

## ANÁLISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

**CAPITULO 4****10.- CÁLCULO PARA LA MALLA DE PUESTA A TIERRA****10.1.- Datos generales del sistema**

Acometida principal= trifásica constituida por banco de 3 transformadores monofásicos

*TABLA 5.- Datos principales del banco de transformadores*

<b>DATOS PRINCIPALES DEL BANCO DE TRANSFORMADORES</b>				
<b>Identificación</b>	<b>Impedancia (z)</b>	<b>Potencia (kVA)</b>	<b>Volt. Lado M.T.</b>	<b>Volt. Lado B.T.</b>
<b>T1</b>	1,9%	167 KVA	13200VAC	120/240VAC
<b>T2</b>	6%	250 KVA	13200VAC	120/240VAC
<b>T3</b>	1,9%	167 KVA	13200VAC	120/240VAC

*TABLA 6.- Lecturas obtenidas en los tableros principales*

<b>Trafo</b>	<b>Fase - fase</b>	<b>Volt. L - l</b>	<b>Fase - neutro</b>	<b>Volt. L - n</b>
<b>T1</b>	A - B	234.2 VAC	A - N	115.5 VAC
<b>T2</b>	B - C	232.3 VAC	B - N	203.3 VAC
<b>T3</b>	A - C	230.9 VAC	C - N	115.7 VAC

La alimentación al tablero principal cuenta con una terna de TW 5 x 500MCM por fase

### 10.2.- Procedimientos para el diseño de una malla de puesta a tierra

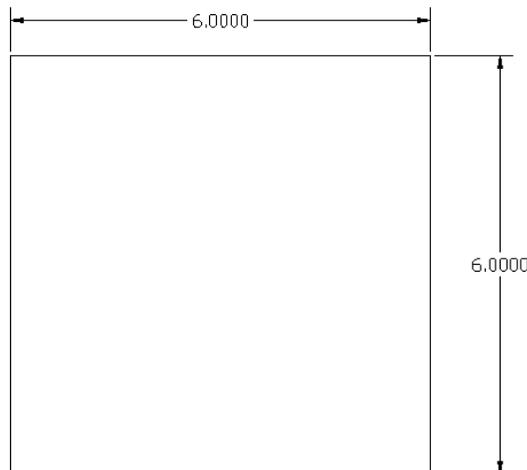
- Área a ocupar para la instalación de la malla
- Cálculo del radio equivalente del área seleccionada para la malla
- Graficar un rectángulo sobre esta área
- Insertar la malla dentro del área seleccionada
- Calcular la longitud del conductor requerido
- Medir la resistividad del terreno
- Cálculo de la corriente de cortocircuito
- Cálculo de corriente máxima de falla
- Cálculo del calibre del conductor de puesta a tierra
- Cálculos de la resistencia de la malla de puesta a tierra
- Cálculos de resistencia total del sistema
- Cálculo de tensión de paso y de toque según la IEEE Std 80 - 2000
- Cálculo de la elevación de potencial de tierra “GPR”

### 10.3- Área a ocupar para la instalación de la malla

Para la instalación de la malla de puesta a tierra utilizaremos el estacionamiento y para realizar el cálculo empezaremos con un área de las siguientes dimensiones

Largo= 6mts y Ancho= 6mts

Puesto que para los diseños de mallas de puesta a tierra se trabaja sobre el área de la construcción esta vez, se construirá la malla en un estacionamiento contiguo al edificio, debido a que en la base del edificio se encuentra construida una cisterna de agua con lo cual nos deja muy limitada el área a ocupar para la malla.



## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

$$A = L \times L \Rightarrow A = (6\text{mts}) \times (6\text{mts}) = 36\text{m}^2$$

**10.4.- Cálculo del radio equivalente del área seleccionada para la malla**

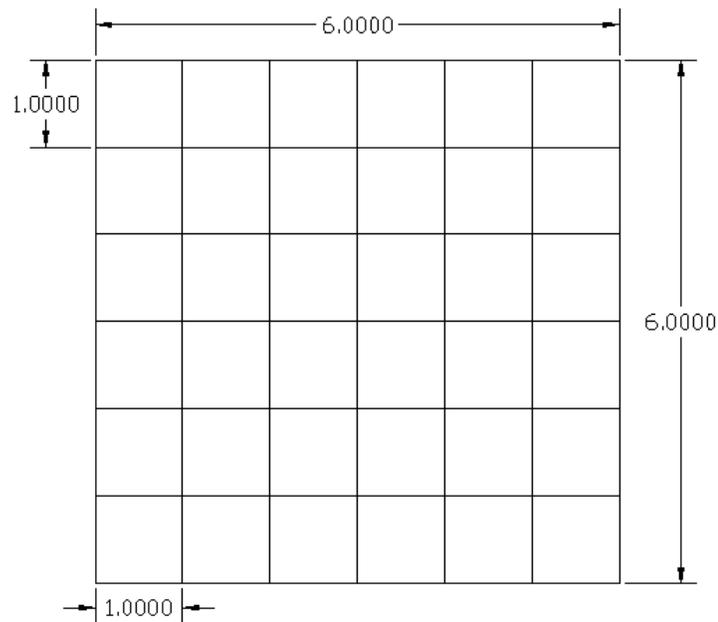
$$A = \pi \times r^2 \Rightarrow r^2 = \frac{A}{\pi} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{36\text{m}^2}{\pi}} = 3.385\text{m}$$

**10.5.- Graficar un rectángulo sobre esta área**

Como estamos en el estacionamiento el sitio seleccionado es el área de dimensión de la malla a diseñar 6metros de largo por 6 metros de ancho.

Área total = 36 mts cuadrados

**10.6.- Insertar la malla dentro del área seleccionada**

Insertamos la malla de 6 x 6 la cual se divide en retículas de 1metro x 1 metro

## ANÁLISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

**10.7.- Calcular la longitud del conductor requerido**

$$\text{Longitud Total (Lt)} = 7(6) + 6(7) = 84\text{mts}$$

Para construir esta malla necesitaremos 84 metros de conductor

**10.8.- Medir la resistividad del terreno**

Se realizaron 4 tomas de acuerdo al método wenner, a su vez se calculo la resistividad con la formula correspondiente al método.

$$\rho = 2\pi \times d \times R$$

Donde:

d= distancia en metros de cada medición

R= resistencia obtenida con la medición

Con lo que al realizar las mediciones obtuvimos la siguiente tabla:

*TABLA 7.- Datos obtenidos del terreno en el análisis realizado*

<b>Medida de resistencia método wenner</b>		
<b>distancia</b>	<b>resistencia</b>	<b>resistividad</b>
1 mts	40.3 ohmios	253.21 ohmios metro
2 mts	18.03 ohmios	226.57 ohmios metro
3 mts	5.85 ohmios	110.269 ohmios metro
4 mts	0.98 ohmios	24.63 ohmios metro

Mediante el método de suelo uniforme, podremos obtener la resistividad equivalente de acuerdo al número de mediciones realizadas.

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4}{4} \Rightarrow \rho = \frac{(253.21) + (226.27) + (110.27) + (24.63)}{4} = 153.67\Omega - m$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

Entonces para efectos de cálculo trabajamos con una resistividad de  $153.67\Omega - m$

Cabe mencionar que estamos en la estación invernal por lo que al realizar las mediciones el suelo se encontraba húmedo por ende obtendremos una buena resistividad, para evitar errores de diseño, asumimos el cálculo en época de verano, donde el suelo permanece seco y por ende su resistividad aumenta.

De acuerdo al tipo de suelo en esa zona se considero un tipo de **suelo seco con una resistividad de  $800\Omega - m$**

En las instalaciones se encontraban dos varillas de cobre las cuales están haciendo la protección del sistema de puesta a tierra del apantallado de las líneas de media tensión del sistema y del neutro de la estrella del lado de media tensión.

Se realizo el analisis de la resistencia de las dos varillas obteniendo los siguientes resultados:

*TABLA 8.- Resistencia de los electrodos instalados*

<b>resistencia de los electrodos instalados</b>	
cable desnudo # 4/0 + varilla cooperweld 5/8	21.7 ohmios
cable desnudo # 8 + varilla cooperweld 5/8	21.9 ohmios

**10.9.- Cálculo de la corriente de cortocircuito**

Obteniendo la impedancia total del banco de transformadores

$$P(1\%icc)_{T1} = \frac{167KVA}{1.9\%} = 87.89$$

$$P(1\%icc)_{T2} = \frac{250KVA}{6\%} = 41.66$$

$$P(1\%icc)_{T3} = \frac{167KVA}{1.9\%} = 87.89$$

$$Pg(1\%icc) = (87.89 + 41.66 + 87.89) = 217.44KVA$$

$$V_{ccG} = \frac{PG}{Pg(1\%icc)} \Rightarrow \frac{(167 + 250 + 167)KVA}{217.44KVA} = \frac{584KVA}{217.44} = 2.68\%$$

Bajo la norma ANSI/IEEE 141-1986 del IEEE

***ICC max en el lado de baja tensión***

$$I_{sec} = \frac{KVA \times 1000}{\sqrt{3} \times E}$$

$$I_{sec} = \frac{584 \times 1000}{\sqrt{3} \times 240V} = 1404.88A$$

La corriente de cortocircuito simétrica máxima (ICC max) será:

## ANÁLISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

$$ICC \text{ max} = \frac{100\%}{Z\%} \times I_{sec}$$

$$ICC \text{ max} = \frac{100\%}{2.68} \times 1404.88A = 52420.89 A$$

La corriente de cortocircuito asimétrica será:

$$I_{cc-asim} = ICC \text{ max} \times D_f$$

$D_f$  = factor de asimetría (factor que depende de la relación X/R en el punto de falla de acuerdo al capítulo 15 sección 15.10, de la norma IEEE Std 80 – 2000)

*TABLA 9.- Valores típicos del factor de asimetría ( $D_f$ )*

Fault duration, $t_f$		Decrement factor, $D_f$			
Seconds	Cycles at 60 Hz	X/R = 10	X/R = 20	X/R = 30	X/R = 40
0.008 33	0.5	1.576	1.648	1.675	1.688
0.05	3	1.232	1.378	1.462	1.515
0.10	6	1.125	1.232	1.316	1.378
0.20	12	1.064	1.125	1.181	1.232
0.30	18	1.043	1.085	1.125	1.163
0.40	24	1.033	1.064	1.095	1.125
0.50	30	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	45	1.018	1.035	1.052	1.068
1.00	60	1.013	1.026	1.039	1.052

Entonces obtenemos para una relación X/R = 10 y para una falla de tiempo 1 segundo de 60 ciclos

$$I_{cc-asim} = ICC \text{ max (BT)} \times 1.013$$

$$I_{cc-max} = 52420.89 \times 1.013 = \mathbf{53102.36} \text{ amperes asimétricos}$$

## ANÁLISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

***ICC max en el lado de media tensión***

$$I_{sec} = \frac{KVA \times 1000}{\sqrt{3} \times E}$$

$$I_{sec} = \frac{584 \times 1000}{\sqrt{3} \times 13200V} = 25.54A$$

La corriente de cortocircuito simétrica máxima (Icc-max) será:

$$ICC \max = \frac{100\%}{Z\%} \times I_{sec}$$

$$ICC \max = \frac{100\%}{2.68} \times 25.54A = 3755.8 A$$

La corriente de cortocircuito asimétrica será:

$$I_{cc-asim} = ICC-max (MT) \times Df$$

$$I_{cc-max} = 3755.8 \times 1.013 = 3804.62 \text{ amperes asimétricos}$$

**10.10.- Calculo de corriente máxima de falla**

La corriente máxima que circulara por la malla se calcula de acuerdo con:

$$IG = Df \times Ig$$

En donde:

- $Df$  = factor de asimetría
- $Ig$  = corriente simétrica de falla inyectada a la malla de tierra
- $IG$  = máxima corriente de falla asumida por la malla

Luego:

$$Ig = Sf \times If$$

Donde:

- $Sf$  = factor divisor de corriente de falla
- $If$  = corriente rms simétrica de falla a tierra

***El factor de división de corriente (SF) es el porcentaje de corriente que disipara la malla de tierra, el resto retornara el sistema hasta ser despejada.***

Para efectos de calculo trabajamos con un valor de  $Sf = 0.20$

$$Ig = 0.20 \times 53102.36 = 10620.47$$

El valor de  $Df$  se lo calcula de acuerdo a la tabla N° 10 de la norma IEEE Std 80 – 2000 dependiendo de la relación X/R para una falla de tiempo 0.05 segundo de 3 ciclos

Entonces:

$$IG = Df \times Ig = 1.013 \times 10620.47 = 10758.53$$

**10.11.- Cálculo del calibre del conductor de puesta a tierra**

El cálculo del conductor de puesta a tierra para plantas industriales y subestaciones se puede calcular de la siguiente manera:

$$A = I \sqrt{\frac{33s}{\log\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right)}}$$

En donde:

A= área del conductor en milésimas de circulares (cmils)

I= corriente máxima de falla a tierra en amperes

S= tiempo durante el cual fluye la corriente de falla

T<sub>m</sub>= temperatura máxima de fusión en °C, véase tabla A-2.

T<sub>a</sub>= temperatura ambiente en °C

El factor T<sub>m</sub>, temperatura máxima de fusión, se puede obtener de la tabla 7

TABLA 10.- Temperatura máxima de fusión

Descripción	Temperatura de fusión
Alambre de cobre recocido	1083
Alambre de cobre duro	1084
Núcleo de acero con revestimiento de cobre	1084/1300
Alambre de aluminio	657
Aleación de aluminio	660
Alma de acero con recubrimiento de aluminio	660/1300
Alma de acero con cubierta de zinc	419/1300
Acero inoxidable	1400

$$A = I \sqrt{\frac{33s}{\log\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right)}} \Rightarrow A = (10220.6) \sqrt{\frac{33 \times 3}{\log\left(\frac{1084 - 35}{234 + 35} + 1\right)}} = 122410.34 \text{ CMILS}$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

De acuerdo al resultado, basado en la tabla # 8 del NEC 2005 NFPA70, obtenemos un conductor de calibre # 2/0 (133100 CMILS)

La norma IEEE std 80 - 2000 recomienda como calibre mínimo el AWG número 4/0.

Ahora realizamos el cálculo de acuerdo a la norma IEEE Std 80 – 2000 la cual utiliza la siguiente formula simplificada.

$$A_{Kcmils} = I \times K_f \times \sqrt{t_c}$$

Donde:

A Kcmil = área del conductor en Kcmil

I = corriente de falla en KA

Tc = tiempo de duración de la falla

Kf = constante obtenida de la tabla #2 para varios materiales a distintas temperaturas

*TABLA 11.- Constante Kf para diferentes tipos de electrodos y temperatura*

Material	Conductivity (%)	$T_m^a$ (°C)	$K_f$
Copper, annealed soft-drawn	100.0	1083	7.00
Copper, commercial hard-drawn	97.0	1084	7.06
Copper, commercial hard-drawn	97.0	250	11.78
Copper-clad steel wire	40.0	1084	10.45
Copper-clad steel wire	30.0	1084	12.06
Copper-clad steel rod	20.0	1084	14.64
Aluminum EC Grade	61.0	657	12.12
Aluminum 5005 Alloy	53.5	652	12.41
Aluminum 6201 Alloy	52.5	654	12.47
Aluminum-clad steel wire	20.3	657	17.20
Steel 1020	10.8	1510	15.95
Stainless clad steel rod	9.8	1400	14.72
Zinc-coated steel rod	8.6	419	28.96
Stainless steel 304	2.4	1400	30.05

## ANÁLISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

$$A_{\text{Kcmils}} = I \times K_f \times \sqrt{t_c}$$

$$A_{\text{Kcmils}} = (10.22) \times 7.06 \times \sqrt{3}$$

$$A_{\text{Kcmils}} = 124.97 \text{ Kcmils}$$

Nuevamente según la tabla # 8 del NEC 2005 NFPA70 y tomando el inmediato superior para 124.97Kcmils obtenemos un conductor de calibre # 2/0 (133100 CMILS)

Entonces para nuestra malla de tierra necesitaremos un conductor # 2/0 de cobre

**10.12.- Diseño de la malla del sistema de puesta a tierra**

Se realiza primer diseño de la malla del sistema de puesta a tierra

**10.12.1- Cálculos de la resistencia de la malla de puesta a tierra**

Los siguientes cálculos se realizaron asumiendo los datos más críticos para la época de verano

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A} + \frac{\rho}{L}}$$

En donde:

$R_g$  = resistencia de la red de tierra en ohm

$\rho$  = resistividad promedio en  $\Omega - m$

$A$  = área ocupada por la malla

$L$  = longitud total del conductor enterrado

$$R_g = \frac{\rho}{4} \times \sqrt{\frac{\pi}{A} + \frac{\rho}{L_t}}$$

$$R_g = \frac{800 \Omega - m}{4} \times \sqrt{\frac{\pi}{3.385 mts} + \frac{800 \Omega - m}{84 mts}} \Rightarrow R_g = 646.58 \Omega$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

Con el efecto de cumplir con el artículo # 250 – 56 el cual determina:

Que el electrodo de puesta a tierra deberá tener igual o menor a 25 ohmios,

Con la finalidad de cumplir el artículo 250 - 56 colocamos varillas de cobre cooperwerld de acero con recubrimiento de cobre que tienen una longitud mínima de 2.44m, un diámetro de 5/8” de pulgada para varillas de hierro, acero y cobre.

Calculamos la resistencia por varilla:

$$R_{\text{varilla}} = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{8L}{d} - 1 \right) \right]$$

En donde:

$\rho$  = resistividad del suelo

L= longitud de la varilla

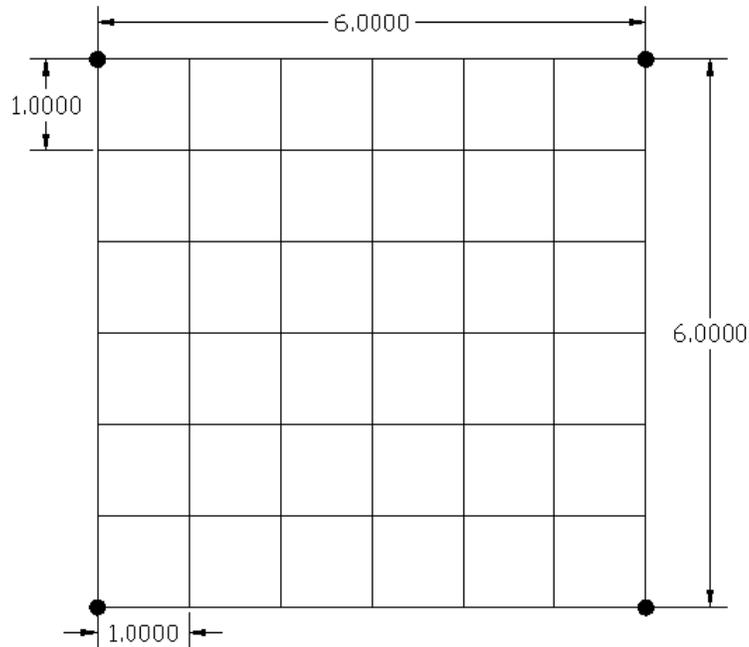
d= diámetro de la varilla

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi L} \times \left[ \ln \left( \frac{8L}{d} - 1 \right) \right]$$

$$R_v = \frac{800 \Omega \cdot \text{m}}{2\pi (2.44\text{m})} \times \left[ \ln \left( \frac{8(2.44)}{\left(\frac{5}{8}\right)} - 1 \right) \right] \Rightarrow R_v = 77.25\Omega$$

Aumentamos la longitud y bajamos la resistencia del sistema agregando 4 varillas en el contorno de la malla

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA



Sumamos la longitud total de las varillas de cobre:

$$LT = Lt1 + Lt2 = 84\text{mts} + (4 \times 2.44\text{mts c/u}) = 93.76\text{mts}$$

El Nuevo valor de la Resistencia de la malla será:

$$R_g = \frac{800\Omega - m}{4} \times \sqrt{\frac{\pi}{3.385\text{mts}} + \frac{800\Omega - m}{93.76\text{mts}}} \Rightarrow R_g = 615.15\Omega$$

### 10.12.2.- Cálculos de resistencia total del sistema

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{varillas}}} + \frac{1}{R_{\text{malla}}}} \Rightarrow \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{R_{\text{varillas}}}\right) \times 4\right] + \frac{1}{R_{\text{malla}}}}$$

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{77.25\Omega}\right) \times 4\right] + \frac{1}{615.15\Omega}} = 18.72\Omega$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

Con este valor de resistencia cumplimos con la norma requerida de un máximo de 25 ohmios

**10.12.3.- Calculo de tensión de paso y de toque según la norma IEEE Std 80 - 2000**

Determinamos el voltaje de paso y toque para una persona de 50Kg de peso en un tiempo de duración determinado de falla

$$\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} = 50\text{Kg}$$

El valor tolerable del voltaje de paso es:

$$V_p = (1000 + 6 C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

**1000** = resistencia del cuerpo humano en ohmios

**Cs** = factor de resistencia de aumento contacto por adición de material superficial

**Vp** = voltaje de paso

**Ps** = resistividad de la capa de material superficial

**P** = resistividad de la primera capa del suelo

**Ts** = tiempo de duración de la falla

Calculando obtenemos:

$$V_p = (1000 + 6 C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

$$V_p = (1000 + 6 C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$C_s = 1 - \left( \frac{0.09 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09} \right) \Rightarrow C_s = 1 - \left( \frac{0.09 \left( 1 - \frac{800\Omega - m}{10000\Omega - m} \right)}{2(0.15m) + 0.09} \right) \Rightarrow C_s = 0.78$$

$$V_p = (1000 + 6(0.78)(10000)) \times \frac{0.116}{\sqrt{3}}$$

$$V_p = 3201.29 \text{ V}$$

Para los valores de resistividad de la capa superficial de terreno trabajamos con un valor de  $10000\Omega - m$  puesto que la primera capa consiste de concreto seco, o piedra picada de  $\frac{3}{4}$ " con un espesor de 15cm.

Igualmente la resistividad de la capa superficial del suelo se tomo un valor de  $800\Omega - m$  asumiendo el cálculo en *época de verano*.

El valor tolerable del voltaje de contacto es:

$$V_c = (1000 + 1.5 C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$C_s = 0.78$$

$$V_c = (1000 + 1.5(0.78)(10000)) \times \frac{0.116}{\sqrt{3}}$$

$$V_c = 850.55 \text{ V}$$

**10.12.4.- Cálculo de la elevación de potencial de tierra “GPR”**

Con el fin de brindar (bajo condiciones de falla) una conexión segura a tierra para el voltaje de paso, el gradiente de potencial expresado en volts/metro (**GPR**) sobre la superficie del suelo *no debe exceder los valores de los voltajes de paso y contacto.*

La elevación del potencial de tierra se determina así:

$$\mathbf{GPR = IG \times R_g}$$

En donde:

$R_g$  = resistencia de la red de tierra

$IG$  = corriente máxima de falla

$$\mathbf{GPR = (10758.53) \times (18.72) = 201399.8V}$$

$$\mathbf{GPR \succ V_{paso} \Rightarrow 201399.8V \succ 3201.29V}$$

$$\mathbf{GPR \succ V_{contacto} \Rightarrow 201399.8V \succ 850.55V}$$

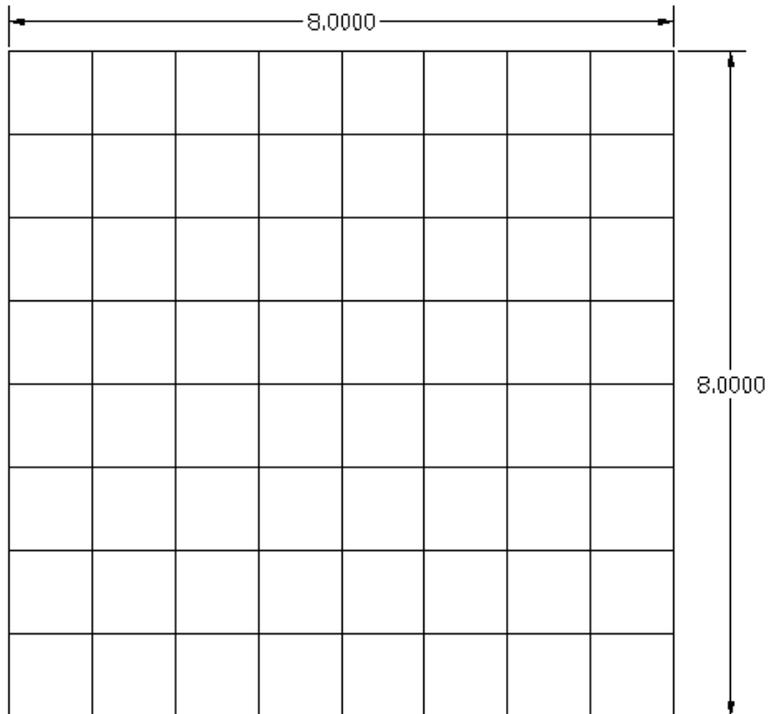
**Con lo cual concluimos que el sistema no es seguro**

Corregiremos los siguientes puntos para rediseñar el sistema de puesta a tierra y que los voltajes de paso y de contacto estén en los valores permisibles

- reducción de la resistencia del sistema de puesta a tierra mediante aumento de la longitud y área de la malla existente, a su vez varillas de cobre en paralelo
- aumento de la resistividad de la capa superficial construyendo una gruesa capa de concreto de 0.25mts de grosor.

**10.13.- Rediseño de la malla de sistema de puesta a tierra**

Se aumentó la longitud de la malla a un área de 8 x 8; con la cual tenemos una nueva área de 64 metros cuadrados y reticulada cada metro.



Radio equivalente de la nueva malla de tierra

$$A = \pi \times r^2 \Rightarrow r^2 = \frac{A}{\pi} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

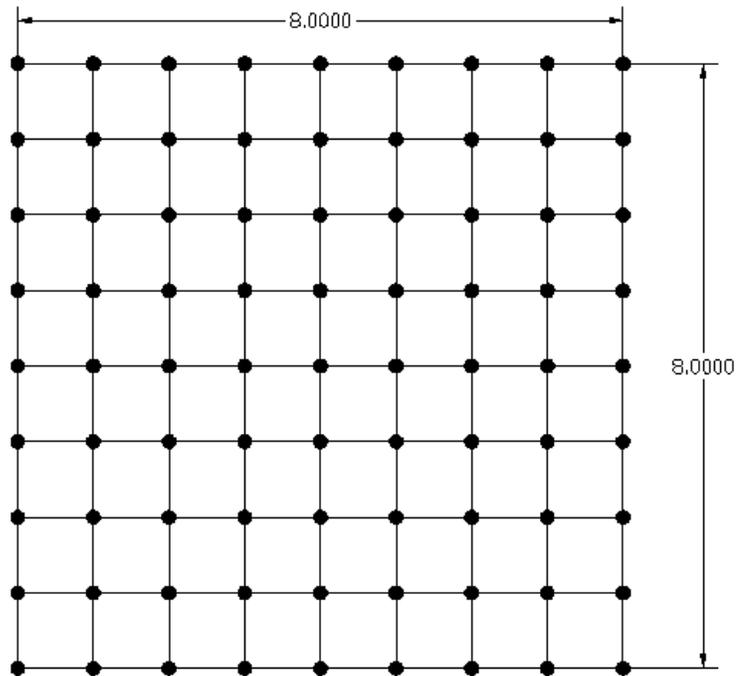
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{64\text{m}^2}{\pi}} = 4.513\text{m}$$

Longitud total del conductor utilizado en la malla

$$L_{t1} = 9(8) + 8(9) = 144\text{mts}$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

Con el fin de nuevamente obtener una resistencia mínima a tierra aumentamos varillas de cobre en cada retícula.



Sumamos la longitud total de las varillas de cobre:

$$LT = Lt1 + Lt2 = 144\text{mts} + (81 \times 2.44\text{mts c/u}) = 341.64\text{mts}$$

### 10.13.1.- Nuevo valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra

$$R_g = \frac{800 \Omega - m}{4} \times \sqrt{\frac{\pi}{4.51\text{mts}} + \frac{800 \Omega - m}{341.64\text{mts}}} \Rightarrow R_g = 348.61 \Omega$$

**10.13.2.- Cálculos de resistencia total del nuevo sistema**

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{varillas}}} + \frac{1}{R_{\text{malla}}}} \Rightarrow \frac{1}{\left(\frac{1}{R_{\text{varillas}}}\right) + \left(\frac{1}{R_{\text{malla}}}\right)}$$

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{77.25\Omega}\right) \times 81\right] + \frac{1}{348.61\Omega}} = 0.951\Omega$$

**10.13.3.- Cálculo de tensión de paso y de toque según la norma IEEE Std 80 - 2000**

Aumentando la resistividad de la capa superficial de material de  $10000\Omega - m$  a  $50000\Omega - m$  y con un nuevo espesor de esta, el nuevo valor tolerable de los voltajes de paso y contacto son:

$$V_p = (1000 + 6 C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$C_s = 1 - \left( \frac{0.09 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09} \right) \Rightarrow C_s = 1 - \left( \frac{0.09 \left( 1 - \frac{800\Omega - m}{50000\Omega - m} \right)}{2(0.25m) + 0.09} \right) \Rightarrow C_s = 0.849$$

$$V_p = (1000 + 6 (0.849) (50000)) \times \frac{0.116}{\sqrt{3}}$$

$$V_p = 17124.9 \text{ V}$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

A su vez el valor tolerable del voltaje de contacto es:

$$V_c = (1000 + 1.5 C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$C_s = 0.849$$

$$V_c = (1000 + 1.5 (0.849) (50000)) \times \frac{0.116}{\sqrt{3}}$$

$$V_c = 4331.45 \text{ V}$$

### 10.13.4.- Calculo de la elevación de potencial de tierra “GPR”

$$\text{GPR} = (10758.53) \times (0.951) = 10220.6$$

$$\text{GPR} \langle V_{\text{paso}} \Rightarrow 10220.6V \langle 17124.9V$$

$$\text{GPR} \rangle V_{\text{contacto}} \Rightarrow 10220.6V \rangle 4331.45V$$

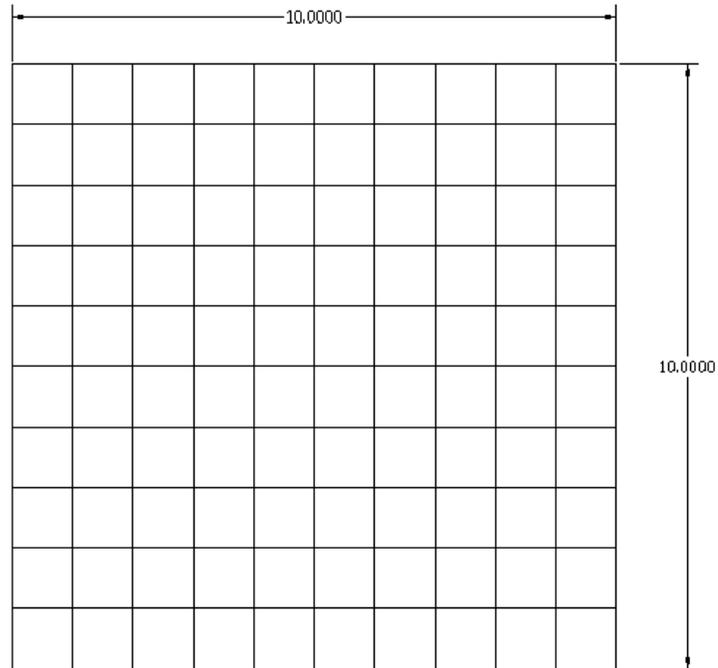
Con lo cual concluimos que el sistema no es seguro para los valores de voltaje de contacto

### 10.14.- Diseño final de la malla del sistema de puesta a tierra

Se aumento la longitud de la malla a un área de 10 x 10; con la cual tenemos una nueva área de 64 metros cuadrados y reticulada cada metro.

A su vez disminuimos la resistividad de la capa del suelo y aumentamos la profundidad de la capa superficial de material a 30cm para los voltajes de paso y contacto

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA



Radio equivalente de la nueva malla de tierra

$$A = \pi \times r^2 \Rightarrow r^2 = \frac{A}{\pi} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

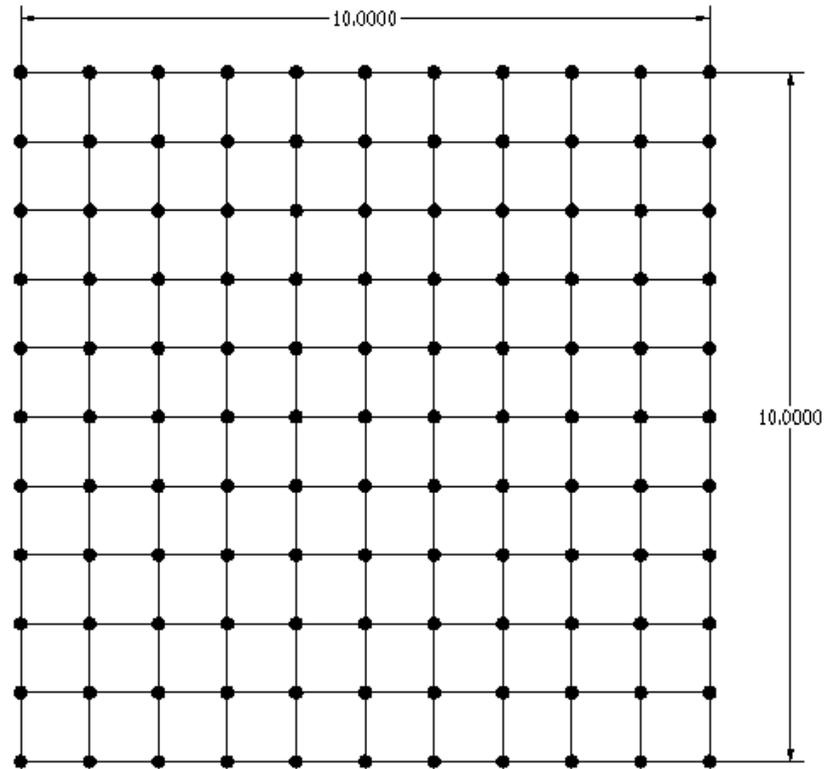
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{100\text{m}^2}{\pi}} = 5.64\text{m}$$

Longitud total del conductor utilizado en la malla

$$LT1 = (10 \times 11) + (10 \times 11) = 220\text{m}$$

Con el fin de nuevamente obtener una resistencia mínima a tierra aumentamos varillas de cobre en cada retícula.

## ANÁLISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA



Sumamos la longitud total de las varillas de cobre:

$$LT = Lt1 + Lt2 = 220m + (121 \times 2.44\text{mts c/u}) = 515.24m$$

#### 10.14.1.- Resistencia de la malla de puesta a tierra

$$R_g = \frac{500 \Omega - m}{4} \times \sqrt{\frac{\pi}{5.64m} + \frac{500 \Omega - m}{515.24m}} \Rightarrow R_g = 154.48 \Omega$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

**10.14.2.- Resistencia de las varilla de cobre**

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi L} \times \left[ \ln \left( \frac{8L}{d} - 1 \right) \right]$$

$$R_v = \frac{500 \Omega \cdot m}{2\pi (2.44m)} \times \left[ \ln \left( \frac{8(2.44)}{\left(\frac{5}{8}\right)} - 1 \right) \right] \Rightarrow R_v = 48.28\Omega$$

**10.14.3.- Cálculos de resistencia total del nuevo sistema**

$$R_{total} = \frac{1}{\frac{1}{R_{varillas}} + \frac{1}{R_{malla}}} \Rightarrow \frac{1}{\left(\frac{1}{R_{varillas}}\right) + \left(\frac{1}{R_{malla}}\right)}$$

$$R_{total} = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{48.28\Omega}\right) \times 121\right] + \frac{1}{154.48\Omega}} = 0.397\Omega$$

**10.14.4.- Calculo de tensión de paso y de toque****Tensión de paso**

$$V_p = (1000 + 6 C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$C_s = 1 - \left( \frac{0.09 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09} \right) \Rightarrow C_s = 1 - \left( \frac{0.09 \left( 1 - \frac{500\Omega \cdot m}{50000\Omega \cdot m} \right)}{2(0.3m) + 0.09} \right) \Rightarrow C_s = 0.87$$

$$V_p = (1000 + 6(0.87)(50000)) \times \frac{0.116}{\sqrt{3}}$$

$$V_p = 17546.82 \text{ V}$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

**Tensión de contacto**

$$V_c = (1000 + 1.5 C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$C_s = 0.87$$

$$V_c = (1000 + 1.5 (0.87) (50000)) \times \frac{0.116}{\sqrt{3}}$$

$$V_c = 4436.93 \text{ V}$$

**10.14.5.- Calculo de la elevación de potencial de tierra “GPR”**

$$\text{GPR} = (10758.53) \times (0.397) = 4271.13$$

$$\text{GPR} \langle V_{\text{paso}} \Rightarrow 4271.13\text{V} \langle 17546.82\text{V}$$

$$\text{GPR} \langle V_{\text{contacto}} \Rightarrow 4271.13\text{V} \langle 4436.93\text{V}$$

**El sistema es totalmente seguro****10.15.- Calculo de los parámetros de seguridad en época invernal**

A continuación se realizaran los cálculos para determinar los valores de seguridad en la época invernal

**10.15.1.- Resistencia de la malla de puesta a tierra**

$$R_g = \frac{153.67 \Omega - m}{4} \times \sqrt{\frac{\pi}{5.64\text{mts}} + \frac{153.67 \Omega - m}{515.24\text{mts}}} \Rightarrow R_g = 35.52\Omega$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

**10.15.2.- Resistencia total del nuevo sistema**

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{varillas}}} + \frac{1}{R_{\text{malla}}}} \Rightarrow \frac{1}{\left(\frac{1}{R_{\text{varillas}}}\right) + \left(\frac{1}{R_{\text{malla}}}\right)}$$

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{48.28\Omega}\right) \times 121\right] + \frac{1}{35.52\Omega}} = 0.394\Omega$$

**10.15.3.- Tensión de paso y de toque****Voltaje de paso**

$$V_p = (1000 + 6 C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$C_s = 1 - \left( \frac{0.09 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09} \right) \Rightarrow C_s = 1 - \left( \frac{0.09 \left( 1 - \frac{153.67\Omega - m}{50000\Omega - m} \right)}{2(0.3m) + 0.09} \right) \Rightarrow C_s = 0.869$$

$$V_p = (1000 + 6(0.869)(50000)) \times \frac{0.116}{\sqrt{3}}$$

$$V_p = 17546.14 \text{ V}$$

**Voltaje de toque**

$$V_c = (1000 + 1.5 C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$C_s = 0.869$$

$$V_c = (1000 + 1.5(0.869)(50000)) \times \frac{0.116}{\sqrt{3}}$$

$$V_c = 4431.91 \text{ V}$$

## ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

**10.15.4.- Calculo del “GPR”**

$$\text{GPR} = (10758.53) \times (0.394) = 4238.86\text{V}$$

$$\text{GPR} \langle V_{\text{paso}} \Rightarrow 4238.86\text{V} \langle 17546.14\text{V}$$

$$\text{GPR} \langle V_{\text{contacto}} \Rightarrow 4238.86\text{V} \langle 4431.91\text{V}$$

**El sistema también es seguro en época invernal**

ANALISIS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

10.16.- Diagrama unifilar del sistema de puesta a tierra a instalar  
Anexo 6

Figura 74.- Diagrama unifilar del sistema de puesta a tierra

