

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®19.5, con todas sus funcionalidades, especialmente la evaluación automática de la protección y coordinación de relevadores de sobrecorriente y el módulo STARZ de ETAP®19.5, 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®19.5 se ajusta a los lineamientos fijados en los documentos siguientes:

- **IEEE Std 1584TM-2018** (IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations)
- **IEEE Std 1584aTM-2004** (IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations- Amendment 1)
- **IEEE Std 1584bTM-2011** (IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations- Amendment 2)
- **IEEE Std 1584.1TM-2013** (IEEE Guide for the Specification of Scope and Deliverable Requirements for an Arc-Flash Hazard Calculation Study in Accordance with IEEE Std 1584TM)
- **NFPA 70E-2.000/2.004/2.009/2.012/2.015/2.018 (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.

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 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®19.5**.

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®19.5. 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®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. 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®19.5.

SEGUNDO DÍA (8 Horas)

Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)

Metodología de cálculo implementada en ETAP®19.5: 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®19.5.

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®19.5. Casos de estudio de análisis de riesgo de Arco Eléctrico en CA en sistemas eléctricos bajo AEA 92606-2015 utilizando ETAP®19.5.

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®19.5: 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®19.5.

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®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. 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®19.5.

Bibliografía

ETAP®19.5 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™-2002/2018 (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-2.018 (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.

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. Colabardino, 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.

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 jubilado, se desempeñó como Profesor Titular con dedicación exclusiva en la UNRC, desarrollando 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. En su actividad profesional se desempeña como Consultor en Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, habiendo realizado distintos estudios para sistemas eléctricos industriales e interconectados, en Argentina, Ecuador, Panamá y Perú.