

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LA PROTECCIÓN ELÉCTRICA DEL MINI CENTRO COMERCIAL “MI BALCON”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
ELECTROMECAÁNICA**

**QUINGA VILATUÑA CARLOS ORLANDO.**

**Quivicar1@hotmail.com**

**GUALOTUÑA GUEVARA MARCELO JAVIER.**

**marcegualo@gmail.com**

**DIRECTOR: Ing. TOAPANTA MUÑOZ VICENTE SALOMON**

**vicentoapanta@yahoo.es**

**Quito, Abril 2014**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros QUINGA VILATUÑA CARLOS ORLANDO y GUALOTUÑA GUEVARA MARCELO JAVIER, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Quinga Vilatuña Carlos Orlando**

**CI:171349430-8**

---

**Gualotuña Guevara Marcelo Javier**

**CI:171433005-5**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por QUINGA VILATUÑA CARLOS ORLANDO y GUALOTUÑA GUEVARA MARCELO JAVIER, bajo mi supervisión.

---

Ing: TOAPANTA MUÑOZ VICENTE SALOMON  
DIRECTOR DE PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Politécnica Nacional, por todos los conocimientos impartidos a lo largo de la vida universitaria.

A nuestros compañeros, amigos y profesores de la Escuela Politécnica Nacional por compartir sus conocimientos y parte de sus vidas con nosotros.

Al Ing. Vicente Toapanta Director del Proyecto de Titulación.

A los propietarios del mini Centro Comercial "MI BALCON" ya que gracias a su confianza y colaboración se hizo posible la realización de este Proyecto.

Los Autores

## DEDICATORIA

A nuestros Padres y Hermanos (as) por su apoyo constante e incondicional, motivados por un solo ideal, nuestro bienestar.

Carlos / Marcelo.

A mí amada esposa e hijos, Sebas y Naty por ser una Madre ejemplar, por el apoyo, comprensión que me brindan para seguir adelante y crecer profesionalmente.

Marcelo

A mi hija Valentina por haber llegado a mi vida y convertirse en la gran motivadora para lograr mis objetivos.

Carlos

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>3</b>
<b>EL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. SELECCIÓN DEL TEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.1. DIAGNÓSTICO.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.2. PRONÓSTICO.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4.3. CONTROL DE PRONÓSTICO.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....</b>	<b>6</b>
<b>1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....</b>	<b>7</b>
<b>1.6. OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>1.6.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>7</b>
<b>1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>7</b>
<b>1.7. ALCANCE.....</b>	<b>8</b>
<b>1.7.1. DESCRIPCIÓN DE DESARROLLO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.7.2. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.8. FACTIBILIDAD.....</b>	<b>9</b>
<b>1.8.1. FACTIBILIDAD TÉCNICA.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>10</b>
<b>MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2. SIMBOLO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. FUNCIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4. OBJETIVOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.5. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5.1. CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5.2. CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.5.3. ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5.4. CONECTORES.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.5. SUELDAS EXOTERMICA.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.6. COMPUESTOS QUIMICOS.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.7. BARRA DE ATERRAMIENTO.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.8. CAJA DE CONEXIÓN.....</b>	<b>31</b>
<b>2.6. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>32</b>
<b>2.6.1. DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA PARA CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.....</b>	<b>33</b>
<b>2.7. RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....</b>	<b>37</b>
<b>2.7.1. ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.....</b>	<b>39</b>
<b>2.7.2. COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SUELO.....</b>	<b>51</b>
<b>2.7.3. COMPOSICION DE LOS SUELOS.....</b>	<b>51</b>
<b>2.7.4. CONDUCCION ELECTRICA DEL SUELO.....</b>	<b>51</b>
<b>2.7.5. EVALUACION ELECTRICA DE LOS SUELOS.....</b>	<b>52</b>
<b>2.8. MEDICION DE LA RESISTENCIA DE LA TIERRA Y DEL TERRENO.....</b>	<b>53</b>

2.8.1.	<i>INTRODUCCION</i> .....	53
2.8.2.	<i>MÉTODOS PARA MEDIR LA RESISTIVIDAD DE LOS TERRENOS</i> .....	54
2.8.3.	<i>INTERPRETACIÓN Y UTILIZACIÓN PRÁCTICA DE LAS MEDIDAS</i> .....	62
2.9.	<b>METODOS PARA LA REDUCCION DE LA RESISTENCIA ELECTRICA EN LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA</b> .....	63
2.9.1.	<i>AUMENTO DEL NÚMERO DE ELECTRODOS EN PARALELO</i> .....	63
2.9.2.	<i>AUMENTO DEL DIAMETRO DEL ELECTRODO</i> .....	63
2.9.3.	<i>AUMENTO DE LA LONGITUD DE PENETRACIÓN DEL ELECTRODO</i> .....	64
2.9.4.	<i>TRATAMIENTO QUIMICO ELECTROLITICO DEL TERRENO</i> .....	64
2.10.	<b>TENSIONES DE PASO Y CONTACTO</b> .....	65
2.10.1.	<i>DEFINICIONES – RETIE</i> .....	65
2.10.2.	<i>EFFECTOS DE LA CORRIENTE ELECTRICA SOBRE EL CUERPO HUMANO</i> .....	70
	70	
	<b>CAPITULO III</b> .....	76
	<b>DISEÑO NORMALIZADO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA EL MINI CENTRO COMERCIAL “MI BALCON”</b> .....	76
3.1.	<b>IMPORTANCIA DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA EL MINI CENTRO COMERCIAL “MI BALCON”</b> .....	76
3.2.	<b>NORMATIVA DE REFERENCIA PARA PUESTAS A TIERRA</b> .....	76
3.2.1.	<i>IEEE Std 80-2000</i> .....	77
3.2.2.	<i>REGLAMENTO DE SEGURIDAD NEC</i> .....	78
3.2.3.	<i>REGLAMENTO DE SEGURIDAD TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE) COLOMBIA</i> .....	78
3.2.4.	<i>OTRAS PUBLICACIONES TOMADAS DEL INTERNET</i> .....	79
3.3.	<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA</b> .....	80
3.3.1.	<i>ANALISIS DE ALTERNATIVAS DEL PROCEDIMIENTO</i> .....	80
3.3.2.	<i>PROCEDIMIENTO</i> .....	81
3.4.	<b>HOJA DE RESULTADOS</b> .....	89
	<b>CAPITULO IV</b> .....	90
	<b>CONSTRUCCION E INSTALACION DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA EL MINI CENTRO COMERCIAL “MI BALCON”</b> .....	90
4.1.	<b>CONSIDERACIONES PRELIMINARES</b> .....	90
4.1.1.	<i>UBICACIÓN DEL SITIO</i> .....	90
4.1.2.	<i>COORDENADAS DEL LUGAR</i> .....	91
4.2.	<b>MATERIALES UTILIZADOS</b> .....	91
4.3.	<b>PROCESO DE CONSTRUCCION E INSTALACION</b> .....	91
4.3.1.	<i>PREPARACION DEL SITIO</i> .....	92
4.3.2.	<i>INSTALACIÓN DE LOS ELECTRODOS</i> .....	93
4.3.3.	<i>TRATAMIENTO QUÍMICO DE LOS ELECTRODOS</i> .....	96
4.3.4.	<i>TENDIDO DEL CABLE</i> .....	98
4.3.5.	<i>SUELDAS EXOTÉRMICAS CABLE - ELECTRODO</i> .....	99
4.3.6.	<i>TRATAMIENTO QUIMICO DEL CABLE</i> .....	103
4.3.7.	<i>INSTALACIÓN DE LA CAJA DE DISTRIBUCIÓN</i> .....	103
4.3.8.	<i>ANCLAJE DE LA PLACA DE COBRE</i> .....	104
4.3.9.	<i>CONEXIÓN DEL CABLE DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA A LA PLACA DE COBRE</i> .....	105
4.3.10.	<i>CIMENTACIÓN Y COLOCACIÓN DE CAJAS DE REVISIÓN PARA CADA ELECTRODO</i> .....	107
4.4.	<b>DIAGRAMA DE CONEXIÓN</b> .....	107
	<b>CAPITULO V</b> .....	109
	<b>ANALISIS Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA CONSTRUIDO PARA EL MINI CENTRO COMERCIAL “MI BALCON”</b> .....	109
5.1.	<b>PREAMBULO</b> .....	109

<b>5.2.</b>	<b>ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.</b>	109
5.2.1.	<i>NORMATIVA PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.</i>	109
5.2.2.	<i>EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EMPÍRICO.</i>	111
5.2.3.	<i>EL SISTEMA DE PUESTA DE TIERRA.</i>	112
5.2.4.	<i>ANÁLISIS ECONÓMICO.</i>	113
<b>5.3.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	114
5.3.1.	<i>CONCLUSIONES.</i>	114
5.3.2.	<i>RECOMENDACIONES.</i>	116
	<i>BIBLIOGRAFIA.</i>	119

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	RECURSOS DISPONIBLES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	8
TABLA 2	NEC INTERNACIONAL TABLA 250-122	13
TABLA 3	NEC INTERNACIONAL TABLA 250-66 PARA CÁLCULO DEL CONDUCTOR	14
TABLA 4	REQUISITOS PARA ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA	15
TABLA 5	FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE RESISTENCIAS DE PUESTA A TIERRA EN BAJA FRECUENCIA	35
TABLA 6	PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO PARA MALLAS DE TIERRA	36
TABLA 7	VALORES DE RESISTIVIDAD SEGÚN EL TIPO DE TERRENO	41
TABLA 8	VALORES MEDIOS DE LA RESISTIVIDAD	42
TABLA 9	RELACIÓN ENTRE EL PH Y LA CORROSIVIDAD.	50
TABLA 10	RESISTIVIDADES REFERENCIALES DE AGUAS NATURALES GENÉRICAS	52
TABLA 11	TENSIONES MÁXIMAS DE CONTACTO SEGÚN EL REGLAMENTO ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN ESPAÑOL	70
TABLA 12	EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA	71
TABLA 13	IMPEDANCIA DEL CUERPO HUMANO.	74
TABLA 14	MATERIALES UTILIZADOS PARA EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	91
TABLA 15	MEDICIÓN INDIVIDUAL DE LOS ELECTRODOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	95
TABLA 16	CANTIDAD ESTIMADA DE SACOS DE GEM.	97
TABLA 17	CARACTERÍSTICAS DEL CONDUCTOR PARA EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	SÍMBOLO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	10
FIGURA 2	ELECTRODO VARILLA COPPERWELD.	17
FIGURA 3	ELECTRODO VARILLA DE ACERO GALVANIZADO.	18
FIGURA 4	ELECTRODO DE REHILETE	18
FIGURA 5	ELECTRODO PLACA METÁLICA	19
FIGURA 6	ELECTRODO EN ESTRELLA.	19
FIGURA 7	ANILLO DE PUESTA A TIERRA.	20
FIGURA 8	MALLA DE TIERRA.	21
FIGURA 9	PLACA ESTRELLA.	21
FIGURA 10	VARILLAS DE HIERRO O ACERO USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS.	22
FIGURA 11	ELECTRODO DE TUBO METÁLICO.	22
FIGURA 12	ELECTRODO EMPOTRADO EN CONCRETO.	23
FIGURA 13	ELECTRODO HORIZONTAL O CONTRA-ANTENA.	23
FIGURA 14	ELECTRODO PROFUNDO.	24



FIGURA 15 ELECTRODO EN ESPIRAL.....	24
FIGURA 16 ELECTRODO QUÍMICO. ....	25
FIGURA 17 CONECTORES.....	26
FIGURA 18 PROCESO DE APLICACIÓN DE SOLDADURA EXOTÉRMICA. ....	27
FIGURA 19 COMPARACIÓN DE RESISTIVIDAD ENTRE GEM Y BENTONITA. ....	28
FIGURA 20 THOR-GEL. ....	30
FIGURA 21 BARRA DE ATERRAMIENTO.....	31
FIGURA 22 CAJA DE CONEXIÓN. ....	31
FIGURA 23 RESISTIVIDAD DEL TERRENO. ....	39
FIGURA 24 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD.....	43
FIGURA 25 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.....	44
FIGURA 26 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DE LA SALINIDAD. ....	45
FIGURA 27 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO SEGÚN SU ESTRATIGRAFÍA Y PROFUNDIDAD. ....	47
FIGURA 28 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO A LO LARGO DEL AÑO.....	48
FIGURA 29 MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL.....	56
FIGURA 30 CONFIGURACIÓN DE LOS ELECTRODOS POR EL MÉTODO DE WENNER. ....	57
FIGURA 31 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO POR EL MÉTODO DE SCHLUMBERGER.....	60
FIGURA 32 TENSIÓN DE PASO .....	66
FIGURA 33 TENSIÓN DE CONTACTO.....	67
FIGURA 34 TELURÓMETRO METREL (EARTH TESTER KMI 2124).....	82
FIGURA 35 PROCESO DE MEDICIÓN DE DISTANCIA ENTRE PICAS .....	83
FIGURA 36 PICA DE PRUEBA INSTALADA .....	83
FIGURA 37 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD CON LA AYUDA DEL TELURÓMETRO .....	84
FIGURA 38 BREAKER PRINCIPALES DE LAS ACOMETIDAS 60A .....	85
FIGURA 39 UBICACIÓN DE LA PARROQUIA LA MERCED.....	90
FIGURA 40 CORTE DE LA CIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA. ....	92
FIGURA 41 EXCAVACIÓN DE LAS SECCIONES PARA LA INSTALACIÓN DE ELECTRODOS. ....	93
FIGURA 42 COLOCACIÓN DE LIMO PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	93
FIGURA 43 IMPLANTACIÓN DE LA VARILLA DE COPPERWELD .....	94
FIGURA 44 IMPRESIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ELECTRODOS. ....	95
FIGURA 45 MEDICIÓN PREVIA DE LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA .....	95
FIGURA 46 PREPARACIÓN DEL COMPUESTO QUÍMICO GEM.....	96
FIGURA 47 UBICACIÓN DE TUBO PVC PARA EL TRATAMIENTO QUÍMICO CON GEM .....	96
FIGURA 48 APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO QUÍMICO CON GEM.....	98
FIGURA 49 TENDIDO DEL CABLE PARA EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	98
FIGURA 50 PROCESO DE LIMPIEZA DEL ELECTRODO .....	100
FIGURA 51 INSTALACIÓN DEL MOLDE DE GRAFITO .....	101
FIGURA 52 UBICACIÓN DE LA SOLDADURA EN EL MOLDE.....	101
FIGURA 53 COLOCACIÓN DE PÓLVORA DE IGNICIÓN .....	102
FIGURA 54 FUNDICIÓN EXOTÉRMICA DEL CABLE CON EL ELECTRODO. ....	102
FIGURA 55 TRATAMIENTO QUÍMICO DEL CABLE CON GEL. ....	103
FIGURA 56 INSTALACIÓN DE LA CAJA DE DISTRIBUCIÓN. ....	104
FIGURA 57 PLACA DE COBRE .....	104
FIGURA 58 PLACA DE COBRE INSTALADA.....	105
FIGURA 59 TERMINAL TIPO OJO ESTAÑADO .....	105
FIGURA 60 CONEXIÓN DEL CABLE A LA PLACA. ....	106
FIGURA 61 MEDICIÓN FINAL DEL NUEVO SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	106
FIGURA 62 CIMENTACIÓN .....	107
FIGURA 63 DIAGRAMA DE CONEXIÓN .....	108
FIGURA 64 MEDICIÓN FINAL DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	112

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 CÁLCULO DEL CONDUCTOR .....	14
ECUACIÓN 2 CALCULO DE LA RESISTENCIA DE UN MATERIAL.....	37
ECUACIÓN 3 CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DE UN MATERIAL .....	38
ECUACIÓN 4 CALCULO DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	38
ECUACIÓN 5 CALCULO DE RESISTENCIA ELÉCTRICA .....	55
ECUACIÓN 6 ECUACIÓN DE WENNER .....	58
ECUACIÓN 7 ECUACIÓN RESUMIDA DE WENNER.....	58
ECUACIÓN 8 LEY DE OHM.....	61
ECUACIÓN 9 VALOR DE RESISTIVIDAD DE SCHLUMBERGER.....	61
ECUACIÓN 10 TENSIÓN DE CONTACTO.....	68
ECUACIÓN 11 CORRIENTE DE DEFECTO .....	68
ECUACIÓN 12 TENSIÓN DE CONTACTO.....	69
ECUACIÓN 13 INTENSIDAD DE CORRIENTE .....	70
ECUACIÓN 15 CALCULO DE LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	88

## RESUMEN

El presente trabajo está constituido por cinco capítulos que permiten conceptualizar a los sistemas de puesta a tierra desde todas las perspectivas posibles considerando los siguientes capítulos.

En el capítulo uno se plantea el problema de investigación y se establecen las directrices asociadas al alcance y factibilidad de implementación de la solución propuesta en el presente proyecto.

En el capítulo dos se abordan los conceptos asociados a los sistemas de puesta a tierra con el objetivo de establecer el marco de referencia necesario para el planteamiento de la solución que permita mitigar los inconvenientes identificados en el capítulo uno.

En el tercer capítulo se describen los estándares aplicables a la implementación de sistemas de puesta a tierra los mismos que permiten establecer las condiciones del diseño propuesto y el procedimiento necesario para su construcción con el objetivo garantizar los resultados esperados en el presente proyecto.

Considerando la información establecida en los capítulos anteriores, en el capítulo cuatro se procede a describir el proceso de construcción y validación del sistema de puesta a tierra en donde se demuestra su operatividad y cumplimiento de las normas establecidas en el marco de gestión asociada al proyecto.

Finalmente en el capítulo cinco se incluyen las conclusiones y recomendaciones resultantes del proceso de implementación del sistema de puesta a tierra en el Mini Centro Comercial “Mi Balcón”.

## PRESENTACIÓN

Los sistemas de puesta a tierra están definidos en base a un conjunto de componentes que brindan protección a equipos y personas; lamentablemente por situaciones culturales este tipo de sistemas son implementados en soluciones de alto nivel aun cuando sus beneficios y bajo costo de construcción permiten mitigar los daños producidos por fallas de energía incluso en soluciones de nivel residencial.

A nivel nacional e internacional se han establecido un conjunto de normativas y lineamientos técnicos que definen las condiciones necesarias para la construcción y validación de sistemas de puesta a tierra, los mismos que han derivado en un conjunto de criterios variados de solución debido a la diversidad en la información disponible en el medio.

El presente proyecto pretende establecer un marco de referencia sobre la utilidad de los sistemas de puesta a tierra, estableciendo para efecto de verificación y control, un proyecto real que permitió establecer un escenario de trabajo idóneo para contrastar la documentación disponible frente al diseño de una propuesta de solución.

Como se puede observar en los distintos apartados dispuestos en el presente documento, existen diversas formas de solucionar el mismo problema, razón por la cual se espera en base a la experiencia obtenida, proporcionar información clave para soluciones en escenarios de similares condiciones a las expuestas en el presente proyecto.

# CAPITULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. INTRODUCCIÓN.

Desde hace varios años la normativa técnica de instalaciones eléctricas tanto nacionales como internacionales establecen la obligatoriedad de diseñar edificaciones con las respectivas protecciones eléctricas denominadas Sistemas de Puesta a Tierra, con la finalidad de salvaguardar y proteger al contingente humano, equipos eléctricos y electrónicos, de corrientes transitorias peligrosas o producidas por fallas de aislamiento.

En el Código Eléctrico Nacional en la Sección 250-5 literal (b) de Puesta a tierra se establece como obligatorio la implantación de un sistema de este tipo para los sistemas de corriente alterna entre 50 y 1000V; posteriormente en la sección 250-45 literal (c y d) del código mencionado, se determina la obligatoriedad de sistemas de puesta a tierra para equipos conectados con cordón y clavija en ocupaciones residenciales y no residenciales.

En el artículo 15 Puesta a Tierra del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas de Colombia (RETIE) se establece que, toda instalación eléctrica cubierta por el presente reglamento, excepto donde se indique expresamente lo contrario, debe disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), de tal forma que cualquier punto del interior o exterior, normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no estén sometidos a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

### 1.2. SELECCIÓN DEL TEMA.

Mediante el presente proyecto de grado, se pretende Diseñar y Construir un Sistema de Puesta a Tierra para la Protección Eléctrica del Mini Centro Comercial “MI BALCON”.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El Mini Centro Comercial “Mi Balcón” es un emplazamiento compuesto de un total de 9 locales comerciales, el cual carecía de un sistema de puesta a tierra de características técnicas como lo dictaminan las normativas vigentes establecidas en el Código Eléctrico Nacional, esta falencia en su sistema eléctrico venía ocasionando un sinnúmero de daños al equipamiento eléctrico y electrónico debido al escaso control de las corrientes transitorias y de fallas de aislamiento originando pérdidas económicas y la posibilidad de producir daños a la integridad de los propietarios y clientes que recurren al mencionado establecimiento de compras.

De lo expuesto, se plantea la necesidad de diseñar y construir un sistema de puesta a tierra que permita controlar las corrientes transitorias y de fallas de aislamiento que están ocasionando los inconvenientes mencionados cumpliendo de esta manera con la normativa nacional vigente para este tipo de edificaciones.

### **1.4. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.**

#### **1.4.1. DIAGNÓSTICO.**

Como se mencionó en el apartado Planteamiento del Problema, la inexistencia de un sistema de puesta a tierra produce daños a nivel de equipamiento eléctrico y electrónico sin dejar de lado la posibilidad de afectar al contingente humano disponible en el mini centro comercial Mi Balcón, en base al estudio realizado a continuación se muestran las posibles causas que producen la inexistencia de este tipo de controles en establecimientos similares al objeto de estudio asociado al presente proyecto:

- Desconocimiento sobre las normas existentes para la construcción de edificaciones.

- Falta de información sobre los beneficios que brinda la protección de un Sistema de Puesta a Tierra.

Actualmente existe una amplia diversidad de sistemas de puesta a tierra acordes a las necesidades dispuestas por el entorno, por lo que el presente trabajo de grado pretende demostrar la fiabilidad del sistema mencionando considerando los parámetros de estudio asociados a este tipo de instalaciones.

#### **1.4.2. PRONÓSTICO.**

De mantenerse el escaso control dispuesto en el sistema eléctrico del Mini Centro Comercial “Mi Balcón”, se estima que los problemas ocasionados en el equipamiento eléctrico y electrónico se incrementarán de forma exponencial considerando un crecimiento sustentable de los locales comerciales que dispone el centro de compras, sin dejar de lado la posibilidad de afectar al contingente humano.

#### **1.4.3. CONTROL DE PRONÓSTICO.**

Es por tanto necesario diseñar y construir un sistema de puesta a tierra para el Mini Centro Comercial “Mi Balcón” que permita controlar adecuadamente el sistema eléctrico, reduciendo al mínimo los daños que podrían ocasionarse por la falta de este tipo de sistema.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN.**

#### **1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.**

La carrera de Electromecánica de la Escuela Politécnica Nacional, tiene como objetivo, fomentar el campo tecnológico del país, razón por la cual es necesario establecer un vínculo, con la sociedad que permita conocer la problemática del sector productivo.

El presente proyecto es un eslabón importante en la cadena de la comunicación con el medio externo, el mismo permitirá conocer a la Escuela las necesidades del sector productivo y a la vez se facilita la difusión de la potencialidad de la carrera.

### **1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.**

1.- La investigación sobre sistemas de puesta a tierra es un tema de vital importancia en la actualidad puesto que las normas establecidas en el Código Eléctrico Nacional para instalaciones eléctricas domiciliarias como de instalaciones eléctricas industriales en lo que respecta a protecciones eléctricas así lo exigen, con el propósito de salvaguardar la integridad humana y de equipamientos eléctricos y electrónicos.

2.- En vista de que los sistemas de puesta a tierra del Mini Centro Comercial Mi Balcón son de carácter empírico y no se apegan a las normativas vigentes para la implantación de los mismos, es necesario el diseño y construcción de un nuevo sistema de puesta a tierra con características técnicas que garanticen una protección adecuada y minimicen los riesgos que ocasionan las corrientes transitorias peligrosas o producidas por falla de aislamiento.

3.-La instalación de un sistema de puesta a tierra es un tema complejo desde el punto de vista de la resistividad de terreno que está dada por: su naturaleza, humedad, temperatura, salinidad, estratigrafía, compactación, las variaciones estacionales y de las dimensiones con que se cuenta para el montaje, en el Mini Centro Comercial Mi Balcón, es indispensable tomar en cuenta estos factores para el diseño de la puesta a tierra siendo de gran importancia indagar profundamente en el tema para conseguir los objetivos planteados.



### **1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.**

En la ejecución del presente proyecto se aplicaran las bases teóricas y prácticas de, Electricidad, Compuestos Químicos, Soldaduras Exotérmicas, Resistividad del Terreno, y Protecciones Eléctricas.

Y de sobre manera el estudio y la construcción de este proyecto será de gran ayuda para nosotros, ya que independientemente de la actividad que realizamos en nuestro trabajo estamos muy ligados con un sistema de puesta a tierra, porque necesitamos proteger al contingente humano, conexiones eléctricas y evitar daños en equipos eléctricos y electrónicos, y de esta manera demostrar los conocimientos adquiridos en la Universidad y poder crecer profesionalmente.

## **1.6. OBJETIVOS.**

### **1.6.1. OBJETIVO GENERAL.**

Diseñar y Construir un Sistema de Puesta a Tierra para la Protección Eléctrica del Mini Centro Comercial “MI BALCON”.

### **1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar la resistividad del terreno en donde fue construido el MMC “Mi Balcón” para establecer las características técnicas del Sistema de Puesta a Tierra.
- Diseñar y construir un Sistema de Puesta a Tierra unificado, conforme a las normas y criterios técnicos actualizados para garantizar el efectivo control de los inconvenientes identificados.
- Demostrar las ventajas provistas por el Sistema de Puesta a Tierra para el MMC “Mi Balcón” en base a la medición de resistividad resultante del proceso.

## 1.7. ALCANCE.

En este apartado se describe el alcance de la solución a ser implantada en el MMC “Mi Balcón” conforme a los lineamientos establecidos para el presente proyecto.

### 1.7.1. DESCRIPCIÓN DE DESARROLLO.

El producto o solución esperada en el presente proyecto está delimitado por las siguientes especificaciones:

**Tabla 1 Recursos Disponibles para el desarrollo del proyecto**

Características	Descripción
Resistividad del Terreno.	La medición de este parámetro, permite establecer la capacidad que tiene el suelo para conducir la electricidad, permitiendo establecer los lineamientos técnicos para la solución esperada.
Sistema de Puesta a Tierra	Es un conjunto conformado por una variedad de elementos metálicos y/o químicos que permiten normalizar la resistividad del terreno permitiendo mitigar los riesgos ocasionados por la Tensión de contacto y la Tensión de Paso.

### 1.7.2. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.

El sistema de puesta a tierra estará provisto de Las siguientes características: baja impedancia, gran capacidad de desfogue de corrientes de falla y mínimo mantenimiento, permitirán controlar la diferencia de potencial que en un momento dado puede presentarse entre estructuras metálicas y la tierra por fallas de aislamiento, mejorando la calidad del servicio eléctrico con la finalidad de proteger a las personas y al equipamiento eléctrico y electrónico.

## **1.8. FACTIBILIDAD.**

### **1.8.1. FACTIBILIDAD TÉCNICA.**

Técnicamente se dispone de los siguientes recursos técnicos:

- Equipo para medición de la resistividad del terreno (Teluometro).
- Materiales de gran calidad y fácil acceso en el mercado (Varillas Copperweld, Cable, Compuestos químicos para mejorar el terreno).
- Buen manejo de la soldadura exotérmica.
- Personal Técnico Capacitado

## CAPITULO II

### MARCO DE REFERENCIA

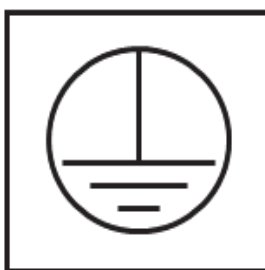
#### 2.1. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

Según la norma IEEE un sistema de puesta a tierra se define como “Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de la tierra”<sup>1</sup>.

Se puede decir que un sistema de puesta a tierra se fundamenta en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar daños al equipamiento en caso de una corriente transitoria peligrosa, es decir, el objetivo principal de un sistema de puesta a tierra es el de brindar seguridad a las personas y proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección.

#### 2.2. SIMBOLO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA<sup>2</sup>

Según la norma IEC 5019, el símbolo para representar un sistema de puesta a tierra es el siguiente:



**Figura 1 Símbolo de Sistemas de Puesta a Tierra**

---

<sup>1</sup> Definición de la IEEE, <http://www.analfatecnicos.net/archivos/08.PuestaATierra.pdf>

<sup>2</sup> ESTANISLAO R. Luis, Sistemas de Puesta Tierra Para Edificios Inteligentes, Pag.11

### **2.3. FUNCIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.**

La función de un sistema de puesta a tierra de una instalación eléctrica es, forzar la derivación al terreno de las corrientes de cualquier naturaleza que se puedan originar tales como: corrientes de defecto, bajo frecuencia industrial, por fallas de aislamiento, o debida a descargas atmosféricas.

### **2.4. OBJETIVOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.**

Entre los principales objetivos de un sistema de puesta a tierra tenemos:

- Brindar seguridad a las personas.
- Limitar la diferencia de potencial (d.d.p) que en un momento dado puede presentarse entre estructuras metálicas y tierra por fallas de aislamiento.
- Proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección.
- Limitar las sobre tensiones internas (de maniobra- transitorias y temporales) que pueden aparecer en la red eléctrica en determinadas condiciones de explotación.
- Disipar la corriente asociada a descargas atmosféricas y limitar las sobre tensiones generadas.
- Mejorar la calidad del servicio.
- Disipar las cargas estáticas a tierra.

Para asegurar el cumplimiento de lo antes mencionado es muy importante que un sistema de puesta a tierra tenga una baja impedancia, de modo que se convierta en el camino más fácil a seguir por la corriente y de esta manera no se produzca un aumento de voltaje excesivo.

## **2.5.COMONENTES DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA<sup>3</sup>.**

Un sistema de puesta a tierra está constituido por uno o varios electrodos enterrados (según lo requiera el sistema), y conductores metálicos llamados las líneas de tierra, estos conductores conectan los electrodos a los equipos eléctricos que deban quedar puestos a tierra.

Los electrodos y conductores metálicos son los elementos más importantes de un sistema de puesta a tierra, sin embargo, existen otros elementos que son necesarios para la correcta instalación del sistema.

Los componentes de un sistema de puesta a tierra son:

- Conductor de puesta a tierra de los equipos.
- Conductor del electrodo de puesta a tierra.
- Electrodos.
- Conectores.
- Sueldas exotérmicas.
- Compuestos químicos.
- Barra de aterramiento.
- Caja de conexión.

A continuación se realiza un resumen de las características de los elementos que componen el sistema de puesta a tierra.

### **2.5.1. CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS.**

Estos conductores permiten conectar la carcasa de los equipos eléctricos y electrónicos al sistema de puesta a tierra.

Para calcular el calibre de este conducto, se utiliza la tabla 250\_122 del NEC internacional (Nipon Electric Code), que se presenta a continuación.

---

<sup>3</sup> CASAS Favio, Curso de Seguridad Eléctrica Integral, pag 60

Tabla 2 NEC Internacional Tabla 250-122<sup>4</sup>

Breaker Size	Wire Size
15	14
20	12
30	10
40	10
60	10
100	8
200	6
300	4
400	3
500	2
600	1
800	1/0
1000	2/0
1200	3/0
1600	4/0
2000	250kcmil
2500	350kcmil
3000	400kcmil
4000	500kcmil
5000	700kcmil
6000	800kcmil

El criterio para la utilización de la tabla 1.1 se basa, en observar la capacidad de corriente del breaker principal de acometida y con este valor buscar en esta tabla el calibre del conductor de tierra de los equipos.

### **2.5.2. CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.**

Es todo conductor que se conecta intencionalmente a la tierra, este conductor se convierte en un camino de escape, para la corriente no deseada la cual debe ser desviada hacia la tierra.

<sup>4</sup> [http://www.garciacomputers.com/wiki/index.php?title=NEC\\_Tables](http://www.garciacomputers.com/wiki/index.php?title=NEC_Tables)

Este conductor une la puesta a tierra con la barra principal de puesta a tierra para facilitar la selección de este componente se debe utilizar la Tabla 250-66 de la NEC internacional.

**Tabla 3 NEC Internacional Tabla 250-66 para cálculo del conductor<sup>5</sup>**

<b>Copper Conductor</b>	<b>(CU)</b>
#2 or smaller	8
#1 or #1/0	6
#2/0 or #3/0	4
Over #3/0 thru #350 kcmil	2
Over #350 kcmil thru #600 kcmil	1/0
Over #600 kcmil thru #1100 kcmil	2/0
Over #1100 kcmil	3/0

Para la utilización de la tabla mostrada anteriormente, es necesario conocer el calibre de los conductores de fase de la acometida principal del establecimiento.

### 2.5.2.1. Ecuación para cálculo del conductor.

Esta ecuación que se incluye a continuación es utilizada para el cálculo del diámetro del conductor del electrodo de puesta a tierra.<sup>6</sup>

#### Ecuación 1 Cálculo del Conductor

$$A_{mm^2} = \frac{IK_f \sqrt{t_c}}{1,9737}$$

Dónde:

$A_{mm^2}$  = Sección del conductor en mm<sup>2</sup>.

I = Corriente de falla a tierra, suministrada por el OR (rms en kA).

$K_f$  = Es la constante en Tablas, para diferentes materiales y varios valores de

<sup>5</sup> [http://www.garciacomputers.com/wiki/index.php?title=NEC\\_Tables](http://www.garciacomputers.com/wiki/index.php?title=NEC_Tables)

<sup>6</sup> <http://portalelectricos.com/retie/cap2art15.php>



$T_m$  .

$T_m$ = Es la temperatura de fusión o el límite de temperatura del conductor y una temperatura ambiente de 40°C.

$t_c$ =Tiempo de despeje de la falla a tierra.

### 2.5.3. ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.

Es un cuerpo metálico conductor desnudo, este puede ser una varilla, un tubo, un fleje, un cable, o una placa que va enterrado y su función es establecer el contacto con la tierra física.

A continuación se observa un resumen de las características de los electrodos.

Tabla 4 Requisitos para electrodos de puesta a tierra<sup>7</sup>

Tipo De Electrodo	Materiales	Dimensiones Mínimas			
		Diámetro mm	Área mm <sup>2</sup>	Espesor mm	Recubrimiento $\mu$ m
Varilla	Cobre	12,7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electro depositado 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 o cobre estañado	1,8 para cada hilo	50		
	Acero galvanizado en caliente	1,8 para cada hilo	70		
Placa	Cobre		20000	1,5	
	Acero inoxidable		20000	6	

<sup>7</sup> Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RITIE, Artículo 15.3.1

Ejemplos:

En la tabla 4 se puede observar que si el electrodo es una varilla de cobre su diámetro debe ser 12.7 mm como mínimo.

En otro caso, si es un cable de acero galvanizado en caliente cada hilo debe tener 1,8 mm de diámetro y se debe formar con estos un área de 70 mm<sup>2</sup>.

El electrodo de puesta a tierra es el componente principal para un sistema de puesta a tierra, es por esto que existen varios modelos con diferente forma, tamaño y características:

- Varilla Copperweld.
- Varilla.
- Rehilete.
- Placa.
- Electrodo en estrella.
- Electrodo de anillos.
- Malla.
- Placa estrellada.
- Electrodo de varilla de hierro o acero.
- Electrodo de tubo metálico.
- Electrodo empotrado en concreto.
- Electrodo horizontal o contra-antena.
- Electrodo Profundo.
- Electrodo en espiral.
- Electrodo químico.

Para conocer sus formas y sus características se realiza una breve reseña de cada uno de ellos.

### 2.5.3.1. Varilla Copperweld.

Esta varilla es las más usadas por su bajo costo, su composición es de acero recubierto de una capa de cobre, su longitud es de 1.80m a 3.05m y un diámetro de 16mm.

Esta varilla debe ser enterrada en forma vertical a una profundidad de por lo menos 1.80m a 2.40m, como se observa en la figura 1.2. La norma también acepta que la varilla Copperweld puede ser enterrada en forma horizontal o con un ángulo de inclinación siempre y cuando sea en una zanja de 80 cm. de profundidad como mínimo y cumpla con las condiciones de trabajo.

La varilla Copperweld no tiene mucha área transversal de contacto, pero si una longitud considerable, esto hace que se tenga contacto con algunas capas de tierra húmedas logrando así una valor de resistencia bajo.<sup>8</sup>

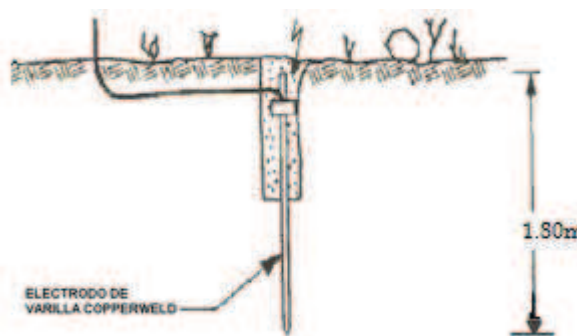


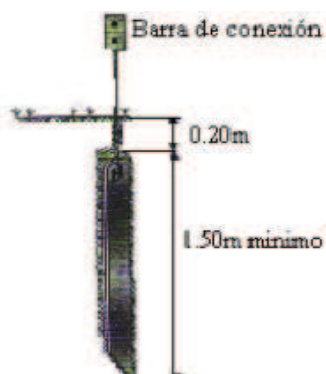
Figura 2 Electrodo Varilla Copperweld.

### 2.5.3.2. Varilla.

Este tipo de electrodo de tierra tiene un área transversal de contacto más grande que la varilla Copperweld, por lo que no necesita mucha longitud.

<sup>8</sup> ESTANISLAO R. Luis, Sistemas de Puesta Tierra Para Edificios Inteligentes, Pag.16

La figura 3 muestra un electrodo tipo varilla, esta se forma de un perfil de acero galvanizado, y puede ser en forma de cruz.<sup>9</sup>



**Figura 3 Electrodo Varilla de Acero Galvanizado.**

### 2.5.3.3. Rehilete.

Este electrodo de puesta a tierra está formado por dos placas de cobre cruzadas, las cuales se encuentran soldadas. Como se puede observar en la figura 4 las dos placas soldadas hace que el área de contacto sea muy grande es por esto que este tipo de electrodos se los usa en terrenos en donde es muy difícil excavar.<sup>10</sup>



**Figura 4 Electrodo de Rehilete**

<sup>9</sup> <http://dc184.4shared.com/doc/SoDP54Vc/preview.html>

<sup>10</sup> [http://www.potenciaes.com/index\\_archivos/rehiletos.pdf](http://www.potenciaes.com/index_archivos/rehiletos.pdf)

#### 2.5.3.4. Placa.

Debido a que este electrodo tiene una gran área de contacto es recomendable en instalarlas en terrenos que tengan alta resistividad. Según normas mexicanas, el área de la placa debe ser de 2000 cm<sup>2</sup>, con un espesor mínimo de 6,4 mm en materiales ferrosos y para materiales no ferrosos un espesor mínimo de 1.54mm. A continuación en la figura 5 se presenta el diagrama de una placa que es utilizada como electrodo de puesta a tierra.<sup>11</sup>

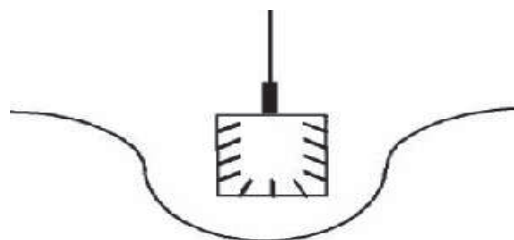


Figura 5 Electrodo Placa Metálica

#### 2.5.3.5. Electrodo en Estrella.

Este tipo de electrodo se puede construir con cable de cobre desnudo, con ramificaciones a 60 grados. Estos electrodos se utilizan en el campo, ya que por la longitud del cable se obtiene un valor de resistencia menor. En la figura 1.6, se puede apreciar en forma gráfica el diseño del electrodo en estrella.

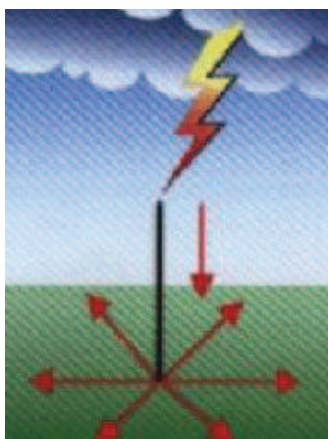


Figura 6 Electrodo en Estrella

<sup>11</sup> <http://dc184.4shared.com/doc/SoDP54Vc/preview.html>

### 2.5.3.6. Electrodo de anillos.

Este electrodo consiste en una espira de cable de cobre desnudo con un diámetro mínimo de 33,6 mm, y una longitud mínima de 6 m en contacto con la tierra, el electrodo de anillo va colocado a una profundidad no menor a 80 cm.<sup>12</sup>

En la figura 7 se muestra un anillo de puesta a tierra de un poste de ferroconcreto.

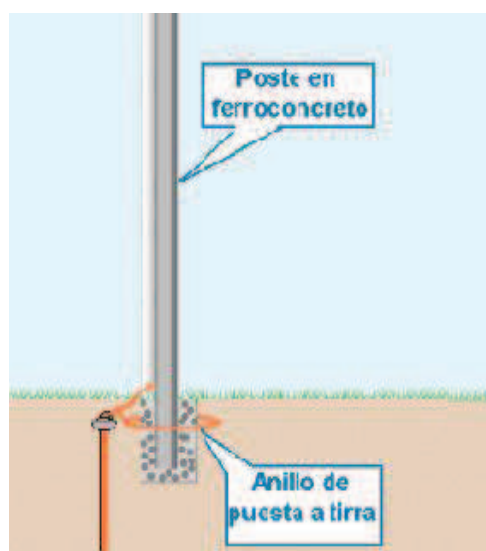


Figura 7 Anillo de Puesta a Tierra.

### 2.5.3.7. Malla.

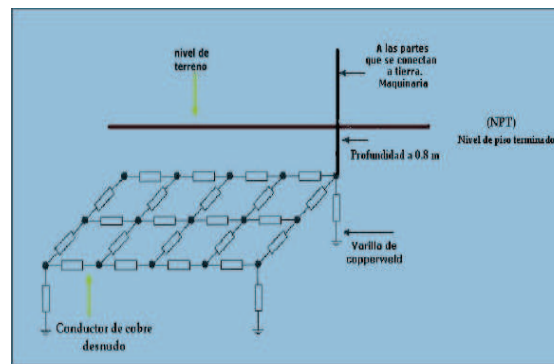
El electrodo de puesta a tierra en forma de malla se consigue armando una red de conductores de cobre desnudo, mientras más conductores tenga la malla mejor será su impedancia y la disipación de la corriente será muy efectiva.

Esta malla de puesta a tierra es muy utilizada en las subestaciones eléctricas, porque su configuración ayuda a reducir el riesgo por descargas eléctricas.

Un modelo básico de una malla de puesta a tierra está representado en la figura 8, que se muestra a continuación.<sup>13</sup>

---

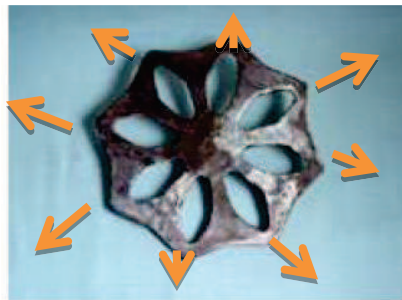
<sup>12</sup> Manual del Código Eléctrico Colombiano NTC. Sección 250-280. Pag. 41



**Figura 8 Malla de Tierra.**

### 2.5.3.8. Placa estrellada.

Este tipo de electrodo es una placa que tiene varias puntas en su contorno, esta se conecta por medio de una barra la cual es atornillada. Su principal ventaja es que ayuda a que se disipe la energía a través de las puntas. La figura 9 es una fotografía de una placa estrellada, en esta claramente se puede observar las puntas por donde se disipa la corriente.<sup>14</sup>



**Figura 9 Placa Estrella.**

### 2.5.3.9. Electrodo de Varillas de hierro o acero.

Prácticamente este electrodo de puesta a tierra son las varillas utilizadas en las columnas de las construcciones. Estas debe tener algunas características por

<sup>13</sup> [http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public\\_www/capitulo5/mallas\\_de\\_tierra\\_clip\\_image002.gif](http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public_www/capitulo5/mallas_de_tierra_clip_image002.gif)

<sup>14</sup> <http://dc184.4shared.com/doc/SoDP54Vc/preview.html>.

ejemplo su diámetro no debe ser menor a 16 mm y deben estar a una profundidad de 80 cm como mínimo para poder utilizarla como electrodos.<sup>11</sup> La figura 10 se puede observar este tipo de varillas.



**Figura 10 Varillas de Hierro o Acero usadas en la Construcción de Edificios.**

#### **2.5.3.10. Electrodo de tubo metálico.**

Este electrodo puede ser la tubería metálica utilizada para la transportación del agua. El diámetro debe ser mínimo 19 mm, si el tubo es de acero o hierro tiene que tener una cubierta de otro metal para que lo proteja de la corrosión, la tubería debe estar enterrada por lo menos 3m. Años atrás las tuberías de agua eran metálicas y podían ser usadas como electrodos de tierra, en la figura11 se puede observar un ejemplo de este tipo de electrodos.<sup>15</sup>



**Figura 11 Electrodo de Tubo Metálico**

<sup>11</sup>[http://www.grupocobos.com.mx/ferrogaly\\_archivos/varilla.jpg](http://www.grupocobos.com.mx/ferrogaly_archivos/varilla.jpg)

<sup>15</sup> <http://dc184.4shared.com/doc/SoDP54Vc/preview.html>



### 2.5.3.11. Electrodo empotrado en concreto.

Este tipo de electrodo se encuentra en las cimentaciones enterradas. Las cuales deben tener una longitud mínima de 6 m con varillas desnudas y de un diámetro no inferior a 13 mm., el electrodo debe estar incrustado en el concreto mínimo 5 cm, esto se puede observar en la figura 12.<sup>16</sup>

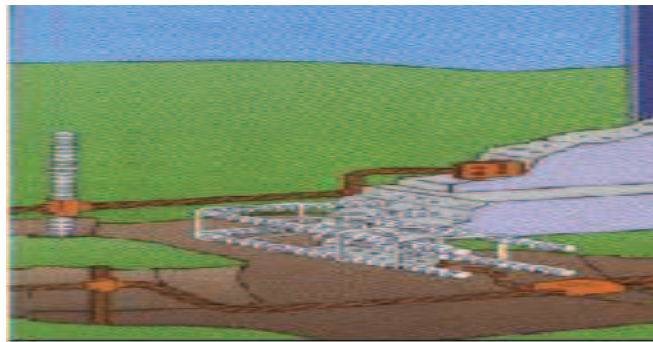


Figura 12 Electrodo Empotrado en Concreto.

### 2.5.3.12. Electrodo horizontal o contra-antena.

El electrodo horizontal es un conductor de cobre desnudo enterrado de forma horizontal en una zanja de 80 cm como mínimo de profundidad, se puede hacer varias configuraciones, pero la más utilizada es la línea recta. Su principal inconveniente es que la excavación esta es muy costosa. Ver figura13.

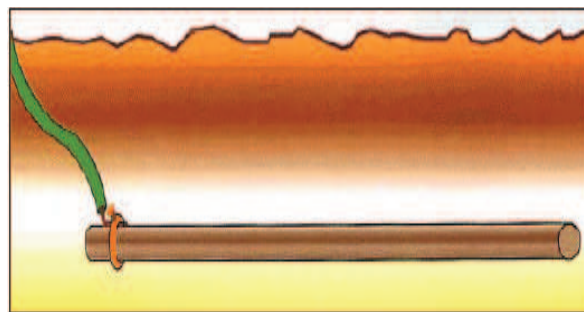


Figura 13 Electrodo horizontal o contra-antena.

<sup>16</sup> <http://dc184.4shared.com/doc/SoDP54Vc/preview.html>

### 2.5.3.13. Electrodo profundo.

Este electrodo no es más que una varilla Copperweld unida a un conductor de cobre desnudo de gran longitud. Este electrodo es utilizado en terrenos donde hay mucha roca, se hace una perforación vertical profunda hasta encontrar las capas húmedas de la tierra, ya que la humedad aumenta la conductividad.<sup>17</sup> La figura 14, es una representación de este tipo de electrodo.

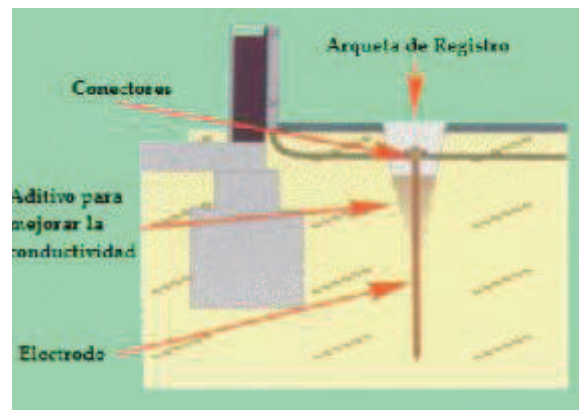


Figura 14 Electrodo profundo.

### 2.5.3.14. Electrodo en espiral.

El electrodo en espiral es un cable de cobre desnudo de diferente diámetro y enterrados a varias profundidades para lograr el contacto con algunas capas de la tierra. Véase en la figura. 15, la representación de un electrodo en espiral.



Figura 15 Electrodo en Espiral

<sup>17</sup> <http://dc184.4shared.com/doc/SoDP54Vc/preview.html>.

### 2.5.3.15. Electrodo químico.

Los electrodos químicos son aquellos a los que se les adiciona algún compuesto químico para aumentar la conductividad. Son tubos de cobre con tapas en sus extremos, en cuyo interior se introduce el compuesto químico que hace contacto con la tierra por medio de varios orificios pequeños realizados alrededor del tubo para este propósito. En la figura 16, se puede observar un electrodo químico instalado.<sup>18</sup>

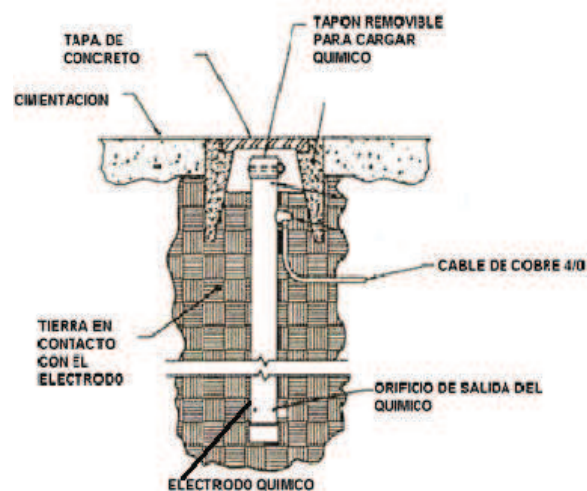


Figura 16 Electrodo Químico.

### 2.5.4. CONECTORES.

Estos conectores son de gran utilidad ya que permiten empalmar barras Copperweld con los conductores, obteniendo una unión cobre- cobre y una baja resistencia. Son manufacturados con aleación de cobre y sus tornillos son de bronce. Su configuración permite desconectar el conductor de la barra fácilmente para poder realizar mediciones independientes de la resistencia de la tierra.<sup>19</sup>

<sup>18</sup> ESTANISLAO R. Luis, Sistemas de Puesta Tierra Para Edificios Inteligentes Pag.35

<sup>19</sup> GEDISA, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, Capítulo 3 Sección 2-4.

En la figura 17 se puede observar cómo se forma una unidad conductiva entre el electrodo y el conductor.



**Figura 17 Conectores**

### **2.5.5. SUELDAS EXOTERMICA.**

Este proceso se realiza mediante un molde de grafito el cual es diseñado y ajustado a un cierto tipo y tamaño de unión de los conductores. El proceso para realizar esta unión es el siguiente:

- Se coloca el molde entre los conductores (conductor y barra).
- Se introduce la mezcla de polvo de aluminio y de óxido de cobre.
- Se procede a calentar el molde con un mechero (pistola con pedestal, soplete a gas).
- luego de unos minutos se enciende la mezcla creando una reacción que forma una unión de cobre virtualmente puro en el contorno de los conductores.

La reacción de alta temperatura se produce en el interior del molde de grafito. Si se ocupa y mantiene adecuadamente, cada molde puede usarse para realizar entre 50 y 70 uniones.<sup>20</sup> Este tipo de unión asegura los siguientes beneficios:

---

<sup>20</sup> GEDISA, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, Capítulo 3 Sección 9-1

- Proporciona una unión permanente, de baja resistencia eléctrica y buena resistencia a la corrosión.
- La técnica empleada no requiere adiestramiento.
- Puede operar a alta temperatura, permitiendo eventualmente reducir el calibre del conductor.

En la figura 18 se observa el proceso de elaboración de soldadura exotérmica con algunos ejemplos de este tipo de uniones.

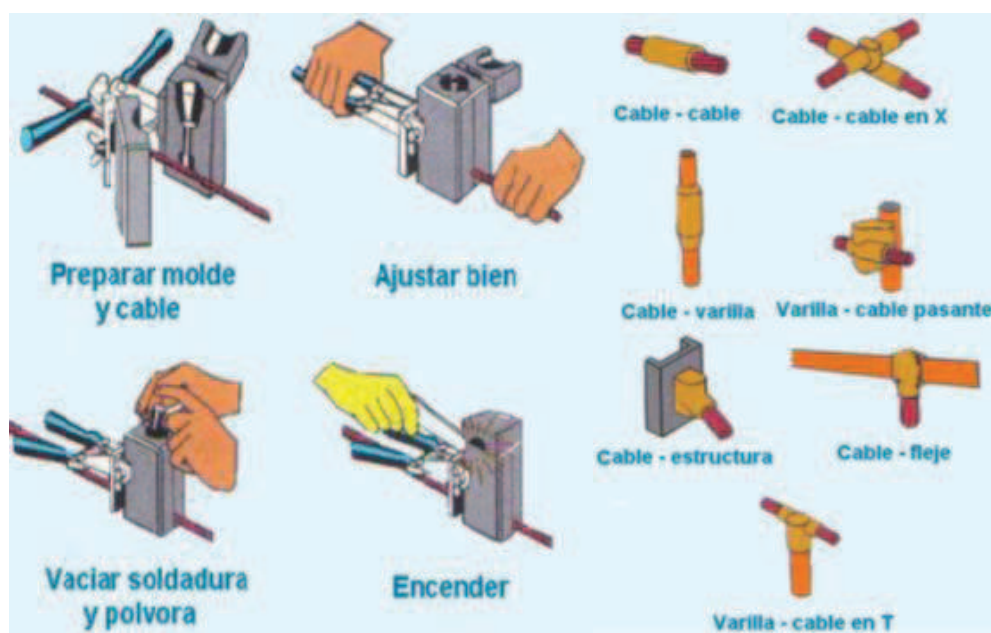


Figura 18 Proceso de aplicación de Soldadura Exotérmica.

### 2.5.6. COMPUESTOS QUÍMICOS.

Los compuestos químicos son utilizados en los sistemas de puesta a tierra para bajar la resistividad de los suelos. Los compuestos químicos utilizados para el relleno, deben compactarse fácilmente, no deben ser corrosivos y a la vez deben ser buenos conductores eléctricos. En el mercado existen productos que cumplen estas condiciones de manera muy eficiente, como por ejemplo, la bentonita, el sulfato de magnesio, el sulfato de cobre, o compuestos químicos patentados como THOR GEL, GEM.

A continuación se describen las características de los químicos más usados en los sistemas de puesta a tierra, estos son: GEM y el THOR GEL.

#### 2.5.6.1.GEM (Ground Enhancement Material).<sup>21</sup>

Son muy pocas las veces que los diseñadores de los sistemas de tierra y contratistas tienen la posibilidad de trabajar en suelos con buenas condiciones de aterrizaje aún en condiciones propicias la resistividad del suelo puede variar para determinadas áreas, por esta razón la empresa ERICO recomienda usar el químico llamado GEM (Ground Enhancement Material) conocido también como intensificador de tierra.

El intensificador de tierra GEM es permanente porque una vez colocado no requiere mantenimiento y tiene una resistividad hasta 20 veces menor que la bentonita como se muestra en la Figura 19.

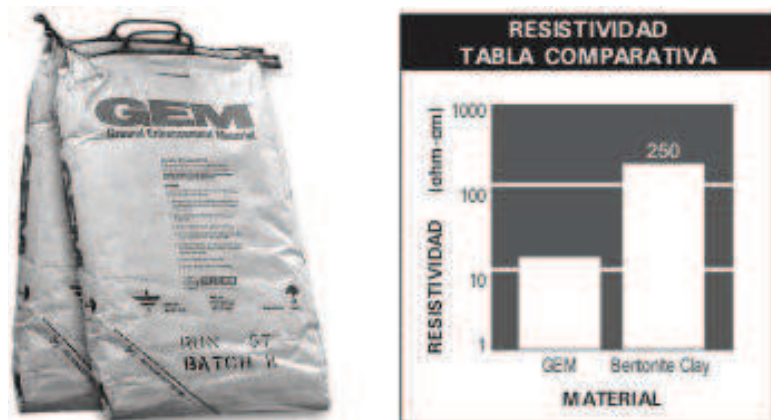


Figura 19 Comparación de resistividad entre GEM y Bentonita.

El GEM es un material no corrosivo, es hecho a base de polvo de carbón y posee una resistividad muy baja, lo que le hace ideal para uso en suelos con una pobre conductividad.

<sup>21</sup> [http://plussuministros.com.mx/gem\\_cadweld.php](http://plussuministros.com.mx/gem_cadweld.php)

El GEM contiene cemento por lo cual se endurece y no requiere mantenimiento. Adicionalmente el GEM es químicamente estable, no es agresivo con el medio ambiente y no requiere humedad para mantener su alta conductividad. Es fácil de preparar, su mezcla se realiza con agua limpia en una proporción de 5.7 a 7.6 litros de agua limpia por cada saco de 25 lbs.

Sus beneficios son:

- Reduce drásticamente la impedancia y resistividad del suelo.
- Mantiene una resistencia constante durante la vida útil del sistema de tierra.
- Hace más eficiente el aterrizaje en temporadas secas.
- Es químicamente estable y la producción de sulfatos y clorhidros es muy bajo, esto se traduce en una mayor resistencia a la corrosión de los conductores.

#### **2.5.6.2.THOR GEL<sup>22</sup>**

Es un compuesto químico complejo que se forma cuando se mezclan en el terreno la solución acuosa de sus dos componentes. El compuesto químico resultante tiene naturaleza coloidal, formando una malla tridimensional, que facilita el movimiento de ciertos iones dentro de la malla, de modo que pueden cruzarlo en uno u en otro sentido; convirtiéndose en un excelente conductor eléctrico.

Tiene una gran atracción por el agua, de modo que puede aprisionarla manteniendo un equilibrio con el agua superficial que la rodea; esto lo convierte en una especie de reservorio acuífero, rellena los espacios intrínsecos dentro del pozo, constituyendo una excelente conexión eléctrica entre el terreno (reemplazado) y el electrodo, asegurando una conductividad permanente.

---

<sup>22</sup> <http://www.para-rayos.com/datos/gel20061.pdf>

THOR-GEL tiene el PH ligeramente básico y no es corrosivo con el cobre, por lo que la vida media de la puesta a tierra con el producto THOR-GEL, será de 20 a 25 años.

No necesita mantenimiento periódico, se debe realizar mantenimiento si la pérdida de humedad es notoria y si hay elevación de la resistencia eléctrica. En la figura 20 se puede observar el THOR – GEL, en presentación de 12.5Kg.



**Figura 20 THOR-GEL.**

#### *2.5.6.2.1. Método de aplicación del THOR-GEL.*

El tratamiento consiste en incorporar al pozo los electrolitos, que aglutinados bajo la forma de un Gel mejora la conductividad de la tierra y retenga la humedad en el pozo por un periodo prolongado, de manera que se garantice una efectiva reducción de la resistencia eléctrica y una estabilidad que no se vea afectada por las variaciones del clima.

La cantidad de dosis de 11 libras por metro cúbico de tierra del SPAT, varía de 1 a 3, y está en función a la resistividad natural del terreno.

### **2.5.7. BARRA DE ATERRAMIENTO.**

La barra de aterramiento es una barra donde llega el conductor del electrodo de puesta a tierra, a esta barra llegan también los conductores de las puesta a tierra de los equipos.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> GEDISA, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, Capítulo 3 Sección 6-5



Estas barras se diseñan para concentrar los circuitos eléctricos que posteriormente van a ser puestos a tierra, en la figura 21 se muestra un ejemplo de una barra de aterramiento común.



**Figura 21 Barra de Aterramiento.**

#### **2.5.8. CAJA DE CONEXIÓN.**

Estas cajas se utilizan como un armario de protección, para evitar el contacto directo de la conexión del sistema de puesta a tierra con las personas. La figura 22 muestra este tipo de caja de conexión.



**Figura 22 Caja de Conexión.**

Estas cajas de distribución se las conoce también como gabinetes o armarios y son utilizados comúnmente en:<sup>24</sup>

- Industria.
- Edificios.
- Construcción.
- Petroleras.
- Servicios petroleros.
- Telecomunicaciones.
- Suministros de energía.
- Agroindustria, etc.

Las cajas de conexiones o de distribución se utiliza para realizar empalmes de:

- Tableros eléctricos.
- Equipos electrónicos y eléctricos.
- Motores.
- Medidores.
- PLC.

En el mercado existe una infinidad de modelos y tamaños, dependiendo de su uso cada una posee características propias.

## **2.6. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.**

A medida que el uso de la energía eléctrica se extiende se requiere ser más exigentes en cuanto a la normalización y reglamentación en el uso de sistemas de puesta a tierra con la finalidad de garantizar condiciones óptimas de seguridad en la operación de sistemas eléctricos.

---

<sup>24</sup> <http://www.ec.all.biz/gabinetes-y-armarios-metalicos-g1938>

Por este motivo se ha considerado como principales referencia las siguientes normativas.

- IEEE Std 80-2000.
- Reglamento de seguridad NEC.
- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) Colombia Capítulo II Artículo 15 «Puestas a Tierra» y su respectivo manual.
- Otras Publicaciones tomadas del internet.

La guía presentada a continuación recopila prácticas vigentes para el diseño y construcción de sistemas de puesta a tierra, recomendadas por normas y reglamentos internacionales, resumiendo aquellas de aplicación general que pueden ser aplicadas a nuestro medio.

### **2.6.1. DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA PARA CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.**

El diseño de sistemas de puesta a tierra se lo suele dividir en dos grupos para los equipos de transformación:

- Transformador aéreo.
- Cámara de transformación (subterránea).

#### **2.6.1.1. Transformadores Aéreos.**

En el caso de «transformadores aéreos» el diseño se lo debe realizar con el siguiente procedimiento.

- Calculo de la Resistividad.
- Selección de conductores y electrodos
- Calculo de la Resistencia de puesta a tierra.

#### *2.6.1.1.1. Calculo de la Resistividad.*

Para el diseño de un sistema de puesta a tierra, es necesario conocer el valor de la resistividad del terreno donde se va a realizar la futura instalación, para ello es necesario efectuar mediciones de resistividad.

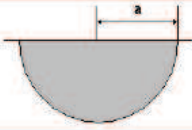

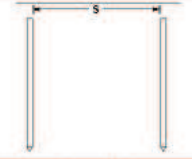


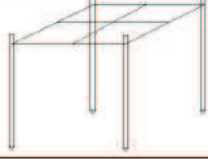


##### *2.6.1.1.1.1. Selección de conductores y electrodos.*

Es necesario saber que conductores y qué tipo de electrodos se utilizaran. Para la selección de los conductores de puesta a tierra se puede considerar las tablas NEC 250-12 y NEC 250-66, las mismas que se encuentran disponibles en los apartados anteriores del presente documento. Adicionalmente para la selección de los electrodos de puesta a tierra se utiliza la tabla 4 denominada Requisitos para electrodos de puesta a tierra.

#### *2.6.1.1.2. Calculo de la Resistencia de puesta a tierra.*

Una vez que se tiene el valor de resistividad en  $\Omega.m$ , y definido el material que se utilizará en el diseño, se procederá al cálculo de la resistencia de puesta a tierra, teniendo como referencia el valor en  $\Omega$  al cual se quiera llegar, para esto se debe usar las formulaciones que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5 Fórmulas para el cálculo de resistencias de puesta a tierra en baja frecuencia<sup>25</sup>

Ítem	Simbología	Tipo de Sistema	Ecuación
1		Semiesfera, radio a	$RPT = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L}$
2		Electrodo vertical de longitud L y radio a	$RPT = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot L}{a}\right)$
3		2 electrodos a distancia S > L	$RPT = \frac{\rho}{2} \cdot \left(0.404 + \frac{0.16}{S} \cdot \ln(1.31)\right)$
4		N electrodos en línea recta S > 2L	$RPT = \frac{\rho}{N} \cdot \left(0.404 + \frac{0.16}{S} \cdot \ln(0.655 \cdot N)\right)$
5		Conductor horizontal de longitud L, enterrada h > 6r, r radio del conductor	$RPT = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln\left(\frac{L}{r}\right) + \ln\left(\frac{L}{2 \cdot h}\right)\right)$
6		Electrodo en cada esquina A = Área total L = longitud total de conductor	$RPT = 0.443 \cdot \frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L}$
7		Anillo de conductor radio del anillo R radio del conductor r enterrada S/2	$RPT = \frac{\rho}{4 \cdot \pi^2 \cdot R} \cdot \ln\left(\frac{8 \cdot R}{r}\right)$
8		Placa horizontal h > 3a	$RPT = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln\left(\frac{2 \cdot L}{a}\right) + \ln\left(\frac{L}{2 \cdot h}\right)\right)$

### 2.6.1.2. Cámaras de transformación (Subterráneas).

Este método se utiliza para el diseño de mallas de tierra en lugares que se manejan altos voltajes, por esta razón se realizara solo una breve descripción o manera de información.

<sup>25</sup> CHIRIBOGA G. Raúl Alejandro, Proyecto (Tesis), Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela Capítulo 5 Pag.148.

Para el caso de «cámaras de transformación», es necesario tener una correcta distribución de potenciales en el suelo, debido a la cercanía con que se encuentra el personal de mantenimiento a todos los equipos que conforman dicha cámara; es por ello que para la construcción de su sistema de puesta a tierra, resulta mejor el diseño de una malla de puesta a tierra, ya que se toma en cuenta parámetros como voltajes máximos tolerables de paso y de contacto.

La metodología que se recomienda para el diseño de mallas de puesta a tierra, es el propuesto según la Norma IEEE Std 80-2000 y este diseño se basa en los parámetros que se muestran en la tabla 1.5, que se presenta a continuación:

**Tabla 6 Parámetros a considerar en el diseño para mallas de tierra.**

Símbolo	Parámetro
$\rho$	Resistividad del suelo
$\rho_s$	Resistividad de la superficie del suelo
$3I_0$	Corriente simétrica de falla en la subestación por conductor de tipo A
A	Área total de la malla
$C_s$	Factor de decremento en la capa superficial
d	Diámetro del conductor de malla
D	Espacio entre conductores paralelos
$D_f$	Factor de decremento por Determinación de $I_G$
$D_m$	Máxima distancia entre dos puntos en la malla
$E_m$	Voltaje de malla
$E_s$	Voltaje de paso
$E_{step\ 50}$	Voltaje de paso tolerable para una persona de 50 kg de peso
$E_{step\ 70}$	Voltaje de paso tolerable para una persona de 70 kg de peso
$E_{touch\ 70}$	Voltaje de contacto tolerable para una persona 70 kg
h	Profundidad de los conductores de la malla
$h_s$	Espesor de la capa superficial
$I_g$	Corriente simétrica de malla
K	Factor de reflexión entre diferentes resistividades
$K_h$	Factor de corrección por profundidad, enterramiento de la malla
$K_i$	Factor de corrección por geometría de malla
$K_{ii}$	Factor por corrección por ubicación de electrodos tipo varilla

## 2.7. RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

El objetivo del presente proyecto es realizar el diseño y construcción de un sistema de puesta tierra, para esto uno de los factores más importantes a considerar es la resistividad del suelo ya que de esta depende la eficiente disipación de las corrientes de falla.

Se entiende por resistividad del suelo o del terreno, a la propiedad que tienen los suelos para conducir la electricidad, esta propiedad es conocida también como la resistencia específica del terreno.

Cada terreno o sitio tiene su propia resistividad y la unidad de medida es el ohmios por metro ( $\Omega.m$ ).

Para la medición de la resistividad de los suelos se utiliza un instrumento llamado **TELUROMETRO**, este equipo de medición emplea métodos estandarizados que revisaremos más adelante.

También se puede realizar medidas de resistividad de los suelos tomando muestras y llevándolas a ser analizadas en laboratorios, de esta manera se obtiene la resistividad aparente ( **$\rho_a$** ).

Para llegar al cálculo de la resistividad del suelo se debe realizar el cálculo de la resistencia que ofrece un material específico, de longitud  $L$  y sección transversal constante  $A$ , para esto utilizamos la siguiente ecuación.<sup>26</sup>

**Ecuación 2 Cálculo de la Resistencia de un Material**

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

---

<sup>26</sup> [http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Electricidad\\_resistencia\\_calcular.html](http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Electricidad_resistencia_calcular.html)

Dónde:

- R= es la resistencia en ohmios ( $\Omega$ )
- $\rho$ = es la resistividad del material ( $\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$ )
- L= es la longitud del conductor en metros (m).
- A= es la sección del conductor en milímetros cuadrados ( $\text{mm}^2$ ).
- Considerando la ecuación anterior, es posible despejar la variable resistividad obteniendo la siguiente ecuación para el cálculo de la resistividad:

**Ecuación 3 Cálculo de la Resistividad de un Material**

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L}$$

De la ecuación 3 se concluye que la resistividad es directamente proporcional a la sección A y a la resistencia R del conductor, e inversamente proporcional a la longitud L. Por definición: “La resistividad del terreno es la resistencia de 1 Ohmio que presenta un cubo de terreno, de 1 metro de arista al paso de la corriente”.<sup>27</sup> Reemplazando los valores de esta definición en la ecuación 3 se pueden obtener los siguientes resultados:

Datos.

- Resistencia R = 1  $\Omega$
- El área A es = 1  $\text{m}^2$
- Y la longitud L = 1m.

En conclusión:

**Ecuación 4 Calculo de resistividad del Terreno**

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L} \quad \rho = \frac{1\Omega \cdot 1\text{m}^2}{1\text{m}} = 1\Omega\text{m}$$

---

<sup>27</sup> [http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico\[1\].pdf](http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico[1].pdf)



Por esta razón la unidad de la resistividad en el Sistema Internacional es el ohmio por metro ( $\Omega \cdot m$ ), interpretada también como resistencia por unidad de volumen.

En la siguiente figura se muestra una representación gráfica de la definición de resistividad del terreno.<sup>28</sup>

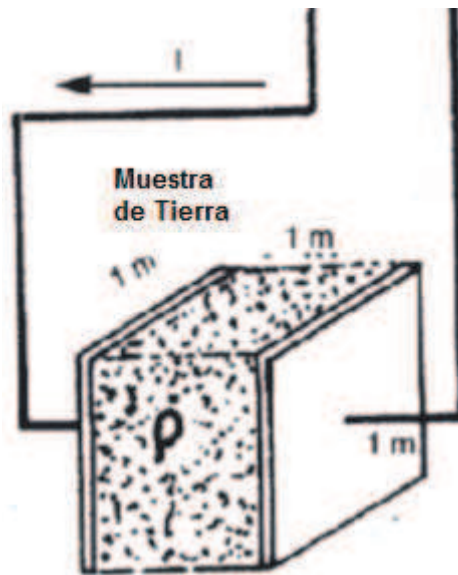


Figura 23 Resistividad del Terreno.

Como se menciona anteriormente, para el diseño de un sistema puesta a tierra, es de suma importancia determinar el comportamiento y las características del suelo, esto se debe a que el conjunto de elementos conformantes del sistema disipar las corrientes de falla o de defecto.

### 2.7.1. ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.<sup>29</sup>

La resistividad del terreno o suelo es un factor muy importante para el diseño de un Sistema de Puesta a Tierra, por esta razón es un requisito fundamental

<sup>28</sup> [http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico\[1\].pdf](http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico[1].pdf)

<sup>29</sup> RAÚL ALEJANDRO CHIRIBOGA GUARAS (Tesis) Proyecto, Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela, Capítulo 2 Pag.12.

establecer este parámetro debido a que el mismo influye en los cálculos y posterior diseño del sistema. A continuación se incluyen un conjunto de parámetros que incluyen en la medición:

- Naturaleza del terreno.
- Humedad.
- Temperatura.
- Salinidad.
- Estratigrafía.
- Variaciones estacionales y del medio ambiente.
- Factores de naturaleza eléctrica.
- Factores de naturaleza química.
- Compactación.

#### **2.7.1.1. Naturaleza del Terreno.**

Cada terreno tiene su propia característica, la misma que depende de su composición y la naturaleza, los terrenos se pueden clasificar en: buenos, regulares y malos conductores de la electricidad.<sup>30</sup>

Para clasificar a los terrenos como malos o buenos conductores de la electricidad se debe realizar un estudio de la composición del suelo, con estos resultados se puede concluir cual es la característica del suelo y que tratamiento se debe implementar para cambiar su característica y lograr que un terreno pase de malo a buen conductor.

Luego de algunos experimentos y estudios en los cuales se ha considerado la composición del suelo, se ha podido resumir en una tabla los valores específicos de cada terreno.

---

<sup>30</sup> RAÚL ALEJANDRO CHIRIBOGA GUARAS (Tesis) Proyecto, Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela, Capítulo 2 Pag.12.

Los valores específicos de los terrenos se observan en la tabla 1.6. que se encuentra en la página siguiente:

**Tabla 7 Valores de resistividad según el tipo de terreno<sup>31</sup>**

<b>NATURALEZA DEL TERRENO</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega.m</math>)</b>
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silícea	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Cuando la composición o las características de un terreno no son muy conocidas es dificulta la clasificación del tipo de suelo al que pertenece, es por esto que los estudiosos de la materia de los suelos han resumido tomando en cuenta la calidad del terreno, en la siguiente tabla se puede observar un conjunto de valores medios que facilitan el proceso de clasificación:

<sup>31</sup> RAÚL ALEJANDRO CHIRIBOGA GUARAS (Tesis)Proyecto, Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela, Capítulo 2 Pag.13

**Tabla 8 Valores Medios de la Resistividad<sup>32</sup>**

NATURALEZA DEL TERRENO	Valor medio de la Resistividad ( $\Omega.m$ )
Terrenos cultivables, fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles, terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3000

En las tablas precedentes se pueden observar los distintos niveles de resistividad del suelo considerando la naturaleza del terreno. Es necesario considerar que el tamaño de las partículas incide en el valor de la resistividad, por esta razón la grava tiene mayor resistividad que la arena, y ésta mayor resistividad que la arcilla, también se observa que los terrenos cultivables (50  $\Omega.m$ ) tienen menor resistividad que los terrenos pedregosos o arenas (3000  $\Omega.m$ ).

#### 2.7.1.2.Humedad.

La humedad es otro factor muy importante que produce cambios significativos en la resistividad del suelo. La humedad del terreno se conoce también como estado hidrométrico, la misma que afecta inversamente proporcional a la resistividad, es decir, al aumentar la humedad disminuye la resistividad y disipando de una forma óptima las corrientes de falla.

La variación de la resistividad ocurre en virtud de la activación de cargas eléctricas predominantemente iónicas por acción de la humedad, un porcentaje mayor de humedad hace que las sales presentes en el suelo o adicionadas a propósito se disuelvan formando un medio electrolítico favorable al paso de la corriente.<sup>33</sup>

<sup>32</sup> RAÚL ALEJANDRO CHIRIBOGA GUARAS, (Tesis)Proyecto, Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela, Capítulo 2 Pag.13

<sup>33</sup> [www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico\[1\].pdf](http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico[1].pdf)

La gráfica de la figura 1.25 es una clara muestra de que la falta de humedad en un terreno aumenta drásticamente el valor de la resistividad.

Por ejemplo, se puede observar en el siguiente gráfico en donde se representa un terreno compuesto de arcilla y un 5% de humedad, que muestra como resultado aproximadamente 80.000  $\Omega\cdot m$ , mientras que, en contraposición el mismo suelo con una humedad del 10% tiene aproximadamente una resistividad de 37.000  $\Omega\cdot m$ .<sup>34</sup>

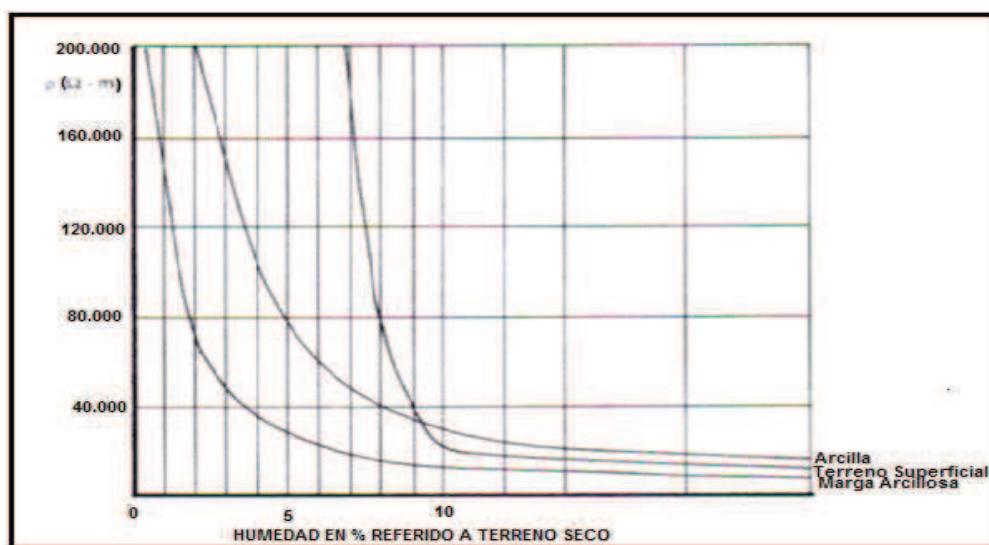


Figura 24 Variación de la resistividad del terreno en función de la humedad.

Otro efecto muy importante que se debe tener en cuenta es la evaporación natural del agua de la superficie del terreno, fenómeno que se propaga lentamente desde la superficie hacia la profundidad, parámetro que debe ser tomada en cuenta para establecer la ubicación del electrodo de tierra.

### 2.7.1.3. Temperatura del Terreno.

Las características térmicas del terreno dependen de la composición, grado de compactación y del nivel de humedad.

<sup>34</sup> [www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico\[1\].pdf](http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico[1].pdf)

A menor temperatura mayor es la resistividad del terreno, pero cuando la temperatura del terreno está por debajo de los cero grados centígrados, la resistividad aumenta muy rápidamente, como se puede ver en la siguiente Figura.<sup>35</sup>

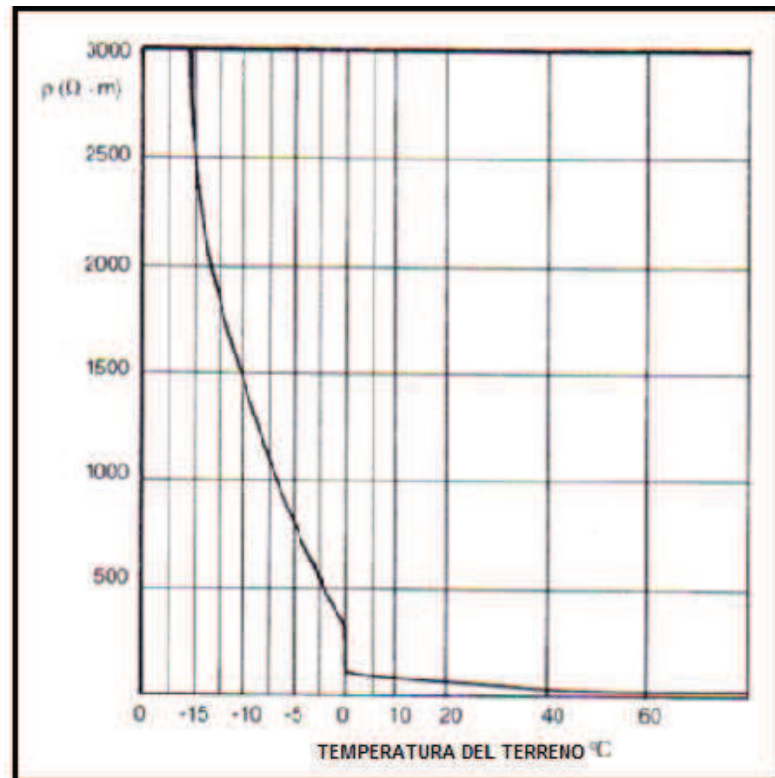


Figura 25 Variación de la resistividad del terreno en función de la temperatura.

Este efecto se produce porque a una temperatura inferior a 0° C el agua se congela, formando hielo el mismo que es un aislante desde el punto de vista eléctrico, el fenómeno se produce porque la movilidad de los iones del terreno a través del agua en forma de hielo se detiene.

#### 2.7.1.4. Salinidad del Terreno.

Cuando un terreno tiene un valor de resistividad elevada, se puede mejorar su condición aumentando su salinidad, para esto, se añade sal en las arquetas de

<sup>35</sup> [www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico\[1\].pdf](http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico[1].pdf)

los puntos de puesta a tierra o cerca de los electrodos si estos son accesibles. Luego se riega agua de una manera apropiada para lograr que las sales penetren a profundidad y ayuden a disipar la corriente de falla o de defecto.<sup>36</sup>

En el grafico 26 se puede observar la condición del terreno respecto al grado de salinidad, por ejemplo con un 20% de salinidad en el terreno la resistividad fluctúa por debajo de 5  $\Omega \cdot m$ .

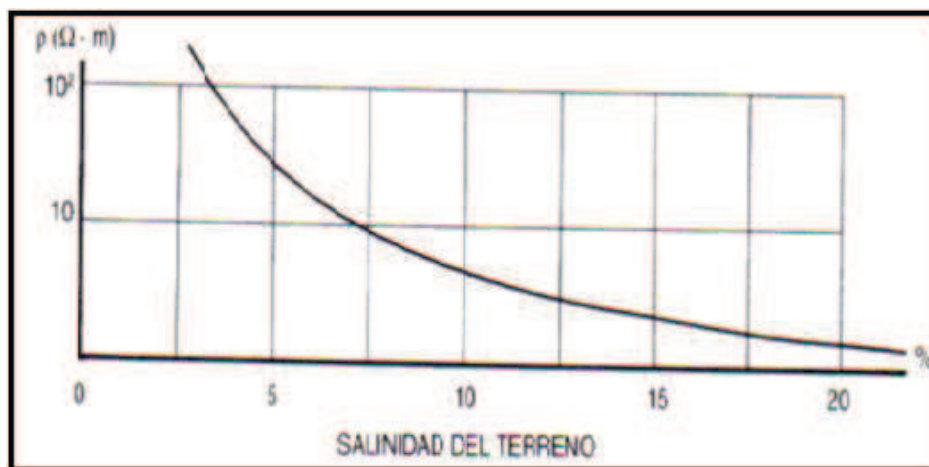


Figura 26 Variación de la resistividad del terreno en función de la salinidad.

Es necesario considerar la importancia de un riego apropiado debido a que el exceso de este o la lluvia en gran cantidad lava el suelo, arrastrando la sal que rodea a los electrodos hacia la profundidad donde ya no tiene contacto con el sistema de puesta a tierra y esto hace que el suelo aumente nuevamente su resistividad.

Por esta razón no es aconsejable colocar la toma de puesta a tierra en sitios cercanos a ríos, tanto superficiales como subterráneos, pues suelen ser terrenos muy depurados y por ende más resistivos de lo normal.

<sup>36</sup> [www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico\[1\].pdf](http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico[1].pdf)

### 2.7.1.5. Estratigrafía del Terreno.

Los terrenos están formados por diferentes capas, cada una de estas tiene un distinto valor de resistividad. Por lo tanto la resistividad será una combinación de la resistividad de las diferentes capas y del espesor de cada una de ellas. En conclusión, la resistividad media o aparente es el resultado de la combinación de los valores de resistividades de las capas que componen el terreno.

En la gráfica de la figura 27 se observa la relación que existe entre la profundidad y el valor de la resistividad. Por ejemplo, un electrodo enterrado a 1.5m en arena ligera tiene una resistencia de 350 ohmios, en cambio a 3m tiene una resistencia de 282 ohmios, 68 ohmios menos que el anterior.

Cuando el valor de resistividad de alguna de las capas se desconoce, es necesario realizar los estudios y mediciones pertinentes debido a que en ningún caso se puede extrapolar el resultado de la capa superficial ya que cada capa tiene características distintas que inciden en los valores de resistividad del terreno.

Si las condiciones del terreno no son favorables respecto a la resistividad de las capas el número de picas por instalar se incrementa exponencialmente, otro factor que puede dificultar su instalación es lo accidentado del terreno, para resolver de alguna manera estos inconvenientes, se colocarán las barras en paralelo con el riesgo de obtener un nivel de resistividad elevado.<sup>37</sup>

---

<sup>37</sup> [www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico\[1\].pdf](http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico[1].pdf)



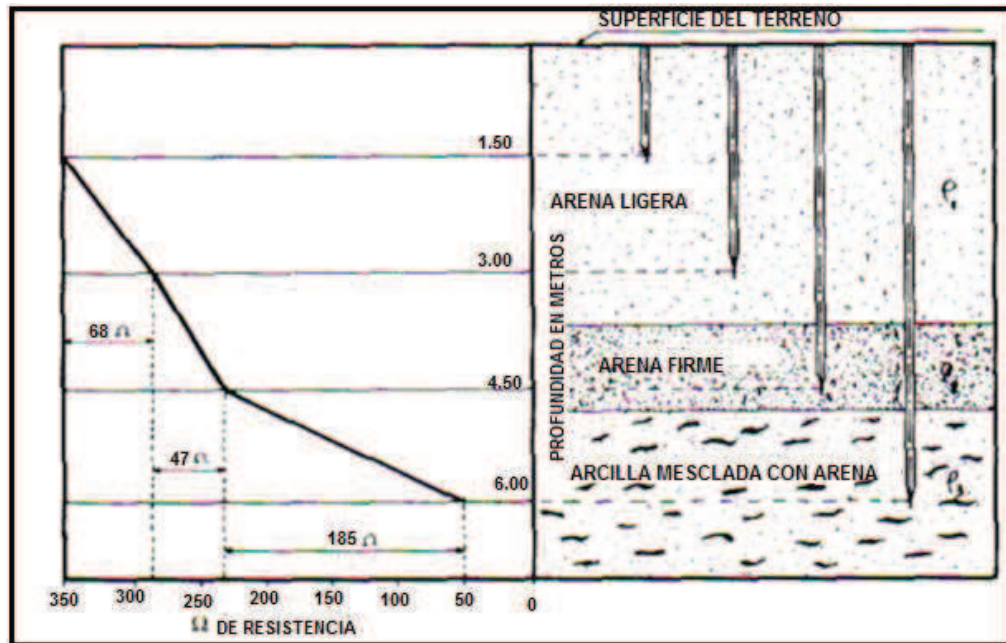


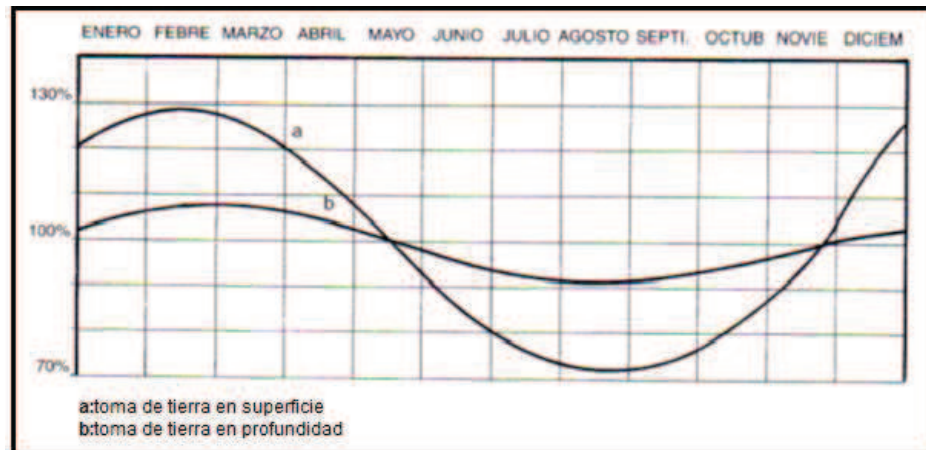
Figura 27 Variación de la resistividad del terreno según su estratigrafía y profundidad.

#### 2.7.1.6. Variaciones Estacionales y Medio Ambiente.

En épocas de lluvia el nivel freático se aproxima a la superficie del terreno, presentando éste una resistividad menor que en el periodo de sequía, en el que el nivel freático se aleja en profundidad de la superficie.

Para conseguir mantener el valor de la resistividad lo más uniformemente posible a lo largo del año, es conveniente instalar profundamente los electrodos en el terreno y proteger lo más posible el suelo de las inclemencias del tiempo.<sup>38</sup> En la figura 28 se muestra la relación entre características del terreno y las condiciones generales de clima en el lapso de un año.

<sup>38</sup> RAÚL ALEJANDRO CHIRIBOGA GUARAS, (Tesis) Proyecto, Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela.



**Figura 28 Variación de la resistividad del terreno a lo largo del año.**

A medida en los electrodos son enterrados y colocados debajo de las cimentaciones de la instalación, se garantiza la estabilidad del valor de la resistividad.

#### **2.7.1.7. Factores de Naturaleza Eléctrica.**

Los factores de naturaleza eléctrica pueden modificar la resistividad de un terreno; los más significativos son el gradiente de potencial, la magnitud de la corriente de defecto a tierra y el deterioro significativo de los electrodos o del conjunto de la puesta a tierra en general.<sup>39</sup>

##### *2.7.1.7.1. Gradiente de potencial.*

Esta característica afecta al terreno cuando alcanza un valor crítico de algunos KV/cm, lo que puede originar la formación de pequeñas áreas eléctricas en el suelo ocasionando que el electrodo se comporte como si fuera de mayor tamaño.

<sup>39</sup> RAÚL ALEJANDRO CHIRIBOGA GUARAS, (Tesis)Proyecto, Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela, Capítulo 2 Pag.19

#### 2.7.1.7.2. *Magnitud de la corriente de defecto a tierra.*

Este factor puede modificar el comportamiento del electrodo de tierra si su valor es muy elevado, provocando gradientes excesivos o calentamientos alrededor de los conductores enterrados que provoquen la evaporación del agua.

#### 2.7.1.7.3. *Deterioro de los electrodos o del conjunto de puesta a tierra.*

El deterioro de los electrodos se da cuando se produce un cortocircuito franco o también por la caída de un rayo que se disipe a través de la puesta a tierra de la instalación; en estos casos es obligatoria la comprobación de la red de tierra del lugar realizando mediciones de tierra con el TELUROMETRO, ya que puede llegar a deteriorarse o a fundirse si la intensidad del rayo es muy elevada (cientos o miles de amperios).

#### **2.7.1.8. Factores de Naturaleza Química.<sup>40</sup>**

Existe algunos factores de naturaleza química que inciden sobre el comportamiento del suelo, pero el más importante es el PH.

##### 2.7.1.8.1. *Efecto del PH.*

La naturaleza del suelo no sólo depende de la composición de la roca original, sino de otros factores tales como presencia de materia orgánica, abonos químicos, contaminación industrial o doméstica, etc., con lo cual las características primitivas de un suelo pueden cambiar extraordinariamente.

En muchos casos su presencia condiciona una alta corrosividad, como por ejemplo un suelo pantanoso con ácidos, con mucha materia orgánica, o suelos muy alcalinos que atacan metales como Zinc (Zn), Al aluminio (Al), Plomo (Pb).

---

<sup>40</sup> RAÚL ALEJANDRO CHIRIBOGA GUARAS ( Tesis )Proyecto de un Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela Capitulo 2  
Pag.20

La medida del PH del suelo también proporciona un criterio de selección tomando en cuenta su agresividad. La siguiente tabla muestra la relación entre el PH y la Corrosividad, si el PH se encuentra por debajo de 4, el ácido incrustado en este terreno es muy agresivo, la medida normal del PH es entre 6.5 y 7.5.

**Tabla 9 Relación entre el PH y la Corrosividad.**

PH	Medio	Corrosividad	Protección Catódica
< 4.0	Ácido muy fuerte	Muy agresivo	Sí
4.0 – 4.5	Muy ácido	Muy agresivo	Sí
4.5 – 5.0	Ácido	Muy agresivo	Sí
5.0 – 6.0	Moderadamente ácido	Muy agresivo	Sí
6.0 – 6.5	Poco ácido	Agresivo	Sí
6.5 – 7.5	Neutro	No agresivo	Depende
7.5 – 8.5	Poco alcalino	No agresivo	Depende
> 8.5	Muy alcalino	Condicionado	Depende

Para valores de potencial hidrógeno (PH) menor a 6.5 es recomendable realizar la protección catódica para evitar la corrosión del sistema de puesta a tierra.

#### **2.7.1.9. Compactación.**

Siempre que se coloquen electrodos de pica, de placa y de conductor enterrado; la vibración de la máquina de penetración dejará una separación entre la pica y el terreno por lo que habrá que compactar para tener un buen contacto entre ellos; cuando la compactación del terreno es grande la resistividad disminuye, es por esto que la recomendación es colocar los electrodos en los terrenos más compactos posibles.

### **2.7.2. COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SUELO.**

Los suelos están compuestos en forma estratificada, esto quiere decir que tiene algunas capas las cuales se encuentran superpuestas y con características conductivas propias de cada una de ellas, estas capas intervienen adecuadamente en los procesos de meteorización, transporte y acumulación de productos sólidos a través de las edades Geológicas.

Los suelos que son planos, gruesos y laminares, se encuentran en la parte Litoral Costera y Selva Baja. Cuando son accidentados con mucha inclinación, delgados e irregulares están localizados en la parte Sierra y Selva Alta

### **2.7.3. COMPOSICION DE LOS SUELOS.**

La composición de los suelos es diversa y muy compleja la misma que depende de la ubicación geográfica y las condiciones medioambientales. Otro factor importante que interviene en determinar la característica del suelo es la cobertura superficial limítrofe con la atmósfera, ya que esta contiene más de 90 elementos, de los cuales predominan 8 y son: el oxígeno (O<sub>2</sub>), el silicio (Si) y el aluminio (Al) en forma de óxidos hidratados, teniendo un valor aproximado entre el 70% al 80% de la masa total, seguida de óxidos de hierro (Fe), magnesio (Mg) y compuestos de calcio (Ca), sodio (Na) y potasio (K), existen otros en porcentajes pequeños como son las sales solubles, entre 0.05% y 2.0% aproximadamente.

### **2.7.4. CONDUCCION ELECTRICA DEL SUELO.**

Se conoce que los suelos no son muy buenos conductores de la electricidad sin embargo, la propagación de la corriente permite una capacidad de conducción aceptable. Para que un suelo sea un buen conductor depende primordialmente de la porosidad, la humedad y las sales solubles. Otras

características que ayudan a los suelos a convertirse en buenos conductores son la granulometría, la compactación y la temperatura.

### 2.7.5. EVALUACION ELECTRICA DE LOS SUELOS.

La evaluación eléctrica de los suelos se la realiza basándose en las medidas de la resistividad, se puede también utilizar información geológica, la geología propone tablas genéricas con rangos referenciales y lo hace independientemente para suelos secos y suelos recargados de agua.

Cuando es muy difícil utilizar los procedimientos anteriores se suele usar una muestra representativa para examinarla y hacer medidas de laboratorio, los datos de laboratorio no siempre son correctos, es por esto que lo recomendable por seguridad es, realizar varias medidas de campo teniendo en cuenta todos los aspectos fundamentales para reducir el margen de error. Los aspectos fundamentales a considerar pueden ser, rangos de resistividad del terreno, el tipo de agua que lo recubre, también se pueden utilizar datos existentes en tablas o por muestras experimentales. En la tabla siguiente se presenta los valores promedios de la resistividad de las aguas naturales genéricas.

**Tabla 10 Resistividades referenciales de aguas naturales genéricas<sup>41</sup>**

TIPO O CARACTERÍSTICA DEL AGUA	Resistividad ( $\Omega.m$ )
Meteóricas (lluvia atmosférica limpia)	800 - 1200
Meteóricas (lluvia atmosférica industrial)	30 - 400
Superficiales puras (filtraciones del suelo)	>> 3000
Superficiales salubres (mar y minerales)	>> 0.1
De anomalías geotérmicas	0.03 - 0.3
Aluviones con agua dulce	20 - 200
Aluviones con agua salada	1 - 5
Aluviones casi secos	50 - 100

<sup>41</sup> RAÚL ALEJANDRO CHIRIBOGA GUARAS, ( Tesis )Proyecto, Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela, Capítulo 2 Pag 23.

Estancadas	30 – 150
Filtraciones rocosas	30 – 1000

Como se puede observar en la tabla 10, el agua lluvia atmosférica limpia tiene un rango de resistividad de 800 a 1200  $\Omega.m$  y el valor del agua salada es de 1 a 5  $\Omega.m$ , por esta razón en un sistema de puesta a tierra es recomendable la utilización de agua salada para disminuir el valor de la resistividad del suelo y permitir que la disipación de la corriente por el suelo sea más fácil.

## **2.8.MEDICION DE LA RESISTENCIA DE LA TIERRA Y DEL TERRENO.**

### **2.8.1. INTRODUCCION.**

Desde el punto de vista eléctrico, el análisis del terreno se lo realiza midiendo su resistividad en unidades de ohmios por metro ( $\Omega.m$ ); esta medida debe realizarse cuando las condiciones ambientales son muy desfavorables, esto es en la época de mayor sequía y a la hora del día en donde el calor sea mayor, estas condiciones ambientales en la mayoría de lugares se tiene entre las 12 y 16 horas.

Se dice que un terreno posee la mayor resistividad cuando ha perdido la gran cantidad de humedad, esto ocurre porque un terreno al dejar de ser húmedo y la movilidad de los iones se vuelve muy difícil.<sup>42</sup>

Para instalaciones eléctricas de pequeña extensión (casas, edificios, centro comerciales pequeños, etc.), basta una sola medida de la resistividad del suelo en el centro donde se va a instalar la puesta a tierra, pero en áreas extensas, (aeropuertos, sub estaciones, centros comerciales grandes, conjunto habitacionales etc.), se requiere de muchas mediciones de resistividad en

---

<sup>42</sup> RAÚL ALEJANDRO CHIRIBOGA GUARAS, (Tesis) Proyecto, Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela, Capitulo2 Pag23.

varios puntos, estas medidas deben cubrir razonablemente toda la extensión del terreno.

De estas mediciones se determinará la resistividad aparente o de diseño, este valor se utilizara a futuro en el diseño para calcular el número de picas o barras a utilizar en el sistema de puesta a tierra.

El objeto de realizar varias mediciones es verificar la homogeneidad del terreno. Si la resistividad del suelo es muy elevada, se realiza un tratamiento químico pero si este tratamiento es muy costoso se busca otra alternativa.

### **2.8.2. MÉTODOS PARA MEDIR LA RESISTIVIDAD DE LOS TERRENOS.**

Para determinar la resistencia del sistema de puesta a tierra de una instalación cualquiera que sea, se debe medir la resistividad del terreno y estos valores se deben guardar en tablas para luego comprobarla periódicamente en diferentes épocas del año, es muy recomendable que se tomen muestras en épocas desfavorable, es decir cuando la humedad es mínima.

Si el valor de la resistividad del suelo es conocido con anterioridad se debe utilizar este dato para decidir el tipo de electrodo que se debe utilizar. Conocer el valor de la resistividad es muy ventajoso, porque permite elegir el sistema técnico que cumpla con el requerimiento reduciendo convenientemente los costos; existen varios métodos para encontrar la resistividad del terreno entre los más importantes tenemos:

- Método de la Caída de Potencial.
- Método de Wenner.
- Método de Schlumberger
- Método de medición por muestras de suelos.



Con el valor de la resistividad del suelo, se puede determinar el valor de la resistencia a tierra y la profundidad del sistema de puesta a tierra. Todas las técnicas de resistividad eléctrica se basan en que, la distribución de potencial eléctrico alrededor de un electrodo de corriente, hincado en el suelo depende de la resistividad eléctrica del terreno que se encuentre a su alrededor.

### **2.8.2.1. Método de Caída de Potencial.**

#### *2.8.2.1.1. Resistencia a Tierra.*

La resistencia a tierra se puede definir como, la oposición que ofrece el suelo al paso de la corriente eléctrica. Este valor de resistencia depende de:

- La resistividad del terreno.
- Las características físicas del electrodo a tierra (diámetro, área, longitud, etc.).
- La longitud y área de los conductores.

En el método de la caída de potencial, la corriente (I) que se genera se inyecta por el electrodo Ee (electrodo de tierra) y se hace regresar por el electrodo auxiliar de corriente Ec, al pasar la corriente por la tierra, existirá una caída de voltaje (V) entre Ec y Ep. Finalmente se halla la resistencia desconocida utilizando la fórmula postulada por el físico y matemático alemán Georg Simón Ohm, más conocida como la ley de Ohm.

#### **Ecuación 5 Cálculo de Resistencia Eléctrica**

$$R = \frac{V}{I}$$

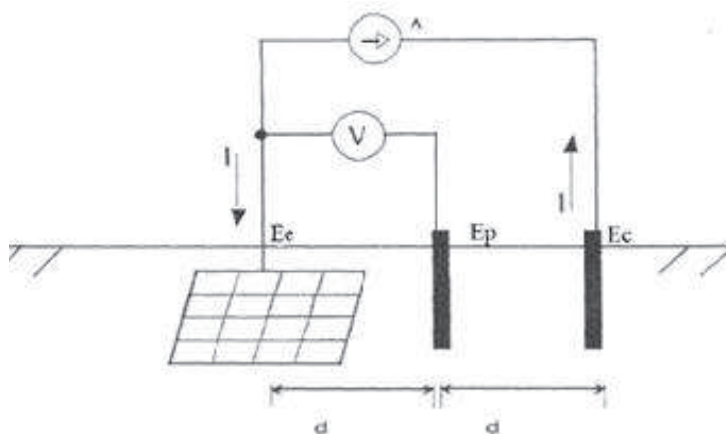
Dónde:

R = Resistencia a tierra.

V = Voltaje leído entre el electrodo Ec y Ep.

$I$  = Corriente de prueba inyectada por el instrumento.

Este método requiere que se cumplan algunas condiciones como por ejemplo: debe existir una distancia entre  $E_e$  y  $E_c$  de 18 m, y 9m entre  $E_e$  y  $E_p$ . Adicionalmente debe existir una variación de corriente entre 2 y 5 mili Amperios. En la figura 29 se observa el esquema de medición de la resistencia de una malla de tierra por el método de la caída de potencial.



**Figura 29 Método de la Caída de Potencial.**

- $E_p$  y  $E_c$  son electrodos auxiliares,
- $E_e$  es el electrodo de tierra con resistencia desconocida.
- $I$  es la corriente que circula a través del circuito y se la puede medir en el amperímetro colocado para este propósito.
- $V$  es el voltaje medido en el voltímetro a frecuencias mayores que la de la red.

Se desprecia la resistencia de los electrodos auxiliares  $E_p$  y  $E_c$  porque el valor del voltaje solo se considera entre los puntos  $E_e$  y  $E_p$ . Es importante resaltar que los electrodos  $E_p$  y  $E_c$  son colocados a una distancia y debe ser 10 veces mayor que el radio del electrodo que se tiene en el punto  $E_e$ .

Una vez determinada la corriente  $I$  se asume como constante. Las diferencias entre los distintos métodos de resistividad vienen dadas por la variada

disposición geométrica de los electrodos, pero la mayoría de los instrumentos empleados en la medición de resistencia a tierra se basan en el método de caída de potencial.

#### 2.8.2.2.Método de Wenner.

En 1915, el Dr. Frank Wenner del U.S. Bureau of Standards desarrolló la teoría de este método de prueba conjuntamente con la ecuación que lleva su nombre. El mismo resulta el más seguro en la práctica para medir la resistividad promedio de volúmenes extensos de suelos naturales.

La configuración de Wenner (véase figura 1.30) es una disposición común para las mediciones de la resistividad. En este método cada electrodo de potencial está separado del electrodo de corriente adyacente una distancia "a", igual a un tercio del espaciamiento de los electrodos de corriente.

Con la finalidad de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos en el suelo, dichos electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno. Este método no depende del tamaño ni del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

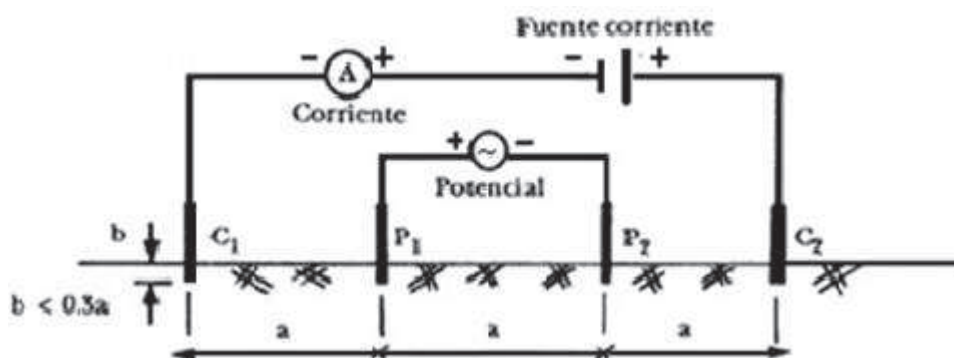


Figura 30 Configuración de los electrodos por el método de Wenner.

La distancia “b” o sea la profundidad a la que está enterrada la varilla (electrodo de cobre o acero) debe ser pequeña comparada con la distancia “a”, entre los electrodos C1 y C2 estos son electrodos de corriente y P1 y P2 que son electrodos de potencial.

La fuente de corriente suministra un voltaje en DC igual a 22 voltios. La ecuación exacta para el cálculo según el método de Wenner es:

**Ecuación 6 Ecuación de Wenner**

$$\rho = \frac{4\pi aR}{\left[1 - \frac{2a}{\sqrt{a^2+4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}\right]}$$

El Doctor Wenner encontró que, si la distancia enterrada “b” es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos “a”, la fórmula anterior se puede resumir en:

**Ecuación 7 Ecuación Resumida de Wenner**

$$\rho = 2\pi aR$$

Dónde:

P= Resistividad promedio en ohm-m.

$\pi = 3,1416$

“a”= Distancia entre electrodos adyacentes en metros

“b”= Profundidad de enterramiento de los electrodos en metros

R = Resistencia eléctrica medida en ohm, dada por el instrumento de medida.

Nota: Se recomienda usar una relación de “a”= 20”b”.

La recomendación es que “a” sea = 20 “b” si “a” mide 3 m se tiene un dato de “b”= 0.15 metros y si la lectura del instrumento es de 0.43 ohm, la resistividad del terreno a una profundidad de 3 metros es de 8.10 ohm-m.

Este cálculo se aprecia reemplazando los valores en la ecuación 1.6, y despreciando el valor de “b” por ser muy pequeño con relación al valor de “a”.

$$\rho = 2\pi aR$$

$$\rho = 2(3,1416) \times 3 \times 0.43$$

$$\rho = 8.10 \text{ ohm-m}$$

En este método emplea corriente alterna para la medición, a una frecuencia de 133 Hz y el voltaje en circuito abierto es de 22 Voltios. Los detalles de la operación varían de acuerdo con el instrumento empleado, pero el principio de medición es común para todos.

#### *2.8.2.2.1. Descripción del método de Wenner.*

El método de Wenner consiste en enterrar cuatro varillas de cobre equidistantes y se conectan las dos externas a C1 y C2 a las terminales de la fuente de corriente, y los elementos P1 y P2 son conectadas a las varillas de potencial a un voltímetro, como se muestra en la figura 30.

El principio básico para este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2, mientras que el potencial resultante es medido entre dos electrodos P1 y P2. Estos electrodos están enterrados en línea recta a igual separación entre ellos. Se recomienda que se tomen lecturas en diferentes lugares a 90 grados, una respecto a la otra, para que no sean afectadas por estructuras metálicas subterráneas y luego obtener un valor promedio.

#### **2.8.2.3. Método de Schlumberger.**

El método de Schlumberger es una alteración del método de Wenner (véase figura 31), se dice esto ya que también emplea 4 electrodos, pero en el método

de Schlumberger el operador expande el espaciamiento de los electrodos, aumentando la distancia entre los electrodos de corriente durante el transcurso de las mediciones y la distancia a la que se mueven los electrodos de potencial es pequeña.

La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se muestra en la siguiente figura.

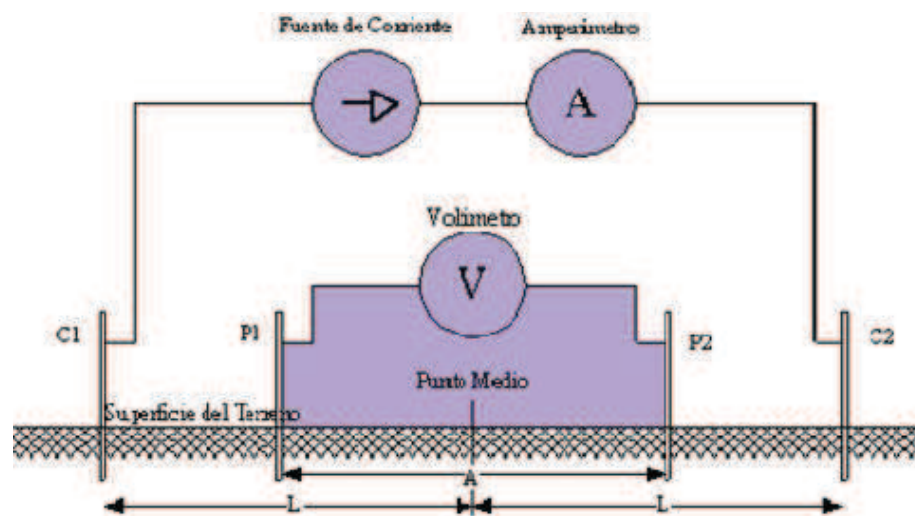


Figura 31 Medición de la resistividad del suelo por el método de Schlumberger.

Dónde:

- C1 y C2 son electrodos de corriente.
- P1 y P2 son electrodos de medición de potencial eléctrica, inducido por la corriente inyectada (pequeñas varillas de cobre de 16 mm de diámetro\* 0.60 mm de longitud).
- La fuente de corriente es de 120 voltios a frecuencia de 25 Hz.

El punto medio A es el centro de medición, este se debe ubicar en el centro del terreno. La profundidad de enterramiento "h" de los electrodos C1, C2, y P1, P2 no será mayor que 10 cm, siempre que "L" se igual o menor a 10 m. pero, para valores de "L" mayores que 10 m, la profundidad de enterramiento "h" debe ser mayor que 10 cm, no sobrepasando los 20 cm.

La separación “L” distancia entre el centro de medición y los electrodos de corriente “C1” y “C2”, y la separación “A” distancia entre el punto medio y los electrodos de potencial irán variando, cuando sucede esto se debe ir tomando las lecturas respectivas, el número de mediciones dependerá del tamaño del terreno, se debe considerar que estas mediciones deben cubrir todo el terreno.

Se debe calcular la resistencia en cada medida, a partir de la ley de Ohm.

**Ecuación 8 Ley de Ohm**

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Dónde:

- R = Resistencia medida en Ohm ( $\Omega$ )
- $\Delta V$ = Diferencia de potencial entre P1 y P2, medida en Voltios (V).
- I= Corriente que circula entre C1 y C2, medida en Amperios (A).

Luego de obtener el valor de la resistencia el método de Schlumberger utiliza la siguiente fórmula para obtener el valor de la resistividad.

**Ecuación 9 Valor de Resistividad de Schlumberger**

$$\rho = R \times \pi \times A \times \left[ \left( \frac{L}{A} \right) - 0,25 \right]$$

Dónde:

- $\rho$  = Resistividad aparente (Ohm-m).
- $\pi$  = Constante 3.1416.
- R= Resistencia medida en Ohm ( $\Omega$ ).
- L=Distancia de los electrodos de corriente con respecto al punto central.
- A=Distancia de los electrodos de potencia con respecto al punto central.

El método de Schlumberger es de gran ventaja cuando se requieren conocer las resistividades de las capas de suelo más profundas, esto se debe a que no se requiere muchas mediciones como con el método Wenner, se utiliza también cuando los aparatos de medición son poco inteligentes, para mediciones de la resistividad aparente. Solamente se recomienda hacer mediciones a  $90^\circ$  para que no resulten afectadas las lecturas por la presencia de estructuras subterráneas

#### **2.8.2.4. Método de Medición por Muestras de Suelos.**

La estimación de la resistividad del terreno a partir de la medición de la resistividad de una muestra extraída del mismo, se puede realizar empleando el método de los cuatro puntos en una caja prismática pequeña de sección transversal cuadrada, en la que se introduce el material extraído de la probeta respectiva.

Como es de esperar, el valor de resistividad que se obtiene de esta manera resulta menos exacto que el que se obtendría en el terreno real, pero en algunas ocasiones es el único método para obtener el valor de la resistividad.

### **2.8.3. INTERPRETACIÓN Y UTILIZACIÓN PRÁCTICA DE LAS MEDIDAS.**

El uso de los métodos citados en los apartados anteriores permite determinar el valor de la resistividad del terreno, previo al diseño del sistema a tierra acorde a las necesidades establecidas por el entorno.

Una adecuada toma de tierra, permite establecer el valor de la resistencia depuesta a tierra, como se ha comentado anteriormente es el valor de la resistencia que se opondrá al paso de la corriente eléctrica hacia el suelo.



La combinación de la resistividad del terreno, el tipo de electrodo y el contacto electrodo-terreno definirá el valor de la resistencia de puesta a tierra, utilizando los valores obtenidos de la resistividad aparente se podrá calcular la resistencia de puesta a tierra según el electrodo que se utilice.

## **2.9. METODOS PARA LA REDUCCION DE LA RESISTENCIA ELECTRICA EN LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.**

### **2.9.1. AUMENTO DEL NÚMERO DE ELECTRODOS EN PARALELO.**

Colocar varios electrodos en paralelo es una manera muy efectiva para bajar el valor de resistencia; los electrodos enterrados no deben ser colocados muy cerca uno de otro, porque cada electrodo afecta la impedancia del circuito, por los efectos mutuos.<sup>43</sup> Por este motivo la separación entre puestas a tierra (electrodos) debe ser de por lo menos el doble de la longitud del electrodo.

### **2.9.2. AUMENTO DEL DIAMETRO DEL ELECTRODO.**

La resistencia de un electrodo de sección circular se reduce al aumentar su diámetro, sin embargo tiene un límite en el que ya no es recomendable aumentarlo, esto se debe a que el valor de la resistencia del terreno permanece prácticamente constante.

Para un electrodo de 5/8" de diámetro (1.6 cm) si quisiera aumentar su conductancia se puede añadir helicoidales de cable 1/0 AWG cuyo diámetro de espiras tendrá un diámetro de 18 cm, y con una separación entre estas de 20cm lográndose así una reducción del 30% en el valor de la resistencia, es decir el diámetro del electrodo creció de 1.6 cm (5/8) a 18 cm lo que equivaldría a utilizar un electrodo de 7".

---

<sup>43</sup> QUESHUAYLLO Cancha, Wilbert Rene, Diseño y Ejecución de Puesta a Tierra de Baja Resistencia <http://es.scribd.com/doc/115561329/Capitulo-II>

Existen tratamientos químicos que se le brinda al electrodo para simular el aumento de su diámetro y por ende bajar su resistividad.

### **2.9.3. AUMENTO DE LA LONGITUD DE PENETRACIÓN DEL ELECTRODO.**

Con el aumentando de la longitud de penetración del electrodo en el terreno es posible alcanzar capas más profundas, en el que se puede obtener una resistividad muy baja si el terreno presenta un mayor porcentaje de humedad o al contrario una resistividad muy alta si el terreno fuera rocoso y pedregoso.

### **2.9.4. TRATAMIENTO QUIMICO ELECTROLITICO DEL TERRENO.**

El tratamiento químico del suelo surge como una alternativa de mejora para disminuir la resistividad del terreno, sin necesidad de utilizar gran cantidad de electrodos.

Existen diversos tipos de tratamientos químicos para reducir la resistencia que presentan los suelos.

- Las sales puras (Cloruro de Sodio) no actúan como un buen electrolítico en estado seco, por lo que se le añade también carbón vegetal con el fin de que este sirva como absorbente de las sales disueltas y de la humedad.
- Las bentonitas molidas son sustancias minerales arcillosas que retienen las moléculas del agua, pero la pierden con mayor velocidad de la que la absorben, esto es debido al aumento de la temperatura ambiental.
- Al perder el agua los terrenos pierden conductividad y restan toda compactación, lo que deriva en la pérdida de contacto entre electrodo y el medio, elevando la resistencia del pozo ostensiblemente.
- Una vez que la bentonita ha regenerado sus propiedades de absorber el agua la resistividad es casi nula.

- En el mercado existen productos químicos normalizados que ayudan a bajar resistividad del terreno como por ejemplo, THOR GEL, GEM, estos fueron explicados anteriormente en la página 24 del capítulo 1.

De esta manera se garantiza una efectiva reducción de la resistencia eléctrica, y una estabilidad que no se vea afectada por las variaciones del clima.

## **2.10. TENSIONES DE PASO Y CONTACTO.**

Las tensiones de paso y de contacto son de gran importancia al momento de diseñar un Sistema de Puesta a Tierra, porque es aquí en donde se manejan voltajes muy altos y sus mediciones son obligatorias para proyectos de subestaciones como lo indica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE Artículo 15.5.3).<sup>44</sup>

“Las tensiones de paso y contacto calculadas deben comprobarse antes de la puesta en servicio de subestaciones **de alta tensión y extra alta tensión** para verificar que estén dentro de los límites admitidos. Deben seguirse los siguientes criterios adoptados de la IEEE-81.2. Esta medición no se requiere para los apoyos o estructuras de las líneas de transmisión asociadas a las subestaciones, a excepción de las dos primeras estructuras de cada línea.”, para proyectos en Baja Tensión la información sobre corrientes de paso y de contacto es muy reducida ya que este tema se trata más en alta tensión.

### **2.10.1. DEFINICIONES – RETIE.**

Las definiciones de Tensiones de Paso y Contacto de acuerdo con el Artículo 3 (DEFINICIONES) del RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) son las siguientes.

---

<sup>44</sup> Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RITIE), Artículo 15.5.3

### 2.10.1.1. Tensión de Paso:

Es la diferencia de potencial que se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno durante una falla, estos dos puntos debe estar separados por una distancia de un paso (aproximadamente un metro). Ver figura 32.

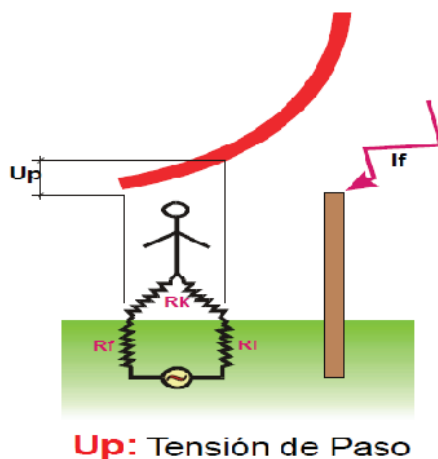


Figura 32 Tensión de Paso<sup>45</sup>

Sin embargo como lo afirma Rogelio García Márquez en su libro “La Puesta a Tierra de Instalaciones Eléctricas y el R.A.T”. En el capítulo de tensiones de paso y de contacto dice que:

“En la mayor parte de casos el peligro más grande para las personas durante la circulación de una corriente de puesta a tierra, no resulta de las tensiones de paso que son principalmente peligrosas para los grandes cuadrúpedos, sino de las corrientes de contacto. “

Por esta razón y tratándose de un Sistema de Puesta a Tierra para Baja tensión no se profundizará en la temática de corrientes de paso sino mas bien, se hará referencia a las corrientes de contacto.

<sup>45</sup> [http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico\[1\].pdf](http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico[1].pdf)

### 2.10.1.2. Tensión de Contacto.

Tensión de contacto es la diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro.

Esta distancia horizontal es equivalente a la máxima que se puede alcanzar al extender un brazo. Como se Muestra en la Figura 33.

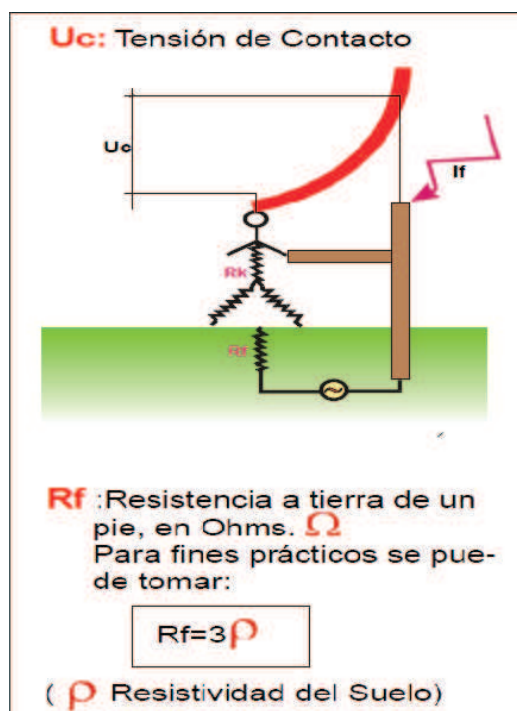


Figura 33 Tensión de Contacto

Debemos tomar en cuenta que las tensiones de contacto producidas por fallas a tierra son muy peligrosas en media, alta, y extra alta tensión. Tratándose de un proyecto en Baja Tensión a continuación se incluye la información referente a las tensiones de contacto por fallas de aislamiento que son muy comunes y peligrosas para las personas.

### 2.10.1.2.1. Tensión de Contacto por Fallas de Aislamiento.<sup>46</sup>

Se denomina contacto eléctrico al contacto de una persona con cualquier parte energizada de una instalación o de un sistema eléctrico. La tensión de contacto (VC) es la tensión que existe en el punto de contacto antes de que lo toque el individuo y que en consecuencia, éste deberá soportar cuando se produzca el contacto. Existen dos tipos de contactos: directos e indirectos

- **El contacto directo:** se origina cuando la persona toca directamente un conductor o una parte activa con tensión. Se dice también que es cuando una persona entra en contacto directo entre una parte activa con tensión y tierra o una masa unida a tierra. La tensión de contacto (VC) adquiere un valor muy próximo a la tensión simple o de fase en nuestro medio ( $V = 120$  V).
- **Contacto indirecto:** se origina cuando el individuo entra en contacto con una masa o una carcasa envolvente de un receptor (Equipo Eléctrico) que accidentalmente presenta un fallo de aislamiento. Debido al fallo, una fase puede entrar en contacto con la carcasa del aparato, presentando este circuito una resistencia ( $R_i$ ) debido a las parte componentes de este equipo.

El fallo de aislamiento provoca la aparición de una corriente de defecto ( $I_d$ ) y una tensión de contacto (VC) dadas por:

#### Ecuación 10 Tensión de Contacto

$$V_c = R_T \times I_d$$

#### Ecuación 11 Corriente de Defecto

$$I_d = \frac{V}{R_i + R_T} \text{ (Ec. 1.9)}$$

---

<sup>46</sup> VILLARRUBIA M. Seguridad Eléctrica, Facultad de Física Universidad de Barcelona

Al unir las dos fórmulas se obtiene la siguiente ecuación:

**Ecuación 12 Tensión de Contacto**

$$V_C = RT * \frac{V}{R_i + RT} \text{ (Ec.1.10)}$$

Con la ecuación 12 es posible calcular la tensión de contacto donde interviene la resistencia de tierra y la resistencia del fallo de aislamiento.

Dónde:

- Id= intensidad de defecto producida por el fallo de aislamiento.
- Vc= tensión de contacto.
- V= tensión simple o de fase,
- En nuestro medio (siendo  $V = U / \sqrt{3}$ ;  $U = 208 \text{ V}$ ;  $V = 120\text{V}$ ).
- Ri= resistencia del fallo de aislamiento.
- RT= resistencia de puesta a tierra.

Si no existiese la unión o puesta a tierra de la carcasa, el valor de RT sería nulo y en consecuencia la persona se encontraría sometida a una tensión de contacto similar a la de un contacto directo (salvo la caída de tensión a través de la resistencia Ri).

Cuanto menor es la resistencia de puesta a tierra (RT) menor es la tensión de contacto VC a la que se ve sometido el individuo cuando toca la carcasa o masa bajo tensión, de ahí la importancia de que la resistencia de puesta a tierra tenga un valor muy bajo en  $\Omega.m$ .

La tabla 1.10 indica los valores máximos de tensión con los que se puede entrar en contacto dependiendo de la humedad del sitio.

**Tabla 11 Tensiones máximas de contacto según el Reglamento Eléctrico de Baja Tensión Español<sup>47</sup>**

Tipo de Local	Tensión Máxima
Seco	50V
Húmedo	24V
Sumergido	12V

### 2.10.1.3. Cálculo de la Corriente que Circula por el Cuerpo Humano.

Para cualquier tipo de los contactos anteriormente indicados, directo o indirecto la intensidad de corriente ( $I_c$ ) que circula por el cuerpo humano viene dada por la siguiente expresión:

**Ecuación 13 Intensidad de Corriente**

$$I_c = \frac{V_c}{R_c}$$

Dónde:

- $R_c$ = resistencia o impedancia del cuerpo humano(2.500  $\Omega$  según MIBT 021) Reglamento de Baja Tensión Español
- $V_c$ = voltaje existente en el circuito.
- $I_c$  = intensidad de corriente.

### 2.10.2. EFECTOS DE LA CORRIENTE ELECTRICA SOBRE EL CUERPO HUMANO.

Los fenómenos fisiológicos que produce la corriente eléctrica en el organismo humano dependen de algunos factores:

- Del valor de la intensidad de la corriente.
- El tiempo de duración del contacto.

<sup>47</sup> VILLARRUBIA M., Seguridad Eléctrica, Facultad de Física Universidad de Barcelona



- Callosidad.
- Sexo.
- Estado de epidermis.
- Peso.
- Altura y estado de ánimo.

Como información, se debe conocer que la corriente eléctrica provoca la muerte por fibrilación ventricular, al contrario de la alta tensión que lo hace por la destrucción de los órganos o por asfixia debido al bloqueo del sistema nervioso. Estos efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano varían en función del valor de la intensidad de corriente, esto se puede apreciar en la siguiente tabla:

**Tabla 12 Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica<sup>48</sup>**

<b>INTENSIDAD</b>	<b>EFFECTOS FISIOLÓGICOS</b>
1 a 3 mA	Prácticamente imperceptibles. No hay riesgo
De 3 a 10 mA	Contracciones involuntarias de músculos y pequeñas alteraciones del sistema nervioso
De 10 a 15 mA	Principio de tetanización muscular, contracciones violentas e incluso permanentes de las extremidades
De 15 a 30 mA	Contracciones violentas e incluso permanentes de la caja torácica. Alteración del ritmo cardíaco
Mayor de 30 mA	Fibrilación ventricular cardíaca

Todos estos valores de intensidad de corriente y efectos fisiológicos pueden variar según el tiempo que dure el paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano. Como un breve resumen se podría decir que, los valores máximos de intensidad de corriente que puede soportar un cuerpo humano son:

- Para tiempos inferiores a 150 milisegundos no hay riesgo, siempre que la intensidad no supere los 300 mA.
- Para tiempos superiores a 150 milisegundos no hay riesgo, siempre que la intensidad no supere los 30 mA.

<sup>48</sup> ESTANISLAO R. Luis, Sistemas de Puesta Tierra Para Edificios Inteligentes, Pag.114

La fibrilación ventricular del corazón es una acción independiente de las fibras musculares cardíacas, que produce una contracción hostigosa y que provoca la suspensión inmediata de la actividad fisiológica del corazón. Al no poder circular la sangre oxigenada, y en particular, no llegar al cerebro, se producen lesiones cerebro bulbares graves.

Esto nos alerta sobre la rapidez con que debe interrumpirse el paso de la corriente por el organismo. Existen otros fenómenos fisiológicos producidos por la intensidad de la corriente eléctrica, estos dependen del trayecto seguido por esta corriente, pueden causar lesiones encefálicas, bloqueo de la epiglotis, laringo espasmo, espasmo coronario, shock global e incluso la muerte.

Otra manifestación que puede provocar la corriente eléctrica en el cuerpo humano es la quemadura, generada de dos formas distintas:

- Accidentes producidos por cortocircuitos: provocan radiaciones originadas por el arco eléctrico que dan lugar a lesiones por quemaduras.
- Accidentes producidos por diferentes acoplamientos eléctricos: provocan quemaduras internas y externas en el cuerpo.

#### **2.10.2.1. Factores que Intervienen en el Accidente Eléctrico.<sup>49</sup>**

A continuación se lista un conjunto de factores que intervienen en un accidente eléctrico:

- Valor de la tensión.
- Tiempo de paso de la corriente eléctrica.
- Valor de la resistencia óhmica que presenta el organismo.
- La trayectoria que siga la corriente por el organismo.
- Naturaleza de la corriente.

---

<sup>49</sup> ESTANISLAO R. Luis, Sistemas de Puesta Tierra Para Edificios Inteligentes, Pag.15

- Valor de la frecuencia en el caso de c.a.
- Capacidad de reacción del organismo.
- Valor de la intensidad de corriente eléctrica.

Esta última es la más destacada, se suele llamar también “umbral absoluto de intensidad” y representa la máxima intensidad que puede soportar una persona sin peligro, independientemente del tiempo que dure su exposición a la corriente. Se fija para la corriente eléctrica alterna de frecuencia 50 Hz entre 10 y 30 mA, según el sexo y edad de la persona.

#### **2.10.2.2. Valor de la Resistencia Óhmica del Cuerpo.<sup>50</sup>**

Diversos estudios experimentales demuestran que la impedancia del cuerpo humano es siempre resistiva pura, también se ha comprobado que para corriente alterna cuya frecuencia sea superior a 10kHz, no provoca más efectos que el de calentar los tejidos por donde paso la corriente.

El valor de la resistencia en cada ser humano depende de diversas circunstancias, la más importante es la humedad de la piel, que llega a valores de 100.000 ohm cuando está seca y esta desciende considerablemente en estado de humedad. En la tabla 13, se muestra los valores de la impedancia del cuerpo humano dependiendo de la frecuencia y la tensión de contacto.

---

<sup>50</sup> ESTANISLAO R. Luis, Sistemas de Puesta Tierra Para Edificios Inteligentes, Pag.15

Tabla 13 Impedancia del cuerpo humano.

<b>Tabla . Impedancia (<math>\Omega</math>) del cuerpo humano en función de la tensión de contacto y de la frecuencia de la corriente (valores para el 50 % de la población)</b>						
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Tensión de contacto (Voltios)</b>					
	<b>10 (V)</b>	<b>25 (V)</b>	<b>50 (V)</b>	<b>100 (V)</b>	<b>220 (V)</b>	<b>1000 (V)</b>
50	5325	3250	2625	1875	1350	1050
100	4375	2725	2200	1725	1325	950
200	3250	2125	1650	1350	1000	825
300	2675	1675	1350	1050	850	750
400	2300	1425	1175	900	775	725
500	2000	1225	1000	825	675	675
1000	1475	825	825	675	650	650
2000	1200	675	675	650	650	650

#### 2.10.2.3. Tiempo de Paso de la Corriente Eléctrica.

Se denomina “umbral absoluto de tiempo” y representa el tiempo en que una persona puede soportar el paso de la corriente eléctrica por su cuerpo sin peligro en baja tensión.<sup>51</sup>

#### 2.10.2.4. Causas de Accidentes Eléctricos.

Las causas comunes de Accidentes eléctricos se listan a continuación:

- Falta de prevención.
- Exceso de confianza.
- Fallas técnicas.
- Fallas humanas.
- Imprudencia.
- Ignorancia.

<sup>51</sup> ESTANISLAO R. Luis, Sistemas de Puesta Tierra Para Edificios Inteligentes, Pag.16

Son por estos motivos que resulta primordial tomar las medidas de seguridad necesarias, para evitar este tipo de accidentes y cuando se tiene un sistema de puesta a eficiente, podemos evitar muchas lesiones ocasionadas por la corriente eléctrica, ya que en la actualidad casi todas nuestras actividades están vinculadas con el uso de la electricidad.<sup>52</sup>

---

<sup>52</sup> VILLARRUBIA m., Seguridad Eléctrica, Facultad de Física Universidad de Barcelona

## **CAPITULO III**

### **DISEÑO NORMALIZADO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA EL MINI CENTRO COMERCIAL “MI BALCON”**

#### **3.1. IMPORTANCIA DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA EL MINI CENTRO COMERCIAL “MI BALCON”**

En base a los conceptos citados en el capítulo anterior, se puede determinar la importancia de implementar un Sistema de Puesta a Tierra para el Mini Centro Comercial MI BALCON, el mismo que permitirá brindar la protección necesaria a personas y equipos disponibles a cada uno de los locales comerciales existentes en este establecimiento.

#### **3.2. NORMATIVA DE REFERENCIA PARA PUESTAS A TIERRA.**

Para efectos de diseño con condiciones óptimas del nuevo sistema de puesta a tierra para el Mini Centro Comercial “Mi Balcón”, es necesario tomar como base, teoría de referencia como: normativas y reglamentos actualizados que gocen de credibilidad y rijan procedimientos técnicos aceptados a nivel nacional e internacional. Por este motivo se ha considerado como principales referencias las siguientes publicaciones:

- IEEE Std 80-2000
- Reglamento de seguridad NEC.
- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) Colombia Capítulo II Artículo 15 «Puestas a Tierra» y su respectivo manual.

- Otras Publicaciones tomadas del internet.

El análisis de la documentación existente que hace referencia a sistemas de puesta tanto nacional e internacional, proporcionan criterios variados los mismos que fueron analizados con el objetivo de establecer las condiciones idóneas para los procedimientos de instalación del sistema presentado en el presente proyecto, a continuación se incluye un breve resumen de la teoría que hace referencia a cada normativa:

### 3.2.1. IEEE Std 80-2000<sup>53</sup>

Según la normativa IEEE Std 80-2000 referente a «diseño de sistemas de tierra» los valores recomendados de Resistencia de Sistemas de Puesta a Tierra son:

- Para grandes subestaciones, líneas de transmisión y estaciones de generación es de 1  $\Omega$ .
- Para subestaciones de plantas industriales, **edificios** y grandes instalaciones comerciales es de 1 – 5  $\Omega$ .
- Para un electrodo simple es de 25  $\Omega$ .

De acuerdo a estos criterios, y tratándose de una edificación, el Sistema de Puesta a Tierra del Mini Centro Comercial “Mi Balcón”, una vez instalado, no debe sobrepasar el valor de 5 $\Omega$  para que el funcionamiento sea eficiente y brinde la protección esperada a equipos eléctricos u electrónicos así como también a las personas que hacen uso de este establecimiento.

---

<sup>53</sup> IEEE Std 80-2000

### **3.2.2. REGLAMENTO DE SEGURIDAD NEC.<sup>54</sup>**

En el reglamento de seguridad del NEC (Ecuatoriano) revisado por el INEN, establece en la sección 250 «Puestas a Tierra» varios literales que se dividen en algunos puntos para la conexión de puesta a tierra de:

- Circuitos de c.c. y c.a.
- Sistemas de c.c. y c.a. para varios niveles de voltaje.
- Generadores.
- Sistemas alimentados desde acometida.
- Edificaciones.
- Conductores que se deben aterrizar.
- Puesta a tierra de equipos.
- Tipos de alambre para la conexión.
- Conexiones equipotenciales.
- Instalación del electrodo de puesta a tierra.
- Uso de la puesta a tierra de los pararrayos.
- Puesta a tierra complementaria.
- Calibre de conductor de puesta a tierra tanto para c.c. como para c.a.
- Continuidad de! conductor de puesta a tierra de equipos, etc.

El diseño del Sistema de puesta a Tierra a ser implementado en el presente proyecto tomará en cuenta la referencia que se acople al entorno y características de la solución.

### **3.2.3. REGLAMENTO DE SEGURIDAD TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE) COLOMBIA.**

En el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas de Colombia capítulo II «Requisitos Técnicos Esenciales» artículo 15 "Puestas a Tierra" se indica que:

---

<sup>54</sup> Reglamento de seguridad NEC (ecuatoriano), revisado por el INEN



“Toda instalación eléctrica cubierta por el presente reglamento, excepto donde se indique expresamente lo contrario, debe disponer de un sistema de puesta a tierra, de tal forma que cualquier punto del interior o exterior, normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no están sometidos a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad cuando se presente una falla”.<sup>55</sup> En el reglamento mencionado se especifica lo siguiente:

- Funciones de un sistema de puesta a tierra.
- Márgenes de soportabilidad del cuerpo humano.
- Diseño de puesta a tierra.
- Requisitos generales.
- Materiales a usarse.
- Valores de resistencia de puesta a tierra.
- Medición de parámetros relacionados con la puesta a tierra.
- Puestas a tierra temporales.

#### **3.2.4. OTRAS PUBLICACIONES TOMADAS DEL INTERNET.**

Existen otros reglamentos que hacen referencia a la construcción de los sistemas de puesta a tierra tales como: la UTE, MIERAT, MITB, REBT, de origen español, en los que se puede observar conceptos similares en cuanto a las regulaciones para este tipo de sistemas, pero es necesario aclarar que toda la documentación que se pueda obtener al respecto está basada en los estándares internacionales como el de la IEEE, ANSI, IEC, NEC, etc.

---

<sup>55</sup> Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. (RETIE) COLOMBIA

### **3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.**

#### **3.3.1. ANALISIS DE ALTERNATIVAS DEL PROCEDIMIENTO.**

Para establecer los lineamientos del diseño del sistema de puesta a tierra para el Mini Centro Comercial MI BALCON, se analizara las ventajas que ofrece el procedimiento del transformador aéreo en contraposición al procedimiento de cámaras de transformación subterránea.

##### **3.3.1.1. Transformadores Aéreos.**

- La acometida principal inicia desde el transformador aéreo de la Empresa Eléctrica hacia el tablero de Medidores de Energía del establecimiento.
- El procedimiento de transformadores aéreos se usa comúnmente para tensiones medias y bajas.
- Las configuraciones los electrodos que se utilizan para transformadores aéreos requieren de un espacio reducido para su instalación, lo cual beneficia en instalaciones urbanas la disponibilidad de espacio es reducida.

##### **3.3.1.2. Cámaras de transformación Subterráneas.**

- Este procedimiento es utilizado en establecimientos que manejan voltajes extremadamente altos.
- Este procedimiento implica armar una malla de dimensiones grandes, lo cual requiere de un espacio considerable para la instalación de cualquier solución.
- Los costos de construcción de este tipo de sistemas es elevado.

En conclusión, el procedimiento de Transformadores Aéreos permite obtener una solución de Sistema de Puesta a Tierra acorde al Mini Centro Comercial “Mi Balcón” optimizando el tiempo y los costos requeridos.

### **3.3.2. PROCEDIMIENTO<sup>56</sup>**

En base al análisis anterior, a continuación se detalla el procedimiento de transformadores Aéreos el mismo que considera los siguientes pasos:

- Medición de la Resistividad.
- Selección de Conductores y Electrodo.
- Calculo de Resistencia de Puesta a Tierra.

#### **3.3.2.1. Medición de la Resistividad.**

Como se menciona en el capítulo 2, es indispensable conocer el valor de la resistividad del terreno donde se va a realizar la futura instalación del sistema de puesta a tierra. Para obtener el valor de la resistividad del terreno se realizaran los siguientes pasos.

- Medición de la resistencia del terreno.
- Calculo de la resistividad.

##### *3.3.2.1.1. Medición de la resistencia del terreno.*

Para realizar la medición de la resistencia del terreno se usó un TELUROMETRO de la marca METREL (Earth Tester KMI 2124) de fabricación española. Este equipo de medición se encuentra elaborado bajo la normativa europea EN 61557-5.

---

<sup>56</sup> CHIRIBOGA G. Raúl Alejandro, Proyecto (Tesis), Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela



**Figura 34 Telurómetro METREL (Earth Tester KMI 2124)**

Debido al espacio físico disponible para la instalación del sistema de puesta a tierra, el proceso de medición de la resistividad del terreno, fue realizado considerando las características del entorno buscando identificar el sitio con el mejor perfil para la instalación del sistema, registro que puede observarse en el Anexo 1.

A continuación se menciona el proceso de medición aplicado para obtener la resistividad del terreno:

- Se instalaron los electrodos de prueba en línea recta a una distancia “a” de 5m y a una profundidad “b” de 15 cm. Según las recomendaciones del método de Wenner, “a” debe tener una proporción de “20b” como mínimo para aplicar adecuadamente la fórmula reducida la misma que indica que la resistividad es igual a  $2 \pi a R$ , por la distancia “a” y por la resistencia medida con el TELUROMETRO. Esta recomendación permite considerar el valor de “b” como despreciable.
- Las picas de prueba se entierran a una profundidad de 20cm, por lo que considerando la metodología de Wenner de “20b”, la separación entre las picas fue de utilizar la distancia de 5m para cumplir con el procedimiento establecido.

En la siguiente figura se muestra la medición de distancia entre las picas de prueba:



**Figura 35** Proceso de medición de distancia entre picas

Una vez establecidos los puntos de referencia se procede a instalar las picas de prueba como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 36** Pica de prueba instalada

Una vez colocadas las picas de prueba a la profundidad y separación establecidas en el proceso inicial mencionado en el apartado anterior, se procede a medir el valor de resistencia con ayuda del Telurómetro, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 37 Medición de la resistividad con la ayuda del TELURÓMETRO**

### 3.3.2.1.2. Cálculo de la resistividad.

Con el valor de resistencia obtenido en el proceso de medición de  $R = 0.36\Omega$  es posible calcular la resistividad del terreno, procedimiento que fue aplicado en base a la ecuación 7.

$$\rho = 2\pi Ra$$

Dónde:

- $a = 5\text{m}$  (distancia entre electrodos o picas de prueba)
- $b = 0.20\text{m}$  (valor despreciable)
- $R = 0.36\Omega$  (Valor obtenido en la medición).

$$\rho = 2 * \pi * 0.36 * 5$$

$$\rho = 11.31 \Omega\text{m}$$

Considerando los datos obtenidos, la resistividad del terreno a una profundidad de 5 metros, es de  $11.31 \Omega\text{m}$ .

### 3.3.2.2. Selección de Conductores y Electrodo.

Es importante destacar la importancia de seleccionar un adecuado conjunto de Conductores (cables) y Electrodo para el diseño del sistema de puesta a tierra con el objetivo de garantizar la máxima protección de equipos y personas.

#### 3.3.2.2.1. Conductores de puesta a tierra para equipos

Para seleccionar el calibre del conductor a ser utilizado en el sistema de puesta a tierra del Mini Centro Comercial “Mi Balcón”, se consideró la tabla 2 asociada al estándar NEC 250-122, la cual establece el tipo de conductor en relación a la capacidad del Breaker principal de la acometida, el cual para el caso particular del presente proyecto es de 60 amp y permite determinar que el calibre del cable a utilizar debe ser N° **10 AWG**.

En la figura 38 se puede observar los Breaker principales los mismos que fueron instalados por la empresa proveedora del suministro eléctrico, como se puede observar, cada instalación posee una acometida independiente para evitar sobrecarga de los mismos:



Figura 38 Breaker principales de las acometidas 60A

#### 3.3.2.2.2. *Conductor del electrodo de puesta a tierra.*

Para la selección del calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra que se utilizará en la construcción del Sistema de tierra del Mini Centro Comercial “Mi Balcón” será tomara como referencia la tabla 3 asociada a la norma NEC 250 - 66, conductor del electrodo de puesta a tierra (EN COBRE), para el caso particular del presente proyecto, se estableció que los conductores de fase tienen un calibre de 6 AWG, por lo que el sistema de puesta a tierra deberá usar un conductor de calibre 8 AWG como mínimo.

Para unir el cable y el electrodo de puesta a tierra, se utilizará el procedimiento de soldas exotérmicas; los moldes disponibles en el mercado vienen diseñados para calibre 1/0 AWG en adelante, por lo que se delimita la selección del conductor a ser utilizado para el presente proyecto a 1/0 AWG.

#### 3.3.2.2.3. *Electrodos de puesta a tierra:*

En la tabla 4 se muestra los requisitos referentes a diámetro y a recubrimientos para electrodos de puesta a tierra basados en la norma, IEC 60364-5-54.

Para seleccionar el tipo de electrodo que se utilizara en la construcción del sistema, se considerará el código de la Cámara de Construcción de Quito sección 10.2.1<sup>57</sup>, el mismo establece:

- La puesta a tierra debe estar constituida por uno o varios de los siguientes electrodos: Varillas, tubos, placas, flejes o cables.
- Se podrán utilizar electrodos de cable de acero galvanizado, siempre que se garanticen las condiciones de seguridad establecidas en este código.

Los fabricantes de electrodos de puesta a tierra deben garantizar que la resistencia a la corrosión de cada electrodo, sea mínimo 15 años contados a

---

<sup>57</sup> [www.camaraconstruccionquito.ec/index.php?option=com](http://www.camaraconstruccionquito.ec/index.php?option=com)



partir de la fecha de instalación, e informar al usuario si existe algún procedimiento específico que se debe seguir para su instalación.

Para certificar este requisito se podrá utilizar el método de la inmersión en cámara salina durante 1000 horas tomando como referente las normas ASTM B117 Y ASTM G1 o el ensayo de corrosión por reproducción del perfil de electrolito del suelo, según criterio de las normas ASTM G162-99 y ASTM G8-90 u otro método técnicamente aceptado que asegure el cumplimiento del requisito.

La mayoría de normativas indican que la longitud promedio de la varilla debe ser de 2.40m, pero en el mercado ecuatoriano existen varillas con un máximo de 1.80m, por este motivo se buscó documentación que respalde el uso de este tipo de varillas, las mismas que constan dentro del documento dispuesto por la Cámara de Construcción de Quito: "...El electrodo, tipo varilla o tubo debe tener mínimo 1,80 m. de longitud; además, debe estar identificado con la razón social o marca registrada del fabricante y sus dimensiones; esto debe hacerse dentro los primeros 30 cm desde la parte superior..."

El espesor efectivo de los recubrimientos exigidos en la Tabla 4 Requisitos para electrodos de puesta a tierra, en ningún punto debe ser inferior a los valores indicados.

Considerando los criterios establecidos anteriormente, el diseño del sistema de puesta a tierra para el presente proyecto, utilizara como electrodo la varilla Copperweld de 16mm de diámetro por 1.80 m de largo, de acuerdo a las recomendaciones de la tabla 4.

### 3.3.2.3. Cálculo de Resistencia de Puesta a Tierra.

Una vez que se cuenta con el valor de resistividad en  $\Omega \cdot m$ , y definido el material que se utilizará en el diseño, se procederá a calcular la resistencia de puesta a tierra conforme a los procedimientos establecidos.

Tomando en cuenta las dimensiones del sitio en el cual se implementará el sistema de puesta a tierra como se muestra en el anexo 1, el espacio destinado mide 13,60 m de largo por 2,60m de ancho; adicionalmente en base a los elementos seleccionados en los apartados anteriores, se aplicará el ítem #4 de la tabla 5 con una configuración en línea recta, buscando obtener los mejores resultados. Aplicando la fórmula asociada se tiene el siguiente resultado:

#### Ecuación 14 Cálculo de la resistencia del Sistema de Puesta a Tierra

$$R_{PT} = \frac{\rho}{N} \left( 0.404 + \frac{0.16}{S} \ln(0.655 * N) \right)$$

Dónde:

- $\rho$  = Resistividad del terreno, por lo que considerando la medición obtenida el valor a ser utilizado es de 11.31 ohm-m.
- N = Número de electrodos, en base a la tabla asociada el valor es de 3 electrodos.
- L = longitud del electrodo, considerando las características del electrodo a ser utilizado la longitud es de 1.80m.
- S = Distancia entre electrodos, de acuerdo con la especificación S mayor 2L, S tiene un valor de 5m.

Reemplazando los valores descritos anteriormente se obtiene el siguiente resultado:

$$R_{PT} = \frac{11.31}{3} \left( 0.404 + \frac{0.16}{5} \ln(0.655 * 3) \right) = 1.60 \Omega$$

El valor obtenido, cumple con las recomendaciones establecidas por la normativa IEEE Std. 80-2000, demostrado la idoneidad del diseño planteado, el mismo que deberá ser verificado una vez que el sistema de puesta a tierra sea implantado en el Mini Centro Comercial MI BALCON.

### 3.4. HOJA DE RESULTADOS.

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos en este capítulo para la construcción del sistema de puesta a tierra, también se hace referencia a los datos tomados de las diferentes tablas utilizadas para el diseño de la solución del presente proyecto.

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Método</b>	<b>Resultado</b>
Resistividad del Terreno	Valor de la resistividad usando el método de Wenner.	Medición y cálculo.	<b>11.31 <math>\Omega</math>-m</b>
Conductor para la puesta a tierra de los equipos.	Conductor para la puesta a tierra de los equipos basado en la tabla 2 es de calibre 10 AWG	Uso de tablas	<b>Cable Aislado 10 AWG</b>
Conductor del electrodo de puesta a tierra	Conductor del electrodo de puesta a tierra a utilizarse según la tabla 3	Uso de tablas	<b>Cable Desnudo 1/0 AWG</b>
Electrodo de puesta a Tierra	Varillas (electrodo) de puesta a tierra Copperweld, 16 mm de diámetro x 1.80 m de longitud, que en la tabla 4 corresponde a la varilla de acero con recubrimiento total en Cobre.	Uso de tablas	<b>Varilla Copperweld</b>
Resistencia de Puesta a Tierra	Usando la formulación 4 de la tabla 5 (N electrodos en línea recta) para obtener un valor no mayor a 5 $\Omega$ como lo exige las normas. Cálculo con 3 electrodos en línea recta a una distancia de 5m uno de otro.	Uso de Tabla y cálculo	<b>Electrodos 3. Distancia entre electrodos 5m. Valor de RPT=1.6 <math>\Omega</math></b>

## CAPITULO IV

### CONSTRUCCION E INSTALACION DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA EL MINI CENTRO COMERCIAL “MI BALCON”

#### 4.1. CONSIDERACIONES PRELIMINARES.

En el presente capítulo se detalla el proceso de implementación del sistema de puesta a tierra en el Mini Centro Comercial “Mi Balcón” considerando los lineamientos establecidos en el capítulo anterior.

##### 4.1.1. UBICACIÓN DEL SITIO.

El mini centro comercial “MI BALCON” se encuentra ubicado al Sur Oriente de Quito en la parroquia de La Merced, entre las calles Av. Ilalo y 4 de Mayo a 50m del semáforo.

La parroquia de la Merced pertenece al Distrito Metropolitano de Quito, se encuentra a 50 km desde la ciudad capital, y a un tiempo aproximado de media hora en vehículo propio, en la figura 3.1 se muestra uno de los caminos que se pueden seguir para llegar al sitio.

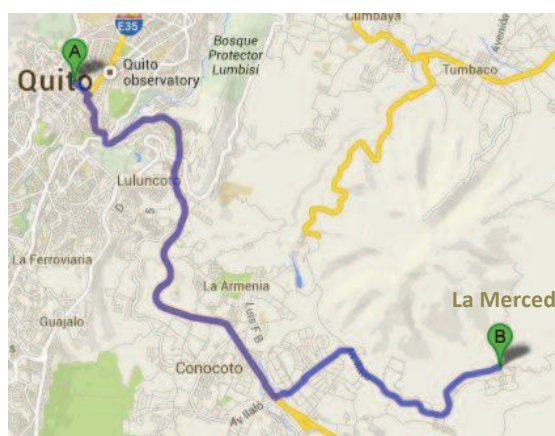


Figura 39 Ubicación de la Parroquia La Merced<sup>58</sup>

<sup>58</sup> Google Maps

#### 4.1.2. COORDENADAS DEL LUGAR.

Provincia: **Pichincha**, Cantón: **Quito**, Parroquia: **La Merced**

Latitud: **-0.266667** Longitud: **-78.4**<sup>59</sup>

#### 4.2. MATERIALES UTILIZADOS.

En la siguiente tabla se puede observar la lista de materiales empleados en la construcción del sistema de puesta a tierra.

**Tabla 14 Materiales utilizados para el Sistema de Puesta a Tierra**

Item	Descripción	Cantidad
1	Varilla de puesta a tierra Copperweld dimensiones 1.80 m x 16 mm de diámetro.	3 u.
2	Conductor de cobre desnudo 1/0AWG	13 m.
3	Sueldas Cadwel	3 u.
4	Molde de grafito para Varilla de 16mm conductor 1/0 AWG	1 u.
5	Placa de cobre 5cm de ancho x 20cm de largo x 6mm de espesor.	1 u.
6	Aisladores	2 u.
7	GEM (Químico ) (saco de 25 lbs)	6 u.
8	GEL (Químico)	2 u.
9	Caja con cerradura 30cm x 20cm x 15cm	1 u.

#### 4.3. PROCESO DE CONSTRUCCION E INSTALACION.

El proceso de construcción e instalación del sistema de puesta a tierra, establece un conjunto de pasos, los mismos que se describen a continuación:

- Preparación del sitio.
- Instalación de los electrodos.
- Medición de la resistencia de puesta a tierra de cada electrodo.
- Construcción del sistema.
- Tratamiento químico de los electrodos.
- Tendido del cable.

<sup>59</sup> <http://mapasamerica.dices.net/ecuador/mapa.php?nombre=Cerro-Ilalo&id=2139>

- Soldas exotérmicas entre el cable y el electrodo.
- Tratamiento químico del cable.
- Instalación de la caja de distribución.
- Anclaje de la placa de cobre.
- Conexión del cable a la placa de cobre.
- Medición de la resistencia de puesta a tierra del nuevo sistema.
- Cimentación y colocación de cajas de revisión para cada electrodo.

#### **4.3.1. PREPARACION DEL SITIO.**

Con la ayuda del plano civil del Mini Centro Comercial “Mi Balcón” el mismo que está disponible en el Anexo 2 del presente documento; se procedió a realizar el corte conforme a los trazos establecidos para la instalación del sistema de puesta a tierra, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 40 Corte de la Cimentación para el Sistema de Puesta a Tierra.**

Una vez finalizado el proceso de corte conforme al diseño establecido para el sistema de puesta a tierra se procedió a excavar los espacios destinados para la instalación de los electrodos, en la siguiente figura se puede apreciar la vista obtenida luego de haber realizado este proceso.



**Figura 41 Excavación de las secciones para la instalación de Electroodos.**

En la excavación de las secciones mostrado en la figura anterior, se encontró tierra de color café claro conocida técnicamente como arena arcillosa compacta; este tipo de tierra tiene una resistividad muy alta que fluctúa entre los 50 hasta los 500  $\Omega$ .m razón por la cual fue reemplazada con tierra negra conocida como Limo cuya resistividad oscila entre los 20 a 100  $\Omega$ .m garantizando las condiciones adecuadas para la instalación del sistema de puesta a tierra.

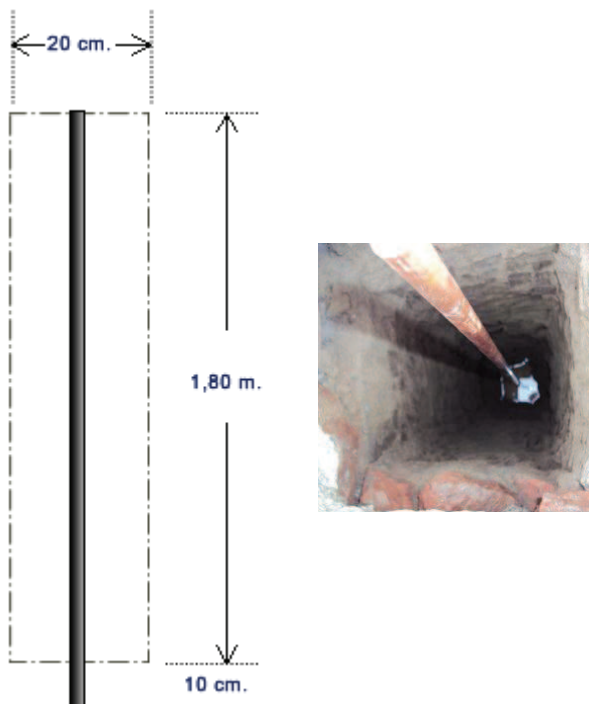


**Figura 42 Colocación de Limo para la Instalación del Sistema de Puesta a Tierra**

#### **4.3.2. INSTALACIÓN DE LOS ELECTRODOS.**

Una vez ejecutados los procedimientos descritos anteriormente, se procede a instalar las varillas Copperweld, las mismas que deben ser ubicadas en el centro de la sección excavada conjuntamente con el tratamiento químico establecido en base a las condiciones del terreno.

Cada varilla de Copperweld debe ser incrustándola 10 cm. en el fondo de la sección excavada, en la siguiente figura se observa un esquema y fotografía del resultado de la instalación.



**Figura 43** Implantación de la varilla de Copperweld

#### **4.3.2.1. Características técnicas de la varilla Copperweld.**

La varilla de Copperweld cuenta con un núcleo es de acero al carbono SAE 1010/1020 trefilado con revestimiento de cobre, es un electrodo brillante, libre de imperfecciones, con un grado de pureza mayor al 95% y sin trazas de zinc, el revestimiento de cobre es obtenido mediante electro depósito anódico, consiguiendo una película de 0.254mm. La resistencia de tracción es mayor a 50 Kgf/mm<sup>2</sup> y soporta un doblado de 60 grados sin dar muestras de fisuras o desprendimientos de la capa de cobre, cumpliendo con las exigencias de las normas ANSI C33-8 ASTM a 1080 UL 467, NEMA 8CC-5/GR-1



Las medidas de las varillas Copperweld empleadas en la construcción de este sistema son 5/8 plg (16 mm) de diámetro nominal y 1,80 m de longitud, especificaciones técnicas que vienen impresas en la parte superior como se muestra en la siguiente figura.



Figura 44 Impresión de las características de los electrodos.

#### 4.3.2.2. Medición de la Resistencia de Puesta a Tierra de cada electrodo.

Una vez instaladas las tres varillas Copperweld conforme a los procedimientos descritos anteriormente, se procedió a medir las resistencias de puesta a tierra de cada una; este proceso se realizó sin tratamiento químico y sin conectarlas entre sí, para luego observar el cambio significativo que existe en los valores obtenidos una vez culminada la instalación del sistema de puesta a tierra.

Tabla 15 Medición individual de los Electrodo del Sistema de Puesta a Tierra

ELECTRODO	MEDICION	REFERENCIA	OBSERVACION
1	37,7	DE 1 A 5 OHMIO	Incorrecto
2	33,0	DE 1 A 5 OHMIO	Incorrecto
3	19,9	DE 1 A 5 OHMIO	Incorrecto



Figura 45 Medición previa de los electrodos de puesta a tierra

Como se puede observar, cada varilla sin ningún aditamento adicional no permite desviar la corriente de falla en forma correcta debido a que su resistencia sobrepasa el recomendado por la norma IEEE que es 1 a 5 Ohmios para edificios.

#### **4.3.3. TRATAMIENTO QUÍMICO DE LOS ELECTRODOS.**

Para dar tratamiento a los electrodos utilizados en el sistema de puesta a tierra se utilizó el químico denominado GEM, cuyas características técnicas fueron establecidas en el capítulo correspondiente, para la preparación se utilizó de 5.7 a 7.6 litros de agua limpia por cada saco de 25 lbs hasta formar una mezcla homogénea especificaciones del fabricante, proceso de que muestra a continuación



**Figura 46 Preparación del compuesto químico GEM.**

El tratamiento químico a los electrodos se realiza colocando un tubo PVC de 4 pulgadas de diámetro y 1.60m de longitud cubriendo la varilla Copperweld debido a que este material tiene poca porosidad y evita que se adhiera el químico a las paredes como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 47 Ubicación de tubo PVC para el tratamiento químico con GEM**

La cantidad aproximada de GEM que se usó en el tratamiento químico de los electrodos fue de 2 sacos por electrodo considerando las proporciones de los elementos utilizados y la tabla dispuesta a continuación:

**Tabla 16 Cantidad estimada de sacos de GEM.**

Cantidad estimada de sacos de GEM para rellenar el espacio en torno de electrodos de tierra hasta una densidad de 90 lb/pie <sup>3</sup> (1442 kg/m <sup>3</sup> )							
Diámetro del agujero	Profundidad del agujero*						
	1.8 m (6')	2.1 m (7')	2.4 m (8')	2.7 m (9')	5.2 m (17')	5.8 m (19')	6.1 m (20')
7.5 cm (3")	2	2	2	2	4	4	4
10.0 cm (4")	2	3	3	3	6	7	7
12.5 cm (5")	3	4	4	5	9	10	10
15.0 cm (6")	5	5	6	7	13	14	15
17.5 cm (7")	6	7	8	9	17	19	20
20.0 cm (8")	8	9	11	12	22	25	26
22.5 cm (9")	10	12	13	15	28	31	32
25.0 cm (10")	12	14	16	18	34	38	40

El uso del químico adherido al electrodo permitió bajar la resistividad aumentando el diámetro de 5/8 a 4 plg aproximadamente, es muy importante aclarar que la varilla debe quedar colocada en el medio de la mezcla química para facilitar la unión entre el cable y el electrodo utilizando los procedimientos de solda.

Mientras se vierte la mezcla química en la parte interna del tubo PVC, se debe ir colocando y compactando la tierra negra en la parte externa del tubo, el mismo que debe ser retirado progresivamente durante el proceso de tratamiento, procedimiento que garantiza una adecuada integración entre la tierra, la mezcla química y el electrodo como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 48** Aplicación del tratamiento químico con GEM

#### **4.3.4. TENDIDO DEL CABLE.**

Una vez concluidas las actividades descritas anteriormente, el siguiente paso es tender el cable para unir las varillas Copperweld con la caja de distribución. Como se mostró en el capítulo anterior, se seleccionó un cable de calibre 1/0 AWG desnudo para garantizar el contacto directo con el suelo y ayudar al sistema de puesta a tierra disipar sus corrientes de fuga.



**Figura 49** Tendido del cable para el sistema de puesta a tierra

#### 4.3.4.1. Características del Conductor 1/0 AWG.<sup>60</sup>

El conductor 1/0 AWG es un conductor de cobre desnudo formado por 7 hilos con una sección de 53,487 mm<sup>2</sup>, estas y otras características se presentan en la siguiente tabla proporcionada por el fabricante.

**Tabla 17 Características del Conductor para el sistema de Puesta a Tierra**

Calibre	Número de hilos	Diámetro de los hilos	Diámetro del conductor	Sección	Tensión de rotura	Resistencia D.C. a 20 °C	Peso unitario
[AWG]		[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg]	[Ω/km]	[kg/km]
4/0	7	4,417	13,250	107,261	4134,0	0,1706	972,2
3/0	7	3,932	11,811	84,996	3341,1	0,2151	771,0
2/0	7	3,503	10,516	67,450	2688,0	0,2712	611,6
1/0	7	3,119	9,373	53,487	2155,5	0,3419	485,3
2	7	2,474	7,417	33,649	1383,4	0,5446	304,9
4	7	1,961	5,893	21,139	879,1	0,8648	191,8
6	1	4,115	4,115	13,296	580,6	1,3484	118,2
8	1	3,264	3,264	8,366	374,7	2,1424	74,4

#### 4.3.5. SUELDAS EXOTÉRMICAS CABLE - ELECTRODO.

Para utilizar aplicar este tipo de soldadura se emplea sueldas Cadwel, que tienen las siguientes características técnicas.

##### 4.3.5.1. Soldaduras CADWELD.

###### 4.3.5.1.1. Descripción.

Los puntos de unión de un sistema de puesta a tierra son los más susceptibles a sufrir daños, debido a las altas corrientes de falla y a la corrosión que maneja. La efectividad de un sistema de tierra depende de la calidad de sus conexiones.<sup>61</sup>

<sup>60</sup> <http://empresas.micodensa.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/ET-121.pdf>

<sup>61</sup> [http://atcom.com.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8:soldadura-cadweld-r-](http://atcom.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=8:soldadura-cadweld-r-)

Con este antecedente se hace necesario utilizar un procedimiento de soldadura que garantice la efectividad del sistema de puesta a tierra, razón por la cual escogió para el presente proyecto las sueldas CADWELD de ERICO.

#### *4.3.5.1.2. Modo de Aplicación.*

El sistema convencional de soldadura exotérmica CADWELD consiste en un molde de grafito al cual se le añade un material de ignición, un material de soldadura y un disco de retención. Los conductores a soldarse deben estar limpios, libres totalmente de impurezas y de humedad.

La reacción se provoca mediante un chispero que apunta hacia la cavidad superior del molde de grafito, la chispa despedida activa el material de ignición y por tanto el material de soldadura se enciende a alta temperatura y funde el disco de retención, dejando caer el cobre en estado líquido sobre los conductores y formando la suelda exotérmica. Luego de algunos segundos se retira el molde y el resultado es una unión molecular entre los conductores de cobre de alta pureza que no contiene porosidades y garantizan su permanencia, el procedimiento necesario se describe a continuación:

- Se realiza la limpieza de los electrodos y el cable con un cepillo de acero, de tal manera que no queden impurezas.



**Figura 50** Proceso de limpieza del electrodo

- Se coloca el molde de grafito entre el electrodo y el cable sujetándolo con una pinza o una prensa portátil, verificando que las dos caras del molde estén bien unidas para evitar fugas del material como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 51 Instalación del molde de grafito**

- Se procede a llenar el molde con el polvo de soldadura como puede observar en la siguiente figura:



**Figura 52 Ubicación de la soldadura en el molde.**

- Posteriormente se coloca pólvora de ignición para producir la reacción química de la suelda como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 53 Colocación de pólvora de ignición**

- Para continuar con el procedimiento, se calienta el molde con la ayuda de un mechero hasta llegar a una temperatura de 120 °C aproximadamente, esto se hace para eliminar todo rastro de humedad, luego de este proceso se enciende la pólvora produciendo la reacción química y obteniendo la unión exotérmica del cable con el electrodo. Como se puede apreciar en la siguiente figura:



**Figura 54 Fundición Exotérmica del cable con el electrodo.**

Una vez finalizadas cada una de las actividades descritas anteriormente se retira el molde y se verifica que la unión exotérmica no presente fisuras ni escoria. Este proceso se realiza con cada uno de los electrodos garantizando la eficiencia del sistema de puesta a tierra.



#### 4.3.6. TRATAMIENTO QUÍMICO DEL CABLE.

El tratamiento del cable se lo realiza con un compuesto químico denominado GEL el mismo que fue abordado en el capítulo 2. La preparación se realiza de la siguiente manera:

Se mezcla un metro cúbico de tierra con una funda de químico GEL de 11 libras; una vez lista la preparación debe recubrir el cable en su totalidad, para lo cual se recomienda definir un canal de 12cm. de ancho por 30 cm. de profundidad para garantizar el óptimo desempeño del tratamiento químico aplicado:

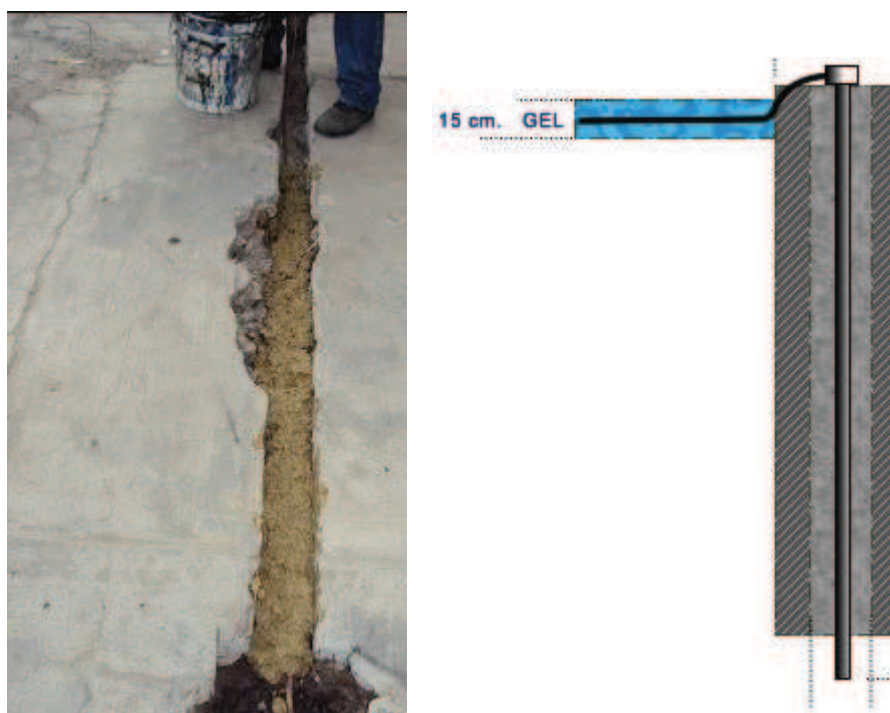


Figura 55 Tratamiento químico del cable con GEL.

#### 4.3.7. INSTALACIÓN DE LA CAJA DE DISTRIBUCIÓN.

La caja de distribución se instala bajo el tablero de medidores de energía de la Empresa Eléctrica, se escoge este lugar por ser accesible y seguro para las

conexiones del sistema de puesta a tierra; la caja de conexión tiene las siguientes dimensiones: 30 cm de alto x 20 cm de ancho x 15 cm de profundidad y es de un material resistente que permite su instalación a la intemperie usando tacos Fisher N° 10 con tornillos galvanizados de cabeza hexagonal para garantizar una adecuada sujeción.



**Figura 56 Instalación de la Caja de Distribución.**

#### **4.3.8. ANCLAJE DE LA PLACA DE COBRE.**

Este tipo de placas son conocidas también como barras de aterramiento, se las conoce así porque aquí es donde se unen las conexiones a tierra. Las dimensiones de la placa de cobre son: 5 cm de ancho x 20 cm de largo y 6 mm de espesor, tiene 6 agujeros de los cuales dos de ellos se usan para el anclaje y los restantes para las conexiones.



**Figura 57 Placa de cobre**

La placa mostrada en la figura anterior es instalada dentro de la caja de distribución para evitar su corrosión y el contacto con las personas como se muestra a continuación:



**Figura 58 Placa de cobre instalada**

Para la sujeción de la placa a la caja se utilizaron aisladores, un soporte metálico y tornillos electrogalvanizados, como se aprecia anteriormente.

#### **4.3.9. CONEXIÓN DEL CABLE DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA A LA PLACA DE COBRE.**

Antes de instalar el cable se necesita colocar en la punta un terminal tipo ojo para cable 1/0 AWG. La manufactura de los conectores de Potencia tipo ojo garantizan una óptima conductividad y previenen la oxidación gracias a su recubrimiento estañado, su tope de cable permite insertar el mismo en su posición ideal evitando así vibración eléctrica o calentamiento, este tipo de terminales se puede apreciar en la siguiente figura:



**Figura 59 terminal tipo ojo estañado<sup>62</sup>**

---

<sup>62</sup> [http://ponchadorasyterminales.com/product\\_info.php?products\\_id=309](http://ponchadorasyterminales.com/product_info.php?products_id=309)

Una vez instalada la placa de cobre dentro de la caja, los cables con los conectores tipo ojo, se procede a la conexión del cable del electrodo de puesta a tierra a la placa, se debe ajustarlos con tornillos electro galvanizados a la presión indicada para asegurar una eficiente conexión eléctrica. El procedimiento mencionado se muestra en la siguiente figura:



**Figura 60 Conexión del cable a la placa.**

#### **4.3.9.1. Medición de la Resistencia de Puesta a Tierra del nuevo sistema.**

Concluidos los trabajos de conexión, el siguiente paso es medir la resistencia de puesta a tierra del nuevo sistema, procedimiento que registro un valor de  $1.72 \Omega$  cumpliendo de esta manera con los estándares establecidos:



**Figura 61 Medición final del Nuevo sistema de Puesta a Tierra**

#### **4.3.10. CIMENTACIÓN Y COLOCACIÓN DE CAJAS DE REVISIÓN PARA CADA ELECTRODO.**

Con la colocación de las cajas de revisión en cada electrodo y la cimentación del lugar se culminan los trabajos de construcción del sistema de puesta a tierra para el MINI CENTRO COMERCIAL MI BALCON. En la siguiente figura se muestra la vista final del proceso:



**Figura 62 Cimentación**

#### **4.4. DIAGRAMA DE CONEXIÓN.**

La siguiente figura representa un diagrama de conexión básico de un electrodo de puesta a tierra implantado en el Mini Centro Comercial “Mi Balcón”. En el anexo 3 se muestra el diseño específico de la solución.

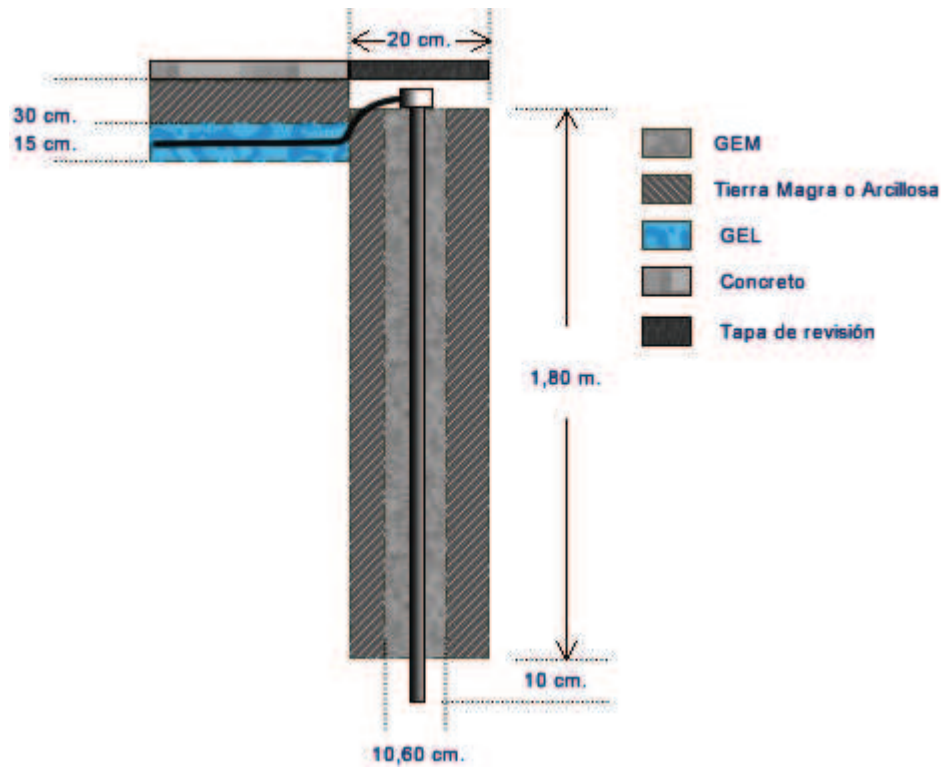


Figura 63 Diagrama de Conexión

## **CAPITULO V**

### **ANALISIS Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA CONSTRUIDO PARA EL MINI CENTRO COMERCIAL “MI BALCON”.**

#### **5.1. PREAMBULO.**

La seguridad en los sistemas eléctricos es un parámetro fundamental a considerarse en cualquier establecimiento o domicilio debido a que cualquier fallo en la alimentación eléctrica puede afectar a los dispositivos y/o personas que formen parte del entorno en donde se produce este tipo de eventos.

El análisis presentado a continuación busca registrar las experiencias y criterios obtenidos del proceso de implantación del sistema de puesta a tierra en el Mini Centro Comercial “Mi Balcón”.

#### **5.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.**

Tomando en cuenta el marco de referencia y las experiencias obtenidas en el proceso de implementación del Sistema de Puesta a Tierra descrito en el presente proyecto, a continuación se procede a analizar las áreas clave de gestión que permitió obtener la solución requerida por el Mini Centro Comercial “Mi Balcón”.

##### **5.2.1. NORMATIVA PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.**

A continuación se describe de forma general cada una de las especificaciones utilizadas para el sistema de puesta a tierra implementado en el presente proyecto.

- **IEEE Std 80-2000:** el estándar proporcionado por la IEEE establece un conjunto de lineamientos técnicos de carácter internacional para la verificación y normalización de sistemas de puesta a tierra, lamentablemente el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), no ha emitido una revisión de esta normativa que contemple la realidad dispuesta en el Ecuador, por lo que para el presente proyecto se consideró la información más relevante respecto al siguiente tema:
  - Valores mínimos de resistencia de puesta a tierra, la misma que recomienda como valor referencia el de 1 a 5  $\Omega$  para edificios, parámetro que se acopla a las características del presente proyecto.
  
- **Reglamento y manual RETIE:** este documento de origen Colombiano, proporciona un conjunto de lineamientos técnicos para la instalación de sistemas de puesta a tierra; una de las ventajas respecto a otras fuentes de información es que proporciona un manual en el cual se describe cada uno de los procesos que permiten alcanzar las recomendaciones dispuestas en el reglamento, información que permitió el desarrollo del presente proyecto con algunas variaciones en consideración a la situación existente en el Ecuador, tomando en cuenta las siguientes temáticas:
  - Características de los electrodos, como se muestra en la tabla 4 del presente documento, la información obtenida del reglamento en referencia permitió sustentar la selección de los electrodos utilizados en para la construcción del sistema de puesta a tierra.
  - Proceso de instalación de electrodos
  - Recomendaciones asociadas a: uso de soldadura exotérmica, terminales para conexión de cables, placa de cobre para centralizar la puesta a tierra, uso de cajas de protección entre otros.
  
- **Código de la Cámara de la Construcción de Quito:** el documento proporciona una referencia general respecto a la implementación de los Sistemas de Puesta a Tierra, pero proporciono información que permitió sustentar la longitud de las varillas Copperweld (1.80m) y la colocación de tapas de revisión utilizadas en el presente proyecto.



- **NEC Internacional:** esta norma permitió establecer las características de conductor del electrodo de puesta a tierra que se muestra en la tabla 3 y el conductor de puesta a tierra de los equipos como se muestra en la tabla 2.
- **NEC Nacional:** esta normativa proporcionó información de referencia para la gestión del presente proyecto, pero debido a que la misma no se encuentra actualizada, fue necesario reforzar los conceptos y procedimientos con la fuentes descritas anteriormente.

Como se puede observar en los apartados anteriores, la documentación disponible en el Ecuador respecto a la correcta instalación de sistemas de puesta a tierra es escasa, por este motivo fue necesario considerar documentación de régimen internacional para obtener el resultado deseado para el presente proyecto.

Una vez concluido el proceso de construcción del sistema de puesta a tierra del Mini Centro Comercial “Mi Balcón” es posible determinar que, aun cuando las fuentes de información seleccionadas fueron variadas cada una permitió obtener los resultados esperados de protección de los bienes y personas que acceden al establecimiento comercial.

### **5.2.2. EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EMPÍRICO.**

En base a la verificación realizada en el lugar de la instalación del electrodo empírico del Mini Centro Comercial “Mi Balcón” se pudo constatar que el mismo contaba con un tratamiento simple que le permite registrar un valor de resistividad de  $16.20 \Omega$  muy por debajo de los valores individuales obtenidos de las varillas estandarizadas para el sistema de puesta a tierra; esto permite establecer que el tratamiento rudimentario aplicado a la varilla protegió de alguna manera de las variaciones de energía que afectaron a los equipos disponibles en el establecimiento comercial.

### 5.2.3. EL SISTEMA DE PUESTA DE TIERRA.

Se puede concluir que los procedimientos seleccionados en base al marco de referencia disponible para la instalación del Sistema de Puesta a Tierra permitieron obtener los valores esperados incluso muy por debajo de la normativa establecida por la IEEE que es de  $5 \Omega$ , resultado final que se registra en la siguiente figura:



**Figura 64 Medición Final del Sistema de Puesta a Tierra**

Como se puede observar, en contraposición al sistema empírico analizado en el apartado anterior un sistema de puesta a tierra implementado conforme a las recomendaciones técnicas permite obtener un valor considerablemente bajo inferior a los  $5 \Omega$  que establece como límite la IEEE, permitiendo demostrar la idoneidad de los procedimientos utilizados en el presente proyecto.

Otro punto adicional a considerar es que la medición individual de los electrodos registró valores diferentes aun cuando la distancia entre cada uno de los electrodos es de 5m, esto permite establecer que las características del terreno varía de sección en sección por lo que se debe verificar dependiendo el caso el tipo de tratamiento químico necesario para garantizar los niveles de resistividad esperados para el electrodo individual, valor que incide en el resultado final del Sistema de Puesta a Tierra.

#### 5.2.4. ANÁLISIS ECONÓMICO.

En el presente apartado se presentan los componentes que fueron necesarios para la implementación del presente proyecto.

<b>COSTO OPERATIVO</b>	
Detalle	Precio Total
Comunicación	10,00
Movilización	30,00
Internet	12,00
<b>Total Costos operativos</b>	<b>52,00</b>

<b>COSTO MATERIALES (PARTE TEORICA)</b>			
Detalle	Cantidad	Precio/Unitario	Precio Total
Copias Documentales	100	0,03	3,00
CD-ROM regrabable	1	1,20	1,20
Cartuchos Impresora	2	20,00	40,00
Resmas de Papel	1	8,00	8,00
Empastados	3	12,00	36,00
<b>Total Costo Materiales (parte teórica)</b>			<b>88,20</b>

<b>COSTO MATERIALES (PARTE PRACTICA)</b>				
Detalle	Cantidad	Medida	Precio/Unitario	Precio Total
Varillas Copperweld	3	Unidad	8,00	24,00
Sueldas Exotérmicas	3	Unidad	9,00	27,00
Gel	2	Sacos	60,00	120,00
Gem	6	Quintal	50,00	300,00
Cable desnudo Cu 1/0	13	Metros	9,00	113,00
Placa Colectora	1	Unidad	30,00	30,00
Terminales tipo ojo	2	Unidad	4,00	8,00
<b>Total Costo Materiales (parte práctica)</b>				<b>622,00</b>

<b>COSTO MANO DE OBRA</b>				
Detalle	Cantidad	Medida	Precio/Unitario	Precio Total
Excavación	32	Horas/hombre	1,75	56,00
Sellado de la excavación	16	Horas/hombre	1,75	28,00
<b>Total Horas</b>	<b>48H/h</b>	<b>Total Costo Mano de Obra</b>		<b>84</b>

<b>COSTOS ESTIMADO DEL PROYECTO</b>	
Componente	Total
Total costos operativos + Total Materiales (Parte teórica y parte práctica) + Mano de Obra	846,20
Imprevistos 10%	84,62
<b>Total Costo Estimado</b>	<b>930,82</b>

Es necesario aclarar que la instalación del sistema de puesta a tierra establece un gasto para los propietarios del Mini Centro Comercial “Mi Balcón”, costo que deberá ser restituido en un tiempo promedio de 5 años en relación a los ingresos obtenidos por las rentas del establecimiento; a continuación se muestra el flujo referencial de caja necesario para el cálculo TIR y VAN.

<b>Inversión Inicial del proyecto</b>					<b>930,82</b>
	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>Flujo de Caja</b>	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00

Considerando los datos anteriores y una tasa de descuento del 10% se obtiene el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno que se muestra a en la siguiente tabla.

<b>Valor Actual Neto</b>	<b>16,88</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>10,71%</b>

Considerando un flujo mínimo anual de 250 dólares por un lapso de 5 años se obtiene un valor actual neto de 16,88 dólares y una tasa de retorno de 10,71%, valores que superan el costo referencial y a la tasa de descuento fijada para el presente proyecto, con este antecedente se demuestra la factibilidad de implementación del sistema de puesta a tierra en el Mini Centro Comercial Mi Balcón.

### **5.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **5.3.1. CONCLUSIONES.**

- A nivel de instalaciones residenciales, no existe la información necesaria que permita alertar a la ciudadanía sobre los peligros de no contar con un sistema de puesta a tierra que brinde la protección necesaria a equipos y personas.

- A nivel profesional, no existe una cultura que determine la utilización de sistema de puestas de tierra en las instalaciones de nivel residencial lo cual no favorece a la práctica de las recomendaciones establecidas a nivel nacional e internacional.
- La normativa provista por el Instituto Ecuatoriano de Normalización no contempla las condiciones establecidas en el Ecuador por lo que requiere ser actualizada para proporcionar el marco de referencia adecuado para la instalación de sistemas de puesta a tierra.
- Toda normativa debe estar acompañada de un manual que proporcione las directrices necesarias para aplicar correctamente los procesos de instalación de los sistemas de puesta a tierra en relación a la normativa Nacional.
- La bibliografía establecida para el cálculo y posterior diseño de un sistema de puesta a tierra permiten obtener un marco de referencia para la solución requerida por el cliente, pero es necesaria una inspección en el sitio debido a que las condiciones del terreno pueden variar los resultados obtenidos durante la fase inicial de procesamiento de datos.
- El proceso de medición inicial previo a la instalación de un sistema de puesta a tierra es de suma importancia debido a que en base al punto de referencia seleccionado, se afectará de forma proporcional a la cantidad y características de los materiales a ser utilizados para la construcción de la solución esperada.
- El tratamiento químico de los elementos conformantes del sistema de puesta a tierra es indispensable para garantizar su operatividad de forma independiente a los cambios climáticos establecidos por el entorno.

- El uso de GEL para como cobertura del cable de conexión entre los electrodos permite concentrar la humedad del sitio sobre los elementos que conforman el sistema de puesta a tierra garantizando su efectividad.
- El uso de un tubo PVC para la aplicación de GEM garantiza la uniformidad de la instalación para los casos en los que se requiere cambiar la tierra de la sección para optimizar las condiciones provistas por el terreno.
- El uso de cajas para la protección de la conexión principal del sistema de puesta a tierra es un requerimiento fundamental para garantizar la protección de los elementos del sistema frente a cualquier manipulación por parte de personas no autorizadas.
- Los materiales disponibles en el mercado ecuatoriano para la construcción de sistemas de puesta a tierra permiten obtener los resultados esperados conforme a la normativa establecida.

### **5.3.2. RECOMENDACIONES.**

- Debido a que no existe la información necesaria que permita alertar a la ciudadanía sobre los peligros de no contar con un sistema de puesta a tierra, se recomienda a los profesionales del área que proporcionen los datos necesarios que favorezcan a la creación de una cultura que utilice este tipo de sistemas que brindan la protección necesaria a equipos y personas.
- Considerando que la normativa provista por el Instituto Ecuatoriano de Normalización en relación a los sistemas de puesta a tierra no contempla las condiciones establecidas en el Ecuador, se recomienda su actualización con el objetivo de proveer un adecuado marco de referencia para la instalación de este tipo de sistemas.

- Tomando en cuenta que toda normativa debe estar acompañada de un manual que proporcione las directrices necesarias para aplicar correctamente los procesos de instalación de los sistemas de puesta a tierra en relación a la normativa Nacional, se recomienda considerar como un tema de investigación para el proceso de titulación en el área de Electricidad.
- Como parte de la fase inicial del procesamiento de datos para el diseño de puesta a tierra se recomienda realizar una inspección en el sitio con el objetivo de contrastar los datos con las condiciones dispuestas en el entorno en el cual será instalado el sistema de puesta a tierra.
- Debido a que el proceso de medición inicial previo a la instalación de un sistema de puesta a tierra es de suma importancia se recomienda seleccionar el sitio que presente menor resistividad con el objetivo de abaratar los costos y optimizar los recursos necesarios para su instalación.
- Para el proceso de medición de resistividad se recomienda utilizar el método de Wenner así como el uso de dispositivos digitales, debido a que sus resultados proporcionados facilitan el procesamiento de información, diseño y posterior instalación del sistema de puesta a tierra requerido por el cliente.
- Debido a que el tratamiento químico de los elementos conformantes del sistema de puesta a tierra es indispensable para garantizar su operatividad de forma independiente a los cambios climáticos establecidos por el entorno, se recomienda su uso para todas las situaciones en las que las características de la solución permitan su aplicación.
- Tomando en cuenta que el uso de GEL permite concentrar la humedad del sitio sobre los elementos que conforman el sistema de puesta a tierra favoreciendo su efectividad, se recomienda su uso para todos los casos en donde las características de la solución permitan su aplicación.

- Debido a que el uso de cajas para la protección de la conexión principal del sistema de puesta a tierra es un requerimiento fundamental para garantizar la protección de los elementos del sistema frente a cualquier manipulación por parte de personas no autorizadas, se recomienda utilizar un conjunto de señales visuales que permitan informar sobre los riesgos latentes asociados a un manejo inadecuado.
- Para el proceso de aplicación de la soldadura exotérmica se recomienda calentar el molde de grafito hasta que alcance el rango de los 120°C con la finalidad de eliminar la humedad del molde y garantizar que la soldadura obtenida cuente con las características técnicas aceptables.
- Se recomienda utilizar cajas de revisión para permitir la revisión y el mantenimiento pertinente de los componentes del sistema de puesta a tierra por parte de profesionales debidamente capacitados en el área.
- Se recomienda a los directivos del Mini Centro Comercial “Mi Balcón” realizar un mantenimiento anual del sistema de puesta a tierra con el objetivo de garantizar que la solución implementada cumpla con sus funciones durante el tiempo de vida dispuesto para este tipo de sistemas.



## BIBLIOGRAFÍA

### Enlaces Web

- <http://es.scribd.com/doc/115561329/Capitulo-II>
- <http://portalelectricos.com/retie/cap2art15.php>
- [http://plussuministros.com.mx/gem\\_cadweld.php](http://plussuministros.com.mx/gem_cadweld.php)
- <http://dc184.4shared.com/doc/SoDP54Vc/preview.html>
- [http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public\\_www/capitulo5/](http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public_www/capitulo5/)
- <http://www.ec.all.biz/gabinetes-y-armarios-metalicos-g1938>
- [http://www.grupocobos.com.mx/ferrogalv\\_archivos/varilla.jpg](http://www.grupocobos.com.mx/ferrogalv_archivos/varilla.jpg)
- [http://www.garciacomputers.com/wiki/index.php?title=NEC\\_Tables](http://www.garciacomputers.com/wiki/index.php?title=NEC_Tables)
- [http://ponchadorasyterminales.com/product\\_info.php?products\\_id=309](http://ponchadorasyterminales.com/product_info.php?products_id=309)
- [http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Electricidad\\_resistencia\\_calcular.html](http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Electricidad_resistencia_calcular.html)
- <http://mapasamerica.dices.net/ecuador/mapa.php?nombre=Cerro-llalo&id=2139>
- [http://atcom.com.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8:soldadura-cadweld-r-](http://atcom.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=8:soldadura-cadweld-r-)

### Documentos Electrónicos

- <http://www.para-rayos.com/datos/gel20061.pdf>
- [http://www.potenciaes.com/index\\_archivos/rehiletos.pdf](http://www.potenciaes.com/index_archivos/rehiletos.pdf)
- <http://www.analfatecnicos.net/archivos/08.PuestaATierra.pdf>
- [http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico\[1\].pdf](http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Manualbasico[1].pdf)
- <http://www.camaraconstruccionquito.ec/index.php?option=com>
- <http://empresas.micodensa.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/ET-121.pdf>

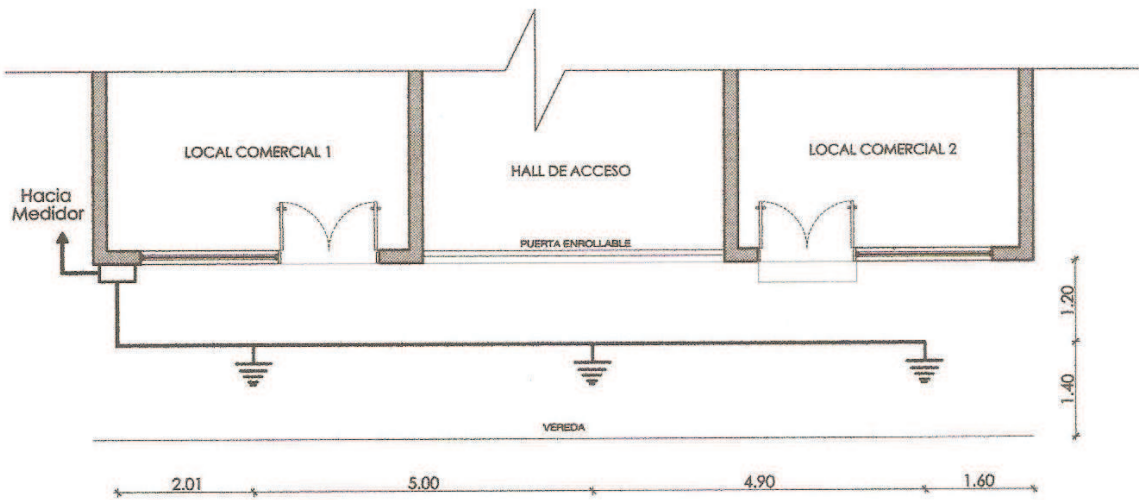
### Documentos

- IEEE Std 80-2000
- Manual del Código Eléctrico Colombiano NTC
- CASAS Favio, Curso de Seguridad Eléctrica Integral

- GEDISA, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra
- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RITIE
- Reglamento de seguridad NEC (ecuatoriano), revisado por el INEN
- ESTANISLAO R. Luis, Sistemas de Puesta Tierra Para Edificios Inteligentes
- VILLARRUBIA M. Seguridad Eléctrica, Facultad de Física Universidad de Barcelona
- QUESHUAYLLO Cancha, Wilbert Rene, Diseño y Ejecución de Puesta a Tierra de Baja Resistencia
- CHIRIBOGA G. Raúl Alejandro, Proyecto (Tesis), Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformación en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito Parroquia de Tababela.

## **ANEXOS.**

## ANEXO 1



## CALLE

E J E D E V I A

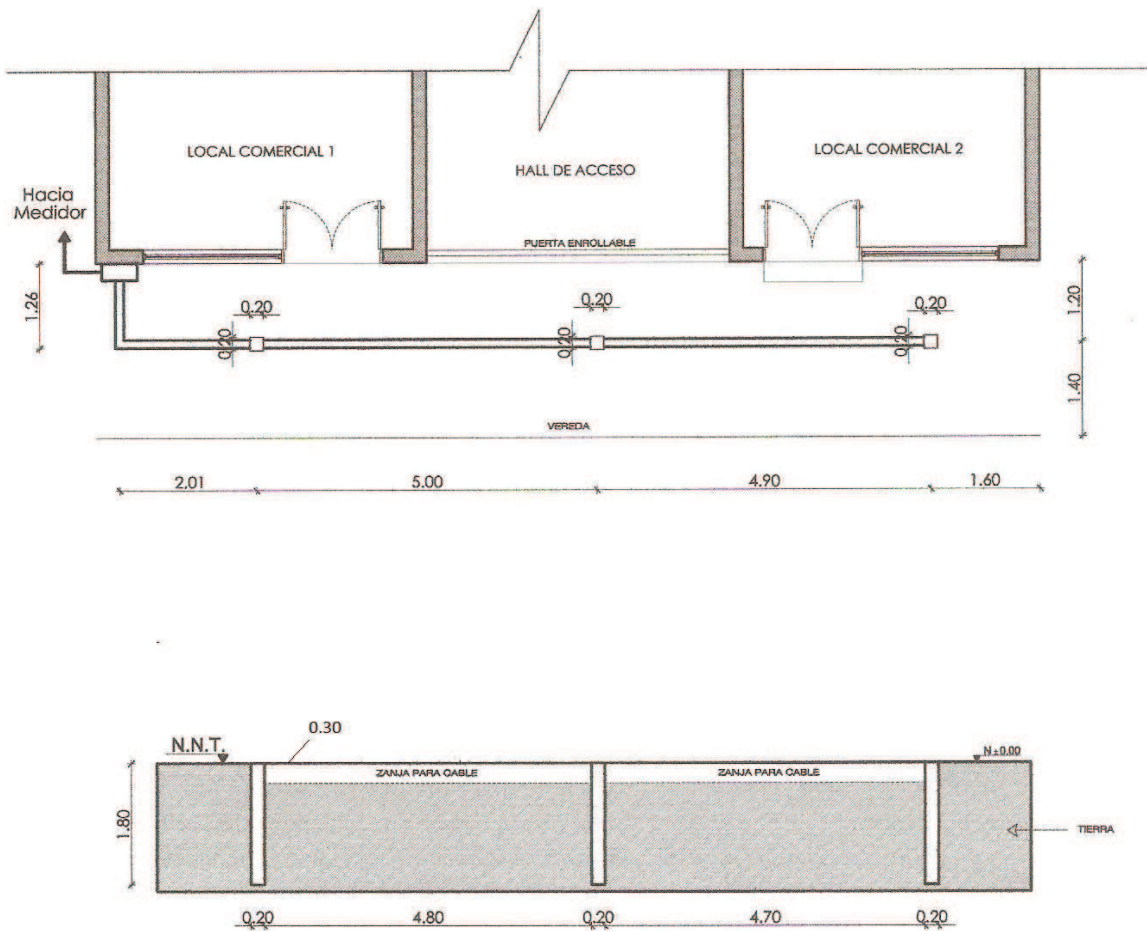
## IMPLANTACION

escala: ————— 1:100

## SIMBOLOGIA

	CIRCUITO DE PUESTA A TIERRA
	PUESTA A TIERRA CON VARILLA COPPERWELD 6" DE LONGITUD
	TABLERO DE DISTRIBUCION
	MEDIDOR

ANEXO 2



VISTA DE CORTE  
 escala: ————— 1:100

SIMBOLOGIA

	CIRCUITO DE PUESTA A TIERRA
	PUESTA A TIERRA CON VARILLA COPPERWELD 6" DE LONGITUD
	TABLERO DE DISTRIBUCION
	MEDIDOR