



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:**

TECNÓLOGA EN ELECTROMECAÁNICA

**TEMA: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA A
TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE
MALLADO ACTUAL, PARA SU MODIFICACIÓN Y
MEJORAMIENTO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
CONOCOTO, EN LA CIUDAD DE QUITO**

AUTORA: PEÑA GOYES, BRIGITTE ARACELY

DIRECTOR: ING. SARZOSA ANTE, DAVID DE JESÚS

LATACUNGA

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

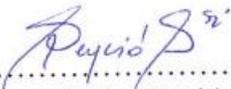
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación, “**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE MALLADO ACTUAL, PARA SU MODIFICACIÓN Y MEJORAMIENTO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA CONOCOTO, EN LA CIUDAD DE QUITO.**” fue realizado por señorita **Peña Goyes, Brigitte Aracely**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 02 de octubre de 2019

Firma:


.....
Ing. Sarzosa Ante, David de Jesús
C.C.: 0502594849



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Peña Goyes, Brigitte Aracely**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Optimización del sistema de puesta a tierra a través del análisis y diagnóstico del sistema de mallado actual, para su modificación y mejoramiento en la Planta de tratamiento de agua Conocoto, en la ciudad de Quito** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 02 de octubre de 2019

Firma:


.....
Peña Goyes Brigitte Aracely
C.C 1723730253



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

*Yo, Peña Goyes, Brigitte Aracely autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Optimización del sistema de puesta a tierra a través del análisis y diagnóstico del sistema de mallado actual, para su modificación y mejoramiento en la Planta de tratamiento de agua Conocoto, en la ciudad de Quito en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.***

Latacunga, 02 de octubre de 2019

Firma:

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Brigitte Aracely'.

Peña Goyes Brigitte Aracely
C.C 1723730253

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a mi madre Rita Goyes que con su ayuda incondicional hizo que todo esto fuera posible, a mi padre Edwin Peña que me enseñó valores y virtudes necesarios en mi vida y a mis docentes que con dedicación impartieron conocimientos, logrando culminar mis estudios.

AGRADECIMIENTO

A Dios quien siempre me ha guiado
en todo el camino de mi vida, brindándome
oportunidades, y manteniéndome con
salud y bendecida en todo momento.

A mi madre que, con su apoyo, amor incondicional,
sacrificio y abnegación logró que yo pueda
culminar mis estudios,

A la Unidad de Mantenimiento Electromecánico de
Producción (UMEP) perteneciente a la Empresa
Pública Metropolitana de Agua y Saneamiento
(EPMAPS) que supieron apoyarme
y guiarme en todo momento.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Planteamiento del problema.....	8
1.3. Justificación e importancia del problema.....	9
1.4. Objetivos.....	11
1.4.1. Objetivo General.....	11
1.4.2. Objetivos específicos.....	11

1.5.	Alcance.....	11
------	--------------	----

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Instalación de puesta a tierra.....	13
2.1.1.	Partes que constituyen un SPAT.....	14
a.	Electrodo de tierra.....	15
✓	Varilla Copperweld.....	16
✓	Electrodo activo	17
b.	Borne de puesta a tierra.....	18
c.	Conductor del electrodo de tierra.....	19
d.	Conductores de tierra del equipo.....	19
2.1.2.	Razones para la implementación de una puesta a tierra	20
2.2.	Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra.....	20
2.2.1.	Puesta a tierra de equipos de procesamiento de datos.....	20
2.2.2.	Puesta a tierra de potencia.....	20
2.2.3.	Puesta a tierra temporales (para trabajos mantenimiento)	21
2.2.4.	Puesta a tierra de protección atmosférica.....	21
2.3.	Peligro de la corriente eléctrica.....	21
2.3.1.	Corriente limite tolerable del cuerpo	23
2.4.	Tensión de paso y toque.....	24

2.4.1.	Tensión de paso.....	24
2.4.2.	Tensión de toque.....	25
2.5.	Factores que intervienen en el Sistema de Puesta a Tierra.....	27
2.5.1.	Resistividad del terreno.....	28
a.	Factores que intervienen en la variación de la resistividad del terreno.....	29
✓	Composición.....	29
✓	Las sales solubles y su concentración.....	29
✓	El estado higrométrico.....	29
✓	La temperatura.....	29
✓	La granulometría.....	30
✓	La compacidad.....	30
✓	La estratigrafía.....	30
b.	Método de medición de la resistividad del terreno.....	30
✓	Método de cuatro puntas o electrodos (Método Wenner).....	30
2.5.2.	Resistencia de puesta a tierra.....	32
a.	Valores de resistencia de puesta a tierra.....	32
b.	Método de medición de resistencia de puesta a tierra.....	32
✓	Método del 62%.....	33
c.	Factores que permiten la variación de la resistencia del SPAT una vez instalada.....	34
d.	Métodos para mejorar la resistencia de puesta a tierra.....	34
✓	Tratamiento del suelo.....	36
2.6.	Consideraciones para la instalación de puesta a tierra.....	37
2.7.	Soldadura exotérmica.....	40
2.7.1.	Soldadura Cadweld plus.....	42

a.	Cápsula de soldadura.....	43
b.	Unidad de control operada.....	45
c.	Accesorios para soldadura.....	46
2.8.	Diseño de una malla de puesta a tierra.....	48
2.8.1.	Selección del conductor de puesta a tierra.....	52
2.8.2.	Tensiones tolerables de paso y toque.....	54
2.8.3.	Longitud del conductor.....	55
2.8.4.	Cálculo de la resistencia de puesta a tierra $R_g(\Omega)$	56
2.8.5.	Máximo potencial de tierra (GPR).....	58
2.8.6.	Corriente de falla (IG).....	59
2.8.7.	Máximas tensiones de malla.....	59
2.8.8.	Máximos voltajes de paso en caso de falla.....	62
2.8.9.	Cálculo de corriente de corto circuito.....	63
2.9.	Puesta a tierra de equipos de procesamiento de datos.....	65
2.9.1.	Sobrevoltajes transitorios.....	66
2.9.2.	Sistemas aislados.....	67
a.	No conectando el neutro a los tableros secundarios.....	67
b.	Utilizando un transformador de aislamiento.....	69
2.9.3.	Equipotencialidad.....	70

2.10.	Descargas atmosféricas.....	71
2.10.1.	Clasificación de los rayos	72
a.	Negativos Descendentes.....	72
b.	Negativos Ascendentes.....	73
c.	Positivos Descendentes.....	73
d.	Positivos Ascendentes.....	73
2.10.2.	Formación de un rayo negativo descendente (nube-tierra).....	73
2.10.3.	Formación de un rayo ascendente (tierra-nube).....	75
2.10.4.	Efectos producidos por la caída de un rayo	76
a.	Efectos directos.....	76
b.	Efectos secundarios.....	76
2.10.5.	Corriente de rayo.....	77
2.10.6.	Nivel Ceráunico del Ecuador	79
2.11.	Sistema de protección contra rayos (SPCR).....	81
2.11.1.	Protección externa contra rayos	82
a.	Pararrayos.....	84
✓	Tipos de pararrayos.....	84
b.	Mástil.....	86
c.	Conductor bajante.....	86
d.	Contador de descargas.....	87
e.	Junta de control.....	88
f.	Toma de tierra.....	88
2.11.2.	Protección interna contra rayos	90

2.12.	Pararrayo con dispositivo de cebado (PDC).....	92
2.12.1.	Niveles de protección	92
a.	Cálculo para determinar el nivel de protección del pararrayo.....	92
2.12.2.	Volumen protegido.....	98

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.	Diagnóstico de la resistividad del terreno.....	101
3.1.1.	Medición de la resistividad del terreno	101
a.	Procedimiento para medir la resistividad del terreno.....	102
3.2.	Diagnostico del Sistema de puesta a tierra.....	106
3.2.1.	Mediciones de las mallas de tierra físicas.....	107
a.	Procedimiento para medir la resistencia de las mallas de tierra.....	110
3.2.2.	Diagnóstico de la malla M1	115
a.	Aplicación de la normativa IEEE 80.....	116
3.2.3.	Diagnóstico de la malla MP1	128
3.2.4.	Diagnóstico de la malla MP2	129
3.2.5.	Diagnóstico de la malla MP3.	131
3.2.6.	Diagnóstico de la malla MTD.	132
3.2.7.	Mediciones de la resistencia de puesta a tierra (PAT) en los tableros secundarios y de control.....	134

a.	Tanque de consumo interno.....	135
✓	Configuración de la malla de tierra para el Cuarto “Tanque de Consumo Interno” y Edificio Químico.....	136
b.	Balanzas de cloro.....	139
✓	Configuración de la malla de tierra para el Cuarto “Balanzas de Cloro”.	140
c.	Subsuelo galería de filtros.....	143
3.3.	Síntesis del diagnóstico del Sistema de Puesta a Tierra.....	143
3.4.	Diagnóstico del Sistema de Pararrayos.....	144
3.4.1.	Pararrayo P1.....	144
a.	Memoria técnica P1.....	144
b.	Nivel de protección del pararrayo P1.....	145
c.	Radio de cobertura P1.....	149
3.4.2.	Pararrayo P3.....	150
a.	Memoria Técnica P3.....	150
b.	Nivel de protección.....	151
c.	Radio de cobertura.....	154
3.4.3.	Síntesis del diagnóstico del sistema de pararrayo.....	155

CAPÍTULO IV

MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

4.1.	Materiales utilizados.....	156
4.2.	Construcción e instalación de las mallas de tierra.....	161
4.2.1.	Preparación del terreno	162

4.2.2. Colocación de varillas Copperweld.....	163
4.2.3. Tratamiento químico de las varillas.....	165
4.2.4. Tendido del cable.....	167
4.2.5. Unión de conductores y electrodos con suelda exotérmica	168
a. Soldadura Cadweld.....	168
4.2.6. Tratamiento químico del conductor	171
4.2.7. Colocación de tubos para pozos revisión eléctricos	172
4.2.8. Unión de la malla con la varilla existente en el pozo de revisión eléctrica.....	174
4.3. Instalación de bobina de choque.....	176

CAPÍTULO V

ANÁLISIS - PRUEBAS Y PRESUPUESTO EMPLEADO EN LAS MALLAS DE TIERRA IMPLEMENTADAS

5.1. Análisis del Sistema de Puesta a Tierra modificado.....	177
5.1.1. Malla del Cuarto “Tanque de Consumo Interno” (MTCI).	179
a. Metodología IEEE Std. 80-2000 en malla MTCL.....	180
5.1.2. Malla del Cuarto “Balanzas de Cloro” (MBC).	185
a. Metodología IEEE Std. 80-2000 en malla MBC.....	186
5.1.3. Síntesis general.....	191
5.2. Presupuesto.....	192

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones..... 194

6.2. Recomendaciones..... 195

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 197

ANEXOS.....201

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Requisitos para electrodos de puesta de puesta a</i>	16
Tabla 2 <i>Efectos físicos del choque eléctrico.</i>	22
Tabla 3 <i>Valores máximos de tensión de toque aplicada a un ser humano</i>	25
Tabla 4 <i>Resistividad del Terreno</i>	28
Tabla 5 <i>Valores de resistencia de puesta a tierra</i>	32
Tabla 6 <i>Simbología y descripción para las variables utilizadas en las ecuaciones</i>	48
Tabla 7 <i>Constantes para los materiales de conductores.</i>	52
Tabla 8 <i>Conductores de Puesta a Tierra</i>	54
Tabla 9 <i>Requerimientos para bajantes del sistema de protección contra rayos</i>	87
Tabla 10 <i>Situación relativa de la estructura</i>	95
Tabla 11 <i>Coficiente estructura (C2)</i>	96
Tabla 12 <i>Contenido estructural (C3)</i>	96
Tabla 13 <i>Coficiente C4</i>	96
Tabla 14 <i>Estructura habilitada (C5)</i>	97
Tabla 15 <i>Niveles de protección de pararrayos según la eficiencia requerida</i>	98
Tabla 16 <i>Distancia de Cebado según el nivel de protección.</i>	99

Tabla 17 <i>Valores de Resistividad del Terreno</i>	106
Tabla 18 <i>Disposición de Sistema de Puesta a Tierra de la Planta de tratamiento de agua Conocoto</i>	107
Tabla 19 <i>Valores de resistencia de las Mallas de Puesta a Tierra</i>	114
Tabla 20 <i>Datos de placa del transformador</i>	119
Tabla 21 <i>Materiales utilizados para el SPAT</i>	156
Tabla 22 <i>Calculados de Resistencias de Mallas vs. Valores Medidos</i>	191
Tabla 23 <i>Edificaciones protegidas correspondientes a las diferentes mallas</i>	191
Tabla 24 <i>Costos primarios, secundarios y costo total</i>	192

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación de la Planta.....	2
<i>Figura 2.</i> Floculadores	3
<i>Figura 3.</i> Sedimentadores	3
<i>Figura 4.</i> Filtros	4
<i>Figura 5.</i> Diagrama de flujo del proceso de potabilización del agua	5
<i>Figura 6.</i> Objetivos de un SPAT.....	14
<i>Figura 7.</i> Elementos de un SPAT	15
<i>Figura 8.</i> Varilla Copperweld.	17
<i>Figura 9.</i> Electrodo Activo	17
<i>Figura 10.</i> Electrodo Químico (Grafito)	18
<i>Figura 11.</i> Tierra de seguridad.....	19
<i>Figura 12.</i> Descarga eléctrica	22
<i>Figura 13.</i> Conexión correcta de la puesta a tierra	23
<i>Figura 14.</i> Tensión de paso.....	24
<i>Figura 15.</i> Tensión de toque	26
<i>Figura 16.</i> Factores que afectan.....	27

<i>Figura 17.</i> Método de Wenner	31
<i>Figura 18.</i> Método del 62 %	33
<i>Figura 19.</i> Factores de variación.....	34
<i>Figura 20.</i> Métodos de mejora	35
<i>Figura 21.</i> Resistencia de la tierra respecto a la longitud de la varilla	35
<i>Figura 22.</i> Intensificador de terreno GEM.....	36
<i>Figura 23.</i> Sistema con Puestas a tierra dedicadas e interconectadas.....	38
<i>Figura 24.</i> Una sola puesta a tierra para todas las necesidades (prohibido)	38
<i>Figura 25.</i> Puestas a tierra separados o independientes (prohibido).....	39
<i>Figura 26.</i> Significado de Exotérmica	41
<i>Figura 27.</i> Tipos de uniones en soldadura exotérmica	42
<i>Figura 28.</i> Componentes de la soldadura CADWELD PLUS.....	43
<i>Figura 29.</i> Cápsula de soldadura. CADWELD PLUS 115.....	43
<i>Figura 30.</i> CADWELD PLUS para SPAT	44
<i>Figura 31.</i> Unidad de control operada	45
<i>Figura 32.</i> Moldes de Grafito	47
<i>Figura 33.</i> Pinzas de manipulación de moldes	47
<i>Figura 34.</i> Perturbaciones de la onda senoidal	66

<i>Figura 35.</i> Barra neutral se conecta a tierra en el tablero principal o de servicio.....	68
<i>Figura 36.</i> Transformador de aislamiento.....	69
<i>Figura 37.</i> Descargador equipotencial	71
<i>Figura 38.</i> Tipos de rayo entre nube y tierra.....	72
<i>Figura 39.</i> Evolución de la descarga atmosférica	75
<i>Figura 40.</i> Curva representativa de una descarga atmosférica 8/20 μ s	78
<i>Figura 41.</i> Nivel cerámico del Ecuador	80
<i>Figura 42.</i> Descargas anuales por Km ²	81
<i>Figura 43.</i> Funciones externas	82
<i>Figura 44.</i> Elementos de una instalación de un pararrayo	83
<i>Figura 45.</i> Pararrayo Tipo Franklin	84
<i>Figura 46.</i> Pararrayo PDCE.....	85
<i>Figura 47.</i> Pararrayo PDC	86
<i>Figura 48.</i> Toma de tierra en forma de pata de ganso	89
<i>Figura 49.</i> Toma de tierra en triángulo	89
<i>Figura 50.</i> Conexión a tierra de un sistema de protección.....	90
<i>Figura 51.</i> Formas para la Compensación de potencial.....	91
<i>Figura 52.</i> Variables para el cálculo de Ae.....	94

<i>Figura 53.</i> Variables necesarias para el cálculo de Ae.....	94
<i>Figura 54.</i> Volumen protegido por pararrayos con dispositivo de cebado	98
<i>Figura 55:</i> Orden de la metodología.....	101
<i>Figura 56.</i> Analizador de terrenos	102
<i>Figura 57.</i> Disposición de picas.....	104
<i>Figura 58.</i> Medición 1.....	105
<i>Figura 59.</i> Medición 2	105
<i>Figura 60.</i> Medición 3	105
<i>Figura 61.</i> Medición 4	105
<i>Figura 62.</i> Telurómetro analógico HIOKI “3151 EARTH HiTESTER”	108
<i>Figura 63.</i> Nombres y Funciones de Partes	108
<i>Figura 64.</i> Conexión de medición.....	111
<i>Figura 65.</i> Alineación de picas auxiliares.....	113
<i>Figura 66.</i> Conexión al electrodo de tierra	114
<i>Figura 67.</i> Valor de resistencia de M1	115
<i>Figura 68.</i> Configuración de M1	116
<i>Figura 69.</i> Valor de resistencia MP1	128
<i>Figura 70.</i> Malla MP1.....	129

<i>Figura 71.</i> Valor de resistencia MP2	130
<i>Figura 72.</i> Malla MP2.....	131
<i>Figura 73.</i> Valor de resistencia MTD y MP3	131
<i>Figura 74.</i> Malla MP3.....	132
<i>Figura 75.</i> Conexión de la Malla MTD y MP3	133
<i>Figura 76.</i> Unión de mallas MTD y MP3 mediante conectores	133
<i>Figura 77.</i> Medidor de tierra tipo pinza. HEME GEO 30	134
<i>Figura 78.</i> Valor de resistencia de puesta a tierra.....	135
<i>Figura 79.</i> Pozo de revisión eléctrico	136
<i>Figura 80.</i> Configuración propuesta de MTCI	137
<i>Figura 81.</i> Tablero Secundario	139
<i>Figura 82.</i> Pozo de revisión eléctrico	139
<i>Figura 83.</i> Valor de puesta a tierra	140
<i>Figura 84.</i> Configuración propuesta de MBD	141
<i>Figura 85.</i> Pararrayo, P1	145
<i>Figura 86.</i> Cabeza captadora, P1	145
<i>Figura 87.</i> Pararrayo, P3	151
<i>Figura 88.</i> Cabeza captadora, P3	151

<i>Figura 89.</i> Pala manual	157
<i>Figura 90.</i> Azadón	157
<i>Figura 91.</i> Picos	158
<i>Figura 92.</i> Barras	158
<i>Figura 93.</i> Excavadora manual de hoyos	158
<i>Figura 94.</i> Combo	158
<i>Figura 95.</i> Moldes de grafito para suelda exotérmica	159
<i>Figura 96.</i> Molde de grafito para suelda con varilla.....	159
<i>Figura 97.</i> Molde de grafito para suelda entre conductores	160
<i>Figura 98.</i> Pinza para molde Cadweld.....	160
<i>Figura 99.</i> Pistola de calor	161
<i>Figura 100.</i> Formación de canales para MTCI.....	162
<i>Figura 101.</i> Colocación de la varilla de tierra en hoyo.....	163
<i>Figura 102.</i> Varilla hincada	163
<i>Figura 103.</i> Varillas hincadas en MTCI	164
<i>Figura 104.</i> Varillas hincadas en MBC	164
<i>Figura 105.</i> Intensificador de terreno GEM.....	165
<i>Figura 106.</i> Cantidad de sacos GEM para tratar químicamente a los electrodos	166

<i>Figura 107.</i> Preparación del intensificador de terreno (GEM)	166
<i>Figura 108.</i> Relleno de hoyos con la mezcla de GEM	167
<i>Figura 109.</i> Tendido de cable	167
<i>Figura 110.</i> Calentamiento de molde.....	168
<i>Figura 111.</i> Conductor ubicado en el molde de grafito	169
<i>Figura 112.</i> Ubicación de molde de grafito	169
<i>Figura 113.</i> Preparación del recipiente metálico, Cadweld Plus 115	170
<i>Figura 114.</i> Suelda exotérmica	170
<i>Figura 115.</i> Correcta suelda exotérmica	171
<i>Figura 116.</i> Conductor tapado con GEM.....	172
<i>Figura 117.</i> Medición y corte de tubería de desagüe.....	173
<i>Figura 118.</i> Pozos de revisión en MTCI.....	173
<i>Figura 119.</i> Pozos de revisión en MBC.....	174
<i>Figura 120.</i> Unión de malla MTCI con varilla de pozo de revisión eléctrico	174
<i>Figura 121.</i> Conducción del conductor al pozo.....	175
<i>Figura 122.</i> Uniones en pozo de revisión	176
<i>Figura 123.</i> Colocación de bobina de choque.....	176
<i>Figura 124.</i> Medición de malla MTCI.....	179

Figura 125. Medición de malla MBC 185

RESUMEN

El presente escrito está fraccionado en seis capítulos, en donde se detalla el planteamiento del problema, justificación e importancia del trabajo que tendrá en la Planta Conocoto, teniendo claro los objetivos que se debe cumplir para la culminación del mismo. Comprende el marco teórico; abordando los siguientes temas: importancia que tiene dentro de las plantas industriales, consideraciones importantes tomadas de normas vigentes que rigen en Ecuador, elementos que intervienen en la realización; como también elementos que afectan a la variación de la resistencia de mallas de tierra y tipos de un Sistema de Puesta a Tierra. Considerándose que el término electrodo tiene el mismo significado que varilla de tierra. Además, en el trabajo de titulación se detalla la metodología utilizada, mediante el diagnóstico de la Resistividad del Terreno, Sistema de Puesta a Tierra y Sistema de Pararrayos, así como también, el procedimiento y las actividades realizadas en la implementación de las mallas de tierra necesarias para el mejoramiento del Sistema de Puesta a Tierra de dicha Planta, con sus respectivos análisis y pruebas realizadas en las mallas de tierra implementadas para verificar su estado. Además, se detalla los costos primarios, secundarios y total aproximado del proyecto.

PALABRAS CLAVES:

- **MALLAS DE TIERRA - RESISTENCIA**
- **PUESTA A TIERRA**
- **PARARRAYOS**

ABSTRACT

This paper is divided into six chapters, in which the problem is detailed, indicating the reason for the accomplishment of the present writing; as well as the justification and importance of the work that will have in the Conocoto Plant, having clear the objectives that must be fulfilled for the culmination of the same one. Includes the theoretical framework; addressing the following issues: importance within industrial plants, important considerations taken from current regulations in force in Ecuador, elements that intervene in the realization, as well as elements that affect the variation of ground grid resistivity and types of a Grounding System. Considering that the term electrode has the same meaning as ground rod. In addition, in this paper it is detailed the methodology used, by means of the diagnosis of Ground Resistivity, Grounding System and Lightning Rod System, as well as, the procedure and the activities carried out in the implementation of the earth meshes necessary for the improvement of the Grounding System of this Plant, with their respective analysis and tests carried out on the earth meshes implemented to verify their condition. In addition, the primary, secondary and approximate total costs of the project are detailed.

KEYWORDS:

- **GROUND GRID - RESISTIVITY**
- **GROUNDING SYSTEM**
- **LIGHTNING ROD**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE

INVESTIGACIÓN

Tema:

Optimización del sistema de puesta a tierra a través del análisis y diagnóstico del sistema de mallado actual, para su modificación y mejoramiento en la Planta de tratamiento de agua Conocoto, en la ciudad de Quito.

INTRODUCCIÓN

La Planta de tratamiento de agua Conocoto está ubicada en Ontaneda Alto (Conocoto) a una elevación de 2887 m.s.n.m, sus coordenadas son: O 78°30'40.51'' S00°17'40.57''. Empezó su operación en diciembre de 1994 teniendo como fuentes captadoras el Río Pita (Cotopaxi) y La Mica Quito Sur. Su capacidad de tratamientos de 200 l/s.

En la figura 1 se muestra la ubicación de la Planta, sector Sur de Quito.



Figura 1. Ubicación de la Planta

Fuente: (Google Earth, 2015)

Para poder realizar la función de potabilización del agua se necesita un sistema de dosificación (sulfato y polímero), proceso de floculación, proceso de sedimentación, sistema de filtros, sistema de desinfección (cloro gas).

El agua cruda obtenida desde el canal de captación ingresa por una tubería para la dosificación sulfato de aluminio (agente coagulante) para una mezcla rápida. La función del sulfato de aluminio es formar partículas (flóculos) mediante intercambio iónico.

Después, el agua ingresa a los floculadores (figura 2) donde se adiciona polímero (ayudante de coagulación). En los floculadores el agua circula por los canales consiguiendo así que las partículas aumenten de tamaño.



Figura 2. Flocculadores

El proceso continúa, y el agua dosificada con sulfato de aluminio y polímero ingresa a los sedimentadores (figura 3), en donde se consigue que el flóculo se adhiera a la pared de los tubos sumergidos para que el agua ingrese por sus orificios, mientras que por el otro extremo salga el agua sin sedimentación a los canales y continuar el proceso de filtración.



Figura 3. Sedimentadores

Una vez que el agua haya ingresado al sistema de filtrado, se conseguirá que el agua llegue al tanque de distribución sin ningún agente o material no deseado. Los filtros (figura 4) están compuestos por varias capas, consiguiendo así un excelente filtrado del líquido vital.



Figura 4. Filtros

Por último, en el tanque de distribución se dosifica cloro gas previamente diluido para proceder a la distribución del agua potable.

En el diagrama de flujo, ver figura 5 revela un resumen del proceso para realizar la potabilización del agua.

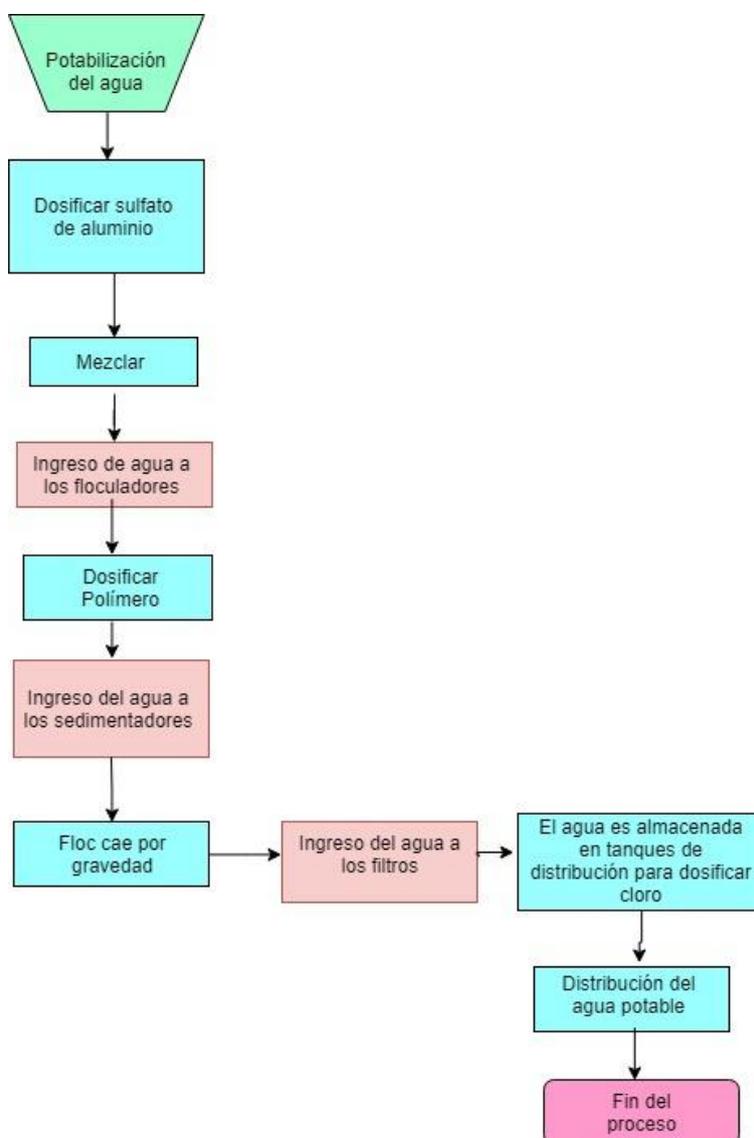


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de potabilización del agua

1.1. Antecedentes

Actualmente todas las plantas industriales cualquiera que sea su función deben cumplir con normativas y requerimientos a los que tengan que estar sujetos por entes reguladores;

en el caso de la Planta de tratamiento de agua Conocoto cuya función es tratar al agua para hacerla potable y consumible para los moradores, debe cumplir con normativas muy estrictas de aseo, pero también hay que recalcar que para que esta planta esté en funcionamiento, tengo un control y monitoreo necesita de la electricidad.

En dicha Planta, es necesario que exista sistemas de seguridad y protección porque es indispensable emplear dispositivos de protección eléctrica. Un óptimo sistema de puesta a tierra, es el indicado para enviar corrientes de defecto a tierra y descargas atmosféricas, presentando la menor oposición, para protección de equipos y seguridad a los operarios de choques eléctricos provocado por el contacto de materiales metálicos energizados.

En el mes de noviembre del año 2018, hubo una descarga atmosférica la cual afectó al sistema de alumbrado de la Planta de tratamiento de agua Conocoto, así como también un variador de velocidad, una balanza de cloro y un medidor de energía por no encontrarse un adecuado sistema de puesta a tierra para equipos.

Los pararrayos conjuntamente con la malla de tierra, debieron haber mandado toda la descarga atmosférica a tierra sin poner en riesgo a los equipos de la planta. Por lo tanto, queda justificado que en la Planta de tratamiento de agua Conocoto las corrientes de falla y descargas atmosféricas no son desfogadas a tierra, existiendo un residual muy alto de tensión y corriente que ingresan los diferentes equipos, ocasionando daños en el lugar.

Por la trascendencia del tema se han realizado trabajos investigativos como las que expone en las investigaciones:

- Experiencias como la de Byron Patricio Zapata Jiménez (2012) Latacunga, con su trabajo de investigación cuyo tema es: “REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTOS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CAMPUS SANGOLQUÍ.” Se demuestra que un apropiado sistema de puesta a tierra, es de gran provecho se puede evitar pérdidas humanas, pérdidas materiales e interferencias entre edificaciones.

Con los resultados evidentes, y según (Ramírez Castaño & Cano Plata) afirma. “Es obligatorio la existencia de un Sistema de Puesta a Tierra, para la protección de personas, edificaciones y equipos electrónicos contra descargas atmosféricas, señales de interferencia electromagnética y contactos indirectos por corrientes de fuga a tierra”

- Experiencias como la de Diego Alfonso López González (2010) Sartenejas, con su trabajo de investigación cuyo tema es:
“DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE MALLAS DE PUESTA A TIERRA DE SUBESTACIONES”

Con los resultados evidentes, y según (Ramírez Castaño & Cano Plata) afirma. “En la optimización del Sistema de Puesta a Tierra es necesario considerar: la resistividad del terreno donde se piensa a realizar la implementación, el calibre mínimo del conductor y longitud mínima de la varilla, y profundidad mínima de enterramiento de la malla”.

Se muestra que, optimizar un Sistema de Puesta a Tierra proporcionará una reducción de gastos innecesarios por la adquisición de nuevos equipos y confiabilidad en la instalación.

1.2.Planteamiento del problema

La Planta de tratamiento de agua Conocoto fue construida con la finalidad de que a través de equipos seleccionados elimine agentes contaminantes del agua, haciéndola apta para el consumo humano de usuarios que residen en el sector. Utilizan un sinfín de maquinaria como: floculadores, sedimentadores, filtros, dosificadores de cloro, bombas entre otros, que hacen posible que el agua pueda llegar a un contenedor sin elementos sólidos para después realizar la desinfección del agua mediante el uso de cloro, que en la proporción adecuada no son dañinos para la salud de las personas.

De manera particular como toda planta industrial cuenta con sistemas de protección eléctrica, las cuales evitan la destrucción de equipos, decaimiento del valor de tensión en la red o falla en las instalaciones; todos estos problemas son ocasionados por corrientes de carácter inadvertido.

El Sistema de Puesta a tierra (SPAT) de la Planta, por antecedentes recientes se conoce que no funciona de la manera adecuada. En noviembre del año 2018 ha ocurrido una descarga atmosférica y debido a tal fenómeno ha dado lugar a que las luminarias no funcionaran y que un variador de frecuencia se quemó; provocando a la empresa gaste innecesariamente en nuevos equipos y poniendo en riesgo a las personas que trabajan en la planta.

De no solucionarse lo antes mencionado seguirá el daño en los equipos, perturbaciones en la red, inclusive, el peligro para las personas que trabajan en la planta; al existir descargas atmosféricas y corrientes de falla.

Por lo mencionado, en el lugar es obligatorio un SPAT debidamente optimizado, para conducir al terreno corrientes de fallas y descargas atmosféricas que pudieran aparecer de manera inadvertida, limitando la tensión de toque accidental, estableciendo un mismo potencial en todo el lugar en todo momento.

1.3. Justificación e importancia del problema

Todas las plantas industriales que servirán para brindar algún servicio a las personas, están obligados a cumplir los regímenes establecidos por los diferentes agentes encargados de la regulación de todas sus actividades, priorizando la seguridad de los trabajadores.

El SPAT es fundamental dentro de una planta, este sistema debe cumplir con su objetivo el cual es, controlar y desviar al terreno las corrientes de fallas y descargas atmosféricas; es decir según (Ramírez Castaño & Cano Plata) afirma. “La tensión residual no debe ser alta, ya que si es así equipos y personas son vulnerables a sufrir daños”. Un SPAT que, en todos los materiales metálicos, canalizaciones, cajas, accesorios y equipos tengan el mismo potencial eléctrico; así, si en caso de que una persona esté en contacto simultáneamente con materiales metálicos de diferentes estructuras, no sufra de ningún choque eléctrico.

(Ramírez Castaño & Cano Plata) afirma. “El agua y sales en algunos terrenos permiten que la resistencia de puesta a tierra tenga valores aceptables (resistencia con valores bajos) con el fin de desfogar a tierra más fácilmente las corrientes no deseadas, pero en los sistemas de puesta a tierra las condiciones climáticas, características del terreno, implementación de nuevos equipos y años de funcionamiento del sistema de puesta a tierra son provocan problemas” El sistema de La Planta Conocoto ya no es fiable tras 23 años en funcionamiento sin ningún mantenimiento y análisis realizado desde que esta se puso en marcha. Por esta razón, es importante la realización del presente trabajo.

Del presente trabajo investigativo se beneficiará la Planta de Tratamiento de agua Conocoto, perteneciente a la EPMAPS (empresa pública), puesto a que se reducirá gastos innecesarios en la compra de equipos, pérdidas económicas por la suspensión del agua por fallas en equipos importantes; ocasionando molestias a los usuarios y, además, lesión a las personas.

Los resultados brindarán tranquilidad a la empresa, reducción de gastos innecesarios por averías que pueden presentarse en los equipos y pérdidas económicas garantizando a los servidores confiabilidad, seguridad y tranquilidad en todas sus labores de trabajo.

Por lo expuesto es importante la realización de este proyecto de manera urgente para evitar la quema de equipos y fallas en la Planta de tratamiento de agua Conocoto.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Optimizar el sistema de puesta a tierra de la Planta Conocoto a través del análisis y diagnóstico del sistema de mallado actual, para su modificación y mejoramiento.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar el sistema de puesta a tierra actual de la Planta Conocoto, mediante la recopilación de datos.
- Realizar mediciones de campo en los Sistemas de Puesta a Tierra de la Planta Conocoto mediante el uso del telurómetro y multímetro.
- Aplicar los resultados obtenidos para la optimización del sistema de puesta a tierra, tomando en consideración las mediciones realizadas de campo y el respectivo diagnóstico que se haya tomado al respecto.

1.5.Alcance

El presente trabajo investigativo abarca el análisis y mediciones del Sistema de Puesta a Tierra de la Planta Conocoto, con el fin de optimizar el mallado actual, enfocado en la confiabilidad y seguridad de la Planta y de los trabajadores.

Por consiguiente, la Planta Conocoto al contar con puestas a tierra de pararrayos, se llevará a cabo un análisis del Sistema de Pararrayos, considerando el radio de cobertura de cada dispositivo de protección atmosférica, que tienen dentro del lugar mencionado.

Se efectuará el levantamiento de planos y diagramas unifilares para detallar las condiciones actuales del Sistema de Puesta a Tierra de la Planta Conocoto y posteriormente, la realización de nuevos planos constando las modificaciones que ha tenido el Sistema de Puesta a Tierra. Además, según el diagnóstico obtenido por las mediciones y análisis consiguientes, se modificará el Sistema de Mallado a Tierra, considerando configuraciones de mallas y mejoramiento del suelo mediante la aplicación del intensificador de terreno, GEM.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

Un sistema de puesta a tierra (SPAT) es una instalación que protege equipos y personas, está conformada por varios conductores que permiten llevar corrientes de falla y fuga hasta la tierra. (Márquez, 1991) afirma: “Las instalaciones de puesta a tierra estarán constituidas por uno o varios electrodos enterrados y por las líneas de tierra que conecten dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra” (pág11).

La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) afirma: “Todos los equipos eléctricos, electrónicos, carcazas, gabinetes, racks y cualquier otro componente metálico de estos sistemas deben ser apropiadamente aterrizados” (pág 68).

En la figura 6 se muestra los principales objetivos que un SPAT proporciona en una instalación eléctrica.

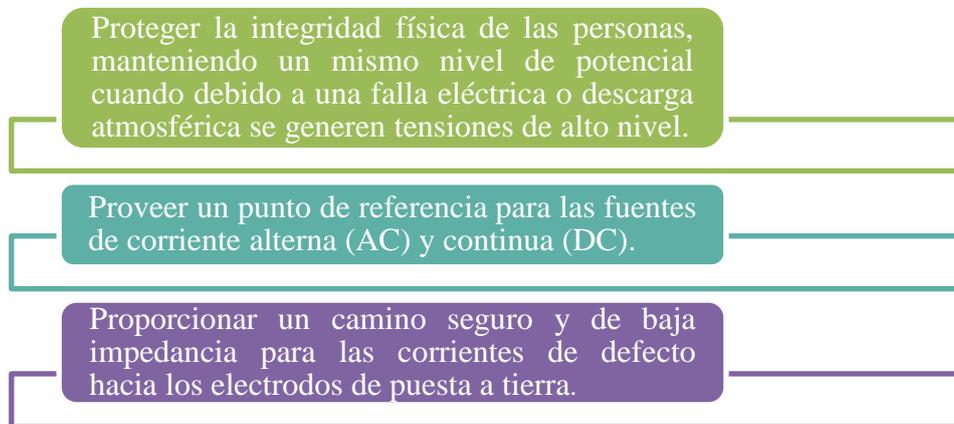


Figura 6. Objetivos de un SPAT

2.1.1. Partes que constituyen un SPAT

Un SPAT tiene los siguientes elementos:

- Electrodo de tierra
- Punto o borne de puesta a tierra
- Conductor del electrodo de tierra
- Conductor de tierra del equipo

En la figura 7 se puede observar con más detalle los elementos previamente descritos.

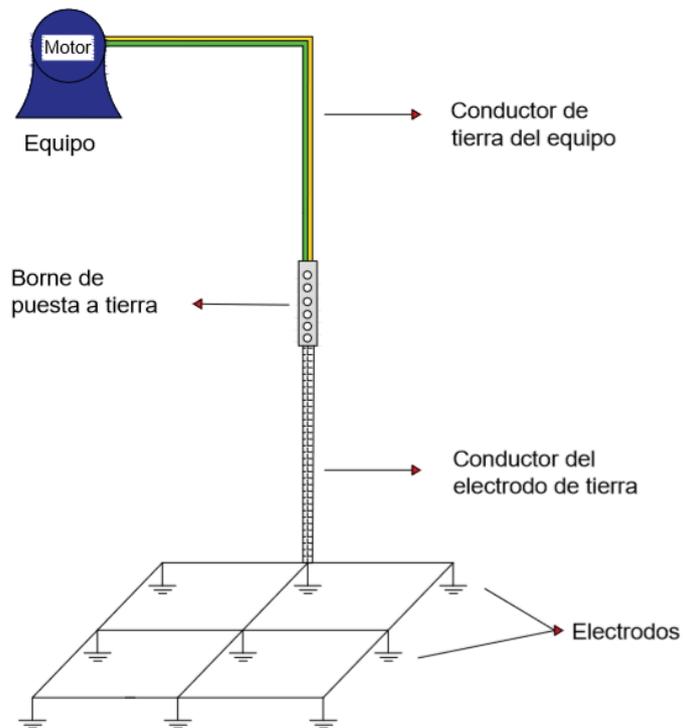


Figura 7. Elementos de un SPAT

a. Electrodo de tierra

(Bustamante Cuenca, 2011) afirma. “Es el conductor o conjunto de conductores bajo tierra que sirven para crear una conexión con tierra” (pág 35).

Según la NEC “Los electrodos de puesta a tierra deben cumplir con dimensiones mínimas establecidas, según el tipo de material”. Ver la tabla 1.

Tabla 1
Requisitos para electrodos de puesta de puesta

Tipo de electrodo	Materiales	Dimensiones Mínimas			
		Diámetro mm	Área mm ²	Espesor mm	Recubrimiento μm
Varilla	Cobre	12.7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electrodepositado de cobre	14			100
	Acero con recubrimiento total en cobre	15			2000
Tubo	Cobre	20		2	
	Acero inoxidable	25		2	
	Acero galvanizado en caliente	25		2	55
Fleje	Cobre		50	2	
	Acero inoxidable		90	3	
	Cobre cincado		50	2	40
Cable	Cobre	1.8 para cada hilo	25		
	Cobre estañado	1.8 para cada hilo	25		
Placa	Cobre		20000	1.5	
	Acero inoxidable		20000	6	

Fuente: (NEC, 2011)

✓ Varilla Copperweld

Su núcleo es de acero y tiene un recubrimiento de cobre. El recubrimiento de cobre brinda protección a la varilla. frente a la corrosión del terreno. Véase figura 8.



Figura 8. Varilla Copperweld.
Fuente: (SOLAREVER, 2019)

✓ **Electrodo activo**

Electrodos activos de cobre

Son electrodos de cobre utilizados cuando se requiere una baja resistencia en SPAT cuando existe una alta resistividad en el terreno (rocosos o arenosos) y en espacios reducidos de terreno. Su relleno interior son sales electrolíticas de cobre. Véase figura 9.



Figura 9. Electrodo Activo
Fuente: (PRODEMELSA, 2017)

Electrodo químico activo (grafito)

La figura 10 muestra las partes de un electrodo de grafito y a diferencia del anterior electrodo, es que su relleno exterior es de pasta de grafito compactado fundida a su alma de cobre.

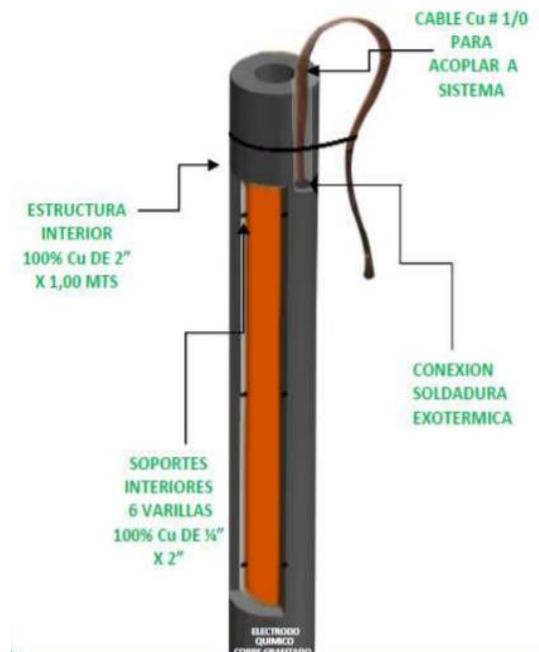


Figura 10. Electrodo Químico (Grafito)

Fuente: (bionalcorp)

b. Borne de puesta a tierra

Es un punto de unión que está localizado generalmente fuera del terreno y sirve para unir las distintas líneas de tierra (conductor de tierra de equipos o tableros) con el electrodo.

c. Conductor del electrodo de tierra

(Ramírez Castaño & Cano Plata) afirma. “Es aquel conductor que une los electrodos que forman la puesta a tierra (malla de tierra) con el borne de puesta a tierra” (pág 35).

d. Conductores de tierra del equipo

“Los conductores de tierra del equipo son cables de protección que se utilizan para aterrizar las cubiertas metálicas del equipo eléctrico como las carcasas de motores y otras partes metálicas de la instalación que no transportan corriente. Estos conductores serán de cobre, eléctricamente aislados y de color amarillo-verde, su calibre dependerá de los conductores de fase”. (Bustamante Cuenca, 2011, pág. 35)

Una tierra de seguridad o fuerza está conformada por algunos elementos, los cuales se pueden observar en la figura 11.

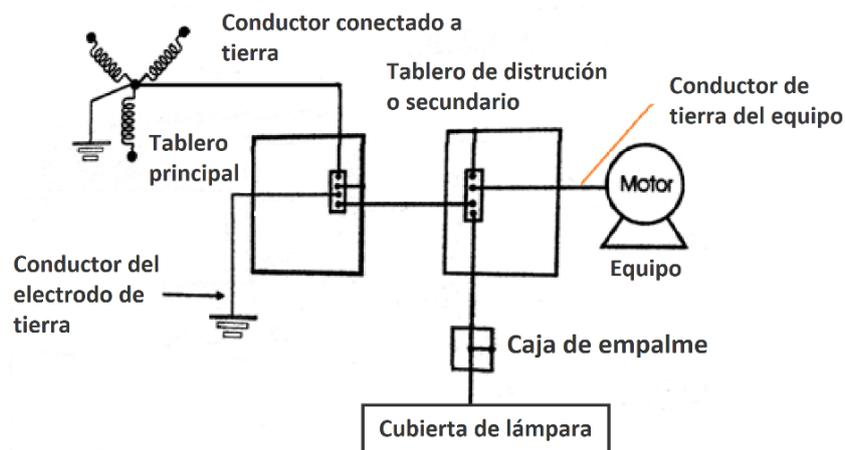


Figura 11. Tierra de seguridad

Fuente: (Díaz Pablo, 2001)

2.1.2. Razones para la implementación de una puesta a tierra

A continuación, se enlista las razones principales:

- Al conectar el neutro a tierra estaremos referenciando esa unión como un punto común, consiguiendo un mismo nivel de potencial.
- Ayuda a que los elementos de protección puedan detectar una falla y que esta corriente de falla pueda ser enviada a tierra.
- Evita tensiones de alto riesgo (tensión de paso y toque) ya que limita las diferencias de potencial existentes en puntos diferentes.
- Desfoga y elimina cargas estáticas formadas por fenómenos eléctricos y/o atmosféricos.

2.2. TIPOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

2.2.1. Puesta a tierra de equipos de procesamiento de datos.

Es aquella malla en donde se conectarán equipos que cuentan con microprocesadores, por ejemplo, los equipos de computación, de telecomunicaciones, medios electrónicos, etc. Es decir, equipos electrónicos sensibles.

2.2.2. Puesta a tierra de potencia

Es aquella malla donde se conecta el punto neutro de un transformador de potencia o de una máquina eléctrica incluyendo las partes metálicas de la instalación (carcazas).

(Zapata, 2012) afirma. “La resistencia de la malla de servicio depende exclusivamente del valor de corriente de falla monofásica del transformador que se espera tener en el sistema. Este tipo de puesta a tierra es exclusivo para cuidar o proteger la vida de las personas ya que se considera las tensiones de paso y toque, por esta razón es también conocida como, puesta a tierra de seguridad”.

2.2.3. Puesta a tierra temporales (para trabajos mantenimiento)

Son solo provisionales, es decir, están disponibles mientras dure el trabajo del personal encargado, conectando las partes de la instalación que se va a hacer el mantenimiento para que los trabajos efectuados por el personal sean accesible y seguro.

2.2.4. Puesta a tierra de protección atmosférica.

Está destinada la protección del sistema eléctrico y de control de los rayos (descargas atmosféricas); este tipo de protección provee la menor impedancia para el paso de los rayos, llevando esta corriente de falla al suelo, consiguiendo salvaguardar la vida de las personas y cuidar las instalaciones del lugar.

2.3.PELIGRO DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

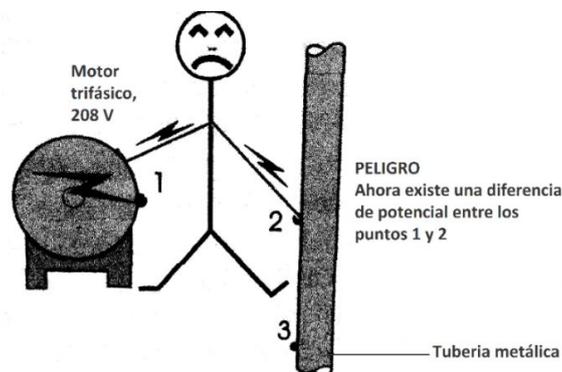
(Bustamante Cuenca, 2011) afirma. “El principal peligro de la corriente eléctrica hacia el humano es sufrir electrocución, que es el paso de la corriente por el cuerpo, según el valor de la corriente el cuerpo sufre diferentes alteraciones y daños fisiológicos”. Ver la tabla 2.

Tabla 2*Efectos físicos del choque eléctrico*

Intensidad mA, c.a., 50 o 60 Hz		Efecto en el organismo
Hombre	Mujer	
0.4	0.4	Ninguna sensación
0.5	0.5	Umbral de percepción
9	6	Pérdida del control muscular en el 0,5%
16	10.5	Pérdida del control muscular en el 50 % de la población
	20-30	Posibilidad de asfixia
116/ \sqrt{t}		Fibrilación de corazón (t mayor de 0,083s y menor de 5 s)

Fuente: (Harper. G., 2002)

En la figura 12 se muestra cómo se forma una descarga eléctrica, cuando una persona toca el armazón metálico del motor y una tubería, no debidamente conectadas a tierra. Esto crea un circuito eléctrico cerrado atravesando por la persona.

**Figura 12.** Descarga eléctrica

Fuente: (Díaz Pablo, 2001)

La figura 13 muestra la instalación correcta de un sistema debidamente conectado a tierra, eliminando el peligro de que una persona reciba una descarga eléctrica.

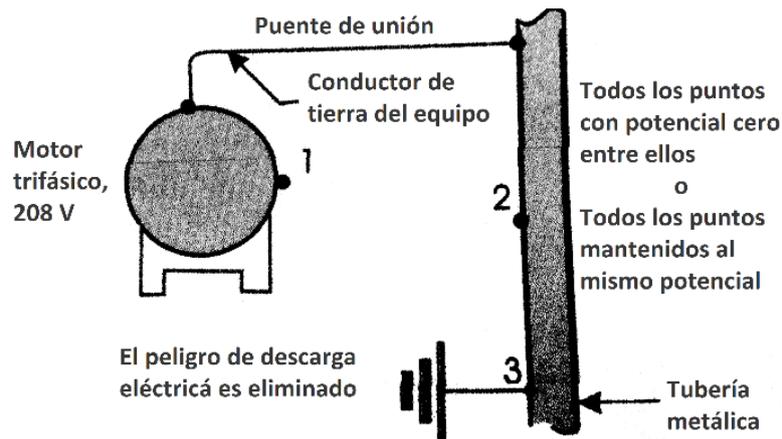


Figura 13. Conexión correcta de la puesta a tierra
Fuente: (Díaz Pablo, 2001)

2.3.1. Corriente límite tolerable del cuerpo

En la ecuación 1 indica la corriente máxima que soporta una persona con un peso aproximadamente de 50 Kg (100 lb) a un determinado tiempo.

Ecuación 1

$$I_B = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

Además, en la ecuación 2 se indica el cálculo de la corriente para una persona de 70Kg.

Ecuación 2

$$I_B = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Según la normativa IEEE 80-2000 afirma: “La resistencia interna del cuerpo es aproximadamente 300Ω , donde este valor de la resistencia del cuerpo incluye fracciones de la piel de 500Ω a 300Ω . La resistencia del cuerpo humano se reduce por el daño o pinchazo de la piel en un punto de contacto.”

2.4. TENSIÓN DE PASO Y TOQUE

2.4.1. Tensión de paso

La IEEE Std 80-2000 atestigua. “Es la diferencia de potencial superficial experimentada por una persona separada por una distancia de 1 m con el pie sin contacto con ninguno otro objeto conectado a tierra”, véase en la (figura 14).

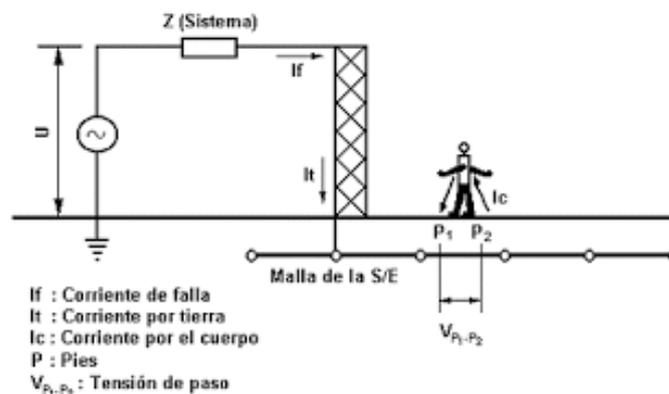


Figura 14. Tensión de paso

Fuente: (Reyes. A., 2008)

2.4.2. Tensión de toque

(Bustamante Cuenca, 2011) afirma. “El valor máximo de la tensión de toque que una persona puede adquirir está definida al tiempo de despeje de la falla a tierra, la resistividad de la puesta a tierra y la corriente de falla”. Ver tabla 3.

Tabla 3

Valores máximos de tensión de toque aplicada a un ser humano

Tiempo de despeje de la falla	Máxima tensión de toque admisible (valores en rms c.a)
> mayor a 2 s	50 V
750 ms	67 V
500 ms	80 V
400 ms	100 V
300 ms	125 V
200 ms	200 V
150 ms	240 V
100 ms	320 V
40 ms	500 V

Fuente: (NEC, 2011)

La IEEE Std 80-2000 afirma: “Es la diferencia de potencial entre el aumento de potencial de tierra (GPR) y la potencia superficial en un punto en que una persona está de pie mientras que al mismo tiempo está teniendo una mano en contacto con estructura de tierra”, véase en la (figura 15).

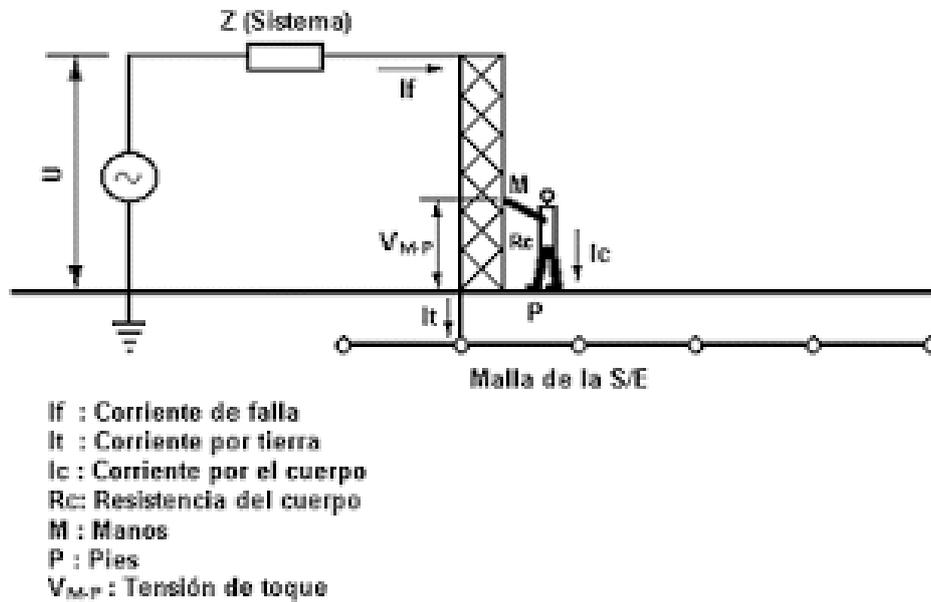


Figura 15. Tensión de toque

Fuente: (Reyes. A., 2008)

El contacto metal con metal, mano con mano y mano con pie, resultara en $\rho_s = 0$. Con la sustitución de $\rho_s = 0$ en las ecuaciones 3 y 4, la tensión límite de toque de metal con metal ($E_{mm-touch}$) es:

Para un peso de 50 Kg

Ecuación 3

$$E_{mm-touch} = \frac{116}{\sqrt{t_s}}$$

Para un peso de 70 Kg

Ecuación 4

$$E_{mm-touch} = \frac{157}{\sqrt{t_s}}$$

2.5.FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Existen ciertos factores, descritos en la figura 16, que afectan directamente al valor de resistencia de puesta a tierra.

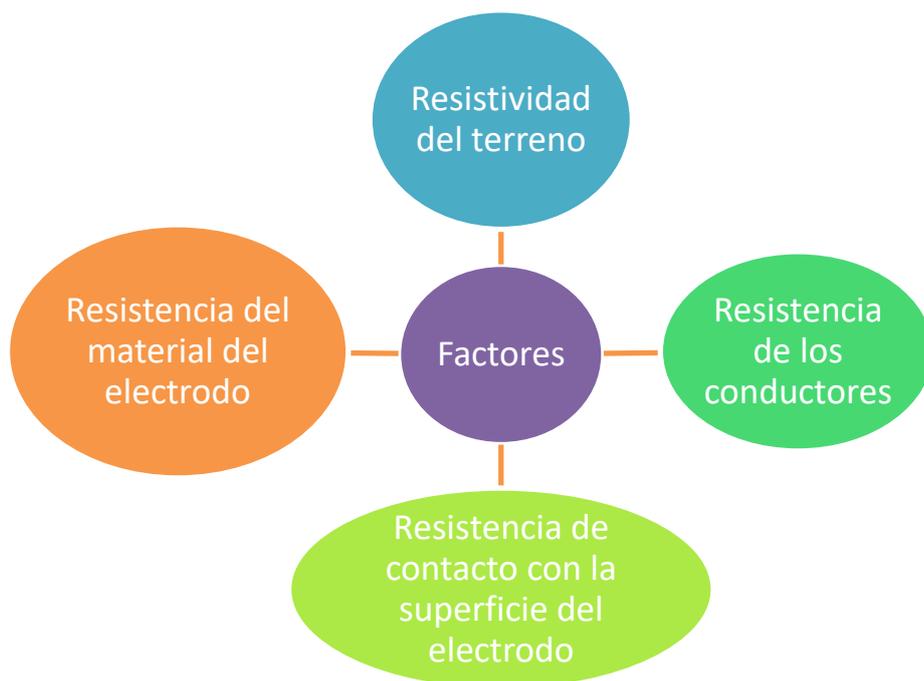


Figura 16. Factores que afectan

2.5.1. Resistividad del terreno

La resistividad del terreno decrece cuando en el mismo existe humedad y sales solubles.

La resistencia del terreno según su naturaleza, se describe en la tabla 4.

Tabla 4

Resistividad del Terreno

NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD (Ω.m)
Terrenos Pantanosos	0 a 30
Limus	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcilla compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silícea	200 a 3 000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1 500 a 3 000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1 000 a 5000
Calizas agrietas	500 a 1 000
Esquistos	50 a 300
Micacitas	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10 000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Fuente: (UNE 21186 ,1996)

Para terrenos vegetales húmedos su resistencia varía desde los 10 hasta los 50 Ω .

a. Factores que intervienen en la variación de la resistividad del terreno

Se han encontrado varios factores que son los responsables de la variación de la resistividad del terreno, Y son los siguientes:

✓ Composición

(Bustamante Cuenca, 2011) afirma “La composición química del terreno, cantidad y calidad de las sales minerales influyen en la resistividad del terreno considerablemente” (pág 52.).

✓ Las sales solubles y su concentración

Las sales conjuntamente con el agua forman electrolitos, permitiendo el paso de la corriente; entre mayor sea la concentración de sales habrá mayor conducción de electricidad.

✓ El estado higrométrico

El contenido de agua influye directamente sobre su resistencia, pero este valor de resistencia no es constante ya que varía según el clima, estados del año, composición propia del suelo y profundidad.

✓ La temperatura

La temperatura del ambiente es directamente proporcional a la resistividad del terreno, por lo que si el suelo estuviera húmedo y llegara a un estado de congelación la resistividad del suelo sería alta, ya que el movimiento de los electrolitos se va reduciendo y por ende no hay buena conducción de energía. (Ramírez Castaño & Cano Plata, pág. 28).

✓ **La granulometría**

La resistencia del suelo aumenta con la granulometría (granos de la tierra).

✓ **La compacidad**

El termino compacidad se refiere a suelos granulares, y al ser más compacto el suelo, su resistencia disminuye; teniendo de esta manera una relación inversamente proporcional. Por esta consideración es que es recomendable la colocación de los electrodos en los suelos más compactos.

✓ **La estratigrafía**

Este término se refiere a las capas que posee el terreno, cada una de ellas con diferente composición y naturaleza.

b. Método de medición de la resistividad del terreno

✓ **Método de cuatro puntas o electrodos (Método Wenner)**

Para obtener la resistividad del terreno se utiliza la ecuación 5.

Ecuación 5

$$\rho = 2 \pi a R$$

En donde:

ρ = resistividad promedio del suelo a un valor de profundidad **a** (Ωm)

$$\pi = 3,1416$$

a = la distancia entre los electrodos (m)

R = el valor de resistencia medida (Ω)

R, se obtiene del telurómetro (instrumento de medición de SPAT).

En la figura 17 se muestra la ubicación de las 4 picas, (FLUKE) afirma. “La distancia **a** entre picas debe ser tres veces mayor a la distancia de profundidad de las picas. El equipo de medición inyecta una corriente a las dos picas ubicadas a los extremos y medición de caída de potencial de tensión, entre las dos picas internas”.

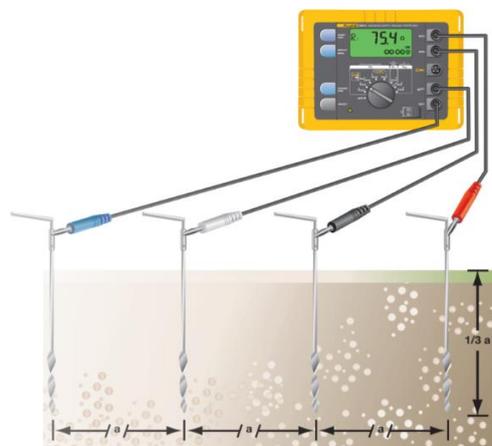


Figura 17. Método de Wenner

Fuente: (FLUKE, 2017)

2.5.2. Resistencia de puesta a tierra

2.5.3. Valores de resistencia de puesta a tierra

En la tabla 5, según la norma NEC-11 y la Empresa Eléctrica Quito. “los valores máximos de resistencia de puesta a tierra, son los siguientes:”

Tabla 5

Valores de resistencia de puesta a tierra

Aplicación	Valores máximos de resistencia de puesta a tierra
Estructuras de línea de transmisión	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1 Ω
Subestaciones de media tensión	10 Ω
Protección contra rayos	10 Ω
Neutro de acometida en baja tensión	10 Ω
Equipos electrónicos sensibles	5 Ω

La normativa IEEE afirma. “Para subestaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones comerciales es de (1-5) Ω ”.

a. Método de medición de resistencia de puesta a tierra

La norma NEC-11 afirma: “Un valor bajo de resistencia de puesta es siempre deseable para disminuir la máxima elevación de potencial (GPR)” (pág 69).

✓ Método del 62%

El método 62 % se lo conoce también como: método de caída de potencial y método de los 3 puntos o 3 polos. Este método utiliza dos picas auxiliares para inyectar una determinada corriente entre la pica externa (C) y la varilla de puesta a tierra (E).

En la figura 18 se puede observar la utilización de las dos picas auxiliares y varilla de puesta a tierra, ubicadas en línea recta para realizar la medición con el método del 62%. Las varillas auxiliares deben estar firmemente clavados al terreno para que exista un buen contacto a tierra.

La medición del método del 62% mide la caída de potencial entre la pica interna (P) y la varilla de puesta a tierra (E). El valor (Ω) obtenido por el equipo es la resistencia real de la puesta a tierra, ya que considera todos los electrodos que forman la malla de tierra. (Ramírez Castaño & Cano Plata, pág. 38).

La distancia entre las picas E (varilla de tierra) y P (pica interna auxiliar) debe ser 62% de la distancia entre las picas E y C (pica externa auxiliar). Ver figura 18.

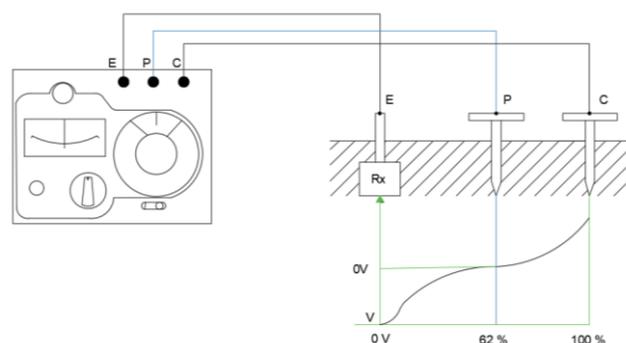


Figura 18. Método del 62 %

b. Factores que permiten la variación de la resistencia del SPAT una vez instalada.

En la figura 19 se muestra los tres principales factores que afectan a la resistencia del SPAT después de haber sido instalada. Nunca un valor de resistencia va a permanecer igual, por eso la importancia de realizar mediciones constantes y dar mantenimientos oportunos.



Figura 19. Factores de variación

c. Métodos para mejorar la resistencia de puesta a tierra

Existen diferentes métodos para reducir el valor de la resistencia, los cuales se detalla en la figura 20.

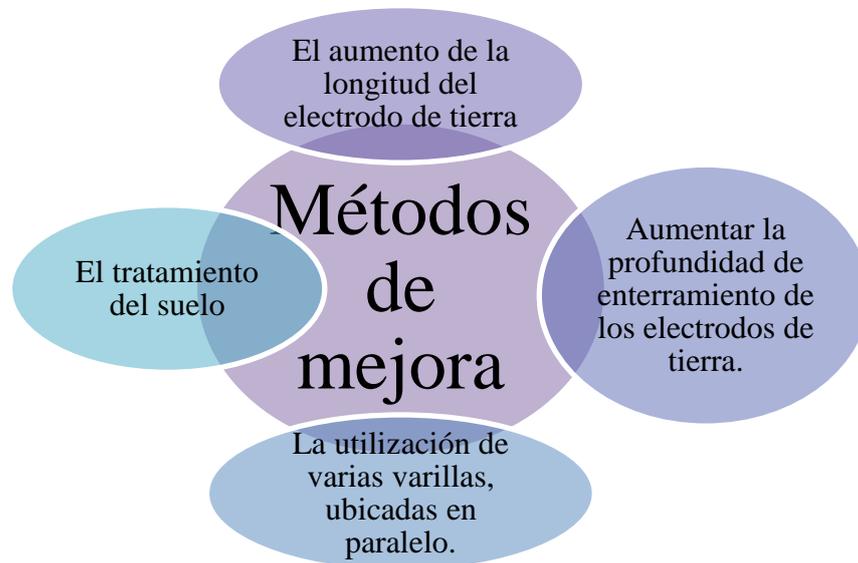


Figura 20. Métodos de mejora

En la figura 21, está graficada la curva característica, cuando utilizamos el método del aumento de la longitud de las varillas con respecto a la variación de la resistencia de puesta a tierra.

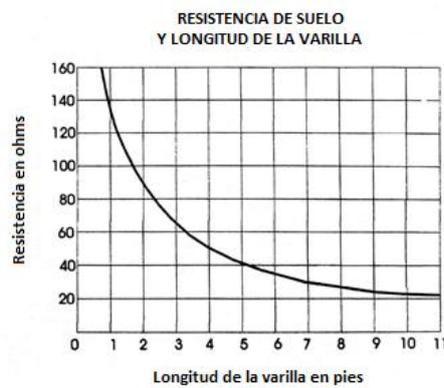


Figura 21. Resistencia de la tierra respecto a la longitud de la varilla

Fuente: (Díaz Pablo, 2001)

✓ Tratamiento del suelo

El material que se utilizará en el desarrollo de la tesis será el intensificador de terreno GEM.
(Ver figura 22).

GEM (Ground Enhancement Material)

El intensificador de terreno (GEM) es un material conductor no corrosivo, su composición es a base de polvo de carbono brindando una resistencia muy baja, haciéndolo ideal para suelos con poca conductividad (suelo rocoso, cimas de montañas y suelo arenoso). Contiene cemento de Portland que se endurece cuando se seca, consiguiéndose que no se filtre o deslave.



Figura 22. Intensificador de terreno GEM

A continuación, se enlista las características del GEM:

- Reduce dramáticamente la resistencia de la tierra.

- Mantiene una resistencia constante, durante toda la vida útil del sistema de puesta a tierra.
- Mejora la puesta a tierra, en todo tipo de suelos, incluso durante periodos secos.
- No se disuelve, ni se descompone con el paso del tiempo.
- No depende de la presencia continua de agua para mantener su conductividad.
- No necesita recargarse con sustancias químicas adicionales que resulten corrosivas.

RECOMENDACIONES: Se debe usar agua potable para su mezcla, no es aconsejable mezclar con agua salada.

2.6.CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

Las siguientes consideraciones son tomadas de las normativas vigentes (NEC Y NOM-001-SEDE).

- “No es permitido el uso de aluminio en los electrodos de las puestas a tierra”.
- La NEC afirma: “Cuando por requerimientos de un edificio existan varias puestas a tierra, todas ellas deben estar interconectadas eléctricamente, para tener un mismo nivel de potencial”. Como se muestra en la figura 23.

Se permite utilizar bobinas de choque (descargadores equipotenciales) aprobado por la NEC para cumplir con lo mencionado anteriormente

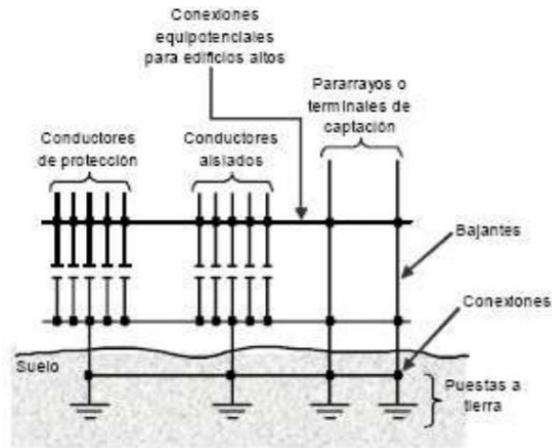


Figura 23. Sistema con Puestas a tierra dedicadas e interconectadas
Fuente: (NEC, 2011)

- Para una misma edificación quedan expresamente prohibidos los sistemas de puesta a tierra que aparecen en las Figuras 24 y 25.

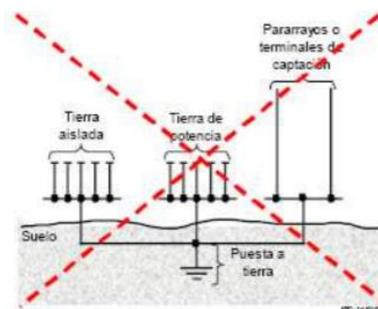


Figura 24. Una sola puesta a tierra para todas las necesidades (prohibido)
Fuente: (NEC, 2011)

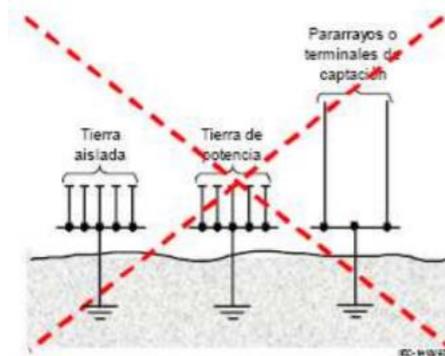


Figura 25. Puestas a tierra separados o independientes (prohibido)

Fuente: (NEC, 2011)

- La norma NOM-001-SEDE-2012 Artículo 250-53 (b) indica. “Cada electrodo de un sistema de puesta a tierra no debe estar a menos de 1.80 m de cualquier otro electrodo de otro sistema de puesta a tierra. Pero lo más recomendable es que la distancia entre electrodos de puesta a tierra debe ser como mínimo, el doble de la longitud del electrodo”.
- La norma NOM-001-SEDE-2012 Artículo 250-53 (b) indica. “Dos o más electrodos de puesta a tierra que están unido entre sí, se considera como un solo sistema de electrodos de puesta a tierra”.
- La longitud de enterramiento de los electrodos de tierra debe ser mínimo de 0.50 m de profundidad”.
- La sección 250-56 del NEC demanda que los electrodos artificiales o fabricados, tenga una resistencia a tierra \leq a 25 Ω .
- Los electrodos activos debido a su composición química, permiten mejorar la conductividad, siendo utilizados por dos razones:

- ✓ Cuando el espacio para armar una malla de tierra no es suficiente.
- ✓ Cuando no se tiene valores bajos de resistencia de malla debido a la naturaleza del terreno.
- La norma nacional NEC-11, recomiendan “El mínimo calibre conductor eléctrico a usarse en sistemas de protección a tierra será calibre # 1/0 AWG (53,5 mm²) de siete hilos”, mientras que la NOM-001-SEDE para subestaciones, señala. “El área de la sección transversal mínima de los conductores para una malla de tierra es de 67.43 mm² (2/0)”.
- En la NEC capítulo 15, sección 1.10.2.2 menciona. “El punto de unión entre el conductor del electrodo de puesta a tierra y la puesta a tierra debe ser accesible y hacerse con soldadura exotérmica. Se debe dejar en la ubicación de al menos una de las varillas un pozo de revisión que quedará accesible para poder tomar medidas de la puesta a tierra, chequear su estado en el futuro y dar mantenimiento”.
- En la NEC capítulo 15, sección 15.1.10.2.1.4 recomienda. “El electrodo tipo varilla o tubo debe tener mínimo 1,8 m de longitud”.

2.7.SOLDADURA EXOTÉRMICA

La palabra exotérmica se divide en dos prefijos, por lo que, reacción exotérmica significa: (ver figura 26).



Figura 26. Significado de Exotérmica

En el proceso de soldadura exotérmica se usa gas o soldadura de arco o una mezcla de polvo de metal con moldes especiales de grafito. El polvo reacciona para producir cobre fundido, el cual fluye alrededor de los metales soldándolos y derritiéndolos ligeramente. Resultando una unión permanente, de alta calidad, robusto y de baja resistencia.

El metal fundido es la reacción química entre Aluminio (Al) y Óxido de Cobre (CuO). Dicha reacción química produce calor, alcanzando valores de hasta 2500°C.

En la figura 27 se puede observar las diferentes uniones utilizadas en la soldadura exotérmica.

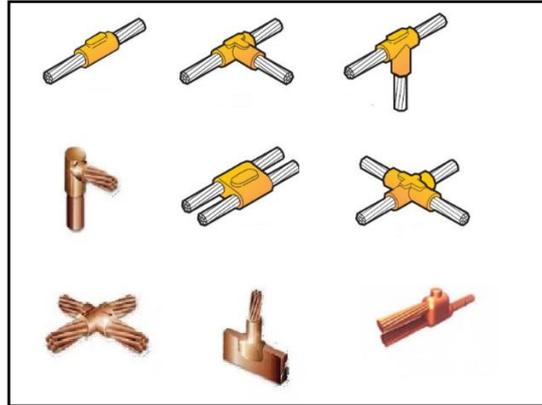


Figura 27. Tipos de uniones en soldadura exotérmica
Fuente: (GRUDILEC ELÉCTRICO, 2018)

2.7.1. Soldadura Cadweld plus

Es la soldadura actualmente utilizada que ha revolucionado la tecnología antigua, ha eliminado los materiales de ignición y han reducido el tiempo de preparación.

La figura 28 es la representación de los componentes necesarios para la soldadura exotérmica Cadweld Plus. Además, se detalla el interior del molde y partes principales del recipiente hermético, también llamado cápsula de soldadura. (ver figura 29)



Figura 28. Componentes de la soldadura CADWELD PLUS
Fuente: (ERICO, 2005)

a. Cápsula de soldadura

La cápsula de soldadura (ver figura 29), contiene el material de soldadura (Al y CuO). Tiene forma de copa y es metálica.



Figura 29. Cápsula de soldadura. CADWELD PLUS 115

Dicho material es activado por medio del CADWELD PLUS Control Unit (Unidad de control operada), véase en la figura 31.

Según el tamaño del recipiente hermético a utilizar, se los puede identificar con los siguientes colores y nomenclatura en general, mostrándose en la figura 30.

Número de Parte CADWELD PLUS	Número de Parte Europeo	Identificación del Tamaño Color del anillo	Número de Parte del Material de Soldadura Tradicional (Tapa Clara)
15PLUSF20	165700	Negro	15
25PLUSF20	165701	Rojo	25
32PLUSF20	165702	Blanco	32
45PLUSF20	165703	Azul claro	45
65PLUSF20	165704	Verde oscuro	65
90PLUSF20	165705	Gris	90
115PLUSF20	165706	Naranja	115
150PLUSF20	165707	Azul oscuro	150
200PLUSF20	165708	Amarillo	200
250PLUSF20	165709	Morado	250
300PLUSF20	165710	Verde claro	use 2 x 150
400PLUSF20	165711	Café	use 2 x 200
500PLUSF20	165712	Café claro	500

Figura 30. CADWELD PLUS para SPAT

Fuente: (ERICO, 2005)

Consideraciones

Mantener una distancia prudente ya que en el proceso de explosión puede ocasionarnos quemaduras.

b. Unidad de control operada

La unidad de control operada (figura 31), funciona por medio de 8 baterías de litio AA, dando una carga de 12V dc. Dicho dispositivo electrónico, por medio de un cable de 1.80 m de longitud, envía una descarga eléctrica a alta corriente a la tira de ignición.



Figura 31. Unidad de control operada

Está constituida por un condensador de salida y un interruptor electrónico para iniciar la descarga.

La carga comienza una vez que el botón OPERATE se presiona y se mantiene presionado. La luz READY parpadea para indicar que la carga está en curso. Si se libera el pulsador, se interrumpe la carga y el condensador se descarga internamente.

Cuando la luz READY cambia a estado estable, el condensador realiza su descarga en la tira de ignición de la cápsula de soldadura.

Después de la descarga eléctrica se produce la reacción exotérmica que es el resultado de los metales fundidos y consecuentemente la liberación de humo.

c. Accesorios para soldadura

Son materiales que permiten el manejo de los elementos necesarios de la soldadura, como también influyen en su proceso, optimizando los materiales. Ejemplo:

1. Moldes de grafito.
2. Pinzas de manipulación de moldes.
3. Cepillo de limpieza

Moldes de grafito

Permiten la adecuación de los conductores y varillas dentro de él, para hacer posible la suelda. (Ver figura 32).

Permite realizar las siguientes conexiones:

- Cable- Cable
- Cale-Varilla
- Uniones en Cruz y en T



Figura 32. Moldes de Grafito

Pinzas de manipulación de moldes

Las pinzas de manipulación de moldes (ver figura 33), se utilizan para sujetar o manipular los moldes, por ejemplo, abrir, cerrar, ajustar el molde conjuntamente con los conductores y varilla.

El ajuste de las pinzas se lo hace a través de las mariposas que vienen adjuntas al molde.



Figura 33. Pinzas de manipulación de moldes

2.8.DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA

Para poder diseñar este tipo de mallas se utiliza la metodología descrita por la normativa IEEE Std 80-2000.

En tabla 6 se muestran los símbolos utilizados en las ecuaciones posteriores para el diseño.

Tabla 6

Simbología y descripción para las variables utilizadas en las ecuaciones

Símbolos	Descripción
t_s	Tiempo de despeje de la falla [s]
K_f	Constante para diferentes materiales a diferentes temperaturas de fusión T_m y una temperatura ambiente de 40 ° C.
L_T	Longitud total del conductor [m]
L_C	Longitud total de todos los conductores que forman la red de tierras (m)
N	Numero de electrodos tipo varilla
L_V	Longitud del electrodo tipo varilla [m]

CONTINÚA 

L_x	Largo de la malla [m]
L_y	Ancho de la malla [m]
R_g	Resistencia de puesta a tierra calculada [Ω]
A	Área de la malla [m^2]
h	Profundidad de enterramiento de los conductores [m]
h_s	Espesor de la capa superficial [m]
C_s	Coficiente en función del terreno y la capa superficial.
ρ	Resistividad aparente del terreno tomado como un suelo uniforme [$\Omega \cdot m$]
ρ_s	Resistividad aparente de la capa superficial (grava u otro material) [$\Omega \cdot m$].
I_G	Corriente de falla.
D	Lado de la cuadrícula o espaciamiento entre conductores (entre 3 y 7 m)
E_m	Tensión máxima de la malla
D_m	Es la distancia máxima entre dos puntos en la malla [m]

CONTINÚA 

K_m	Factor de espaciamento para tensión de malla.
K_i	Factor de corrección por ubicación de electrodos tipo varilla.
K_{ii}	Factor de ponderación correctivo que ajusta para los efectos de los conductores internos en la malla de esquina
K_s	Factor de espaciamento para la tensión de paso.
$V_{paso\ max}$	Tensión máxima de paso.
L_s	Longitud efectiva del conductor enterrado.
L_p	Longitud del perímetro de la malla.
d	Diámetro del conductor seleccionado
K_h	Factor de corrección por la profundidad de enterramiento de la malla
n	Factor de geometría
n_b	1 para cuadrículas cuadradas
n_c	1 para cuadrículas cuadradas y rectangulares
n_d	1 para cuadrículas cuadradas, rectangulares y en forma de L
A_{kcmil}	Área del conductor en kcmil
I_{falla}	$I_{cc-asim}$ Es el valor de la corriente de falla en KA
a'	Longitud efectiva (m).

CONTINÚA



K_1 y K_2	Coefficientes de Schwarz
b	Diámetro de las varillas (m)
I_{sec}	Corriente máxima en el secundario
I_{cc-max}	Corriente de cortocircuito simétrica máxima
$I_{cc-max-pri}$	Corriente de cortocircuito en el primario
$I_{cc-asim}$	Corriente de cortocircuito asimétrica del secundario
F_{asim}	Factor de asimetría
V_{BT}	Tensión de salida del transformador
V_{AT}	Tensión de entrada del transformador
$V_{paso\ tolerable}$	Tensión de paso permisible o tolerable (V)
$V_{contacto\ tolerable}$	Tensión de toque permisible o tolerable (V)

Fuente: (IEEE Std.80, 2000)

Para el diseño de un sistema de puesta a tierra son necesarias las siguientes variables:

- Tensión permisible de paso.
- Tensión permisible de toque.
- Configuración de la malla.
- Resistividad del terreno.

- Tiempo máximo de despeje de la falla.
- Conductor de la malla.
- Profundidad de instalación de la malla.

2.8.1. Selección del conductor de puesta a tierra

El material más utilizado es el de cobre, debido a su alta conductividad, mayor resistencia a la corrosión, fácil de conseguir, costo moderado.

El acero con revestimiento de cobre lo utilizan también, pero especialmente cuando puede existir hurto del conductor.

En la tabla 7 se muestra las constantes de materiales de conductores para puestas a tierra.

Tabla 7

Constantes para los materiales de conductores

Material	Conductividad (%)	Temperatura de fusión Tm (°C)	Kf
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7.06
Cobre duro cuando se utilizan conexiones mecánicas a presión	97	250	11.78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10.45

CONTINÚA 

Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	12.06
Varilla de acero recubierto de cobre	20	1084	14.64
Aluminio de calidad EC	61	657	12.12
Aleación de aluminio 5005	53.5	652	12.41
Aleación de aluminio 6201	52.5	654	12.47
Alambre de aluminio revestido en acero	20.3	657	17.2
Acero 1020	10.8	1510	15.95
Varilla de acero galvanizado	9.8	1400	14.72
Varilla de acero con baño de zinc	8.6	419	28.96
Acero inoxidable 304	2.4	1400	30.05

Fuente: (IEEE Std.80, 2000)

La ecuación 6 indica como calcular el conductor.

Ecuación 6

$$A_{kcmil} = I_{falla} * K_f * \sqrt{t_s} [mm^2]$$

Considere que 1 kcmil es igual a 0.507 mm^2 y $t_c = 0.50 \text{ s}$ a 30 ciclos, es el común valor utilizado para los diseños de mallas.

Según la IEEE Std 80-2000 en la sección 2.9.3.4 se muestra la tabla 8 para la selección de conductores de Puesta a tierra, según el área nominal.

Tabla 8
Conductores de Puesta a Tierra

Calibre del conductor		Área nominal (mm ²)	Diámetro (mm)
AWG	Nº Hilos		
4	7	21.15	5.88
2	7	33.63	7.41
1/0	7	53.51	9.36
2/0	7	67.44	10.51
3/0	7	85.03	11.8
4/0	7	107.02	13.25

Fuente: (CONELSA)

2.8.2. Tensiones tolerables de paso y toque

En las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 se muestra el cálculo para las tensiones de paso y toque para:

- Una persona de 50 Kg

Ecuación 7

$$V_{paso\ tolerable} = \frac{(1000+6*C_s*\rho_s)*0,116}{\sqrt{t_s}}$$

Ecuación 8

$$V_{\text{contacto tolerable}} = \frac{(1000 + 1,5 * C_s * \rho_s) * 0,116}{\sqrt{t_s}}$$

- Una persona de 70 Kg.

Ecuación 9

$$V_{\text{paso tolerable}} = \frac{(1000 + 6 * C_s * \rho_s) * 0,157}{\sqrt{t_s}}$$

Ecuación 10

$$V_{\text{contacto tolerable}} = \frac{(1000 + 1,5 * C_s * \rho_s) * 0,157}{\sqrt{t_s}}$$

Donde en la ecuación 11, indica como obtener el valor de C_s .

Ecuación 11

$$C_s = 1 - \frac{0,09 * (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 * h_s + 0,09}$$

Si no se utiliza ninguna capa protectora de superficie, entonces $C_s = 1$ y $\rho_s = \rho$

2.8.3. Longitud del conductor

Para calcular la longitud total del conductor se utiliza la ecuación 12.

Ecuación 12

$$L_T = L_C + N * L_V \text{ [m]}$$

Para calcular la longitud total de todos los conductores que forman la red de tierra (m) se utiliza la ecuación 13.

Ecuación 13

$$L_C = \left(\frac{L_x}{D} + 1\right) * L_y + \left(\frac{L_y}{D} + 1\right) * L_x \text{ [m]}$$

Para calcular el área de mallas cuadradas o rectangulares se utiliza la ecuación 14.

Ecuación 14

$$A = L_x * L_y \text{ [m]}$$

2.8.4. Cálculo de la resistencia de puesta a tierra $R_g(\Omega)$

Para determinar la resistencia de una malla de tierra (R_g), combinando resistencias de: las varillas y del suelo, es utiliza la fórmula de Schwarz (ecuación 15):

Ecuación 15

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - (R_m)^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

En donde:

R_1 = Resistencia del conductor

R_2 =Resistencia de todas las varillas

R_m =Resistencia mutua entre R_1 y R_2

Para calcular la resistencia del conductor se usa la ecuación 16.

Ecuación 16

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{a'} \right) + K_1 \left(\frac{L_c}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right]$$

Donde:

$$a' = \sqrt{(d * h)} \quad \text{Si } h \text{ es diferente de } 0$$

$$a' = 0.5d \quad \text{Si } h = 0$$

Para obtener la resistencia de todas las varillas, utilizamos la ecuación 17.

Ecuación 17

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi N L_V} \left[\ln \left(\frac{8L_V}{b} \right) - 1 + 2K_1 \left(\frac{L_V}{\sqrt{A}} \right) - (\sqrt{N} - 1)^2 \right]$$

Para determinar la resistencia mutua entre R_1 y R_2 se utiliza la ecuación 18.

Ecuación 18

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{L_v} \right) + K_1 \left(\frac{L_c}{\sqrt{A}} \right) - K_2 + 1 \right]$$

Coefficientes K_1 y K_2

Se puede calcular los valores K_1 y K_2 mediante las fórmulas de Kerckel (ecuaciones 19 y 20) por ser más exactas.

Ecuación 19

$$K_1 = \frac{\sqrt{L_x * L_y}}{2} * 1,84 \left[\frac{1}{L_x} * \ln \left(\frac{L_x + \sqrt{(L_x)^2 + L_y^2}}{L_y} \right) + \frac{1}{L_y} * \ln \left(\frac{L_y + \sqrt{L_x^2 + (L_y)^2}}{L_x} \right) + \frac{L_x}{3(L_y)^2} + \frac{L_y}{3(L_x)^2} - \frac{((L_x)^2 + (L_y)^2)}{3(L_x)^2(L_y)^2} * \sqrt{(L_x)^2 + (L_y)^2} \right]$$

Ecuación 20

$$K_2 = \ln \left(\frac{4(L_x + L_y)}{L_y} \right) + 2K_1 \frac{(L_x + L_y)}{\sqrt{L_x * L_y}} - \frac{\ln \left(L_x + \sqrt{(L_x)^2 + \left(\frac{L_y}{2} \right)^2} \right)}{\frac{L_y}{2}} - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{(L_y/2) + \sqrt{(L_x)^2 + \left(\frac{L_y}{2} \right)^2}}{(-L_y/2) + \sqrt{L_x^2 + \left(\frac{L_y}{2} \right)^2}} \right)$$

2.8.5. Máximo potencial de tierra (GPR)

Véase en la (Ecuación 21) el cálculo de GPR.

Ecuación 21

$$GPR = I_G * R_G [V]$$

2.8.6. Corriente de falla (I_G)

Véase en la (Ecuación 22) el cálculo de I_G .

Ecuación 22

$$I_G = 1,9 * I_O [A]$$

Donde:

Según la normativa IEEE Std 80-2000: $I_f = I_O$ = Corriente de falla de Tierra simétrica en el primario.

2.8.7. Máximas tensiones de malla

Para calcular la tensión máxima de malla [E_m] se utiliza la Ecuación 23.

Ecuación 23

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_G}{L_c + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_V}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] * N * L_V}$$

El factor geométrico K_m se calcula con la Ecuación 24.

Ecuación 24

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left\{ \ln \left[\frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D+2+h)^2}{8 * D * d} - \frac{h}{4 * d} \right] + \frac{k_{ii}}{k_h} * \ln \left[\frac{8}{\pi * (2 * n - 1)} \right] \right\}$$

Véase en la (Ecuación 25 y 26) para mallas con varillas de tierra a lo largo del perímetro, o para mallas con varillas de tierra en las esquinas de la malla, así como tanto a lo largo del perímetro como en toda la zona de la cuadrícula.

Ecuación 25

$$K_{ii} k_{ii} = 1$$

Ecuación 26

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$h_0 = 1\text{m}$ (profundidad de referencia de la malla)

Véase en la Ecuación 27 para mallas sin electrodos de tierra o mallas con solo unas cuantas varillas de tierra, ninguna se encuentra en las esquinas o en el perímetro.

Ecuación 27

$$k_{ii} = \frac{1}{(2 * N)^{2/N}}$$

Según los diferentes componentes de la forma de malla, el número efectivo de conductores paralelos en una malla está dado por “n” (Ecuación 28).

Ecuación 28

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d$$

Donde, en las (Ecuaciones 29, 30, 31 y 32) se muestra la forma de cálculo de “n”.

Ecuación 29

$$n_a = \frac{2 * L_c}{L_p}$$

$n_b=1$ para mallas cuadradas

$n_c=1$ para mallas cuadradas y rectangulares

$n_d=1$ para mallas cuadradas, rectangulares y en forma de L.

O también:

Ecuación 30

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}}$$

Ecuación 31

$$n_c = \left[\frac{L_x * L_y}{A} \right]^{\frac{0.7 * A}{L_x * L_y}}$$

Ecuación 32

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

Véase en la (Ecuación 33) el factor de irregularidad K_i usado conjuntamente con n .

Ecuación 33

$$K_i = 0.664 + 0.148 * n$$

Si $E_m > V_{\text{contacto tolerable}}$ se debe cambiar la configuración de la malla.

Si $E_m < V_{\text{contacto tolerable}}$ se procede a calcular las máximas tensiones de paso en caso de falla.

2.8.8. Máximos voltajes de paso en caso de falla

La tensión de paso máximo en caso de falla se obtiene con la fórmula 34.

Ecuación 34

$$V_{\text{paso max}} = \frac{\rho * K_s * K_i * I_G}{L_s}$$

Véase en la (Ecuación 35) para mallas con o sin varillas de tierra, la longitud efectiva del conductor enterrado L_s es:

Ecuación 35

$$L_s = 0.75 * L_C + 0.85 * L_V$$

La tensión máxima de paso se produce a una distancia de 1m, comenzando y extendiéndose fuera del conductor perimetral en el ángulo bisección esquina más extrema de la malla. Véase en la (Ecuación 36) para la profundidad de entierro habitual de 0.25 m $<h<2.5$ m, K_s es:

Ecuación 36

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

Si $V_{paso\ max} > V_{paso\ tolerable}$ cambiar la configuración de la malla

Si $V_{paso\ max} < V_{paso\ tolerable}$ el diseño está correcto.

2.8.9. Cálculo de corriente de corto circuito

En las mallas de tierra de potencial es necesario calcular la corriente de corto circuito (I_{cc}) del secundario del transformador, ya que este valor será la corriente máxima de falla que puede llegar a tener nuestra instalación.

Las ecuaciones 37, 38, 39 y 40 tomadas de la normativa ANSI/IEEE 141, son utilizadas para calcular la I_{cc} .

Ecuación 37

$$I_{sec} = \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * V_{BT}}$$

Ecuación 38

$$I_{cc-max-sec} = \frac{100\%}{Z\%} I_{sec}$$

Ecuación 39

$$I_{cc-asim} = I_{cc-max-sec} * F_{asim}$$

El factor de asimetría (F_{asim}) es 1.25, obtenida de la relación X/R en el punto de falla. La información se encuentra en el capítulo 6 de la IEEE Std 141-1986.

Ecuación 40

$$I_{cc-max-pri} = \frac{\sqrt{3} * V_{BT}}{V_{AT}} * I_{cc-max-sec}$$

2.9.PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.

Por motivos de la existencia de varios SPAT, como, por ejemplo, para subestaciones, telecomunicaciones, pararrayos, equipos electrónicos, entre otros. Ha generado que las personas independicen dichos SPAT, con el propósito de evitar que corrientes y tensiones indeseables (sobrevoltajes transitorios) ingresen al sistema, especialmente cuando existe una descarga atmosférica la cual provocará altas frecuencias que dañaran a los equipos electrónicos. Pero esto es un error ya que no existe una misma equipotencialidad en dichos sistemas, generando sobrevoltajes en el sistema que afectarán a los equipos adyacentes al mismo.

Por tal motivo, se hace indispensable el uso de descargadores equipotenciales para unir diferentes mallas de tierra.

El propósito de una puesta a tierra para equipos electrónicos sensibles es proporcionar un sistema limpio con el fin de protegerlos de ruidos eléctricos (interferencia electromagnética) producidos en los bucles de tierra y de múltiples conexiones a tierra. (Gómez , pág. 99)

El ruido eléctrico puede definirse como cualquier tensión o corriente presente en un conductor o en un circuito, que no es la señal eléctrica deseada.

2.9.1. Sobrevoltajes transitorios

Los sobrevoltajes transitorios conocidos como picos, son impulsos de poco tiempo de durabilidad, pero con altos niveles de tensión y corriente que viajan sobre la onda senoidal (ver figura 34), característica propia de las fuentes de corriente alterna, a una frecuencia de 60 Hz para el país que no es repetitiva. El tiempo de ascenso del pico es de $1 \mu\text{s}$ y un tiempo de caída al $50\% \leq a 1 \text{ ms}$.

Los sobrevoltajes se deben al efecto inductivo y conductivo de la descarga sobre las líneas de distribución eléctrica cuando cae un rayo en forma directa o en su entorno cercano. Este efecto de sobrevoltaje transitorio tiene lugar en los primeros 2 o 3 μs .

La norma ANSI/IEEE C62.41-1991 indica “Los transitorios oscilan desde unos cuantos voltios hasta más de 20.000 voltios, con sobrecorrientes que exceden los 10.000 amperios y pueden ocurrir con frecuencias de 180.000 a 432.000 veces por hora en los entornos industriales extremadamente activos”.

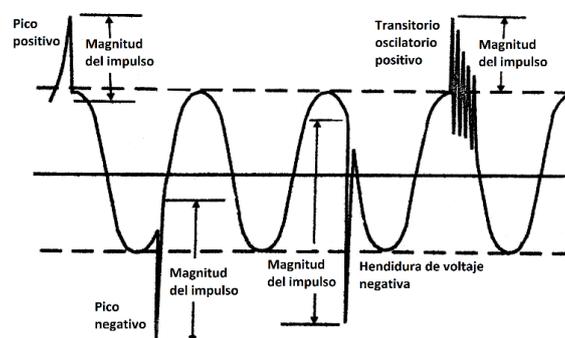


Figura 34. Perturbaciones de la onda senoidal

Fuente: (Díaz Pablo, 2001)

Los sobrevoltajes transitorios de alto nivel los causan las descargas atmosféricas, y en áreas de alta incidencia de rayos. Cuando ingresan al sistema de alimentación provocan una gran cantidad de perturbaciones que dañan los equipos electrónicos haciendo que operen erradamente o que introduzcan datos o mandatos erróneos, inclusive así el equipo esté desconectado.

A más del origen de transitorios por efectos de caída de rayos, también se originan por la puesta en marcha o el apagado de equipos eléctricos que, provocando el mismo daño en los equipos electrónicos.

2.9.2. Sistemas aislados

Se debe considerar que una tensión neutro-tierra alto puede interrumpir súbitamente las operaciones y causar errores al sistema electrónico. La máxima tensión neutro-tierra de un equipo electrónico puede estar especificado en rms volts, o en tensión pico a pico.

Para obtener un sistema aislado existen dos maneras:

- No conectando el neutro a los tableros secundarios.
- Barra neutral se conecta a tierra en el tablero principal o de servicio.

a. No conectando el neutro a los tableros secundarios.

El Código Eléctrico Nacional (NEC) afirma: “el neutro nunca debe conectarse a tierra en un tablero secundario. La conexión del neutro a tierra en un tablero secundario crea un lazo de

tierra en el circuito de alimentación, lo que inyecta ruido directamente a la computadora y su instalación electrónica periférica”.

El neutro podrá ser hasta del doble de calibre de las fases si el tipo de carga lo requiere debido a la presencia de corrientes armónicas.

La figura 35 se muestra un control en el flujo de corriente, cuando el neutro está conectado solo al tablero principal

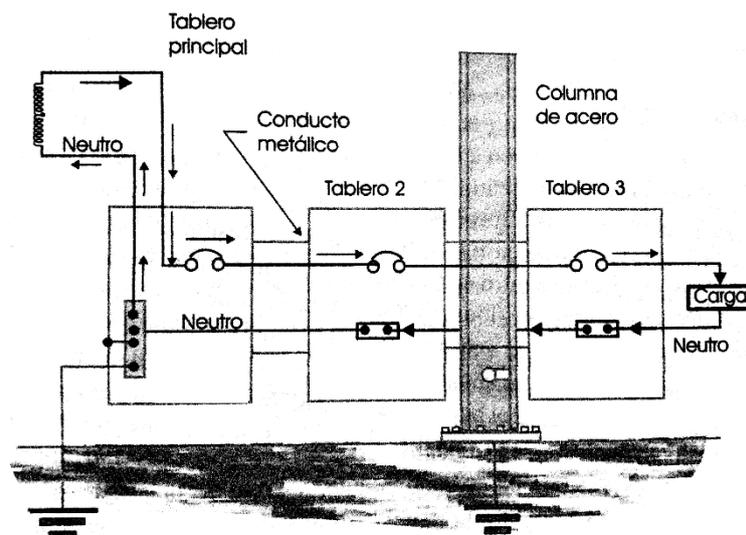


Figura 35. Barra neutral se conecta a tierra en el tablero principal o de servicio

Fuente: Díaz Pablo. (2001)

b. Utilizando un transformador de aislamiento.

Un sistema derivado separadamente no solo aísla la instalación del resto de la planta, sino que también proporciona un punto controlado de unión “neutro-tierra” y un mejor control de los problemas de distorsiones armónicas y de ruido eléctrico, especial para equipos electrónicos.

Además, un sistema aislado, crea un nuevo neutro que puede ser un generador o un transformador, en donde, todas las conexiones a tierra en este sistema tendrán como referencia el nuevo punto único de unión “neutro- tierra” en el transformador.

En este tipo sistemas se utilizan transformadores de tipo reductor o de una relación uno a uno (transformador de aislamiento). Un transformador de aislamiento proporciona un rechazo de modo-común y aislamientos ca. Ver figura 36.

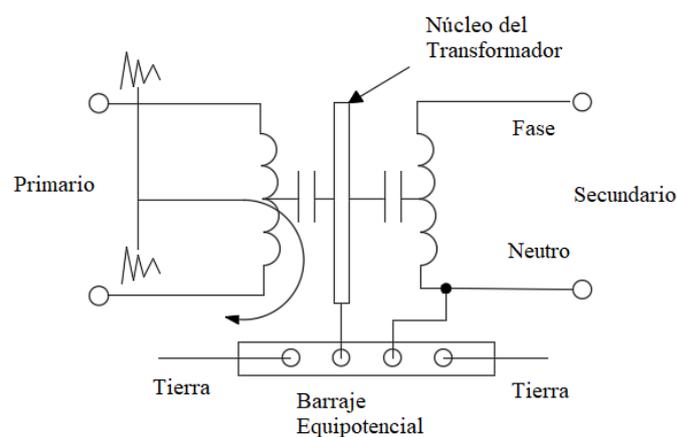


Figura 36. Transformador de aislamiento

La razón primordial al uso de un transformador de aislamiento es proporcionar una fuente separada de energía en el punto más cercano posible al equipo y aislarlo de otras fuentes de energía del edificio.

2.9.3. Equipotencialidad

Es un estado en donde todas las cargas de materiales que conducen energía eléctrica se conectan en un solo punto (punto común), con el fin de que no exista diferencia de potencial que puedan afectar la integridad y salud de las personas. (Gordillo). Por esta razón es necesario tener un mismo potencial en las diferentes mallas que se construyan cortocircuitándolas entre sí.

Debido a que el pararrayo no comparte su toma de tierra con la edificación, es necesario utilizar un descargador equipotencial que permite la unión de las dos tomas de tierra y asegura una equipotencialidad

Un descargador equipotencial o bobina de choque como se lo conoce, separa eléctricamente las dos mallas de tierra en condiciones normales, pero al producirse una sobretensión dado por una descarga de un rayo, en ese instante se establece una conexión temporal de ambas tomas de tierra o mallas, cumpliendo con la norma NEC que exige que exista una equipotencialidad en el sistema.

En la figura 37 se puede observar cómo debe estar ubicado un descargador equipotencial para la unión de dos tomas de tierra.

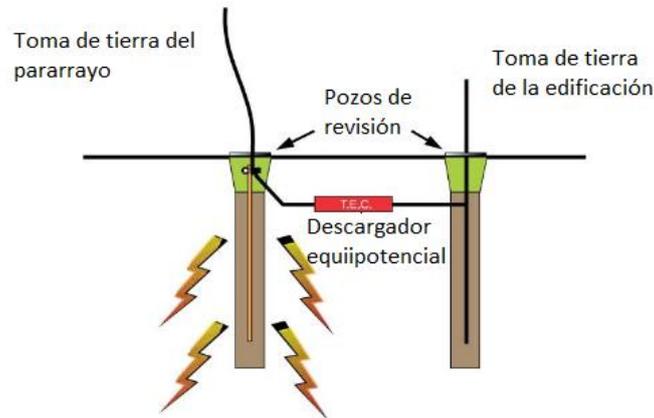


Figura 37. Descargador equipotencial
Fuente: (Intronica)

2.10. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Las descargas atmosféricas son los denominados rayos y relámpagos, siendo su fuente más común las nubes de tormenta. Las nubes de tormenta presentan en su interior regiones de carga eléctrica de distinto signo, conocidas como centros de carga, dando lugar a la formación de grandes campos eléctricos dentro de una misma nube, entre nubes y entre nube y tierra. Cuando dichos campos superan cierto umbral se produce la ruptura del aire como dieléctrico, generándose la descarga. (Avila Mangano, Suárez, & di Mauro, 2015, pág. 1)

Las descargas de rayo a tierra equilibran las cargas de las nubes y las cargas electrostáticas en tierra.

2.10.1. Clasificación de los rayos

Según (Avila Mangano, Suárez, & di Mauro, 2015) mencionan que “Los rayos se clasifican según la polaridad de la carga eléctrica transferida desde la nube a la tierra y la dirección de propagación del líder inicial” (pág 1), por lo tanto, se tiene 4 tipos:

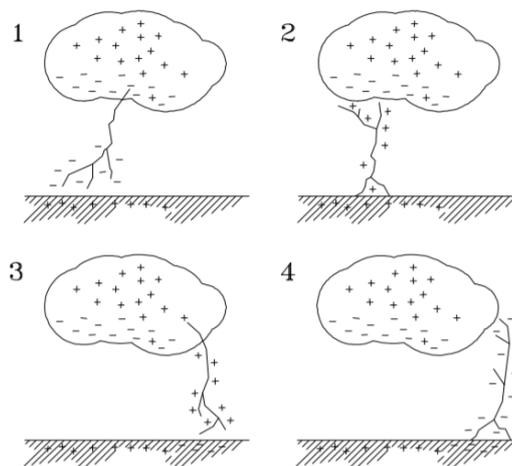


Figura 38. Tipos de rayo entre nube y tierra

Fuente:

https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6281/capitulo_3;jsessionid=5A55B0B34ADF5A657A6F797F35FF9AC5?sequence=6

a. Negativos Descendentes

En promedio más del 90% de los rayos descendentes son negativos (Figura 38 numeral 1). Es decir que la carga que se transporta eficazmente hacia el suelo es negativa y el proceso inicial comienza en la nube desarrollándose el líder en dirección a la tierra. (Avila Mangano, Suárez, & di Mauro, 2015, págs. 1-2)

b. Negativos Ascendentes

Estas descargas inician desde la tierra hacia la nube y como su nombre mismo lo dice, cargas negativas ascienden paulatinamente (Figura 38 numeral 4).

c. Positivos Descendentes

Menos del 10% de las descargas son positivas, en donde la tierra está cargada negativamente y las nubes positivamente, ver la (Figura 38 numeral 3).

d. Positivos Ascendentes

Tiene el mismo principio que en los negativos ascendentes, solo que con diferente carga (positiva), véase en la (Figura 38 numeral 2).

2.10.2. Formación de un rayo negativo descendente (nube-tierra)

La descarga se propaga hacia tierra en forma de un núcleo cargado negativamente, denominado líder o piloto, tras de este canal líder debido a la carga que va dejando, se va formando un canal guía. El avance del líder es en saltos ya que existen tiempos de reposo en el que el líder se detiene y recibe cargas negativas procedentes la nube, con una velocidad aproximada de 300 Km/h en tramos de 10m; por este motivo se lo denomina líder escalonado.

Una vez que el campo eléctrico aumenta lo suficiente el líder escalonado continúa su descenso con un próximo paso, repitiéndose el proceso. (Avila Mangano, Suárez, & di Mauro, 2015, pág. 2).

Estos saltos en los que el canal líder escalonado desciende paulatinamente es lo que da la forma del rayo.

Asimismo, el canal guía, en su camino hacia tierra, se ramifica en forma de tentáculos. Cuando el líder escalonado llega a una altura de algunos cientos de metros o menos el campo eléctrico en las estructuras puntiagudas o en las irregularidades de la superficie alcanza los valores necesarios para producir allí también la ruptura dieléctrica del aire. (Avila Mangano, Suárez, & di Mauro, 2015, pág. 2)

En ese momento es cuando aparecen descargas ascendentes positivas que se conectaran con el canal líder, por tal motivo a estas descargas ascendentes positivas se los conoce como *conectores ascendentes*.

Una vez que el líder escalonado llegue a la tierra o se enlaza con algún conector ascendente se cierra el circuito nube-tierra, siendo la primera descarga generada y se forma una corriente de retorno de aproximado 30 (KA). Si la nube posee más carga nuevamente se formará un nuevo líder, denominado líder rápido debido a que utilizará el canal previamente creado; el líder rápido descenderá a la tierra y nuevamente formándose otra corriente de retorno, pero menos energéticas que la primera.

En la (Figura 39) se muestra la evolución del rayo descrita en los párrafos anteriores.

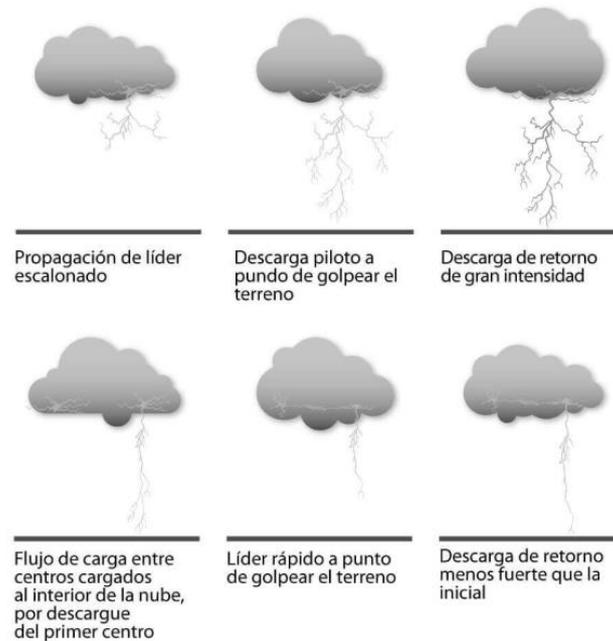


Figura 39. Evolución de la descarga atmosférica
Fuente: (GAMMA, 2011)

2.10.3. Formación de un rayo ascendente (tierra-nube)

Este tipo de descargas pueden originarse en objetos altos que estén expuestos como, por ejemplo: torres o en las cimas de las montañas. (Blitzplaner, 2007) afirma: “A diferencia de la descarga ascendente, el líder se origina por la dispersión del campo eléctrico en el objeto expuesto y la intensidad de campo eléctrico unida a ello, avanzando hacia la nube” (pág 17).

Durante una tormenta estos objetos expuestos pueden ser afectados durante una descarga varias veces.

2.10.4. Efectos producidos por la caída de un rayo

a. Efectos directos

Este efecto es el más improbable, pero muy destructivo ya que al caer el rayo en forma directa causará daños físicos como incendios

b. Efectos secundarios

No es factible ni rentable proteger a un circuito eléctrico contra la caída directa de un rayo, pero sí es posible proteger a los circuitos contra los efectos del 95% de las descargas y contra sus efectos secundarios.

Los efectos secundarios producidos por la caída de un rayo son:

- **Carga electrostática**

La carga estática inducirá una diferencia de potencial en la estructura o conductor respecto a tierra, produciéndose interferencias.

- **Pulsos electromagnéticos**

Son el resultado de los campos electromagnéticos transitorios que se forman por el flujo de corriente, a través del canal de descarga del rayo.

- **Pulsos electrostáticos**

Son el resultado directo de la variación del campo electrostático que acompaña a una tormenta eléctrica.

- **Corrientes de tierra**

Se producen por el proceso de neutralización que sigue a un impacto de rayo; este proceso es consumado por el movimiento de la carga a lo largo o cerca de la superficie de la tierra, desde el punto donde se induce la carga, hasta el punto donde termina el rayo (Albarrasín Veintimilla, 2016).

- **Sobrevoltaje transitorio**

Esta tensión es el resultado de los anteriores efectos llegando a causar grandes daños en los equipos o sistemas si no poseen las protecciones adecuadas.

2.10.5. Corriente de rayo

Se estima que una descarga típica de rayo puede tener aproximadamente las siguientes características:

- 3 billones de KW de energía
- tensión =100 millones de voltios
- corriente = 18 000 A.

La onda de mayor significación es la onda conocida como 10/350 μ s, utilizando esta onda en los diseños de protecciones principales (Nivel C) como lo exige las normas internacionales IEC.

A diferencia de la onda 10/350, la figura 40 indica la onda de la I_{cc} (corriente de corto circuito) de un rayo según la normativa IEEE, en donde el tiempo de ascenso es de $8 \mu s$ y el tiempo descenso hasta el 50% es de $20 \mu s$.

La onda $8/20 \mu s$, es utilizada para protecciones de transitorios de Nivel B.

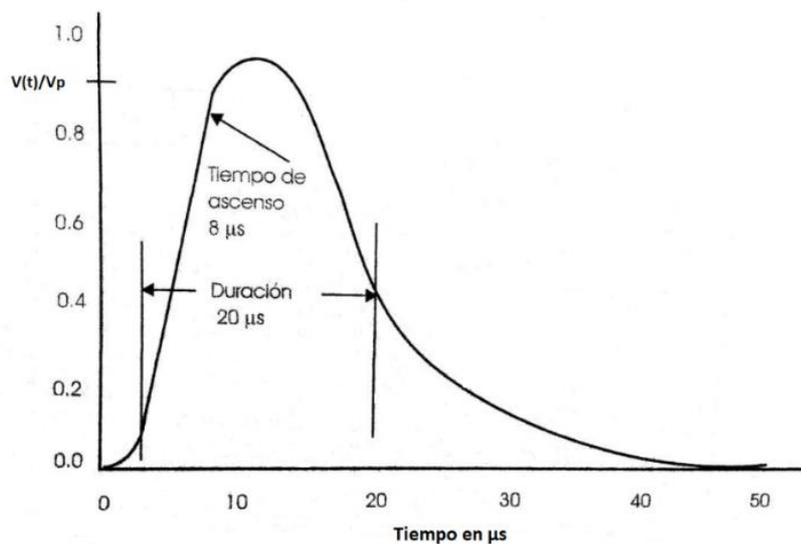


Figura 40. Curva representativa de una descarga atmosférica $8/20 \mu s$
Fuete: (Díaz Pablo, 2001)

Cuando la corriente de una descarga atmosférica penetra por un solo punto se genera un área gradiente. Mientras menor sea la resistencia del terreno más plana será el área gradiente, consiguiendo así, eliminar tensiones peligrosas (tensión de paso) que pueden provocar muerte a personas o animales.

La corriente de rayo produce una sobretensión que se propaga en un radio de 7 Km aproximadamente y su dispersión en la tierra eleva su potencial, induciendo fuertes sobrevoltajes en los cables subterráneos y aumentado la tensión en las tomas de tierra. (Mercado Gomez)

Es necesario realizar una compensación de potencial de todos los elementos que conducen energía del lugar ya que de esta manera no habrá ningún peligro que afectará la integridad física de cualquier ser vivo.

En una descarga atmosférica, la corriente va a ser la causa de la elevación de potencial en la malla de tierra, al existir este fenómeno dentro de un lugar con varias mallas de tierra y no al no estar en una misma área gradiente, estas se encontrarán a diferente potencial poniendo en peligro equipos e instalaciones del lugar.

2.10.6. Nivel Cerámico del Ecuador

(Albarrasín Veintimilla, 2016) afirma: “El nivel cerámico es el número de días en el año en los que se ha escuchado al menos un trueno” (pág 25). En la Figura 41 se muestra las curvas del nivel isocerámico del Ecuador

Por lo tanto, de acuerdo a la figura 42, la ciudad del Puyo cuenta con el más alto nivel cerámico (N_k) de 120-100, a continuación, es Quito con niveles de 70-60.

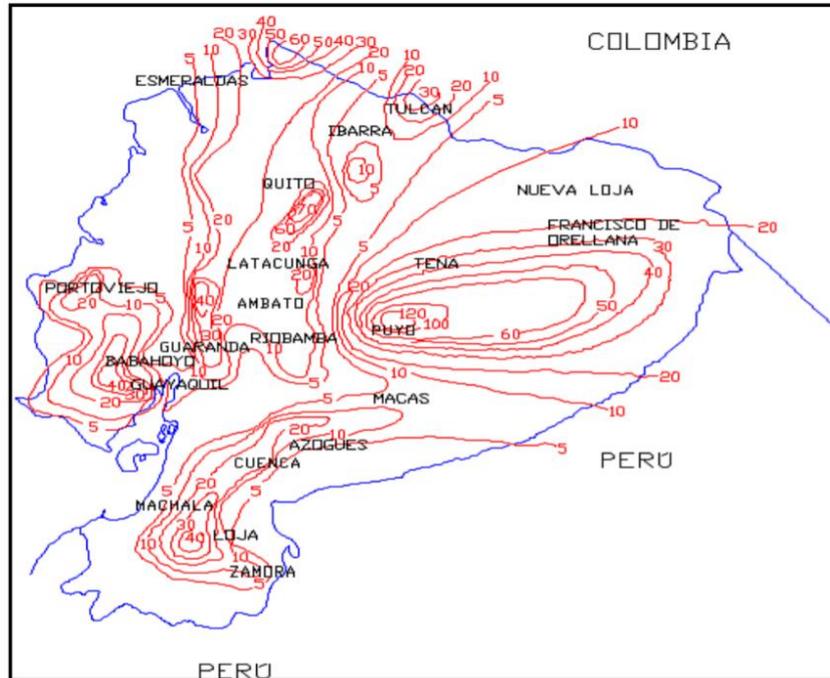


Figura 41. Nivel cerámico del Ecuador

Fuente: (Verdugo Karla, Aires Luis, & Merchán Hernando, 2018)

La figura 42 muestra las descargas anuales por Km^2 , valores necesarios para definir el nivel de protección que el pararrayo debe cumplir.

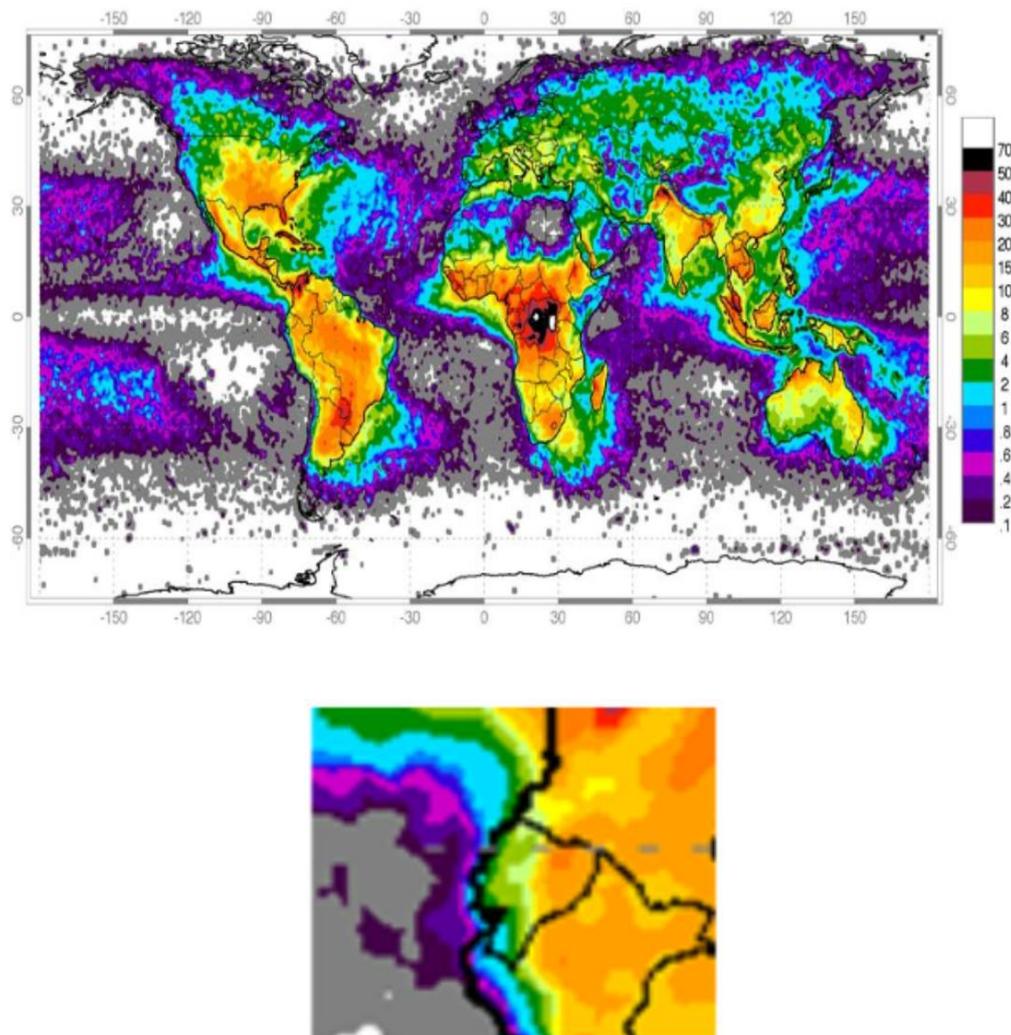


Figura 42. Descargas anuales por Km^2

Fuente: (Verdugo Karla, Aires Luis, & Merchán Hernando, 2018)

2.11. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SPCR)

Los sistemas de protección contra descargas atmosféricas tienen como objetivo el proteger a edificios o construcciones de daños físicos (incendios) y daños materiales, como también

salvaguardar la vida de las personas que se encuentren dentro de las instalaciones. Una protección contra descargas atmosféricas no elimina dicho fenómeno, lo que se hace es controlar y lleva la descarga a tierra en forma segura. (Albarrasín Veintimilla, 2016, pág. 75)

En un sistema de protección contra rayos se tiene: protección externa e interna contra rayos.

2.11.1. Protección externa contra rayos

Según la NEC-11 Capítulo 15: “la protección externa es hacer posible la descarga y dispersión de las elevadas corrientes del rayo hacia la tierra a través de elementos conductores, sin causar sobrevoltajes peligrosos tanto para las personas como para los equipos” (pág 83). Pero no protege al circuito de los efectos secundarios producidos por la descarga eléctrica.

La protección externa contra rayos cumple las siguientes funciones: Ver figura 43.

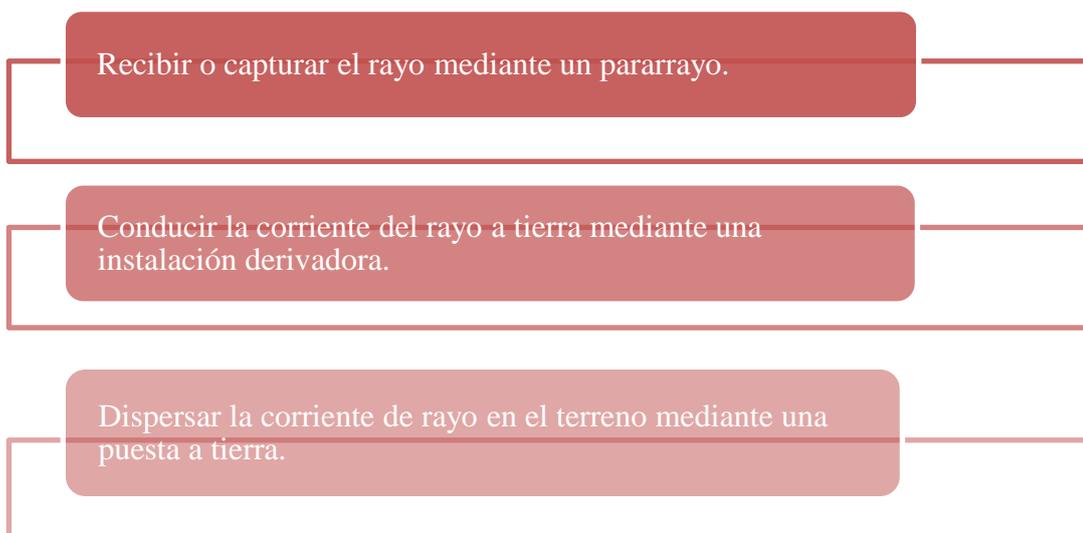


Figura 43. Funciones externas

Los sistemas de protección externa contra rayos consisten en las siguientes partes: (Ver figura 44).

- Pararrayos (Antenas de captación ubicadas en partes elevadas).
- Mástil
- Conductores bajantes (conducen la corriente del rayo a tierra)
- Un sistema de malla tierra (conjunto de electrodos conectados en paralelo).
- Contador de descargas y junto de control (opcionales)

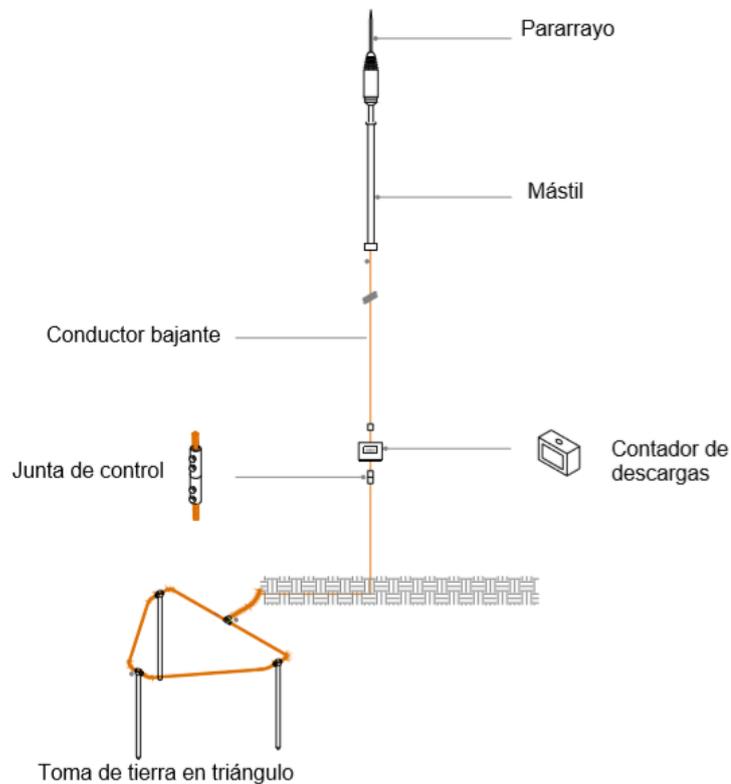


Figura 44. Elementos de una instalación de un pararrayo

a. Pararrayos

Los pararrayos permiten atraer un rayo ionizado del aire para poder llevarlo y descargarlo a tierra, sin causar daño a las personas o edificaciones. El pararrayo proporciona un camino de menor resistencia estableciendo el camino de descarga entre la nube y la tierra.

✓ Tipos de pararrayos

Pararrayo tipo Franklin

El pararrayo Franklin es ideal por su resistividad mecánica y corrosiva, son económicos y soportan gran cantidad de caídas de rayos sin afectar físicamente a las edificaciones. No es aconsejable su uso en instalaciones grandes y en donde la exigencia de protección es alta.

En la (Figura 45) se puede observar un pararrayo tipo Franklin.



Figura 45. Pararrayo Tipo Franklin

Fuente: (AEE Ingeniería Eléctrica, 2017)

Pararrayos desionizador de carga electrostática (PDC-E)

Este tipo de pararrayos tiene un alto nivel de protección ya que se adelanta al proceso de la formación del rayo y no permite que en las estructuras protegidas se forme un campo eléctrico durante la descarga eléctrica, debilitando así el campo eléctrico formado y enviándolo a tierra.

En la figura 46 muestra la forma que tiene un pararrayo PDC-E y cómo actúa frente a una descarga atmosférica.

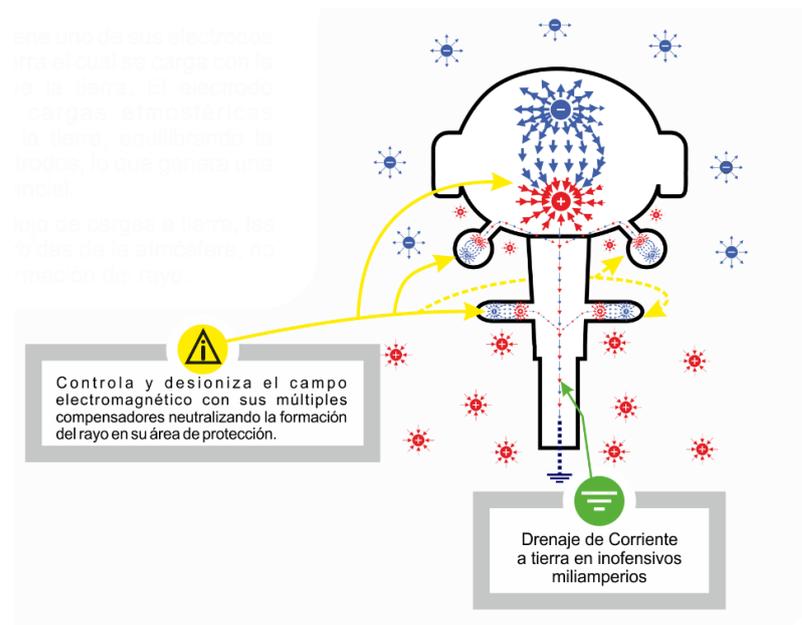


Figura 46. Pararrayo PDCE

Fuente: (Sertec S.R.L.)

Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)

Tiene un dispositivo de cebado electrónico, al brindar una mayor altura al punto de impacto del rayo, aumenta el área de cobertura. El pararrayo PDC es el más usado actualmente para

grandes áreas debido al mayor radio de cobertura que ofrecen, tiene una gran durabilidad y esto resulta económico durante una instalación de protección atmosférica.

En la figura 47 se puede observar un pararrayo PDC, Modelo: Ioniflash mach NG 60



Figura 47. Pararrayo PDC

Fuente: (Luz y Color SaC)

b. Mástil

Es un elemento de longitud variable (estirable) utilizado para que la cabeza captadora del pararrayo pueda alcanzar el radio de protección establecida.

c. Conductor bajante

Según la NEC 11, capítulo 15 afirma: “El conductor de bajada debe ser lo más rectilíneo posible, evitando curvas o remotes. Los radios de curvatura no serán inferiores a 20 cm, menor o igual a 45°. El bajante debe ser elegido de forma que evite el cruce o proximidad de líneas eléctricas o de señal” (pág 84).

Además, cuando el pararrayo esté instalado en un edificio o estructura, se tomará en cuenta las siguientes condiciones que debe cumplir el conductor bajante, como lo indica la tabla 9.

Tabla 9

Requerimientos para bajantes del sistema de protección contra rayos

Altura de la estructura	Número mínimo de bajantes	Calibre mínimo del conductor de cobre
Menor que 28 m	1	2 AWG
Mayor que 28 m	2	1/0 AWG

Fuente: (NEC, 2011)

En el caso de que el pararrayo esté ubicado sobre una torre de comunicaciones se utilizará un conductor bajante, generalmente del número 2, trenzado, desnudo. La torre se utiliza como el segundo conductor bajante.

Se ha determinado que aproximadamente el 80% de la energía la conduce la torre, y por esta razón se exige en torres de comunicaciones, que el conductor bajante tenga una conexión con la torre.

d. Contador de descargas

(Interempresas) afirman: “Es un dispositivo electrónico que permite el conteo de rayos que impactan en el pararrayo, con el fin de tener un control y mantenimiento en el elemento captador de rayos”.

e. Junta de control

(Interempresas) afirman: “Elemento utilizado para desconectar la toma de tierra del pararrayo con el propósito de realizar medidas de la resistencia”.

f. Toma de tierra

En la sección 250-106 del NEC menciona “sistema de tierra para rayos no debe ser el sistema electrodo de tierra del edificio, pero debe estar conectado a este. En el caso de áreas con alta incidencia de rayos se recomienda una resistencia del sistema de tierra de 1Ω o menor”.

Según la norma UNE 21186:1996 para pararrayos PDC, las tomas de tierra podrán estar constituidas para cada conductor de bajada:

- “Por conductores de la misma naturaleza y sección que las bajantes, salvo para el aluminio, dispuestos en forma de pata de ganso de grandes dimensiones y al menos a 50 cm de profundidad”. Como se muestra en la figura 48.
- Por la unión de muchas piquetas verticales.
 - ✓ Dispuestas en línea o triangulo y espaciadas entre sí por una distancia al menos o igual a su longitud enterrada,
 - ✓ Unidas entre sí por un conductor, idéntico o compatible en sus características a aquel utilizado en la bajante, enterrado en una zanja al menos 50 cm de profundidad

La figura 49 muestra una toma de tierra en triángulo.

NOTA: *La forma recomendada es en triángulo.*

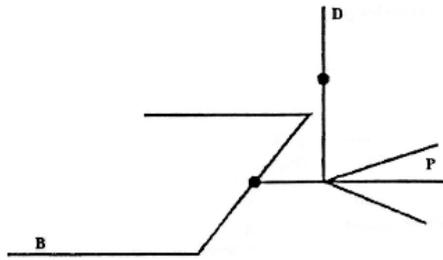


Figura 48. Toma de tierra en forma de pata de ganso

Fuente: (UNE 21186, 1996)

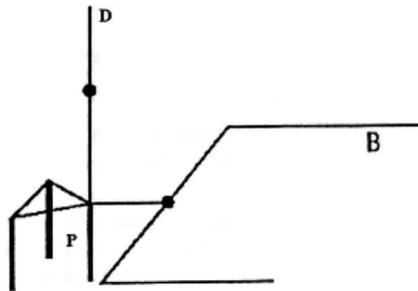


Figura 49. Toma de tierra en triángulo

Fuente: (UNE 21186, 1996)

Donde:

D = Conductores de bajada del pararrayos.

B = Bucle en el fondo de la excavación del edificio.

P = Toma de tierra de las instalaciones del pararrayos.

Toma de tierra en triangulo

En la figura 50 se indica que, para un suelo arenoso o pedregoso, el espacio entre varillas debe ser $>$ a 3 m (10 pies). Se utiliza varillas cooperweld de diámetro 5/8" y 1,8 m de longitud.

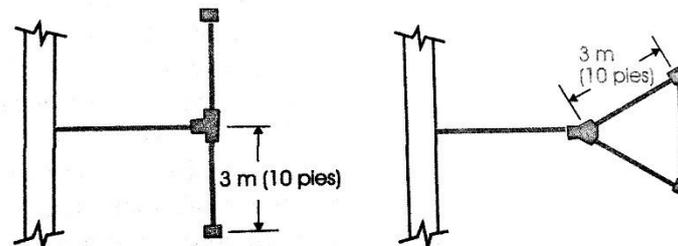


Figura 50. Conexión a tierra de un sistema de protección contra rayos en un suelo arenoso o pedregoso

Fuente: (Díaz Pablo, 2001)

2.11.2. Protección interna contra rayos

Esta protección implementa medidas complementarias al sistema; es decir protección contra sobrevoltajes para equipos eléctricos y electrónicos, ya que después de efectuarse la descarga atmosférica pueden verse afectados los mismos a través de la alimentación o redes de transmisión de datos.

Además, se debe impedir la formación de chispas peligrosas dentro del edificio o estructura.

Esto se consigue mediante la compensación de potencial o asegurando una distancia de seguridad entre los distintos componentes del sistema de protección contra rayos y otros elementos conductores eléctricos situados en el interior del edificio o estructura. (Blitzplaner, 2007)

En la figura 51, se encuentra las maneras para realizar una compensación de potencial.



Figura 51. Formas para la Compensación de potencial

2.12. PARARRAYO CON DISPOSITIVO DE CEBADO (PDC)

2.12.1. Niveles de protección

Para poder determinar el nivel de protección requerido por el pararrayo PDC se toma en consideración las descargas anuales por Km^2 según la ubicación geográfica, características y actividades que se realizan en el lugar a proteger.

a. Cálculo para determinar el nivel de protección del pararrayo

Se utilizará la normativa del Código Técnico de la Edificación de España Documento Básico- Seguridad de utilización 8 (CTE DB-SU 8).

Determinación de Frecuencia esperada de Impactos Directos de Rayos (N_e) y Frecuencia Aceptada de Rayos (N_a).

- **Densidad de Impactos de Rayos a tierra por Km^2 al año (N_g)**

Conociendo el nivel Ceraúnico (N_k) obtenido de la figura 41 se puede determinar la densidad o la frecuencia de impactos en la zona (N_g) mediante la fórmula 41.

Ecuación 2.41

$$N_g = K * N_k$$

Donde:

K Constante determinada con base en investigaciones de campo.

O mediante la figura 42 se puede obtener N_g .

- **Frecuencia esperada de Impactos directos de Rayos (N_e).**

Se obtiene este parámetro de la ecuación 42.

Ecuación 42

$$N_e = N_g * A_e * C1 * 10^{-6} \text{ [nº impactos/año]}$$

Donde:

N_g = Densidad de Impactos de Rayos a tierra por Km^2 al año.

Según el CTE DB-SUA 8:

“ A_e = Superficie de captura equivalente del edificio aislado en m^2 , que es la delimitada por una línea trazada a una distancia 3H de cada uno de los puntos del perímetro del edificio, siendo H la altura del edificio en el punto del perímetro considerado”.

$C1$ = Coeficiente relaciona con el entorno, según la tabla 10.

Superficie de captura equivalente de la estructura aislada (A_e)

La figura 52 y 53 muestra las variables que se toma en cuenta en la ecuación 43 para el cálculo de A_e .

Ecuación 43

$$A_e = a * l + 6 * h * (l + a) + 9 * \pi * h^2$$

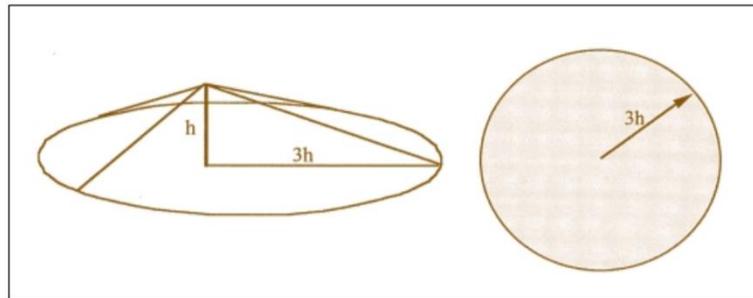


Figura 52. Variables para el cálculo de A_e

Fuente: (Alameda & Aguado, s.f.)

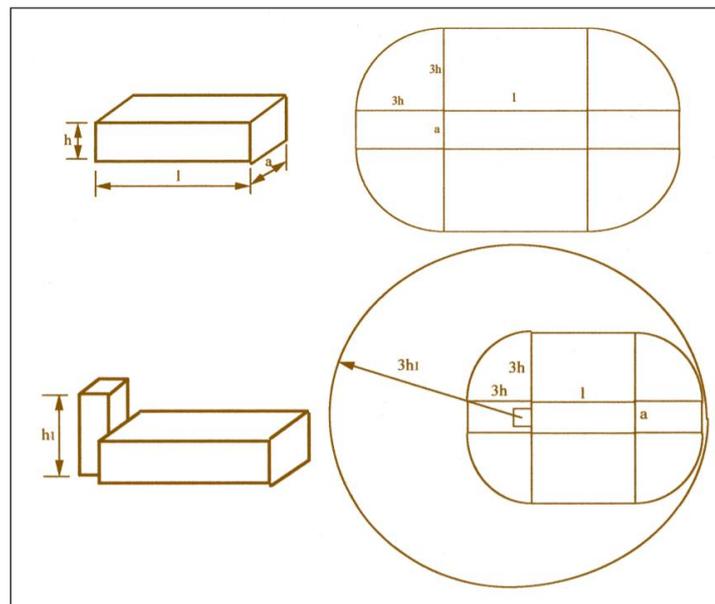


Figura 53. Variables necesarias para el cálculo de A_e y para el radio cobertura del pararrayo

Fuente: (Alameda & Aguado, s.f.)

Cálculo de la situación relativa a la estructura (C_1)

Según el CTE SU 8 se muestra la tabla 10 para el cálculo de C_1 .

Tabla 10
Situación relativa de la estructura

Situación de la estructura	C1
Próximo a otros edificios o árboles de la misma altura o más altos.	0.5
Estructura rodeada de estructuras más bajas.	0.75
Estructura aislada.	1
Estructura aislada sobre colina o promontorio.	2

Fuente: (CTE SU 8)

- **Frecuencia Aceptada de Rayos (N_a).**

Para poder calcular la frecuencia aceptada de rayos se utiliza la ecuación 44.

Ecuación 44

$$N_a = \frac{5.5}{C_2 C_3 C_4 C_5} * 10^{-3}$$

Siendo

C_2 coeficiente en función del tipo de construcción, conforme a la tabla 11.

C_3 coeficiente en función del contenido conforme a la tabla 12.

C_4 coeficiente en función del uso del edificio, conforme a la tabla 13.

C_5 coeficiente en función de la necesidad de continuidad en las actividades que se desarrollan en el edificio, conforme a la tabla 14.

Tabla 11

Coeficiente estructura (C2)

	Cubierta metálica	Cubierta de hormigón	Cubierta de madera
Estructura metálica	0.5	1	2
Estructura de hormigón	1	1	2.5
Estructura de madera	2	2.5	3

Fuente: (CTE SU 8)

Tabla 12

Contenido estructural (C3)

Coeficiente C3	
Edificio con contenido inflamable	3
Otros contenidos	1

Fuente: (CTE SU 8)

Tabla 13

Coeficiente C_4

Coeficiente C4	
Edificios no ocupados normalmente	0.5
Usos Pública Concurrencia, Sanitario, Comercial, Docente	3
Resto de edificios	1

Fuente: (CTE SU 8)

Tabla 14
Estructura habilitada (C5)

Coficiente C5	
Edificios cuyo deterioro pueda interrumpir un servicio imprescindible (hospitales, bomberos,...) o pueda ocasionar un impacto ambiental grave.	5
Resto de edificios	1

Fuente: (CTE SU 8)

Selección del Nivel de Protección (N_a).

Si $N_e > N_a$ es necesario un sistema de protección para descarga atmosféricas.

Cálculo de la Eficiencia de la Instalación (E)

Antes de poder seleccionar el nivel de protección se debe calcular la eficiencia de la instalación con la (Ecuación 45).

Ecuación 45

$$E = 1 - \frac{N_a}{N_e}$$

De acuerdo a la Tabla 15 se selecciona el nivel de protección una vez calculado la eficiencia.

Tabla 15

Niveles de protección de pararrayos según la eficiencia requerida

Eficiencia requerida	Nivel de protección
$E \geq 0.98$	1
$0.95 \leq E < 0.98$	2
$0.80 \leq E < 0.95$	3
$0 \leq E < 0.80$	4

Fuente: (CTE SU 8)

El CTE SU 8 afirma: “En un nivel de protección 4 será opcional la instalación de pararrayo”.

2.12.2. Volumen protegido

El CTE SU 8 afirma: “En la figura 54 muestra el volumen protegido por cada punta cuando se utilicen pararrayos con dispositivo de cebado”.

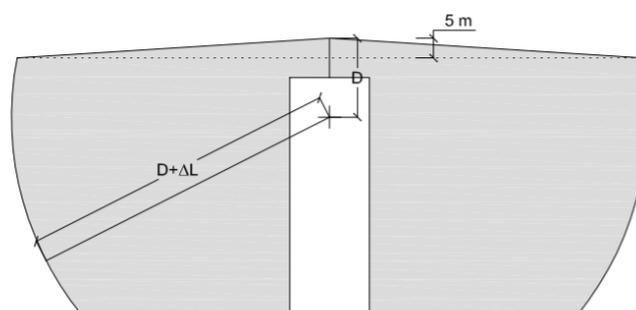


Figura 54. Volumen protegido por pararrayos con dispositivo de cebado

Fuente: (CTE SU 8)

- “Bajo el plano horizontal situado a 5 m por debajo de la punta, el volumen protegido es el de la esfera cuyo centro se sitúa en la vertical de la punta a una distancia D ” y cuyo radio se lo calcula mediante la ecuación 46.

Ecuación 46

$$R = D + \Delta L$$

Siendo

R el radio de la esfera en m que define la zona protegida.

D distancia en m que figura en la tabla en función del nivel de protección. (Ver tabla 16).

ΔL “distancia en m función del tiempo del avance en el cebado ΔL del pararrayos en μs . Se adoptará $\Delta L = \Delta t$ para valores Δt inferiores o iguales a 60 μs , y $\Delta L = 60$ m para valores de Δt superiores”.

Tabla 16

Distancia de Cebado según el nivel de protección

Nivel de protección	Distancia D m
1	20
2	30
3	45
4	60

Fuente: (CTE SU 8)

- El CTE SU 8 afirma: “Por encima de este plano, el volumen protegido es el de un cono definido por la punta de captación y el círculo de intersección entre este plano y la esfera”.

Nota: Para tener un radio de protección más exacto es aconsejable utilizar las fichas técnicas de cada marca de pararrayos a instalar.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Para determinar un estado inicial y presentar una solución a los problemas encontrados en la Planta, se abarcará los siguientes temas: Ver figura 55.



Figura 55: Orden de la metodología

3.1. DIAGNÓSTICO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

3.1.1. Medición de la resistividad del terreno

La resistividad del terreno es un factor muy importante dentro de la construcción de una malla ya que este variable afecta directamente sobre el valor de la resistencia de la puesta a tierra, por esta razón es que se debe previamente realizar mediciones para determinar la resistividad del terreno (Ramírez Castaño & Cano Plata), donde se quiera construir una malla de tierra y, en el caso de obtenerse valores altos o no deseados, se debe de tener un tratamiento previo de la tierra.

El método utilizado para medir la resistividad del terreno fue el de Wenner. Se empleó el analizador de terrenos digital modelo 6471, marca AEMC INSTRUMENTS (ver figura 56).



Figura 56. Analizador de terrenos

a. Procedimiento para medir la resistividad del terreno.

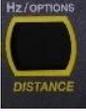
1. Si no está seleccionado el método de Wenner (ρ_w), siga los siguientes pasos.

a. Ponga el conmutador en la posición ρ .

b. Pulse dos veces el botón



c. Pulse el botón , hasta que aparezca en la pantalla ρ_w

- d. Pulse dos veces el botón , para aceptar y salir.

2. Programe la distancia

- e. Ponga el conmutador en la posición ρ .

- f. Pulse las teclas  y después .

- g. Para desplazarse y seleccionar la cifra deseada se utiliza la tecla .

- h. Para modificar la cifra elegida, se pulsa la tecla .

- i. Para finalizar la programación de la distancia, se repite el literal b.

3. Clave las 4 picas de tierra en línea, a una determinada distancia “d” entre ellas programada.

Considerándose que la distancia d debe estar comprendida entre 2 y 30 m.

4. Conecte los cables a las picas y luego a los bornes:

- j. Primera pica al puerto E.
- k. Segunda pica al puerto ES.
- l. Tercera pica al puerto S.
- m. Cuarta pica al puerto H.

5. Inicie la medida pulsando el botón START/STOP.



6. Pulse varias veces el botón para visualizar los parámetros de medida.

7. Tome note de la medida (Ωm). No es necesario emplear la fórmula 5, ya que el instrumento mide directamente la resistividad del terreno.

Los valores obtenidos se ven afectados por diversos factores, mencionados en el apartado 2.5.1. sección a.

No todo el terreno de la Planta es homogéneo, ya que la presencia de residuos de construcción en el terreno hace que en ciertos lugares la resistividad del terreno sea muy alta, se realizó algunas mediciones en lugares específicos, libre de escombros, en los sitios donde se encuentran mallas de tierra y en donde se consideró realizar posibles mallas a tierra.

En la figura 57 se puede observar las picas alineadas, para realizar la tercera medición de resistividad del terreno, cerca del tanque de filtros.



Figura 57. Disposición de picas

En las figuras 58, 59, 60 y 61 se observan los resultados obtenidos por el terrómetro en campo.



Figura 58. Medición 1



Figura 59. Medición 2



Figura 60. Medición 3



Figura 61. Medición 4

En la tabla 17 se desglosa las mediciones realizadas en la Planta, de acuerdo a su ubicación y distancia entre picas.

Tabla 17
Valores de Resistividad del Terreno

MEDICIÓN	UBICACIÓN CERCANA A:	DISTANCIA ENTRE PICAS (m)	RESISTIVIDAD DEL TERRENO (Ω m)
1	Cuarto del generador de emergencia	4	51.6
2	Tanque de consumo interno	5	52.2
3	Tanque de lavado de filtros	5	42.8
4	Balanzas de Cloro	4	32.5

De acuerdo a lo mencionado en el apartado 2.5.1, podemos determinar que se trata de un terreno vegetal húmedo, y los valores medidos están parcialmente dentro del rango de 10 a 50 Ω .

3.2.DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

Existen algunas mallas de puesta a tierra ubicadas en diferentes partes de la Planta de tratamiento de agua Conocoto.

En la tabla 18 se detalla el tipo de malla de tierra, nombre de identificación y la ubicación que tienen cada uno de ellas.

El sistema de puesta a tierra de la Planta de tratamiento de agua Conocoto que se detallan en la tabla 18 se encuentran en el Anexo 1, así como también, la ubicación de los pararrayos.

Tabla 18*Disposición de Sistema de Puesta a Tierra de la Planta de tratamiento de agua Conocoto*

Puesta a tierra de potencia	Equipos de procesamiento de datos	Puesta a tierra de protección atmosférica	Nombre	Ubicación
X			M1	A lado del cuarto del Generador de emergencia
		X	MP1	Bajo la torre de la radio municipal
		X	MP2	Bajo la torre del medio
		X	MP3	A lado del cuarto de válvulas de distribución.
	X		MTD	A lado del cuarto de válvulas de distribución.

3.2.1. Mediciones de las mallas de tierra físicas

Para realizar dichas mediciones se usará el telurómetro analógico HIOKI “3151 EARTH HiTESTER”, el cual nos permitirá comprobar si dichos valores están dentro de las normas vigentes y de no ser así, tomar medidas correctivas en el SPAT.

Se utilizará el método del 62% para medir las mallas de tierra, y para esto el telurómetro analógico consta de varillas o picas auxiliares y cables de medición (negro 5 m, amarillo 10 m, rojo 20 m).

En la figura 62 se puede observar el telurómetro analógico HIOKI “3151 EARTH HiTESTER” que se usará realizar las mediciones correspondientes.



Figura 62. Telurómetro analógico HIOKI “3151 EARTH HiTESTER”

Este instrumento está diseñado para cumplir con la norma de seguridad IEC 61010.

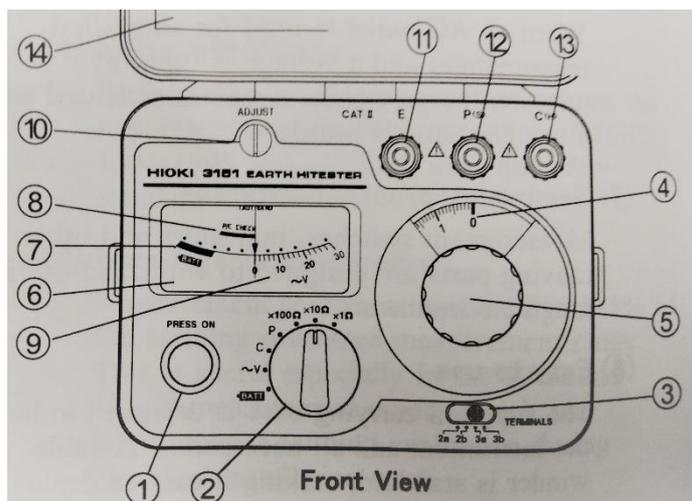


Figura 63. Nombres y Funciones de Partes

En la figura 63 se puede observar las partes que conforman al telurómetro analógico, y de acuerdo a su numeración se describe cada una de ellas a continuación:

1. Botón de medición (PRESS ON).

Presione este botón para la medición a la resistencia de puesta a tierra, comprobación de la resistencia a la puesta a tierra auxiliar, y comprobación de batería.

2. Selector de rango

Sirve para cambiar el instrumento a comprobación de batería, medición de la tensión a tierra, comprobación de la resistencia a la puesta auxiliar, y medición de la resistencia de puesta a tierra.

3. Selector de medición de 2/3 polos (TERMINALES)

Sirve para cambiar entre la medición 2-polos (medida simplificada) y medición 3-polos. También sirve para cambiar la frecuencia de medición (a/b) para reducir la influencia de la tensión de tierra armónica.

4. Dial de resistencia

El valor de resistencia medido puede ser leído desde este dial

5. Mando de marcación

6. Galvanómetro.

7. Rango de batería efectiva

8. Rango efectivo de resistencia a tierra auxiliar.

9. Escala de tensión de tierra.

10. ADJUST: Ajuste cero**11. E: Terminal de tierra.**

Este terminal debe conectarse a la tierra del objeto de medición.

12. P (S): Terminal de prueba.

Terminal para la detección de potencial.

13. C (H): Terminal de puesta a tierra auxiliar.

Este terminal suministra corriente de medición.

14. Etiqueta de explicación.

Contiene las instrucciones breves y especificaciones del instrumento.

a. Procedimiento para medir la resistencia de las mallas de tierra.

Se utilizó el método 62 % y el telurómetro analógico HIOKI “3151 EARTH HiTESTER” como instrumento de medición para todas mallas de tierra físicas existentes en la Planta de tratamiento de agua Conocoto.

El procedimiento que se debe seguir para realizar la medición se detalla a continuación:

1. **Conectar los terminales** de medición a la varilla de tierra utilizando los cables de medición, como se muestra en la figura 64.

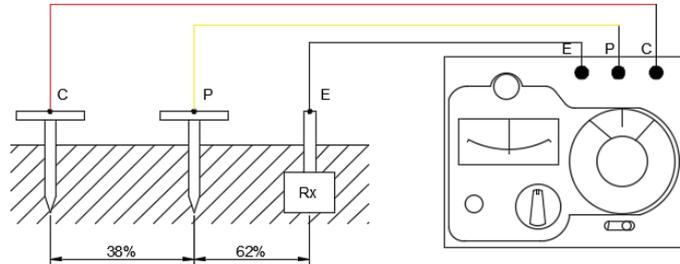


Figura 64. Conexión de medición

2. Ajuste el selector de medición a 3 polos.

Cuando se utiliza el método de medición de 3 polos se puede llevar a cabo con una frecuencia de medición de 575 Hz (3a) o 600 Hz (3b). Normalmente se debe escoger “3b” porque esta configuración reduce la influencia de tensión de tierra armónica y otros componentes de tensión de tierra extraños.

3. Comprobación de la batería.

Ajuste el selector a **BATT** y pulse el botón (PRESS ON). Si la aguja del galvanómetro está dentro del rango de la báscula, las baterías se pueden utilizar para la medición, caso contrario se debe reemplazar. *Esta comprobación se debe realizar con los cables conectados.*

4. Comprobación de tensión de tierra.

Ajuste el selector a  **V** para verificar la presencia de tensión de tierra. No presione el botón (PRESS ON) en este momento. Además, si la tensión de tierra es alto, existe el riesgo de descarga eléctrica y se debe tomar precauciones.

5. Comprobación de la resistencia a tierra auxiliar.

- a. Comprobación del estado de puesta a tierra de la varilla de tierra auxiliar C.

Ajuste el selector de rango a **C** y pulse el botón (PRESS ON). Verificar si la aguja del galvanómetro está dentro del rango verde “P/C CHECK”

- b. Comprobación del estado de puesta a tierra de la varilla de tierra auxiliar P.

Ajuste el selector de rango a **P** y pulse el botón (PRESS ON). Verificar si la aguja del galvanómetro está dentro del rango verde “P/C CHECK”.

Si la aguja del galvanómetro no está dentro del rango verde, la resistencia de puesta a tierra de la varilla de tierra auxiliar es muy alto y no se obtuvieron resultados de medición precisos. Cambie la posición de la varilla y / o asegúrese de que el suelo tenga suficiente humedad (vierta agua si es necesario). Luego, repita la comprobación.

6. Comprobación de la resistencia a tierra auxiliar.

Ajuste el selector de rango a una posición adecuada (x 1 Ω , x 10 Ω , x 100 Ω ,) y pulse el botón (PRESS ON). Mientras se está manteniendo el botón pulsado, gire el dial hasta que el galvanómetro este equilibrado (hasta que la aguja apunte al centro de la  escala).

A continuación, lea la indicación en el dial de resistencia y multiplíquelo con el ajuste del rango selector. El resultado es la resistencia de puesta a tierra.

ADVERTENCIA: No manipule las varillas auxiliares mientras está pulsando el botón (PRESS ON) ya que, en ese instante, el telurómetro inyecta tensiones altas a las mismas.

En la figura 65 se encuentran ubicadas las picas auxiliares, mientras que en la figura 66, la conexión del primer cable de color rojo al electrodo de tierra de uno de los pozos.



Figura 65. Alineación de picas auxiliares



Figura 66. Conexión al electrodo de tierra

En tabla 19 se detalla los valores de resistencia del SPAT obtenidos en la Planta de tratamiento de agua Conocoto.

Tabla 19

Valores de resistencia de las Mallas de Puesta a Tierra

PUESTA A TIERRA DE:	NOMBRE	VALOR (Ω)
De potencia	M1	1.5
	MP1	3.6
Protección atmosférica	MP2	9
	MP3	2.8
Equipos de procesamiento de datos	MTD	2.8

3.2.2. Diagnóstico de la malla M1

El Generador de Emergencia, el Tablero de Transferencia Automática y el Tablero de Distribución Principal se encuentran conectados a la malla M1, siendo una malla de protección o de fuerza.

La resistencia de M1 es de 1.5 Ω . Véase en la figura 67, lo cual indica que está dentro de la normativa vigente, véase apartado 2.5.2. sección a.



Figura 67. Valor de resistencia de M1

Las características de M1 son las siguientes:

- Forma rectangular.
- Se encuentra a una profundidad de 0.50 m.
- Seis electrodos de 1.80 m de longitud y 5/8" de diámetro.
- Utiliza un calibre de conductor de 2/0 AWG.

- Uniones, con suelda exotérmica.
- Se utilizó aditivo químico (GEM).

En la figura 68 se muestra la configuración de M1.

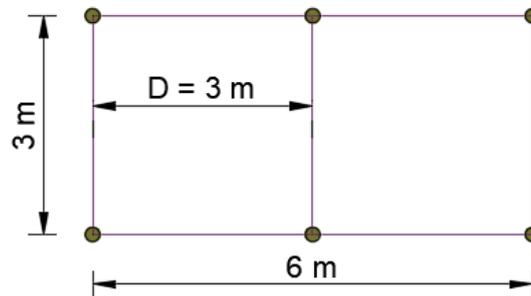


Figura 68. Configuración de M1

Debido a que la malla M1 es una malla de protección es necesario aplicar la metodología de la norma IEEE 80 indicado en el apartado 2.8, con el fin de demostrar si la configuración actual asegura la protección del personal, considerándose tensiones de toque y paso tolerables por ser una malla de protección o de fuerza.

a. Aplicación de la normativa IEEE 80.

La Planta de tratamiento de agua Conocoto, es alimentada por un transformador perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito S.A. En el caso de que este suministro falle en el lugar, existe un generador de emergencia con tensión de suministro igual al del transformador.

Debido a que en la malla M1 se utilizó el material conductor (GEM), el cual ayudó a disminuir la resistividad del terreno, se es necesario conocer la resistencia específica que tiene el terreno en el área que ocupa la malla para poder conocer si la malla está correctamente dimensionada y protege al personal de tensiones peligrosas.

Se utilizará las ecuaciones 15, 16, 17, 18, 19 y 20, para obtener el valor de resistencia de la malla sino hubiera tenido un previo tratamiento químico al terreno, y así poder hacer una relación con el valor medido y calculado de la resistencia de malla utilizando un valor de resistividad del terreno de 51.6 Ωm .

$$K_1 = \frac{\sqrt{6*3}}{2} * 1,84 \left[\frac{1}{6} * \ln\left(\frac{6 + \sqrt{6^2+3^2}}{3}\right) + \frac{1}{3} * \ln\left(\frac{3 + \sqrt{6^2+3^2}}{6}\right) + \frac{6}{3*3^2} + \frac{3}{3*6^2} - \frac{(6^2+3^2)}{3*6^2*3^2} * \sqrt{6^2+3^2} \right]$$

$$K_1 = \frac{\sqrt{6*3}}{2} * 1,84 \left[0,24 + 0,16 + \frac{2}{9} + \frac{1}{36} - 0,31 \right]$$

$$K_1 = 1,33$$

$$K_2 = \ln\left(\frac{4(6+3)}{3}\right) + 2(1,33) * \frac{(6+3)}{\sqrt{6*3}} - \frac{\ln\left(6 + \sqrt{6^2 + \left(\frac{3}{2}\right)^2}\right)}{\frac{3}{2}} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{(3/2) + \sqrt{6^2 + \left(\frac{3}{2}\right)^2}}{(-3/2) + \sqrt{6^2 + \left(\frac{3}{2}\right)^2}}\right)$$

$$K_2 = 2,48 + 5,64 - 1,67 - 0,25$$

$$K_2 = 6,2$$

$$R_1 = \frac{51,6}{\pi * 21} \left[\ln\left(\frac{2 * 21}{\sqrt{0,01051 * 0,5}}\right) + 1,33 * \left(\frac{21}{\sqrt{18}}\right) - 6,2 \right]$$

$$R_1 = 0,78[6,36 + 6,58 - 6,2]$$

$$R_1 = 5.26 \Omega$$

$$R_2 = \frac{51.6}{2\pi * 6 * 1.80} \left[\ln \left(\frac{8 * 1.80}{0.015875} \right) - 1 + 2(1.33) \left(\frac{1.80}{\sqrt{18}} \right) - (\sqrt{6} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 0.76[6.81 - 1 + 1.13 - 2.10]$$

$$R_2 = 3.68 \Omega$$

$$R_m = \frac{51.6}{\pi * 21} \left[\ln \left(\frac{2 * 21}{1.80} \right) + (1.33) \left(\frac{21}{\sqrt{18}} \right) - 6.2 + 1 \right]$$

$$R_m = 0.78[3.15 + 6.58 - 5.2]$$

$$R_m = 3.53 \Omega$$

$$R_g = \frac{5.26 * 3.68 - (3.53)^2}{5.26 + 3.68 - 2(3.53)}$$

$$R_g = 3.67 \Omega$$

El valor 3.67 Ω sería la resistencia de la malla M1 si no hubiera tenido un tratamiento químico previo del terreno, pero debido que se adiciono GEM durante la implementación de la malla es que obtenemos un valor superior al medido (1.50 Ω).

Si con un valor de resistividad del terreno de 51.6 Ωm obtengo una resistencia 3.67 Ω , para 1.50 Ω la resistividad del terreno real con la cual fue construida la malla M1 tras previo adiconamiento de GEM es, aproximadamente 21.08 Ωm .

Por lo tanto, considerando que la resistividad del terreno para M1 es $21.08 \Omega m$, se procederá a utilizar la normativa IEEE 80-2000 para poder conocer si M1 cumple con todas las condiciones de seguridad.

PASO 1. DATOS

Datos del transformador

Las características del transformador se detallan en la tabla 20, las mismas que servirán para los posteriores cálculos.

Tabla 20

Datos de placa del transformador

Características	Especificaciones
Marca	ECUATRAN S.A
Serie	235193
Año de fabricación	1993
Impedancia MT/BT	3.7/3.4
Frecuencia	60 Hz
Potencia Nom. KVA	125
Operación m.s.n.m	3000
No. Fases	3
Líquido aislante	Aceite
Tensión de entrada	22.8 KV
Tensión Baja Tensión	220 V
Corriente en Baja Tensión	343.3 A
Conexión	Delta-Y

Datos actuales de la malla de protección (M1)

A continuación, se detallan datos de la malla M1, tomados del apartado 3.2.2.

$$\rho = 21.08 \Omega\text{m.}$$

$$A = 6 \times 3 \text{ (m)} \longrightarrow 18 \text{ m}^2.$$

$$h = 0.50 \text{ m}$$

$$t_s = 30 \text{ ciclos} \longrightarrow 0.5 \text{ s}$$

PASO 2. DETERMINACIÓN DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR

Con los datos del transformador, se utiliza las ecuaciones: 37, 38, 39 y 40, para obtener I_{cc} .

$$I_{sec} = \frac{125 * 1000}{\sqrt{3} * 220}$$

$$I_{sec} = 328.04 \text{ A}$$

$$I_{cc-max-sec} = \frac{100\%}{3.4\%} * 328.04$$

$$I_{cc-max-sec} = 9648.24 \text{ A}$$

$$I_{cc-asim} = 9648.24 * 1.25$$

$$I_{cc-asim} = 12060.3 \text{ A}$$

$$I_{cc-max-pri} = \frac{\sqrt{3} * 220}{22800} * 9648.24$$

$$I_{cc-max-pri} = 161.25 \text{ A}$$

$I_{cc-max-pri}$ se empleará en el paso 6, con el fin de calcular la máxima I_{cc} de la malla

Con la corriente asimétrica del secundario del transformador ($I_{cc-asim}$) se obtiene el calibre del conductor. Se aplica ecuación 6.

K_f se obtiene de la tabla 7, considerando que el material a usar es cobre duro, utilizando suelda exotérmica.

$$A_{kcmil} = 12.06 * 7.06 * \sqrt{0.5} [mm^2]$$

$$A_{kcmil} = 60.21 \text{ kcmil}$$

El valor obtenido en Kcmil es igual a 30.52 mm², se selecciona el calibre del conductor de acuerdo a la tabla 8. Se considera el valor próximo y no menor al calculado en el área nominal del conductor.

En el caso de la malla M1 está construida con un calibre 2/0 por lo que no hay ningún inconveniente al respecto. Considerándose que el calibre mínimo según la NEC es de 1/0 AWG.

PASO 3. LÍMITE DE TENSIONES DE TOQUE Y PASO.

Para limitar las tensiones peligrosas, se utiliza las ecuaciones: 9 y 10 ya que se considera los cálculos para una persona de 70 Kg. Tomando en cuenta que no se utiliza ninguna capa protectora $C_s = 1$ y $\rho_s = \rho$.

$$V_{\text{paso tolerable}} = \frac{(1000 + 6 * 1 * 21.08) * 0,157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{\text{paso tolerable}} = 250.11 \text{ V}$$

$$V_{\text{contacto tolerable}} = \frac{(1000 + 1,5 * 1 * 21.08) * 0,157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{\text{contacto tolerable}} = 229.05 \text{ V}$$

PASO 4. DISEÑO ACTUAL DE M1

Para calcular la longitud del conductor que se utilizó para la malla M1, se empleará las ecuaciones: 12 y 13.

Datos para el cálculo:

Los datos que se presentan a continuación son tomados del apartado 3.2.2.

$$L_x = 6 \text{ m}$$

$$L_y = 3 \text{ m}$$

$$L_p = 18 \text{ m}$$

$$D = 3 \text{ m}$$

$$N = 6$$

$$L_V = 1.8 \text{ m}$$

$$L_C = \left(\frac{6}{3} + 1\right) * 3 + \left(\frac{3}{3} + 1\right) * 6 \text{ [m]}$$

$$L_C = 21 \text{ m}$$

$$L_T = 21 + 6 * 1.8 \text{ [m]}$$

$$L_T = 31.8 \text{ m}$$

PASO 5. RESISTENCIA DE LA MALLA DE TIERRA

Conocemos que por medición la resistencia de M1 es 1.5Ω . Se utilizará las ecuaciones 15, 16, 17, 18, 19 y 20 para comprobar por cálculos dicha medición.

$$K_1 = \frac{\sqrt{6 * 3}}{2} * 1.84 \left[\frac{1}{6} * \ln\left(\frac{6 + \sqrt{6^2 + 3^2}}{3}\right) + \frac{1}{3} * \ln\left(\frac{3 + \sqrt{6^2 + 3^2}}{6}\right) + \frac{6}{3 * 3^2} + \frac{3}{3 * 6^2} - \frac{(6^2 + 3^2)}{3 * 6^2 * 3^2} * \sqrt{6^2 + 3^2} \right]$$

$$K_1 = \frac{\sqrt{6 * 3}}{2} * 1.84 \left[0.24 + 0.16 + \frac{2}{9} + \frac{1}{36} - 0.31 \right]$$

$$K_1 = 1.33$$

$$K_2 = \ln\left(\frac{4(6 + 3)}{3}\right) + 2(1.33) * \frac{(6 + 3)}{\sqrt{6 * 3}} - \frac{\ln\left(6 + \sqrt{6^2 + \left(\frac{3}{2}\right)^2}\right)}{\frac{3}{2}} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{(3/2) + \sqrt{6^2 + \left(\frac{3}{2}\right)^2}}{(-3/2) + \sqrt{6^2 + \left(\frac{3}{2}\right)^2}}\right)$$

$$K_2 = 2.48 + 5.64 - 1.67 - 0.25$$

$$K_2 = 6.2$$

$$R_1 = \frac{21.08}{\pi * 21} \left[\ln \left(\frac{2 * 21}{\sqrt{0.01051 * 0.5}} \right) + 1.33 * \left(\frac{21}{\sqrt{18}} \right) - 6.2 \right]$$

$$R_1 = 0.31[6.36 + 6.58 - 6.2]$$

$$R_1 = 2.08 \Omega$$

$$R_2 = \frac{21.08}{2\pi * 6 * 1.80} \left[\ln \left(\frac{8 * 1.80}{0.015875} \right) - 1 + 2(1.33) \left(\frac{1.80}{\sqrt{18}} \right) - (\sqrt{6} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 0.31[6.81 - 1 + 1.13 - 2.10]$$

$$R_2 = 1.5 \Omega$$

$$R_m = \frac{21.08}{\pi * 21} \left[\ln \left(\frac{2 * 21}{1.80} \right) + (1.33) \left(\frac{21}{\sqrt{18}} \right) - 6.2 + 1 \right]$$

$$R_m = 0.31[3.15 + 6.58 - 5.2]$$

$$R_m = 1.4 \Omega$$

$$R_g = \frac{2.08 * 1.5 - (1.4)^2}{2.08 + 1.5 - 2(1.4)}$$

$$R_g = 1.5 \Omega$$

Se demuestra que, 21.08 Ωm es la resistividad del terreno especifica en el área que ocupa la malla M1.

PASO 6. MÁXIMA CORRIENTE DE FALLA (I_G) Y POTENCIAL DE TIERRA (GPR).

Para calcular I_G se aplica la ecuación 22.

$$I_G = 1,9 * 161.25$$

$$I_G = 306.378 \text{ [A]}$$

Para calcular GPR se aplica la ecuación 21.

$$GPR = 306.378 * 1.5[V]$$

$$GPR = 459.57 \text{ V}$$

Se compara el resultado obtenido con $V_{\text{contacto tolerable}}$.

$$459.57 \text{ V} > 229.05 \text{ V}$$

Debido a que $GPR > V_{\text{contacto tolerable}}$, se continua a calcular las máximas tensiones de malla y paso en caso de falla.

PASO 7. MÁXIMA TENSION DE MALLA EN CASO DE FALLA (E_m).

Para encontrar E_m se utiliza las ecuaciones: 23, 24, 25, 27,28, 29, 33.

$$n_a = \frac{2 * 21}{18}$$

$$n_a = 2.33$$

$$n_b = 1$$

$$n_c = 1$$

$$n_d = 1$$

$$n = 2.33 * 1 * 1 * 1$$

$$n = 2.33$$

$$K_{ii} = 1$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}}$$

$$K_h = 1.22$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left\{ \ln \left[\frac{3^2}{16 * 0.5 * 0.01051} + \frac{(3 + 2 + 0.5)^2}{8 * 3 * 0.01051} - \frac{0.5}{4 * 0.01051} \right] + \frac{1}{1.22} * \ln \left[\frac{8}{\pi * (2 * 2.33 - 1)} \right] \right\}$$

$$K_m = \frac{1}{2\Omega} * \left\{ \ln[215.07] + \frac{1}{1.22} * (-0.36) \right\}$$

$$K_m = 0.808$$

$$K_i = 0.664 + 0.148 * 2.33$$

$$K_i = 1.009$$

$$E_m = \frac{21.08 * 0.808 * 1.009 * 306.378}{21 + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{1.8}{\sqrt{6^2 + 3^2}} \right) \right] * 6 * 1.8}$$

$$E_m = 127.57 \text{ V}$$

Si $E_m > V_{\text{contacto tolerable}}$, es necesario cambiar la configuración de la malla

$E_m < V_{\text{contacto tolerable}}$, se puede calcular la máxima tensión de paso en caso de falla.

Debido a que $127.57 \text{ V} < 229.05 \text{ V}$, se procede a realizar lo antes mencionado.

PASO 8. MÁXIMA TENSIÓN DE PASO EN CASO DE FALLA.

Para calcular la tensión máxima de paso en caso de falla se utilizan las ecuaciones 34, 35 y 36.

$$L_s = 0.75 * 21 + 0.85 * 1.8$$

$$L_s = 17.28 \text{ m}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0.5} + \frac{1}{3 + 0.5} + \frac{1}{3} (1 - 0.5^{2.33-2}) \right]$$

$$K_s = 0.43$$

$$V_{paso\ max} = \frac{21.08 * 0.43 * 1.009 * 306.378}{17.28}$$

$$V_{paso\ max} = 162.16\ V$$

Si, $V_{paso\ max} > V_{paso\ tolerable}$, se debe cambiar la configuración.

Si, $V_{paso\ max} < V_{paso\ tolerable}$, el diseño ha concluido.

$162.16\ V < 250.11\ V$, se demuestra que la malla M1 está correctamente dimensionada.

3.2.3. Diagnóstico de la malla MP1

La malla MP1 es utilizada para desfogar la energía captada por el pararrayo P1. La figura 69 muestra el valor de la resistencia de MP1, siendo $3.6\ \Omega$ un valor aceptable dentro de la norma, que menciona que una malla para pararrayo no debe ser superior a $10\ \Omega$.



Figura 69. Valor de resistencia MP1

Las características técnicas con las que MP1 fue construida, se mencionan a continuación:

- Forma triangular.
- Tres electrodos de 1.80 m de longitud y 5/8" de diámetro.
- Utiliza un calibre de conductor de 2/0 AWG.
- Uniones, con suelda exotérmica.

En la figura 70 se puede observar la distancia de separación de cada electrodo que forma la malla MP1.

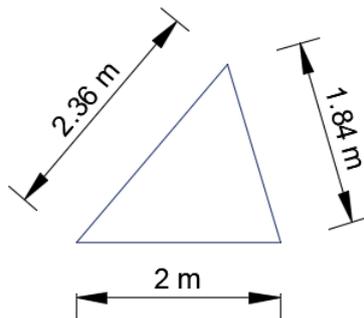


Figura 70. Malla MP1

3.2.4. Diagnóstico de la malla MP2

Utilizando el telurómetro HIOKI “3151 EARTH HiTESTER” y siguiendo los pasos indicados en el apartado 3.2.1. apartado a, se obtuvo 9Ω en la malla MP2. Véase la figura 71.



Figura 71. Valor de resistencia MP2

Dicho valor obtenido, es inferior a 10Ω , por lo que no hay necesidad de hacer ninguna modificación a la malla del pararrayo P2 (MP2).

Las características MP2 son enlistadas a continuación:

- Forma triangular
- Tres electrodos de 1.80 m de longitud y 5/8" de diámetro.
- Utiliza un calibre de conductor de 2/0 AWG.
- Uniones, con suelda exotérmica.
- Profundidad de enterramiento, 0.45 m

En la figura 72 se indica a la configuración de dicha malla de tierra.

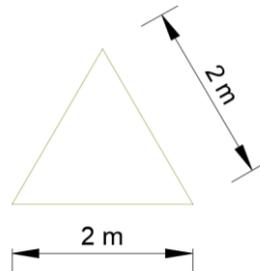


Figura 72. Malla MP2

3.2.5. Diagnóstico de la malla MP3.

La malla MP3 se encuentra con un valor de resistencia de 2.8Ω (ver figura 73), lo cual indica que se encuentra en buen estado, tomando como referencia que una malla para pararrayos no debe exceder a 10Ω .



Figura 73. Valor de resistencia MTD y MP3

La configuración de la malla MP3, se encuentra de la siguiente manera:

- Forma triangular

- Tres electrodos de 1.80 m de longitud y 5/8" de diámetro.
- Utiliza un calibre de conductor de 2/0 AWG.
- Uniones, con suelda exotérmica.
- Profundidad de enterramiento, 0.45 m

En la figura 74 se muestra la distancia de separación de cada electrodo que forma la malla MP3.

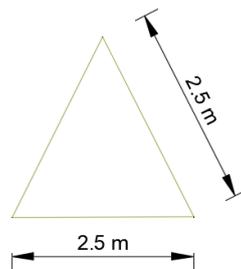


Figura 74. Malla MP3

La malla MP3 está en buenas condiciones por lo que no hay necesidad de hacer mejora alguna.

3.2.6. Diagnóstico de la malla MTD.

La malla del Cuarto “Válvulas de distribución” (MTD) se encuentra enlazada (ver figura 75) mediante conectores mecánicos (ver figura 76) a la malla MP3, por lo tanto, el valor de resistencia de MTD es el mismo que en la malla MP3, es decir 2.8 Ω .

Además, la unión de las mallas: MTD y MP3 debió haberse hecho mediante un descargador equipotencial, no solo con conectores mecánicos.



Figura 75. *Conexión de la Malla MTD y MP3*



Figura 76. *Unión de mallas MTD y MP3 mediante conectores*

Por tal motivo se procederá a unir la malla MTD y MP3 mediante un descargador equipotencial, debidamente soldadas con suelda exotérmica.

3.2.7. Mediciones de la resistencia de puesta a tierra (PAT) en los tableros secundarios y de control.

Existen varios tableros secundarios ubicados en diferentes lugares para la alimentación de equipos, necesarios para cumplir con todas las etapas de potabilización del agua. Se encuentran equipos electrónicos de control de caudal, arrancadores suaves para las bombas, balanzas, entre otros.

El diagrama unifilar de la Planta (Anexo 2), muestra de forma general la instalación eléctrica para la identificación de los tableros.

Al no conocer si existen mallas de tierra para todos los cuartos donde existen equipos electrónicos, fue necesario utilizar un medidor de resistencia, tipo pinza.

El medidor de pinza HEME GEO 30, es el instrumento que se utilizó para medir la resistencia de PAT en los tableros. Observe la figura 77.



Figura 77. Medidor de tierra tipo pinza. HEME GEO 30

En todos los tableros secundarios no existe aislamiento eléctrico entre neutro y tierra, provocando que exista corrientes parásitas y ruidos eléctricos en el sistema, porque es necesario colocar bornes de tierra y neutro en los tableros secundarios y de control.

A continuación, se detallará en cada cuarto, las mediciones realizadas en los tableros.

a. Tanque de consumo interno

La medición de resistencia de puesta a tierra en el Tablero de Control Hidroneumático Bomba 1, Bomba 2 y Compresor (ver figura 78), no es el apropiado ya que en la tabla 5 se detalla que, por ser una puesta a de tierra para equipos de procesamiento de datos, debe ser menor a 5Ω .



Figura 78. Valor de resistencia de puesta a tierra

Existe un pozo de revisión eléctrico (figura 79), donde se encuentra una varilla de tierra. Utilizando un multímetro, se tiene como conclusión que dicha varilla es utilizada para el Cuarto “Tanque de Consumo Interno” y para el Edificio Químico; pero debido a su alta valor de

resistencia, es necesario construir una malla de tierra y conectarla a dicha varilla, para optimizar el valor mostrado en la figura 78.



Figura 79. Pozo de revisión eléctrico

✓ **Configuración de la malla de tierra para el Cuarto “Tanque de Consumo Interno” y Edificio Químico.**

La malla de tierra para el cuarto “Tanque de Consum Interno” o MTCI tendrá las siguientes configuraciones:

- Forma rectangular.
- Seis electrodos de 1.8 m de longitud y 5/8” de diámetro.
- Calibre de conductor 1/0 AWG.
- Uniones, con suelda exotérmica.

En la figura 80 se muestra la configuración propuesta para la malla del cuarto de válvulas de distribución.

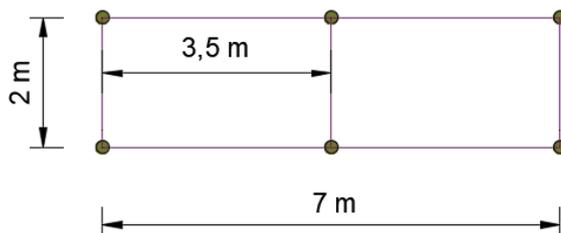


Figura 80. Configuración propuesta de MTCI

Se utilizará las ecuaciones 15, 16, 17, 18, 19 y 20 para calcular la resistencia que tendrá la malla MTCI, considerando que el valor de la resistividad del terreno, de acuerdo a la tabla 17, es $52.2 \Omega\text{m}$.

$$K_1 = \frac{\sqrt{7*2}}{2} * 1,84 \left[\frac{1}{7} * \ln\left(\frac{7 + \sqrt{7^2+2^2}}{2}\right) + \frac{1}{2} * \ln\left(\frac{2 + \sqrt{7^2+2^2}}{7}\right) + \frac{7}{3*2^2} + \frac{2}{3*7^2} - \frac{(7^2+2^2)}{3*7^2*2^2} * \sqrt{7^2+2^2} \right]$$

$$K_1 = \frac{\sqrt{7*2}}{2} * 1,84 \left[0,28 + 0,14 + \frac{7}{12} + \frac{2}{147} - 0,66 \right]$$

$$K_1 = 1,23$$

$$K_2 = \ln\left(\frac{4(7+2)}{2}\right) + 2(1,23) * \frac{(7+2)}{\sqrt{7*2}} - \frac{\ln\left(7 + \sqrt{7^2 + \left(\frac{2}{2}\right)^2}\right)}{\frac{2}{2}} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{(2/2) + \sqrt{7^2 + \left(\frac{2}{2}\right)^2}}{(-2/2) + \sqrt{7^2 + \left(\frac{2}{2}\right)^2}}\right)$$

$$K_2 = 2,89 + 7,38 - 2,64 - 0,14$$

$$K_2 = 7,49$$

$$R_1 = \frac{52,2}{\pi * 20} \left[\ln\left(\frac{2 * 20}{\sqrt{0,00936 * 0,5}}\right) + 1,23 * \left(\frac{20}{\sqrt{14}}\right) - 7,49 \right]$$

$$R_1 = 0.83[6.37 + 6.57 - 7.49]$$

$$R_1 = 4.52 \Omega$$

$$R_2 = \frac{52.2}{2\pi * 6 * 1.80} \left[\ln\left(\frac{8 * 1.80}{0.015875}\right) - 1 + 2(1.23)\left(\frac{1.80}{\sqrt{14}}\right) - (\sqrt{6} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 0.77[6.81 - 1 + 1.18 - 2.10]$$

$$R_2 = 3.77 \Omega$$

$$R_m = \frac{52.2}{\pi * 20} \left[\ln\left(\frac{2 * 20}{1.80}\right) + (1.23)\left(\frac{20}{\sqrt{14}}\right) - 7.49 + 1 \right]$$

$$R_m = 0.83[3.1 + 6.57 - 6.49]$$

$$R_m = 2.64 \Omega$$

$$R_g = \frac{4.52 * 3.77 - (2.64)^2}{4.52 + 3.77 - 2(2.64)}$$

$$R_g = 3.35 \Omega$$

El valor 3.35 Ω es correcto por ser inferior a 5 Ω , indicado en el apartado 2.5.2. sección a. Para optimizar dicho valor de resistencia de malla, es decir, obtener un valor menor al calculado y preservar la resistencia de la malla de tierra, es necesario utilizar aditivo químico (GEM) en la implementación de la malla de tierra.

b. Balanzas de cloro

En la figura 81 se puede observar que no hay un conductor adecuado para la conexión a tierra realizada en el Tablero Secundario, ya que el cable de color amarillo es de calibre 10 AWG, y lo mínimo a usar es 1/0 AWG mencionado en el apartado 2.6.



Figura 81. Tablero Secundario

En la figura 82 se puede observar que el cable de color amarillo está unida a la varilla de tierra mediante un conector mecánico. Además, mediante el multímetro se dedujo que el conductor señalado, une la malla M1 y MTD.



Figura 82. Pozo de revisión eléctrico

Además, se obtuvo un valor de medición alto de puesta a tierra en uno de los tableros de control del cuarto “Balanzas de Cloro”, como se muestra en la figura 83.



Figura 83. Valor de puesta a tierra

Por consiguiente, es necesario cambiar el calibre del conductor de tierra, desde la varilla hasta el tablero secundario del lugar, y construir una malla de tierra para el Cuarto “Balanzas de Cloro”. La malla construida, la varilla de tierra, el conductor de tierra para el tablero y el conductor de unión entre mallas, se debe enlazar a la varilla de tierra mostrada en la figura 82.

✓ **Configuración de la malla de tierra para el Cuarto “Balanzas de Cloro”.**

La malla de tierra para el Cuarto “Balanzas de Cloro”, denominada MBC, tendrá las siguientes características:

- Forma rectangular.
- Seis electrodos de 1.8 m de longitud y 5/8” de diámetro.

- Calibre de conductor 1/0 AWG.
- Uniones, con suelda exotérmica.

En la figura 84 se muestra la configuración propuesta para la malla del Cuarto “Balanzas de Cloro”.

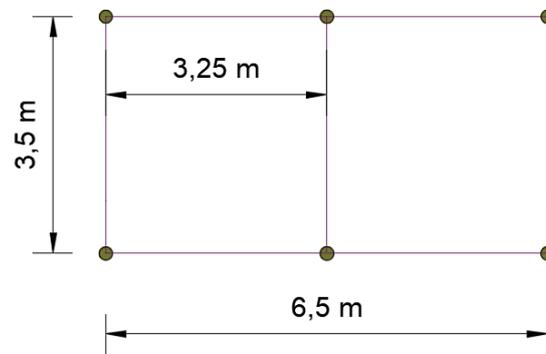


Figura 84. Configuración propuesta de MBD

Se utilizará las ecuaciones 15, 16, 17, 18, 19 y 20 para calcular la resistencia que tendrá la malla MBC, considerando que el valor de la resistividad del terreno, de acuerdo a la tabla 17, es $32.5 \Omega\text{m}$.

$$K_1 = \frac{\sqrt{6.5 * 3.5}}{2} * 1,84 \left[\frac{1}{6.5} * \ln \left(\frac{6.5 + \sqrt{6.5^2 + 3.5^2}}{3.5} \right) + \frac{1}{3.5} * \ln \left(\frac{3.5 + \sqrt{6.5^2 + 3.5^2}}{6.5} \right) + \frac{6.5}{3 * 3.5^2} + \frac{3.5}{3 * 6.5^2} - \frac{(6.5^2 + 3.5^2)}{3 * 6.5^2 * 3.5^2} \right] * \sqrt{6.5^2 + 3.5^2}$$

$$K_1 = \frac{\sqrt{6.5 * 3.5}}{2} * 1,84 \left[0.21 + 0.15 + \frac{26}{147} + \frac{14}{507} - 0.26 \right]$$

$$K_1 = 1.34$$

$$K_2 = \ln\left(\frac{4(6.5 + 3.5)}{3.5}\right) + 2(1.34) * \frac{(6.5 + 3.5)}{\sqrt{6.5 * 3.5}} - \frac{\ln\left(6.5 + \sqrt{6.5^2 + \left(\frac{3.5}{2}\right)^2}\right)}{\frac{3.5}{2}} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{(3.5/2) + \sqrt{6.5^2 + \left(\frac{3.5}{2}\right)^2}}{(-3.5/2) + \sqrt{6.5^2 + \left(\frac{3.5}{2}\right)^2}}\right)$$

$$K_2 = 2.44 + 5.62 - 1.48 - 0.27$$

$$K_2 = 6.31$$

$$R_1 = \frac{32.5}{\pi * 23.5} \left[\ln\left(\frac{2 * 23.5}{\sqrt{0.00936 * 0.5}}\right) + 1.34 * \left(\frac{23.5}{\sqrt{22.75}}\right) - 6.31 \right]$$

$$R_1 = 0.44[6.53 + 6.6 - 6.31]$$

$$R_1 = 3 \Omega$$

$$R_2 = \frac{32.5}{2\pi * 6 * 1.80} \left[\ln\left(\frac{8 * 1.80}{0.015875}\right) - 1 + 2(1.34) \left(\frac{1.80}{\sqrt{22.75}}\right) - (\sqrt{6} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 0.48[6.81 - 1 + 1.01 - 2.10]$$

$$R_2 = 2.11 \Omega$$

$$R_m = \frac{32.5}{\pi * 23.5} \left[\ln\left(\frac{2 * 23.5}{1.80}\right) + (1.34) \left(\frac{23.5}{\sqrt{22.75}}\right) - 6.31 + 1 \right]$$

$$R_m = 0.44[3.26 + 6.6 - 5.31]$$

$$R_m = 2 \Omega$$

$$R_g = \frac{3 * 2.11 - 2^2}{3 + 2.11 - 2(2)}$$

$$R_g = 2.1 \Omega$$

El valor 2.1 Ω es correcto ya que es inferior a 5 Ω , indicado por la norma IEEE 80-2000 en el apartado 2.5.2. sección a. Para disminuir aún más dicho valor de resistencia de malla y conservar el valor de resistencia permanentemente sin considerar el estado climático, es necesario utilizar aditivo químico cuando se esté implementando la malla de tierra.

c. Subsuelo galería de filtros

Debido a que la tensión de alimentación es tomada del cuarto de Balanzas de Cloro no se necesita realizar una malla de puesta a tierra.

3.3.SÍNTESIS DEL DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

A continuación, se describe todas las decisiones tomadas para el mejoramiento y optimización del sistema de puesta a tierra.

- Las mallas de los pararrayos (MP1, MP2 y MP3) no tendrán ninguna modificación ya que sus valores de resistencia están dentro de la norma.
- Construcción de dos mallas de tierras; una para el Cuarto “Tanque de Consumo Interno” y Edificio Químico y otra para el Cuarto “Balanzas de Cloro”.

- Uniones de mallas, conductores y varillas de tierra en los pozos de revisión eléctrica, mediante suelda exotérmica.
- Unión de la malla MTD y MP3 mediante una bobina de choque (descargador equipotencial), y reemplazo de conectores mecánicos por suelda exotérmica.
- Utilización de aditivo químico GEM para mejorar la resistencia de las mallas de tierra que se construirán y tener un valor constante.

3.4.DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE PARARRAYOS

Debido a que no existe información sobre el nivel de protección y radio de cobertura de los pararrayos, datos importantes para conocer si protegen toda la Planta de descargas atmosféricas, y poder tomar decisiones correctivas si el resultado no es el esperado.

3.4.1. Pararrayo P1

a. Memoria técnica P1

- **Fecha de instalación:** 26 noviembre 2018
- **Tipo:** Punta ionizante profesional
- **Marca:** IONIFLASH
- **Modelo:** IONIFLASH MACH NG 60
- **Serie:** J60 789
- Avance de cebado limitado según la norma NF C 17-102: 60 μ s.
- Pararrayo con Dispositivo de Cebado Acero Inox 316L-cabeza captadora sola.

- **Cable:** TTU 2/0
- El pararrayo está ubicado en la torre de telecomunicaciones a 45 m de altura.
- El mástil tiene una altura de 4.5 m.
- El plinto de la torre mide, 25 cm.
- El edificio cercano más alto tiene una altura de 4 m.

En la figura 85 se encuentra las alturas en metros a las que P1 fue instalado, y en la figura 86 la cabeza captadora.

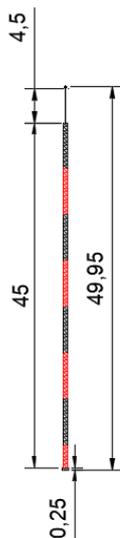


Figura 85. Pararrayo, P1

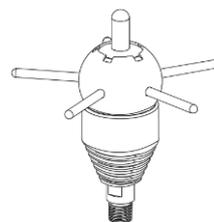


Figura 86. Cabeza captadora, P1

b. Nivel de protección del pararrayo P1

PASO 1. FRECUENCIA ESPERADA DE IMPACTOS DIRECTOS DE RAYOS (N_e)

Densidad de Impactos de Rayos a tierra por Km² al año (N_a)

Según la figura 42, Quito tiene **8** impactos por Km² al año

Área de captura equivalente del edificio (A_e)

Para determinar A_e se considera los siguientes valores, tomados de campo:

$$a = 74.5674 \text{ m}$$

$$l = 120.1638 \text{ m}$$

$$h = 4 \text{ m}$$

Empleando los valores descritos, se reemplazan en la ecuación 43 para obtener la superficie de captura equivalente. A_e

$$A_e = (74,5674 * 160,1638) + 6 * 4 * (74,5674 * 160,1638) + 9 * \pi * 4^2$$

$$A_e = 18\,028,94 \text{ m}^2$$

$$A_e = 18\,029 \text{ m}^2$$

Coefficiente C1

Para determinar el coeficiente C1 se utiliza la tabla 10.

Próximo a otros edificios o árboles de la misma altura o más edificio, C1=0,5

Nº impactos/año

Para determinar el un número de impactos/año se emplea la ecuación 42.

$$N_e = N_g * A_e * C1 * 10^{-6} [n^{\circ} \text{ impactos/año}]$$

$$N_e = 8 * 18\,029 * 0,5 * 10^{-6}$$

$$N_e = 0,072116$$

Riesgo Admisible

Los coeficientes C2, C3, C4 y C5 se utilizan las tablas 11, 12, 13 y 14 respectivamente.

- **C2**

Estructura de hormigón con cubierta de hormigón, C2 =1

- **C3**

Inflamable, C3 =3

- **C4**

Resto de edificios C4 =1

- **C5**

Edificio cuyo deterioro pueda interrumpir un servicio imprescindible. C5= 5

Por último, para obtener la frecuencia de rayos N_a , se reemplazan los valores obtenidos con anterioridad en la utiliza la ecuación 44.

$$N_a = \frac{5,5}{1 * 3 * 1 * 5}$$

$$N_a = 0,000366$$

Debido a que la frecuencia esperada es mayor que el riesgo admisible

$$N_e(0,072116) > N_a(0,000366)$$

Es necesario la implementación de un pararrayo.

PASO 2. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA INSTALACIÓN

Empleando en la ecuación 45, la frecuencia de rayos y el N ° de impactos/año, se obtiene la eficiencia de una instalación de protección para descargas atmosféricas.

$$E = 1 - \frac{0,000366}{0,072116}$$

$$E = 0,99$$

De acuerdo con la tabla 15, si $E \geq 0,98$ se considera **Nivel de Protección 1**

c. Radio de cobertura P1

En el Anexo 3 se encuentra la ficha técnica de P1.

Utilizando la ecuación 47, obtenida del Anexo 3, se puede obtener el radio de cobertura de P1.

Ecuación 47

$$Rp(h) = \sqrt{h(2r - h) + \Delta(2r + \Delta)}$$

Donde:

h Altura de la punta del pararrayo con relación al plano horizontal ocupado por el punto más alto del elemento a proteger.

r(m) Distancia de cebado, en función al nivel de protección.

Δ (m) Distancia en función del tiempo del avance de cebado (Δt)

Rp el radio de la esfera en m que define la zona protegida.

DATOS

h = 44.7 m. Ver Anexo 4.

r = 20 m. Observar la tabla 16

$$\Delta(m) = 60$$

$$Rp(h) = \sqrt{44.7(2 * 20 - 44.7) + 60(2 * 20 + 60)}$$

$$Rp(h) = 76.09 \text{ m}$$

3.4.2. Pararrayo P3

a. Memoria Técnica P3

- **Fecha de instalación:** octubre 2015
- **Marca:** ABB
- **Modelo:** OPR60
- Avance de cebado limitado según la norma NF C 17-102: 60 μ s.
- Está instalado en las torres de comunicaciones a una altura de 35 metros sobre el cuarto de válvulas.
- El mástil tiene una altura de 2.3 m, el cual está unido al pararrayo.
- El plinto de la torre mide, 1 m.
- El edificio cercano más alto tiene una altura de 8 m, con respecto a la superficie a la que está asentada la torre del pararrayo.
- El sistema incluye un contador de descargas atmosféricas para poder determinar las incidencias soportadas por el sistema de protección, en caja con grado de protección IP68.

En la figura 87 se encuentra las alturas en metros a las que P3 fue instalado, y en la figura 88 la cabeza captadora.

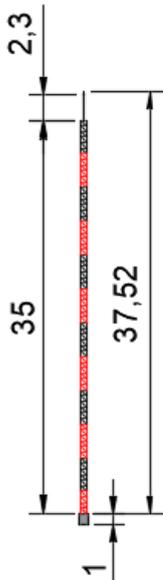


Figura 87. Pararrayo, P3



Figura 88. Cabeza captadora, P3

b. Nivel de protección

PASO 1. FRECUENCIA ESPERADA DE IMPACTOS DIRECTOS DE RAYOS (N_e)

Densidad de Impactos de Rayos a tierra por Km^2 al año (N_a)

Según la figura 42, Quito tiene **8** impactos por Km^2 al año

Área de captura equivalente del edificio (A_e)

Para determinar A_e se considera los siguientes valores, tomados de campo:

$$a = 74.5674 \text{ m}$$

$$l = 120.1638 \text{ m}$$

$$h = 8 \text{ m}$$

Empleando los valores descritos, se reemplazan en la ecuación 43 para obtener la superficie de captura equivalente A_e .

$$A_e = (74,5674 * 160,1638) + 6 * 8 * (74,5674 * 160,1638) + 9 * \pi * 8^2$$

$$A_e = 25\,019,65 \text{ m}^2$$

$$A_e = 25\,020 \text{ m}^2$$

Coficiente C1

Para determinar el coeficiente C1 se utiliza la tabla 10.

Próximo a otros edificios o árboles de la misma altura o más edificio, C1=0,5.

Nº impactos/año

Para determinar el un número de impactos/año se emplea la ecuación 42.

$$N_e = N_g * A_e * C1 * 10^{-6} \text{ [nº impactos/año]}$$

$$N_e = 8 * 25\,020 * 0,5 * 10^{-6}$$

$$N_e = 0,10008$$

Riesgo Admisible

Los coeficientes C2, C3, C4 y C5 se utilizan las tablas 11, 12, 13 y 14 respectivamente.

- **C2**

Estructura de hormigón con cubierta de hormigón, C2 =1

- **C3**

Inflamable, C3 =3

- **C4**

Resto de edificios C4 =1

- **C5**

Edificio cuyo deterioro pueda interrumpir un servicio imprescindible. C5= 5

Por último, para obtener la frecuencia de rayos N_a , se reemplazan los valores obtenidos con anterioridad en la utiliza la ecuación 44.

$$N_a = \frac{5,5}{1 * 3 * 1 * 5}$$

$$N_a = 0,000366$$

Debido a que la frecuencia esperada es mayor que el riesgo admisible

$$N_e(0,10008) > N_a(0,000366)$$

Es necesario la implementación de un pararrayo.

PASO 2. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA INSTALACIÓN

Empleando en la ecuación 45, la frecuencia de rayos y el N ° de impactos/año, se obtiene la eficiencia de una instalación de protección para descargas atmosféricas.

$$E = 1 - \frac{0,000366}{0,100086}$$

$$E = 0,996$$

De acuerdo con la tabla 17, si $E \geq 0,98$ se considera **Nivel de Protección 1**

c. Radio de cobertura

La misma metodología utilizada para P1 se empleará para encontrar el radio de cobertura de P3. El folleto técnico de P3, se muestra en el Anexo 5.

DATOS

$h = 30.94$ m. Ver Anexo 4.

$r = 20$ m. Observar la tabla 16

$$\Delta(m) = 60$$

$$Rp(h) = \sqrt{30.94(2 * 20 - 30.94) + 60(2 * 20 + 60)}$$

$$Rp(h) = 79.25 \text{ m}$$

3.4.3. Síntesis del diagnóstico del sistema de pararrayo

En el Anexo 6 se puede observar el radio de cobertura de los pararrayos P1 y P3 en vista superior, mientras que en el Anexo 7, el radio de cobertura de los mismos, pero desde una vista lateral.

Los pararrayos P1 y P3 protegen toda el área de la Planta de tratamiento de agua Conocoto, encontrándose instalado innecesariamente, el pararrayo P2. Por lo que para futuros mantenimientos solo se tomará en cuenta los pararrayos P1 y P3 y en el caso de ser reemplazados, debe instalarse pararrayos similares, tomando en consideración que están a un Nivel 1 de protección.

CAPÍTULO IV

MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Como se mencionó en el Capítulo 3, fue necesario modificar el sistema de puesta a tierra actual de la Planta de tratamiento de agua Conocoto, ya que en la mayoría de lugares no existe una referencia a tierra fiable. Por lo que en mencionado capítulo se detalla el proceso de construcción de las mallas y unión entre ellas, tomando en cuenta las consideraciones del capítulo anterior.

4.1. MATERIALES UTILIZADOS

En la tabla 21 se enlista los materiales utilizados en la construcción de las mallas de tierra para el mejoramiento SPAT de la Planta de tratamiento de agua Conocoto.

Tabla 21
Materiales utilizados para el SPAT

Descripción	Cantidad
Varilla de puesta a tierra Copperweld, de 1.80 de largo y 5/8" de diámetro	12 U
Conductor de cobre desnudo 1/0 AWG	85 m
Cápsula de soldadura. Cadweld Plus 115	25 U
Molde de grafito Cable-Varilla	1 U

CONTINÚA 

Molde de grafito en Cruz.	1 U
Intensificador de terreno (GEM-Aditivo Químico) saco de 25 lb	27 U
Pinzas de Manipulación de Moldes	2 U
Pistola de calor	1 U
Tubería de desagüe 6 m, 2"	3U
Tapas para tubería de desagüe, 2"	12 U
Unidad de Control Operada	1 U

Para realizar la excavación y preparación del terreno se usó los mostrados en las figuras: 89, 90, 91, 92 y 93. Mientras que la figura 94, se puede observar el material utilizado para incrustar las varillas al suelo a una distancia deseada.



Figura 89. Pala manual



Figura 90. Azadón



Figura 91. Picos



Figura 92. Barras



Figura 93. Excavadora manual de hoyos



Figura 94. Combo

Los tipos de moldes que se utilizó se muestran la figura 95.



Figura 95. Moldes de grafito para suelda exotérmica

El molde mostrado en la figura 96, se utiliza cuando se va a soldar una varilla de Copperweld con el conductor (forma en T). Además, en la placa de identificación indica que dicho molde es para calibre de conductor 1/0 AWG.



Figura 96. Molde de grafito para suelda con varilla

Por otro lado, el molde la figura 97 es utilizado para la unión entre conductores (unión en cruz), sin que exista una varilla. De igual forma las características del molde se lo muestra en la placa de identificación.



Figura 97. Molde de grafito para suelda entre conductores

Las pinzas para molde Cadweld (figura 98) son necesarias para unir el molde, consiguiendo tener un buen enganche de las partes del molde y sujeción del conductor y varilla dentro de él.



Figura 98. Pinza para molde Cadweld

Para calentar los moldes y eliminar la humedad en ellos es necesario secarlos y calentarlos mediante la pistola de calor. (Ver figura 99). En la pequeña pantalla rectangular se muestra la temperatura que está emanando el dispositivo, medida en °C y se puede configurar utilizando el botón rojo ubicado en la parte inferior de la pantalla.



Figura 99. Pistola de calor

4.2.CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LAS MALLAS DE TIERRA.

Para la construcción e instalación de las mallas es necesario seguir un debido proceso, los mismos que se describen a continuación:

- Preparación del terreno.
- Colocación de varillas Copperweld.
- Tratamiento químico de las varillas.
- Tendido del cable
- Unión de conductores y varillas con suelda exotérmica

- Tratamiento químico del conductor.
- Colocación de tubos para la revisión de cada electrodo.
- Unión de la malla con la varilla existente en el pozo de revisión eléctrica.

4.2.1. Preparación del terreno

Se señaló el perímetro de las zangas mediante cordones de seda, luego se empezó a excavar con los materiales indicados, tal como se muestra en la figura (100). El ancho de los canales de las zanjas se hizo considerando que una persona pueda caminar a través de él con normalidad y realizar actividades de soldadura con comodidad, la profundidad tuvo un valor de 80 cm.



Figura 100. Formación de canales para MTCI

Después de haber excavado en los espacios establecidos, se da por finalizado los canales. En cada esquina es necesario realizar agujeros, considerando que el diámetro mínimo de los mismos debe ser mínimo 7.5 cm. La profundidad del agujero será 15 cm menos de la longitud total de la varilla, en este caso si la varilla de Copperweld mide 1.80 m de longitud, la profundidad del agujero será 1.65 m. (ERICO)

4.2.2. Colocación de varillas Copperweld.

Una vez obtenido los 6 agujeros, se procede a colocar las varillas Copperweld en el centro de los mismos (figura 101), considerando que la varilla no debe ser incrustada en su totalidad, sino que el extremo superior de la varilla quedará aproximadamente a unos 15 cm del nivel del canal (figura 102).



Figura 101. Colocación de la varilla de tierra en hoyo



Figura 102. Varilla hincada

La figura 103 se muestra las varillas incrustadas en los agujeros ubicados en las esquinas de la malla MTCI, mientras que en la figura 104 en la malla MBC.



Figura 103. Varillas hincadas en MTCI



Figura 104. Varillas hincadas en MBC

4.2.3. Tratamiento químico de las varillas

Para brindar tratamiento químico a las varillas se utilizó el intensificador de terreno GEM, sus características técnicas fueron mencionadas en el apartado 2.5.2. apartado d. Para la preparación del producto se utilizó de 1.5 a 2 gal (5.68 a 7.57 L) de agua limpia por cada saco de 25 lbs (figura 105), obteniendo una mezcla homogénea y un poco espesa.



Figura 105. Intensificador de terreno GEM

Vaciar la cantidad de sacos GEM, mencionado en la figura 106, en el recipiente con agua y mezclar hasta obtener una mezcla homogénea (ver figura 107).

Dia. del agujero (cm)	Profundidad del agujero (m)*						
	1.8 m	2.1 m	2.4 m	2.8 m	5.2 m	5.8 m	6.1 m
7.5	2	2	2	2	4	4	4
10.0	2	3	3	3	6	7	7
12.7	3	4	4	5	9	10	10
15.2	5	5	6	7	13	14	15
17.8	6	7	8	9	17	19	20
20.3	8	9	11	12	22	25	26
22.9	10	12	13	15	28	31	32
25.4	12	14	16	18	34	38	40

Figura 106. Cantidad de sacos GEM para tratar químicamente a los electrodos

Fuente: (ERICO, 2005)



Figura 107. Preparación del intensificador de terreno (GEM)

La mezcla se colocó en los agujeros hasta cubrirlo en su totalidad. Ver figura 108. Se debe esperar al menos 30 minutos para que el compuesto se endurezca.



Figura 108. Relleno de hoyos con la mezcla de GEM

4.2.4. Tendido del cable

Después de se haya secado la mezcla del GEM se realiza el tendido del conductor desnudo, calibre 1/0 por todo el contorno de la malla (ver figura 109), procurando que esté lo más estirado posible.



Figura 109. Tendido de cable

4.2.5. Unión de conductores y electrodos con suelda exotérmica

En el proceso de soldadura exotérmica se empleó las sueldas exotérmicas Cadweld, debido a que este tipo de suelda es la más aconsejable en uniones de puesta a tierra por su gran resistencia a sufrir daños en corrosión y permite la conducción adecuada de corrientes de falla.

a. Soldadura Cadweld

Antes de iniciar el proceso de soldadura se debe seleccionar correctamente el tipo de molde grafito que necesitamos según el tipo de suelda exotérmica que deseamos obtener.

Para poder continuar, se sujeta con la pinza el molde de grafito y se calienta mediante la pistola de calor (Ver figura 110), con el fin de eliminar humedad en él.



Figura 110. Calentamiento de molde

Una vez ajustado la pinza al molde, se abre la pinza en su totalidad para poder centrar la varilla y el conductor por los ductos marcados de los moldes. (figura 111). Cuando se haya logrado la ubicación de la varilla y el conductor exacta se cierra la pinza a presión, verificando que las partes del molde estén completamente unidas y que el molde no se encuentre inclinado para evitar fugas del material. Ver figura 112.



Figura 111. Conductor ubicado en el molde de grafito



Figura 112. Ubicación de molde de grafito

Se ubica el recipiente metálico, Cadweld Plus 115 en el centro del molde de grafito (ver figura 113), luego, se introduce la tira de ignición en el terminal de la Unidad de Control del Cadweld Plus.

Pulse el botón OPERATE y mantenga presionado. La luz READY titila durante 5 a 7 segundos mientras se carga la Unidad de Control, una vez que la Unidad ha sido cargada, la luz READY se convierte en constante y después de un segundo se inicia la reacción. Ver figura 114.



Figura 113. Preparación del recipiente metálico, Cadweld Plus 115



Figura 114. Suelda exotérmica

RECOMENDACIONES: Cuando el tiempo de carga es de 15 segundos, es recomendable cambiar de baterías, mientras que cuando ya es de 20 segundos el cambio debe ser inmediato ya que no funcionará hasta que haya el reemplazo de baterías. Las baterías completamente cargadas deben proporcionar aproximadamente 400 operaciones. (ERICO)

Esperamos aproximadamente 10 segundos con el fin de que la suelda se haya adherido al conductor y la varilla. Se abre el molde y se retira el recipiente metálico para verificar si la suelda esté correcta y que el conductor esté soldado con la varilla. Si la suelda exotérmica es de buena calidad se verá como la figura 115.



Figura 115. Correcta suelda exotérmica

4.2.6. Tratamiento químico del conductor

Utilizando de 1.5 a 2 galones (5.7 a 7.6 litros) por saco de GEM, mezclar hasta obtener una composición homogénea. Se debe cubrir uniformemente los canales alrededor de 2.5 cm de espesor, quedando los conductores totalmente tapados con la composición. Ver figura 116.



Figura 116. Conductor tapado con GEM

Dejar reposar al menos 30 minutos antes de colocar el relleno.

4.2.7. Colocación de tubos para pozos revisión eléctricos

Fue necesario medir la altura de corte que tendrán los tubos de desagüe ya que de esta forma nos aseguraremos que, el sobrate de varilla quede dentro del tubo, mientras que los conductores lo atravesarán. Una vez medidos y señalados los tubos se cortó utilizando la moladora. Ver figura 117.

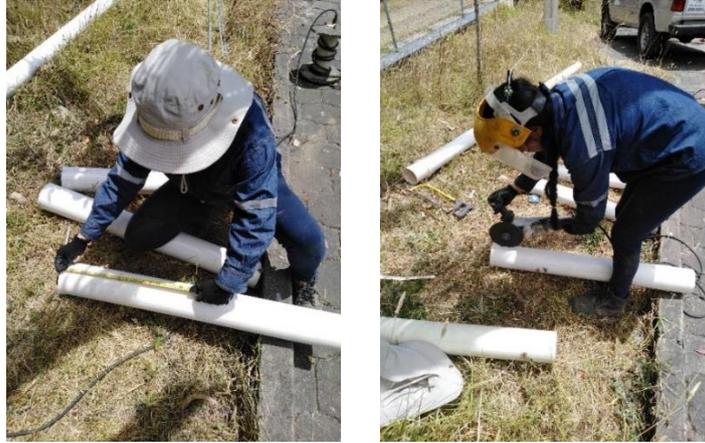


Figura 117. Medición y corte de tubería de desagüe

Los tubos cortados se colocan en cada una de las varillas. Y por último se continua a colocar el rellano de tierra, cubriendo todos los canales hechos.

La figura 118 muestra los tubos de desagüe que serán utilizados como puntos de medición de la malla MTCI para futuros mantenimientos o decisiones a tomar, mientras que en la figura 119 es la representación los puntos de revisión de la malla MCB.



Figura 118. Pozos de revisión en MTCI



Figura 119. Pozos de revisión en MBC

4.2.8. Unión de la malla con la varilla existente en el pozo de revisión eléctrica.

Malla MTCI

Debido a que la varilla existente en el pozo de revisión eléctrico era utilizada como puesta a tierra del Cuarto “Tanque de Consumo Interno”, se unió la malla realizada “MTCI” con dicha varilla (ver figura 120), consiguiendo que de esta manera los tableros del Cuarto tengan como referencia de tierra la nueva malla.



Figura 120. Unión de malla MTCI con varilla de pozo de revisión eléctrico

Malla MBC

En el caso de la malla MBC, para poder hacer la conexión de la malla con la varilla de tierra ubicada en el pozo de revisión eléctrica, fue necesario levantar el adoquín del sitio. Una vez levantado el adoquín se hizo la excavación respectiva para poder enterrar el conductor y llevarlo hasta el pozo. (Ver figura 121)



Figura 121. Conducción del conductor al pozo

Posteriormente, se realizó la suelda exotérmica dentro del pozo de revisión eléctrica, donde la varilla de puesta a tierra y la malla MBC quedaron eléctricamente unidas, además ese realizó una unión adicional dónde, la malla M1 y MTD quedan unidas a MBC. Ver figura 122.



Figura 122. Uniones en pozo de revisión

4.3.INSTALACIÓN DE BOBINA DE CHOQUE.

En el Cuarto “Válvulas de Distribución” como se mencionó en el capítulo anterior, es necesario colocar una bobina de choque para unir las mallas MTD y MP3, con el fin de proteger a los equipos de control conectados a la malla MTD.

Fue necesario quitar el aislante de la bobina de choque para poder colocar en el molde junto con el conductor desnudo y realizar el proceso de soldadura exotérmica Ver figura 123.



Figura 123. Colocación de bobina de choque

CAPÍTULO V

ANÁLISIS - PRUEBAS Y PRESUPUESTO EMPLEADO EN LAS MALLAS DE TIERRA IMPLEMENTADAS

5.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA MODIFICADO.

Para realizar la modificación e implementación de mallas de tierra dentro del Sistema de Puesta a Tierra (SPAT) de la Planta de tratamiento Conocoto, fue necesario tomar en consideración algunas especificaciones que se describen a continuación:

- **IEEE Std 80-2000.-** El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) es una norma de carácter internacional que proporciona especificaciones técnicas para los sistemas de puesta a tierra, y en el caso de este proyecto se consideró lo siguiente:
 - Diseño y construcción de mallas de tierra (corriente límite tolerable del cuerpo, tensión de toque y paso, selección de conductor de puesta a tierra, cálculo de la resistencia de puesta a tierra, corriente de falla, máximas tensiones de malla, I_{cc}).
 - Para subestaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones comerciales los valores de referencia van desde 1 a 5 Ω .
- **NEC-11.-** La Norma Ecuatoriana de Construcción capítulo 15, aborda temas importantes sobre las instalaciones electromecánicas, considerándose:

- Valores máximos de tensión de toque aplicada al ser humano mencionados en la tabla 3.
- La interconexión de mallas de tierra mediante bobinas de choque.
- Mínimo calibre del conductor en sistemas de puesta a tierra es # 1/0 AWG (53,5 mm²).
- Debe existir al menos un punto accesible de revisión.
- Las uniones en las mallas de tierra deben hacerse con suelda exotérmica.
- La longitud mínima que debe tener el electrodo tipo varilla es 1.80 m.
- **UNE 21186:1996.** - La Norma Española menciona que para terrenos vegetales húmedos su resistividad varía desde los 10 hasta los 50 Ω .
- **NOM-001-SEDE-2012.**- La Norma Oficial Mexicana recomienda:
 - Distancia entre electrodos no debe ser menor a 1.80 m, pero lo más recomendable es que sea el doble de la longitud del electrodo.
 - Longitud de enterramiento de las varillas y el conductor debe ser como mínimo 0.50 m.

Todas estas normas enlistadas anteriormente hicieron posible que la construcción de las mallas de tierra (MTCI y MBC) estén acorde a los parámetros y consideraciones de las mismas, haciendo que sean confiables y seguras.

5.1.1. Malla del Cuarto “Tanque de Consumo Interno” (MTCI).

Considerando todas las normas y procedimientos descritos en el marco teórico, se logró obtener en la malla de tierra “MTCI” el valor de 1.8Ω , siendo este un valor apropiado ya que se encuentra dentro de la normativa IEEE ($1-5 \Omega$). En la figura 124 se registra el valor de dicha malla.



Figura 124. Medición de malla MTCI

Al obtener 1.8Ω de resistencia en la malla MTCI es un claro índice de que la malla se encuentra en buenas condiciones, conforme a las recomendaciones de la IEEE. Además, conforme a la configuración realizada en el apartado 3.2.7. apartado a, el valor de la resistencia de malla se redujo de 3.35Ω a 1.8Ω , logrando de esta forma optimizar este valor con el uso del intensificador de terreno GEM.

Por lo tanto, se detalla a continuación los cálculos correspondientes de la normativa IEEE Std 80-2000, para demostrar que el valor obtenido (1.8Ω) y configuración a la figura 80 cumple con los requerimientos de seguridad.

a. Metodología IEEE Std. 80-2000 en malla MTCI

Se considera los siguientes valores:

$$I_{sec} = 328.04 A$$

$$I_{cc-asim} = 12060.3 A$$

$$I_{cc-max-pri} = 161.25 A$$

$$A_{kcmil} = 60.21 kcmil \longrightarrow 30.52 mm^2$$

El calibre del conductor utilizado en la malla MTCI es # 1/0 AWG ($53.51 mm^2$) por lo que su selección es la adecuada, además de que es el calibre mínimo a usarse según la NEC-11.

Límite de tensiones de toque y paso

Se utiliza las ecuaciones 9 y 10. Considerando que no se utiliza ninguna capa protectora $C_s = 1$ y $\rho_s = \rho = 28.04 \Omega$.

$$V_{\text{paso tolerable}} = \frac{(1000 + 6 * 1 * 28.04) * 0,157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{\text{paso tolerable}} = 259.39 \text{ V}$$

$$V_{\text{contacto tolerable}} = \frac{(1000 + 1,5 * 1 * 28.04) * 0,157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{\text{contacto tolerable}} = 231.37 \text{ V}$$

Datos de MTCI

Se emplearán las ecuaciones 12 y 13.

$$L_x = 7 \text{ m}$$

$$L_y = 2 \text{ m}$$

$$L_p = 18 \text{ m}$$

$$D = 3.5 \text{ m}$$

$$N = 6$$

$$L_V = 1.8 \text{ m}$$

$$L_C = \left(\frac{7}{3.5} + 1\right) * 2 + \left(\frac{2}{3.5} + 1\right) * 7 [m]$$

$$L_C = 17 m$$

$$L_T = 17 + 6 * 1.8 [m]$$

$$L_T = 27.8 m$$

Máxima corriente de falla (I_G) y potencial de tierra (GPR).

Aplico las ecuaciones 21 y 22.

$$I_G = 1,9 * 161.25$$

$$I_G = 306.378 [A]$$

$$GPR = 306.378 * 1.8[V]$$

$$GPR = 551.48 V$$

Debido a que $551.48 V > 231.37 V$ ($GPR > V_{\text{contacto tolerable}}$), continuamos.

Máxima tensión de malla en caso de falla (E_m).

Para encontrar E_m se utiliza las ecuaciones: 23, 24, 25, 27, 28, 29, 33.

$$n_a = \frac{2 * 17}{18}$$

$$n_a = 1.88$$

$$n_b = 1$$

$$n_c = 1$$

$$n_d = 1$$

$$n = 1.88 * 1 * 1 * 1$$

$$n = 1.88$$

$$K_{ii} = 1$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}}$$

$$K_h = 1.22$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left\{ \ln \left[\frac{3.5^2}{16 * 0.5 * 0.00936} + \frac{(3.5 + 2 + 0.5)^2}{8 * 3.5 * 0.00936} - \frac{0.5}{4 * 0.00936} \right] + \frac{1}{1.22} * \ln \left[\frac{8}{\pi * (2 * 1.88 - 1)} \right] \right\}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left\{ \ln[287.6] + \frac{1}{1.22} * (-0.3) \right\}$$

$$K_m = 0.92$$

$$K_i = 0.664 + 0.148 * 1.88$$

$$K_i = 0.94$$

$$E_m = \frac{28.04 * 0.92 * 0.94 * 306.378}{17 + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{1.8}{\sqrt{7^2 + 3.5^2}} \right) \right] * 6 * 1.8}$$

$$E_m = 202.05 \text{ V}$$

Debido a que $202.05 \text{ V} < 231.37 \text{ V}$ ($E_m < V_{\text{contacto tolerable}}$), continuamos.

Máxima tensión de paso en caso de falla

Se utilizan las ecuaciones 34, 35 y 36.

$$L_s = 0.75 * 17 + 0.85 * 1.8$$

$$L_s = 14.28 \text{ m}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0.5} + \frac{1}{3.5 + 0.5} + \frac{1}{3.5} (1 - 0.5^{1.88-2}) \right]$$

$$K_s = 0.39$$

$$V_{\text{paso max}} = \frac{28.04 * 0.39 * 0.94 * 306.378}{14.28}$$

$$V_{\text{paso max}} = 220.54 \text{ V}$$

$210.95 \text{ V} < 259.39 \text{ V}$ ($V_{\text{paso max}} < V_{\text{paso tolerable}}$), se demuestra que la malla M1 está correctamente dimensionada.

5.1.2. Malla del Cuarto “Balanzas de Cloro” (MBC).

Considerandose que el valor máximo que deben tener las plantas industriales según la IEEE es 5Ω y además, aplicando las demás normas mencionadas en el apartado 5.1 en la malla MBC, se obtiene el valor de resistencia es 1.4Ω . Siendo este valor muy inferior a lo máximo establecido por la IEEE.

La figura 125 confirma el valor mencionado de resistencia de la malla de tierra.



Figura 125. Medición de malla MBC

Se debe mencionar además, que la malla fue construida en una superficie con inclinación por lo que se obtuvo valores medidos diferentes al mostrado en la figura 125 pero todos similares y cercanos, esto significa que las características del terreno es diferente dependiendo la inclinación .

Dado que el valor 1.4Ω como resistencia de la malla MBC está por debajo a las recomendaciones de la IEEE (1 a 5Ω), se concluye que MBC cumple con los parámetros

establecidos. Además, el valor de resistencia de malla sin tratamiento químico, como se lo menciona en el apartado 3.2.7. apartado b es 2.1Ω , por lo que se demuestra que dicho valor se optimizó utilizando el intensificador de terreno GEM.

Se detalla a continuación los cálculos correspondientes de la normativa IEEE Std 80-2000, para demostrar que el valor obtenido (1.4Ω) y configuración a la figura 84 cumple con los requerimientos de seguridad.

a. Metodología IEEE Std. 80-2000 en malla MBC

Se considera los siguientes valores:

$$I_{sec} = 328.04 A$$

$$I_{cc-asim} = 12060.3 A$$

$$I_{cc-max-pri} = 161.25 A$$

$$A_{kcmil} = 60.21 kcmil \longrightarrow 30.52 mm^2$$

El calibre del conductor utilizado en la malla MTCI es # 1/0 AWG ($53.51 mm^2$) por lo que su selección es la adecuada, además de que es el calibre mínimo a usarse según la NEC-11.

Límite de tensiones de toque y paso

Se utiliza las ecuaciones 9 y 10. Considerando que no se utiliza ninguna capa protectora $C_s = 1$ y $\rho_s = \rho = 21.67 \Omega$.

$$V_{\text{paso tolerable}} = \frac{(1000 + 6 * 1 * 21.67) * 0,157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{\text{paso tolerable}} = 250.9 \text{ V}$$

$$V_{\text{contacto tolerable}} = \frac{(1000 + 1,5 * 1 * 21.67) * 0,157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{\text{contacto tolerable}} = 229.25 \text{ V}$$

Datos de MTCI

Se emplearán las ecuaciones 12 y 13.

$$L_x = 6.5 \text{ m}$$

$$L_y = 3.5 \text{ m}$$

$$L_p = 20 \text{ m}$$

$$D = 3.25 \text{ m}$$

$$N = 6$$

$$L_V = 1.8 \text{ m}$$

$$L_C = \left(\frac{6.5}{3.25} + 1\right) * 3.5 + \left(\frac{3.5}{3.25} + 1\right) * 6.5 [m]$$

$$L_C = 24 m$$

$$L_T = 24 + 6 * 1.8 [m]$$

$$L_T = 34.8 m$$

Máxima corriente de falla (I_G) y potencial de tierra (GPR).

Aplico las ecuaciones 21 y 22.

$$I_G = 1,9 * 161.25$$

$$I_G = 306.378 [A]$$

$$GPR = 306.378 * 1.4[V]$$

$$GPR = 428.93 V$$

Debido a que $428.93 V > 229.25 V$ ($GPR > V_{contacto\ tolerable}$), continuamos.

Máxima tensión de malla en caso de falla (E_m).

Para encontrar E_m se utiliza las ecuaciones: 23, 24, 25, 27, 28, 29, 33.

$$n_a = \frac{2 * 24}{20}$$

$$n_a = 2.4$$

$$n_b = 1$$

$$n_c = 1$$

$$n_d = 1$$

$$n = 2.4 * 1 * 1 * 1$$

$$n = 2.4$$

$$K_{ii} = 1$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}}$$

$$K_h = 1.22$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left\{ \ln \left[\frac{3.25^2}{16 * 0.5 * 0.00936} + \frac{(3.25 + 2 + 0.5)^2}{8 * 3.25 * 0.00936} - \frac{0.5}{4 * 0.00936} \right] + \frac{1}{1.22} * \ln \left[\frac{8}{\pi * (2 * 2.4 - 1)} \right] \right\}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left\{ \ln[263.56] + \frac{1}{1.22} * (-0.67) \right\}$$

$$K_m = 0.8$$

$$K_i = 0.664 + 0.148 * 2.4$$

$$K_i = 1.02$$

$$E_m = \frac{21.67 * 0.8 * 1.02 * 306.378}{24 + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{1.8}{\sqrt{6.5^2 + 3.5^2}} \right) \right] * 6 * 1.8}$$

$$E_m = 123.26 \text{ V}$$

Debido a que $183.91 \text{ V} < 231.37 \text{ V}$ ($E_m < V_{\text{contacto tolerable}}$), continuamos.

Máxima tensión de paso en caso de falla

Se utilizan las ecuaciones 34, 35 y 36.

$$L_s = 0.75 * 24 + 0.85 * 1.8$$

$$L_s = 19.53 \text{ m}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0.5} + \frac{1}{3.25 + 0.5} + \frac{1}{3.25} (1 - 0.5^{2.4-2}) \right]$$

$$K_s = 0.43$$

$$V_{\text{paso max}} = \frac{21.67 * 0.43 * 1.02 * 306.378}{19.53}$$

$$V_{\text{paso max}} = 149.1 \text{ V}$$

$149.1 \text{ V} < 250.9 \text{ V}$ ($V_{\text{paso max}} < V_{\text{paso tolerable}}$), se demuestra que la malla M1 está correctamente dimensionada.

5.1.3. Síntesis general

Con la ayuda del intensificador de terreno GEM se redujo los valores calculados en las mallas MTCI y MBC, describiéndose en la tabla 22. Por lo que deja en constancia la optimización del Sistema de Puesta a Tierra de la Planta de tratamiento de agua Conocoto.

Tabla 22

Valores Calculados de Resistencias de Mallas vs. Valores Medidos

MALLA	VALOR CALCULADO (Ω)	VALOR OPTIMIZADO (Ω)
MTCI	3.35	1.8
MBC	2.1	1.4

Además, en la tabla 23 se muestra las mallas para las diferentes edificaciones protegidas de la Planta, mientras que en el Anexo 8 se encuentra la interconexión actual del Sistema de Puesta a Tierra.

Tabla 23

Edificaciones protegidas correspondientes a las diferentes mallas

MALLAS	EDIFICACIÓN PROTEGIDA
MTCI	Tanque de consumo interno Edificio Químico
M1	Generador de emergencia (Generador, Tablero de Transferencia Automática y Tablero Principal)
MTD	Tanque de Distribución
MBC	Balanzas de Cloro

Las mallas interconectadas son M1-MBC-MP3-MTD.

5.2.PRESUPUESTO.

Para la modificación SPAT, se utilizaron algunos materiales, los cuales se enlistan en la tabla 24 con su respectivo costo.

Los materiales expuestos en la tabla 24 fueron sacados de las bodegas: Bellavista y el Placer pertenecientes a la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), por lo que deja en constancia que todos los materiales necesarios para la realización del presente trabajo fueron aportados por la prestigiosa Empresa Pública de la ciudad de Quito.

Tabla 24

Costos primarios, secundarios y costo total

COSTOS PRIMARIOS				
DESCRIPCIÓN (MATERIALES)	UNIDAD	CANT.	P/U	VALOR TOTAL
Conductor desnudo 1/0 AWG 7 hilos	m	85	\$7.42	\$630.7
Varilla de puesta a tierra Copperweld, de 1.80 de largo y 5/8" de diámetro	c/u	12	\$50.38	\$604.56
Intensificador de terreno GEM (25 lbs)	sacos	27	\$22.00	\$594.00
Molde de grafito Cable-Varilla	c/u	1	\$168.64	\$168.64
Molde de grafito en Cruz	c/u	1	\$168.64	\$168.64
Pinzas de Manipulación de Moldes	c/u	2	\$223.86	\$447.72
Cápsula de soldadura. Cadweld Plus 115	c/u	25	\$7.50	\$187.50
Tubería de desagüe PVC, 6"	c/u	3	\$18.72	\$56.16
Tapón PVC Hembra 6"	c/u	12	\$7.24	\$86.88
VALOR TOTAL				\$2944.80

CONTINÚA 

MANO DE OBRA CIVIL	DÍAS	CANT. HOMBRES	P/U	VALOR TOTAL
Excavación	5	8	\$15.00	600
Sellado de la excavación	1	2	15.00	30
VALOR TOTAL				\$630.0

COSTOS SECUNDARIOS			
DESCRIPCIÓN	CANT.	P/U	VALOR TOTAL
Transporte	~	~	\$350.00
Impresiones a color	300	\$.08	\$24.00
Impresiones a B/N	300	\$.02	\$6.00
Empastado	1	\$15.00	\$15.00
Útiles de escritorio	~	~	\$3.00
Anillados	2	\$1.5	\$3.00
CD-ROM Regrabable	2	\$2.5	\$5.00
Internet	~	~	\$30.00
VALOR TOTAL			\$436.0

COSTO APROXIMADO DEL PROYECTO	
VALOR TOTAL COSTO PRIMARIO	\$3574.800
VALOR TOTAL COSTO SECUNDARIO	\$436.00
TOTAL	\$4010.80

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.CONCLUSIONES

- Los planos eléctricos en cualquier planta industrial permiten realizar modificaciones en el sistema eléctrico y analizar el sistema en caso de falla.
- El uso del intensificador de terreno GEM mejora en un 50 % la resistividad del terreno que rodea las varillas y conductor eléctrico, ayudando a mantener su humedad sin considerar las estaciones climáticas.
- La normativa IEEE Std. 80 2000 proporciona la metodología necesaria para conocer si el diseño de la malla de tierra es la adecuada y proporciona la seguridad adecuada al personal contra tensión de paso y toque tolerable para una persona de 70 Kg.
- Es necesario que las picas auxiliares utilizadas en las mediciones de resistividad del terreno y resistencia de malla de tierra se encuentren totalmente enterradas, ya que de esta manera nos aseguramos de que exista un buen contacto con el terreno y que en la medición se considera las capas del terreno.
- El método ideal, según estadísticas de campo para medir resistencia de mallas de tierra es el método del 62%, ya que garantiza una mayor precisión en su medición.

- Las uniones exotérmicas aseguran una unión permanente y de baja resistencia a comparación de los conectores mecánicos que generan puntos calientes por no tener un ajuste eficaz y durable.

6.2.RECOMENDACIONES

- Se debe realizar en toda el área diferentes mediciones de la resistividad del terreno, con el fin de determinar si es homogéneo o que área del terreno no es la adecuada para la construcción de una malla de tierra.
- Se recomienda realizar varias mediciones cambiando la posición de las 2 picas auxiliares al menos 90° con respecto a la varilla de tierra de prueba con el fin de obtener un valor real, considerándose el valor medio de los obtenidos.
- Es necesario que el molde de grafito se encuentre lo más vertical posible ya que de existir inclinación la suelda no se realiza correctamente por fuga de material.
- Al terminar la explosión en el proceso de suelda exotérmica se debe dejar reposar al menos 10 segundos con el fin de que la suelda se haya adherido al conductor y a la varilla.
- Debe existir un estudio continuo sobre el rendimiento de los pararrayos ya que con cada descarga atmosférica se reduce su eficiencia.
- Debe colocarse al menos un pozo de revisión por malla para realizar mediciones y controles del estado de la misma.

- Para eliminar la humedad en los moldes de grafito es recomendable que se calienten mediante la pistola de calor a una temperatura de 400 °C durante 5 minutos.
- Las varillas de tierra y conductor deben estar libre de polvo y humedad para garantizar la adhesión del material de suelda en ellos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEE Ingeniería Eléctrica (2017). Instalación de Pararrayos Frk. Recuperado el 15 de abril de 2019. Obtenido de <http://aee.com.ec/instalacion-pararrayos-tipo-franklin/>

Alameda, H., & Aguado, A. (s.f.). *La protección contra el rayo en la normativa española*. Recuperado el 03 de mayo de 2019. Obtenido de <http://www.ealuro.com/ealgx/normaUNE21186.pdf>

Avila Mangano, I. L., Suárez, J. A., & di Mauro. (2015). Estudio de los Efectos de las Descargas Atmosféricas sobre la Confiabilidad de las Líneas Aéreas de Transporte de Energía. *Informe Final de Beca de Investigacion Categoria Estudiante Avanzado 2015*, 1.

Blitzplaner. (febrero de 2007). *Manual de protección contra rayos*. Recuperado el 10 de mayo de 2019. Obtenido de http://www.amperonline.com/sites/all/bpl_completo.pdf

Bustamante Cuenca, J. A. (2011). *Evaluación y diagnóstico de la malla de puesta a tierra de la Subestación Obrapia con niveles de tensión de 69 KV y 13.8 K perteneciente a la E.E.R.S.S.A, para cumplir con los parámetros establecidos por la norma IEEE Std.80-2000 (Guide for Safety in AC Substation Grounding* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica SALESIANA, Cuenca.

CTE DB-SUA (febrero 2010). *Seguridad frente al riesgo de caídas*. Recuperado el 17 de mayo de 2019. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadUtilizacion/DBSUA.pdf>

Díaz, P. (2001). *Soluciones prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de distribución*. Ciudad, País: Editorial

- Enríquez, G, H. (2004). *Manual Práctico de Instalaciones Eléctricas*. Recuperado el 20 de abril de 2019. Obtenido de https://www.academia.edu/36634756/Manual_Practico_de_Instalaciones_Electricas_Enriquez_Harper
- ERICO (s.f). *CADWELD*. Recuperado el 12 de agosto de 2019. Obtenido de <https://www.erico.com/catalog/literature/E426B-SP.pdf>
- ERICO (s.f). *GEM25A*. Recuperado el 05 de mayo de 2019. Obtenido de <https://www.erico.com/catalog/literature/e978b-lasp.pdf>
- FLUKE. (s.f.). *Resistencia de puesta a tierra.* . Recuperado el 16 de junio de 2019. Obtenido de https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/9902802_ENG_A_W.PDF
- GAMMA (28 de mayo de 2011). *Descarga atmosférica*. Recuperado el 15 de abril de 2019. Obtenido de <https://www.gamma.com.co/caracteristicas-las-descargas-atmosfericas-efecto-las-lineas-transmision/>
- GRUDILEC ELÉCTRICO (14 de marzo de 2018.) *Aplicaciones Tecnológicas lanza Apliweld® Secure+, una nueva aplicación para la soldadura exotérmica*. Recuperado el 13 de agosto de 2019. Obtenido de <http://grudilecelectrico.com/aplicaciones-tecnologicas-lanza-apliweld-secure-una-nueva-aplicacion-para-la-soldadura-exotermica/>
- Gómez , M. D. (s.f). . Recuperado el 19 de abril de 2019. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/801/A6.pdf?sequence=6>
- Gordillo, J. (2018). *Proyecto Técnico de reforma interior para la construcción de una sala de intervenciones en el Hospital Mateu Orfila* (tesis de pregrado).España.

IEEE Std 80-2000, *Guide for Safety in AC Substation Grounding*. Recuperado el 03 de abril de 2019. Obtenido de <http://www.dee.ufrj.br/~acsl/grad/equipamentos/IEEE-std80.pdf>

INGESCO. (s.f.). *Contador de descargas de rayos*. . Recuperado el 30 de mayo de 2019. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Electronica/FeriaVirtual/Producto-Contador-de-descargas-de-rayos-39474.html>

Intronica. (s.f.). *Descargador Equipotencial*. Recuperado el 04 de junio de 2019. Obtenido de <http://intronica.com.ec/productos/mallas-de-tierra/descargador-equipotencial.html>

Luz y Color SaC (s.f.). *Pararrayos IONIFLASH MATCH NG 60*. Recuperado el 26 de junio de 2019. Obtenido de <https://luzycolor.com.pe/producto/pararrayos-ioniflash>

Márquez, R. G. (1991). *La puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el R.A.T.* Barcelona, España: MARCOMBO.

Mercado Gomez, M. (s.f.). *Supresores de Transientes TVSS*. Recuperado el 13 de abril de 2019. Obtenido de <http://www.gzingenieria.com/pdf/Dimensionamiento%20de%20supresores%20de%20transitorios,%20TVSS.pdf>

NEC2011. (s.f.). *NEC2011 Capítulo 15, Instalaciones Electromecánicas*. Recuperado el 02 de mayo de 2019. Obtenido de <https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/09/NECINSTALACIONESELECTROMECHANICAS2013.pdf>

NOM-001-SEDE (2012). *Instalaciones Eléctricas (utilización)*. Recuperado el 02 de abril de 2019. Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280607&fecha=29/11/2012

Reyes, A. (12 de agosto de 2008). *Tensión de paso y contacto*. Recuperado el 19 de abril de 2019. Obtenido de <http://andresreyesevmei.blogspot.com/2008/08/tension-de-paso-y-contacto.html>

Sertec S.R.L. (s.f.). *Pararrayo PDCE*. Recuperado el 26 de junio de 2019. Obtenido de <https://sertec.com.py/pararrayos-pdce/>

Tipos de rayo entre nube y tierra [Gráfico]. Recuperado el 02 de julio de 2019. Obtenido de https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6281/capitulo_3;jsessionid=5A55B0B34ADF5A657A6F797F35FF9AC5?sequence=6

UNE 21186 (1996), *Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado*. Recuperado el 27 de junio de 2019. Obtenido de <http://www.pararrayosupresores.com.mx/pdf/normatividad/norma-une-21186.pdf>

Verdugo, K., Aires, L., & Merchán, H. (abril 2018). *Revista politécnica*. Recuperado el 25 de junio de 2019. Obtenido de <https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen41/tomo1/Vol41tomo1.pdf>

Zapata, B. (Febrero de 2012). *Rediseño y optimización de los sistemas de puesta a tierra y apantallamientos de la Escuela Politécnica del Ejército campus Sangolquí*. (Tesis de pregrado). ESPE Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por la señorita **PEÑA GOYES BRIGITTE ARACELY**.

En la ciudad de Latacunga, a los 22 días del mes de noviembre del 2019.

Aprobado por:

ING. SARZOSA ANTE, DAVID DE JESÚS

DIRECTOR DEL PROYECTO



ING. CULQUI ESPÁN, JAVIER FERNANDO, MGS.

DIRECTOR DE LA CARRERA

ABG. PLAZA CARRILLO, JOHANA SARITA

SECRETARIA ACADÉMICA

