|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | |  | **Logo IJL completo** | |
|  |
|  |
|  |
|  |
| ***L-278 MAT-1 Medición del sistema de malla a tierras.***  ***Mayo- Junio 2013*** |

Índice

[Índice de tablas. 1](#_Toc362005329)

[Índice de figuras. 1](#_Toc362005330)

[Glosario. 2](#_Toc362005331)

[1. Informe de la medición del sistema de malla a tierras 3](#_Toc362005332)

[1.1. Introducción. 3](#_Toc362005333)

[1.2. Generalidades sobre el equipo de medición y análisis de las contribuciones de las incertidumbres. 4](#_Toc362005334)

[1.2.1. Procedimiento de medición. 4](#_Toc362005335)

[1.3. Principios de operación para sistemas de tierras unificados. 5](#_Toc362005336)

[1.4. Valores de resistencia de tierra permitidos por las normativas. 7](#_Toc362005337)

[1.5. Fuentes de error de la medición con el método de gancho 8](#_Toc362005338)

[1.6. Generalidades sobre sistemas de tierras. 9](#_Toc362005339)

[1.7. Causas de deterioro de los sistemas de tierra. 10](#_Toc362005340)

[1.8. ¿Cómo mejorar el sistema de tierras? 11](#_Toc362005341)

[1.9. Conclusiones 12](#_Toc362005342)

[1.10. Recomendaciones. 12](#_Toc362005343)

[Bibliografía 13](#_Toc362005344)

**Índice de tablas.**

[Tabla 1‑1: Resumen de Valores de resistencia de los puntos de medición. 4](#_Toc362005349)

[Tabla 1‑2: Valores de resistencia que pueden ser considerados en instalaciones. 8](#_Toc362005350)

**Índice de figuras.**

[Figura 1‑1: Medidor de resistencias de tierra modelo 382356 de EXTECH INSTRUMENTS. 5](#_Toc362005353)

[Figura 1‑2: Sistema de distribución con tierras múltiples (Extech Instruments Corporation., 2000). 5](#_Toc362005354)

[Figura 1‑3: Circuito de Req y Rg(Extech Instruments Corporation., 2000). 6](#_Toc362005355)

[Figura 1‑4: Red equipotencial de tierra usando dispositivos PEC (ERICO, 2009). 12](#_Toc362005356)

# Glosario.

**Sistema de puesta a tierra:** Conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones ni fusibles, que unen los equipos eléctricos con el cuelo o terreno. Comprende la puesta a tierra y todos los elementos puestos a tierra.

**Tierra:** Para sistemas eléctricos, es una expresión que generaliza todo lo referente a sistemas de puesta a tierra. En términos eléctricos se asocia a suelo, terreno, tierra, masa, chasis, carcasa, armazón, estructura o tubería.

**Resistencia del electrodo de puesta a tierra (Ω):** la resistencia del sistema de electrodos (en ohmios) debe ser lo suficientemente baja para disipar todas las corrientes de falla, rayos, etc. dentro de la tierra.

**Electrodo:** Conductor firmemente embutido en el terreno, empleado para mantener la toma a tierra de los conectadores que están conectados a ella. Consiste en un tubo, vara o placa que posee una resistencia a tierra menor a 25 .

**Incertidumbre**: en metrología, es una cota superior del valor de la corrección residual de la medida.

**Coeficiente de sensibilidad:**describe qué tan sensible es el mensurando con respecto a variaciones de la magnitud de entrada correspondiente

**Ruido eléctrico:** es el resultado de una cantidad mayor o menor de señales eléctricas aleatorias que se acoplan en circuitos en los que no deberían estar, por ejemplo, donde pudieran interrumpir señales de transferencia de información.

**Malla de tierras:** es un conjunto de conductores desnudos que permiten conectar los equipos que componen una instalación a un medio de referencia, en este caso la tierra.

**Resistencia equivalente:** Es aquella resistencia que sustituye a un grupo de resistencias y que permite disipar la misma potencia en un determinado circuito, bajo las mismas condiciones de corriente y voltaje dados.

**Ámbito:** representa los valores que pueden visualizarse en un instrumento de medición o un contador.

**Resolución del instrumento:** es la división más pequeña del instrumento o valor mínimo medible estimado por el instrumento.

# Informe de la medición del sistema de malla a tierras

## Introducción.

El día 19 y 20 de Abril se realizaron las mediciones para evaluar el estado del sistema de tierras eléctricas de las instalaciones de la Sociedad Portuaria Caldera por parte del ingeniero Arthur Chavarría Pérez de Ingenierías Jorge Lizano y Asociados. Se procedió a la inspección visual de la ubicación de los electrodos del sistema eléctrico y a realizar su medición utilizando el equipo **Modelo 382356 de EXTECH INSTRUMENTS.**

Se realizaron mediciones en 30 puntos donde fue posible acezar al conductor de tierra cercano a los electrodos de la malla a tierra. En la mayoría de los casos, el conductor de tierra fue accesible, para los bancos de transformadores se procedió a realizar la medición de tierra en la transferencia, debido al peligro de electrocución.

Los puntos medidos y los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

La siguiente tabla muestra todos los puntos mencionados y los valores de las resistencias promediados obtenidos.

Tabla 1‑1: Resumen de Valores de resistencia de los puntos de medición.

|  |  |
| --- | --- |
| Punto de medición | Valor estimado de resistencia (Ω) |
| Poste frente a gerencia general. |  |
| Transformador T-A3-02 |  |
| Acometida comedor | Línea de tierra abierta |
| Transformador Tablero INCOP |  |
| Generador Bodega 2 |  |
| Tablero Principal Bodega 2 |  |
| Tablero Principal Bodega 1 |  |
| Generador Bodega 1 |  |
| Banco de transformadores bodega de materiales |  |
| Bodega de contenedores refrigerados |  |
| Generador edificio administrativo |  |
| Interruptor principal administración |  |
| Tablero INCOP |  |
| Torre 1 pararrayos en edificio administrativo |  |
| Torre 2 pararrayos en edificio administrativo | Bajantes de pararrayos cortados. |
| Torre pararrayos en básculas |  |
| Bajante de pararrayos en Torre #1 |  |
| Bajante de pararrayos en Torre #2 |  |
| Bajante de pararrayos en Torre #3 |  |
| Bajante de pararrayos en Torre #4 |  |
| Bajante de pararrayos en Torre #5 |  |
| Bajante de pararrayos en Torre #6 | Línea con alto contenido de ruido. |
| Bajante de pararrayos en Torre #7 |  |
| Bajante de pararrayos en Torre #8 |  |
| Bajante de pararrayos en Torre #9 |  |
| Pararrayos en poste de sodio 1 – Patio A3 |  |
| Pararrayos poste de sodio 2 patio A3 |  |
| Torre de sodio Bomba |  |
| Pararrayos mantenimiento |  |
| Pararrayos de poste de sodio junto a la bodega de contenedores refrigerados |  |
| Transformador Tender |  |

## Generalidades sobre el equipo de medición y análisis de las contribuciones de las incertidumbres.

En este trabajo se analizan las contribuciones a la incertidumbre en una cantidad medida, considerando el factor de calibración, la resolución y un posible desplazamiento en la indicación en un medidor de resistencia de malla de tierras, con el que se mide la resistencia en Ohm (Ω) de la resistencia.

### Procedimiento de medición.

* Se localizaron los distintos puntos donde se ubican los electrodos de las mallas a tierra.
* Se realizaron las mediciones utilizando equipo **Modelo 382356 de EXTECH INSTRUMENTS.**

****

Figura 1‑1: Medidor de resistencias de tierra modelo 382356 de EXTECH INSTRUMENTS.

* La resistencia eléctrica Ω es medida en electrodo de malla a tierra que se conecta a la malla de tierra.
* Se realizaron 10 mediciones por punto, utilizando el medidor digital de resistencia de tierra, que previamente se encendido con el fin de que se estabilice.

## Principios de operación para sistemas de tierras unificados.

Si se combinan las resistencias paralelas de tierra de la : *R1, R2, R3*, etc., hasta *Rn* como *Req.* Entonces solamente *Rg y Req* quedan en el circuito como se muestra en la .

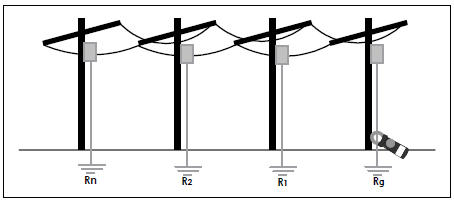


Figura 1‑2: Sistema de distribución con tierras múltiples (Extech Instruments Corporation., 2000).

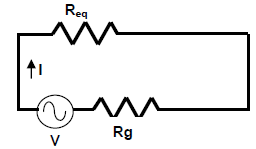


Figura 1‑3: Circuito de Req y Rg(Extech Instruments Corporation., 2000).

Si se aplica un voltaje constante al circuito, se obtiene la siguiente ecuación:

1.1

(Ω) es la resistencia en obtenida mediante la medición.

(A) es la corriente que pasa a través del circuito equivalente de la .

(Ω) es la resistencia equivalente formada por todas las demás resistencias en paralelo existentes.

(Vdc) es el voltaje de corriente directa equivalente en el circuito de la .

Donde:

1.2

1.3

Donde n es el número de puntos de conexión a tierra existentes o medidos.

Si *Rg y R1, R2, R3,…, Rn* son aproximadamente iguales y *n* es grande (200, por ejemplo), Entonces *Req* será mucho menor a *Rg* y posiblemente se aproxime a cero.

Para poder determinar el error relacionado a cada valor de resistencia se estima que:

1.4

Basado en los datos obtenidos de las mediciones, podemos estimar solo 27 puntos de medición de las resistencias (los puntos con ruido o con líneas abiertas no son estimables). Si se suponen todos los sistemas de tierras interconectados para poder realizar una estimación de la resistencia total del sistema. Entonces podemos calcular un valor de la resistencia equivalente del sistema.

Por lo tanto la resistencia equivalente total es de:

Por lo tanto el valor de máxima es 0,6.

De la Tabla 1.1 podemos tomar el valor de la resistencia medida con mayor valor   
 y utilizando la ecuación 1.8 podemos estimar el valor de la resistencia más alta.

Este valor representa el peor caso estimado de resistencia hallado con las mediciones realizadas.

## Valores de resistencia de tierra permitidos por las normativas.

**Nec 250-84 (1987):** Resistencia de electrodos manufacturados.

Un solo electrodo consiste de una vara, tubo, o placa que tiene una resistencia con tierra de 25 *Ω* o menos. Si se supera este valor el sistema de tierra deberá ser alimentado con otra vara, de cualquiera de los tipos especificados en la sección 250-81 o 250-83 del NEC 1987. Donde múltiples electrodos de vara, tubo o placa son instalados para cumplir con los requerimientos de esta sección a menos de 1,83 m de separación.

El Código Eléctrico Nacional (**NEC**) establece que la resistencia a tierra no puede superar 25 Ω, este es el límite superior y una guía, ya que en muchas instancias se requiere de un valor mucho menor.

Los estándares industriales aceptados estipulan que subestaciones de transmisión deberán ser diseñadas para no exceder 1 *Ω*. En subestaciones de distribución, la resistencia máxima recomendada es de 5 *Ω* hasta 1 *Ω*. En oficinas centrales de industria ligera o de telecomunicaciones, 5 *Ω* es a menudo un valor aceptado. Para protección contra rayos, los electrodos deberían ser unidos con una resistencia de tierra máxima de 1 *Ω* (AEMC INSTRUMENTS, 2003).

El Código Eléctrico Nacional (sección 250-84) establece que un solo electrodo con resistencia menor a 25 ohm en sistema eléctricos domésticos, con resistencia a tierra mayor que 25 ohm debe aumentarse un electrodo adicional hasta lograr menos de 25 ohm.

Sin embargo de acuerdo a experiencias se tienen valores umbrales que podrían considerarse en una instalación.

La norma UNE 21.186 establece que para sistemas de pararrayos el valor de resistencia a tierra puede llegar hasta los 10 ohm.

El pararrayos debe descargar la energía eléctrica a través del conductor y finalmente por medio de tierra, por lo que la resistencia de la tierra medida debe ser inferior a los 10 ohm, y en algunos casos más estrictos a los 5 ohm.

Tabla 1‑2: Valores de resistencia que pueden ser considerados en instalaciones.

|  |  |
| --- | --- |
| Para un sistema de computo | 1 – 5 ohm |
| Para grandes Subestaciones, líneasde transmisión y estaciones generadoras | 1 – 3 ohm |
| Subestaciones de media tensión | 5 – 15 ohm |
| Para un sistema de pararrayos | Menor a 10 ohm y en casos estrictos menores a 5 ohm (UNE 21.186). |
| Para un sistema electromagnético | jaula de 10 ohm |
| Para un sistema petróleo | 5 – 10 ohm |
| Para planta externa cobre | 15 – 25 ohm |

## Fuentes de error de la medición con el método de gancho

El equipo de medición de gancho no se puede usar en puestas a tierras aisladas (sin rutas de retorno). No es utilizable para chequeo de instalaciones nuevas/puestas en servicio de nuevas instalaciones.

No se puede usar si existe un retorno alterno de baja resistencia, sin involucrar al suelo (no se puede usar en torres celulares y subestaciones).

Requiere de una buena ruta de retorno, una ruta pobre puede dar lecturas altas.

La conexión se debe hacer en la parte correcta del lazo para el electrodo bajo prueba. Debe contar con espacio suficiente para colocar en forma apropiada el medidor y así poder cerrar la dona de medición.

Requiere del conocimiento del sistema.

Una conexión equivocada puede dar un resultado fallido.

Es susceptible a ruidos en subestaciones y transformadores cercanos (no indica lectura).

## Generalidades sobre sistemas de tierras.

La tierra (suelo, subsuelo)tiene propiedades que se expresan fundamentalmente por medio de tres magnitudes físicas que son:La resistividad eléctrica ρ (o su inversa la Conductividad σ), La constante dieléctrica ε y La permeabilidad magnética μ.

La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por:

* Sales solubles
* Composición propia del terreno
* Estratigrafía
* Granulometría
* Estado higrométrico
* Temperatura
* Compactación

**SALES SOLUBLES**

Es la cantidad de electrolitos; esto es, por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas.

**COMPOSICIÓN DEL TERRENO**

Depende de la naturaleza del  mismo. Por ejemplo, el suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 ohm-m por lo que una varilla electrodo enterrada 3 m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 ohm.

En cambio, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 ohm-m o más alta, y tratar de conseguir una resistencia a tierra de unos 100 ohm o menos.

**ESTRATIGRAFÍA**

El terreno no es uniforme en sus capas. En los 3 m de longitud de una varilla electrodo típica, al menos se encuentran dos capas diferentes de suelos

**GRANULOMETRÍA**

Influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra. Por esta razón la resistividad de la grava es superior a la de la arena y de que ésta sea mayor que la de la arcilla.

**ESTADO HIGROMÉTRICO**

El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático. Como ejemplo, la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de éste. Y, puede tenerse el caso de que en tiempo de secas, un terreno puede tener tal resistividad que no pueda ser empleado en el sistema de tierras. Por ello, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.

**TEMPERATURA**

A medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y ese aumento se nota aún más al llegar a 0° C, hasta el punto que,  a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va reduciendo el movimiento de los electrolitos los cuales influyen en la resistividad de la tierra

**COMPACTACIÓN**

La resistividad del terreno disminuye al aumentar la compactación del mismo. Por ello, se procurará siempre colocar los electrodos en los terrenos más compactos posibles.

Consideraciones de los sistemas de malla a tierra:

* En general, los lugares con resistividad baja tienden a incrementar la corrosión.
* La medición de la resistividad del terreno, no es requisito para hacer una malla de puesta a tierra. Aunque para diseñar un sistema de tierras de gran tamaño, es aconsejable encontrar el área de más baja resistividad para lograr la instalación  más económica.

## Causas de deterioro de los sistemas de tierra.

* La corrosión y el clima influencian provocando la deformación mecánica en las varillas de puesta a tierra y causan corrosión metálica con el tiempo.
* Eventos catastróficos tales como rayos o altas corrientes de falla pueden causar degradación instantánea.
* La resistividad del suelo puede cambiar con el tiempo debido a las condiciones ambientales.
* La expansión de las instalaciones eléctricas/planta pueden crear necesidades diferentes en el sistema de puesta a tierra.
* Robo de los conductores o electrodos del sistema de tierra.

## ¿Cómo mejorar el sistema de tierras?

La resistencia característica del suelo varía notablemente en función de los diversos tipos de suelos, en sus contenidos de humedad y temperaturas, provocando variaciones en la resistencia del sistema de puesta a tierras. Entre menor sea la resistencia mejor será el funcionamiento y operación del sistema de tierras.

Se enlista las opciones para reducir la resistencia del suelo:

* Agregar conductores enterrados al electrodo de tierra.
* Uso de múltiples conectores de tierras interconectados.
* Empleo de conectores de cinta plana, en lugar de circulares.
* Usos de conductores espaciados conectados en paralelo.
* Uso de electrodos de mallas equipotenciales.
* Empleo de múltiples conductores enterrados interconectados.
* Utilizar un enriquecedor de suelos, para reducir la resistencia e impedancia de este. Es recomendado en suelos arenosos y terrenos rocosos.
* Uso de electrodos de tierra minerales o químicos. Se utilizan para reducir la impedancia del suelo.
* Uso de bases o losas de hormigón. El uso de las bases del hormigón armado es uno de los métodos más eficaces para un sistema de electrodo de baja impedancia.

Sistema de equipotencialidad de tierras: En los edificios y otras instalaciones suelen haber puestas de tierra separadas para descargas atmosféricas, red eléctrica, equipos informáticos y de comunicaciones. Aunque esto puede ser deseable en condiciones normales, cuando se producen descargas atmosféricas u otras tensiones transitorias, son inevitables las diferencias de potencial entre las distintas puestas a tierra. Esto puede afectar a los edificios, destruir los equipos y suponer peligro para las personas.

La siguiente imagen muestra un conector de ecualización de potencial (CEP), el cual permite la unificación de sistema de tierras bajo condiciones de descarga atmosférica.

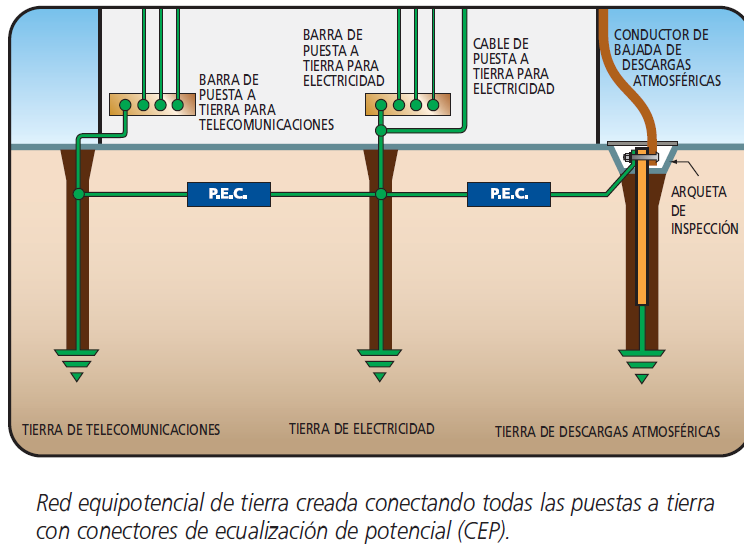


Figura 1‑4: Red equipotencial de tierra usando dispositivos PEC (ERICO, 2009).

Este dispositivo actua como un eficaz circuito abierto. No obstante, cuando la diferencia de potencia excede la tensión de ruptura del CEP, el circuito se cierra inmediatamente y el potencial de tierras queda ecualizado, protegiendo así, equipos y personas. En otras palabras ante descargas atmosféricas el CEP se encarga de unificar los sistemas de tierras y en condiciones normales de operación este separa los conductores que unifican los distintos tipos de sistemas de tierras.

## Conclusiones

1. Se encuentra que las torres de pararrayos 3, 4, 5, 7, 8, 9 y la torre 1 del edificio administrativo presentan valores de resistencia acordes a los establecidos en la norma UNE 21.186, ya que muestran una resistencia menor a 10.
2. El sistema de pararrayos de la torre 2 y 6 presentan problemas, debido a la alta resistencia medida en la torre 2 y al ruido presente en la torre 6 (Lo que no permite tomar una medida apropiada). Se debe dar especial cuidado a la torre 2 de iluminación que presenta la mayor resistencia a tierra medida.
3. Los demás puntos medidos, poseen un adecuado valor de resistencia a tierra basado en un valor normado de 5 Ω para edificios administrativos, 1 Ω para zonas de bodegas, zonas industriales y 10 Ω para pararrayos.

## Recomendaciones.

1. En el caso de las líneas rotas de tierra o que poseen problemas de línea rotas o de unión con el neutro, se recomienda dar mantenimiento a las mismas y revisar que todo se encuentre en orden. Luego de los trabajos de reparación se debe corroborar el valor de la resistencia de acuerdo a las normas establecidas.
2. Se recomienda colocar cajas de registros con tapas con espacio suficiente para poder realizar mediciones futuras del sistema de tierras. Dado que muchos de los electrodos de tierra no pudieron ser ubicados debido a la ausencia de cajas de registro con tapa apropiadas.
3. Se recomienda que la caja de registro sea un cuadrado de 40 cm de lado por 40 cm de fondo que permita la apropiada medición de la malla a tierra.
4. Es altamente recomendable la inclusión de conectores de ecualización de potencial (CEP), para que la malla general del puerto se unifique únicamente durante eventos de descarga, para evitar problemas de corrientes circulantes en momentos de funcionamiento normal a través de cables de tierra.

# Bibliografía

AEMC INSTRUMENTS. (2003). *www.aemc.com*. Recuperado el 1 de Marzo de 2013, de Entendiendo Pruebas de resistencia de tierra: www.aemc.com

ERICO. (2009). *Protección Eléctrica de Instalaciones.*Erico International Corporation.

Extech Instruments Corporation. (2000). User's Manual. *Ground Resistance Clamb On Tester* .

Marín Naranjo, L. D. (2011). *Practica experimental 01-Medición con un instrumento.* San José : Universidad de Costa Rica.

Wikipedia. (s.f.). *Incertidumbre*. Recuperado el 5 de Abril de 2013, de http://es.wikipedia.org/wiki/Incertidumbre\_%28metrolog%C3%ADa%29