



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

**RECOMENDACIONES PARA SISTEMAS DE PUESTA A
TIERRA EN HOSPITALES**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Ingeniero Electrónico

Autor:

Diego Ismael López AVECILLAS

Director:

Santiago Vicente Mora Espinoza

Cuenca, Ecuador

2013

DEDICATORIA

La presente monografía está dedicada a toda mi familia, en especial a mis padres por ser un ejemplo de lucha y esfuerzo constante, por aportar siempre con su granito de arena que fue de ayuda inmensa para la motivación del día a día, por darme el apoyo incondicional en momentos difíciles de la vida y sobretodo en el ámbito académico, pues juntos caminamos durante algunos años para culminar ansiosos esta carrera universitaria, es por esto y muchos más aspectos que sólo tengo dos palabras para ustedes:

GRACIAS TOTALES.

AGRADECIMIENTO

Esta monografía va con un tinte de agradecimiento al dueño del Cielo, por darme las fuerzas necesarias en ciertos momentos difíciles y no flaquear con el transcurso de las adversidades. Además agradezco a mi familia por ser el timón de mi vida, desde los primeros pasos en la niñez, hasta pasos gigantescos que he podido dar en la juventud al término de mi carrera universitaria, y sobretodo por estar ahí, a diario, muy cerquita dándome una mano amiga incondicional.

También no me quiero olvidar del agradecimiento a la Universidad del Azuay por cobijarme cálidamente y abrirme las puertas de sus aulas durante algunos años como estudiante; a los profesores y maestros de esta universidad que brindan la ayuda a jóvenes para la superación como profesionales; a mis amigos y compañeros que de una y otra forma formaron parte del convivir diario, pues a todas aquellas personas sólo tengo palabras de gratitud.

ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS

SPT:	Sistemas de Puesta a Tierra
IEC:	Comisión Electrotécnica Internacional
V:	Voltios
ISO:	Organización Internacional de Normalización
ITU:	Unión Internacional de Telecomunicaciones
AC:	Corriente Alterna
Ω :	Ohms
$^{\circ}$:	Grados
$^{\circ}\text{C}$:	Grados Centígrados
$^{\circ}\text{F}$:	Grados Fahrenheit
m:	Metros
cm:	Centímetros
mm:	Milímetros
m²:	Metros Cuadrados
cm²:	Centímetros Cuadrados
mm²:	Milímetros Cuadrados
PLCs:	Controlador lógico programable
PCs:	Computadora personal
R:	Resistencia
S:	Sección de los conductores
ρ:	Resistividad del terreno
L:	Longitud

Log:	Logaritmo
H:	Profundidad
P:	Perímetro
D:	Diámetro del conductor
AWG:	<i>American Wire Gauge</i> o Calibre de Alambre Estadounidense
Hz:	Hertz
Ee:	Electrodo de tierra
I:	Corriente
Ec:	Electrodo auxiliar de corriente
Ep:	Electrodo auxiliar de potencia
DC:	Corriente Directa
π :	Pi
ΔV:	Diferencia de potencial
Kg:	Kilogramos
pH:	Potencial de hidrógeno
t:	Tiempo
iR:	Umbral básico o reobase
FN:	Funcionamiento Normal
AENOR:	Asociación Española de Normalización y Certificación.
IEEE:	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
MBTSM:	Muy Baja Tensión de Seguridad para aplicaciones Médicas
MEEB:	Metodología para la Evaluación de Equipo Biomédico
mA:	Miliamperios
μA:	Microamperios

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS.....	iv
INDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	
1.1. Generalidades.....	3
1.1.1. Introducción	3
1.2. Elementos del Sistema de Puesta a Tierra	4
1.2.1. El Electrodo de Puesta a Tierra	4
1.2.2. Conductor de Puesta a Tierra de los Equipos	5
1.3. Requisitos generales de las Puestas a Tierra.....	5
1.4. Puesta a Tierra en Equipos Electrónicos.....	7
1.4.1. Diseño Convencional	8
1.4.2. Diseño de Tierra Aislada.....	8
1.4.3. Diseño de Tierra Aislada Total.....	9
1.4.4. Diseño de Malla de Referencia.....	10
1.5. Materiales de Puesta a Tierra	11
1.5.1. El Terreno	12
1.5.2. Tomas de Tierra	12
1.5.3. Conductores de Tierra	13
1.5.4. Bornes de Puesta a Tierra	13
1.6. Electroodos de Puesta a Tierra	15
1.6.1. Tipos y Configuraciones.....	16
1.6.2. Naturaleza de los Electroodos	18
1.7. Métodos para calcular Electroodos.....	19
1.7.1. Picas	19
1.7.2. Anillo	21

1.7.3. Malla	21
1.8. Conductor del Electrodo de Puesta a Tierra	23
1.8.1. Determinación del calibre de los Conductores del Sistema de Puesta a Tierra	23
1.8.2. Tamaño nominal del Conductor del electrodo de Puesta a Tierra en instalaciones de Corriente Alterna (AC).....	25

CAPÍTULO II: RESISTIVIDAD DEL SUELO

2.1. Medición de la Resistividad del Terreno	28
2.1.1. Tipo de prueba.....	28
2.1.2. Tipo de Aparato.....	28
2.1.3. Lugar Físico	29
2.2. Método de Caída de Potencial	29
2.2.1. Método de Wenner	31
2.2.2. Método de Schlumberger	33
2.2.3. Método con Dipolos	35
2.3. Efectos del tipo de Suelo sobre la Resistividad del Terreno	37
2.3.1. Variaciones Estacionales	38
2.3.2. Humedad y Temperatura	38
2.3.3. Humedad y Sales Disueltas	39
2.3.4. Temperatura	40
2.4. Métodos para reducir la Resistencia de Tierra.....	41
2.4.1. Tratamiento con Sales	42
2.4.2. Tratamiento por abonado Electrolítico del Terreno	42
2.4.3. Tratamiento Químico del Suelo.....	43

CAPÍTULO III: REQUISITOS DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS MÉDICOS Y NORMA IEC

3.1. Introducción	45
3.2. Corriente Eléctrica en Medicina	45
3.2.1. Reseña histórica del uso Médico de la Electricidad	45
3.2.2. Corrientes de estimulación en el Diagnóstico	46
3.2.3. Efectos de la estimulación Eléctrica Artificial.....	46
3.2.4. Terapia con estimulación de Corriente	48
3.3. Clasificación de los Equipos orientado a Riesgos	48
3.3.1. Riesgo Alto	49
3.3.2. Riesgo Medio	49

3.3.3 Riesgo Bajo	49
3.4. Seguridad Eléctrica en Equipos Médicos	50
3.4.1. Shock Eléctrico	50
3.4.2. Corrientes de Fuga	52
3.5. Clasificación de los Equipos Médicos	56
3.5.1. Según la Protección Utilizada.....	57
3.5.2. Según el Nivel de Protección.....	59
3.6. Tipos de precauciones en Equipos.....	60
3.6.1. Cubiertas y Protecciones	60
3.6.2. Aislamiento e impedancias de protección.....	61
3.6.3. Puesta a Tierra y Equipotencialidad	62
3.7. Requisitos generales para Puesta a Tierra de Equipos Médicos en nuestro País.....	62
3.7.1. Condiciones de Primer Defecto o Falla	63

CAPÍTULO IV: VERIFICACIÓN DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS MÉDICOS EN EL HOSPITAL DE GUALACEO

4.1. Pruebas a Equipos Médicos.....	64
4.1.1. Resistencia entre Chasis y Terminal de Tierra.....	65
4.1.2. Corrientes de Fuga del Chasis	66
4.1.3. Corriente de Fuga a través de Terminales de Paciente.....	66
4.1.4. Corriente de Fuga a través del Conductor de Tierra	68
4.2. Medición de la Resistividad del Terreno	69
4.2.1. Medición de la Resistividad del Terreno en el Hospital de Gualaceo.....	69
4.3. Medición de la Resistencia de Puesta A Tierra	71
4.3.1. En el Transformador de Distribución	72
4.3.2. En el departamento de Imágenes y de Diagnóstico	72
4.3.3. En el Hospital en General y Generador Eléctrico (auxiliar).....	73
4.4. Comparación de valores medidos según Normas de Seguridad.....	74
4.4.1. Resistividad del Terreno.....	74
4.4.2. Resistencia de Puesta a Tierra	74
4.5. Recomendaciones para un adecuado funcionamiento de Equipos	75
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Sección mínima de los conductores de tierra.....	13
Tabla 1.2. Relación entre las secciones de los conductores de protección y fase.....	14
Tabla 1.3. Especificaciones nominales de los conductores de puesta a tierra en instalaciones de CA.....	25
Tabla 2.1. Resistividad de algunos tipos de materiales a las instalaciones eléctricas.....	27
Tabla 2.2. a. b. Resistividad del terreno de los diferentes tipos de suelo.....	38
Tabla 2.3. Efecto de la humedad en la resistividad del Terreno.....	39
Tabla 2.4. Efecto del la sal en la resistividad del terreno.....	40
Tabla 2.5. Efecto de la Temperatura en la Resistividad del terreno.....	41
Tabla 3.1. Corrientes de fuga de primer fallo para diferentes equipos, en mA.....	55
Tabla 3.2. Valores admisible de corriente de fuga y auxiliar de paciente, en mA.....	61
Tabla 4.1. Valores medidos del Hospital de Gualaceo.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Montaje puesta a tierra con electrodo de cobre.	5
Figura 1.2. Sistemas con puestas a tierra dedicadas e interconectadas.	7
Figura 1.3. a. Una sola puesta a tierra para todas las necesidades.	
b. Puestas a tierra Separadas o Independientes	7
Figura 1.4. Diseño convencional de puesta a tierra.	8
Figura 1.5. Diseño de tierra aislada para puesta a tierra.	9
Figura 1.6. Diseño de tierra aislada total para puesta a tierra.	10
Figura 1.7. Esquema de malla de referencia para puesta a tierra.	11
Figura 1.8. Estándares de longitud y ubicación de los electrodos en el SPT.	15
Figura 1.9. Tipos y configuraciones de puesta a tierra.	16
Figura 1.10. Valores de K1 y K2 respectivamente.	22
Figura 2.1 Método de la caída de potencial.	30
Figura 2.2. Curva característica de la toma de datos.	31
Figura 2.3 Medición por el método de Wenner o de los cuatro electrodos.	32
Figura 2.4. Medición por el método de Schlumberger.	34
Figura 2.5 Disposición de electrodos para la configuración Dipolo-Dipolo.	36
Figura 2.6. Electrodos de corriente y Potencial a 90°.	37
Figura 2.7. Tratamiento del terreno con sales.	42
Figura 3.1. Curva de excitabilidad de las fibras nerviosas.	47
Figura 3.2. a. b. Riesgos de Macro Shock.	51
Figura 3.3. Riesgo de Micro Shock, debido a corriente de fuga de equipo médico.	52
Figura 3.4. Corriente de fuga del chasis.	53
Figura 3.5. Corriente de fugas a tierra.	54
Figura 3.6. Corrientes de fuga del paciente.	54
Figura 3.7. Corriente auxiliar del paciente.	55
Figura 3.8. a. b. Equipo de Clase I.	57
Figura 3.9. a. b. Equipo de Clase II.	58
Figura 3.10. a. b. Equipo de clase III.	58
Figura 4.1. Hospital Moreno Vázquez del Cantón Gualaceo.	64
Figura 4.2. Esquema de medición de resistencia entre terminal de tierra y chasis.	65
Figura 4.3. Circuito para medir las corrientes de fugas del chasis.	66

Figura 4.4. Circuito para medir las corrientes de fuga a través de paciente.	67
Figura 4.5. Circuito de medida para la corriente de fuga entre terminales de paciente.	67
Figura 4.6. Circuito para medir la corriente de fuga que circularía si apareciera el voltaje de línea sobre el paciente.	68
Figura 4.7. Circuito para medir la corriente de fuga a través del tercer conductor.	68
Figura 4.8. Medidor Digital de Resistencia a Tierra ETCR3000.	70
Figura 4.9. Medición de la Resistividad del terreno.	70
Figura 4.10. Medición de Resistencia de Puesta a Tierra.	72
Figura 4.11. Medición de Resistencia de Puesta a Tierra en el Transformador de Distribución.	72
Figura 4.12. Medición de Resistencia de Puesta a Tierra en el Departamento de Imágenes y Diagnóstico.	73
Figura 4.13. Medición de Resistencia de Puesta a Tierra en el Hospital en General y Generador Eléctrico.	73
Figura 4.14. Medición de Resistencia de Puesta a Tierra en un tomacorriente polarizado. ...	75

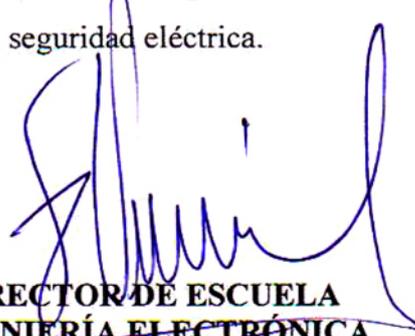
Handwritten signature and date:
23/09/13

RESUMEN

RECOMENDACIONES PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN HOSPITALES.

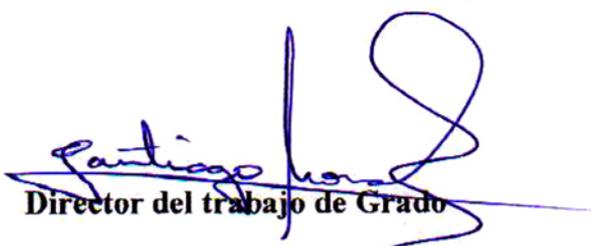
Los Sistemas de Puesta a Tierra (SPT) son importantes en la conducción hacia el suelo de cargas eléctricas originadas por rayos o fallas del sistema. Para realizar mediciones de la puesta a tierra de equipos médicos en el hospital de Gualaceo, verificando si cumple con las normas establecidas y recomendar sobre reglamentos, características y parámetros de estos sistemas, resguardando la seguridad del personal médico y de pacientes, se estudió temas relacionados a la seguridad eléctrica recopilado de libros, revistas y/o personas capacitadas al tema, evitando problemas de discontinuidad de servicios prestados e incremento económico en hospitales. Se realizó y verificó adecuadamente los valores en el hospital con un Medidor Digital de Resistencia a Tierra. La implementación a futuro del SPT, se deberá realizar adecuadamente en las instituciones de salud que tengan como prioridad el resguardo de la vida del personal.

Palabras claves: Equipos Médicos, Medidor Digital de Resistencia a Tierra, resistividad, norma IEC, hospitales, electrodo, seguridad eléctrica.



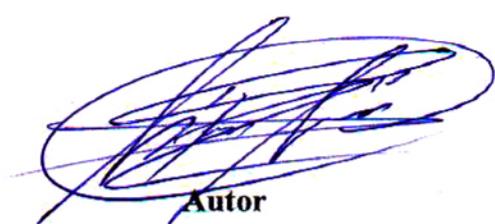
**DIRECTOR DE ESCUELA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Ing. Francisco Vásquez C.



Director del trabajo de Grado

Ing. Santiago Mora E.



Autor

Diego Ismael López AVECILLAS

14/10/13

ABSTRACT

RECOMMENDATIONS FOR GROUNDING SYSTEMS IN HOSPITALS

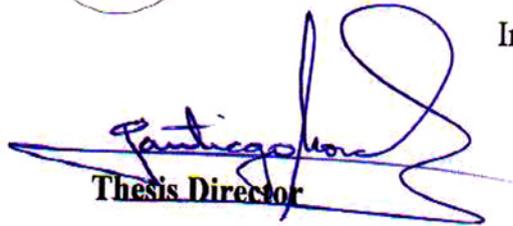
Grounding Systems (CGS) are important in conducting electric charges originated by rays or system failures towards the ground. To measure the grounding systems of the medical equipment in the Hospital of *Gualaceo*, we studied the themes related to electrical safety from books, magazines and/or from people trained in the subject, with the objective of avoiding problems of service discontinuity and economic increase in hospitals. We verified if they complied with established standards and made recommendations on regulations, features and parameters for these systems, assuring they protect the safety of the medical staff and patients.

The values were properly done and verified at the hospital by using a Digital Earth Resistance Meter. The future implementation of Grounding Systems (CGS) in health institutions that prioritize the life protection of the staff should be done adequately.

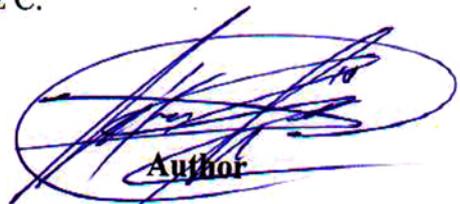
Key words: Medical Equipment, Digital Earth Resistance Meter, Resistivity, IEC norm, hospitals, electrode, electrical safety.

SCHOOL DIRECTOR
ELECTRONIC ENGINEERING

Ing. Francisco Vázquez C.

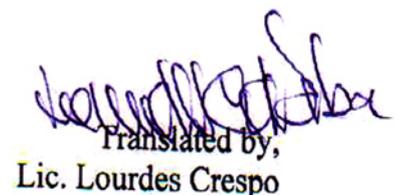

Thesis Director

Ing. Santiago Mora E.


Author

Diego Ismael López AVECILLAS




Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

López Avecillas Diego Ismael
Trabajo de Grado
Ing. Mora Espinoza Santiago Vicente
Octubre, 2013

RECOMENDACIONES PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN HOSPITALES

INTRODUCCIÓN

En los hospitales y en centros de salud, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de equipos médicos cada vez más sofisticados y sensibles; lo que implica mejoras en la seguridad de los pacientes y de equipos mediante la instalación de un eficiente Sistema de Puesta a Tierra (SPT); caso contrario, pueden causar accidentes a pacientes y/o personal médico. La implementación de este sistema, se debería realizar en todas las instituciones de salud en el Ecuador y de todo el mundo que tengan como prioridad resguardar la vida de las personas, ya sea en hospitales, clínicas, centros de salud, sub centros de salud y dispensarios médicos que constituyen en el verdadero y más tangible seguro de vida de los pacientes. En la actualidad, en el cantón de Gualaceo no hay una adecuada implementación de un SPT en el hospital Moreno Vázquez según normas de seguridad a las que se deben acoger, existiendo gastos exagerados en la compra de equipos nuevos y en la reparación de otros anteriores; y con el paso del tiempo, afectarían de alguna forma a los servicios que brinda esta institución pública.

El tema de esta monografía es importante, ya que los SPT deben ser considerados antes de todas las instalaciones eléctricas en general, y no sólo cuando llegaran a ocasionar fallas en el funcionamiento de los mismos. Este proyecto, mediante la investigación y el estudio, se encamina a realizar un adecuado SPT, garantizando la operación de las instalaciones eléctricas dentro de los parámetros estándares avalados por instituciones como la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) que regulan normas de seguridad

a nivel mundial que se tienen que seguir para el control de equipos médicos y cuidado del personal. Al efectuar este proyecto en la actualidad o en un futuro no muy lejano, tendría un impacto favorable para ciertos grupos sociales, en cuanto a tener nuevas fuentes de trabajo, por lo que se necesitaría personal para la investigación, estudio, construcción, fabricación, mantenimiento y reparación de este sistema de puesta a tierra, que cumple un papel fundamental con el desarrollo de la tecnología de hoy en día.

Por las explicaciones antes mencionadas, esta monografía va a contemplar un estudio e investigación de recomendaciones para un adecuado Sistema de Puesta a Tierra en hospitales, basándome en la recopilación y agrupación de información de libros, web, revistas y/o de personas especializadas en el campo. A más se hablará sobre la resistividad del suelo, del instrumento de medición que se utilizará y con estos valores obtenidos realizar cálculos relacionados con este punto, para un diseño a corto o largo plazo. Asimismo se puede decir que existen normas y reglamentos de seguridad para la instalación de los SPT y para la seguridad eléctrica de los equipos médicos. El Ecuador y la mayoría de países de Latinoamérica se rigen a los reglamentos de la norma IEC; esta información será recopilada de una forma favorable y entendible, con el objetivo de plantear técnicas factibles para estos sistemas y de esta manera, saber si el hospital al que se le está haciendo este estudio, cumple o no con los requisitos de seguridad. Además, se enfocarán temas relacionados a equipos médicos, en cuanto a: características, introducción, clasificación, parámetros y funcionamiento; estos argumentos servirán para fortalecer la información recopilada y complementar el tema planteado.

Finalmente, se realizarán mediciones de la resistividad del terreno y de la protección de puestas a tierra mediante el empleo de un Medidor Digital de Resistencia a Tierra en diferentes áreas del hospital de Gualaceo, con la finalidad de comparar los resultados con valores de normas de seguridad y proporcionar recomendaciones para mejorar el SPT.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

1.1. Generalidades

1.1.1. Introducción

Los Sistemas de Puesta a Tierra (SPT), contribuyen de forma importante a la protección y al buen funcionamiento de los sistemas de energía eléctrica; teniendo como propósito principal la seguridad del personal y de equipos tanto eléctricos como electrónicos, por lo que es necesario estar conectados a una red de tierra que cumpla con parámetros estándares de validación. Es por eso, que los SPT se deben considerar antes de la implementación de sistemas eléctricos en general, y no solo cuando llegaran a ocasionar fallas.

No obstante, el objetivo de la implementación de un buen sistema de puesta a tierra no es solo la seguridad, sino también sirve para impedir daños en equipos y plantas industriales, con lo que mejorará la confiabilidad de los equipos y reducirá la posibilidad de daños debidos a rayos o corrientes de fallo.

Otro propósito de aterrizar el sistema de potencia AC para equipos electrónicos es el propio desempeño del equipo, en especial la disminución de perturbaciones de modo común. Sin embargo, ¿qué tan ventajoso puede ser un sistema que funcione correctamente pero que sea inseguro o viceversa? El objetivo del aterramiento en sistemas electrónicos debe ser proporcionar sistemas seguros y que funcionen correctamente. Por lo que el propósito del aterramiento siempre debe ser el de la seguridad y jamás deberá ser antecedido por el de funcionamiento.

Todos los equipos se deben conectar a tierra para tener un punto con potencial cero y evitar peligros a las personas. Cuando un equipo no se conecta a tierra y alguna línea viva, por alguna falla, se conecta a la carcasa o armazón del equipo, existe la posibilidad de un daño severo o muerte a las personas, pero si el equipo está conectado a tierra, la falla circulara por el cable y descargará hacia tierra.

Los SPT son mecanismos cada vez más importantes en los sistemas eléctricos y electrónicos, puesto que permiten la conducción de cargas eléctricas hacia el suelo originados por electricidad estática, rayos o fallas del sistema. Cuando no existen sistemas de puesta a tierra, algunas tensiones pueden ocasionar fallas en el aislamiento de los equipos y sistemas. Por consiguiente, la puesta a tierra del neutro del sistema hace posible la operación de sistemas de protección, basados en la detección de corrientes que circulan por la misma. En los hospitales o centros de salud, las puestas a tierra se constituyen en el seguro de vida de los pacientes que hacen uso de esas instalaciones.

Más adelante veremos que existen normas que regulan la importancia de los Sistemas de Puesta a Tierra y tienen por misión, entregar parámetros a los usuarios para asegurar y certificar una buena puesta a tierra, lo que es el objetivo principal de esta monografía.

1.2. Elementos del Sistema de Puesta a Tierra

Los elementos de un Sistema de Puesta a Tierra son: electrodo de puesta a tierra y conductor de puesta a tierra de los equipos.

1.2.1. El Electrodo de Puesta a Tierra

Es el que lleva la corriente eléctrica a tierra, puede ser una varilla, tubo, cable o placa y debe ser de cobre o acero en sus presentaciones. El electrodo debe funcionar correctamente por lo menos 15 años. Cuando va a ser instalado, se deben tomar en cuenta las recomendaciones de fabricación y estar completamente enterrado. Posteriormente, se hablará sobre este punto con más detalle. La figura 1.1 ilustra lo mencionado.

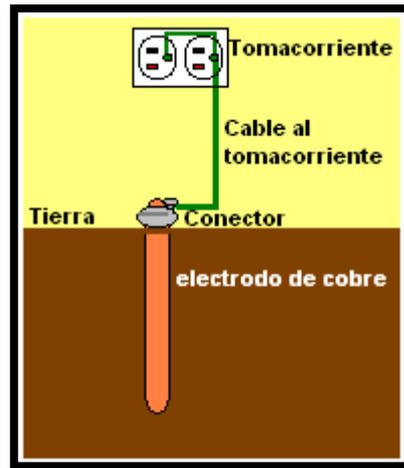


Figura 1.1. Montaje puesta a tierra con electrodo de cobre.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 76) [ref. 27 de marzo de 2013]

Fuente: http://www.electricidadbasica.net/imageneselec/tierra_fisica.gif

1.2.2. Conductor de Puesta a Tierra de los Equipos

Este debe ser continuo, sin medios de desconexión, si existen empalmes o derivaciones se deben utilizar técnicas propiamente para esto. No debe ser de aluminio (porque este material se corroe rápidamente al estar en contacto con la tierra), además es conveniente ser calculado para soportar la corriente de falla a tierra. También, el conductor de tierra de los equipos debe acompañar a los conductores activos en el momento del recorrido, si es aislado debe ser de color verde con rayas amarillas. Los conectores en el que termina el conductor de puesta a tierra deben ser también certificados.

La razón fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos, es la máxima energía eléctrica que logran soportar, debida a las tensiones de paso. La máxima tensión de contacto aplicada al ser humano, está expresada en función del tiempo de despeje de la falla a tierra, de la resistividad del suelo y de la corriente de falla.

1.3. Requisitos generales de las Puestas a Tierra

Los sistemas de puestas a tierra deben cumplir:

- Las conexiones que van bajo el suelo, deben realizarse mediante soldadura exotérmica o conector certificado.
- Los componentes metálicos que no forman parte de las instalaciones eléctricas, no podrán ser incluidos como parte de los conductores de puesta a tierra.
- No se admite el uso de aluminio en los electrodos de las puestas a tierra.
- Se deben fabricar puntos de conexión y medición accesibles e inspeccionables. Para esto se construyen cajas de inspección, con dimensiones estándares (30cm x 30cm mínimo con tapa removible y 30cm de diámetro si son circulares).
- En sistemas trifásicos de instalaciones de uso final, el neutro debe ser dimensionado para evitar sobrecargarlo con por lo menos el 173% de corriente de la carga.
- Queda prohibido según reglamentos, utilizar en las instalaciones eléctricas, el suelo como vía de retorno de la corriente en condiciones normales de funcionamiento.
- Cuando existan varias puestas a tierra en un edificio, todas ellas deben estar interconectadas eléctricamente, según la norma IEC-61000-5-2. La figura 1.2 ilustra lo mencionado.
- Igualmente, quedan prohibidos para un mismo edificio los sistemas de puesta a tierra que se muestran en las figura 1.3 (a y b), según la norma IEC 61000-5-2.

Las figuras mencionadas anteriormente (1.2 y 1.3), determinan que se deben interconectar todas las puestas a tierra de un edificio.

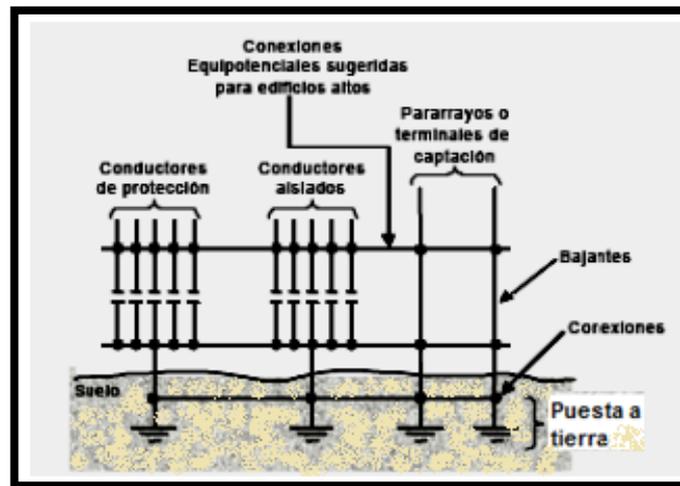


Figura 1.2. Sistemas con puestas a tierra dedicadas e interconectadas.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 79) [ref. 27 de marzo de 2013]

Fuente: <http://interactiva.eafit.edu.co/ei//contenido/micrositios/2735091/archivos/AnexoGeneralRETIE.pdf>

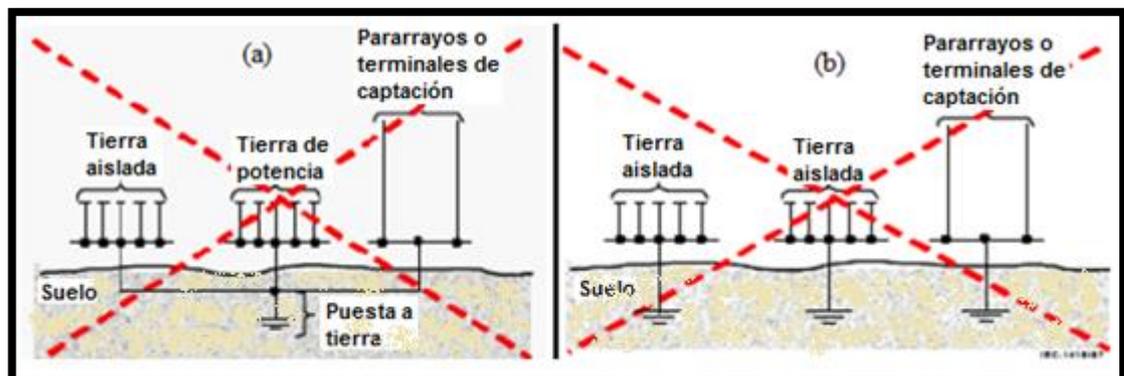


Figura 1.3. a. Una sola puesta a tierra para todas las necesidades
b. Puestas a tierra Separadas o Independientes.

a. b. (VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 80) [ref. 27 de marzo de 2013]

Fuente: <http://interactiva.eafit.edu.co/ei//contenido/micrositios/2735091/archivos/AnexoGeneralRETIE.pdf>

1.4. Puesta a Tierra en Equipos Electrónicos

Los equipos electrónicos requieren para su óptimo funcionamiento un sistema de puesta a tierra integral que englobe la protección de: equipos, instalaciones y usuarios. Existen cuatro diseños de aterrizado de equipos electrónicos. Estos son:

- Diseño convencional.

- Diseño de tierra aislada.
- Diseño de tierra aislada total.
- Diseño de malla de referencia.

1.4.1. Diseño Convencional

Este diseño encuentra su aplicación en las instalaciones de PLCs y PCs, donde sus alambrados están repartidos en áreas muy pequeñas. La figura 1.4 ilustra lo mencionado. Este diseño no es recomendado para numerosas instalaciones de sistemas electrónicos distribuidos, por los siguientes problemas:

- Los transitorios pueden exceder el nivel de aislamiento.
- El sistema de puesta a tierra puede ser enormemente ruidoso.
- Cuando se cambian las tarjetas y equipos por otros de una tecnología de mayor velocidad, el alambrado puede considerarse obsoleto.

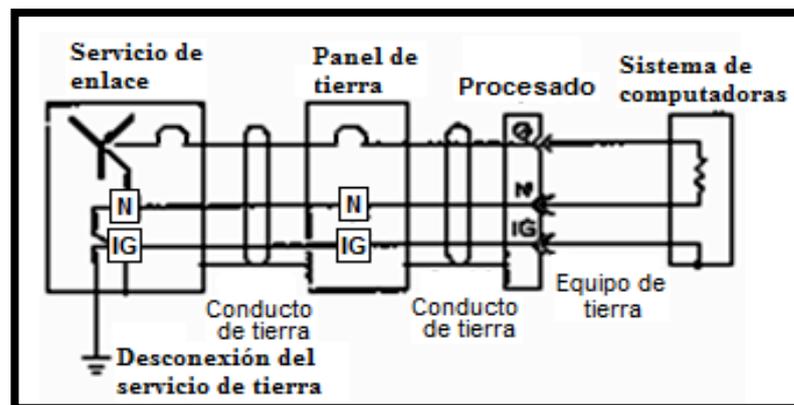


Figura 1.4. Diseño convencional de puesta a tierra.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 98) [ref. 27 de marzo de 2013]

Fuente <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe30.html>

1.4.2. Diseño de Tierra Aislada

Este esquema es el más empleado en la industria y por la mayoría de los proveedores de equipos electrónicos porque minimiza el ruido de modo común. Además, se tiene una tierra relativamente libre de ruido e interferencia, por lo que cualquier corriente

ilegítima no afecta a los equipos conectados, y, es complementada con la tierra de seguridad convencional del sistema de tierras de potencia. Un arreglo de este diseño es formar un anillo de tierras alrededor de los pisos de un edificio. La figura 1.5 ilustra lo mencionado. Pero, tienen los siguientes problemas:

- El acoplamiento no intencional de las tierras dentro de los aparatos o en sus conexiones, puede causar lazos de corriente, resultando en ruidos electrónicos.
- En altas frecuencias, la impedancia del conductor de tierra es excesivamente alta para servir de buena conexión.

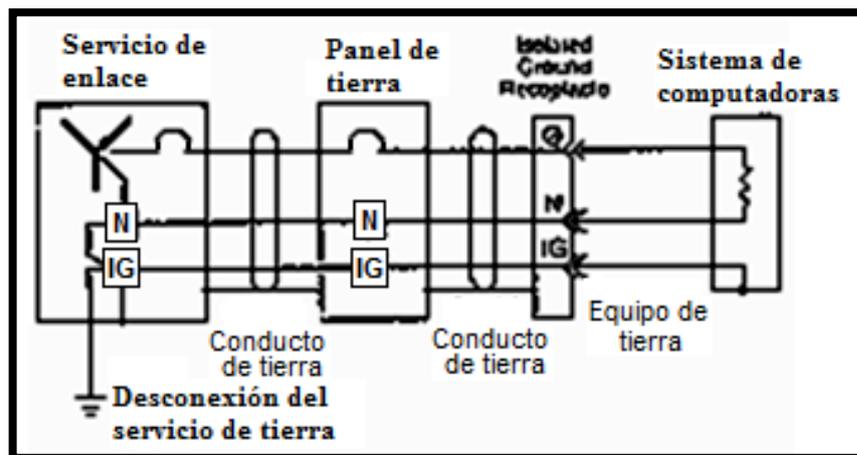


Figura 1.5. Diseño de tierra aislada para puesta a tierra.

(SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. 2008. pág. 11) [ref. 27 de marzo de 2013]

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1515/1/CD-2697.pdf>

1.4.3. Diseño de Tierra Aislada Total

Este diseño radica en conectar todos los aparatos e instrumentos a tierra empleando una configuración de estrella a partir de un único punto físico, el cual es una placa de conexión. La figura 1.6 ilustra lo mencionado.

Sin embargo, también tiene los siguientes problemas:

- Puede ser defectuoso de crear en un ambiente industrial.

- Puede poseer una impedancia de frecuencia muy alta, ya que en términos prácticos, la puesta a tierra es inadecuada.

Este problema es posible que no se tenga en la mayoría de equipos industriales, porque no emplean muy altas frecuencias.

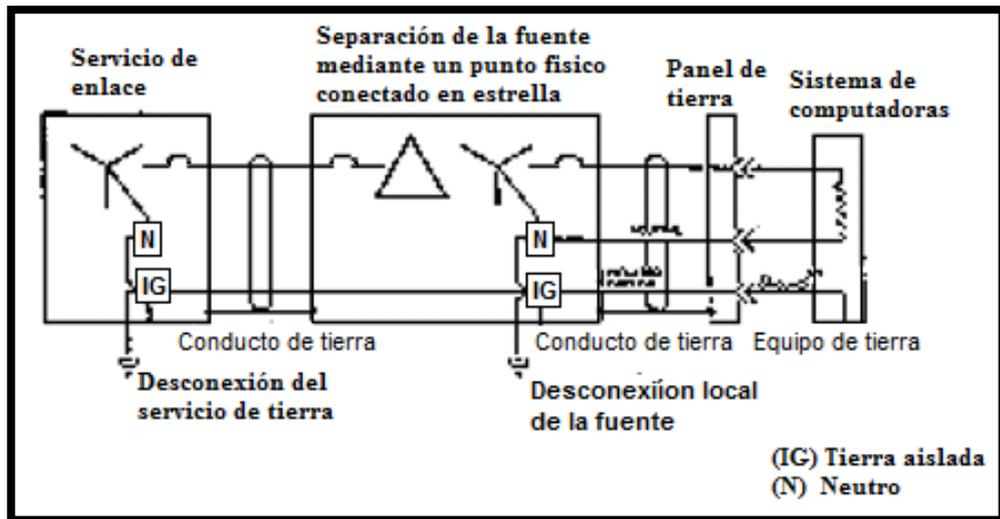


Figura 1.6. Diseño de tierra aislada total para puesta a tierra.

(SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. 2008. pág. 12) [ref. 27 de marzo de 2013]

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1515/1/CD-2697.pdf>

1.4.4. Diseño de Malla de Referencia

Los equipos y partes metálicas estructurales se conectan a este tipo de piso a través de trencillas, y que al brindar un plano de referencia de tierra, disminuye la impedancia a tierra en todas las frecuencias. La figura 1.7 ilustra lo mencionado.

Sin embargo, tiene los siguientes problemas:

- En ambientes industriales, es muy difícil su aplicación.
- Numerosos fabricantes de equipos electrónicos industriales no están de acuerdo con su ocupación por la dificultad del uso de trencillas.

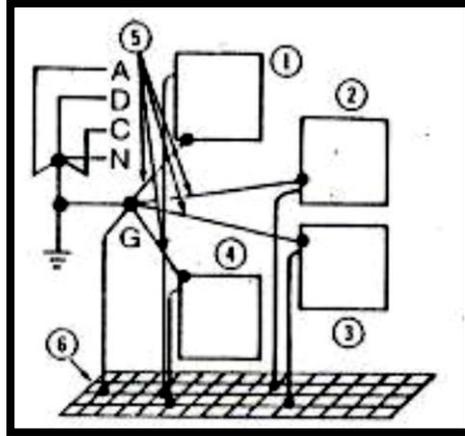


Figura 1.7. Esquema de malla de referencia para puesta a tierra.

(VILLAMIZAR PINZON, Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 101) [ref. 27 de marzo de 2013]

Fuente: <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe30.html>

1.5. Materiales de Puesta a Tierra

Las instalaciones de puesta a tierra constan de las siguientes partes y/o materiales:

- El terreno.
- Tomas de tierra.
- Conductor de tierra o línea de enlace con el electrodo de puesta a tierra.
- Borne principal de tierra.
- Conductor de protección.
- Conductor de unión equipotencial principal.
- Conductor de equipotencialidad suplementaria.
- Masa.
- Elemento conductor.
- Canalización metálica principal de agua.

La elección e instalación de los materiales que certifiquen la puesta a tierra deben ser tales que:

- El valor de la resistencia de puesta a tierra esté conforme con las normas de protección y de funcionamiento de la instalación y que garanticen con el paso del tiempo.
- La protección mecánica permanezca asegurada con independencia de las condiciones estimadas de influencias externas.
- Las corrientes de falla a tierra y las corrientes de fuga puedan transitar sin peligros desde el punto de vista de demandas térmicas, mecánicas y eléctricas.
- Contemplan los probables riesgos debidos a electrólisis que pudieran perturbar a otras partes metálicas.

1.5.1. El Terreno

El terreno es el delegado de disipar las corrientes de fuga y aquellas de origen atmosférico. La resistencia al paso de la corriente entre los electrodos y el terreno especifica la resistividad del mismo, este nos permite conocer su comportamiento eléctrico. De esta manera, un buen contacto entre ellos, proporciona el paso de la corriente eléctrica, mientras que un defectuoso contacto la dificulta. A este valor que define el contacto se lo llama resistencia de paso a tierra y se mide en Ohmios.

Por lo que a la hora de dimensionar los electrodos sobre un terreno dado, el valor de la resistencia de paso deberá ser el menor valor posible (aproximadamente, en buenas condiciones el valor es $1 \leq R \leq 5 \text{ Ohm}$).

1.5.2. Tomas de Tierra

A la toma de tierra se lo conoce como la parte de la instalación autorizada de absorber, canalizar y disipar las corrientes de defecto o de origen atmosférico que son conducidas por medio de las líneas principales de tierra.

Los materiales utilizados, el tipo, y la profundidad de enterramiento de las tomas de tierra, en lo posible, pueden hacer que la pérdida de humedad del suelo, la corrosión u otros factores climáticos, no aumenten su resistencia eléctrica por encima del valor

previsto. Las canalizaciones metálicas de otros servicios nunca deben usarse como tomas de tierra por normas de seguridad.

1.5.3. Conductores de Tierra

La línea de enlace o conductores de tierra son los que conectan al grupo de electrodos o anillos con el borne principal o punto de puesta a tierra. La sección de los conductores de tierra se los ilustra en la Tabla 1.1 y de características similares a los conductores de protección.

Las conexiones entre los componentes de las tierras deben hacerse con cautela para garantizar una buena conducción eléctrica e impedir daños en los conductores o electrodos.

Tabla 1.1. Sección mínima de los conductores de tierra.

TIPO	PROTEGIDO MECANICAMENTE	SIN PROTECCION
Protegido contra la corrosión*	Según la tabla 1.2	Cobre: 16mm ² Acero galvanizado: 16mm ²
No protegido contra la corrosión	Cobre: 25mm ² Hierro: 50mm ²	
*La protección contra la corrosión puede obtenerse mediante envoltente.		

(Unidad Didáctica 10. Puesta a tierra de las Instalaciones. Marcombo [s.a.] pág. 273) [ref. 29 de marzo de 2013]

Fuente: <http://www.marcombo.com/Descargas/8496334147->

INSTALACIONES%20EL%C3%89CTRICAS%20DE%20INTERIOR/UNIDAD%2010.pdf

1.5.4. Bornes de Puesta a Tierra

Estos bornes constituyen el punto de unión entre la toma de tierra y el circuito de puesta a tierra de un edificio o institución.

El punto de puesta a tierra está constituido por un sistema de placas y tornillos que admite la conexión y desconexión del edificio con la toma de tierra.

Al borne principal de tierra se conectan los siguientes conductores:

- Los de tierra.
- Los de protección.
- Los de unión equipotencial principal.
- Los de puesta a tierra funcional, si son necesarios.

En los conductores de tierra y en un sitio con acceso, debe preverse un instrumento que permita medir la resistencia de la toma de tierra.

1.5.4.1. Conductores de Protección

Los conductores de protección acoplan las masas de una instalación y los elementos metálicos que puedan existir y cualquier otra masa elemental del edificio, con las líneas de tierra. Además, deben estar adecuadamente protegidos contra daños mecánicos, químicos y electroquímicos.

Los conductores serán de cobre aislados, de color amarillo-verde a rayas y su sección debe dimensionarse en función de la mayor sección de los conductores de fase. Esto se ilustra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Relación entre las secciones de los conductores de protección y fase.

Sección de los conductores de fase de la instalación (S en mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección (Sp en mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

(Unidad Didáctica 10. Puesta a tierra de las Instalaciones. Marcombo [s.a.] pág. 274) [ref. 29 de marzo de 2013]

Fuente: <http://www.marcombo.com/Descargas/8496334147->

INSTALACIONES%20EL%C3%89CTRICAS%20DE%20INTERIOR/UNIDAD%2010.pdf

1.5.4.2. Conductores Equipotenciales

Se llaman conductores equipotenciales a aquellos que conectan eléctricamente todas las masas metálicas de la estructura de un edificio, con el objetivo de impedir diferencias de potencial entre ellas.

Existen dos clases de conductores equipotenciales: el principal y el suplementario.

- El conductor principal de equipotencialidad, debe poseer una sección no inferior a la mitad de la del conductor de protección de sección mayor de la instalación.
- El conductor suplementario de equipotencialidad, si acoplara una masa a un elemento conductor, su sección no deberá ser inferior a la mitad de la del conductor de protección unido a esta masa.

1.6. Electrodo de Puesta a Tierra

Cuando se realiza un sistema de puesta a tierra es necesario electrodos de tierra, los mismos que diversifican en cuanto a su tipo, unos mejores que otros en ciertas características como el costo, entre otras. Esto se ilustra en la figura 1.8.

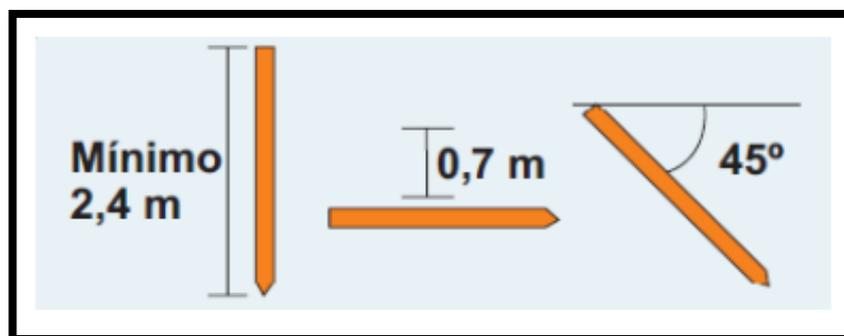


Figura 1.8. Estándares de longitud y ubicación de los electrodos en el SPT.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 87) [ref. 29 de marzo de 2013]

Fuente: <http://interactiva.eafit.edu.co/ei//contenido/micrositios/2735091/archivos/AnexoGeneralRETIE.pdf>

1.6.1. Tipos y Configuraciones

Cuando se instala un electrodo de tierra, es común tener un registro con el objetivo de poder ubicar el lugar donde se encuentre con facilidad y con el paso del tiempo se le pueda dar mantenimiento. Esto se ilustra en la figura 1.9.

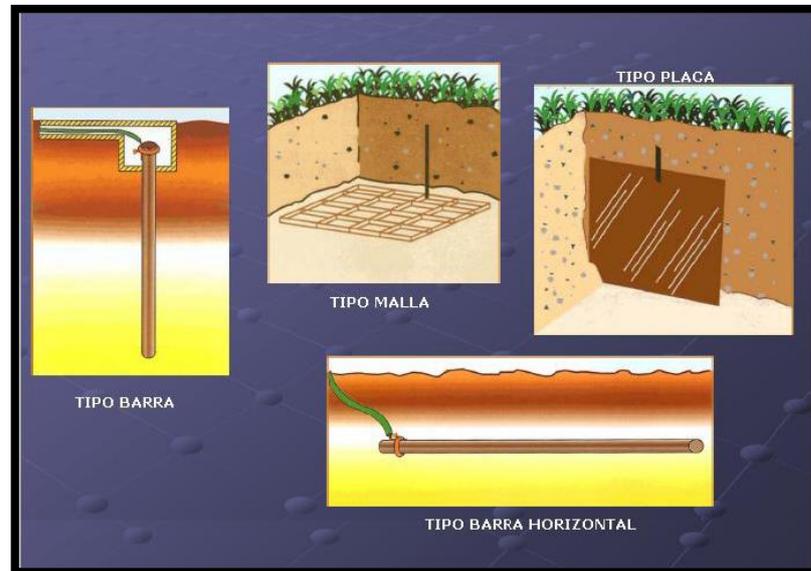


Figura 1.9. Tipos y configuraciones de puesta a tierra.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 88) [ref. 29 de marzo de 2013]

Fuente: <http://prof.usb.ve/mmlozano/DOCS/PAT-I.pdf>

1.6.1.1. Tipos de Electrodo

Los electrodos de tierra se pueden encontrar en diferentes tamaños, formas, y con diferentes características. Los tipos de electrodos más comunes son:

- Varilla Copperweld, es una de las más usadas por su bajo costo de material. Esta hecho de acero y recubierto de una capa de cobre, su longitud es de 3.05 metros y un diámetro de 16 milímetros. Se debe enterrar en forma vertical, a una profundidad mínima de 2.4 metros o en forma horizontal, siempre y cuando sea en una zanja de mínimo 80cm de profundidad.

- Varilla, tiene un área de contacto más grande que la varilla Copperweld. Este electrodo se forma de acero galvanizado, y puede ser en forma de cruz, en te o de ángulo recto.
- Rehilete, se forma de dos placas de cobre cruzadas, las cuales van soldadas. Es bueno para terrenos donde es difícil excavar, ya que tiene mucha área de contacto.
- Placa, tiene una gran área de contacto recomendada en terrenos que tengan alta resistividad. Debe tener un área de por lo menos 2000cm^2 y un espesor mínimo de 6.4mm en materiales ferrosos y mínimo de 1.52mm en materiales no ferrosos.
- Electrodo en estrella, se puede hacer con cable de cobre desnudo con ramificaciones de 60° de ángulo. Se utilizan en el campo, ya que por la longitud del cable se tiene un valor de resistencia menor.
- Electrodo de anillos, consiste en una espira de cable de cobre desnudo, con un diámetro mínimo de 33.6mm^2 y una longitud mínima de 6m en contacto con la tierra, debe estar a una profundidad de por lo menos 80cm.
- Malla, se hace armando una red de conductores de cobre desnudos, esta malla se puede mejorar con algunos electrodos. Es muy utilizada en las subestaciones eléctricas, ya que reduce el riesgo de descargas.
- Placa estrellada, es una placa que tiene varias puntas en su contorno, esta se conecta a través de una barra atornillable. Su principal ventaja es que ayuda a que se disipe la energía mediante sus puntas.
- Electrodo de varillas de hierro o acero, son las varillas que se aprovechan en la construcción de algún edificio y deben tener por lo menos 16mm de diámetro.
- Electrodo de tubo metálico, puede ser la tubería metálica del agua. El diámetro debe ser de mínimo 19mm; la tubería debe estar enterrada por lo menos 3m.
- Electrodo empotrado en concreto, se debe encontrar en una cimentación que este enterrada y tenga una longitud mínima de 6m, con varillas desnudas con 13mm de diámetro mínimo. Debe estar encajado en concreto como mínimo 5 cm.
- Electrodo de aluminio, Estos no están permitidos, ya que el aluminio se corroe rápidamente al estar en contacto con la tierra.

- Electrodo horizontal o contra-antena, es un conductor de cobre desnudo enterrado horizontalmente en una zanja de 50cm mínimo de profundidad. Su principal inconveniente es que la excavación es muy costosa.
- Electrodo profundo, es una varilla Copperweld unida a un conductor de cobre desnudo de gran tamaño. Es utilizado en terrenos donde hay mucha roca.
- Electrodo en espiral, es un cable de cobre desnudo en espiral de algunos diámetros y enterrados a ciertas profundidades para hacer contacto con las diferentes capas de la tierra.
- Electrodo químico, se les adiciona algún compuesto químico para aumentar la conductividad y así disminuir el valor de resistencia.

1.6.2. Naturaleza de los Electroodos

Los electrodos pueden ser artificiales (cuyo objeto es la de obtener la puesta a tierra) o naturales (que son las masas metálicas que puedan existir enterradas). Para las puestas a tierra se emplearán principalmente electrodos artificiales. Se puede prescindir de los naturales cuando su instalación presente serias dificultades.

1.6.2.1. Construcción de los electrodos artificiales

Pueden estar formados por:

- Electrodos simples formados por barras, placas, tubos, cables, pletinas, etc.
- Anillos o mallas metálicas formadas por elementos indicados anteriormente o por combinaciones de ellos.

Los electrodos estarán constituidos de metales inalterables a la humedad y a la acción química del terreno, tal como el cobre, el hierro galvanizado, hierro sin galvanizar con protección catódica o fundición de hierro.

1.6.2.2. Constitución de los electrodos naturales

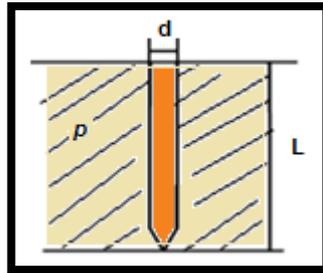
Pueden estar formados por:

- Una red extensa de conducciones metálicas enterradas, siempre que la continuidad de estas quede perfectamente asegurada.
- La cubierta de plomo de los cables de una red eléctrica de baja tensión enterrada, siempre que la continuidad de la cubierta de plomo esté perfectamente asegurada.
- Los pilares metálicos de los edificios, si están interconectados a través de una estructura metálica, y enterrados a cierta profundidad.

1.7. Métodos para calcular Electrodo

Existen tres métodos para calcular electrodos que son: de Picas, de Anillo y de Malla, cada uno lo explicaremos a continuación.

1.7.1. Picas



Método Convencional o aproximado

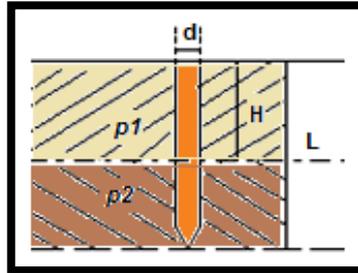
$$R_t = \rho / L$$

En donde ρ es la resistividad del terreno dado en ($\Omega \cdot m$) y L es la longitud

Método de Dwight

$$Rt = 0.366 \rho / L \log^3 L/d$$

Terrenos Heterogéneos



Si $\rho_2 < \rho_1$ entonces:

$$L' = (L - H) + (\rho_2 H) / \rho_1$$

En donde: L' : longitud equivalente

$H \gg d$

Método de Dwight

$$R = 0.366 \rho_2 / L' \log^3 L'/d$$

Método Convencional o aproximado

$$R = \rho_2 / L'$$

Si $\rho_1 < \rho_2$, se desprecia la parte enterrada en ρ_2

$L' = H$

Método de Dwight

$$R = 0.366 \rho_1 / L' \log^3 L'/d$$

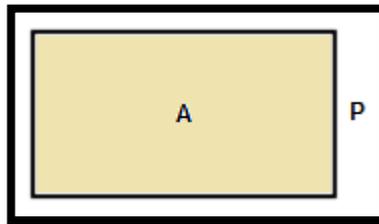
Método Convencional o aproximado

$$R = \rho \frac{1}{L}$$

Si H/L es muy pequeño, se puede expresar:

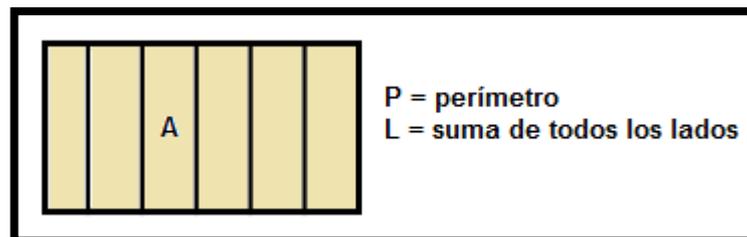
$$R = 0.366 \rho \frac{2}{L} \log \frac{3L}{d}$$

Si H/L es muy grande, conviene usar electrodos horizontales, ya que se desprecia $L - H$ de la pica.

1.7.2. AnilloMétodo Simplificado

$$R_t = \rho \frac{t}{P}$$

En donde P es el perímetro

1.7.3. MallaMétodo Simplificado

$$R_t = \frac{P}{L}$$

En donde P es el perímetro y L la sumatoria de todos los lados que componen la malla.

Método de Schwarz

$$R = 0.318 \frac{P}{L} (2.303 \log \frac{L^2}{dh} + \frac{k_1 L}{\sqrt{A}} - k_2)$$

En donde d es el diámetro del conductor.

k_1 y k_2 de las ilustraciones de la figura 1.10 y dependen de A, h y de las dimensiones de la malla.

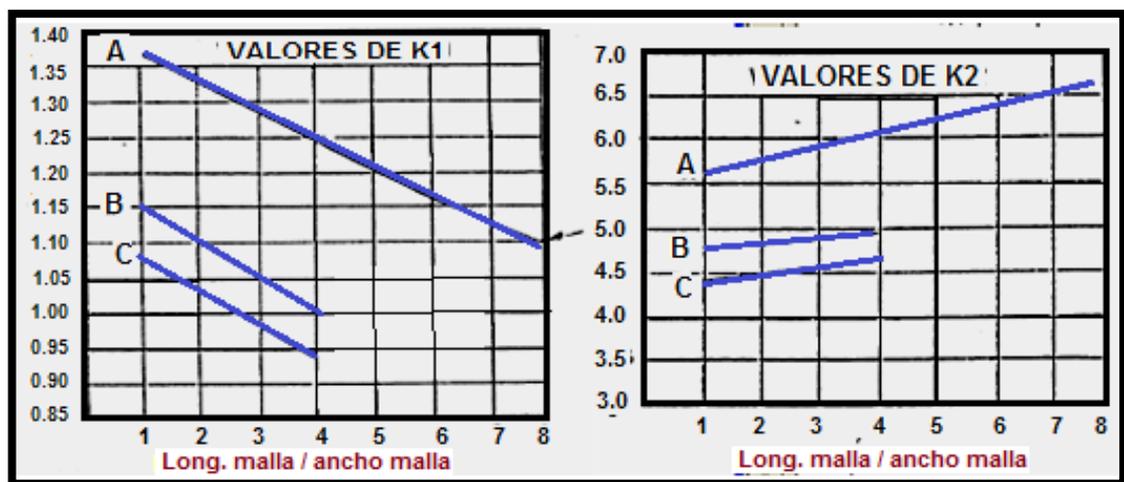


Figura 1.10. Valores de K1 y K2 respectivamente.

(FLORES. José María. Ingeniería Hospitalaria. Guías de Trabajos Prácticos. 2012. pág. 36) [ref. 01 de abril de 2013]

Fuente: <http://bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/inghosp/material/Guias.pdf>

“Los coeficientes k_1 y k_2 deben extraerse de las curvas A, para valores despreciables de la profundidad. De las curvas B para profundidades $1/10$ de la raíz cuadrada del área y de la curva C para profundidades $1/6$ de la raíz cuadrada del área.

Las profundidades normales de implantación son: malla apartada $h = 0,60$ m, malla separada $h = 0,80$ m.”¹

1.8. Conductor del Electrodo de Puesta a Tierra

1.8.1. Determinación del calibre de los Conductores del Sistema de Puesta a Tierra

Se especifican en los siguientes incisos:

1.8.1.1. Materiales

- Conductor del electrodo de puesta a tierra: Debe ser de cobre o aluminio, capaz de resistir corrientes eléctricas en condiciones que no sean las indicadas como las de un cortocircuito. El material elegido debe ser resistente a la corrosión, debe ser macizo, aislado, forrado o desnudo, y debe ser de un solo tramo continuo, sin empalmes ni uniones.

- Tipos de conductores para la puesta a tierra de equipo: Debe ser de uno de los siguientes tipos o una combinación de ellos:
 - Un conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión.
 - Un tubo metálico tipo pesado.
 - Un tubo metálico tipo ligero.
 - Un tubo metálico flexible.
 - La armadura de un cable de tipo AC.
 - El blindaje de cobre de un cable con blindaje metálico y aislamiento mineral.
 - El blindaje metálico de los conductores con blindaje metálico.

¹ FLORES. José María. (2012). Ingeniería Hospitalaria. Guías de Trabajos Prácticos. Argentina. pág.36. Revisado el 01 de abril de 2013 desde Internet: <http://bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/inghosp/material/Guias.pdf>

- Los soportes para cables tipo charola.
- Cableductos.

1.8.1.2. Instalación

Se deben instalar como en los siguientes incisos:

- **Conductor del electrodo de puesta a tierra:** Se debe sujetar firmemente a la superficie sobre la que va instalado. Cuando se utilicen los conductores de puesta a tierra de aluminio a la intemperie, no se deben instalar a menos de 45 cm del terreno natural.
- **Envolventes para conductores del electrodo de puesta a tierra:** Deben ser eléctricamente continuas desde el punto de conexión a los envolventes o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra.
- **Conductor de puesta a tierra de equipo:** Se debe instalar utilizando accesorios para uniones y terminales que estén aprobados. Todas las conexiones, uniones y accesorios se deben fijar firmemente con los medios adecuados. Y tienen que cumplir que:
 - No debe ser de tamaño nominal menor al del neutro.
 - No debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor más grande.

1.8.2. Tamaño nominal del Conductor del electrodo de Puesta a Tierra en instalaciones de Corriente Alterna (AC)

El tamaño nominal del conductor de una instalación de AC puesta o no puesta a tierra, no debe ser inferior a lo que se ilustra tabla 1.3.

Tabla 1.3. Especificaciones nominales de los conductores de puesta a tierra en instalaciones de A.C.

Tamaño nominal del mayor conductor de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo mm ² (AWG o kcmil)		Tamaño nominal del mayor conductor al electrodo de tierra mm ² (AWG o kcmil)	
COBRE	ALUMINIO	COBRE	ALUMINIO
33,62 (2) ó menor	53,48 (1/0) ó menor	8,36 (8)	13,3 (6)
42,41 o 53,48 (1 ó 1/0)	67,43 o 85,01 (2/0 ó 3/0)	13,3 (6)	21,15 (4)
67,43 o 85,01 (2/0 ó 3/0)	4/0 o 250 kcmil	21,15 (4)	33,62 (2)
Más de 85,01 a 177,3 (3/0 a 350)	Más de 126,7 a 253,4 (250 a 500)	33,62 (2)	53,48 (1/0)
Más de 177,3 a 304,0 (350 a 600)	Más de 253,4 a 456,04 (500 a 900)	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
Más de 304 a 557,38 (600 a 1100)	Más de 456,04 a 886,74 (900 a 1750)	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
Más de 557,38 (1100)	Más de 886,74 (1750)	85,01 (3/0)	126,7 (250)

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 107) [ref. 01 de abril de 2013]

Fuente: http://www.codensa.com.co/documentos/6_26_2007_2_48_23_PM_AE%20280.pdf

CAPÍTULO II

RESISTIVIDAD DEL SUELO

La resistividad del suelo o terreno se expresa con la letra griega ρ , que es un parámetro propio de los medios conductores. Su unidad viene expresada en [Ω .m.]. En un conductor homogéneo, el valor de la resistividad es el mismo en cualquier punto y dirección del medio. Por otra parte, las consecuencias climáticas hacen, que en un terreno constituido por un solo material hayan cambios de su resistividad respecto a la profundidad.

La resistividad del suelo depende ciertamente de:

- El Tipo de suelo
- El porcentaje de humedad
- Su composición química
- La compactación del material
- La temperatura
- Estratificación del suelo
- La mezcla de diversos tipos de materiales
- Composición química y concentración de las sales disueltas en el suelo.

Según el porcentaje de humedad, la composición química de las sales disueltas, la temperatura y su concentración son factores variables a la hora de considerar el diseño de un Sistema de Puesta a Tierra. Cuando la humedad se incrementa, la resistividad del suelo disminuye hasta un cierto punto, en el cual se hace casi independiente del grado de humedad.

La resistividad del terreno es dependiente de las dimensiones de sus partículas constituyentes, de su porosidad y permeabilidad, de su estructura, del contenido de agua y de su contenido de iones. También a la resistividad se lo conoce como la

resistencia específica del terreno y es la propiedad de oponerse al paso de una corriente eléctrica.

Mediciones de tierras: Para las mediciones de tierras, podemos recalcar que el principal método de enfrentar esta situación es la de proceder por la vía experimental y de hacer una serie de mediciones sistemáticas en todas las posibles condiciones del terreno. Por lo que se procede a medidas sistemáticas de la resistencia total de la instalación de tierra o se busca la resistencia deseada, aumentando o disminuyendo el número de electrodos, la profundidad a la cual se los enterró o con cualquier otro medio tratando de llegar a un valor inferior al máximo.

Constitución del terreno: Se puede decir que la química del terreno, la cantidad y la calidad de las sales minerales pueden afectar de modo notable en su resistividad. Los terrenos lluviosos o arcillosos son aquellos que tienen resistividades más bajas y las menores variaciones con el paso del tiempo. Los terrenos arenosos, rocosos y con piedras tienen resistividad muy elevada y alteran sus características con el tiempo.

En la tabla 2.1 se ilustran los valores de la resistividad de importantes materiales que construyen los terrenos.

Tabla 2.1. Resistividad de algunos tipos de materiales a las instalaciones eléctricas.

TERRENO	RESISTENCIA (OHM) 5/8 x 1.5m	RESISTENCIA OHM x cm ³
	PROM. MIN. MAX.	PROM. MIN. MAX.
Relleno, ceniza, escoria, desechos de salmuera.	14 3,5 42	2370
Arcilla, pizarra, suelo pedregoso, marga.	24 2 98	4060 340
FUDEM con proporciones variables de arena y ripio.	93 6 800	15800 1000 135000
Ripio, arena, piedras con pequeñas cantidades de arcilla, marga.	554 35 2700	94000 59000 458000

(ROJAS. Gregor. Manual de Sistemas de Puesta a Tierra. 2007. pág. 9) [ref. 04 de abril de 2013]

Fuente: <http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf>

Como podemos observar, los materiales que tienen los más altos valores de resistividad se consideran como aislante y los que tengan los más bajos valores como

conductores. De la tabla anterior, se puede decir que un sistema de tierra sería completamente adecuado en terrenos de arcillas, siendo casi inservible en terrenos arenosos. Por lo que se concluye, que el problema de variación de tierra está relacionado con el tipo o clase de tierra en el que se efectúe un SPT.

2.1. Medición de la Resistividad del Terreno

La medición de la resistividad del terreno requiere conocer aparte de su método de medición, algunos factores que perturban los resultados de las mediciones, y estos son:

- El tipo de prueba.
- El tipo de aparato empleado.
- El lugar físico de las puntas o electrodos de prueba.

2.1.1. Tipo de prueba

Existen dos métodos de prueba básicos que son:

- Método de caída de potencial.
- Método Directo o de Dos Puntos.

Los dos métodos anteriores para medir la resistividad y sus derivaciones que existen de estas, se parecen porque en todos se necesitan dos conexiones de tierra auxiliares y de referencia, además de una fuente adecuada de corriente y la exactitud del resultado está en función del sitio de ubicación de las tierras auxiliares o de referencia con respecto a la tierra que se necesite medir.

2.1.2. Tipo de Aparato

Existen diferencias muy marcadas en el tipo de corriente empleada para medir la tierra. Los aparatos más utilizados son el Vibroground y el Megger de tierras. Los dos

emplean corriente alterna para la medición pero su diferencia es en frecuencia y los voltajes en circuito abierto, el primero trabaja a 25 Hz y 120 V y el segundo a 133 Hz y 22 V. Se puede aclarar que las lecturas pueden variar por la impedancia del terreno a esas distintas frecuencias.

En el mercado también existen aparatos de medición de tipo gancho que tienen como limitaciones las siguientes:

- Son dependientes de que las conexiones del sistema de tierras estén bien elaboradas para tener resultados favorables.
- En electrodos de mallas industriales, el aparato no puede ser usado; pero es muy útil donde se tengan lecturas a menudo a los sistemas de tierras, ya que puede ser utilizados en lugares donde se requiere tomar lecturas con los equipos energizados permanentemente.

2.1.3. Lugar Físico

Pueden ser colocadas los electrodos de los instrumentos de medición en todas direcciones, como en diferentes distancias entre ellas. Las lecturas no son idénticas a veces ni en terrenos vírgenes aunque es el mismo punto de medida; debido a que existen corrientes de agua o de capas de distinta resistividad.

METODOS DE PRUEBA BASICOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA A TIERRA

2.2. Método de Caída de Potencial

En este método, la corriente (I) que se crea se introduce por el electrodo Ee (electrodo de tierra) y regresa por el electrodo auxiliar de corriente Ec. De esta manera, cuando

pasa la corriente por la tierra, hay una caída de voltaje entre E_e y E_p , y por la ley de Ohm, encontramos la resistencia desconocida:

$$R=V/I$$

En donde:

V : Voltaje entre el electrodo E_e y E_p

R : Resistencia a tierra

I : Corriente de prueba inyectada por el instrumento

Adicionalmente, requiere este método que haya una corriente de variación entre 2 y 5 miliamperios; un espacio entre los electrodos E_e y E_c de 18 m, y entre E_e y E_p de 9m. Esto se ilustra en la figura 2.1. I es la corriente que circula a través del amperímetro A ; E_e es el electrodo de tierra con la resistencia que vamos a encontrar. V es el voltaje medido en el voltímetro a frecuencias mayores que el de la red.

La resistencia de los electrodos auxiliares E_p y E_c se desecha porque el valor del voltaje solo se considera entre los puntos E_e y E_p . Luego de establecer la corriente I se toma como constante.

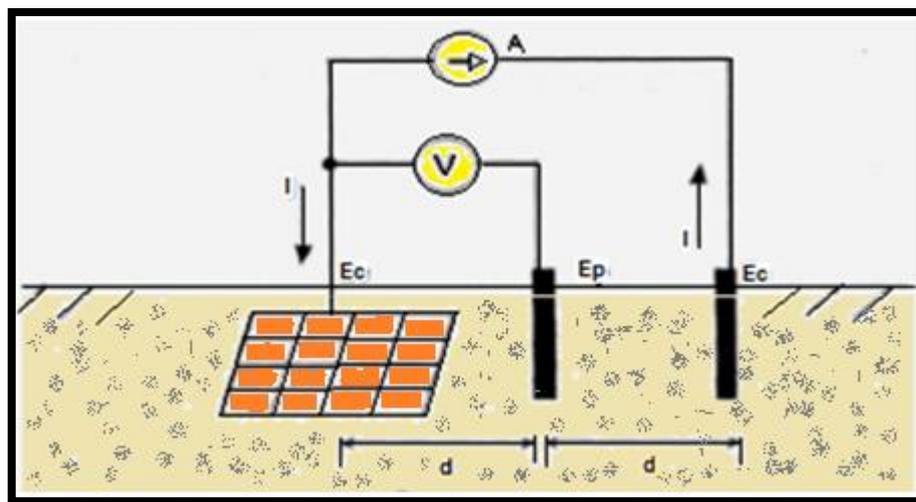


Figura 2.1. Método de la caída de potencial.

(SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. 2008. pág. 58) [ref. 04 de abril de 2013]

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1515/1/CD-2697.pdf>

Al graficarse los resultados antes mencionados, estos corresponden a una curva creciente como se ilustra en la figura 2.2.

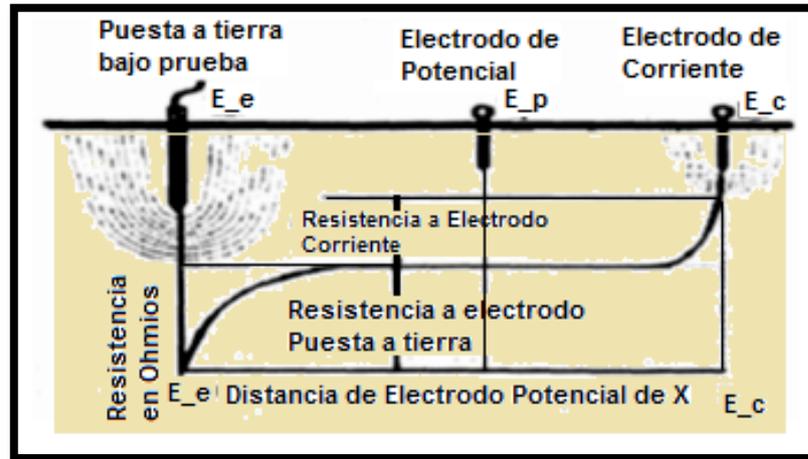


Figura 2.2. Curva característica de la toma de datos.

(SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. 2008. pág. 59) [ref. 04 de abril de 2013]

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1515/1/CD-2697.pdf>

La mayoría de los instrumentos de medición de resistencia a tierra, se basan en el método de caída de potencial, pero existen otros métodos por la diferente disposición geométrica de los electrodos; estos métodos son:

- Método de Wenner
- Método de Schlumberger
- Métodos con Dipolos

2.2.1. Método de Wenner

En la configuración de Wenner o de los cuatro electrodos, cada uno de los electrodos de potencial está separado del electrodo cercano de corriente una distancia de **a**, igual a 1/3 del distancia de los electrodos de corriente.

Para medir la resistividad del suelo es necesario plantar los 4 electrodos en el suelo, los mismos que deben ser colocados en línea recta y con una profundidad de

penetración similar. Esto se ilustra en la figura 2.3. Las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, además de la clase de contacto que se haga con la tierra.

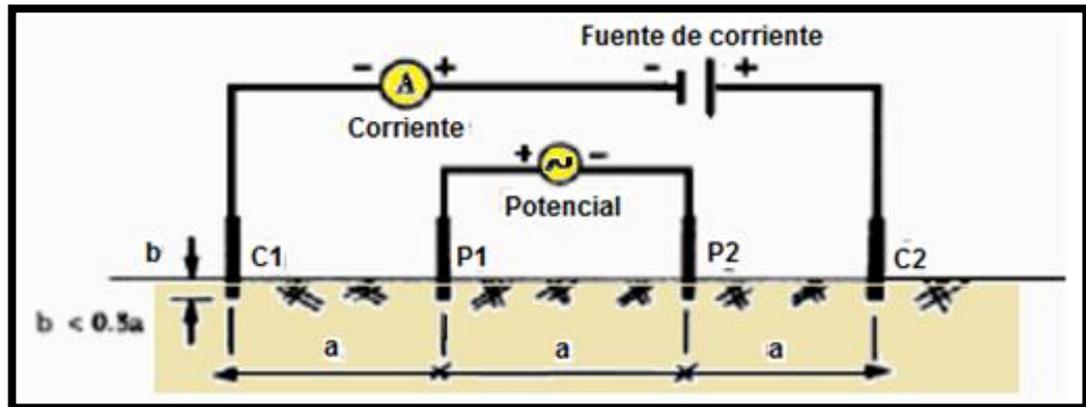


Figura 2.3. Medición por el método de Wenner o de los cuatro electrodos.

(SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. 2008. pág. 60) [ref. 04 de abril de 2013]

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1515/1/CD-2697.pdf>

Se aclara que: “La distancia (**b**) o sea la profundidad a la que está enterrada la varilla debe ser pequeña comparada con la distancia (**a**) entre electrodos. **C1** y **C2** son electrodos de corriente y los **P1** y **P2** son electrodos de potencial. La fuente de corriente suministra un voltaje en DC igual a 22 voltios.”²

La ecuación para calcularlo es:

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

El inventor del método, acertó que, si la distancia enterrada (**b**) es pequeña en relación con la distancia de separación entre electrodos (**a**), se puede aplicar:

² SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. (2008). Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. Ecuador. pág.59. Revisado el 04 de abril de 2013 desde Internet: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1515/1/CD-2697.pdf>

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

En donde:

ρ : Resistividad promedio en Ohm-m

a : Distancia entre electrodos cercanos en metros

b : Profundidad de enterramiento de los electrodos en metros

R : Resistencia eléctrica medida en Ohms, dada por el instrumento de medición

Nota: Es recomendable utilizar una relación de **a = 20b**

Procedimiento: Se aplica en este método una corriente alterna para la medición, a un voltaje en circuito abierto de 22 V. y una frecuencia de 133 Hz. Se entierran cuatro varillas de cobre y se conectan las dos externas (**C1** y **C2** en la figura 2.3) a las terminales de la fuente de corriente, y las dos varillas de potencial internas (**P1** y **P2** de la misma figura), a un voltímetro. Su principio es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos **C1** y **C2**; mientras que se mide entre dos electrodos **P1** y **P2**, el potencial que aparece y es recomendable que se tomen lecturas en distintos lugares.

2.2.2. Método de Schlumberger

Este método de Schlumberger es una modificación del método de Wenner, ya que este método también emplea 4 electrodos, en donde el operador aumenta la distancia entre los electrodos de corriente en el momento de la toma de las mediciones. Además que la distancia a la que se mueven los electrodos de potencia es pequeña. Esto se ilustra en la figura 2.4. En donde los **C1** y **C2** son electrodos de corriente; los **P1** y **P2** son electrodos de medición de potencia eléctrica excitado por la corriente inyectada. La frecuencia es de 25 Hz y la fuente de corriente es de 120 V.

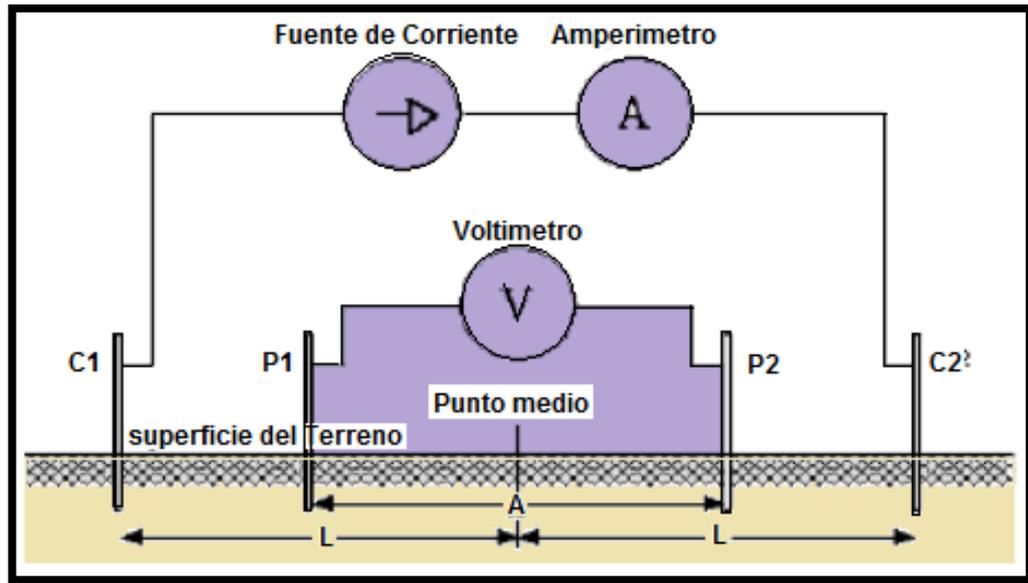


Figura 2.4. Medición por el método de Schlumberger.

(SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. 2008. pág. 60) [ref. 04 de abril de 2013]

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1515/1/CD-2697.pdf>

Procedimiento: El punto medio **A** (centro de medición), se ubica en el centro del terreno. La profundidad de enterramiento “**h**” de los electrodos **C1** y **C2**, y **P1** y **P2** no debe ser superior a 10 cm., en el caso que “**L**” sea igual o menor que 10 m. Caso contrario, para valores de “**L**” mayores que 10 m, “**h**” debe ser mayor que 10 cm pero sin exceder los 20 cm.

La separación “**L**” y la separación “**A**” se irán variando y tomando las lecturas respectivas según el tamaño del terreno. Por lo que se debe calcular la resistencia en cada medida mediante la ley de Ohm:

$$R = \Delta V / I$$

En donde:

R : Resistencia medida en Ohm.

ΔV : Diferencia de potencial entre P1 y P2, medida en Voltios.

I : Corriente entre C1 y C2, medida en Amperios.

Y para adquirir el valor de la resistividad, se utiliza la fórmula:

$$\rho = R\pi A \left[\left(\frac{L}{A} \right) - 0.25 \right]$$

En donde:

ρ : Resistividad aparente.

R : Resistencia medida en Ohm.

L : Distancia de los electrodos de corriente con respecto al punto central.

A : Distancia de los electrodos de potencia con respecto al punto central.

Este método es ventajoso cuando se requieren conocer las resistividades de las capas más profundas con respecto al método Wenner.

2.2.3. Método con Dipolos

2.2.3.1. Método Dipolo-Dipolo

En este método, los electrodos de corriente prácticamente están a una distancia larga en referencia al par de electrodos de potencial. Si la distancia de los electrodos de corriente **a** es igual a la distancia de los electrodos de potencial **b** y la distancia entre los centros de los pares de los electrodos es **(n + 1) * a**, la resistividad aparente se obtiene a través de:

*“El producto (n * a) entrega la distancia entre los dos pares de electrodos y ((n + 1) * a) es la distancia entre los centros de los dos pares de electrodos.”³*

³ SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. (2008). Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. Ecuador. pág.64. Revisado el 04 de abril de 2013 desde Internet: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1515/1/CD-2697.pdf>

Es así que se obtienen datos suficientes para dibujar una pseudosección de resistividades aparentes del terreno, uniendo a través de líneas a 45° con la horizontal, los puntos medios de los dipolos de cada una de las posiciones. Esto se ilustra en la figura 2.5.

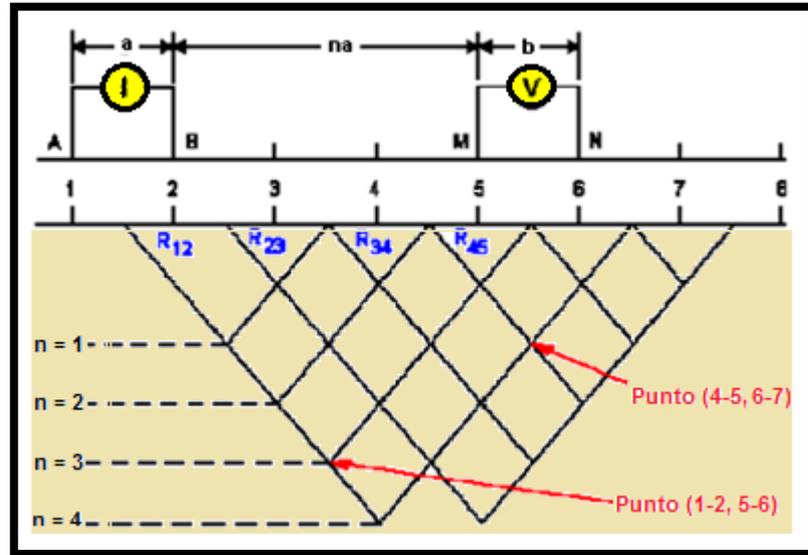


Figura 2.5. Disposición de electrodos para la configuración Dipolo-Dipolo.

(SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. 2008. pág. 65) [ref. 04 de abril de 2013]

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1515/1/CD-2697.pdf>

En donde V es el voltaje a 60V cuando la distancia de medidas es pequeña ($a < 1m$).

Recomendaciones adicionales

- Cuando se está llevando a cabo la medición cerca de líneas energizadas de alta tensión y afecta la calidad de la misma por medio de interferencias, se debe realizarla en dirección perpendicular a la línea de transmisión. Además, se puede alcanzar resultados cómodos abriendo los electrodos de potencial y corriente unos 90° . Lo anterior dicho, se puede ilustrar en la figura 2.6.

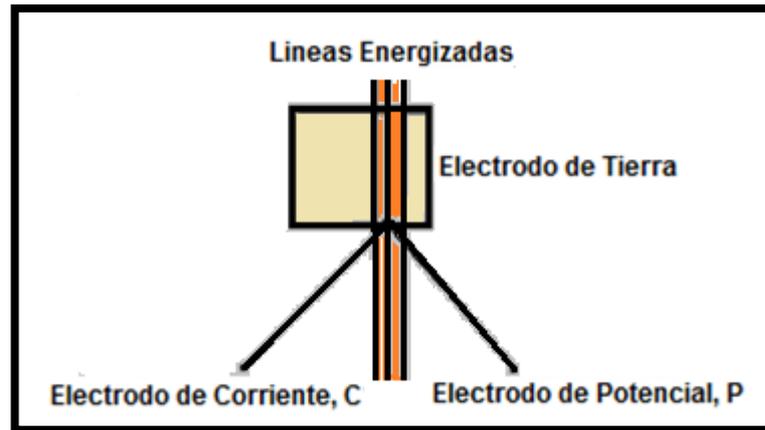


Figura 2.6. Electrodos de corriente y Potencial a 90°.

(AGULLEIRO. Ignacio. Técnicas Modernas para la Medición de Sistemas de Puesta a Tierra en Zonas Urbanas. pág. 23) [ref. 06 de abril de 2013]

Fuente:

<http://www.lu3hba.com.ar/ARTICULOS%2010/Medicion%20de%20Sistema%20de%20Puesta%20a%20Tierra.pdf>

- Cuando el terreno este muy seco, se recomienda humedecer los electrodos de los extremos para reducir la resistencia del electrodo de tierra.

2.3. Efectos del tipo de Suelo sobre la Resistividad del Terreno

Existen diferentes tipos de suelos en el que la resistividad de la tierra puede cambiar considerablemente, ya sea este un suelo mayormente arcilloso o muy arenoso. Por lo que no es fácil definir exactamente a un suelo dado.

La arcilla puede cubrir una extensa variedad de suelos, de tal manera que en la siguiente tabla 2.2 (a y b), se observa un amplio rango de valores para los mismos tipos generales de suelos.

Tabla 2.2. a. b. Resistividad del terreno de los diferentes tipos de suelo.

(a)				(b)	
SUELO	RESISTIVIDAD OHM-CM			SUELO	RESISTIVIDAD OHM-CM
	PROM.	MIN.	MAX.		
Relleno de ceniza, partículas de madera quemadas, desperdicios de agua salada.	2370	590	7000	Suelos de superficie, suelos ricos compuestos especialmente de arcilla, arena y materia orgánica, etc.	100 - 5000
Arcilla, rocas de arcilla endurecida, plantas gomosas, suelos ricos compuestos especialmente de arcilla, arena y materia orgánica.	4060	340	16300	Arcilla	200 - 10000
Los mismos pero con proporciones variables de arena y grava.	15800	1020	135000	Arena y grava	5000 - 100000
Grava, arena, piedras con un poco de arcilla o suelos ricos compuestos especialmente de arcilla, arena y materia orgánica.	94000	59000	458000	Caliza superficial	10000 - 1000000
				Caliza	500 - 400000
				Rocas de arcilla endurecida	500 - 10000
				Arenisca	2000 - 200000
				Granitos	100000
				Partículas de rocas formadas de capas de cuarzo, mica, etc.	5000 - 50000
				Rocas duras dispuestas en capas delgadas, etc.	1000 - 10000

a. b. (ROJAS. Gregor. Manual de Sistemas de Puesta a Tierra. 2007. pág. 11) [ref. 06 de abril de 2013]

Fuente: <http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf>

Existen otros efectos que varían la resistividad del terreno como son: Variaciones estacionarias, Humedad-Temperatura, Humedad-Sales Disueltas y Temperatura.

2.3.1. Variaciones Estacionales

Si se necesita saber cual es el valor de la resistividad del terreno en un lugar y en cierta época del año, la única manera segura es medirla, ya que esta es una cantidad muy variable y se modificará notablemente en lugares donde existen variaciones grandes de temperatura, temporadas secas, lluvia, y más variaciones.

La resistencia del terreno se altera directamente con su resistividad y es indispensable para saber que factores afectan a dicha resistividad.

2.3.2. Humedad y Temperatura

Si afectan indudablemente estos factores y son muy significativos, puesto que la resistividad del terreno disminuye con el aumento de la humedad y con el incremento de la temperatura.

Es por eso, que el conocimiento de la acción de la humedad y temperatura sobre la resistencia del electrodo de puesta a tierra, resulta necesario para que todo un sistema de tierra no altere sus características con el paso del tiempo.

2.3.3. Humedad y Sales Disueltas

En el terreno, la conducción de corriente es especialmente electrolítica. Es por eso que la cantidad de humedad y el contenido de sales del terreno perturban radicalmente la resistividad.

En la Tabla 2.3, se ilustra los efectos propios del agua sobre el terreno, donde observamos que al estar secos, en ambos tipos de terrenos, las resistividades son alrededor de 1000 Mega Ohm-cm, considerándoles excelentes aislantes. Sin embargo, con un contenido de humedad del 30%, observamos un decrecimiento radical en dicha resistividad, determinado por un factor aproximado de 100,000 veces del valor original.

Tabla 2.3. Efecto de la humedad en la resistividad del Terreno.

CONTENIDO DE HUMEDAD % POR PESO RESISTIVIDAD OHM-CM	TERRENO SUPERFICIAL	ARCILLA ARENOSA
0.0	1,00E+09	1,00E+09
2.5	250000	150000
5.0	165000	43000
10	53000	22000
15	21000	13000
20	12000	10000
30	10000	8000

(ROJAS. Gregor. Manual de Sistemas de Puesta a Tierra. 2007. pág. 10) [ref. 06 de abril de 2013]

Fuente: <http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf>

Hay que tomar en cuenta que el agua pura tiene una resistividad infinitamente alta. Las sales presentes en forma natural en el terreno o disueltas en agua, bajan la resistividad del terreno.

Los efectos que ocasionan las sales, reducen de manera significativa la resistividad del terreno con una pequeña cantidad de alguna sal. Esto se ilustra en la tabla 2.4. En donde, para un valor de 0% de sal, la resistividad es de 10,7 Kilo Ohm-cm, y en un porcentaje del 20% se observa un decrecimiento drástico en la resistividad. Por lo que este efecto lograría ser útil para proveer de un buen electrodo de baja resistencia, en vez de un sistema de electrodos elaborado y de muy alto costo.

Tabla 2.4. Efecto de la sal en la resistividad del terreno.

% DE SAL AGREGADA POR PESO DE HUMEDAD	RESISTIVIDAD OHM-CM
0.0	1,07E+04
0.1	1800
1.0	460
5.0	190
10	130
20	100

(ROJAS. Gregor. Manual de Sistemas de Puesta a Tierra. 2007. pág. 10) [ref. 06 de abril de 2013]

Fuente: <http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf>

2.3.4. Temperatura

Con el incremento en la temperatura disminuirá la resistividad, porque:

- El agua que hay en un terreno especialmente determina la resistividad.
- Un aumento de la temperatura reduce drásticamente la resistividad del agua.

Los resultados se ilustran en la tabla 2.5, donde se observa que cuando el agua se congela en el terreno, la resistividad aumenta en forma notoria, haciendo que una caída de temperatura de 54 grados (de 68°F a 14°F) produce un aumento de 50 veces en resistividad, es por esto que se puede tener un valor realmente alto en los polos terrestres.

Tabla 2.5. Efecto de la Temperatura en la Resistividad del terreno.

TEMPERATURA		RESISTIVIDAD OHM-CM
C	F	
20	68	7200
10	50	9900
0 -5	32 (agua)	13800
	32 (hielo)	30000
	23	79000
-15	14	330000

(ROJAS. Gregor. Manual de Sistemas de Puesta a Tierra. 2007. pág. 10) [ref. 06 de abril de 2013]

Fuente: <http://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf>

2.4. Métodos para reducir la Resistencia de Tierra

Los métodos para reducir la resistencia de tierra, intentan crear una mejor conductividad en las primeras capas de tierra que rodean al electrodo, en el cual la superficie conductora es pequeña.

Se dice que en la práctica, cuando se encuentra que la resistencia de un electrodo a tierra no es suficientemente baja, se tiene que emplear métodos para mejorarla y los más comunes son:

- a) Utilizando electrodos más largos.
- b) Utilizando una varilla de mayor diámetro.
- c) Instalando dos, tres o más electrodos en paralelo (a una distancia aproximada del doble del tamaño del electrodo).
- d) Electrodos profundos.
- e) Añadido de sales simples.
- f) Reduciendo la resistividad del suelo con tratamiento químico del terreno.
- g) Aporte de sales "gel".
- h) Añadido de coque (combustible sólido).
- i) Inyección de bentonita.
- j) Inyección de resinas sintéticas.

Los métodos principales para disminuir artificialmente la resistividad del terreno alrededor de los electrodos son:

2.4.1. Tratamiento con Sales

Esto consiste en enterrar en una excavación poco profunda alrededor del electrodo una sal, la misma que puede ser: cloruro sódico, sulfato de cobre, sulfato de magnesio, la bentonita, etc. Esto se ilustra en la figura 2.7. El relleno ideal debe ser no corrosivo y a la vez buen conductor.

Es por esto que se excava un conducto alrededor de la varilla y se rellena con 20 o 40kg aproximados de los compuestos químicos mencionados anteriormente, disolviéndolo con agua. Este tratamiento al cabo de dos años se lo debe volver a realizar, debido a factores climáticos que pueden deteriorarlo.

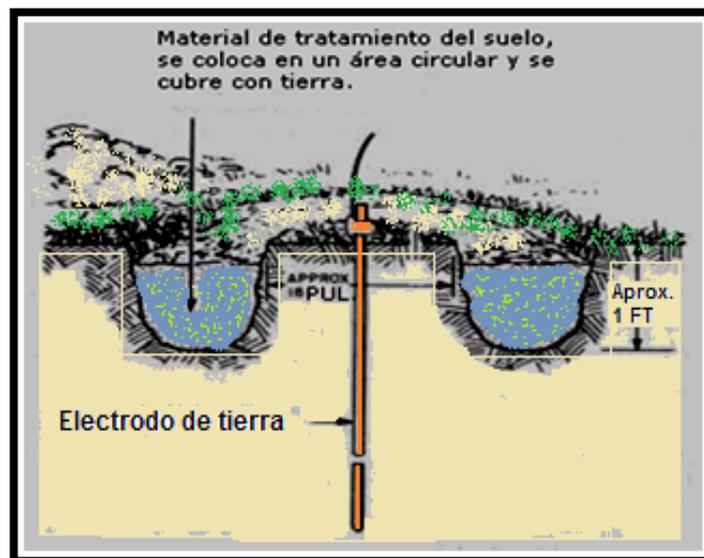


Figura 2.7. Tratamiento del terreno con sales.

(SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. 2008. pág. 40) [ref. 08 de abril de 2013]

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1515/1/CD-2697.pdf>

2.4.2. Tratamiento por abonado Electrolítico del Terreno

En este método se busca ampliar la cantidad de electrólitos en disolución con el agua, ampliando el poder de retención del mismo. Para esto, empleamos electrólitos a base

de sulfato cálcico que tiene una solubilidad muy pequeña, pero idóneo para mejorar el terreno en cuanto a conductividad.

Este tratamiento consiste en extender en la superficie del terreno, de 6 a 8kg de mezcla por m². Este método puede durar de 10 a 15 años sin deteriorarse, según sea la naturaleza del terreno.

2.4.3. Tratamiento Químico del Suelo

Con este tratamiento, se mejora la resistencia a tierra y por problemas adicionales, no se pueden enterrar lo suficiente los electrodos de tierra. El sulfato de magnesio, sulfato de cobre, y sal de roca ordinaria son materiales no corrosivos adecuados.

El tratamiento químico no es un modo permanente de mejorar su resistencia a tierra. Los químicos son deslavados gradualmente por la lluvia y drenaje natural mediante el suelo. Existen materiales que ayudan a mejorar la resistividad del suelo, que mencionaremos a continuación.

2.4.3.1. Materiales aceptables de baja resistividad

La tierra de moldeo normalmente, es un material de relleno apropiado para rodear el electrodo enterrado. Para algunas situaciones, hay diversos materiales para rodear el electrodo enterrado y mejorar el suelo; estos son:

- **Bentonita**, es una arcilla color pardo, que es levemente acida, con un pH de 10,5. En terreno, puede absorber humedad del suelo circundante, ayudando a estabilizar la impedancia del electrodo en todo el año. Tiene una baja resistividad de 5 Ohm–metro aproximadamente y no es corrosiva; compactándose cómodamente y adhiriéndose robustamente.

- **Marconita**, es un concreto conductivo con resistividad de 2 Ohm-metro. Provoca poca corrosión con ciertos metales y tiene baja resistividad. Contiene una forma cristalina de carbón y el material global tiene bajo contenido de sulfato y cloruro.

Cuando este material se mezcla con concreto, su resistividad puede bajar tanto como a 0,1 Ohm-metro. Se utiliza para encerrar electrodos en perforaciones o en el interior de rocas o material duro.

- **Yeso**, conocido también como sulfato de calcio, se utiliza como material de relleno, ya sea solo o mezclado con Bentonita o con el suelo adyacente; es relativamente barato. Tiene baja resistividad (5-10 Ohm-metro aproximadamente). Es virtualmente neutro, con un pH entre 6,2 y 6,9. Además, ayuda a mantener una resistividad baja durante un tiempo largo, en áreas donde las sales existentes en los alrededores, se disuelven rápidamente por el movimiento del agua.

CAPÍTULO III

REQUISITOS DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS MÉDICOS

3.1. Introducción

Cuando hablamos de los equipos médicos, se puede manifestar que la posibilidad de electrocución es mayor en los hospitales que en otros lugares, por tener dos tipos de personas: los que manipulan los equipos como parte de su actividad normal y los pacientes que están sometidos a tratamientos, los mismos que están conectados a tierra debido a la transpiración y por el uso de una cama de armazón metálico.

La conexión a tierra de los equipos eléctricos- electrónicos es pretendida tanto por seguridad como punto de referencia al sistema. Entre todos los componentes del sistema y tierra debe existir una perfecta equipotencialidad. Pues, en el caso de hospitales las puestas a tierra son el seguro de vida de los pacientes.

En ciertos hospitales se encuentran sistemas de puesta a tierra de una referencia general aislada (varillas individuales) la cual es insegura. Una apropiada conexión a tierra y equipotencialidad de los elementos del sistema garantizan una alta confiabilidad de operación. Basados en la complejidad de los sistemas de puesta a tierra, las soluciones que se den a ellos deberán ser específicas y adaptadas a los requerimientos de instituciones locales y a ciertas características de operación e instalación.

3.2. Corriente Eléctrica en Medicina

3.2.1. Reseña histórica del uso Médico de la Electricidad

En 1799, Volta fabrica la llamada "Pila de Volta" observando que la contracción muscular se originaba en los instantes de conmutación de la batería. Dos años después,

Ritter experimenta con baterías en serie y descubriendo lo que se conoce como acomodación muscular. En 1810, Bell descubre las raíces nerviosas anteriores insensibles y las raíces posteriores sensibles, que años más tarde Magendie establece la diferencia entre nervios sensitivos y motores. Los trabajos en 1825 de Sarlandiere fueron destacados, quien experimentó la electropuntura. En esa misma época, Duchenne de Boulogne consigue estimular los músculos sin perforar la piel, a través de electrodos recubiertos de tela.

En 1838 Carlo Mattenci, demuestra el origen muscular de las corrientes eléctricas. En estos años Chauveau y Benner introducen el método monopolar de estimulación. En 1878, Carlos J. Finlay da a conocer sobre los principios de la electroterapia y su aplicación. Por esta época, Du Bois-Reymond averigua la dependencia en el tiempo de la estimulación eléctrica y descubre la corriente de acción de los músculos y nervios. Nernst en 1899 publica una estimulación con corriente alterna y en 1908 una estimulación con impulsos individuales. Finalmente y para terminar con esta historia, en 1904, Gildermeister, Bourignon y Lapique descubrieron la dependencia entre estimulación eléctrica, intensidad de corriente y duración.

3.2.2. Corrientes de estimulación en el Diagnóstico

Cuando se efectúan mediciones para el análisis sobre músculos y nervios, es con el objetivo de establecer la extensión y localización de lesiones y establecer parámetros para el tratamiento.

3.2.3. Efectos de la estimulación Eléctrica Artificial

La utilización de corrientes de estimulación en el diagnóstico y la terapia, se basa en que la despolarización de las células y los nervios puede inducirse, usando externamente energía eléctrica. Dicha despolarización sucede cuando el potencial a través de la membrana está disminuyendo.

Los estimuladores tendrán parámetros como: intensidad de corriente, tiempo de utilización y dirección de la corriente. Esto se ilustra en la figura 3.1.

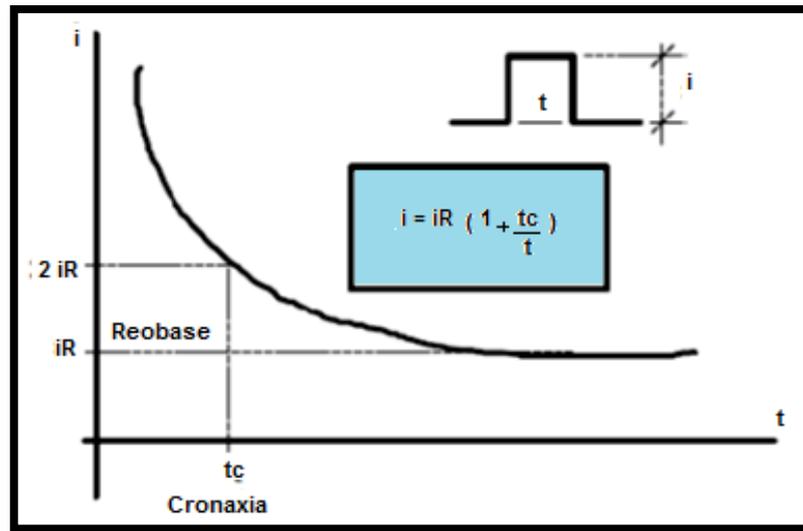


Figura 3.1. Curva de excitabilidad de las fibras nerviosas.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 120) [ref. 04 de mayo de 2013]

Fuente: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/la_corriente_electrica_en_medicina.pdf

Cuando se usa corriente directa, se debe tener en cuenta:

- “Si la intensidad de corriente es suficiente para efectuar la despolarización, cierta duración del estímulo es requerida, esta duración es el tiempo de utilización (t).
- Una duración de estímulo dado, requiere de un mínimo de corriente para lograr la estimulación de la célula. La magnitud de esta corriente es llamada corriente umbral (i).
- Si la duración del estímulo es prolongada, la corriente de estimulación tiende a un valor mínimo, el umbral básico o reobase (iR).
- La relación general de la corriente umbral (i) y el tiempo de utilización (t) está dada por $i = iR (1 + tc / t)$.⁴

⁴ (VILLAMIZAR PINZON. Javier. (2010). Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. Colombia. pág.120. Revisado el 04 de mayo de 2013 desde Internet: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/la_corriente_electrica_en_medicina.pdf

En donde t_c es el tiempo de utilización, que tiene una corriente umbral igual a dos veces la corriente de reobase, conocido como cronaxia.

3.2.4. Terapia con estimulación de Corriente

Tratamiento con corriente directa.- se efectúa sobre el cuerpo, produciendo una alteración en el ordenamiento iónico. Los efectos son:

- Electrólisis, la corriente es iónica.
- Electroforésis, tienen cargas de frontera positiva y van hacia al cátodo.
- Electroósmosis, en sistemas que contienen cargas superficiales, en el que puede suceder un corrimiento de fluido a través de las membranas.

El tratamiento con corriente directa tiene consecuencias sobre las fibras motoras, mostrándose en un aumento de la excitabilidad a los estímulos exógenos y endógenos. Además hay efecto sobre las fibras nerviosas sensoriales, disminuyendo su excitabilidad, exclusivamente en el mejoramiento del dolor.

3.3. Clasificación de los Equipos orientado a Riesgos

Se efectúa la diferenciación o clasificación de los equipos en los hospitales basándose en el nivel de riesgo, el mismo que es difícil de evaluar. Depende principalmente este nivel riesgo de la tarea que cumpla el equipo; por ejemplo: equipos que soportan la vida del paciente o equipos de monitoreo del paciente en momentos críticos.

Además, hay la posibilidad de que un igual tipo de equipo pueda ser utilizado en dos aplicaciones diferentes, por lo que su nivel de riesgo no es el mismo y depende de la aplicación que se le da al equipo. Se diferencia el equipamiento mediante tres niveles de riesgos:

3.3.1. Riesgo Alto

Los equipos de alto riesgo, son los que soportan la vida del paciente, los equipos de resucitación y aquellos que en su funcionamiento erróneo puedan ocasionar daños irreversibles a los pacientes o al personal médico o paramédico que lo manipulan. Dentro de este grupo tenemos: ventiladores y unidades de anestesia, monitores de apnea (neonatal), monitores fetales, desfibriladores, capnómetros, equipos de electrocirugía, analizadores y monitores de oxígeno, monitores fisiológicos y sistemas de monitoreo, ventiladores resucitadores, entre otros.

3.3.2. Riesgo Medio

Los equipos de medio riesgo, son los que en un mal funcionamiento, ausencias o fallo pueden ocasionar un impacto sobre el paciente, sin provocar de inmediato severos daños al paciente. Encontramos aquí equipos para el diagnóstico, equipamiento de laboratorio clínico y sistemas de ultrasonido de diagnóstico. Dentro de este grupo tenemos: analizadores de PH/Gas en sangre, centrífugas, equipos de medición de presión sanguínea, endoscopios, electrocardiógrafos, electroencefalógrafos, transductores de presión, analizadores de funciones cardíacas, reguladores, laparoscopios, calentadores, entre otros.

3.3.3 Riesgo Bajo

Los equipos de bajo riesgo, son los que en un mal funcionamiento, accidente o fallo no ocasionan graves consecuencias. Encontramos aquí los termómetros electrónicos, ultrasonidos terapéuticos, etc. Dentro de este grupo tenemos: aspiradores, equipos de diatermia, receptáculos eléctricos, balanzas electrónicas, estimuladores, microscopios quirúrgicos, monitores de temperatura, mesas quirúrgicas, entre otros.

3.4. Seguridad Eléctrica en Equipos Médicos

Se deben realizar pruebas de seguridad eléctrica a equipos que existen en las áreas hospitalarias, puesto a que hay diferencias elementales en el tipo de aislamiento y el peligro del paciente.

En aplicaciones médicas, no se puede asegurar un riesgo nulo en el uso del equipo, pero con una apropiada utilización reduce los riesgos eléctricos y aumenta la seguridad del paciente.

Los principales motivos de accidentes en hospitales son:

- Cableado incorrecto
- Equipos en mal estado
- Corrientes de fuga en los equipos

Existen recomendaciones, normas, códigos y reglamentos que se deben cumplir para que la seguridad física de los pacientes esté asegurada desde las constituciones de cada país. Por ejemplo, las normas más aceptadas a nivel mundial son las expuestas por Comisión Electrotécnica Internacional o IEC.

El control de seguridad eléctrica de equipos médicos debe ser continuo, ya que es de vital importancia para la seguridad de los pacientes que están expuestos a peligros eléctricos. Las normas de seguridad eléctrica son aplicables además, en ambientes donde existan equipos que funcionen con corriente eléctrica.

3.4.1. Shock Eléctrico

- El elemento esencial es la corriente; que es la circulación de electricidad a través del tejido animal.
- La proporción de la corriente con el voltaje y la resistencia, está dada por la Ley de Ohm.

- Los riesgos asociados con el shock eléctrico, aumentan con la magnitud de corriente que circula por el cuerpo.
- La corriente eléctrica que pasa por el cuerpo puede ocasionar quemaduras, reacciones musculares involuntarias, entre otros.

El Shock Eléctrico se deriva en: Macro Shock y Micro Shock.

3.4.1.1 Macro Shock

Implica el paso de corriente dentro y fuera del cuerpo a través de la piel; esto se da cuando una persona entra en contacto simultáneamente con los dos conductores eléctricos, el activo y el neutro o dos activos a diferentes potenciales. Esto se ilustra en la figura 3.2., aclarando que en a) Chasis no conectado a masa. b) Chasis del equipo conectado a masa.

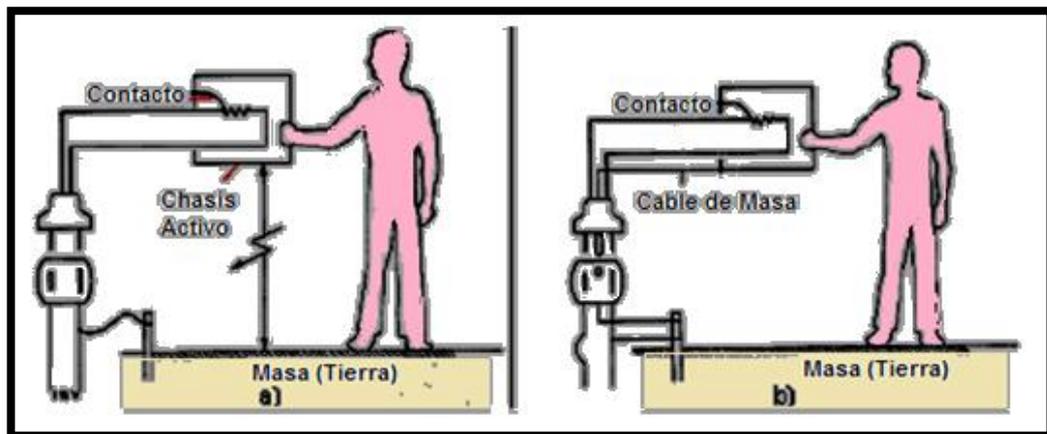


Figura 3.2. a. b. Riesgos de Macro Shock.

a. b. (VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 29) [ref. 04 de mayo de 2013]

Fuente:

<http://www.ate.uniovi.es/14005/documentos/mas/seguridad/TraduccionWebster%20seguridad%20electronica.pdf>

3.4.1.2 Micro Shock

Implica el paso de la corriente que entra y sale o viceversa directamente por el corazón, y se da cuando el acople capacitivo entre el cable activo y la caja en el equipo eléctrico,

formará corrientes de valores suficientemente grande como para presentar este riesgo. Esto se ilustra en la figura 3.3.

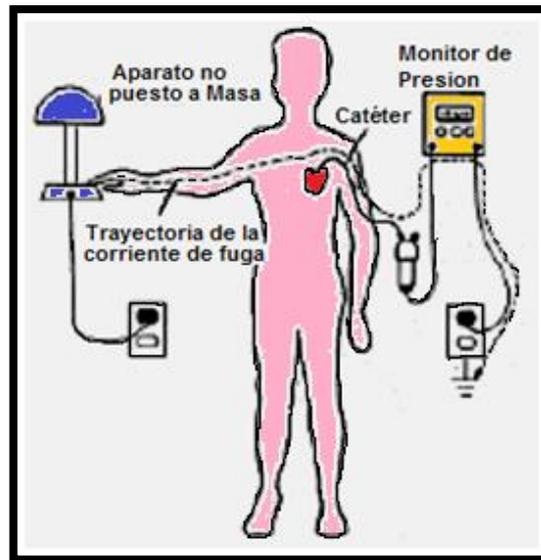


Figura 3.3. Riesgo de Micro Shock, debido a corriente de fuga de equipo médico.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 29) [ref. 04 de mayo de 2013]

Fuente:

<http://www.ate.uniovi.es/14005/documentos/mas/seguridad/TraduccionWebster%20seguridad%20electronica.pdf>

Causas: Pueden provocar situaciones de riesgo las siguientes:

- Falla o ruptura del conductor de puesta a tierra.
- Equipos conectados a diferentes potenciales de masas.
- Superficies metálicas juntas al paciente y no enlazadas a tierra.
- Equipos alimentados a baterías.

3.4.2. Corrientes de Fuga

Es un peligroso flujo de electricidad, mediante aisladores utilizados para separar los conductores eléctricos y se originan por el acoplamiento capacitivo (debido a que éstos son superficies conductoras separadas por un dieléctrico) e inductivo (por la producción de campo magnético). Además, las corrientes de fuga se pueden originar por:

- Acoplamientos electromagnéticos.
- Errores de aislamiento en cables.
- Errores del sistema eléctrico y de los equipos electrónicos propiamente, aunque trabajen bien.

A continuación describiremos varios motivos por los que puede producir corrientes de fuga:

- **Corriente de fuga del chasis:** Es la que fluye del chasis mediante un camino conductor a tierra, pero no por el conductor de protección. Esto se ilustra en la figura 3.4.

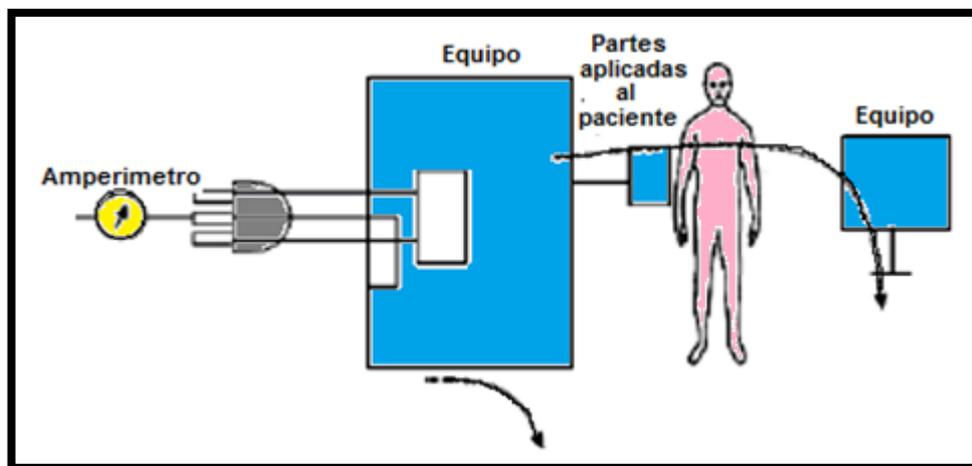


Figura 3.4. Corriente de fuga del chasis.

(SALAO, David y TINOCO, Jaime. Diseño y Construcción de un Módulo medidor de Corrientes de Fuga y Analizador de Tomacorrientes en Instalaciones Médicas. 2012. pág. 38) [ref. 06 de mayo de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.

- **Corriente de fuga a tierra:** Es la que se mide a través del conductor de protección o puesta a tierra desde la red. Esto se ilustra en la figura 3.5.

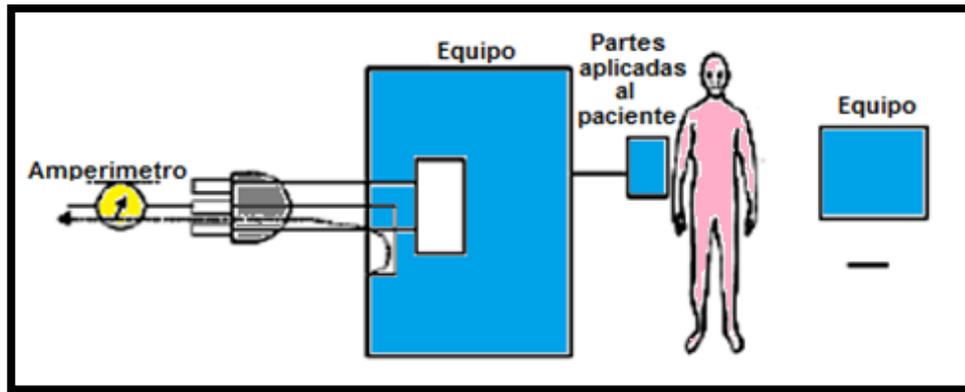


Figura 3.5. Corriente de fugas a tierra.

(SALAO, David y TINOCO, Jaime. Diseño y Construcción de un Módulo medidor de Corrientes de Fuga y Analizador de Tomacorrientes en Instalaciones Médicas. 2012. pág. 38) [ref. 06 de mayo de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.

- **Corriente de fuga del paciente:** Es la que fluye de una parte aplicada del equipo al paciente, a través de su cuerpo, a tierra. Esto se ilustra en la figura 3.6.

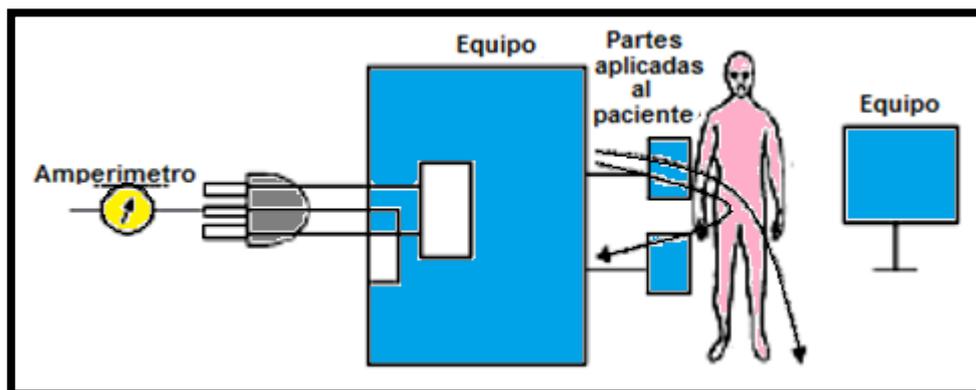


Figura 3.6. Corrientes de fuga del paciente.

(SALAO, David y TINOCO, Jaime. Diseño y Construcción de un Módulo medidor de Corrientes de Fuga y Analizador de Tomacorrientes en Instalaciones Médicas. 2012. pág. 39) [ref. 06 de mayo de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.

- **Corriente auxiliar del paciente:** Es la que fluye a través del paciente entre aparatos aplicados en funcionamiento normal, sin originar resultados fisiológicos. Esto se ilustra en la figura 3.7.

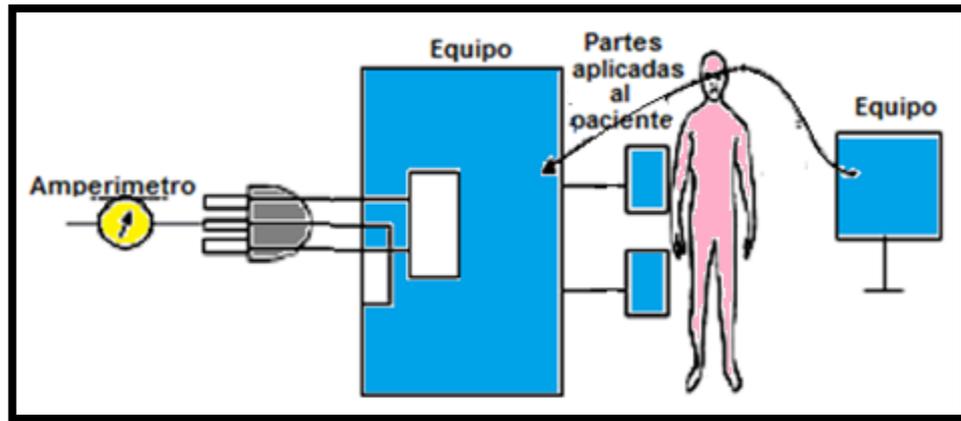


Figura 3.7. Corriente auxiliar del paciente.

(SALAO, David y TINOCO, Jaime. Diseño y Construcción de un Módulo medidor de Corrientes de Fuga y Analizador de Tomacorrientes en Instalaciones Médicas. 2012. Pág. 40) [ref. 06 de mayo de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.

- **Corriente funcional del paciente:** Es la fluye a través del paciente entre aparatos aplicados en funcionamiento normal, originando un efecto fisiológico. Esto se ilustra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Corrientes de fuga de primer fallo para diferentes equipos, en mA.

Camino de la corriente	Tipo B		Tipo BF		Tipo CF	
	FN	1er fallo	FN	1er fallo	FN	1er fallo
Fugas a tierra	0.5	1	0.5	1	0.5	1
Fugas del chasis	0.1	0.5	0.1	0.5	0.01	0.05
Fugas del paciente con la red en la entrada y salida de señal	—	5	—	—	—	—
Fugas del paciente con la red en una parte aplicada al paciente	—	—	—	5	—	0.05
Corriente Auxiliar	0.01	—	0.01	—	—	—
Corriente de paciente	0.1*	0.5	0.1*	0.5	0.01	0.5
* para pletismografía de impedanci			F.N.= Funcionamiento Normal			

(VILLAMIZAR PINZON, Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 142) [ref. 06 de mayo de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones

Desde el punto de vista de la seguridad, se debe evitar o minimizar el peligro de descarga eléctrica del paciente o del personal que pueda entrar en contacto con él.

Medidas de protección. Las medidas de protección que debe tomar el paciente y el personal del hospital son:

- La primera barrera es la piel.
- Clasificar según el tipo de riesgo a los equipos médicos.
- Clasificar las zonas hospitalarias para saber cual es el riesgo.
- Supervisión cada seis meses de las corrientes de fuga de los equipos eléctricos y electrónicos.
- Clasificación de la información y uso de reportes.

Existen organismos e instituciones que establecen los niveles de seguridad de los equipos y comprobar que estos cumplan antes de aprobarlos. Entre ellos están:

- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).
- IEC (Comisión Electrotécnica Internacional).
- IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).

NORMA IEC

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) estableció los estándares sobre la seguridad para equipos médicos. En 1977, se publicaron sus requerimientos generales y desde esa fecha han ido mejorando.

3.5. Clasificación de los Equipos Médicos

Se establecen según la norma IEC, la siguiente clasificación para los equipos médicos según su capacidad de generar descargas eléctricas. Esta clasificación dependen de: la protección utilizada y del nivel de protección.

3.5.1. Según la Protección Utilizada

3.5.1.1. Clase I

Estos equipos, en que la protección no se consigue sólo del aislamiento básico, sino que contienen precauciones auxiliares con una conexión de forma permanente de las partes conductoras accesibles al conductor de tierra, para no estar a elevada tensión en caso de error de aislamiento. Esto se ilustra en la figura 3.8., aclarando que en a) En trazo grueso, describe a esta clase. b) Circuito equivalente.

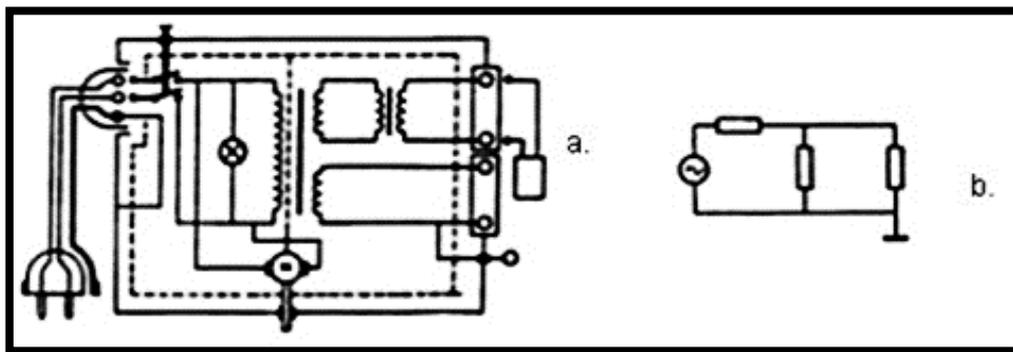


Figura 3.8. a. b. Equipo de Clase I.

a. b. (BAREA NAVARRO. Rafael. Tema 2, Seguridad Eléctrica. 2010. pág. 23) [ref. 15 de mayo de 2013]

Fuente: <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%20%20-%20seguridad%20elctrica.pdf>

3.5.1.2. Clase II

Estos equipos, en que la protección no recae sólo sobre el aislamiento básico, sino que contiene un doble aislamiento o aislamiento reforzado, sin existir una puesta a tierra de seguridad de provisión. En esta clase hay tres tipos generales de equipos: los que tienen una cubierta aislante, los de cubierta metálica y los mixtos. La protección de esta clase, recae sobre el parámetro de la impedancia de aislamiento. Esto se ilustra en la figura 3.9., aclarando que en a) En rayado, describe a esta clase. b) Circuito equivalente.

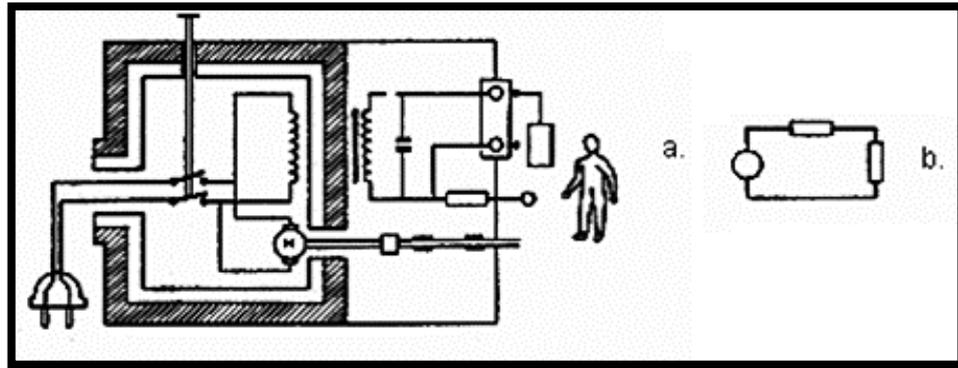


Figura 3.9. a. b. Equipo de Clase II.

a. b. (BAREA NAVARRO. Rafael. Tema 2, Seguridad Eléctrica. 2010. pág. 24) [ref. 15 de mayo de 2013]

Fuente: <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%20%20-%20seguridad%20elctrica.pdf>

3.5.1.3. Clase III

Estos equipos, en que la protección consiste en alimentar a tensiones de seguridad muy bajas, por lo que no se formarán tensiones en el equipo mayores que ésta. La protección de esta clase recae sobre el parámetro de la tensión de alimentación. Esto se ilustra en la figura 3.10., aclarando que en a) En trazo grueso, caracteriza a esta clase. b) Circuito equivalente.

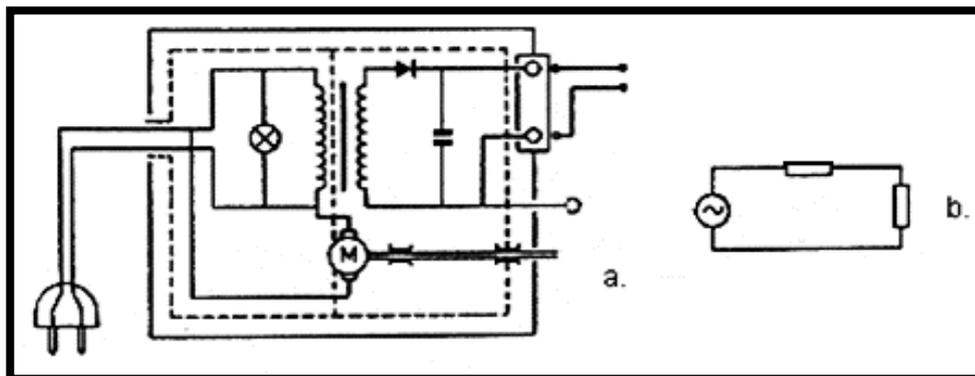


Figura 3.10. a. b. Equipo de clase III.

a. b. (BAREA NAVARRO. Rafael. Tema 2, Seguridad Eléctrica. 2010. pág. 24) [ref. 15 de mayo de 2013]

Fuente: <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%20%20-%20seguridad%20elctrica.pdf>

3.5.2. Según el Nivel de Protección

3.5.2.1. Tipo B

Son todos los equipos de las clases I, II, III o alimentados internamente, que proporcionen un alto grado de protección respecto a corrientes de fugas y adecuada conexión de tierra. Según la norma IEC, todos los equipos que no incluyan una parte directamente aplicada al paciente, deberán ser de este tipo.

3.5.2.2 Tipo BF

Son los de tipo B con la entrada o parte aplicada al paciente a través de circuitos flotantes. Según la norma IEC, todos los equipos que incluyan una parte aplicada al paciente, deberán ser de este tipo.

3.5.2.3 Tipo CF

Son todos los equipos de las clases I, II o alimentados internamente, que proporcionen un alto grado de protección en relación con corrientes de fugas y con entrada flotante. Según la norma IEC, todos los equipos en que se pueda formar un camino directo al corazón del paciente, deberán ser de este tipo.

3.5.2.4 Tipo H

Son todos los equipos de las clases I, II, III o alimentados internamente, que proporcionen protección al de las descargas eléctricas en comparación a las que se consiguen en los electrodomésticos.

3.6. Tipos de precauciones en Equipos

Se pueden establecer dos principios de las precauciones a la hora de diseñar y luego utilizar un equipo:

- **Principio de aislamiento del paciente:** Impide cerrar cualquier lazo de corriente a través del paciente, teniéndolo completamente aislado.
- **Principio de equipotencialidad:** Los equipos que entran en contacto con el paciente, no ostenten una diferencia de potencial entre masas mayores a 40mV en las áreas de cuidados o 500mV en las áreas generales.

En los tipos de precauciones en equipos, se pueden citar:

3.6.1. Cubiertas y Protecciones

El equipo se fabricará, de manera que haya una protección apropiada de las partes sometidas a tensión, contra el contacto accidental y con partes activas en caso de error de aislamiento básico. La protección durante el funcionamiento normal del equipo deberá mantenerse. Este requisito debería cumplir cualquiera de los siguientes métodos:

- La parte aplicable al paciente, está alejada de las partes expuestas a tensión únicamente a través de un aislamiento básico, pero posee una toma de tierra de protección y posee una baja impedancia interna a tierra.
- La parte aplicable al paciente, está alejada de las partes expuestas a tensión a través de una parte metálica, con una toma de tierra de protección.
- La parte aplicable al paciente, no está conectada a una toma de tierra protectora, pero está alejada de las partes expuestas a tensión a través de un circuito intermedio con toma de tierra de protección.
- La parte aplicable al paciente, está alejada de las partes sometidas a tensión a través de un aislamiento doble o reforzado.

Las impedancias de los dispositivos, impiden que el flujo a través de la parte aplicable de una corriente de fuga y una corriente auxiliar de paciente sean mayores a los valores permitidos. Esto se ilustra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Valores admisible de corriente de fuga y auxiliar de paciente, en mA.

Corriente	Tipo B		Tipo BF		Tipo CF		
	c.n.	c.p.d.	c.n.	c.p.d.	c.n.	c.p.d.	
Corriente de fuga a tierra general	0.5	1 ¹	0.5	1 ¹	0.5	1 ¹	
Corriente de fuga a tierra para equipos (I y III)	2.5	5 ³	2.5	5 ¹	2.5	5 ¹	
Corriente de fuga a tierra para equipos (II)	5	10 ³	5	10 ¹	5	10 ¹	
Corriente de fuga de la envolvente	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5	
Corriente de fuga de paciente	0.1	0.5	0.1	0.5	0.01	0.05	
Corriente de fuga de paciente (tensión de alimentación en la parte de entrada de señal o en la parte de salida de señal)	—	5	—	—	—	—	
Corriente de fuga de paciente (tensión de alimentación en la parte aplicable)	—	—	—	5	—	0.05	
	c.d.	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05
Corriente auxiliar de paciente	c.a.	0.1	0.5	0.1	0.5	0.01	0.05

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 133) [ref. 15 de mayo de 2013]

Fuente: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/la_corriente_electrica_en_medicina.pdf

La corriente de fuga y la corriente auxiliar de paciente, no deberían ser mayores a los límites para condiciones normales. La única condición de primer defecto, para la corriente de fuga a tierra, es el impedimento de uno de los conductores de alimentación, uno por uno.

3.6.2. Aislamiento e impedancias de protección

Las piezas del equipo aplicadas al paciente, se aislarán de las partes sometidas a tensión y en especial de la red eléctrica. Lo anterior se puede conseguir mediante: aislamiento básico y puesta a tierra, protegiendo la parte del equipo aplicada con un conductor a tierra; con otro circuito de puesta a tierra, se puede alejar la parte aplicada del equipo por doble aislamiento, con impedancias de protección instaladas en los sitios correctos y la utilización de amplificadores de aislamiento.

3.6.3. Puesta a Tierra y Equipotencialidad

Las partes conductoras accesibles del equipo deberán conectarse a tierra. Cuando se conecta el equipo a la red, no hacerlo con extensiones del cable de alimentación, pudiendo así crecer la resistencia del tercer electrodo.

Las prevenciones de seguridad aplicadas con mayor frecuencia, tienen el objetivo de asegurar que:

- No existan diferencias de potencial entre los objetos que entren en contacto con el paciente y que los pacientes no entren en contacto con ningún objeto puesto a masa o conductor.
- Se tomen medidas para disminuir las corrientes de fuga menores a $10\mu\text{A}$ y así disminuir el riesgo de Micro Shock.

3.7. Requisitos generales para Puesta a Tierra de Equipos Médicos en nuestro País

En nuestro país, los requisitos generales para la puesta a tierra de los equipos médicos, se basa específicamente con la norma IEC. Puesto que los equipos especificados para enlazarse a una fuente MBTSM (fuente de Muy Baja Tensión de Seguridad para aplicaciones Médicas) solamente pueden cumplir con los requisitos de esta norma a ciertas corrientes de fuga admisibles. La corriente de fuga de la envolvente de estos equipos y de aquellos alimentados internamente, serán medidas.

En los equipos de Clase I, la corriente de fuga de la envolvente se medirá solamente:

- *“A tierra, desde cada parte si existe de la envolvente no conectada a una toma de tierra de protección.*
- *Entre partes de la envolvente no conectadas a una toma de tierra de protección, si es que existen.*

La corriente de fuga de paciente deberá ser medida:

- *En equipos de Tipo B, desde todas las conexiones de paciente conectadas entre sí o con las partes aplicables cargadas de acuerdo con las instrucciones del fabricante.*
- *En equipos de Tipo BF, desde y hacia todas las conexiones de paciente de cada función de la parte aplicable conectadas entre sí o con las partes aplicables cargadas de acuerdo con las instrucciones del fabricante.*
- *En equipos de tipo CF, desde y hacia cada conexión de paciente por turno.”*

5

3.7.1. Condiciones de Primer Defecto o Falla

La corriente de fuga: a tierra, de la envolvente, de paciente y la corriente auxiliar de paciente se miden bajo las condiciones:

- La desconexión de cada uno de los conductores de alimentación, uno por uno.
- La desconexión del conductor de protección de tierra. Si se define un conductor de protección de tierra fijo e instalado permanentemente, esto no se realizará.

⁵ (VILLAMIZAR PINZON. Javier. (2010). Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. Colombia. pág.143. Revisado el 18 de mayo de 2013 desde Internet: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/la_corriente_electrica_en_medicina.pdf

CAPÍTULO IV

VERIFICACIÓN DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS MÉDICOS EN EL HOSPITAL DE GUALACEO

Este capítulo, va encaminado especialmente en la aplicación de este tema monográfico, como es la verificación de los Sistemas de Puesta a Tierra de los equipos médicos del hospital Moreno Vázquez del cantón Gualaceo (figura 4.1), con el objetivo de medir valores y según resultados obtenidos, hacer una comparación con valores de seguridad establecidos mediante normas, y así proporcionar recomendaciones de un adecuado y eficiente SPT para su mantenimiento o implementación a futuro.



Figura 4.1. Hospital Moreno Vázquez del Cantón Gualaceo.

4.1. Pruebas a Equipos Médicos

La Metodología para la Evaluación de Equipo Biomédico (MEEB), tiene tres campos de evaluación, el técnico (T), con un 45% del total de la evaluación; el económico (E) con 30% y el clínico (C) con 25%.

Evaluación Técnica: Evalúa aspectos concernientes con el ámbito técnico y funcional del equipo, también algunos aspectos relacionados con la obsolescencia y la estandarización. Es el más importante campo de la evaluación.

Evaluación Clínica: Evalúa aspectos subjetivos, se realiza su cuantificación por: el desempeño del equipo en su aplicación, el grado de conocimiento del usuario sobre el funcionamiento del equipo, y el cumplimiento respecto a las expectativas del área en la que se desempeña.

Evaluación Económica: Evalúa aspectos relacionados con los costos implícitos en el uso del equipo, a través de tres indicadores: análisis de reemplazo, costo de mantenimiento sobre costo de sustitución y costo de operación del equipo evaluado sobre costo de operación del equipo sustituto.

La verificación del equipo médico es una tarea crítica de testificar que los dispositivos médicos funcionen correctamente para pacientes, personal de operación y técnicos. Es por esto, que existen pruebas a equipos para garantizar un adecuado funcionamiento. Estos son:

4.1.1. Resistencia entre Chasis y Terminal de Tierra

La resistencia entre el terminal de tierra y el chasis del equipo no debe ser mayor a los 0.15Ω . Esto se ilustra en la figura 4.2.

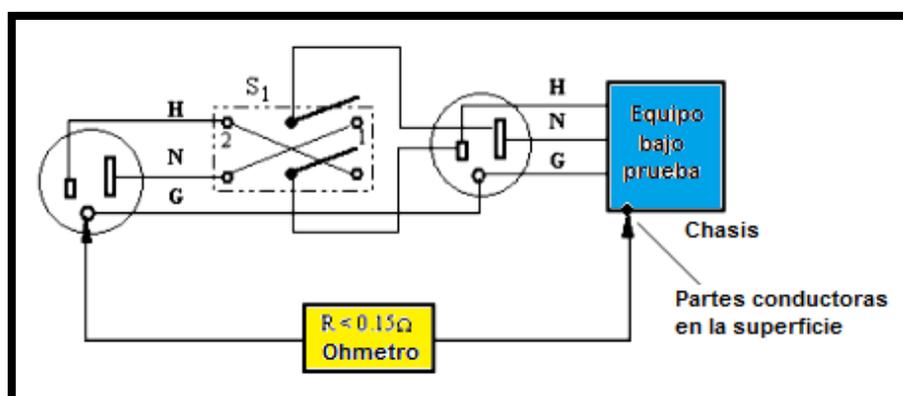


Figura 4.2. Esquema de medición de resistencia entre terminal de tierra y chasis.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 122) [ref. 04 de junio de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.

4.1.2. Corrientes de Fuga del Chasis

No debe ser mayor a 500mA, en equipos que trabajen fuera de las áreas de pacientes y para equipos que están en la cercanía de pacientes, solo con fugas de hasta 100mA. Esto se ilustra en la figura 4.3.

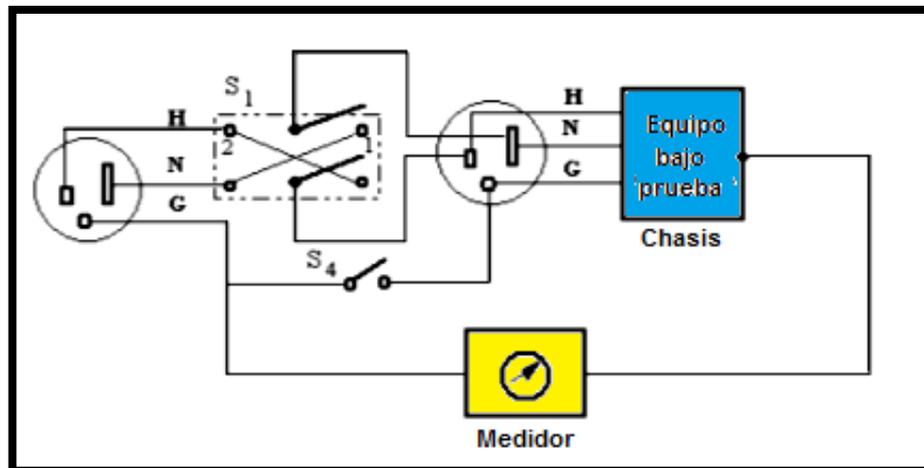


Figura 4.3. Circuito para medir las corrientes de fugas del chasis.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 123) [ref. 04 de junio de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.

4.1.3. Corriente de Fuga a través de Terminales de Paciente

La corriente de fuga en las partes conductoras o terminales aplicados al paciente es importante. Para equipos no aislados, el límite en la corriente de fuga es de 50mA; para equipos aislados, el límite máximo será de 10mA. Esto se ilustra en la figura 4.4.

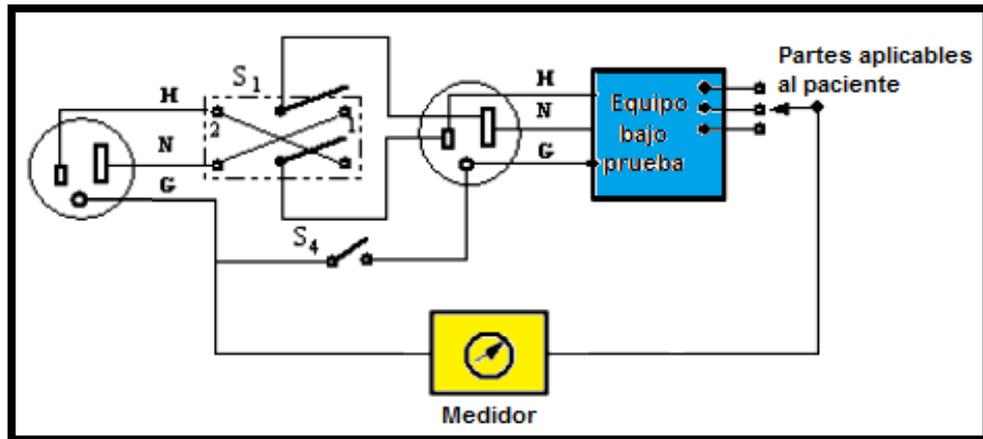


Figura 4.4. Circuito para medir las corrientes de fuga a través de paciente.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 124) [ref. 04 de junio de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.

Además, la corriente de fuga entre dos terminales en contacto con el paciente o entre cualquier terminal y los terminales restantes, debe ser medida para garantizar que la corriente de fuga para equipos no aislados, no sea mayor a 50mA y para equipos aislados no sea mayor a 10mA. Esto se ilustra en la figura 4.5.

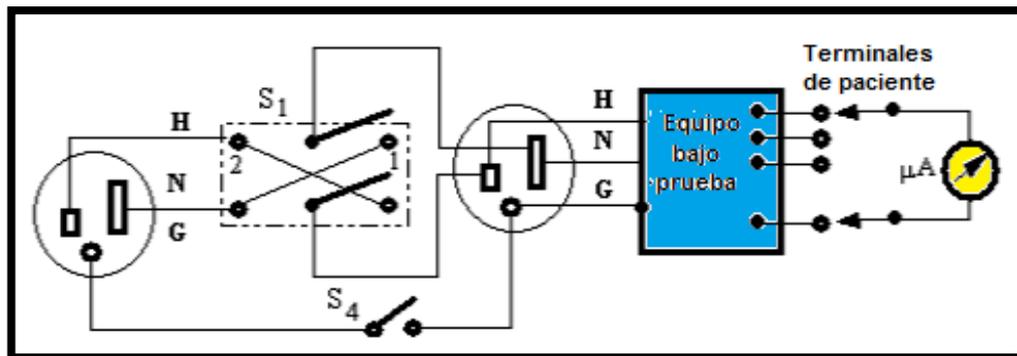


Figura 4.5. Circuito de medida para la corriente de fuga entre terminales de paciente.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 124) [ref. 04 de junio de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.

La corriente de fuga que circularía entre el voltaje de línea sobre el paciente debe ser menor de 20mA y se puede medir a través del circuito que se ilustra en la figura 4.6.

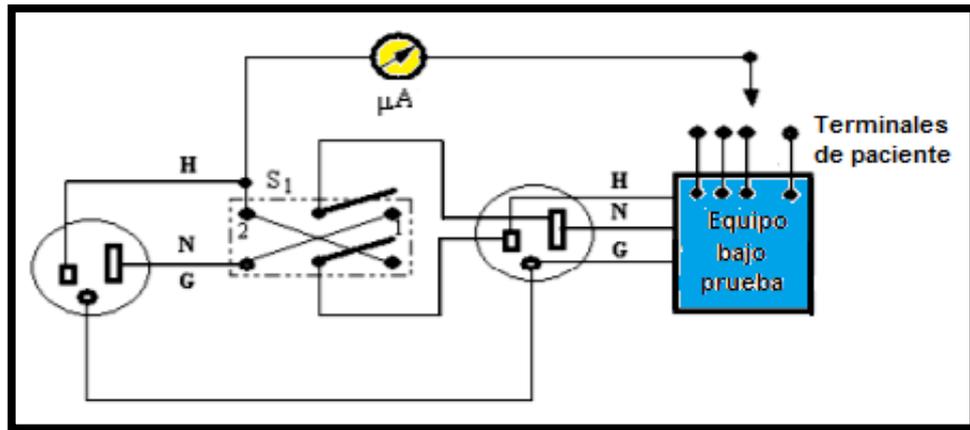


Figura 4.6. Circuito para medir la corriente de fuga que circularía si apareciera el voltaje de línea sobre el paciente.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 125) [ref. 04 de junio de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.

4.1.4. Corriente de Fuga a través del Conductor de Tierra

Un circuito para medir la corriente de fuga a través del conductor de tierra o tercer conductor, se ilustra en la figura 4.7.

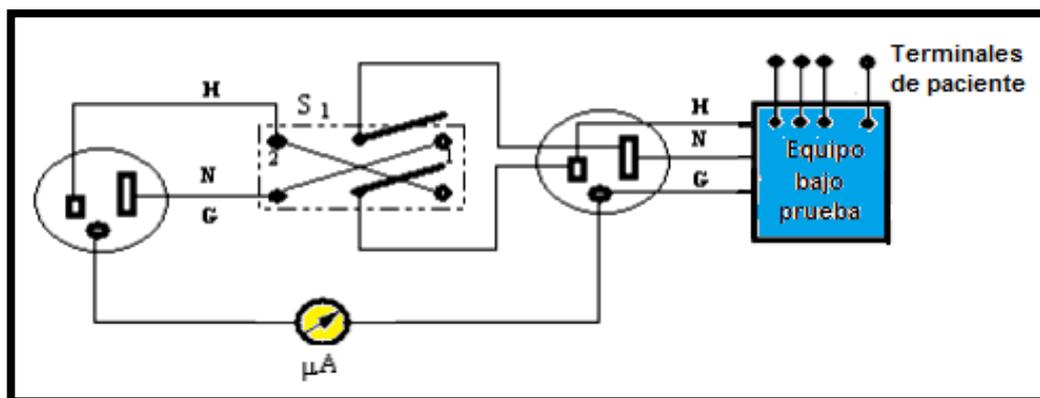


Figura 4.7. Circuito para medir la corriente de fuga a través del tercer conductor.

(VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. 2010. pág. 125) [ref. 04 de junio de 2013]

Fuente: Rodríguez, E. y otros. Seguridad eléctrica en el diseño de Equipos Electro-médicos Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.

4.2. Medición de la Resistividad del Terreno

¿Por qué determinar la resistividad del terreno? Conocer la resistividad del terreno es necesario para establecer el diseño de la conexión a tierra de instalaciones nuevas, y de esta manera, satisfacer las necesidades de resistencia de tierra. Es por esto que se debería encontrar un lugar con la menor resistencia posible para una adecuada aplicación de SPT.

Se sabe que la composición, la humedad y la temperatura influyen en la resistividad del terreno. Es difícil encontrar terrenos homogéneos y, su resistividad varía geográficamente y a diferentes profundidades. El contenido en humedad varía según la estación del año, varía por la naturaleza de las subcapas de tierra y la profundidad del nivel de agua subterránea. Dado que el terreno y el agua generalmente son más invariables en espacios más profundos, es recomendable que las varillas de toma a tierra se entierren lo más profundo posible. Es por eso, para que un sistema de conexión a tierra sea eficaz y adecuado, debe estar diseñado para soportar las peores condiciones posibles.

4.2.1. Medición de la Resistividad del Terreno en el Hospital de Gualaceo

Esta medición se realizó mediante la ayuda de un Medidor Digital de Resistencia a Tierra ETCR3000, que está especialmente diseñado y fabricado para la medición de campo, adoptando la última tecnología digital y micro-procesamiento, 3 polos o método de 2 polos para la medición de la resistencia de tierra. Posteriormente, se implantó una varilla de cobre de 1.20 metros y 5/8 de pulgada. Esto se ilustra en la figura 4.8.

Para medir la resistividad del terreno, inicié el comprobador ETCR3000 y obtuve el valor de la resistencia a tierra en Ohmios (R). Para que los valores sean más exactos, se tiene que realizar 3 mediciones con diferente separación (A) de los electrodos de corriente y voltaje, y así obtener un valor promedio para validar resultados.



Figura 4.8. Medidor Digital de Resistencia a Tierra ETCR3000.

(ETCR Electronic Technology Company. F-3F, No.4 Pengshang Zhifu Road, Jiahe, distrito de Baiyun, Guangzhou, Guangdong, China. 2010. pág. 1) [ref. 15 de junio de 2013]

Fuente: <http://www.etcrc.com/en/ETCR3000.html>

Para el cálculo de la resistividad del terreno, se empleará la fórmula $\rho = 2 \times \pi \times A \times R$ (en donde A es la distancia de los electrodos y R es el valor de resistencia medido del ETCR3000). Puesto que los electrodos de corriente y voltaje están enterrados a una profundidad insignificante en relación con la varilla de puesta a tierra, se emplea la fórmula antes mencionada por la explicación que se dio en el Capítulo 2. Esto se ilustra en la figura 4.9. De acuerdo a lo expuesto, tenemos:



Figura 4.9. Medición de la Resistividad del terreno.

A1 = 5 metros y,
R1 = 57 Ohmios

A2 = 7 metros y,
R2 = 57.1 Ohmios

A3 = 9 metros y,
R3 = 63.8 Ohmios

Por tanto, la resistividad del terreno sería:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 2 \times \pi \times A_1 \times R_1 & \rho_2 &= 2 \times \pi \times A_2 \times R_2 & \rho_3 &= 2 \times \pi \times A_3 \times R_3 \\ \rho_1 &= 2 \times 3.1416 \times 5 \times 57 & \rho_2 &= 2 \times 3.1416 \times 7 \times 57.1 & \rho_3 &= 2 \times 3.1416 \times 9 \times 63.8 \\ \rho_1 &= 1791 \, \Omega\text{m} & \rho_2 &= 2512 \, \Omega\text{m} & \rho_3 &= 3608 \, \Omega\text{m} \end{aligned}$$

Es por eso que tenemos: $\rho_T = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3}$

$$\rho_T = \frac{1791 + 2512 + 3608}{3} \qquad \rho_T = 2637 \, \Omega\text{m}$$

Se tiene que aclarar, que la resistividad del terreno, mejoraría en la toma de valores, con el enterramiento de una varilla más larga (1.80m aproximadamente) y de mayor sección, puesto que en partes más profundas del suelo, la compostura del mismo, mejora en cuanto a resistividad por la presencia de minerales, sales y humedad.

4.3. Medición de la Resistencia de Puesta A Tierra

Este punto, es similar al anterior, pues esta medición se realizó mediante la ayuda de un Medidor Digital de Resistencia a Tierra ETCR3000, obteniendo el valor de la resistencia a tierra en Ohmios (R). Para que los valores sean más exactos, se tiene que realizar 2 mediciones con diferente separación (A) de los electrodos de corriente y voltaje (según especificaciones del fabricante), cuyos valores tienen que ser aproximados. Esto se ilustra en la figura 4.10. Se tomó las medidas en tres sectores diferentes del hospital como: en el Transformador de distribución, en el Departamento de Imágenes y de Diagnóstico y, en el Hospital en general y Generador Eléctrico (auxiliar), con el objetivo de analizar cómo se está portando la instalación del SPT en la actualidad.



Figura 4.10. Medición de Resistencia de Puesta a Tierra.

4.3.1. En el Transformador de Distribución

Se tomaron los valores con una separación de electrodos de corriente y de voltaje de 5m, nos dio un valor de 0.54Ω , y con una separación de electrodos de corriente y de voltaje de 6m, nos dio 0.55Ω , aproximado al anterior. Esto se ilustra en la figura 4.11.



Figura 4.11. Medición de Resistencia de Puesta a Tierra en el Transformador de Distribución.

4.3.2. En el departamento de Imágenes y de Diagnóstico

Se tomaron los valores con una separación de electrodos de corriente y de voltaje de 5m, nos dio un valor de 0.32Ω , y con una separación de electrodos de corriente y de voltaje de 6m, nos dio 0.32Ω , igual al anterior. Esto se ilustra en la figura 4.12.



Figura 4.12. Medición de Resistencia de Puesta a Tierra en el Departamento de Imágenes y Diagnóstico.

4.3.3. En el Hospital en General y Generador Eléctrico (auxiliar)

Se tomaron los valores con una separación de electrodos de corriente y de voltaje de 5m, nos dio un valor de 0.93Ω , y con una separación de electrodos de corriente y de voltaje de 6m, nos dio un valor de 0.95Ω , aproximado al anterior. Esto se ilustra en la figura 4.13.

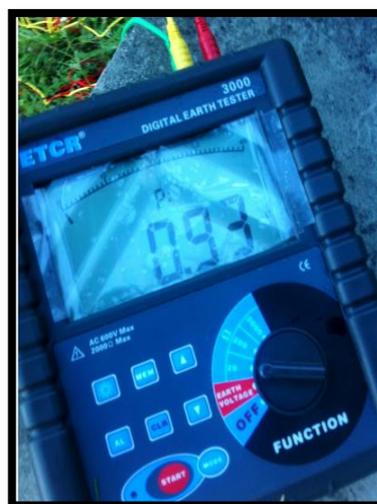


Figura 4.13. Medición de Resistencia de Puesta a Tierra en el Hospital en General y Generador Eléctrico.

4.4. Comparación de valores medidos según Normas de Seguridad

Para las instalaciones hospitalarias, el sistema de puesta a tierra debe ser extremadamente bueno, ya que debe garantizar la seguridad de los pacientes y del personal que hace uso de esas instalaciones como su desempeño laboral diario.

4.4.1. Resistividad del Terreno

Se realizó la toma de valores de la resistividad del terreno en el hospital, para saber de qué materiales está constituido; y en un futuro, darle un buen mantenimiento y adecuación del terreno antes de implantar un SPT. Es por esto, que mediante el valor obtenido anteriormente de la resistividad del terreno, y con la utilización de tabla 2.2, nos da como resultado:

$\rho_T = 2637\Omega m$, que equivale a un terreno con grava, arena, piedras con un poco de arcilla o suelos ricos, compuestos especialmente de arcilla, arena y material orgánico.

4.4.2. Resistencia de Puesta a Tierra

Las normas de seguridad en los hospitales, se basan generalmente en un aterrizado a tierra específico, de un valor aproximado entre 0.15Ω y 0.2Ω , sin exceder el mismo, ya que este valor está regulado por la norma IEC.

Según valores medidos en el Hospital de Gualaceo, tenemos la tabla 4.1, y nos muestra que en la actualidad tiene un cierto rango de error del valor medido con el instrumento, en relación con el valor recomendado por norma. Esto indica que esta institución no cuenta con las seguridades y garantías necesarias, teniendo que tomar alguna decisión estricta a futuro para el resguardo del personal y pacientes.

Tabla 4.1. Valores medidos del Hospital de Gualaceo.

DEPARTAMENTO	Valor Medido del Hospital con ETCR3000	Valor Recomendado por Norma IEC
Transformador de Distribución	0.54 Ω	0.2 Ω
Departamento de Imágenes y de Diagnóstico	0.32 Ω	0.2 Ω
Hospital en general y en el Generador Eléctrico	0.93 Ω	0.2 Ω

Se debe tomar en cuenta, que el hospital es antiguo, y fue creciendo con el tiempo y necesidades, teniendo ciertas varillas de tierra enterradas bajo concreto, en las cuales no se pudieron realizar las medidas correspondientes por no haber accesibilidad, dichas varillas pertenecen a la sala de emergencias del hospital; y de una forma no adecuada, se realizó una toma de valores con un voltímetro en un tomacorriente polarizado de la sala, entre el terminal de neutro y de tierra, dándonos un gradiente de voltaje de 1.26V entre ambos; lo cual, se puede tener un valor de referencia del sistema de puesta a tierra de una manera no técnica, pero suficiente para determinar que no es adecuada para este tipo de institución. Esto se ilustra en la figura 4.14.

**Figura 4.14.** Medición de Resistencia de Puesta a Tierra en un tomacorriente polarizado.

4.5. Recomendaciones para un adecuado funcionamiento de Equipos

Luego del análisis de las condiciones observadas y las mediciones realizadas, se considera que este punto es muy importante en el capítulo y sobretodo en el desarrollo de esta monografía, ya que con recomendaciones expuestas a continuación, será de alta importancia para el acondicionamiento y mantenimiento del sistema de puesta a tierra

del hospital Moreno Vázquez, el cual cuenta con varias fallas significativas, tomando en cuenta lo siguiente:

- Adquirir o alquilar constantemente un instrumento de medida de sistemas de puesta a tierra para el hospital, ya que con su empleo, se verificarán las instalaciones periódicamente.
- Hacer un estudio eléctrico de las instalaciones y archivarlas de alguna forma, ya que el hospital no cuenta con planos eléctricos desde tiempos atrás y así tener una localización inmediata de problemas.
- Efectuar un estudio de carga eléctrica en la institución, puesto que el transformador de distribución ya no abastece con facilidad las necesidades de los servicios que brinda, por su ampliación y crecimiento con el tiempo.
- Instalar las varillas de puestas a tierra más cerca unas de otras, ya que según su distribución en el terreno, no están adecuadamente instaladas, y así seguramente, mejoraría la protección a tierra.
- Adecuar y construir pozos de revisión para tener acceso fácil a varillas, conectores y conductores, ya sea para mantenimiento o medición, pues en la actualidad no cuentan con esta necesidad, dificultando la localización de cada uno de estos elementos.
- Efectuar el enterramiento de las varillas de puesta a tierra de 1.80m de cobre, lo más profundo posible, en zanjas grandes donde se pueda hacerlo con facilidad, para de esta forma, tener un mejor contacto con las partes más internas del suelo y mejorar la protección de los equipos.
- Realizar un mejoramiento y tratamiento del suelo constantemente con compuestos químicos necesarios (recomendando en primer lugar el gel “Benzoelectric” por su bajo costo y por su variedad en el mercado, además se suele utilizar el gel “Mejoramiento de tierra” recomendado por técnicos especializados en esta rama), pues mientras pasa el tiempo y por condiciones atmosféricas deterioran la protección existente.
- Pensar en una mejor distribución de los cables de puesta a tierra descubiertos que existen en el hospital, sobre todo aquellos que sirven de protección para equipos como bombas de gas, ya que pueden ocasionar daños al personal del hospital.

- No enterrar las varillas de tierra bajo concreto, ya que problematiza la medida de valores con equipos sofisticados para el estudio y mantenimiento de los sistemas de protección y de esta manera, evitar la utilización de equipos inadecuados con errores que van a obstaculizar la toma de decisiones.
- Usar suelda exotérmica para derivaciones existentes en el SPT; esta técnica es propia para estos tipos de instalaciones y evita el incremento de la resistencia de contacto por causa de empalmes defectuosos que se dan entre conductores, conductores y varillas, o entre conductores y superficies.
- Prescindir la utilización de conectores rotos o partidos para las uniones de conductores y varillas, con el fin de evadir pérdidas de protección y mitigar daños mayores.
- Evitar las instalaciones de tomacorrientes no polarizados; en ciertas partes del hospital se encontró la utilización de estos, los cuales pueden causar daños por falta de seguridad y garantías a los equipos que están conectados a ellos.
- Emplear canalizaciones para los conductor de puesta a tierra que van derivados entre unos y otros, ya que en la actualidad están descubiertos y están en contacto directo con tierra; con el paso del tiempo y expuestos a condiciones ambientales, el cobre se deteriora perdiendo sus características químicas.
- Realizar la instalación de luminarias en puntos específicos, sobretodo cerca del transformador de distribución, pues en horas en donde el sol no hace presencia, la visión se torna complicada para acceder a esos sitios de uso importante, y de alta seguridad y prevención.
- Utilizar en el hospital los sistemas de puesta a tierra dedicados o interconectados, ya que no cuenta con estos, sino en ciertas partes prevalece los sistemas de puesta a tierra separados o independientes que no son adecuados para este tipo de institución.
- Evitar la medida del sistema de puesta a tierra por caída de voltaje con un multímetro desde un toma corriente polarizado en alguna parte de la institución, sino con el empleo de instrumentos aptos que midan la resistencia a tierra, y así evaluar y analizar valores de medida reales para la garantía y seguridad del hospital.

CONCLUSIONES

- La investigación sobre reglamentos, características y parámetros de los Sistemas de Puesta a Tierra (SPT) sirven para proteger los aparatos eléctricos y electrónicos, pero el objetivo principal de este sistema, es el resguardo de la vida de los seres vivos que se encuentren en los diferentes lugares de la institución, ya que la corriente eléctrica puede ocasionar muchos problemas parciales o totales, e incluso hasta llegar a la muerte.
- Los conductores, electrodos de puesta a tierra, tipos de electrodos, configuraciones que se pueden realizar con ellos y como afectan estos a la resistencia del SPT, se consolido con la investigación para el entendimiento del tema en general, ya que dicha resistencia deben ser lo más baja posible en las condiciones climatológicas más desfavorables; con una vida útil de funcionamiento estimado para muchos años sin deteriorarse.
- El sistema de puesta a tierra de los equipos, necesitan la conexión intencional de carcasas o estructuras metálicas, logrando mantener una diferencia baja de voltaje entre cada una de ellas, con lo que se protege al personal de cualquier choque eléctrico. El buen diseño, correcta instalación, mantenimiento y monitoreo de estos sistemas, son necesarios para evitar incendios provocados por materiales volátiles o combustión de gases que posee un hospital, al tener un camino seguro para la circulación de corrientes de falla y descargas atmosféricas que pueden ocasionan problemas muy serios dentro de la institución.
- Es indispensable conocer el valor de su resistividad del terreno para hacer los calculos necesarios y saber de que esta constuido dicho terreno para mejorarlo adecuadamente. Pues como se dijo en el capitulo 2, el valor de la resistividad puede variar de acuerdo a ciertos factores, como: las estaciones del año, temperatura, humedad, sales disueltas y más factores importantes.

- Ningún método de medición de la resistividad del terreno y de la protección a tierra son 100% efectivos, pero no quiere decir que sean malos o defectuosos, sino que se debe realizar varias mediciones con cualquiera de los métodos mencionados en este documento, para obtener un valor promedio de las mediciones realizadas.
- El cumplir a cabalidad los reglamentos de seguridad eléctrica de los equipos médicos hospitalarios son muy importantes e indispensables mediante normas internacionales como la IEC que está vigente en nuestro país y en muchos del mundo; ellas tienen la finalidad de proteger las instalaciones de los equipos médicos y del personal que hacen uso diario de los servicios que brindan.
- En la parte práctica, se realizó las mediciones de la resistividad del terreno y de la puesta a tierra de equipos médicos en diferentes partes del hospital de Gualaceo, verificando si cumple con las normas establecidas, y si no es así, tomar en cuenta las recomendaciones y precauciones mencionadas anteriormente en este trabajo como en el capítulo 4.
- Los equipos médicos que posee el hospital Moreno Vázquez, se encuentran funcionando correctamente, dando servicios a la comunidad de manera eficiente, pero atraviesan por algunos problemas de seguridad de los sistemas de puesta a tierra, cuyos valores son inadecuados para la protección del personal. Entonces, por lo antes dicho, la institución no cumple con: el propósito del aterramiento siempre debe ser el de la seguridad y jamás deberá ser antecedido por el de funcionamiento.

RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta que los materiales con los que se realizará la construcción de un sistema de puesta a tierra deben ser de la mejor calidad y características específicas para llegar a un objetivo satisfactorio y así evitar gastos económicos innecesarios en el mantenimiento constante y reparación.
- Es importante primero el estudio del sitio en donde se implementará el sistema de puesta a tierra, para no tener problemas durante y después de su instalación, como lo son: las características del terreno, topología, resistividad, condiciones climáticas y más detalles que afectarían en la toma de decisiones.
- El personal técnico que trabaje en el hospital dando mejoramiento a equipos y mantenimiento de las instalaciones eléctricas, debe estar altamente capacitado para la operación y control de los equipos sin ningún inconveniente, además de estar preparado para resolver cualquier anomalía que se presente a diario dentro de las diferentes áreas de la institución.
- Seguir adecuadamente las recomendaciones de la sección 4.5 de este trabajo, pues así, se llegará a alcanzar una mejor protección y seguridad de los hospitales que fueron construidos antiguamente, como es el caso del hospital Moreno Vázquez del cantón Gualaceo y que con su crecimiento en servicios y necesidades, no se tomaron a tiempo las medidas necesarias para un funcionamiento a largo plazo.
- Recordar que un adecuado y eficiente SPT ayudan a conservar un ambiente libre de peligro, evitando sobretensiones peligrosas para el personal que se encuentra en el área de trabajo y de las demás personas que circulan alrededor del mismo, por lo que disminuye el riesgo a causas de sobretensiones y descargas atmosféricas.

- Para la toma de valores de la resistividad del terreno y de la protección a tierra de los equipos, se deben realizar mediante técnicas apropiadas y consideradas a nivel mundial o de configuraciones que proponen los fabricantes de los instrumentos, pues si no se acata lo antes dicho, pueden provocar muchos problemas de cálculo, de diseño y de construcción de los SPT.
- Verificar que los equipos y aparatos que se utilizan en la institución para el cuidado del paciente, cumplan con las normas y estándares de seguridad que establecen las instituciones a las cuales se acatan (como los de la norma IEC), dando como resultado un óptimo SPT.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. AGULLEIRO. Ignacio. Técnicas Modernas para la Medición de Sistemas de Puesta a Tierra en Zonas Urbanas. Argentina. [s.a.]. 49 páginas. [Revisado el 06 de abril de 2013].
- [2]. ALONSO. Jorge, DE ARQUER. Luis, BOKOR. Andrés y PEREZ. Alberto. Seguridad Eléctrica en Hospitales, Fundamentos de Bioelectrónica. España. [s.a.]. 26 páginas. [Revisado el 22 de abril de 2013].
- [3]. BAREA NAVARRO. Rafael. Tema 2, Seguridad Eléctrica. Argentina. 2010. 40 páginas. [Revisado el 15 de mayo de 2013].
- [4]. FLORES. José María. Ingeniería Hospitalaria, Guías de Trabajos Prácticos. Argentina. 2012. 101 páginas. [Revisado el 01 de abril de 2013].
- [5]. HILDEMARO BRICEÑO. Resistividad del Terreno. Venezuela. 2012. 29 páginas. [Revisado el 04 de mayo de 2013].
- [6]. MINDIOLA TORRES. Jorge. Diseño eléctrico del área de emergencia y servicios anexos de un hospital de última Generación. Ecuador. 2012. 117 páginas. [Revisado el 20 de enero de 2013].
- [7]. MONTENEGRO OROSTEGUI. Armando. Puesta a tierra, Instalaciones Eléctricas Hospitalarias. Colombia. 1998. 51 páginas. [Revisado el 22 de febrero de 2013].
- [8]. MUÑOZ SALAZAR. Karent. Manuel de Protocolos de Mantenimiento de equipos Biomédicos para el hospital Susana López De Valencia E.S.E. Colombia. 2008. 135 páginas. [Revisado el 15 de enero de 2013].
- [9]. ROJAS. Gregor. Manual de Sistemas de Puesta a Tierra. Venezuela. 2007. 35 páginas. [Revisado 04 de abril de 2013].
- [10]. SALAO. David y TINOCO. Jaime. Diseño y Construcción de un Módulo medidor de Corrientes de Fuga y Analizador de Tomacorrientes en Instalaciones Médicas. Ecuador. 2012. 178 páginas. [Revisado 06 de mayo de 2013].

[11]. SAMANIEGO ORDONEZ. Viviana. Construcción de un Prototipo didáctico para medir la resistividad del Terreno. Ecuador. 2008. 104 páginas. [Revisado el 27 de marzo de 2013].

[12]. UNIVERSIDAD DE ALCALA. Departamento de Electrónica. Tema 2, Seguridad Eléctrica. Argentina. España. [s.a.]. 40 páginas. [Revisado 15 de mayo de 2013].

[13]. VILLAMIZAR PINZON. Javier. Manual de Procedimientos en Seguridad Eléctrica para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. Colombia. 2010. 14 páginas. [Revisado el 04 de mayo de 2013].

Referencias Electrónicas

[14]. ETCR Specialize in R&D, manufacturing. Electronic Technology Company. China. 2010. 1 página. [en línea]: <http://www.etcrc.com/en/ETCR3000.html> [Revisado el 15 de junio de 2013].

[15]. IEC. International Electrotechnical Commission. Bienvenidos a la IEC., Suiza. 2011. 24 páginas. [en línea]: http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/about_iec/welcome_to_the_iec-s.pdf [Revisado 05 de enero del 2013].

[16]. ORTIZ POSADAS Y VERNET SAAVEDRA. Índice de prioridad de seguridad eléctrica para equipo médico (IPSEEM). México. 2007. 7 páginas. [en línea]: <http://www.medigraphic.com/pdfs/inge/ib-2007/ib071f.pdf> [Revisado 18 de mayo de 2013].

[17]. PACHECO, PIMENTEL, RODRIGUEZ, ORTIZ Y SALAZAR. Bioingeniería y Física Médica Cubana. Cuba. 2002. 5 páginas. [en línea]: <http://www.hab2001.sld.cu/arrepdf/00170.pdf> [Revisado 15 de mayo de 2013].

[18]. POTELO LTDA. Ingeniería de puestas a tierra y protección eléctricas. Puestas a Tierra. Colombia. [s.a.]. 12 páginas. [en línea]: <http://libroslaboratorio.files.wordpress.com/2012/10/enfermera-en-atencic3b3n-primarc3ada-y-atencic3b3n-especializada.pdf> [Revisado el 27 de enero de 2013].

- [19]. POVEDANO JIMÉNEZ. María. Enfermera en Atención Primaria y Atención Especializada. España. [s.a.]. 42 páginas. [en línea]: <http://libroslaboratorio.files.wordpress.com/2012/10/enfermera-en-atencic3b3n-primarc3ada-y-atencic3b3n-especializada.pdf> [Revisado el 15 de enero de 2013].
- [20]. RODRIGUEZ, MIGUEL Y SANCHEZ. Gestión de Mantenimiento para Equipos Médicos. Cuba. 2001. 5 páginas. [en línea]: <http://www.hab2001.sld.cu/arrepdf/00187.pdf> [Revisado el 15 de mayo de 2013].
- [21]. TBS CATALOGO 2010/2011. Sistemas de protección contra sobretensiones y contra el rayo. España. 2011. 73 páginas. [en línea]: http://catalogo.obo-bettermann.com/cps/rde/xbcr/SID-0CDA80B1-A5F58DF3/obo-bettermann/download/es-es/tbs_photovoltaik_es.pdf [Revisado el 15 de marzo de 2013].
- [22]. THEVENET. Daniel. Curso de Electricidad, Electrónica e Instrumentación Biomédica con Seguridad – CEEIBS -. Uruguay. 2008. 18 páginas. [en línea]: http://www.nib.fmed.edu.uy/ceeibs/Clase_07.pdf [Revisado el 30 de marzo de 2013].
- [23]. UNIDAD DIDACTICA 10. Puesta a tierra de las Instalaciones. España. [s.a.]. 33 páginas. [en línea]: <http://www.marcombo.com/Descargas/8496334147-INSTALACIONES%20EL%C3%89CTRICAS%20DE%20INTERIOR/UNIDAD%2010.pdf> [Revisado el 29 de marzo de 2013].

