



CIEEPI

Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos de Pichincha

CURSO:

**SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA, MEDICIÓN DE
RESISTIVIDAD Y MALLAS DE TIERRA
PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS**

INSTRUCTOR:

MARZO/2023

Ing. Luis Fernando Llumigusín D.

REG SENEYCOT: 1001-08-864049

SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA, MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD Y MALLAS DE TIERRA PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN BAJA FRECUENCIA.....	6
1.1.1. TIERRA FÍSICA.....	6
1.1.2. TIERRA DEL CIRCUITO.....	6
1.1.3. TIERRA DEL EQUIPO.....	6
1.2. TIERRA PARA ALTA FRECUENCIA.....	7
1.3. DEFINICIONES GENERALES BÁSICAS SOBRE TIERRA.....	7
1.3.1. EFECTIVAMENTE ATERRIZADO.....	7
1.3.2. SISTEMA ATERRIZADO.....	8
1.3.3. ATERRIZADO:.....	8
1.3.4. ATERRIZAJE CON ALTA RESISTENCIA:.....	8
1.3.5. ATERRIZAJE CON BAJA RESISTENCIA:.....	8
1.3.6. ATERRIZAJE REACTIVO:.....	8
1.3.7. ATERRIZAJE RESISTIVO:.....	8
1.3.8. SISTEMAS NO ATERRIZADOS:.....	9
1.3.9. SOBRE-VOLTAJES TRANSITORIOS:.....	9
1.3.10. CAMINO EFECTIVO DE CORRIENTE DE FALLA A TIERRA:.....	9
1.3.11. FALLA A TIERRA:.....	9
1.3.12. CAMINO DE CORRIENTE DE UNA FALLA TIERRA:.....	9
1.4. DIFERENCIA ENTRE TIERRA Y NEUTRO.....	9
2. SISTEMAS DE TIERRA COMO SEGURIDAD.....	11
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS:.....	11
2.1.1. EFECTO DE LA FRECUENCIA:.....	11
2.1.2. EFECTO DE LA MAGNITUD Y SU DURACIÓN:.....	11
2.1.3. IMPORTANCIA DE LA ALTA VELOCIDAD DE DESPEJE DE UNA FALLA.....	12
2.1.4. LÍMITES TOLERABLES DE CORRIENTE DEL CUERPO HUMANO:.....	12
2.1.5. FÓRMULA DE TIEMPO DE DURACIÓN DEL SHOCK.....	12
2.1.6. SUPOSICIONES ALTERNATIVAS.....	13
2.2. RESISTENCIA DEL CUERPO HUMANO:.....	14
2.2.1. CAMINOS DE FLUJO DE LA CORRIENTE EN EL CUERPO HUMANO:.....	14
2.2.2. CIRCUITOS EQUIVALENTES ACCIDENTALES:.....	15
2.2.1. GROUND POTENTIAL RISE (GPR), SUBIDA DEL POTENCIAL DE TIERRA:.....	18
2.2.2. MESH VOLTAJE = VOLTAJE DE GRILLA:.....	19
2.2.3. METAL TO METAL TOUCH VOLTAJE = VOLTAJE DE TOQUE METAL – METAL:.....	19
2.2.4. TRANSFER VOLTAJE = VOLTAJE TRANSFERIDO:.....	19
3. EL SUELO COMO ELEMENTO DE TIERRA.....	21
3.1. ALGUNOS CONCEPTOS.....	21
3.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	23
3.3. RESISTIVIDAD Y RESISTENCIA:.....	24
3.4. RESISTENCIA Y VALORES RECOMENDADOS EN SISTEMAS DE TIERRA:.....	26
3.5. MEJORAMIENTO DE SUELOS.....	28
3.6. MÉTODOS PARA MEDIR LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	31

3.6.1.	MÉTODO DE LOS 3 PUNTOS	31
3.6.2.	MÉTODO DE LOS 4 PUNTOS	33
3.7.	MÉTODOS PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE PUESTAS A TIERRA Y MALLAS	35
3.7.1.	MEDICIÓN DE UNA VARILLA DE TIERRA (CONCEPTO MATEMÁTICO)	35
3.7.2.	EFFECTO DE AÑADIR MAS VARILLAS PARA BAJAR LA RESISTENCIA DE UNA PUESTA A TIERRA.	35
3.7.3.	MEDICIÓN DE UNA PUESTA A TIERRA POR EL MÉTODO DE CAIDA DE POTENCIAL.	35
3.7.4.	MEDICIÓN DE UNA VARILLA Y MALLA DE TIERRA CON EL MÉTODO DE PINZA.	37
3.8.	ALGUNOS TIPS EN LAS MEDICIONES:	37
3.9.	CRITERIOS PARA ENTENDER Y SIMULAR LA RESISTIVIDAD DE SUELOS.....	38
4.	ATERRIJAJES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS:.....	39
4.1.	SISTEMA NO ATERRIJADO:.....	39
4.2.	SISTEMA ATERRIJADO RESISTIVO:.....	40
4.3.	ATERRIJAJE REACTIVO:	41
4.4.	SÓLIDAMENTE ATERRIJADO:.....	42
4.5.	NEUTRO DEL SISTEMA:.....	43
4.6.	ATERRIJAJES EN PUNTOS DIFERENTES AL NEUTRO:.....	45
4.6.1.	SISTEMA EN DELTA, ATERRIJADO EN UN PUNTO MEDIO.....	47
5.	UNIONES Y CONEXIONES DE ATERRIJAJES.....	49
5.1.	UNIONES MECÁNICAS (CONECTORES)	49
5.1.1.	UNIONES DE SUJECIÓN APERNADA	50
5.1.2.	UNIONES A COMPRESIÓN:	50
5.2.	UNIONES EXOTÉRMICAS:	50
5.3.	ELECTRODOS DE ATERRIJAJE Y CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS DE ATERRIJAJE:	52
6.	PROTECCIONES CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS:.....	53
6.1.	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	53
6.2.	SISTEMAS DE PARARRAYOS.....	54
6.3.	NORMAS DE PROTECCIÓN CONTRA LA CAÍDA DE RAYOS.....	58
6.4.	NORMA NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection System (NATIONAL FIRE PROTECTION ASOCIATION 780).....	59
6.4.1.	Alcance de la norma NFPA 780:.....	60
6.4.2.	ZONA DE PROTECCIÓN, NORMA NFPA 780:	60
6.4.3.	TIPOS DE CLASIFICACIONES EN LAS PROTECCIONES DE LAS ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS:	60
6.4.4.	CRITERIO PARA MÁSTILES:	64
6.5.	NORMA 62305-IEC (International Electrotechnical COMITEE) PROTECTION Against LIGHTNING. (Norma IEC 62305 Protección contra rayos)	65
6.5.1.	Alcance:	65
6.5.2.	NIVELES DE PROTECCIÓN, NORMA IEC-62305-3:.....	66
6.5.3.	MÉTODO DE LA ESFERA RODANTE	68
6.5.4.	MÉTODO DE PROTECCIÓN DE MALLA (MESH METHOD).....	69
6.5.5.	MÉTODO DE ÁNGULO	70
6.5.6.	VALORES DE PROTECCIÓN PARA CADA SISTEMA.....	71
6.6.	PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS Y EDIFICIOS:.....	72
6.6.1.	PROTECCIÓN DE TORRES DE COMUNICACIÓN.....	72
6.6.2.	PROTECCIÓN DE TANQUES.....	74
6.6.3.	PROTECCIONES DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS:	75

6.7. SURGE PROTECTOR DEVICE (SPD):	75
6.7.1. PARA BAJO VOLTAJE: TRANSIENT VOLTAGE SURGE SUPPRESSOR (SPD)	76
7. PRACTICAS.....	77
7.1. MEDICION DE RESISTIVIDAD:.....	77
7.2 . Método de tres puntos o caída de potencial EN TERRENOS VARIOS. PARA MALLAS. ..	77
7.3. Metodo de wenner o cuatro puntos. EN TERRENOS VARIOS.....	77
7.4. METODO DE MEDICION POR MUESTREO DE TIERRA, CON CUBOS.	77
7.5. METODO DE MEDICION POR INYECCION DE CORRIENTE.	77
7.7 SUELDAS EXOTERMICAS: CABLE -CABLE, CABLE/VARILLA.	77
7.8. MEJORAMIENTO DE SUELOS: CON MEJORADORES NACIONALES Y EXTRANJEROS. FORMA DE EVALUAR.	77
7.9. PARARRAYOS: OBSERVACION Y COMENTARIOS EN SITIOS INSTALADOS EN LOS ALREDEDORES.	77
7.10. SURGE PROTECTORS: REBISION DE ALGUNOSMPRODUCTOS Y SUS COMENTARIOS.	77
ANEXOS	78
ANEXO 1: CONEXIONES DE NEUTRO Y TIERRA DE ACUERDO AL NEC 250.20	78
ANEXO 2: CÁLCULO DE RESISTENCIA DE ELECTRODOS SEGÚN SU CONFIGURACIÓN	86
ANEXO 2.1: CÁLCULO DE RESISTENCIA DE ELECTRODOS SEGÚN SU CONFIGURACIÓN.....	86
ANEXO 2.2: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE UN ELECTRODO DE 3M LONGITUD DE ACUERDO A LAS FÓRMULAS BÁSICAS. Y A DISTANCIAS MAYOR Y MENOR QUE "L"	87
ANEXO 2.3: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE UN ELECTRODO DE 1.8 M LONGITUD DE ACUERDO A LAS FÓRMULAS BÁSICAS. Y A DISTANCIAS MAYOR Y MENOR QUE "L"	89
ANEXO 3: CALCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA DE UN ELECTRODO Y EL EFECTO DE AÑADIR ALGUNOS ELECTRODOS A DISTANCIA MAYORES DE LONGITUD DEL ELECTRODO	91
ANEXO 4: CALCULO DE LA RESISITIVIDAD DE UN SUELO, MEDIANTE EL METODO DE WENNER (4 PUNTOS) Y CON UNA APROXIMACION DE UN SUELO DE 2 CAPAS.....	93
ANEXO 5: PARTE DEL APÉNDICE A, IEEE STD 81-83	101
ANEXO 6: CARTA DE RESISTENCIA Y RESISTIVIDAD PARA UN SOLO ELECTRODO, POR EL METODO DE LOS 3 PUNTOS.....	102
ANEXO 7: CARTA DE RESISTENCIA Y RESISTIVIDAD PARA EL MÉTODO DE WENNER	104
ANEXO 8: VALORES A SER LLENADOS PARA LA EXPERIMENTACIÓN DE MEDICIÓN POR EL MÉTODO DE WENNER	105
ANEXO 9 RESISTIVIDADES DE CONDUCTORES	107
ANEXO 10: REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA MATERIALES, NORMA NFPA 780	109
ANEXO 11: CORROSIÓN DE METALES.....	110
ANEXO 12 : MATERIALES CLASE I Y CLASE II, NORMA NFPA 780	122
ANEXO 13 : REFERENCIAS DE PARARRAYOS AUTOCEBANTES.	124
REFERENCIAS:	155
BIBLIOGRAFIA.....	157