

LAS PUESTAS A TIERRA COMO ELEMENTO DE SEGURIDAD PERSONAL

Carlos Alberto Avendaño Avendaño*

calitoave@hotmail.com

Henry Felipe Ibáñez Olaya**

hibanez@multi.net.co

Desde antes del nacimiento de la ingeniería eléctrica y de toda la tecnología que ella involucra, los procesos de puesta a tierra de sistemas eléctricos han creado controversias que continúan vigentes generadas por las variadas ideas que acerca de ellos se tienen.

Hacia el año de 1720 ya se hacían estudios sobre resistividad de las rocas, y en 1746 Watson descubre que el suelo es conductor de la electricidad. En 1892 el New York Board of Fire Undercounters determinó que la práctica de las conexiones a tierra era una labor peligrosa, teniendo ya como precedente que en 1879 había muerto el primer ser humano con energía eléctrica generada a 250V.

En los años posteriores se continuaron realizando investigaciones y trabajos de campo que llevaron a la invención, por ejemplo, de los electrodos marca Copperweld en 1915; además, la solicitud de la patente de un método de medición e interpretación de resistividad y resistencia del terreno por parte de Schlumberger, Conrad y Marcel, y otros que contribuyeron al entendimiento de la filosofía de las puestas a tierra y sirvieron para la creación de normas y guías de seguridad personal y de equipos. Así, aún hoy día siguen emanando descubrimientos.

1. Efectos de la Corriente Eléctrica en el Cuerpo Humano

Los efectos de la electricidad en el cuerpo humano dependen de la intensidad de la corriente que lo atraviesa, de la duración del contacto y de la resistencia eléctrica del propio organismo. Algunos estudios han fijado el valor de la máxima corriente tolerable por el hombre sin que existan efectos fatales en 25 mA; de acuerdo con el valor de la intensidad de corriente se presentan una serie de patologías en el organismo, tal como puede apreciarse en la Tabla 1.

* Ingeniero Electricista de la U. Nacional con estudios de especialización en Ingeniería Eléctrica con énfasis en Alta Tensión en la U. Nacional. Profesor de tiempo completo de la U. Distrital F.J.C., adscrito a la Facultad Tecnológica.

** Ingeniero Electricista de la U. Nacional. Especialista en Control y Automatización de la U de los Andes. Estudios de Maestría en Ingeniería Eléctrica con énfasis en Alta Tensión en la U. Nacional. Profesor de tiempo completo de la U. Distrital F.J.C., adscrito a la Facultad Tecnológica.

Corriente que atraviesa el cuerpo humano (mA)	Efectos
Hasta 1 De 2 a 3 De 3 a 10	Imperceptible para el hombre. Sensación de hormigueo La persona consigue, generalmente, desprenderse del contacto (liberarse). La corriente no es mortal
De 10 a 50	Los músculos de la respiración se ven afectados por calambres que pueden provocar la muerte por asfixia
De 50 a 500	Corriente que da lugar a la fibrilación cardíaca. Si no existe atención inmediata, muerte segura
Más de 500	Riesgo de muerte por parálisis de los centros nerviosos o a causa de fenómenos secundarios.

Tabla 1. Efectos de la Corriente Eléctrica en el Cuerpo Humano

Si se asume que en promedio la resistencia eléctrica del cuerpo humano es de 3000Ω entonces la tensión máxima soportable por un ser humano será de 75V.

Diferencias de potencial peligrosas para los seres humanos pueden presentarse por fallas de aislamiento en equipos eléctricos, circulación de corrientes de cortocircuito o impacto de rayo en edificaciones o redes de energía; es necesario entonces reducirlas a valores sustancialmente pequeños (menores a 75 V.) que no revistan peligro. El ideal de cero (0) voltios es el concepto conocido como equipotencialización.

2. El Suelo como Elemento Equipotencializador

La masa del globo terráqueo es tan grande que su potencial se mantiene prácticamente invariable, independientemente de la cantidad de carga que se le aplique. El principio de la puesta a tierra se basa en esta característica.

En situaciones en las cuales no se cuenta con el suelo, por ejemplo cuando los barcos navegan por el mar o los aviones están en vuelo, su propio armazón metálico es utilizado como elemento equipotencializador. Así, existen diferentes formas de reducir las diferencias de potencial a valores no peligrosos para seres humanos y para equipos eléctricos². Entre estas técnicas se cuentan:

- Puesta a tierra
- Uso de grandes masas metálicas
- Apantallamiento eléctrico
- Uso de dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS).

El presente artículo no desarrolla la tercera y cuarta técnicas³; la mayor atención se centra en la primera técnica.

3. Puesta a Tierra

Se entiende por puesta a tierra la unión intencional de elementos metálicos en contacto directo con el suelo. Esta se compone esencialmente de unos electrodos (de pica o de varilla, placas o conductores en íntimo contacto con el terreno) y de una red de conductores que los conectan a las partes de la instalación que deben ser puestas a tierra.

De acuerdo con las necesidades se dispone de varios tipos de puesta a tierra como:

- **Puesta a tierra para protección:** busca conducir a tierra las corrientes de falla del sistema eléctrico o las generadas por descargas atmosféricas, de una manera segura. La seguridad en este caso significa que estas corrientes, anormales en el sistema eléctrico, encuentren una vía de fácil y rápido direccionamiento hacia el suelo, con el fin de que no ingresen a las instalaciones y/ó equipo eléctrico que allí se encuentre colocándolos en peligro y arriesgando la vida de las personas que se encuentren cerca.

1 Esta resistencia varía según las condiciones físicas y emocionales de la persona

2 Entiéndase equipo eléctrico, electrónico y de telecomunicaciones

3 Aunque los autores reconocen que las técnicas de apantallamiento eléctrico y uso de dispositivos DPS son de gran importancia en la protección de vidas y de equipo eléctrico, éstas no pueden ser desarrolladas debido a la extensión del tema

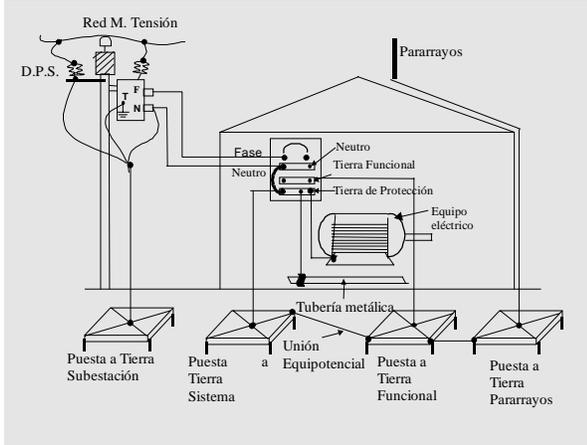


Figura 1. Puesta a Tierra de Protección. Si el transformador se encuentra dentro de la edificación, la puesta a tierra de la subestación se debe unir con las otras

A la puesta a tierra se debe conectar sólidamente todas las partes metálicas como ductos metálicos de agua, gas, energía, blindajes de cables de comunicaciones, carcasas metálicas de equipo y el punto neutro de la instalación, si lo requiere. En la Figura 1 puede apreciarse el diagrama general de este tipo de puesta a tierra.

- **Puesta a tierra funcional:** la que se instala a un equipo o sistema para objetivos diferentes de la garantía de seguridad. Se realiza con el fin de proveer una única referencia de tensión de cero voltios entre diversos equipos electrónicos y de comunicación, los cuales pueden ser susceptibles a ruido eléctrico⁴. Se debe unir en un único punto con la tierra de protección (Ver Figura 1).
- **Puesta a tierra provisional:** su finalidad es garantizar la integridad física de las personas que realizan trabajos sobre redes o equipos eléctricos de potencia (transformadores, condensadores, subestaciones) desenergizados, las cuales eventualmente se podrían energizar por fenómenos como inducción eléctrica,

carga eléctrica atrapada (efecto capacitivo) o energización accidental de la red o del equipo eléctrico.

4. Configuraciones de Puesta a Tierra

El suelo no es homogéneo; presenta diferentes niveles de humedad, de índice de minerales y de compactación, por estar compuesto por diferentes capas de material. Esta característica hace que se comporte como una resistencia eléctrica al paso de la corriente, por lo cual se presentan diferencias de potencial entre dos puntos cualquiera, tal como se aprecia en la Figura 2.

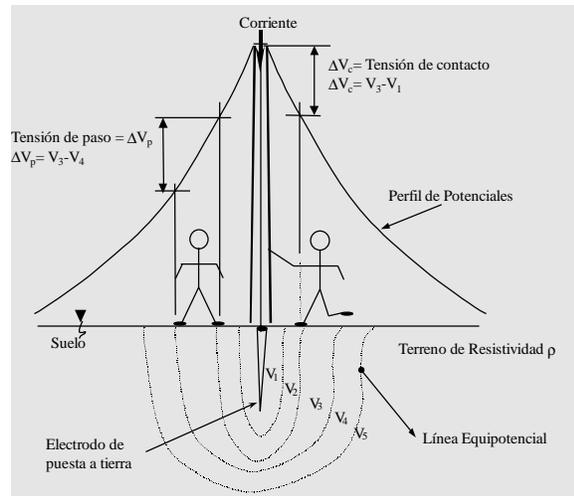


Figura 2. Tensiones de Paso y Contacto

El ΔV (la diferencia de potencial) depende de variables como resistividad del terreno, longitud del electrodo de puesta a tierra incrustado en el terreno, número de electrodos de puesta a tierra existentes, y configuración de los tres o más electrodos que se encuentren enterrados.

Para garantizar que las tensiones de paso (ΔV_p) y las tensiones de contacto (ΔV_c), a las cuales puede verse expuesta una persona, no sean peligrosas, se implementan diversas técnicas de configuración de electrodos de puesta a tierra, tal como se aprecia en la Figura 3.

4 Se puede entender por ruido eléctrico toda señal de tensión o corriente no deseada en circuitos eléctricos, electrónicos y de comunicación, que solamente altera su buen funcionamiento

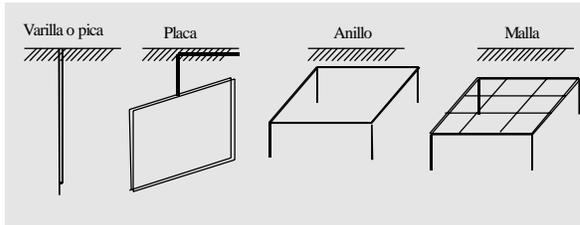


Figura 3. Configuraciones de Electrodo de Puesta a Tierra

Al implementar un sistema de electrodos (en forma de anillos, malla o cualquier otra configuración) el perfil de potenciales se reduce haciendo que las tensiones de paso y de contacto se acerquen cada vez más a los valores ideales y de seguridad de cero (0) voltios (Ver Figura 4). Este ideal podría lograrse colocando una lámina de cobre o de otro material buen conductor de electricidad debajo de toda la instalación y de mayor área que ésta. El lector juzgará por qué no se toma esta medida en la práctica.

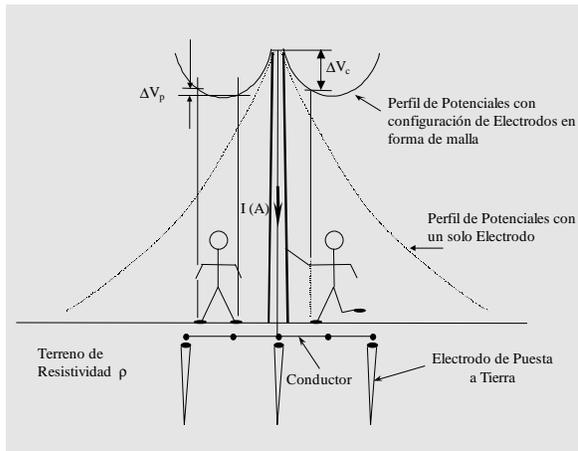


Figura 4. Reducción de Tensiones de Paso y Contacto

Los diferentes arreglos de electrodos de puesta a tierra también inciden en el valor de la resistencia eléctrica del conjunto electrodos-terreno, conocida como resistencia de puesta a tierra (R_t). En la Figura 5 puede apreciarse cómo se alcanzan diferentes valores de R_t con ciertas configuraciones de electrodos; los resultados dependen del tamaño de los electrodos, la profundidad de enterramiento y el valor de resistividad del terreno.

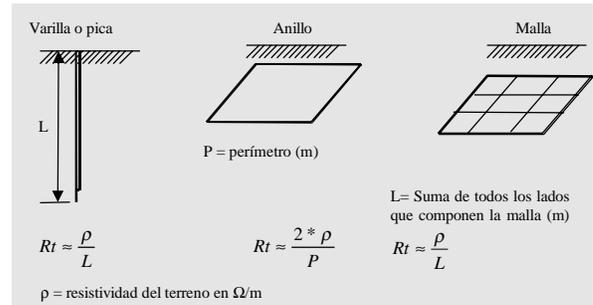
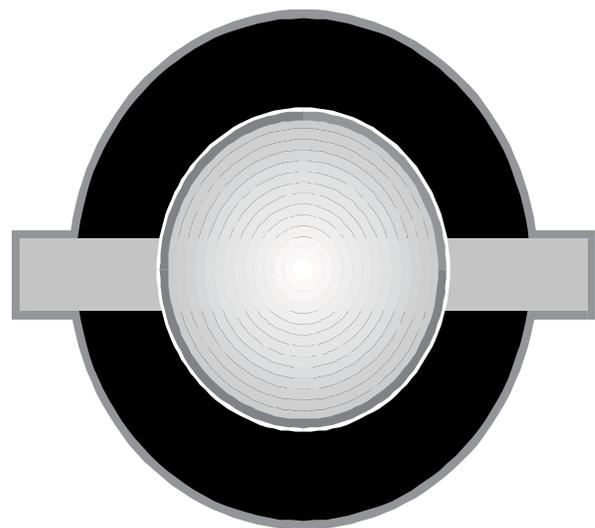


Figura 5. Diferentes Valores de Puesta a Tierra Dependiendo de la Configuración de Electrodo

5. ¿Cuándo Colocar Elementos a Tierra?

Para recrear la importancia de la puesta a tierra, en la Figura 6 se presenta una situación muy común, en la que en condiciones normales de funcionamiento no correría peligro la persona que allí se encuentra. No obstante, al presentarse una falla en el aislamiento del conductor, la nueva situación se puede representar mediante el circuito eléctrico equivalente esquematizado en la Figura 7.

Asumiendo los valores de resistencias presentados, que no distan de la realidad, se tendría una diferencia de potencial entre manos de la persona VDI de 115V. Esta tensión es superior a la máxima soportable por un ser humano sin causar daño, pudiendopor lo tanto traer



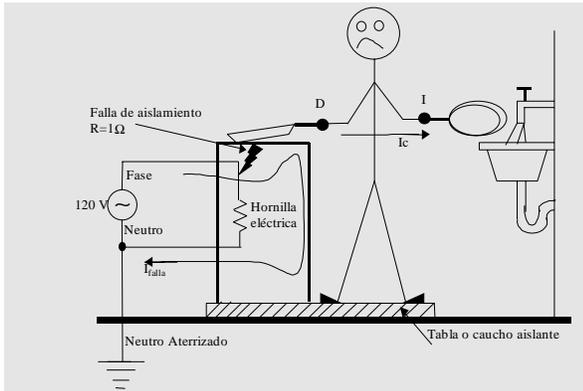


Figura 6. Instalaciones Peligrosas

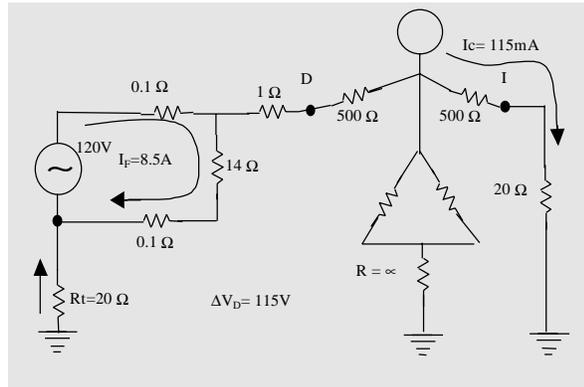


Figura 7. Circuito eléctrico equivalente

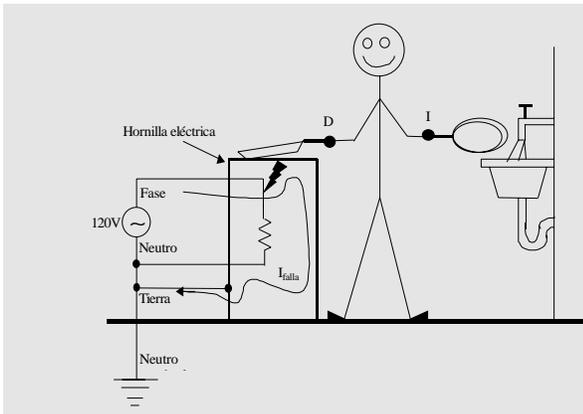


Figura 8. Instalación con Seguridad

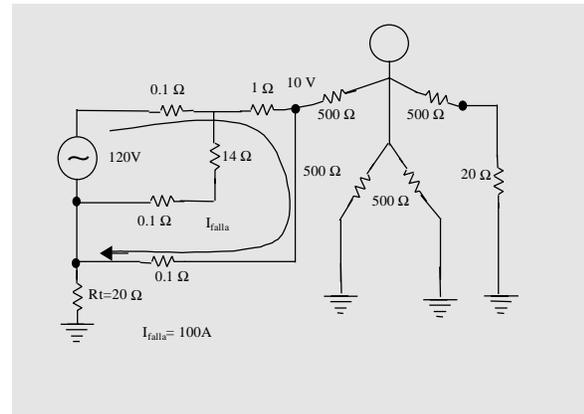


Figura 9. Circuito Eléctrico Equivalente

consecuencias mortales si la corriente a través del cuerpo no es interrumpida rápidamente. Nótese que en este caso un interruptor termomagnético no actuaría, porque él no vería una condición de falla ya que, si por ejemplo éste es de 15A, la corriente que circularía por el interruptor sería del orden de 9A. El anterior es un buen ejemplo de un mal hábito practicado en muchos hogares.

La forma en la cual podría garantizarse la seguridad de la persona se presenta en la Figura 8. El circuito eléctrico para esta condición de funcionamiento se muestra en la Figura 9.

A diferencia del circuito de la figura anterior, aquí la corriente de falla será de 100 A y la persona estará expuesta a una tensión de 10 V, circulando a través de ella una corriente de 10mA; los valores son entonces tolerables por el organismo ⁵. Otro punto importante a tener en cuenta es que en este caso el interruptor termomagnético de 15A actuaría, si se encuentra en perfectas condiciones, despejando rápidamente la falla.

Es común y se encuentra arraigada la idea que los equipos de cómputo deben poseer un sistema de puesta a tierra aislado del sistema de potencia. En algunas cir-

5 Si el lector no se encuentra convencido con estos valores tiene la alternativa de resolver el circuito; las recomendaciones serán bienvenidas

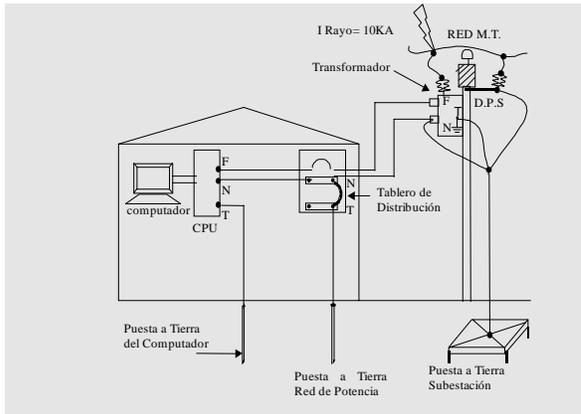


Figura 10. El Peligro de Tierras Separadas

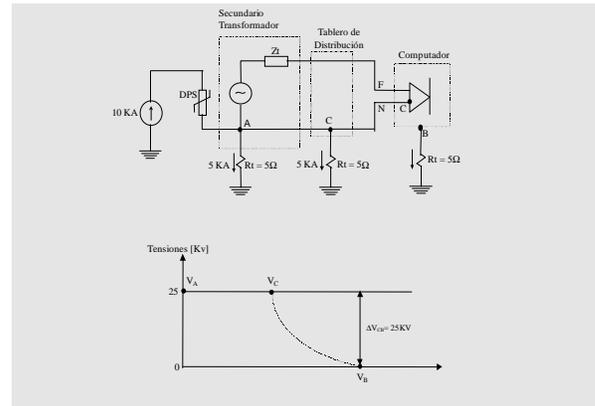


Figura 11. Circuito Eléctrico Equivalente y Perfil de Tensiones al Utilizar Puestas a Tierra Separadas

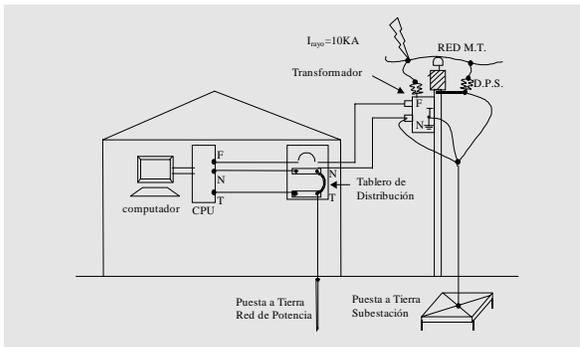


Figura 12. Reducción de Diferencias de Potencial Mediante Equipotencialización

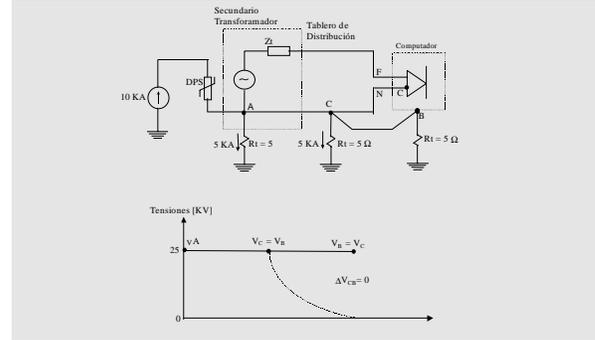


Figura 13. Circuito Eléctrico Equivalente y Perfil de Tensiones al Unificar Tierras

cunstances especiales lo anterior puede ser requerido, pero la decisión debe estar basada en los resultados de un estudio minucioso de la instalación en general, tal como se observa en la Figura 10.

Esta práctica de separación puede llegar a ser peligrosa en el caso de circulación de grandes corrientes por la tierra del sistema de potencia, como en el caso de una descarga atmosférica en una red de media tensión (Figura 10). El circuito eléctrico equivalente de esta situación se presenta en la Figura 11; en él se aprecian las diferencias de tensión que pueden presentarse en los puntos considerados, en especial la diferencia de potencial $DVCB = 25kV$ al interior del equipo, que causaría su destrucción y un gran peligro para el personal allí expuesto.



Una forma de reducir estas diferencias de potencial es equipotencializar los sistemas de tierra (unificación de tierras), como se observa en la Figura 12. En la Figura 13 se aprecia que el perfil de tensiones en esta condición muestra una diferencia de potencial $DVCB=0$, garantizando así la protección del personal presente y de los equipos conectados⁶.

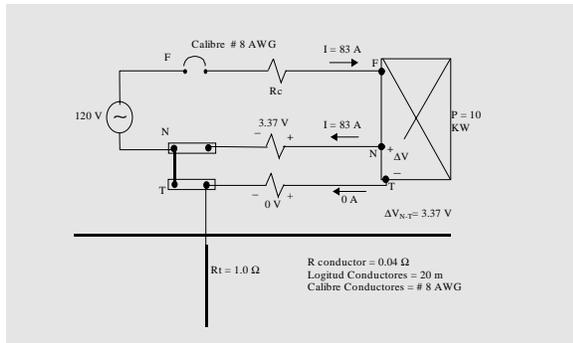


Figura 14. Diferencia de Potencial Neutro - Tierra

Otra técnica para equipotencializar los sistemas de tierra de potencia y de cómputo es la utilización de descargadores de sobretensión (DPS). En condiciones normales de funcionamiento del sistema estos se comportan como un circuito abierto, manteniendo los sistemas de tierra separados; en condición de elevaciones repentinas de potencial actúa como un cortocircuito, unificando de esta forma los sistemas de tierra.

6. ¿Es Indispensable el Polo a Tierra en un Computador?

Es conveniente poner a una tierra unificada los computadores cuando estos se encuentran alimentados por una red de energía referenciada a tierra, con el fin de prote-

6 La unificación de tierras no es una técnica totalmente eficiente para la protección de los equipos eléctricos cuando se presentan sobretensiones inducidas entre los conductores de fase y neutro de las redes de potencia, o entre pares de conductores de comunicación de las redes de datos

ger a las personas en contacto con ellos, más no para que el desempeño del equipo de cómputo sea óptimo. Por ejemplo los computadores portátiles, los cuales no tienen su fuente de alimentación referenciada a tierra, no requieren puesta a tierra para la protección del personal.

Una idea altamente difundida se relaciona con la diferencia de potencial neutro-tierra en sistemas eléctricos con neutro aterrizado, que son los más difundidos en el país, salvo en algunas instalaciones especiales⁷. Esta variable ha sido mitificada como un parámetro para determinar la calidad de la resistencia de puesta a tierra; no obstante, este concepto es erróneo, tal como se observa en la Figura 14.

Se puede apreciar en esta figura que la diferencia de potencial neutro-tierra en los terminales del equipo depende de la corriente normal del circuito, de la resistencia del conductor de neutro y nunca del valor de la resistencia de puesta a tierra, la cual podría ser de 1Ω , de 10Ω , 50Ω o cualquier otro valor, sin afectar los 3.37V allí presentes. Si se desea reducir este potencial se debe au-

mentar el calibre del conductor de neutro, o utilizar varios conductores de neutro.

7. Conclusiones

Para garantizar la seguridad de las personas es necesario reducir las diferencias de potencial a las cuales estas se pueden ver expuestas cuando existe una condición de falla en el sistema eléctrico. A las corrientes de falla así generadas debe proveerse un camino de salida mediante una puesta a tierra y la adecuada fijación de las partes metálicas no energizadas de la instalación a través de conductores o DPS, para evacuar así grandes corrientes en las partes energizadas del sistema eléctrico.

En este artículo no se hizo referencia a un valor específico de resistencia de puesta a tierra, ya que la seguridad no radica en esta magnitud sino en la reducción de las tensiones de paso y de contacto a las cuales pueden verse expuestas las personas, lo cual se logra equipotencializando el sistema de puesta a tierra⁸.

7 Ver sección 250 del Código Eléctrico Colombiano NTC2050

8 Cualquier comentario o aclaración que se quiera hacer al presente artículo, por favor diríjalo a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital en Bogotá (Colombia), Transversal 70B No. 73 A-35 Sur, o a los e-mail de los autores

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **CASAS O., Favio.** Tierras: soporte de la seguridad eléctrica. Segelectrica, 1998
- **CASAS O., Favio, Vargas A., Alejandro.** Mediciones de resistividad y resistencia. II Seminario Internacional de Puestas a Tierra II SIPAT. U. Nacional. 1999
- **RE, Vittorio.** Instalaciones de Puesta a Tierra. Marcombo Editores, 1988
- **BLANDÓN D., Jaime Alberto.** Funciones Básicas de los Sistemas de Puesta a Tierra. II Seminario Internacional de Puestas a Tierra II SIPAT. U. Nacional. 1999