



Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ANALÍTICO

DEPARTAMENTO: ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRICISTA

ASIGNATURA: MÉTODOS COMPUTACIONALES EN ANÁLISIS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

CÓDIGO: 0475

AÑO ACADÉMICO: 2018

PLAN DE ESTUDIO: 2004

UBICACIÓN EN EL PLAN DE ESTUDIO: 1ER. CUATRIMESTRE DE 5to. AÑO

ORIENTACIÓN: SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

DOCENTE A CARGO: Mg. Ing. Diego Moitre – Profesor Titular

**EQUIPO DOCENTE: Mg. Ing. Diego Moitre – Profesor Titular
Dr. Ing. Fernando Magnago – Profesor Titular**

RÉGIMEN DE ASIGNATURAS:

<i>Aprobada</i>	<i>Regular</i>
0433	0430
0460	0431

ASIGNACIÓN DE HORAS:

Semanales: 5 (cinco) horas

Totales → Teóricas: 20 (veinte horas)
→ Prácticas → Resolución de problemas: -
→ Laboratorio de simulación: 50 (cincuenta horas)
→ Seminario: 5 (cinco horas)

CARÁCTER DE LA ASIGNATURA: Optativa



OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA:

La planificación de la expansión y la programación de la operación de un sistema de potencia industrial 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 industrial 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 (estáticos) o de régimen transitorio (dinámicos). 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.

Los objetivos del curso son:

- 1) Introducir a los estudiantes en el campo del Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, utilizando software y técnicas actualizadas.
- 2) Capacitar a los estudiantes para realizar estudios aplicados a Sistemas Eléctricos de Potencia Industriales utilizando software dedicado. En el curso se revisarán los conceptos que conforman la base teórica de los estudios eléctricos típicos aplicados a Sistemas Eléctricos de Potencia Industriales. Esta base teórica es absolutamente necesaria para una correcta interpretación de los resultados obtenidos en la simulación numérica.
- 3) Familiarizar a los estudiantes con las normas ANSI e IEC comúnmente utilizadas en estos estudios.

CONTENIDOS:

○ Contenidos Mínimos

Descripción general de un simulador de Sistemas Eléctricos de Potencia. Estudios computacionales de: Flujo de Potencia (equilibrado), Flujo de Potencia Trifásico, Flujo de Potencia con Armónicos, Fallas (cortocircuito y conductores abiertos), Coordinación de Protecciones en Sistemas de Distribución, Riesgo de Arco Eléctrico, Análisis Térmico de Cables de Potencia en régimen permanente, Mallas de Puesta a Tierra, Dinámica de Motores y Estabilidad Transitoria. Normas ANSI/IEEE. Normas IEC. Uso de software dedicado.



○ **Programa Analítico**

TEMA 1: SIMULADORES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

- 1.1 Descripción general de un simulador de Sistemas Eléctricos de Potencia. Software de primera, segunda y tercera generación. Revisión de simuladores de uso común en la Industria Eléctrica. Requerimientos y preparación de datos para estudios de un Sistema Eléctrico de Potencia.
- 1.2 Modelos matemáticos del equipamiento eléctrico utilizando ETAP[®]. Parámetros característicos: Barras, Cables, Líneas Aéreas de transmisión, Máquinas Síncronas, Máquinas Asíncronas. Transformadores de Potencia de dos y tres devanados, Cargas Estáticas, Reactores y Capacitores. Equivalente estático del Sistema de Potencia. Editor de elementos. Construcción del diagrama unifilar. Biblioteca de componentes.

TEMA 2: FLUJO DE POTENCIA

- 2.1 Revisión de los conceptos básicos 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[®].
- 2.2 Revisión de los conceptos básicos de Flujo de Potencia Trifásico. Modelos matemáticos y algoritmos computacionales. Módulo UBLF. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].
- 2.3 Revisión de los conceptos básicos 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, variadores estáticos de frecuencia trifásicos de 6, 12, 18 y 24 pulsos. 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[®].

TEMA 3: FALLAS PARALELO Y SERIE

- 3.1 Revisión de los conceptos básicos de cortocircuito. Modelos matemáticos y algoritmos computacionales. Módulo SC. Editor del Caso de Estudio. Evaluación de las solicitaciones de servicio sobre los interruptores. Análisis de Cortocircuito según normas ANSI/IEEE. Análisis de Cortocircuito según normas IEC. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].
- 3.2 Revisión de los conceptos básicos de conductores abiertos. Modelos matemáticos y algoritmos computacionales. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].



TEMA 4: COORDINACION DE PROTECCIONES EN DISTRIBUCION

- 4.1 Revisión de los conceptos básicos de Coordinación de Protecciones en Sistemas de Distribución. Modelado de dispositivos de instrumentación y protección. Módulo TCC. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].

TEMA 5: RIESGO DE ARCO ELECTRICO

- 5.1 Revisión de los conceptos básicos de riesgo de Arco Eléctrico en corriente alterna. Normas de protección ANSI/IEEE y NFPA (National Fire Protection Agency-USA). Equipamiento de Protección Personal. Módulo ARCFI. Edición de Rótulos. Analizador de Informes de Riesgo de Arco Eléctrico. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].

TEMA 6: MALLAS DE PUESTA A TIERRA

- 6.1 Revisión de los conceptos básicos de Sistemas de Puesta a Tierra. Diseño de mallas según norma IEEE. Método de Elementos Finitos. Módulo GGS. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].

TEMA 7: LINEAS AEREAS Y CABLES DE POTENCIA

- 7.1 Revisión de los conceptos básicos. Transferencia de calor en líneas aéreas y sistemas de cables. Modelado térmico de cables utilizando análogos de redes eléctricas. Evaluación de parámetros. Análisis Computacional de régimen permanente. Editor de cables. Biblioteca de componentes. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].
- 7.2.0 Implementación computacional de modelos de líneas aéreas trifásicas y de cables de potencia. Cálculos de ampacidad. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].

TEMA 8: MODELADO DE LA CARGA

- 8.1 Revisión de los conceptos básicos de carga compuesta. Modelos de régimen permanente: impedancia constante, corriente constante, potencia constante, modelo ZIP, modelo combinado. Modelos de carga dependientes de la frecuencia. Modelos dinámicos de la carga. Implementación computacional. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].
- 8.2 Revisión de los conceptos básicos de motores síncronos trifásicos. Modelo dinámico e implementación computacional. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].
- 8.3 Revisión de los conceptos básicos de motores asíncronos trifásicos. Modelo dinámico e implementación computacional. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].

TEMA 9: DINAMICA DE MOTORES TRIFASICOS

- 9.1 Análisis de Aceleración de Motores. Modelos dinámicos de la carga mecánica. Biblioteca de componentes. Módulo MA. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP[®].



- 9.2 Estimación de parámetros de Motores Asíncronos trifasicos. Biblioteca de componentes. Módulo PE. Editor del Caso de Estudio. Editor de actualización de parámetros del motor. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®.

TEMA 10: ESTABILIDAD TRANSITORIA

- 10.1 Análisis de Estabilidad Transitoria. Modelos dinámicos del generador síncrono, del regulador automático de tensión y del regulador automático de velocidad del motor primario. Biblioteca de componentes. Modelos Dinámicos definidos por el Usuario. Interprete UDM para Matlab Simulink®. 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®.

METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA:

Clases teóricas expositivas (Power Point). Laboratorio de simulación (uso de software dedicado). Seminario basado en estudio y discusión de artículos técnicos y normas. Todo el material didáctico será soportado en el Aula Virtual de la Facultad (<https://cursos.ing.unrc.edu.ar/cursos/>)

MODALIDAD DE EVALUACIÓN:

- Evaluaciones :** Tareas escritas de carácter práctico.
Un proyecto computacional.
Una presentación oral con informe escrito en un Seminario.
- Calificaciones:** La nota final (NF) del curso se obtendrá a partir de

$$NF=0,7 * (0,60 NP + 0,40 NT) + 0,3 NS$$

dónde: **NS** (Nota Seminario)
NP (Nota del Proyecto Computacional)
NT (Nota promedio de Tareas)

Para acceder a la regularidad o promoción de la materia será necesario obtener en cada caso las siguientes notas finales:

Nota Final	Condición del alumno
$NF < 5$	LIBRE
$5 \leq NF < 7$	REGULAR
$NF \geq 7$	PROMOCIONADO

La modalidad de **PROMOCIONADO** exige la obtención de una calificación **promedio** de siete (7) puntos (*sin registrar instancias evaluativas de aprobaciones con notas inferiores a seis puntos*)
Un estudiante que no hubiere alcanzado la nota mínima de seis (6) puntos, tendrá derecho al menos



a una instancia de recuperación para mejorar sus aprendizajes y mantenerse así en el sistema de promoción.

La modalidad de **EXAMEN REGULAR** consiste en la realización de un coloquio conceptual en el que el estudiante deberá desarrollar los principales conceptos de tres (3) temas del programa de estudios vigente de la materia que serán seleccionados por el tribunal examinador.

La modalidad de **EXAMEN LIBRE** consiste en la realización de un práctico computacional que se desarrollará en la Sala de Simulación usando el software dedicado con el que se trabajó durante el curso y de un coloquio conceptual en el que el estudiante deberá desarrollar los principales conceptos de tres (3) temas del programa de estudios vigente de la materia que serán seleccionados por el tribunal examinador.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES:

Semana N°	Docente	Temas del Programa Analítico	Actividades
1	D. Moitre	1.1; 1.2	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
2	D. Moitre	1.2	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
3	D. Moitre	2.1;2.2	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
4	D. Moitre	2.3	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
5	F. Magnago	3.1; 3.2	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
6	D. Moitre	4.1	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
7	D. Moitre	5.1	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
8	D. Moitre	6.1	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
9	D. Moitre	7.1	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
10	D. Moitre	7.2	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
11	D. Moitre	8.1;8.2	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
12	D. Moitre	8.3	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
13	D. Moitre	9.1; 9.2	Clase teórica; Laboratorio de simulación; Resolución de problemas
14	D. Moitre	10.1	Clase teórica; Laboratorio de



			simulación; Resolución de problemas
15	D. Moitre F. Magnago	SEMINARIO	PRESENTACION SEMINARIO

BIBLIOGRAFÍA:

Título	Autor/es	Editorial	Año de Edición	Ejemplares Disponibles
<i>Industrial Power Systems.</i>	S. Kahn	CRC Press.	2.008.	1
<i>Power Systems Analysis.</i> Second Edition.	A. R. Bergen & V. Vittal	Prentice –Hall.	2.000	1
<i>Computer Analysis of Power Systems.</i>	J. Arrillaga & C.P. Arnold	Wiley.	1.990	1
<i>Analysis of Faulted Power Systems.</i>	P. M. Anderson	The Iowa State University Press.	1.973	1
<i>Power Systems Analysis: Short-Circuit, Load Flow and Harmonics.</i>	J. C. Das.	CRC Press.	2.002	1
<i>Power Systems Modelling and Fault Analysis: Theory and Practice.</i>	N. Tleis	Elsevier.	2.008	1
<i>Electric Power Distribution System Engineering.</i>	T. Gönen.	McGraw-Hill.	1.986	1
<i>Power System Protection.</i>	P. Anderson	Wiley.	1.999	1
<i>Power Systems Harmonics: Fundamentals, Analysis and Filter Design.</i>	G. J. Wakileh	Springer.	2.001	1
<i>Practical Power System Protection</i>	L. Hewitson, M. Brown, R. Balakrishnan	Elsevier.	2.004	1
<i>Rating of Electric Power Cables: Ampacity Computations for Transmission, Distribution, and Industrial Applications.</i>	G. J. Anders	IEEE Press.	1.997	1
<i>Power System Control and Stability.</i> Second Edition	P. Anderson & A. Fouad	IEEE Press – Wiley Interscience, USA.	2.003	1
<i>Power System Stability and Control</i>	P. Kundur	McGraw-Hill, Inc. USA	1.994	1
IEEE Brown Book (IEEE Std 399 TM – 1997: <i>Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis</i>)				
IEEE Violet Book (IEEE Std 551 TM – 2001: <i>Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems Analysis</i>)				
IEEE Red Book (IEEE Std 141 TM – 1993: <i>Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants</i>)				



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

IEEE Blue Book (IEEE Std 1015TM – 2006: *Recommended Practice for Applying Low Voltage Circuit Breakers Used in Industrial and Commercial Power Systems Analysis*)

IEEE Black Book (IEEE Std 835TM – 1994(R2006): *Power Cable Ampacity Tables*.

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

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

IEEE Std C57.12.01TM – 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 C57.12.90TM – 2.006: *IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*

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

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

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

IEEE Std 1584TM - 2002: *IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations*.

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

IEEE Std 848TM -1996 : *IEEE Standard Procedure for the Determination of the Ampacity Derating of Fire-Protected Cables*.

ANSI/IEEE Std 575TM -1988: *IEEE Guide for the Application of Sheath-Bonding Methods for Single-Conductor Cables and the Calculation of Induced Voltages and Currents in Cable Sheaths*.

IEEE Std 576TM -2000: *IEEE Recommended Practice for Installation, Termination, and Testing of Insulated Power Cable as Used in Industrial and Commercial Applications*.

IEEE Std 142TM - 2007: *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*.

IEEE Std 367TM - 1996: *IEEE Recommended Practice for Determining the Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage From a Power Fault*.

ANSI/IEEE Std 81TM - 1983: *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System*.

IEEE Std 80TM - 2000: *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*.

IEEE Std 665TM - 1995: *IEEE Guide for Generating Station Grounding*.

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

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

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

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

IEEE Std 421.4TM - 2004: *IEEE Guide for the Preparation of Excitation System Specifications*

IEEE Std 421.5TM - 2005: *IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power Systems Stability Studies*.

IEEE Std 67TM - 2005: *IEEE Guide for Operation and Maintenance of Turbine Generators*.

IEEE Std 94TM - 1991: *IEEE Recommended Definitions of Terms for Automatic Generation*



Control on Electric Power Systems.

IEEE Std 115TM - 2009: *IEEE Guide for Test Procedures for Synchronous Machines.*

IEEE Std 122TM - 1991: *IEEE Recommended Practice for Functional and Performance Characteristics of Control Systems for Steam-Turbine Generator Units.*

IEEE Std 125TM - 2007: *IEEE Recommended Practice for Preparation of Equipment Specifications for Speed-Governing of Hydraulic Turbines Intended to Drive Electric Generators.*

IEEE Std 1010TM - 2006: *IEEE Guide for Control of Hydroelectric Power Plants.*

IEEE Std 1207TM - 2004: *IEEE Guide for the Application of Turbine Governing Systems for Hydroelectric Generating Units.*

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. Ansuj; F. Shokoo; R. Schinzing *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.

Neher, J. H. *Procedures for Calculating the Temperature Rise of Pipe Cable and Buried Cables for Sinusoidal and Rectangular Loss Cycles*. **AIEE Trans.**, Vol. 72, part 3, pp. 541-545, June 1953.

Neher, J. H. *A Simplified Mathematical Procedure for Determining the Transient Temperature Rise of Cable Systems*. **AIEE Trans.**, Vol. 72, part 3, pp. 712-718, August 1953.

Neher, J. H. and McGrath, M. H. *The calculation of the temperature rise and load capability of cable systems*. **AIEE Trans.**, Vol. 76, part 3, pp. 752-772, 1957.

Neher, J. H. *The Transient Temperature Rise of Buried Cable Systems*. **IEEE Trans. Power Apparatus and Systems**, Vol. PAS-83, pp. 102-114, February 1964.

IEC 60364-5-52 Ed. 3.0 2.009-10. Low-voltage electrical installations – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment. Wiring systems.

IEC 60287-1-1 Ed. 2.0 2.006-12. Electric Cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses – General.

IEC 60287-1-2 Ed. 1.0 1.993-11. Electric Cables – Calculation of the current rating – Part 1: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses – Section 2: Sheath eddy current loss factors for two circuits in flat formation.

IEC 60287-1-3 Ed. 1.0 2.002-05. Electric Cables – Calculation of the current rating – Part 1-3: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses – Current sharing between parallel single-core cables and calculation of circulating current losses.

IEC 60287-2-1 Ed. 1.2 2.006-05. Electric Cables – Calculation of the current rating – Part 2-1: Thermal resistance – Calculation of thermal resistance.

IEC 60287-2-2 Ed. 1.0 1.995-05. Electric Cables – Calculation of the current rating – Part 2: Thermal resistance – Section 2: A method for calculating reduction factors for groups of cables in free air, protected from solar radiation.

IEC 60287-3-1 Ed. 1.1 1.999-05. Electric Cables – Calculation of the current rating – Part 3.1: Sections on operating conditions – Reference operating conditions and selection of cable type.

IEC 60287-3-2 Ed. 1.0 1.995-06. Electric Cables – Calculation of the current rating – Part 3: Sections on operating conditions – Section 2: Economic optimization of power cable size.

IEC 60287-3-3 Ed. 1.0 2.007-05. Electric Cables – Calculation of the current rating – Part 3-3: Sections on operating conditions – Cables crossing external heat sources.

IEC 60853-1 Ed. 1.0 1.985-01. Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables – Part 1: Cyclic rating factor for cables up to and including 18/30 (36) kV.

IEC 60853-2 Ed. 1.0 1.989-07. Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables – Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages .

IEC 60853-3 Ed. 1.0 2.002-02. Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables – Part 3: Cyclic rating factor for cables of all voltages, with partial drying of the soil.

IEC 60228 Ed. 3.0 2.004-11. Conductors of Insulated Cables

Sellers, S. and Black, W. *Refinements to the Neher-McGrath Model for Calculating the Ampacity of Underground Cables*. **IEEE Trans. on Power Delivery**, Vol. 11, N° 1, pp. 12-30, January 1996.

Anders, G. and El-Kady, M. *Transient Ratings of Buried Power Cables. Part 1: Historical Perspective and Mathematical Model*. **IEEE Trans. on Power Delivery**, Vol. 7, N° 4, pp. 1724-1734, October 1992.

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.
- J. Andrews, *Update on NFPA 70E*. **IEEE Industry Applications Conference. 38th IAS Annual Meeting**, Vol. 2, 2003, pp. 1276–1279.
- D. Crow, T. Crnko, *NFPA 70E An overview of the 2004 edition and future directions*. **IEEE Industry Applications Magazine**, Vol. 12, No.1, Jan/Feb 2006, pp. 43–49.
- 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.



Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Ingeniería

SOFTWARE:

ETAP[®] 11.1.1; (Versión Educativa)

DIGSILENT 15; (Versión Educativa)

PSS/E[™] 32.0; (Versión Educativa)

Firma Docente Responsable

Firma Secretario Académico