# MEMORIAS DE CALCULO MALLA PUESTA A TIERRA

**Proyecto:**
**PLAZA DE MERCADO EL CARMEN DE VIBORAL (ANTIOQUIA)**

**Elaborado por:**
OSCAR SANTIAGO VELÁSQUEZ ACEVEDO
M.P. AN205 – 64506

**REDEX INGENIEROS S.A.S.**
**MEDELLÍN**

# TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN ..... 4

1 OBJETIVO ..... 5

2 REGLAMENTOS, NORMAS Y ESTÁNDARES ..... 5

3 RESISTIVIDAD DEL SUELO ..... 5

4 MALLA DE PUESTA A TIERRA TRANSFORMADOR ..... 6

5 MALLA DE PUESTA A TIERRA CUARTO TÉCNICO ..... 8

6 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE DISEÑO ..... 9

7 CÁLCULO DEL CONDUCTOR ..... 10

8 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN ..... 11

9 RESULTADOS ..... 11

10 DIAGRAMAS DE CONTORNO ..... 12

11 PERFILES DE TENSIÓN ..... 13

12 ESPECIFICACIONES DE MONTAJE RECOMENDADAS ..... 14

13 CONCLUSIONES ..... 15

BIBLIOGRAFÍA ..... 16

ANEXOS ..... 17

# LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Detalle de configuración básica No 7 de puesta a tierra RA6- 010 ..... 6
Figura 2. Detalle de equipontecializacion y puesta a tierra ..... 7
Figura 3. GPR máximo en función de la resistencia de puesta a tierra del poste (Rpt). ..... 15
Figura 4. Tomado del HandBook del NEC. Arreglo de puesta atierra en el cual la conexión del electrodo (Neutro- Tierra) es hecho única y exclusivamente en el sitio del primer medio de desconexión (M/L) ..... 17
Figura 5. Tomado del HandBook del NEC M/L Principal y tableros de circuitos ramales ..... 17

## INTRODUCCIÓN

Este informe tiene como objetivo presentar las memorias de cálculo del diseño de la Malla de puesta a tierra para para la Plaza de Mercado, en el municipio de El Carmen de Viboral (Antioquia).

Para el diseño de la Malla de Puesta a tierra, se procedió como se describe a continuación:

- Modelaje del Suelo
- Cálculo de la corriente a disipar por la malla.
- Cálculo de los voltajes en la superficie, voltajes de Toque y de Paso.
- Chequeos para verificar que la malla cumpla con los criterios de seguridad.

# 1 OBJETIVO

El presente estudio tiene como objeto la elaboración del diseño correspondiente a la malla de puesta a tierra requerida para la Plaza de Mercado del Carmen de Viboral (Antioquia), de acuerdo con las recomendaciones de las normas internacionales.

La base conceptual de esta metodología se toma de la norma IEEE Std. 80 “IEEE Guide for safety in AC substation grounding” y sigue las recomendaciones para el cálculo de redes de tierra en plantas y subestaciones eléctricas de la norma IEEE Std. 142 “IEEE Recommended practice for grounding of industrial and comercial power systems”.

# 2 REGLAMENTOS, NORMAS Y ESTÁNDARES

La especificación de los equipos y los materiales, al igual que la construcción e instalación del sistema de puesta a tierra, deberán realizarse de acuerdo con la última actualización de los siguientes reglamentos o normas, según sean aplicables:

[1] RETIE “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas”. Resolución No. 9 0708, agosto 30 de 2013. Ministerio de Minas y Energía.

[2] IEEE Std. 80 “IEEE Guide for safety in AC substation grounding”.

[3] IEEE Std. 142 “IEEE Recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems”.

[4] ASTM – B8 “Concentric lay stranded copper conductors, hard, medium hard, or soft: Standard specification”.

[5] ASTM – B3 “Soft or annealed copper wire”.

[6] ANSI – UL 467 “Standard for grounding and bonding equipment”

# 3 RESISTIVIDAD DEL SUELO

Para una correcta aplicación de las configuraciones propuestas en esta norma, se deberá primero medir la resistividad del suelo conforme a al procedimiento establecido en la norma RA6-014 “Medida de la resistividad del terreno”. Los datos de resistividades del terreno arrojados por el estudio dependen de varios factores tales como: clase del terreno, humedad, temperatura del terreno, salinidad del terreno, etc. Los valores de resistividad tomados se muestran en la Tabla 1.
El valor de resistividad (r) a confrontar en la tabla 1 deberá ser el promedio de los valores obtenidos con los espaciamientos a 1, 2, 4 y 6 metros.
Las configuraciones deberán emplearse en orden ascendente de acuerdo con el valor de resistividad (r) obtenido de las medidas del suelo. En ningún caso debe emplearse una configuración más allá del valor máximo de resistividad establecido en la tabla 1, por cuanto, no se garantizarán las tensiones de toque y paso permisibles para el ser humano.

Para la puesta a tierra de redes secundarias de baja tensión y postes de acometidas, deberá emplearse mínimamente en los proyectos de diseño la configuración No 1 en todo el rango de resistividades.
En caso de requerirse bajos valores de resistencia de puesta a tierra, deberá seleccionarse la configuración de puesta a tierra que técnica y económicamente permita acercarse al valor objetivo.
Para medir la resistividad del terreno y modelar el suelo se usó el método de WENNER el cual está referenciado en el RETIE Figura 15.4.
Con estos datos de resistividad procesados para obtener un modelo de suelo de una o dos capas.

Tabla 1. Medidas de resistividad del terreno registradas en Ω-m

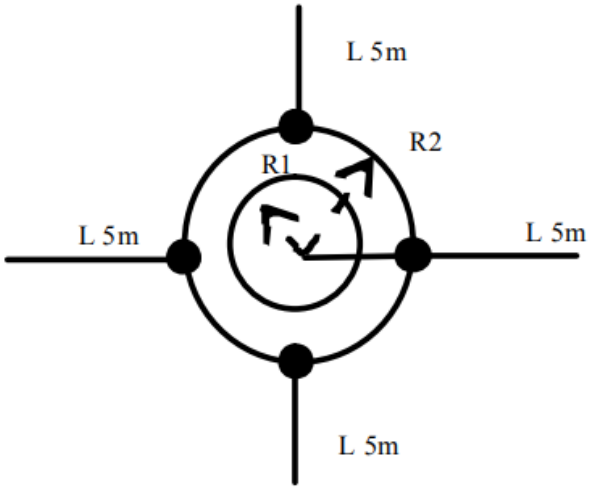
| | **Profundidad (m)** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Rutas** | **1,00** | **2,00** | **4.00** | **6.00** | **8.00** | **10.00** |
| **Ruta 1 [Ωm]** | 57.5 | 142 | 210.5 | 183 | 135.9 | 71.1 |
| **Resistividad promedio [Ωm]** | | | | | | 133.3 |

## 4 MALLA DE PUESTA A TIERRA TRANSFORMADOR

Con base en el anterior resultado haciendo uso de la tabla 5 de la Norma RA6-010, para este valor de resistividad y buscando un mínimo de ohmios (Neutro de acometida en baja tensión Tabla 15.4 del RETIE Resolución 90708 de 2013) como resistencia final de puesta a tierra, tenemos la configuración Número 7 ilustrada y calculada en el siguiente gráfico:

**R= 0.07*ρ = 0.07 * 133.3 = 9.33 ohmios**

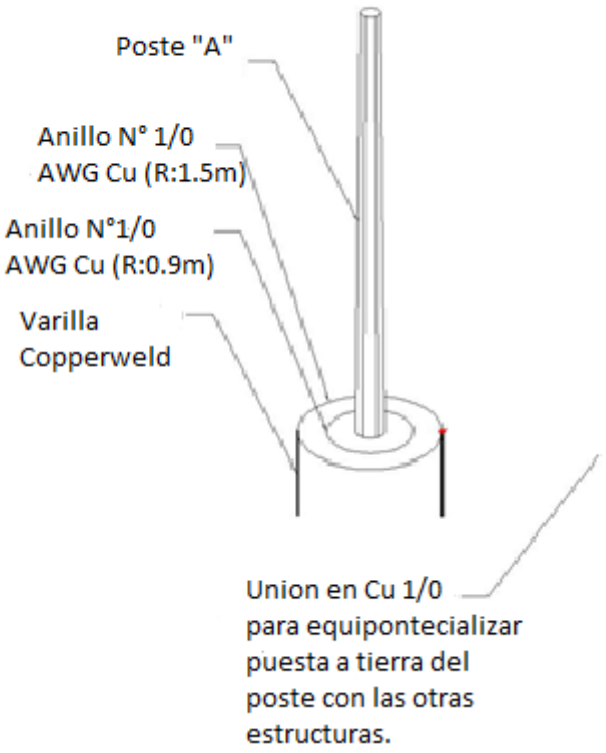
**Figura 1. Detalle de configuración básica No 7 de puesta a tierra RA6- 010**



**NOTAS:**

- Detalle adecuado para la resistividad obtenida en la Plaza de Mercado el Carmen de Viboral (Antioquia).
- Cuatro Varillas de 2.4 m, dos círculos en cable Número 1/0 AWG
- R1: 90 cm desde la base del poste.
- R2: 1.5 metros desde la base del poste.
- Los electrodos y conductores deberán enterrarse a una profundidad de 20 cm.
- Anillo de puesta a tierra: Calibre no menor a 1/0 AWG para conductores de cobre enterrados.
- El cable o bajante de puesta a tierra (sin la chaqueta) deberá conectarse o empalmarse con el circulo interno (R1) así como con la varilla ubicada al lado derecho del poste.

**Figura 2. Detalle de equipontecializacion y puesta a tierra.**

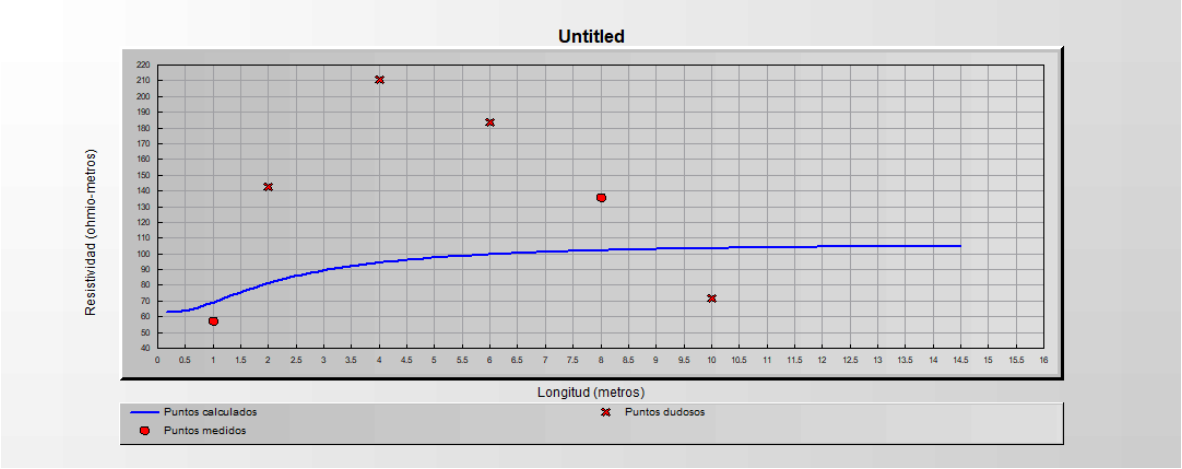


# 5 MALLA DE PUESTA A TIERRA CUARTO TÉCNICO

- Metodología: Método de Wenner (según IEEE Std. 81 - 1983).
- Separación de electrodos: Entre 1 m y 10m. (ver tabla 1).
- Modelo del suelo: Dos capas.

| Separación (m) | Ruta 1 [Ωm] |
|---|---|
| 1 | 57,5 |
| 2 | 142 |
| 4 | 210,5 |
| 6 | 183 |
| 8 | 135,9 |
| 10 | 71,1 |

**Tabla 2. Mediciones de resistividad**




**Gráfica 1. Modelo del suelo**

El modelo del suelo calculado es:

- Resistividad capa superior: □□□□□□$_1$= 62.65 Ω.m
- Resistividad capa inferior: □□$_2$= 106.48 Ω.m
- Espesor capa superficial: h = 1 m

# 6 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE DISEÑO

Se toma como corriente de falla la corriente nominal de corto circuito del transformador monofásico de 75kVA

| CÁLCULO DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL NIVEL DE BAJA TENSIÓN | | | |
|---|---|---|---|
| **DATOS ENTREGADOS POR EEPPM** | | | |
| Corriente trifásica simétrica | | 4,63 | kA |
| Corriente monofásica simétrica | | 3,37 | kA |
| X/R trifásico | | 1,840 | |
| X/R monofásico | | 1,560 | |
| Nivel de tensión | | 13,2 | kV |
| | | | |
| R1 | | 0,0000 | ohm |
| X1 | | 0,0000 | ohm |
| | | | |
| **Red aguas arriba** | | | |
| | | | |
| Ra | = | 0,00000 | ohm |
| Xa | = | 0,00000 | ohm |
| | | | |
| Ra y Xa vistas en el lado secundario | | | |
| Ra | = | 0,00000 | ohm |
| Xa | = | 0,00000 | ohm |
| Za | | 0,00000 | |
| | | | |
| **Transformador** | 75 kVA - ACEITE | | |
| Potencia | | 75 | KVA |
| Tensión de línea en el lado de AT | | 13200 | V |
| Tensión de línea en el lado de BT | | 208 | V |
| Tensión de fase en el lado de BT | = | 120 | V |
| Impedancia máxima | | 3,50% | |
| Corriente nominal | = | 208 | A |
| Pérdidas en el cobre | | 1090 | W |
| Irms secundaria | | 5948 | A |
| Rt | | 0,00838 | ohm |
| Xt | = | 0,01837 | ohm |
| Zt | = | 0,02019 | ohm |
| Irms simétrica | = | 5948 | |
| | | | |
| **Barraje** | | | |
| Calibre Barra Cu por fase | | | |
| Número de conductores por fase | | 2 | |
| Area sección transversal por conductor | | 95,00 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 190,00 | mm^2 |
| Longitud | | 50 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables en línea juntos | 0,114 | m ohm/m |
| Resistividad | Alumínio | 0,036 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | 0,00947 | ohm |
| Xb | = | 0,00570 | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | 0,01786 | ohm |
| X | = | 0,02407 | ohm |
| Z | = | 0,02997 | ohm |
| X/R | = | 1,34774 | |
| | | | |
| Irms simétrica | = | 4007 | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 30 | ms |
| Irms asimétrica | = | 4037 | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 6,69 | mm^2 |
| | | | |
| Breaker de 3x250 A - 10 KA | | | |

# 7 CÁLCULO DEL CONDUCTOR

El conductor de la malla de puesta a tierra debe estar en capacidad de soportar las condiciones de corriente de falla (tanto en magnitud como en duración) que generen en el cable fusión y deterioro mecánico. Por tal motivo, se calculó adicionalmente la corriente de falla en el secundario del transformador (esta corriente, aunque mayor no modifica el GPR de la malla, por lo que no modifica tampoco las condiciones de seguridad de la misma), y con la mayor de las corrientes de falla, se determinó el calibre del conductor de la malla de puesta a tierra. A continuación, se presentan los parámetros de simulación, los resultados y el conductor seleccionado en las tablas 2 y 3.

| Parámetro | Unidad | Valor | Documento de referencia |
|---|---|---|---|
| Potencia del transformador | kVA | 75 | Proyecto de red |
| Tensión primaria | kV | 13.2 | Proyecto de red |
| Tensión secundaria | kV | 0.208/0.120 | Proyecto de red |
| Impedancia | % | 4.0 | NTC 3445 |
| **Corriente de falla fase tierra** | kA | 4.037 | RETIE |

**Tabla 3. Cálculo de la corriente de falla en el secundario**

| Parámetros | Unidad | Valor | Documento de referencia |
|---|---|---|---|
| Contante del material, Kf | --- | 7 | IEEE 80 |
| Tiempo de despeje de la falla, tc | s | 0.5 | IEEE 242 |
| Área del conductor | $mm^2$ | 19.58 | IEEE 80 |
| **Calibre del conductor seleccionado** | AWG | 1/0 | IEEE 80 |

**Tabla 4. Cálculo del calibre del conductor**

El conductor resultante es 19.58mm2 que equivale a calibre 4AWG. Sin embargo, el calibre mínimo autorizado a enterrar por norma debe ser de 50mm2 que equivale a calibre 1/0AWG. Se selecciona calibre 1/0AWG.

# 8 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

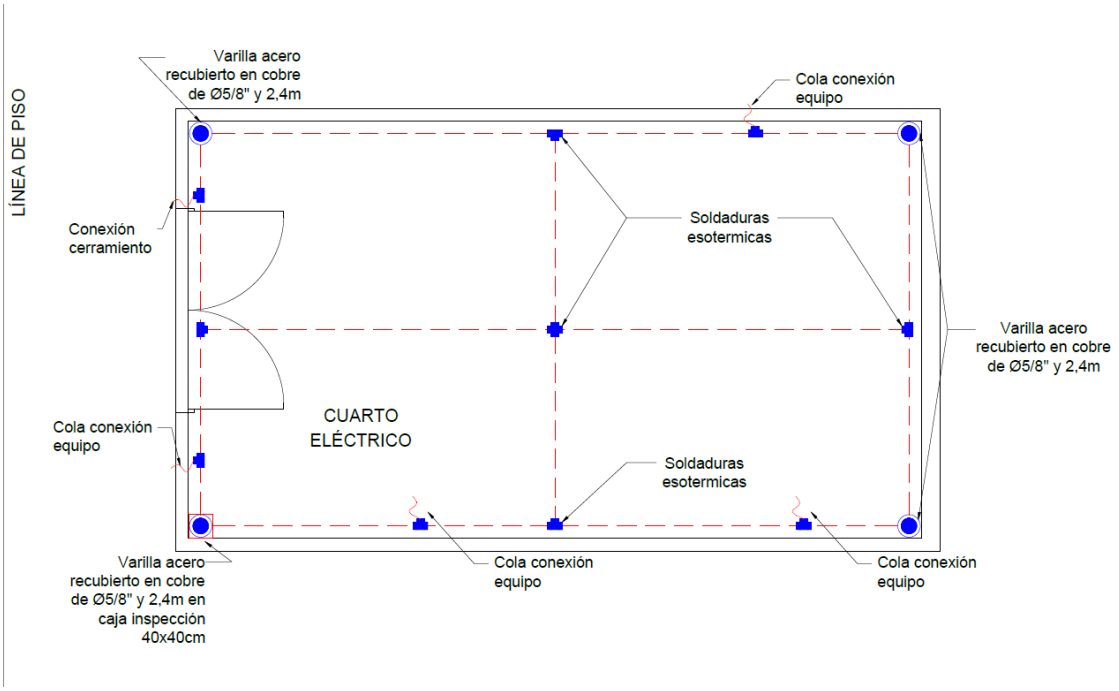
| PARÁMETRO | UNIDAD | VALOR |
|---|---|---|
| Resistividad de la capa superior del suelo | Ω.m | 62.65 |
| Resistividad de la capa inferior del suelo | Ω.m | 106.48 |
| Espesor de la capa superior | m | 1.00 |
| Corriente de diseño | A | 82.10 |
| Impedancia de falla | Ω | 0 |
| Resistencia de puesta a tierra en postes de la red de distribución | Ω | 25 |
| Distancia entre puestas a tierra de la red de distribución | m | 120 |
| Calibre del neutro | --- | 1/0 AWG ACSR |
| Tiempo de despeje de la falla | s | 0.5 |
| Peso corporal | kg | 50 |
| Resistividad del suelo de aislamiento (cascajo) | Ω.m | 2500 |

**Tabla 5. Valores de simulación de los principales parámetros de la malla de puesta a tierra**

# 9 RESULTADOS

| PARÁMETRO | UNIDAD | VALOR CALCULADO |
|---|---|---|
| Resistencia de puesta a tierra | Ω | **9.36** |
| Elevación del potencial de tierra (GPR) | V | 2317.43 |
| Tensión de contacto máxima admisible (calculada según IEEE std 80-2000) | V | 514.87 |
| Tensión de paso máxima admisible (calculada según IEEE std 80-2000) | V | 319.64 |

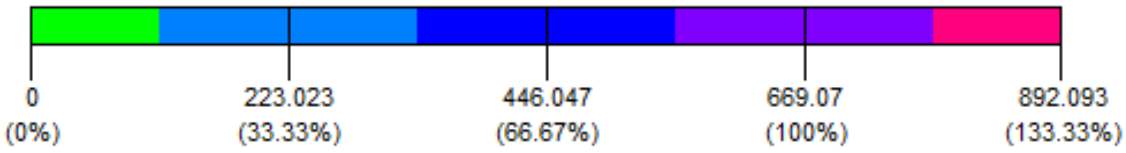
**Tabla 6. Valores calculados de los principales parámetros de la malla**



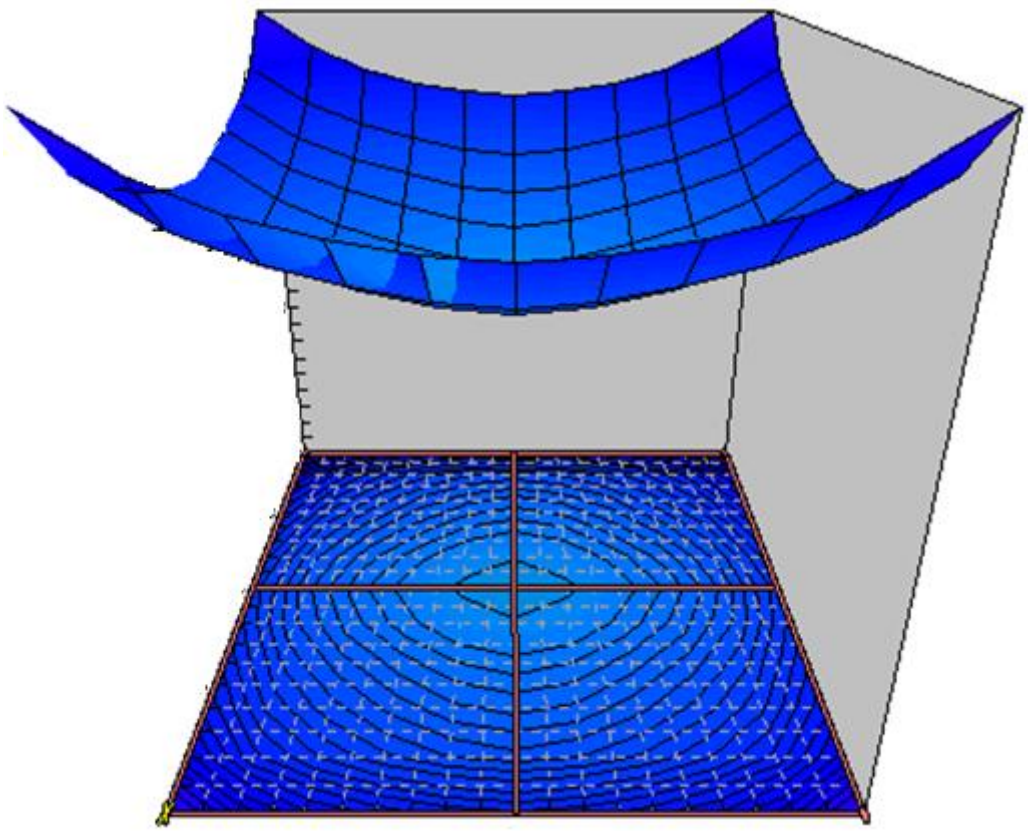

Gráfica 2**.** Vista en planta de la malla de puesta a tierra

## 10 DIAGRAMAS DE CONTORNO

El siguiente, es el diagrama de contorno evaluado sobre la zona en la que se ubicará la malla de puesta a tierra diseñada, los colores son indicadores de la magnitud de la tensión de contacto en el área que comprende la malla, según el código de colores presentado en la gráfica 5.



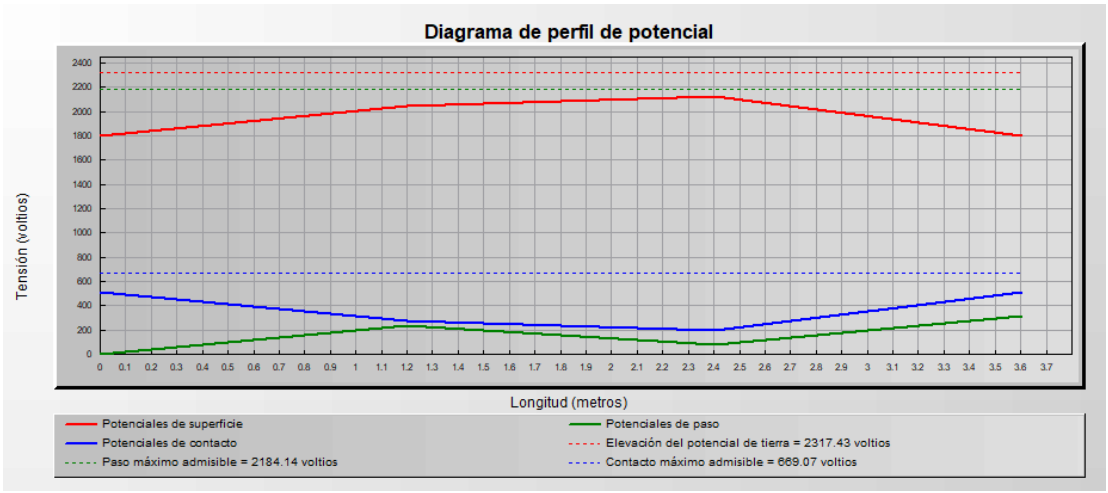

**Gráfica 3**. Código de colores para diagrama de contorno en Malla de puesta a tierra



**Gráfica 4.** Diagrama de contorno

## 11 PERFILES DE TENSIÓN

A continuación, presentamos los perfiles de tensión de las rutas mostradas en la gráfica 4. Para facilitar su comprensión, en el siguiente cuadro se muestran las convenciones empleadas:




Gráfica 5. Perfiles de tensión

## 12 ESPECIFICACIONES DE MONTAJE RECOMENDADAS

- La malla de puesta a tierra debe hacerse siguiendo la geometría mostrada en el plano adjunto en cable de cobre No. 1/0 AWG a 0.5m de profundidad, medidos a partir de la superficie del terreno, utilizando para esto uniones de soldadura exotérmica con carga fundente de acuerdo a lo mostrado en el plano adjunto.

- Las soldaduras deben realizarse con las cargas fundentes que se muestran en el plano adjunto, siguiendo los procedimientos y las precauciones dadas por el fabricante. El molde y las soldaduras deben ser los adecuados para el tipo y el espesor de los elementos a unir.

- Las varillas de puesta a tierra deben enterrarse en su totalidad, de tal manera que se facilite la unión al cableado de la malla de puesta a tierra. La parte superior del electrodo debe quedar a mínimo 15cm de la superficie.

- La malla de puesta a tierra diseñada debe equipotencializarse con la puesta a tierra del sistema de protección contra rayos u otras puestas a tierra de la instalación empleando para ello cable de cobre No. 1/0 AWG y soldadura exotérmica o conector certificado para su uso.

- Deben repetirse las soldaduras que no presenten uniformidad o si presentan porosidad superior al 20%.

- Deben verificarse mecánicamente todas las uniones.

- Es importante dentro de las labores de mantenimiento de la edificación, programar una revisión de las puestas a tierra de la misma por lo menos cada año (inspección visual) y cada tres años, consistente en la medición del sistema de puesta a tierra, verificación de cableado y uniones, y reposición de los elementos que presenten deterioro.

- Deben construirse las cajas de inspección con dimensiones mínimas de 40cm x 40cm y su tapa debe ser removible.

- Todos los materiales utilizados en la malla de puesta a tierra deben cumplir con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE -.

- Antes de conectar a la malla de puesta a tierra el neutro de EPM y ponerla en funcionamiento, deberá medirse.

- Las colas de la malla hasta el transformador van en dos cables en paralelo de diámetro 1/0AWG-THHN, un cable para el neutro del transformador y uno para la carcasa.

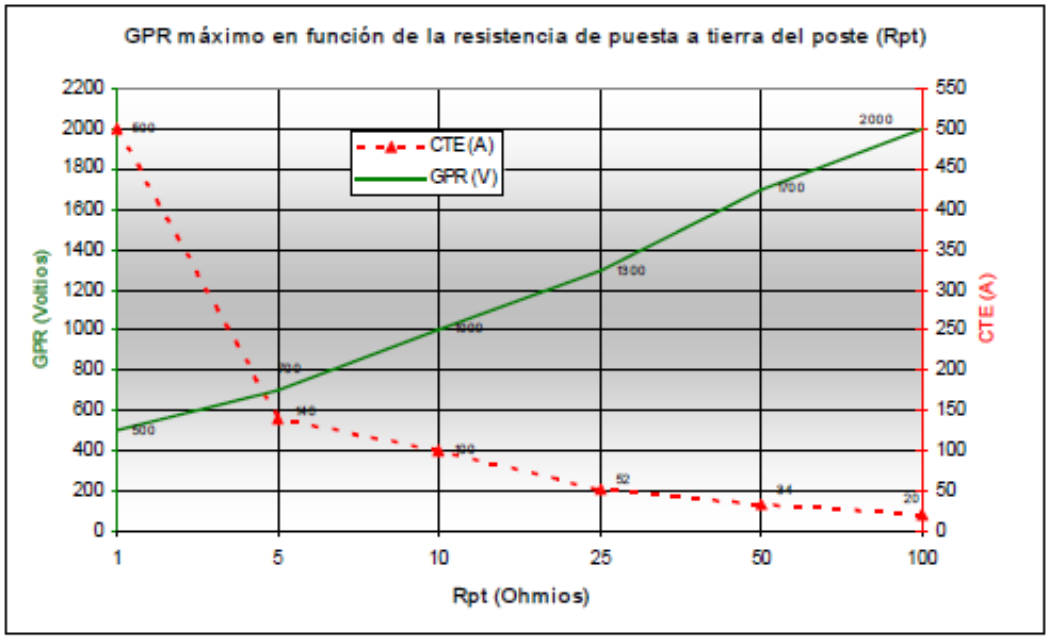
## 13 CONCLUSIONES

- Con la configuración 7 de la norma RA6-010 EPM y de acuerdo a la resistividad del terreno. La resistencia de puesta a tierra para el transformador de 75kVA es de 9.33 ohmios lo cual es menor a los 10 ohmios para una subestación de media tensión según valores de referencia para resistencia de puesta a tierra Tabla 15.4 del RETIE.

- Adoptando las medidas pertinentes a la Norma de Empresas Públicas de Medellín, nos aseguramos de que los valores máximos de las tensiones de paso y contacto a que puedan estar sometidas los seres humanos, no superen los umbrales de soportabilidad (RETIE).

- Dado los diferentes factores que inciden en la magnitud final del GPR sobre las puestas a tierra durante eventos de falla a tierra en el sistema de distribución, se establecerá como referencia la siguiente curva, con el fin de obtener el GPR esperado del sistema, así como la magnitud de corriente asociada a la resistencia de puesta a tierra del circuito. Esta curva permitirá estandarizar las configuraciones de puesta a tierra a utilizarse en el sistema de EPM y garantizar que las tensiones de contacto y de paso que se generen ante una falla, se encuentren por debajo de las tensiones permisibles para el ser humano en el lugar donde será ubicada la puesta a tierra.

**Figura 3. GPR máximo en función de la resistencia de puesta a tierra del poste (Rpt).**




- La resistencia de diseño de la malla de puesta a tierra para el cuarto técnico es de 9.63 ohmios y se puede validar que se controlan tensiones de paso y transferida.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] ANSI/IEEE Std. 80-1 986 “IEEE Guide for Safety in AC. Substation Grounding”.

[2] ANSI/IEEE Std. 81-1983. “IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System”.

[3] ANSI/IEEE Std. 367-1987. “IEEE. Recommended Practice for Determining the Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage from a Power Fault”.

[4] ANSI/IEEE Std. 837-1989. “IEEE Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding”.

[5] ANSI/IEEE. IEEE Std.142-1986, “IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems”.

[6] Dawalibi, C. J. Blattner. “Earth Resistivity Measuring interpretation Techniques”. IEEE Transactions On Apparatus and Systems”. Vol. PAS-103, No. 2. February 1984.

[7] Dawalibi, D. Mukhedkar. “Influence of Ground Rods on Grounding Grids”. IEEE Transactions on Power Apparatus and systems, vol. PAS-98, No. 6, Nov/Dec 1979.

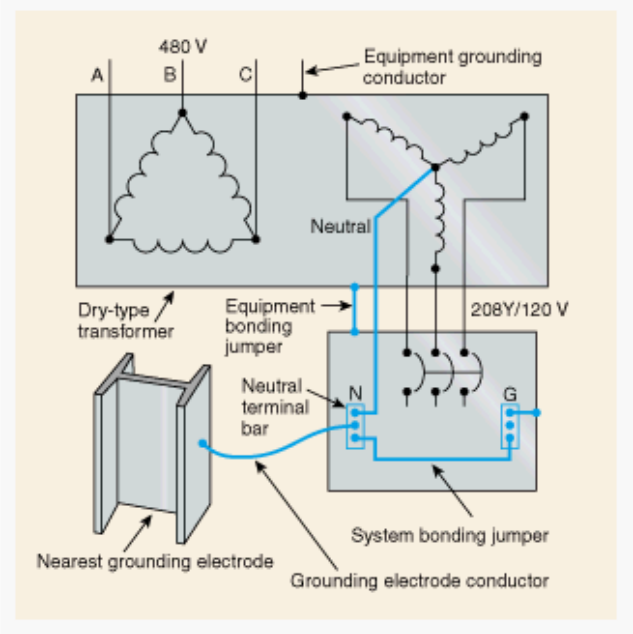
[8] ICONTEC. NTC 2050 1998 “Código Eléctrico Colombiano”.

[9] Ministerio de Minas y Energía. “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE”. Resolución Número 90708 de 2013, (Agosto 30 – 2013).

# ANEXOS

Anexo A. Conexiones equipotenciales para el sistema de puesta a tierra

**Figura 4. Tomado del HandBook del NEC. Arreglo de puesta atierra en el cual la conexión del electrodo (Neutro- Tierra) es hecho única y exclusivamente en el sitio del primer medio de desconexión (M/L)**




Nota: Los voltajes son solo parte de la gráfica, para nuestro caso tenemos 460/208/120. V.

**Figura 5. Tomado del HandBook del NEC M/L Principal y tableros de circuitos ramales**

