



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



CRITERIOS DE SEGURIDAD EN LA APLICACIÓN DE PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES ELECTRICAS DE EDIFICIOS.

Michael Patricio Villa García ⁽¹⁾, Ing. Juan Gallo Galarza ⁽²⁾

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación ⁽¹⁾⁽²⁾

Ingeniero en Electricidad Especialización Potencia (ESPOL), 1981 ⁽²⁾

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ⁽¹⁾⁽²⁾

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador ⁽¹⁾⁽²⁾

pvilla@espol.edu.ec ⁽¹⁾, jgallo@espol.edu.ec ⁽²⁾

Resumen

Este trabajo consiste en crear consciencia de la importancia de los sistemas de puesta a tierra en edificios, para lo cual empezamos definiendo en sí el concepto de sistema de tierra y su objetivo principal el cual es reducir en lo más posible los efectos negativos de la corriente sobre el cuerpo humano.

Analizamos detenidamente cada uno de los elementos que participan en el sistema utilizando los criterios de seguridad aplicables según las normas y reglamentaciones internacionales vigentes, con la finalidad de que en nuestro país se tome con más cautela la utilización de un SPAT en las instalaciones eléctricas.

Presentamos varios esquemas de SPAT para demostrar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, dependiendo del tipo o cantidad de cargas que puede presentar el edificio a diseñarse, o también para rectificación del SPAT en edificios existentes

Para finalizar presentamos el análisis completo de un edificio inteligente para diseñar su malla de tierra, haciendo respetar las normas y reglamentaciones tomadas en cuenta para esta tesina.

Palabras claves:

SPAT: Sistema de puesta a tierra.

Edificio

Tomas de tierra

Wenner



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Interferencia

Acoplamiento

Abstract

This work is to create awareness of the importance of systems of grounding in buildings, which started in defining whether the notion of ground system and its main objective which is to reduce in as much as possible negative effects of the flow on the human body.

Look carefully each of the elements involved in the system using the safety criteria applicable according to the rules and regulations international force, with the purpose of that in our country will take more cautiously the use of a SPAT in electrical installations.

Presenting several schemes of SPAT to demonstrate the advantages and disadvantages of each of them, depending on the type or amount of charges that may submit the building to designed, or also to correct the SPAT in existing buildings

To finish presenting the full analysis of an intelligent building to design its mesh of earth, by enforcing the rules and regulations taken into account for this thesis.

Introducción.

El presente Proyecto forma parte de la materia de graduación de “Seguridad Integral Eléctrica” y consiste en establecer “Criterios de seguridad en la aplicación de Puesta a tierra en instalaciones eléctricas de edificios.”.

El principal objetivo de las normas referentes al tema es proteger a las personas, la propiedad y otros seres vivos contra riesgos que provengan de la instalación eléctrica. La puesta a tierra es fundamental en la mayoría de las prácticas para obtener seguridad. El sistema de puesta a tierra debe proporcionar un camino directo a tierra para las corrientes de falla a la vez que minimizar potenciales de paso y contacto. La función secundaria es contribuir a reducir perturbaciones y servir como una referencia de voltaje común para equipo electrónico sensible. Sin embargo, con el creciente uso de este tipo de equipo, particularmente computadores, hay una mayor conciencia de la importancia de esta función secundaria del sistema de puesta a tierra.

1. SISTEMAS DE TIERRA

1.1. DIFERENCIA ENTRE NEUTRO Y TIERRA

La diferencia de estos dos elementos es que el neutro lo usamos como regreso de nuestra línea de alimentación o en otras palabras es por donde pasa la corriente de regreso a los postes de suministro eléctrico.

Por otro lado la conexión a tierra, es la conexión que usamos para que circule la corriente no deseada o descargas eléctricas hacia tierra para evitar que ocurran daños a las personas e incluso se deterioren los equipos eléctricos, electrónicos.

1.2. CONCEPTO Y OBJETIVOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La definición de la IEEE de puesta a tierra es: “Tierra (sistema de tierra). Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de la tierra” Las razones que más frecuentemente se citan para tener un sistema aterrizado, son:

- Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.
- Asegurar que seres vivos presentes en la vecindad de las subestaciones eléctricas de un edificio no queden expuestos a potenciales inseguros, en régimen permanente o en condiciones de falla.
- Mantener los voltajes del sistema dentro de límites razonables bajo condiciones de falla (tales como descarga atmosférica, ondas de maniobra o contacto inadvertido con sistemas de voltaje mayor), y asegurar que no se excedan los voltajes de ruptura dieléctrica de las aislaciones.
- Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan conductores o equipos eléctricos.

1.3. EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA SOBRE EL CUERPO HUMANO

Los fenómenos fisiológicos que produce la corriente eléctrica en el organismo humano dependen del valor de la intensidad de la corriente, tiempo de duración del contacto, callosidad, sexo, estado de epidermis, peso, altura, estado de ánimo, estado del punto de contacto a tierra.

Estos efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano varían en función del valor de la intensidad, de acuerdo a la tabla 1:

INTENSIDAD	EFECTOS FISIOLÓGICOS
1 a 3 mA	Prácticamente imperceptibles. No hay riesgo
De 5 a 10 mA	Contracciones involuntarias de músculos y pequeñas alteraciones del sistema nervioso
De 10 a 15 mA	Principio de tetanización muscular, contracciones violentas e incluso permanentes de las extremidades
De 15 a 30 mA	Contracciones violentas e incluso permanentes de la caja torácica. Alteración del ritmo cardiaco
Mayor de 30 mA	Fibrilación ventricular cardiaca

Tabla 1. Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica

2. METODOLOGÍAS DE APLICACIÓN DE PUESTA A TIERRA

2.1 RESISTIVIDAD DEL TERRENO

En la resistividad del terreno influyen varios factores que pueden variarla, entre los más importantes se encuentran: la naturaleza del terreno, humedad, temperatura, salinidad, estratigrafía, compactación y las variaciones estacionales.

2.2. METODO DE MEDICION DE LA RESISTIVIDAD DE LOS TERRENOS

2.2.1. METODO DE WENNER

Este método consiste en calcular la resistividad aparente del terreno colocando los cuatro electrodos, a distancias iguales, simétricamente separados de un punto central O debajo del cual queremos medir la resistividad el terreno.

El espesor de la capa de terreno de la que estamos midiendo la resistividad es directamente proporcional a la separación entre los electrodos, como se puede apreciar en la figura, y su valor es:

$$h = (3/4) a$$

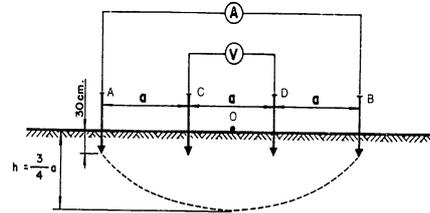


Fig.ura 1. Método de Wenner

Donde:

h= profundidad para la medida de la resistividad media
a= separación entre electrodos.

2.3. ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS DE PUESTA A TIERRA

El sistema de puesta a tierra consta, principalmente, de:

- Tomas de tierra.
- Anillos de enlace.
- Punto de puesta a tierra.
- Líneas principales de tierra.

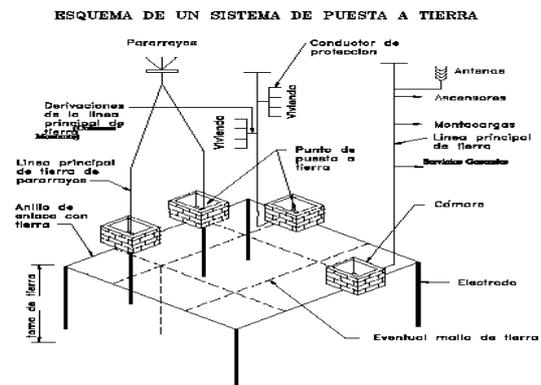


Figura 2. Esquema de un SPAT

Tomas de tierra:

Las tomas de tierra están formadas por los electrodos.

Anillos de enlace con tierra:

El anillo de enlace con tierra está formado por un conjunto de conductores que unen entre sí los electrodos, así como con los puntos de puesta a tierra. Suelen ser de cobre de al menos 35 mm² de sección.

Punto de puesta a tierra

Un punto de puesta a tierra es un punto, generalmente situado dentro de una cámara, que sirve de unión entre el anillo de enlace y las líneas principales de tierra.

Líneas principales de tierra

Son los conductores que unen al pararrayos con los puntos de puesta a tierra. Por seguridad, deberá haber al menos dos

trayectorias (conductores) a tierra por cada pararrayo para asegurarnos una buena conexión.

3. REQUERIMIENTOS DE PUESTA A TIERRA DE EDIFICIOS

3.1. CONFIGURACION DE SISTEMAS DE TIERRA

Para la correcta operación del sistema eléctrico y dado que se involucran equipos electrónicos, se construirán cuatro tipos de sistema de tierras:

- Sistema de Tierras para Electrónica.
- Sistema de Tierras para Fuerza.
- Sistema de Tierras de Pararrayos:
- Sistema de tierras para señales electromagnéticas y cargas estáticas.

3.1.1. SISTEMA DE TIERRAS PARA ELECTRONICA

Utilizado para la puesta a tierra de los equipos electrónicos y de control, dado que en este sistema no se considera la conducción a tierra de grandes corrientes de falla.

Este sistema debe estar completamente aislado del sistema de tierras de pararrayos y enlazado al sistema de tierras para fuerza, por medio de un puente de conexión en el edificio de distribución.

Los equipos electrónicos no trabajan satisfactoriamente cuando se presentan transitorios o interferencias. Las interferencias o perturbaciones de alta energía pueden causar fallas catastróficas o mal funcionamiento de algunos componentes, las perturbaciones menores tal vez no dañen los equipos, pero pueden corromper las señales de lógica y causar errores en los datos o señales de control.

Existen cuatro esquemas de aterrizado de equipos electrónicos. Estos son:

- Esquema convencional.
- Esquema de tierra aislada.
- Esquema de tierra aislada total.
- Esquema de malla de referencia. {3}.

ESQUEMA CONVENCIONAL

Este esquema encuentra su uso en las instalaciones de PCs y de PLCs, donde sus alambrados están distribuidos en áreas muy pequeñas. No es recomendado para muchas instalaciones de sistemas electrónicos distribuidos, porque:

- Puede resultar excesivamente ruidoso el sistema de tierra (formación de lazos de tierra).
- Los transitorios pueden sobrepasar el nivel de aislamiento.
- No es compatible con las recomendaciones de la mayoría de los fabricantes de equipos electrónicos.

- No puede ser fácilmente re-alambrado para cumplir con esquemas de aterrizado de redes de cómputo.

Figure 10
Stray Ground Currents in Standard Grounding

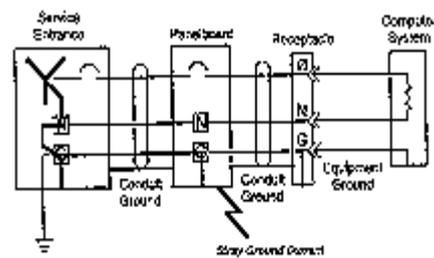


Figura 3. Esquema convencional

ESQUEMA DE TIERRA AISLADA

Este esquema es el más socorrido por la mayoría de los proveedores de equipos electrónicos, porque reduce el ruido de modo común {3}. En esta configuración se tiene una tierra relativamente libre de ruido e interferencia para la referencia lógica de los aparatos y, es complementada con la tierra de seguridad convencional del sistema de tierras de potencia. Pero, tiene las siguientes limitaciones:

- a) En altas frecuencias, la impedancia del conductor de tierra es demasiado alta para servir de buena conexión.
- b) El acoplamiento de las tierras dentro de los aparatos puede causar lazos de corriente, resultando en ruidos electrónicos.

Figure 3
IG Grounding with IG Receptacles

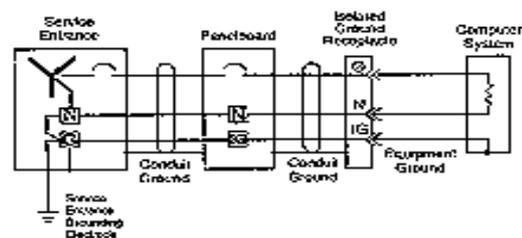


Figura 4. Esquema tierra aislada

ESQUEMA DE TIERRA AISLADA TOTAL

Este esquema consiste en conectar todos los aparatos e instrumentos a tierra usando una configuración de estrella a partir de un solo punto físico.

Esta configuración es utilizada en los transmisores de comunicaciones (radiodifusión, sitios celulares, etc.), donde es posible tener un mismo punto de puesta a tierra para todos los equipos y para todas las pantallas de los cables.

Sin embargo, también tiene sus limitaciones:

- Esta configuración puede ser difícil de crear en un ambiente industrial.
- Todos los equipos cercanos deben conectarse de esta manera a tierra o, se pueden tener lazos de corrientes.
- Puede tener una impedancia en alta frecuencia muy alta, que en términos prácticos, la puesta a tierra sea ineficaz.

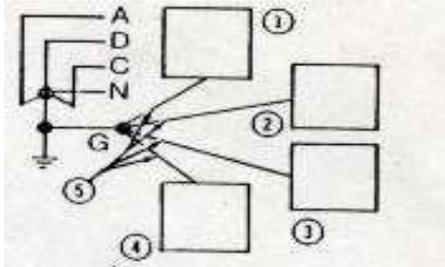


Fig.ura 5. Esquema tierra aislada total

ESQUEMA DE MALLA DE REFERENCIA

Observar que adicionalmente a la estrella mencionada en el punto anterior, los equipos y partes metálicas estructurales se conectan a este tipo de piso mediante trencillas, y que al ofrecer un plano de referencia de tierra, baja la impedancia a tierra en todas las frecuencias. {3}

El SRG'S puede ser usado para la vinculación de sistemas electrónicos sensibles, como telecomunicaciones, RF e instalaciones de ordenador.

Sus limitantes son:

Muchos fabricantes de equipos electrónicos industriales no están de acuerdo con su empleo. En ambientes industriales, es difícil su implementación.

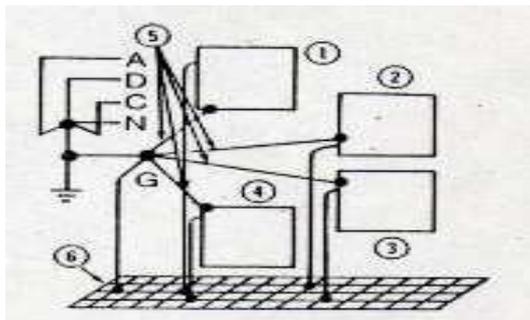


Fig.ura 6. Esquema malla de referencia

3.1.2. SISTEMA DE TIERRAS PARA FUERZA

Utilizado para conectar a tierra todos los elementos de la instalación que en condiciones normales de operación no están sujetos a tensiones, pero que pueden tener diferencia de potencial con respecto a tierra a causa de fallas accidentales en los circuitos eléctricos, así como los puntos de la instalación eléctrica en los que es necesario establecer una conexión a tierra para dar mayor seguridad, mejor funcionamiento y regularidad en la operación y en fin, todos los elementos sujetos a corrientes eléctricas importantes de corto circuito y sobretensiones en condiciones de falla.

Un sistema de puesta a tierra bien diseñado, considera:

- Emplear las tuberías metálicas roscadas como conductores de puesta a tierra.
- Usar los interruptores automáticos con detector de falla a tierra en las cocheras, cocinas, y obras en construcción.
- Colocar el conductor de puesta a tierra de equipos junto con los cables de líneas y del neutro del mismo circuito, por dentro de la misma canalización metálica.

3.1.3. SISTEMA DE TIERRAS DE PARARRAYOS

Como su nombre lo indica, se destina para drenar a tierra las corrientes producidas por descargas atmosféricas.

Un sistema de protección contra descargas, llamado de pararrayos, debe:

- Capturar el rayo en el punto diseñado para tal propósito llamado terminal aérea.
- Conducir la energía de la descarga a tierra, mediante un sistema de cables conductores que transfiere la energía de la descarga mediante trayectorias de baja impedancia, y;
- Disipar la energía en un sistema de terminales (electrodos) en tierra.

Los índices de riesgo son:

$$I_r = A + B + C + D + E + F + G$$

Este índice debe ser interpretado de la forma siguiente:

- 0 - 30: Sistema de protección opcional.
- 31 - 60: Se recomienda una protección.
- Más de 60: La protección es indispensable. {2}

3.1.4. SISTEMA DE TIERRAS PARA SEÑALES ELECTRO MAGNETICAS Y CARGAS ESTATICAS

El principio utilizado para este sistema es el de una jaula de Faraday, que es en pocas palabras un cuarto blindado contra interferencias de radiofrecuencias. Para el blindaje de campos magnéticos, el material debe tener propiedades ferro magnéticas.

Para evitar los efectos de inducción de campo magnético por la penetración del blindaje por partes metálicas, ya sea del interior al exterior o viceversa, se utilizarán filtros en las entradas de todo alambre que penetre, incluyendo tierras, y preferiblemente se localizan cerca del punto de conexión entre el blindaje interior y exterior.

3.2. ARREGLOS PARA REDUCIR INTERFERENCIAS

Los mecanismos a través de los cuales surge interferencia son:

- Acoplamiento resistivo (también conocido como galvánico)
- Acoplamiento capacitivo
- Acoplamiento inductivo

ACOPLAMIENTO RESISTIVO

Este acoplamiento se produce cuando existe una conexión eléctrica directa entre la fuente de la perturbación y el circuito afectado, o a través de un medio resistivo (tal como el terreno) {1}

La diferencia potencial en este ejemplo se llama interferencia resistiva (galvanica) y puede reducirse:

- Disminuyendo la impedancia de puesta a tierra (R_{x2} y R_{y2})
- Reduciendo la impedancia de la conexión entre X e Y, es decir L_{xy} y R_{xy}
- Reduciendo la impedancia de las conexiones del sistema de tierra, en X e Y

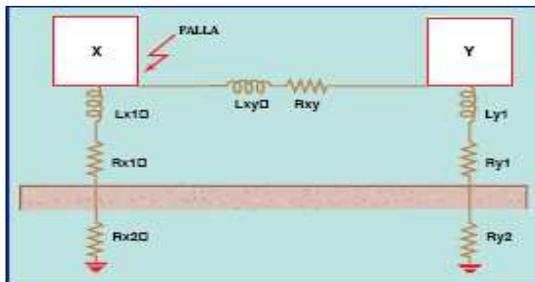


Figura 7. Ejemplo acoplamiento resistivo

Acoplamiento capacitivo

Cualquier par de componentes metálicos conductivos que estén separados en un medio, tendrán entre ellos una capacitancia. Si un componente se carga, entonces aparecerá una carga en el segundo. {1}

Los métodos disponibles para reducir esta interferencia son:

- reducir el paralelismo entre los componentes (por ejemplo la distancia de paralelismo)
- incrementar la separación entre ellos.

son: casos no se percibe. Esto puede deberse al diseño de la instalación o al grado de inmunidad del equipo que se usa, tal que sigue su operación a pesar de la interferencia. Las consecuencias de la interferencia pueden ser desde golpecitos audibles en sistemas de alta fidelidad, parpadeo de la luz (flicker), pérdida de datos en sistemas de procesamiento de información, operación incorrecta de equipo. Los mecanismos a través de los cuales surge interferencia son:

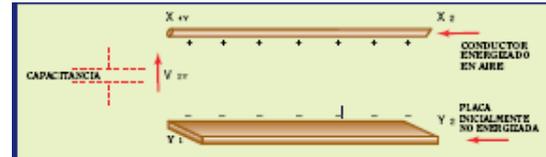


Figura 8. Ejemplo acoplamiento capacitivo

Acoplamiento inductivo

Este es el tipo más común de interferencia, causada por acoplamiento electromagnético, particularmente a frecuencia (60Hz). Se debe a los campos magnéticos. {1} Proteger contra este tipo de interferencia es particularmente difícil y los métodos generales utilizados consideran:

- Incrementar la separación entre los cables (X a Y). Incrementar la separación no siempre se puede hacer y puede significar gastos considerables si no se consideran en la etapa inicial de construcción.
- Reducir el efecto de campo magnético en el circuito Y. Un método para obtener esto es usar cables de par trenzado pero esto sólo funciona para tipo de señalización diferencial balanceado.
- La utilización de un cable coaxial también elimina el acople magnético, no por el apantallamiento que supone, sino por la simetría de los conductores evita la presencia de bucles.

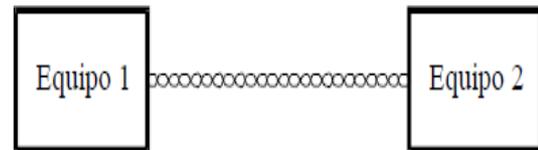


Figura 9. Ejemplo acoplamiento inductivo

3.3. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

3.3.1. LA FILOSOFIA DEL MANTENIMIENTO

Las instalaciones eléctricas de obra deberán diseñarse y realizarse de acuerdo con las exigencias del organismo competente y de normas técnicas aceptadas, estableciendo la



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



calidad de los conductores, características de los tendidos a canalizaciones, dispositivos de corte y seguridad, incluyendo equipos, máquinas y herramientas.

Todos los tipos de instalaciones deben ser objeto de dos tipos de mantenimiento:

- Inspección a intervalos frecuentes de aquellas componentes que son accesibles o que pueden fácilmente hacerse accesibles.
- Examen, incluyendo una inspección más rigurosa que aquella posible por el primer tipo, incluyendo posiblemente prueba.

INSPECCION

La inspección del sistema de tierra en una instalación normalmente ocurre asociada con la visita para otra labor de mantenimiento. Consiste de una inspección visual sólo de aquellas partes del sistema que pueden verse directamente, particularmente observando evidencia de desgaste, corrosión, vandalismo o robo.

EXAMEN

El examen de un sistema de tierra normalmente es parte del examen del sistema eléctrico en su conjunto. El examen consiste de una muy rigurosa y detallada inspección del sistema de tierra global. Aparte de observar lo obvio y normal, el examinador revisará si el sistema satisface las normas de puesta a tierra vigentes.

3.3.2. MANTENIMIENTO POR EL PROFESIONAL CALIFICADO

Cada año:

En la época en que el terreno esté más seco y después de cada descarga eléctrica, comprobación de la continuidad eléctrica y reparación de los defectos encontrados en los siguientes puntos de puesta a tierra:

- Instalación de pararrayos.
- Instalación de antena colectiva de TV y FM.
- Enchufes eléctricos y masas metálicas de los aseos.
- Instalaciones de fontanería, gas y calefacción, depósitos, calderas, guías de aparatos elevadores y, en general, todo elemento metálico importante.
- Estructuras metálicas y armaduras de muros y soportes de hormigón.

Cada 2 años:

- Comprobación de la línea principal y derivadas de tierra, mediante inspección visual de todas las conexiones y su estado frente a la corrosión, así como la continuidad de las líneas. Reparación de los defectos encontrados.
- Comprobación de que el valor de la resistencia de tierra sigue siendo inferior a 20 Ohm. En caso de que los valores obtenidos de resistencia a tierra fueran superiores al indicado, se suplementarán

electrodos en contacto con el terreno hasta restablecer los valores de resistencia a tierra de proyecto.

Cada 5 años:

- Comprobación del aislamiento de la instalación interior (entre cada conductor y tierra y entre cada dos conductores no deberá ser inferior a 250.000 Ohm). Reparación de los defectos encontrados.
- Comprobación del conductor de protección y de la continuidad de las conexiones equipotenciales entre masas y elementos conductores, especialmente si se han realizado obras en aseos, que hubiesen podido dar lugar al corte de los conductores. Reparación de los defectos encontrados.

4. Conclusiones

Con este trabajo se espera que se comprenda que un sistema de puesta a tierra sirve para proteger los aparatos eléctricos y electrónicos, pero el objetivo principal de este sistema es salvaguardar la vida de los seres vivos que se encuentren en el edificio, ya que la corriente eléctrica puede tener efectos parciales o totales, e incluso la muerte.

Para poder instalar un sistema de puesta a tierra, es imprescindible conocer el valor de resistividad que tiene el terreno. Es importante conocer el valor de la resistividad del terreno para que el sistema de puesta a tierra sea eficiente. El valor de la resistividad de un terreno puede variar de acuerdo a ciertos factores como los mencionados en este trabajo.

5. Referencias

- [1]. Ing. Civil electricista Nelson Morales Osorio; Pro-cobre; Manual Técnico de sistemas de puesta a tierra; Primera edición;1999
- [2]. Garcia Yohana; Universidad de Mérida ;Puesta a tierra en edificios;2003
- [3]. RUELSA; Teoría y diseño de sistemas de puesta a tierra; Pagina HTML <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe30.html>; 2010
- [4]. GB ELECTRICIDADCYPE -CYPE -;manual Puesta a tierra; Archivo PDF ;<http://manualdeusoymantenimiento.generadordeprecios.info/IEP.html>; 2010
- [5]. Ing. Orly Guzmán Kure; U. Politécnica Salesiana; Resistividad del terreno y electrodos de puesta a tierra; U.P.S Ediciones
- [6]. Pro-cobre; Manual técnico de mallas de tierra; Archivo PDF; www.procobreecuador.org; 2010