

CONTENIDO

PARTE I.- TEORÍA Y REGLAMENTACIÓN

CAPITULO 01 - INTRODUCCIÓN

- 1.1 INTRODUCCIÓN.
- 1.2 DEFINICIONES
- 1.3 PROPÓSITO Y TIPOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA
 - 1.3.1 Puesta a tierra de los sistemas eléctricos
 - 1.3.2 Puesta a tierra de los equipos eléctricos
 - 1.3.3 Puesta a tierra en señales electrónicas
 - 1.3.4 Puesta a tierra de protección electrónica
 - 1.3.5 Puesta a tierra de protección atmosférica
 - 1.3.6 Puesta a tierra de protección electrostática
- 1.4 REFERENCIAS

CAPITULO 02 - PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

- 2.1 SISTEMAS ELÉCTRICOS QUE REQUIEREN SER CONECTADOS A TIERRA
 - 2.1.1 Sistemas eléctricos en c.c. de no más de 300 V
 - 2.1.2 Sistemas de c.c. de tres conductores.
 - 2.1.3 Sistemas de c.a. de menos de 50 V
 - 2.1.4 Sistemas eléctricos derivados en c.a.
- 2.2 SISTEMAS ELÉCTRICOS DE C. A. QUE PUEDEN NO SER CONECTADOS A TIERRA
- 2.3 SISTEMAS ELÉCTRICOS DE C. A. CONECTADOS A TIERRA
 - 2.3.1 Sistemas eléctricos puestos a tierra mediante una impedancia.
 - 2.3.2 Sistemas de Puesta a tierra de Alta Resistencia
 - 2.3.3 Sistemas de Puesta a tierra de Baja Resistencia
- 2.3 CONDUCTOR A CONECTARSE A TIERRA - PUESTO A TIERRA.
- 2.4 LUGAR DE PUESTA A TIERRA DEL SISTEMA.
 - 2.4.1 En sistemas en c.c.
 - 2.4.2 Los sistemas de corriente alterna.
- 2.5 SISTEMAS ELÉCTRICOS DERIVADOS SEPARADOS
- 2.6 RESISTENCIA A TIERRA POR SISTEMA
 - 2.6.1. Resistencia a tierra de un sistema eléctrico de poca potencia (Baja Tensión).
 - 2.6.2. Resistencia a tierra de un sistema eléctrico de alta potencia (Mediana y Alta Tensión).
- 2.7 REFERENCIAS

CAPITULO 03 - PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELÉCTRICOS

- 3.1 CANALIZACIONES Y EQUIPOS QUE DEBEN ESTAR PUESTOS A TIERRA.
 - 3.1.1 canalizaciones metálicas.
 - 3.1.2 soportes tipo charola para cables
 - 3.1.3 equipo fijo específico
 - 3.1.4 equipo fijo en general
 - 3.1.5 equipos conectados por cordón y clavija
 - 3.1.6 instalaciones provisionales
 - 3.1.7 equipos no eléctricos
 - 3.1.8 equipos de líneas aéreas
 - 3.1.9 otros equipos
- 3.2 PARTES METÁLICAS DE EQUIPOS FIJOS CONSIDERADAS ATERRIZADAS.

- 3.3 CIRCUITOS QUE NO DEBEN SER PUESTOS A TIERRA
- 3.4 CONTINUIDAD ELÉCTRICA DEL CIRCUITO DE TIERRA.
- 3.5 CALIBRE DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS.
 - 3.5.1 Conductores de puesta a tierra de equipos, en canalizaciones en paralelo
- 3.6 RECEPTÁCULOS QUE REQUIEREN INTERRUPTORES DE CIRCUITO POR FALLA A TIERRA
- 3.7 IDENTIFICACIÓN DE CONDUCTORES PUESTOS A TIERRA
- 3.8 IDENTIFICACIÓN DE CONDUCTORES DE PUESTA A TIERRA
- 3.9 CONSIDERACIONES PARA UN BUEN DISEÑO DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELÉCTRICOS.
- 3.10 REFERENCIAS

CAPITULO 04 - PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS

- 4.1 INTRODUCCIÓN
- 4.2 PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS.
 - 4.2.1 Esquema Convencional
 - 4.2.2 Tierra Aislada
 - 4.2.3 Tierra Aislada Total
 - 4.2.4 Esquema de Malla de Referencia
- 4.3 EJEMPLOS DE PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS DE COMPUTADORAS
 - 4.3.1 Con transformador de aislamiento y receptáculos del tipo tierra aislada (IG)
 - 4.3.2 Esquema de la tierra aislada total utilizando un transformador de aislamiento
 - 4.3.3 Con transformador de aislamiento y equipos de aire acondicionado
 - 4.3.4 Con conexión a sistema de energía ininterrumpible (UPS).
 - 4.3.5 Electrodo local de puesta a tierra
- 4.4 PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES
 - 4.4.1 conductores entre el sitio de telecomunicaciones al sistema eléctrico
- 4.5 PUESTA A TIERRA DE CNC's
- 4.6 PUESTA A TIERRA DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA
- 4.7 INTERCONEXIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE TELÉFONO Y CABLE.
- 4.8 REFERENCIAS

CAPITULO 05 - PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA

- 5.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
- 5.2 SISTEMAS DE PARARRAYOS
- 5.3 ESTÁNDARES DE PROTECCIÓN
 - 5.3.1 Métodos de protección según NFPA
 - 5.3.2 MÉTODO DE PROTECCIÓN DE LA NF C17-102
- 5.4 PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS Y EDIFICIOS
 - 5.4.1 protección de torres de comunicación
 - 5.4.2 protección de tanques
 - 5.4.3 protección de árboles.
 - 5.4.4 protección de subestaciones eléctricas
 - 5.4.5 protección de equipos eléctricos en media y alta tensión.
 - 5.4.6 protección de equipos eléctricos en baja tensión.
 - 5.4.7 protección de áreas abiertas.
- 5.5 BAJANTES Y ELECTRODOS
 - 5.5.1 conductores de los electrodos de un sistema de pararrayos
 - 5.5.2 conductores entre el sistema de pararrayos y el sistema eléctrico
 - 5.5.3 resistencia a tierra de los electrodos
- 5.6 PRUEBAS DE SUSCEPTIBILIDAD A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.
- 5.7 REDES DE MONITOREO ATMOSFÉRICO
- 5.8 REFERENCIAS

CAPITULO 06 - PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ELECTROSTÁTICA

- 6.1 ELECTROSTÁTICA
- 6.2 MEDIDAS GENERALES CONTRA LA ELECTROSTÁTICA.
- 6.3 PROTECCIÓN DE TANQUES
- 6.4 EJEMPLOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA ELECTROSTÁTICA
 - 6.4.1 gasolinera
 - 6.4.2 empresa de solventes
- 6.4 REFERENCIAS

PARTE II.- OTROS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

CAPITULO 07 - PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN CATÓDICA

- 7.1 ¿QUÉ ES LA PROTECCIÓN CATÓDICA?
- 7.2 TIPOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA
 - 7.2.1 protección por medios electroquímicos o naturales.
 - 7.2.3 protección eléctrica o activa
- 7.3 RELACIÓN CON LOS OTROS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA
- 7.4 REFERENCIAS

CAPITULO 08 - PUESTA A TIERRA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

- 8.1 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
 - 8.1.1 hilo de guarda
 - 8.1.2 bajantes y puesta a tierra de estructuras
 - 8.1.3 resistencia e impedancia a tierra de la línea de transmisión
 - 8.1.4 uso de la puesta a tierra de las estructuras
- 8.2 LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN
 - 8.2.1 hilo de guarda
 - 8.2.2 neutro corrido
 - 8.2.3 bajantes y puesta a tierra de estructuras en distribución
- 8.3 PROTECCIÓN DE LÍNEAS AÉREAS
- 8.4 PUESTA A TIERRA DE ACCESORIOS DE LÍNEAS AÉREAS
 - 8.4.1 puesta a tierra de las cercas metálicas que cruzan líneas aéreas
 - 8.4.2 puesta a tierra de las partes metálicas de las líneas aéreas
- 8.5 PUESTA A TIERRA DE LOS CABLES DE ENERGÍA
- 8.6 VALORES ACEPTABLES DE RESISTENCIA A TIERRA
- 8.7 LECTURAS ADICIONALES
- 8.8 REFERENCIAS

CAPITULO 09 - PUESTA A TIERRA EN LA MINERÍA

- 9.1 GENERALIDADES
- 9.2 SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA UTILIZADOS EN MINERÍA
- 9.3 PROTECCIÓN DE FALLA A TIERRA
- 9.4 CABLE DE ENERGÍA PARA MINAS
- 9.5 PROBLEMAS EN SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE MINAS
 - 9.5.1 Falla de monitores de continuidad en presencia de tracción en c.d.
 - 9.5.2 Corrientes inducidas en los conductores de puesta a tierra
 - 9.5.3 Rayos

- 9.6 MEDICIONES DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA
- 9.7 REFERENCIAS

CAPITULO 10 - OTROS EJEMPLOS DE SISTEMAS DE TIERRA

- 10.1 PUESTA A TIERRA DE ALBERCAS O PISCINAS
- 10.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
- 10.3 PUESTA A TIERRA DE ANTENAS DE RADIOAFICIONADOS
- 10.4 PUESTA A TIERRA DE LOS SISTEMAS DE TREN LIGERO EN C.D.
- 10.5 REFERENCIAS

PARTE III.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

CAPITULO 11 - MEDICIONES DE RESISTIVIDAD PARA DISEÑO

- 11.1 LA TIERRA Y LA RESISTIVIDAD
 - 11.1.1 sales solubles
 - 11.1.2 composición del terreno
 - 11.1.3 estratigrafía
 - 11.1.4 granulometría
 - 11.1.5 estado higrométrico
 - 11.1.6 temperatura
 - 11.1.7 compactación
- 11.2 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.
 - 11.2.1 método de toma de muestras directas.
 - 11.2.2 telurómetro.
 - 11.2.3 Método de Wenner.
 - 11.2.4 Método de Schlumberger
 - 11.2.5 Método Inverso
- 11.3 PERFIL DE RESISTIVIDAD
- 11.4 DATOS DE RESISTIVIDAD DE SUELOS TÍPICOS
 - 11.4.1 Datos de resistividad del suelo de la ciudad de León, Gto
 - 11.4.2 Datos de resistividad del suelo de otros lugares
- 11.5 EJEMPLOS DE PERFILES DE RESISTIVIDAD
 - 11.5.1 Capa superficial arcillosa y húmeda, capa inferior rocosa
 - 11.5.2 Capa superficial muy seca, capa inferior arenosa
 - 11.5.3 Terreno rocoso y seco
 - 11.5.4 Terreno arcilloso, superficie seca
- 11.6 REFERENCIAS

CAPITULO 12 - MATERIALES DE PUESTA A TIERRA

- 12.1 ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA
 - 12.1.1. Tubería metálica de agua enterrada
 - 12.1.2. Estructura metálica del edificio
 - 12.1.3. Electroodos de concreto armado o Ufer
 - 12.1.4. Anillo de tierra
- 12.2 ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA ESPECIALMENTE CONSTRUIDOS
 - 12.2.1. Electroodos de varilla o tubería
 - 12.2.2. Electroodos de placa
 - 12.2.3. Estructuras metálicas enterradas

- 12.3 ELECTRODOS PARA PUESTA A TIERRA EN RADIO FRECUENCIA
- 12.4 ELECTRODOS PARA PUESTA A TIERRA DE PARARRAYOS
- 12.5 MALLAS
- 12.6 MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A TIERRA
- 12.7 MEJORAMIENTO DEL ELECTRODO
- 12.8 MEJORAMIENTO DEL TERRENO
- 12.9 CONECTORES
- 12.10 REGISTROS
- 12.11 CONDUCTORES DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA
- 12.12 EJEMPLOS DE LISTADOS DE MATERIALES PARA PUESTA A TIERRA
- 12.13 REFERENCIAS

CAPITULO 13 - DISEÑO DE SISTEMAS DE TIERRA DE SUBESTACIONES

- 13.1 GENERALIDADES
- 13.2 VALORES ACEPTABLES DE RESISTENCIA A TIERRA DE SUBESTACIONES
- 13.3 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE UNA MALLA DE TIERRA
- 13.4 OPTIMIZADO DE LA MALLA.
- 13.5 DETALLES CONSTRUCTIVOS DEL SISTEMA DE TIERRA DE UNA SUBESTACIÓN
 - 13.5.1 tierras remotas
 - 13.5.2 vías del ferrocarril
 - 13.5.3 cables de control
 - 13.5.4 material de cubierta
 - 13.5.5 cerca metálica y estructuras metálicas de la subestación
 - 13.5.6 trincheras de cables.
 - 13.5.7 puntos de unión de la malla.
 - 13.5.8 pararrayos
 - 13.5.9 tareas identificadas para construir la malla de una subestación
- 13.6 EJEMPLOS DE PROGRAMAS PARA CALCULAR LA MALLA DE UNA SUBESTACIÓN
- 13.7 EJEMPLOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE SUBESTACIONES
 - 13.7.1 subestación abierta
 - 13.7.2 subestación interior
 - 13.7.3 subestación en azotea
 - 13.7.4 subestación en pedestal
 - 13.7.5 subestación en poste
- 13.8 SISTEMAS DE TIERRA PARA SUBESTACIONES RECTIFICADORAS EN C.D.
- 13.9 REFERENCIAS

PARTE IV.- MANTENIMIENTO

CAPITULO 14 - MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

- 14.1 CORROSIÓN GALVÁNICA
- 14.2 MEDICIONES DE MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TIERRAS.
- 14.3 MONITOREO CONTINUO
- 14.4 REFERENCIAS

CAPITULO 15 - MEDICIONES DE RESISTENCIA A TIERRA

- 15.1 MEDICIONES DE RESISTENCIA A TIERRA.
 - 15.1.1 TIPO DE PRUEBA
 - 15.1.2 TIPO DE APARATO.
 - 15.1.3 LUGAR FÍSICO
 - 15.1.4 RESISTIVIDAD DEL TERRENO
- 15.2 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PEQUEÑOS ELECTRODOS
 - 15.2.1 medición de resistencia de un electrodo por método de caída de potencial o tres puntos
 - 15.2.2 método de caída de potencial - simplificado
 - 15.2.3 método del 62%
 - 15.2.4 medición de un electrodo por método de dos puntos.
 - 15.2.5 medición de un electrodo por método de pérdidas.
 - 15.2.6 medición de un electrodo por método delta-estrella
- 15.3 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE GRANDES ELECTRODOS
 - 15.3.1 medición de resistencia de un electrodo por método de caída de potencial o tres puntos
 - 15.3.2 método de la pendiente.
 - 15.3.3 método de la intersección de curvas
 - 15.3.4 método Eleck
- 15.4 MEDICION DE RESISTENCIA DE TORRES DE TRANSMISIÓN
- 13.5 MEDICIONES DEL POTENCIAL DE TOQUE
 - 15.5.1 medición con un telurómetro de baja corriente
 - 15.5.2 medición con inyección de alta corriente
- 15.6 MEDICIONES DEL POTENCIAL DE PASO
 - 15.6.1 medición con un telurómetro de baja corriente
 - 15.6.2 medición con un telurómetro de alta corriente
- 15.7 SEGURIDAD EN LA MEDICIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA.
- 15.8 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR CORRECTAMENTE LA MEDICIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA
- 15.9 REFERENCIAS

CAPITULO 16 - MEDICIONES DE CONTINUIDAD ELÉCTRICA

- 16.1. EQUIPOS UTILIZADOS PARA MEDIR CONTINUIDAD ELÉCTRICA
- 16.2. REGISTROS
- 16.3. COMPROBACIONES
- 16.4. RECOMENDACIONES
- 16.3. REFERENCIAS

CAPITULO 17 - TRABAJOS ELÉCTRICOS QUE REQUIEREN PUESTA A TIERRA

- 17.1. TRABAJOS ELÉCTRICOS EN BAJA TENSIÓN
- 17.2. TRABAJOS ELÉCTRICOS EN ALTA TENSIÓN
 - 17.2.1 maniobras desde el piso.
- 17.3 RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD RELACIONADAS CON LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA
- 17.4 REFERENCIAS

PARTE V.- EFECTOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

CAPITULO 18 - EFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL CUERPO HUMANO

- 18.1. EFECTOS FISIOLÓGICOS
- 18.2. POTENCIAL DE PASO Y DE CONTACTO SEGUROS
- 18.3. REFERENCIAS

PARTE VI.- ANEXOS

CAPITULO 19 - PREGUNTAS FRECUENTES SOBRE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

- 19.1 INTRODUCCIÓN
- 19.2 PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS
- 19.4 PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS
- 19.5 PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA
- 19.11 MEDICIONES DE RESISTIVIDAD PARA DISEÑO
- 19.12 MATERIALES DE PUESTA A TIERRA
- 19.13 DISEÑO DE SISTEMAS DE TIERRA DE SUBESTACIONES
- 19.15 MEDICIONES DE RESISTENCIA A TIERRA PARA MANTENIMIENTO

ANEXO A - ÍNDICE DE TABLAS

- A.1 FORMULARIO PARA OBTENER LA RESISTENCIA A TIERRA.

ANEXO B - ÍNDICE DE MEMORIAS DE CÁLCULO

- B.1 SPAT DE UNA SUBESTACIÓN DE POTENCIA EN 115 kV.

ANEXO C - CD CONTENIENDO DOCUMENTOS RELEVANTES Y REFERENCIAS NORMATIVAS

AGRADECIMIENTOS

Estas notas comenzaron como material para un curso conjunto sobre Puesta a Tierra según la Norma Oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas organizado en septiembre de 1996 entre la Universidad DeLaSalle Bajío, y el ahora denominado Colegio de Ingenieros Mecánicos Electricistas y Ramas Afines de León, A. C. Con el apoyo y consejo del Ingeniero Jaime Palacios Castañón director entonces de la Escuela de Electrónica y Computación las notas se ampliaron a incluir otros sistemas de puesta a tierra.

Con los años, las notas originales se han enriquecido con el apoyo y revisión de distinguidos ingenieros mexicanos y extranjeros, expertos en la materia. Asimismo, con la información técnica que aportaron compañías del ramo.

El cambio a formato de libro fue idea de un gran amigo e ingeniero, Gerardo Maltos Villarreal, y, poco a poco mis asistentes fueron quienes con gran paciencia convirtieron los apuntes y dibujos en estas páginas.

A todos y a cada uno, les agradezco su valiosa cooperación. Gracias.

Roberto Ruelas Gómez

PREFACIO

Este libro tiene como propósito mostrar en base a la normatividad mexicana, y de una manera práctica cada uno de los Sistemas de Puesta a Tierra de las diferentes disciplinas de Ingeniería.

Para los lectores inquietos con el contenido, los remito a consultar las referencias correspondientes indicadas al final de cada capítulo.

Adicionalmente, en el CD anexo se encuentran artículos técnicos de apoyo para el tema, cuyo contenido es propiedad de sus autores.

NOTAS A LA ÚLTIMA EDICIÓN

Gracias a las sugerencias de los lectores se renumeraron los capítulos y se agregó uno nuevo sobre Sistemas de Tierra de Protección Catódica, las mediciones de continuidad y los sistemas de puesta a tierra usados en minería. Además, una nota con respecto a las máquinas de control numérico y un texto sobre los sistemas de puesta a tierra con impedancias.

Finalmente, se hicieron adecuaciones a la tabla de configuración de electrodos.