

INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LOS

SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

UN LIBRO FUNDAMENTAL QUE TODOS LOS
ESPECIALISTAS DEBEN TENER

Basado en el polémico curso “*Formación en puestas a tierras y protección contra rayos*” de Gustavo A. Salloum S. que ha roto paradigmas y desmitificados viejos conceptos en Latinoamérica en la última década.

La presentación y disposición del libro:

INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

Son propiedad de su autor, ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de la información), sin consentimiento por escrito del autor.

Este libro no puede ser considerado como un manual para personas no certificadas, la correcta aplicación de las prácticas y conceptos emitidos son responsabilidad única del personal idóneo que lo lleva a cabo en los países en los que está facultado para ejercer la profesión.

Todos los derechos reservados:

© 2018 GUSTAVO A. SALLOUM SALAZAR

Ciudad de Panamá, Panamá



gustavo.salloum@kaizengrp.com



<https://www.kaizengrp.com/>

Hecho en Panamá

ISBN: 978-9962-12-893-9

PREFACIO

Introducción al estudio de los sistemas de puesta a tierra se ha escrito en atención a las demandas de cientos de profesionales que han estado envueltos en polémicas al verse rotos sus paradigmas y que incluso han reconocido haber mal interpretado las “viejas” prácticas de ingeniería dentro del controversial curso “*Formación en puestas a tierra y protección contra descargas atmosféricas*” dictado en escenarios tan diversos como congresos internacionales, talleres especializados, organizaciones especializadas, formación individual y empresarial en toda Latinoamérica por más de una década.

Este libro recoge las principales prácticas asociadas a la puesta a tierra, respondiendo a la necesidad de material preciso sobre el tema, lo que proporcionaría al lector una visión holística de aplicación integral.

Entre los libros de puesta a tierra que se han publicado, ninguno recoge las diferentes normativas, su evolución y marco de aplicación de los puntos más controversiales de las puestas a tierra como este libro, lo que no sólo permite al lector desarrollar competencias reales e inmediatas en el diseño, procura, instalación, supervisión e inspección de estos sistemas, sino que también brinda una reseña inequívoca ante normatividades que evolucionan y se actualizan constantemente, constituyéndose así en el marco de referencia de cabecera para el profesional de hoy que requiere especialización en el área.

Hoy en día, el auge de los dispositivos electrónicos y requerimientos de los sistemas informáticos, las estrictas medidas en la salvaguarda en la seguridad personal, el desarrollo de nuevas fuentes de energía, la complejidad de los grandes equipos eléctricos y el aumento en los reportes de incidencias ante impactos de rayos, demandan al profesional de hoy un nivel de comprensión en el área de las puestas a tierra muy superior a la generación de profesionales que nos precedió, y ésta constituiría sólo una base necesaria en la que se apalancaría el resto de las actuales y futuras especialidades eléctricas, razón fundamental y más que suficiente por la que pretender dominar este arte por aquellos que deseen destacarse del todo.

El abarcar y analizar una gran cantidad de literatura en este libro se hace para cubrir la necesidad que tienen los profesionales de contar con esta información en idioma español, por lo que los artículos, normas y libros existentes son bien citados en la bibliografía, esto no tiene sólo como objetivo dar crédito correspondiente a los autores que se lo merecen, sino para indicar la fuente original del conocimiento, de modo que sirva de guía para aquellos que *pretenden ir más allá*.

**Esta página ha sido
dejada intencionalmente
en blanco.**

TABLA DE CONTENIDO

PREFACIO	i
CAPÍTULO 1 RIESGOS ELÉCTRICOS	1
CAPÍTULO 2 CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES	29
CAPÍTULO 3 RESISTIVIDAD Y RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	45
CAPÍTULO 4 ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA	77
CAPÍTULO 5 REGÍMENES DE NEUTRO.....	103
CAPÍTULO 6 PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS	119
CAPÍTULO 7 PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	133
CAPÍTULO 8 PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS SENSIBLES.....	147
CAPÍTULO 9 CORROSIÓN	159
CAPÍTULO 10 MATERIALES Y ACCESORIOS.....	179
BIBLIOGRAFÍA	189
APÉNDICES.....	193
SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	219
UNIDADES DE MEDIDA	223
INDICE ANALÍTICO	229
INDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS	233

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dalziel, C. F., "Electric shock hazard," IEEE Spectrum, pp. 41–50, Feb. 1972.
- [2] Biegelmeier, U. G., and Lee, W. R., "New considerations on the threshold of ventricular fibrillation for AC shocks at 50–60 Hz", Proceedings of the IEEE, vol. 127, pp. 103–110, 1980.
- [3] IEEE Std. 80-2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding
- [4] IEC/TS 60479-1 Edition 4.0 2005-07. Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects.
- [5] Di Cecco, Danila., "Diseño Integral de Puesta a Tierra en Sistemas de Potencia", SOLDITECA 1993.
- [6] Dalziel, C. F., Lagen, J. B., and Thurston, J. L., "Electric shock," AIEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 60, pp. 1073–1079, 1941.
- [7] IEC 60529 Edition 2.1 2001-02. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).
- [8] Chien-Hsing Lee, A. P. Sakis, Meliopoulos, "A Comparison of IEC 479-1 and IEEE Std 80 on Grounding Safety Criteria", Proc. Natl. Sci. Coun. ROC(A), Vol. 23, No. 5, 1999. pp. 612-621.
- [9] IEEE 100-2000, The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms, Seventh Edition. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [10] NFPA 70-2014, National Electrical Code. National Fire Protection Association.
- [11] NFPA 780-2017, Standard for the Installation of Lightning Protection Systems.
- [12] API 2003-2008, Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents
- [13] IEEE 1100-2005, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment
- [14] AS1768-2007, Lightning Protection
- [15] Wenner, F., "A method of measuring resistivity," National Bureau of Standards, Scientific Paper, Report no. 258, vol. 12, no. 3, pp. 469–482, Feb. 1916
- [16] ASTM G57-2012, Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method.
- [17] Palmer, L. S., "Examples of geoelectric surveys," IEE, vol. 106, part A, Jun 1959.
- [18] IEEE Std. 81-2012, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System
- [19] Beach, Robin "Grounding principles and practice V — Static electricity in industry", AIEE (IEEE) Publication, Electrical Engineering, Volume: 64, Issue: 5, Pages: 184 – 194, Year: 1945
- [20] Hymers, W, "Star-delta Method of Earth Electrode Measurement", Electrical review, vol. 196, January 1975.
- [21] Curdts, E. B., "Some of the fundamental aspects of ground resistance measurements", AIEE Transactions, vol. 77, Part I, pp. 760, 1958.
- [22] Rudenberg, Reinhold "Grounding Principles and Practice I — Fundamental Considerations on Ground Currents", Electrical Engineering, Volume: 64, Issue: 1, Pages: 1 – 13, Year: 1945.
- [23] Tagg, G. F. "Measurement of earth-electrode resistance with particular reference to earth-electrode systems covering a large area", Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, Volume: 111, Issue: 12, Pages: 2118 – 2130, Year: 1964.
- [24] Jensen, Claude, "Grounding principles and practice II — Establishing grounds", Electrical Engineering, Volume: 64, Issue: 2, Pages: 68 - 74, Year: 1945.
- [25] Tagg, G. F., "Measurement of the resistance of physically large earth-electrode systems," Proceedings of the IEE, vol. 117, no. 11, pp. 2185–2190, 1970.

- [26] IEEE Std. 142-2007, IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
- [27] NFPA 70-1999, National Electrical Code. National Fire Protection Association.
- [28] NFPA 70-2002, National Electrical Code. National Fire Protection Association.
- [29] NFPA 70-2005, National Electrical Code. National Fire Protection Association.
- [30] NFPA 70-2008, National Electrical Code. National Fire Protection Association.
- [31] NFPA 70-2011, National Electrical Code. National Fire Protection Association.
- [32] NFPA 70-2017, National Electrical Code. National Fire Protection Association.
- [33] NFPA 99, Health Care Facilities Code.
- [34] Dwight, H. B., "Calculation of Resistance to Ground," AIEE Transactions, vol. 55, December 1936, pp. 1319–1328.
- [35] San-Earth Technical Review - Practical Measures for Lowering Resistance to Grounding. Sankosha Corp. <http://www.sankosha-usa.com/>. Fecha de consulta 11/Abr/2016.
- [36] BS 7430-2011, Code of Practice for protective Earthing of Electrical Installations 11th Edition.
- [37] Jinliang He, Rong Zeng, Bo Zhang, "Methodology and Technology for Power System Grounding," 2013 John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.
- [38] Laurent, P. G., "Les Bases Generales de la Technique des Mises a la Terre dans les Installations Electriques," Bulletin de la Societe Francaise des Electriciens, vol. 1, ser. 7, pp. 368–402, July 1951.
- [39] Nieman, J., "Unstellung von Hochstspannungs-Erdungsalagen Aufden Betrieb Mit Starr Geerdetem Sternpunkt," Electrotechnische Zeitschrift, vol. 73, no. 10, pp. 333–337, May 1952.
- [40] Sverak, J. G., "Simplified analysis of electrical gradients above a ground grid; Part I — How good is the present IEEE method?" IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, no. 1, pp. 7–25, Jan. 1984.
- [41] Schwarz, S. J., "Analytical expression for resistance of grounding systems," AIEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 73, no. 13, part III-B, pp. 1011–1016, Aug. 1954.
- [42] IEC 60364-1 2005, Electrical Installations of Buildings – Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions
- [43] IEC 60617 2015, Graphical Symbols for Diagrams
- [44] IEC 60364-5-54 2002, Electrical Installations of Buildings – Part 5-54 – Selection an Erection of Electrical Equipment – Earthing Arrangements, protective Conductors and Protective Bonding Conductors
- [45] Sverak, J. G., "Sizing of ground conductors against fusing," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, no. 1, pp. 51–59, Jan. 1981.
- [46] IEC 60050-195 1998 International Electrotechnical Vocabulary - Part 195: Earthing and protection against electric shock
- [47] IEC 62305-1 Protection Against Lightning - General principles
- [48] IEC 62305-2 Protection Against Lightning - Risk management
- [49] IEC 62305-3 Protection Against Lightning - Physical damage to structures and life hazard
- [50] IEC 62305-4 Protection Against Lightning - Electrical and electronic systems within structures
- [51] Ralph H. Lee, "Lightning Protection of Buildings", IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: IA-15, Issue: 3, May 1979.
- [52] IEC 61643-11 2011, "Low-voltage surge protective devices - Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Requirements and test methods".
- [53] IEC 61643-21 2000, "Low voltage surge protective devices - Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Performance requirements and testing methods".
- [54] Thomas F. Lewicki and Norman L. Fowler, The Effect of Corrosion Myths on National Electrical Standards, IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 29, N°. 5, Septiembre/Octubre1993

- [55] John P. Nelson, William K. Holm. "A Cathodically Protected Electrical Substation Ground Grid". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-21, N°. 2. Marzo/Abril 1985.
- [56] Donald H. McIntosh, "Grounding Where Corrosion Protection is Required". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-18, N°. 6. Noviembre/Diciembre 1982
- [57] Edwin A. Wolkoff, Michael F. Genge, Member, IEEE, and Paul V. Bergschneider, "The AC Corrosion Performance of Copper Earth Return Electrodes". IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. IA-16, N°. 1, Enero/Febrero 1980
- [58] Roger S. Keith, "Engineering With Aluminum in Petroleum Processing Plants". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-13, N°. 1, January/February 1977
- [59] Orville W. Zastrow, Underground Corrosion and Electrical Grounding, IEEE Transactions on Industry and General Applications Vol. IGA-3, N°. 3 Mayo/Junio 1967
- [60] "Effects Of Electrical Grounding On Pipe Integrity And Shock Hazard". American Water Works Association, Journal Awwa julio 1998. Vol. 90, N°. 7. Págs. 40 – 52
- [61] Sundar Rajan, Srjnivasa I. Venugopalan, Corrosion and Grounding Systems. IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. IA-I 3, N°. 4, Julio/Agosto 1977.
- [62] G Tres, E. Saborio Corrosion Rate Evaluation of the Copper Cable Used in Grounding Systems at the ICE – Costa Rica. Portugaliae Electrochimica Acta 22 (2004) pp. 345-360
- [63] Roberto Ruelsa Gómez, "Teoría y Diseño de Sistemas de Tierras Según las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) e IEEE". Disponible En: www.ruelsa.com.
- [64] Romanoff, M., "Underground Corrosion", National Bureau of Standards Circular 579, 1957.
- [65] Nelson Morales Osorio, "Sistemas de Puesta a Tierra", National Bureau of Standards Circular 579, 1957. Manual Técnico Elaborado Para Procobre - Chile por Adaptación y Traducción de la Publicación N° 119 de Copper Development.
- [66] Salloum, Gustavo. "Tendencias y Evolución en el Diseño de Mallas de Puesta a Tierra de Subestaciones". XIX Decimonovena Reunión de Verano de Potencia y Aplicaciones Industriales RVP-AI 2006. Ponencia Sub01, 9-15 julio de 2006. Acapulco-México
- [67] P.K. Sen, Keith Malmedal, John P. Nelson, "Steel Grounding Design Guide And Application Notes". 2002 IEEE Rural Electric Power Conference, Mayo 5-7, 2002, Colorado Springs, Colorado
- [68] Di Cecco Danila, Gudiño Ernesto, "Conveniencia Económica de Instalar Arreglos de Puesta a Tierra de Acero", V Congreso Generación Y Transmisión de Energía Eléctrica, Porlamar, Venezuela, 1989.
- [69] Pankaj X. Sen, "Design of Steel Grounding System in a Heavy Industrial Plant", Petroleum and Chemical Industry Conference, 1991, Industry Applications Society 38th Annual. Toronto, Ont., Canada 1991.
- [70] Rong Zheng; Jinliang He; Jun Hu; Guojun Lu; Bin Luo; "The Theory and Implementation of Corrosion Diagnosis for Grounding System", Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Pittsburgh-USA, 2002.
- [71] Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks, Third Edition. Norma API RP 651. American Petroleum Institute
- [72] IEEE 141-1993, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- [73] IEC 60417 - 2018, "Graphical symbols for use on equipment".
- [74] IEC 60204-1 ED. 5.0 – 2005, "Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements".
- [75] NEMA 250-2014 Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts Maximum).
- [76] Allihone, T.E. (1977). 'The Long Spark', Chapter 7 of Golde, R.H. (Editor), LIGHTNING, Vol. 1, pp. 231-280, Academic Press, London, Britain.
- [77] Anonymous. (31 December 1990). '1989 Lightning Protection Multipoint Discharge Systems Tests: Orlando, Sarasota & Tampa, Florida, Federal Aviation Administration, FAATC T16 Power Systems Program, ACN-210 Final Report, 48 pp. Includes a review of findings by M.A. Uman and E.P. Krider.
- [78] Bell, T.E. (December 1986). 'Fending off Bolts from the Blue', IEEE Spectrum, Vol. 23, No. 12, p. 18.

- [79] Bent, R.B., and Liewellyn, S.K. (January 1977). "An Investigation of the Lightning Elimination and Strike Reduction Properties of Dissipation Arrays", pp. 149-241 of Hughes, J. (Editor), Review of Lightning Protection Technology for Tall Structures, Publication No. AD-A075 449, Office of Naval research, Arlington, Virginia.
- [80] Berger, K. (June 1967). "Novel Observations on Lightning Discharges: Results of Research on Mount San Salvatore", Journal of the Franklin Institute, Vol. 283, No. 6, pp. 478-525.
- [81] Berger, K., Anderson, R.B., and Kroninger, H. (July 1975). "Parameters of Lightning Flashes", Electra, No. 41, pp. 23-37.
- [82] Bishop, D. (May 1990). "Lightning Devices Undergo Tests at Florida Airports", Mobile Radio Technology, pp. 16-26.
- [83] Block, R.R. (April 1988). "Dissipation Arrays: Do they Work?", Mobile Radio Technology, pp. 9-14.
- [84] Carpenter, R.B. (1977). "170 System Years of Guaranteed Lightning Prevention", pp. 1-23 of Hughes, J. (Editor), Review of Lightning Protection Technology for Tall Structures, Publication No. AD-A075 449, Office of Naval Research, Arlington, Virginia.
- [85] Drabkin, M.M., and Carpenter, R.B. (October 1988). "Lightning Protection Devices: How Do They Compare?", Mobile Radio Technology, pp. 24-32.
- [86] Durrett, W.R. (January 1977). "Dissipation Arrays at Kennedy Space Center", pp. 24-52 of Hughes, J. (Editor), Review of Lightning Protection Technology for Tall Structures, Publication No. AD-A075 449, Office of Naval Research, Arlington, Virginia. [12] Eskow, D. (August 1983). "Striking Back at Lightning", Popular Mechanics, pp. 55-57, and 116.
- [87] Golde, R.H. (1977). "The Lightning Protection of Tall Structures", pp. 242-249 of Hughes, J. (Editor), Review of Lightning Protection Technology for Tall Structures, Publication No. AD-A075 449, Office of Naval Research, Arlington, Virginia.
- [88] Golde, R.H. (1977). "The Lightning Conductor", Section 4.3 of Chapter 17 of Lightning, Vol. 2, Academic Press, London, Britain, pp. 567-569.
- [89] Hughes, J. (January 1977). "Introduction", pp. i-iv of Review of Lightning Protection Technology for Tall Structures, Publication No. AD-A075 449, Office of Naval Research, Arlington, Virginia.
- [90] Lowrey, J. (September 1991). "Protecting Substations", Rural Electrification, p.5.
- [91] McEachron, K.B. (1939). "Lightning to the Empire State Building", Journal of the Franklin Institute, Vol. 227, No. 2, pp. 149-217.
- [92] Moore, C.B. (January 1977). "Study of Behaviour of Sharp and Blunt Lightning Rods in Strong Electric Fields", pp. 96-107 of Hughes, J. (Editor), Review of lightning Protection Technology for Tall Structures, Publication No. AD-A075 449, Office of Naval Research, Arlington, Virginia.
- [93] Mousa, A.M. (1986). "A Study of the Engineering Model of Lightning Strokes and its Application to Unshielded Transmission Lines", Ph.D. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- [94] Mousa, A.M., and Srivastava, K.D. (November 1988). "Shielding Tall Structures Against Direct Lightning Strokes", Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vancouver, British Columbia, ISSN 0840-7789, pp. 28-33.
- [95] Risler, W.T. (1977). "Lightning Elimination Associates (LEA) Array on Top of 150 Meter Tower", pp. 53-63 of Hughes, J. (Editor), Review of Lightning Protection Technology for Tall Structures, Publication No. AD-A075 449, Office of Naval Research, Arlington, Virginia.
- [96] Rourk, Chris. (Sept. 1994). "A review of Lightning-Related Operating Events at Nuclear Power Plants", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.9, Nc). 3, pp. 636-641.
- [97] Ospina, F., "Tierras: Soporte a la Seguridad eléctrica", segunda edición, 2003.
- [98] Salloum, Gustavo. "Consideraciones de Corrosion en los sistemas de puesta a tierra". "XXX IEEE CONCAPAN - Trigésima Convención de Centro América y Panamá del IEEE". Hotel Real Intercontinental, San José, Costa Rica. Noviembre 2010.
- [99] IEEE 1692-2011, IEEE Guide for the Protection of Communication Installations from Lightning Effects

APÉNDICES

APÉNDICE 1 PERSPECTIVA HISTÓRICA DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

APÉNDICE 2 VISIÓN HOLÍSTICA LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

APÉNDICE 3 CONSTANTES HUMANAS DE DISEÑO

APÉNDICE 4 CERRAMIENTOS ELÉCTRICOS

APÉNDICE 5 DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES DE PROTECCIÓN (PE Y PEN)

INDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

ILUSTRACIONES – CAPÍTULO 1

Ilustración 1-1 Corrientes mínimas para alcanzar el umbral de no soltar [4]	6
Ilustración 1-2 Corriente de fibrilación vs el peso corporal [3].....	7
Ilustración 1-3 Curvas de seguridad tiempo-corriente para corriente alterna [4].....	8
Ilustración 1-4 Curvas de seguridad tiempo-corriente para corriente continua. [4].....	9
Ilustración 1-5 Electrocardiograma de un ciclo cardíaco normal y de comienzo de fibrilación [4].....	12
Ilustración 1-6 Dependencia de la alteración de la piel humana en función de la densidad de corriente i_t y la duración del flujo de corriente [4].....	13
Ilustración 1-7 Impedancia del cuerpo humano en función de la tensión y superficie de contacto	16
Ilustración 1-8 Modelo equivalente de la impedancia del cuerpo humano.....	17
Ilustración 1-9 Variación de la impedancia del cuerpo humano en función de la frecuencia y para varios niveles de tensión.	18
Ilustración 1-10 Impedancia parcial interna del cuerpo humano [4].....	19
Ilustración 1-11 Relación entre las curvas de fibrilación de Charles Dalziel y la curva de fibrilación "Z" de Biegelmeier [3].....	24
Ilustración 1-12 Circuito accidental equivalente ante una tensión de paso E_P	26
Ilustración 1-13 Circuito accidental equivalente ante una tensión de toque E_T	26

ILUSTRACIONES – CAPÍTULO 2

Ilustración 2- 1 Diferencia de potencial a la que se ve sometido los aislamientos de los cables de potencia... 31	31
Ilustración 2-2 Falla a tierra de una fase de un circuito trifásico NO puesto a tierra.	32
Ilustración 2-3 Falla a tierra de una fase de un circuito trifásico puesto a tierra.	33
Ilustración 2-4 Elementos para la puesta a tierra del sistema eléctrico	34
Ilustración 2-5 Circulación de corriente ante falla de motor – Sistema puesto a tierra – Equipo NO puesto a Tierra.	37
Ilustración 2-6 Circulación de corriente ante falla de motor – Sistema puesto a tierra – Equipo puesto a tierra.	38
Ilustración 2-7 Conexión de un tomacorriente – Identificación del conductor de puesta a tierra de equipos (EGC) para equipos portátiles.....	38
Ilustración 2-8 Identificación del pin de conexión a tierra en equipos portátiles.....	38
Ilustración 2-9 Identificación de los elementos de protección contra rayos de una edificación.....	40
Ilustración 2-10 Cableado preferido para puestas a tierras a frecuencia industrial y a altas frecuencias.	42

ILUSTRACIONES – CAPÍTULO 3

Ilustración 3-1 Suelos estratificados horizontalmente. Suelos heterogéneos (izquierda), suelos homogéneos (derecha)	46
---	----

Ilustración 3-2 Ejemplo de estratificación del suelo	47
Ilustración 3-3 Segmento Volumétrico de estudio de dimensiones conocidas.....	48
Ilustración 3-4 Factores que afectan la resistividad - Humedad	50
Ilustración 3-5 Factores que afectan la resistividad – Concentración de Sales	50
Ilustración 3-6 Factores que afectan la resistividad – Temperatura.....	51
Ilustración 3-7 Factores que afectan la resistividad – Presión	52
Ilustración 3-8 Segmento volumétrico del terreno por la que se hace pasar una corriente eléctrica	54
Ilustración 3-9 Distribución de potencial en suelo homogéneo ante la inyección de una corriente I.....	55
Ilustración 3-10 Potencial en suelo homogéneo considerando los punto de inyección y retorno de corriente..	56
Ilustración 3-11 Medición de potencial ΔV en suelo homogéneo ante inyección de corriente I.....	56
Ilustración 3-12 Método de Wenner de 4 Puntos.....	57
Ilustración 3-13 Métodos de medición de resistividad de suelos.....	61
Ilustración 3-14 Representación gráfica de 4 series con distorsiones de medición.....	63
Ilustración 3-15 Medición de resistencia de PAT – Método de los dos puntos.....	65
Ilustración 3-16 Medición de resistencia de PAT – Método de los tres puntos.....	66
Ilustración 3-17 Medición de resistencia de PAT – Método estrella delta [20].....	67
Ilustración 3-18 Medición de resistencia de PAT – Método de la caída de potencial.....	69
Ilustración 3-19 Margen de error en el método de la caída de potencial.....	70
Ilustración 3-20 Radio eléctrico equivalente de una semiesfera representativa de la dispersión de corriente en suelos.....	71
Ilustración 3-21 Medición de resistencia de PAT – Método de la intersección de curvas.....	72
Ilustración 3-22 Curvas de intersección	73

ILUSTRACIONES – CAPÍTULO 4

Ilustración 4-1 Desarrollo de la resistencia de PAT de un electrodo vertical.....	79
Ilustración 4-2 Electrodo de puesta a tierra dedicados e interconectados.....	95
Ilustración 4-3 Configuración de tierra única prohibida.....	95
Ilustración 4-4 Configuración de tierras separadas prohibida.....	96
Ilustración 4-5 Requisitos de profundidad para electrodos verticales dedicados.....	97

ILUSTRACIONES – CAPÍTULO 5

Ilustración 6-1 Distancias de separación máxima a tierra de los equipos dentro de la cual es obligatorio su conexión a tierra	121
Ilustración 6-2 Símbolo de tierra según NFPA 70.....	128

ILUSTRACIONES – CAPÍTULO 7

Ilustración 7-1 Volumen de protección de la punta Franklin	137
Ilustración 7-2 Volumen de protección del hilo tendido.....	137
Ilustración 7-3 Ángulos de protección recomendado NFPA 780.....	138
Ilustración 7-4 IEC 62305 – Ángulo de protección vs altura de la estructura a proteger.....	139
Ilustración 7-5 Aplicación didáctica del método del ángulo para estructuras con un nivel II de protección.....	139
Ilustración 7-6 Ubicación e interconexión de puntas Franklin en techo de estructura.....	141
Ilustración 7-7 Método de la malla según IEC 62305-3.....	142

ILUSTRACIONES – CAPÍTULO 8

Ilustración 8-1 Esquema “convencional” de PAT de equipos electrónicos.....	149
Ilustración 8-2 Esquema de tierra aislada.....	151
Ilustración 8-3 Conexión del tomacorriente de tierra aislada	152
Ilustración 8-4 Conexión de tierra aislada total	152
Ilustración 8-5 Esquema malla de referencia.....	154

Ilustración 8-6 Pantalla puesta a tierra en un solo extremo	155
Ilustración 8-7 Acoplamiento capacitivo para altas frecuencias	156
Ilustración 8-8 Pantalla puesta a tierra en ambos extremos	156
Ilustración 8-9 Cancelación de corrientes inducidas	157

ILUSTRACIONES – CAPÍTULO 9

Ilustración 9-1 Puente unión entre tubos de canalización metálica a ser conectados a la barra de puesta a tierra de un tablero [32].	169
Ilustración 9-2 Esquema básico del refuerzo del concreto usado como electrodo de puesta a tierra.	173
Ilustración 9-3 (a) Conexión adecuada a tablero [97]. (b) Conexión sujeta a corrosión debido a la presencia de metales disímiles	175
Ilustración 9-4 Jabalina Copperweld Corroída, debido a una mala aplicación de la conexión exotérmica.	176

ILUSTRACIONES – CAPÍTULO 10

Ilustración 10-1 Conector “C-type” para unión entre conductores de cobre.....	180
Ilustración 10-2 Representación Típica de oreja de conexión	181
Ilustración 10-3 Representación de conectores a compresión	182
Ilustración 10-4 Selección del tipo de conectores de puesta a tierra según su ubicación.....	183
Ilustración 10-5 Representación de diferentes tipos de manguitos de protección	184
Ilustración 10-6 Canalizaciones eléctricas para propósitos de puesta a tierra.....	185

ILUSTRACIONES – APÉNDICE 2

Ilustración AP2- 1 Visión Holística de los Sistemas de Puesta a tierra.....	200
Ilustración AP2-2 Símbolos de puesta a tierra de la norma IEC 60417	202
Ilustración AP2-3 El dibujo N 5019 de IEC 60417 dibujado incorrectamente como se muestra en el Código Eléctrico Nacional NFPA 70[32].	203

ILUSTRACIONES – APÉNDICE 3

Ilustración AP3-1 Constantes Humanas de Diseño	206
Ilustración AP3-2 Distancias de seguridad para Zona de Trabajo basadas en Constantes Humanas de Diseño.	207

TABLAS – CAPÍTULO 1

Tabla 1-1 Zonas de seguridad asociadas a las curvas tiempo-corriente para corriente alterna [4]	8
Tabla 1-2 Zonas de seguridad asociadas a las curvas tiempo-corriente para corriente continua. [4].	10
Tabla 1-3 Valores de la impedancia del cuerpo humano (ZT) para un camino mano a mano, corriente alterna 50/60 Hz.	28

TABLAS – CAPÍTULO 3

Tabla 3-1 Valores típicos de resistividad	53
Tabla 3-2 Valores de E_F/E_C para diferentes valores de μ	75

TABLAS – CAPÍTULO 4

Tabla 4-1 Valor condicional de resistencia de PAT para electrodos unitarios – Evolución de la redacción en la NFPA 70	81
Tabla 4-2 Fórmulas para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra de electrodos típicos	88
Tabla 4-3 Fórmulas para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra de un electrodo vertical	89

Tabla 4-4 Fórmulas para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra de un electrodo vertical considerando su profundidad	89
Tabla 4-5 Fórmulas para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra de un electrodo horizontal	90
Tabla 4-6 Calibre mínimo del conductor de puesta a tierra del electrodo	98
Tabla 4-7 Constante de los materiales	101
Tabla 4-8 Constante de los materiales - Simplificación	102

TABLAS – CAPÍTULO 5

Tabla 5-1 Ventajas y desventajas de los sistemas no puestos a tierra	108
Tabla 5-2 Ventajas y desventajas de los sistemas sólidamente puestos a tierra	109
Tabla 5-3 Ventajas y desventajas de los sistemas puestos a tierra con resistencia	110
Tabla 5-4 Simbología eléctrica utilizada para representar los esquemas de conexión a tierra	112
Tabla 5-5 Identificación de los esquemas de conexión a tierra acorde con la normatividad IEC 60364	112
Tabla 5-6 Representación de los esquemas de conexión de tierra identificados en la IEC 60364 – corriente alterna	114
Tabla 5-7 Representación de los esquemas de conexión de tierra identificados en la IEC 60364 – corriente directa – I	115
Tabla 5-8 Representación de los esquemas de conexión de tierra identificados en la IEC 60364 – corriente directa - II	116

TABLAS – CAPÍTULO 6

Tabla 6-1 Requerimientos de puesta a tierra de equipos	120
Tabla 6-2 Listados de equipos que deben ser colocados a tierra	122
Tabla 6-3 Tipos de conductores de puesta a tierra de equipos permitidos por NFPA 70	124
Tabla 6-4 Calibre mínimo de los conductores de PAT de equipos y requerimientos particulares	126
Tabla 6-5 Dimensionamiento de los Conductores de Protección	129
Tabla 6-6 Calibre Mínimo de los Conductores de Conexión al electrodo de PAT	131

TABLAS – CAPÍTULO 7

Tabla 7-1 Distancias típica para la conexión a tierra de todos los métodos de protección según su nivel de protección acorde con IEC 62305	142
Tabla 7- 2 Radios recomendados de esfera rodante según IEC 62305 en función del nivel de protección. ..	144

TABLAS – CAPÍTULO 9

Tabla 9-1 Serie galvánica de los metales en agua de mar	162
Tabla 9-2 Serie galvánica de los metales en agua de mar	164
Tabla 9-3 Tasa de corrosión promedio, pulgadas x 10-3 / y de diversos metales ante las características de suelo y clima. [13]	174

TABLAS – APÉNDICE 4

Tabla AP4-1 Grado de protección IP – Significado del primer dígito	209
Tabla AP4-2 Grado de protección IP – Significado del segundo dígito	210
Tabla AP4-3 Grado de protección IP – Significado del tercer dígito / Letra Opcional	211
Tabla AP4-4 Grado de protección IP – Significado del cuarto dígito / Letra Opcional	211
Tabla AP4- 5 Clasificación de cerramientos por NEMA para equipos en áreas NO-Peligrosas	212
Tabla AP4- 6 Clasificación de cerramientos por NEMA para equipos en áreas Peligrosas	213
Tabla AP4- 7 Cuadro comparativo de las clasificaciones de cerramientos entre las normas IEC y NEMA	214

TABLAS – APÉNDICE 5

Tabla AP5-1 Valor de los parámetros para diferentes materiales.....	216
Tabla AP5-2 Valores de k para conductores de protección aislados no incorporados en cables y no agrupados con otros cables.....	216
Tabla AP5-3 Valores de k para conductores de protección desnudos en contacto con la cubierta del cable pero no agrupados con otros cables.....	216
Tabla AP5-4 Valores de k para conductores protectores como núcleo incorporado en un cable o agrupados con otros cables o conductores aislados.....	217
Tabla AP5-5 Valores de k para conductores protectores como una cubierta metálica de un cable, p. Ej. Armadura, funda metálica, conductor concéntrico, etc.....	217
Tabla AP5-6 Valores de k para conductores desnudos donde no hay riesgo de daño a ningún material vecino por la temperatura indicada.....	217



Ing. Gustavo A. Salloum, PMP - es ingeniero electricista y director de proyectos, ha dedicado toda su vida profesional al estudio y desarrollo de las buenas prácticas de ingeniería en sistemas de puesta a tierra. Es egresado de la Universidad Simón Bolívar donde también cursó los estudios de Especialización en Instalaciones Eléctricas y Maestría en Ingeniería Eléctrica. Ha publicado diferentes artículos en torno a las puestas a tierra tanto en revistas científicas como en congresos internacionales y ha recorrido Latinoamérica dictando charlas, cursos, conferencias y seminarios, generando polémicas y rompiendo paradigmas en el área, con el objeto de incentivar y formar una generación competente y crítica. Actualmente maneja un programa de formación y certificación de especialistas en Puestas a Tierra para la empresa KAIZEN donde es a su vez socio-fundador. Se encuentra firmemente convencido que el éxito de las sociedades en Latinoamérica se obtendrá con la formación acelerada de especialistas mediante una simbiosis universidad-empresa en todas las áreas del saber, para atender las exigencias y necesidades actuales y futuras.



Copyright © 2018 GUSTAVO SALLOUM.
Todos los derechos reservados.
Publicado por KAIZEN COMPANY INC
ISBN 978-9962-12-893-9