC FLASH de ETAP®18 se ajusta a los lineamientos fijados en los documentos siguientes:

- **IEEE Std 1584™-2002** (IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations)
- **IEEE Std 1584a™-2004** (IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations-Amendment 1)
- **IEEE Std 1584b™-2011** (IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations-Amendment 2)
- **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-2.000/2.004/2.009/2.012/2.015 (National Fire Protection Agency-USA)** Standard for Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces.
- **AEA 92606-2.015 (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.

A través de ejemplos y ejercicios desarrollados usando ETAP®18, los asistentes adquirirán experiencia, conocimientos y habilidades que le facilitarán la realización de estudios de riesgo de arco eléctrico en sistemas eléctricos en baja, media y alta tensión.

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. Por otra parte, se asume que los participantes del curso tienen un conocimiento previo de las funciones de edición básicas del software **ETAP POWER SYSTEM SIMULATOR** en alguna de sus versiones. Los conceptos teóricos se complementarán con simulaciones numéricas que se implementarán empleando **ETAP®18**.

El curso tiene una duración total de veinticuatro (24) horas reloj distribuidas según el cronograma siguiente:

## Cronograma y Contenidos

### PRIMER DÍA (8 Horas)

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

Coordinación de Protecciones. 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. Evaluación automática de la protección y coordinación de relevadores de sobrecorriente. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®18. Módulo STARZ: protección de distancia. Editor del Caso de Estudio. Funciones del módulo STARZ. Características en el plano R-X. Funciones STARZ. Secuencia de operación. Gráficos de estado: tiempo - estado; tiempo – distancia; tiempo – distancia – resistencia. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®18.

#### **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. Configuración de parámetros en el editor de barra y en el editor del módulo Arc Flash para análisis de riesgo de Arco Eléctrico en CA. Opciones de presentación en el diagrama unifilar. Alertas marginales y críticos. Secuencia de operación. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®18.

### SEGUNDO DÍA (8 Horas)

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

Metodología de cálculo implementada en ETAP®18: Determinación de las corrientes de arco en sistemas trifásicos y en sistemas monofásicos. Determinación del tiempo de despeje de falla (FCT). Determinación de la energía incidente. Aplicación de la opción 'máximo FCT para energía incidente'. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®18.

#### **Tarde** (14:00 – 18:00 horas.)

Protección diferencial y arco eléctrico. Mitigación de la energía incidente: unidades de disparo de estado sólido en modo de mantenimiento; fusibles limitadores de corriente; enclavamiento selectivo por zona. Edición de informes. Exportación de resultados a MS Excel. Generación de etiquetas de arco eléctrico. Analizador de resultados de arco eléctrico. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®18. Casos de estudio de análisis de riesgo de Arco Eléctrico en CA en sistemas eléctricos bajo AEA 92606-2015 utilizando ETAP®18.

### TERCER DÍA (8 Horas)

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

Análisis de falla de arco en media y alta tensión. Método de Terzija & Koglin. Método EPRI HVAC AF. Metodología de cálculo implementada en ETAP®18: falla de arco monofásico a tierra en equipamiento al aire libre hasta 800 kV; falla de arco bifásico en equipamiento al aire libre hasta 800 kV; falla de arco trifásico a tierra en equipamiento al aire libre hasta 800 kV; falla de arco monofásico a tierra, bifásico y trifásico en gabinete hasta 36 kV; falla de arco trifásico usando método extendido IEEE 1584 hasta 36 kV. Analizador de resultados de falla de arco. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®18.



**Tarde** (14:00 – 18:00 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®18. 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®18. Análisis de riesgo de Arco Eléctrico en corriente continua. Métodos de cálculo: máxima potencia; Stokes & Oppenlander; Paukert. Normas de protección NFPA 70E. Módulo DC Arc Flash. Edición de Rótulos. Analizador de Informes de Riesgo de Arco Eléctrico. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®18.

## Bibliografía

### **ETAP®18 User Guide**

J. C. Das **Arc Flash Hazard Analysis and Mitigation** IEEE Press, John Wiley & Sons, 2.012.

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

**IEEE Std 1584a™-2004** (IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations-Amendment 1)

**IEEE Std 1584b™-2011** (IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations-Amendment 2)

**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-2.015 (National Fire Protection Agency-USA)** Standard for Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces.

**AEA 92606-2.015 (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.

**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. 4.1Consol. 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 C37.91™–2008:** IEEE Guide for Protecting Power Transformers

**IEEE Std C37.102™–2006:** IEEE Guide for AC Generator Protection

**IEEE Std C57.109™-1993 (R2008)** IEEE Guide for Liquid-Immersed Transformer Through-Fault-Current Duration

**IEEE Std 37.96™-2012:** IEEE Guide for AC Motor Protection.

**IEEE Std 620™-1996** IEEE Guide for the Presentation of Thermal Limit Curves for Squirrel Cage Induction Machines

**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

**General Electric** Distribution System Feeder Overcurrent Protection. Manual GET-6450.

**General Electric** Distribution Data Book. Manual GET-1008L.

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.

K. Lippert, D. Colaberardino, C. Kimblin, *Understanding IEEE 1584 Arc-Flash Calculations.* **IEEE Industry Applications Magazine**, Vol. 11, No.3, May-June 2005, pp. 69–75.

D. Neitzel *Protection Against Hazard: Understanding NFPA 70E Electrical Safety Requirements.* **IEEE Industry Applications Magazine**, Vol. 16, No.3, May/June 2010, pp. 23–29.

A. Marroquin *Evaluating NFPA 70E Arc Flash Hazard Category Tables.* **Electrical Products & Solutions.** September 2.007, pp. 12-16.



- 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.
- G. Gregory, I. Lyttle, C. Wellman *Arc-Flash Calculations in Systems Protected by Low-Voltage Circuit Breakers*. **IEEE Trans. On Industry Applications**, Vol. 39, No.4, July-August 2003, pp. 1193–1199.
- 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
- D. Neitzel, *Electrical Hazards Analysis*. **2006 IEEE IAS Pulp and Paper Conference**. 38th IAS Annual Meeting.
- T. Neal, A. Bingham, R. Doughty *Protective Clothing Guidelines for Electric Arc Exposure*. **IEEE Trans. On Industry Applications**, Vol. 33, No.4, July-August 1997, pp. 1041–1054.
- D. Liggett *Refocusing for Electrical Safety*. **IEEE Trans. On Industry Applications**, Vol. 42, No.5, September/October 2006, pp. 1340–1345.
- D. Liggett *Hazard/Risk Evaluation – What is it?* **IEEE Industry Applications Magazine**, Vol. 15, No.3, May/June 2009, pp. 12–17.
- O. Thiele, V. Beachum *Are Real-World Power Systems Really Safe?* **IEEE Industry Applications Magazine**, Vol. 15, No.4, July/Aug 2009, pp. 76–81.
- D. Shipp, D. Wood *Mitigating Arc-Flash Exposure* **IEEE Industry Applications Magazine**, Vol. 17, No.4, July/Aug 2011, pp. 28–37.
- H. Tinsley, M. Hodder *A Practical Approach to Arc Flash Hazard Analysis and Reduction*. **IEEE Trans. On Industry Applications**, Vol. 41, No.1, January/February 2005, pp. 144–154.
- A. Graham, M. Hodder, G. Gates *Current Methods for Conducting an Arc-Flash Hazard Analysis*. **IEEE Trans. On Industry Applications**, Vol. 44, No.6, November/December 2008, pp. 1902–1909.
- W. Maxwell, J. Kessler, C. Kelkenberg, M. Safiuddin, *A Practical Guide to the Mechanics of Performing an Arc-Flash Study at Commercial & Industrial Facilities*. **IEEE Industry Applications Society Annual Meeting**, 2009, pp. 1–10.
- P. Barkhordar, *How Accurate Are Your Arc-Flash Hazard Study Results*. **IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference**, 2010, pp. 1–6.

**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.



**Raien Ingeniería y Sistemas**  
Tecnología para la Ciencia y la Industria



## Instructor 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.

[www.raien.com.ar](http://www.raien.com.ar)