



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA

TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECÁNICA

**Estudio de un sistema de puesta a tierra aplicando la normativa eléctrica vigente para protección de sistemas eléctricos y de comunicaciones en la Radio Latacunga
Año 2023**

Proyecto realizado por: Calvopiña Tipan, Melida Yahaira

Tutor: Ing. Lara Jácome, Oscar Rodrigo

Latacunga, Agosto del
2023





Agenda

- ✓ Justificación
- ✓ Objetivos
- ✓ Desarrollo
- ✓ Implementación
- ✓ Análisis y Resultados
- ✓ Conclusiones
- ✓ Recomendaciones

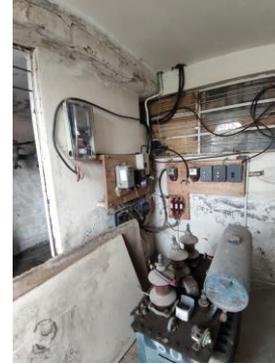




JUSTIFICACIÓN

Mediante el estudio de un sistema de puesta a tierra se busca el buen funcionamiento de los equipos eléctricos y de comunicaciones que maneja la radio Latacunga incluido también la protección de las personas que se encuentran en la misma.

Se requiere un diseño que esté acorde a la normativa vigente que pueda cumplir con la función de proteger estos equipos y las personas al tener un valor de resistencia menor a 5 ohmios.





Este estudio será de gran beneficio para la radio ya que se podrá utilizar como una guía para la construcción posterior del sistema de puesta a tierra que se requiere en el lugar, ya que constará de un análisis de resistividad del terreno, diseño de la malla a tierra, ubicación, valores calculados de resistencia, costos estimados de construcción, la implementación de este sistema alargará la vida útil de los equipos de radio, mejorará la transmisión en la señal al no existir diferencia de valores en las referencias de tierra.





OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar la importancia de un sistema de puesta a tierra aplicando la normativa eléctrica vigente para protección de sistemas eléctricos y de comunicaciones





Objetivos Específicos

Determinar la resistividad del terreno en la cual se encuentra la estación de Radio Latacunga.

Conocer y comprender las normas que regulan el estudio de un sistema de puesta a tierra

Aplicar los conocimientos y fórmulas para el desarrollo de un diseño óptimo de puesta a tierra para dispositivos o equipos de comunicaciones de radio.

Realizar planos y presupuesto referencial para la construcción e implementación del sistema de puesta a tierra diseñado.





Durante la inspección realizada en radio Latacunga se revisó la cámara de transformación que tiene más de 30 años de haber sido construida, cuenta con un transformador de 75kVA, se pudo constatar el mal estado en el que se encuentra esta instalación.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Como parte de la inspección también se pudo constatar que no disponen de una puesta a tierra apropiada para el buen funcionamiento de los equipos conectados a la red eléctrica interna de la radio, existen varillas de cobre instaladas en algunos puntos para poder tener una referencia de tierra, pero al realizar las mediciones de resistencia de las mismas nos da como resultado un promedio de 125 (ohmios),





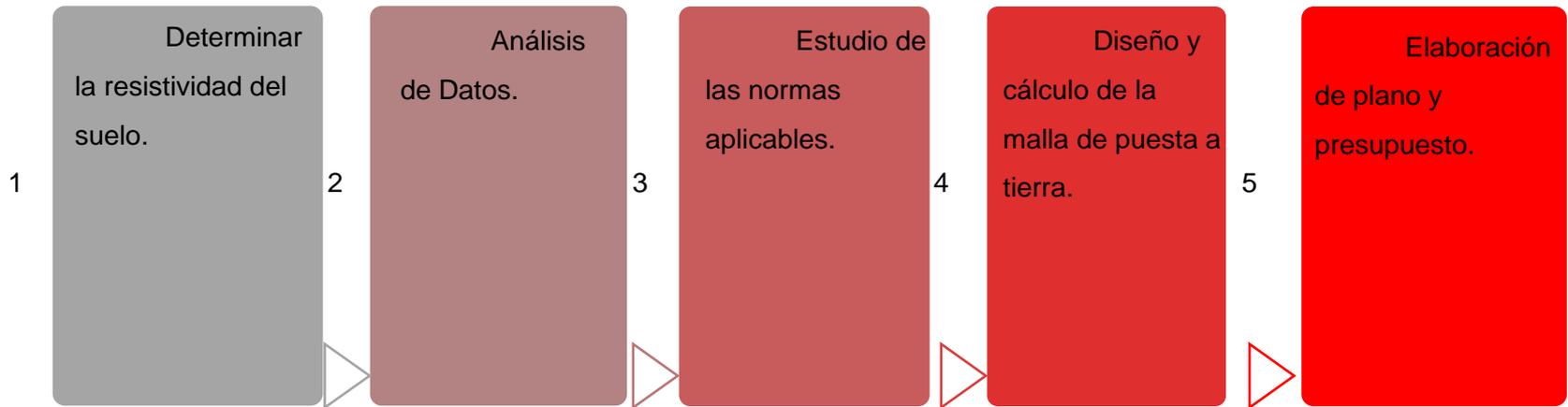
Metodología para el estudio de un sistema de puesta a tierra

Para determinar un estudio de campo inicial y presentar soluciones para los problemas que se vienen dando en la Radio Latacunga, tales como son daños en los equipos de enlace de transmisión, procesadores de audio y video, consolas, interferencia de señal por la diferencia de valores de las referencias de tierra, las sobrecargas, el deterioro de la vida útil de los mismo.

Se abordará los siguientes pasos:



Metodología de Campo para el diseño de puesta a tierra.





Procedimiento para medir la resistividad del suelo

1. identificamos el área en la cual se va a realizar las mediciones, en este caso Radio Latacunga se encuentra funcionando en un lugar patrimonial, y su piso está cubierto por piedras, por lo cual se elige un jardín para poder diseñar la puesta a tierra, el are mencionada y su ubicación se puede observar en la Figura.

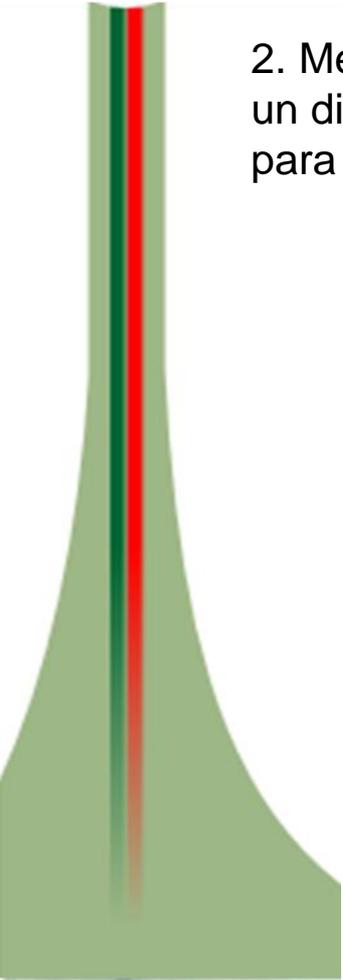
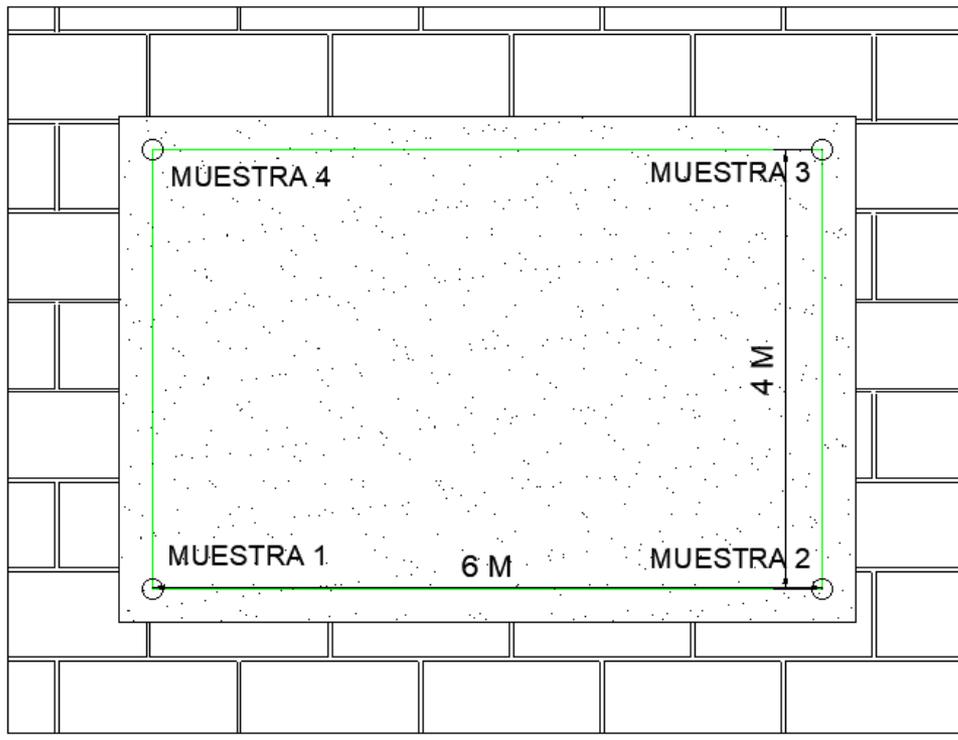




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

2. Medimos el área en la cual se proyectará la malla de puesta a tierra, se realiza un diseño para poder señalar las muestras que se van a tomar como referencia para realizar las mediciones como se muestra

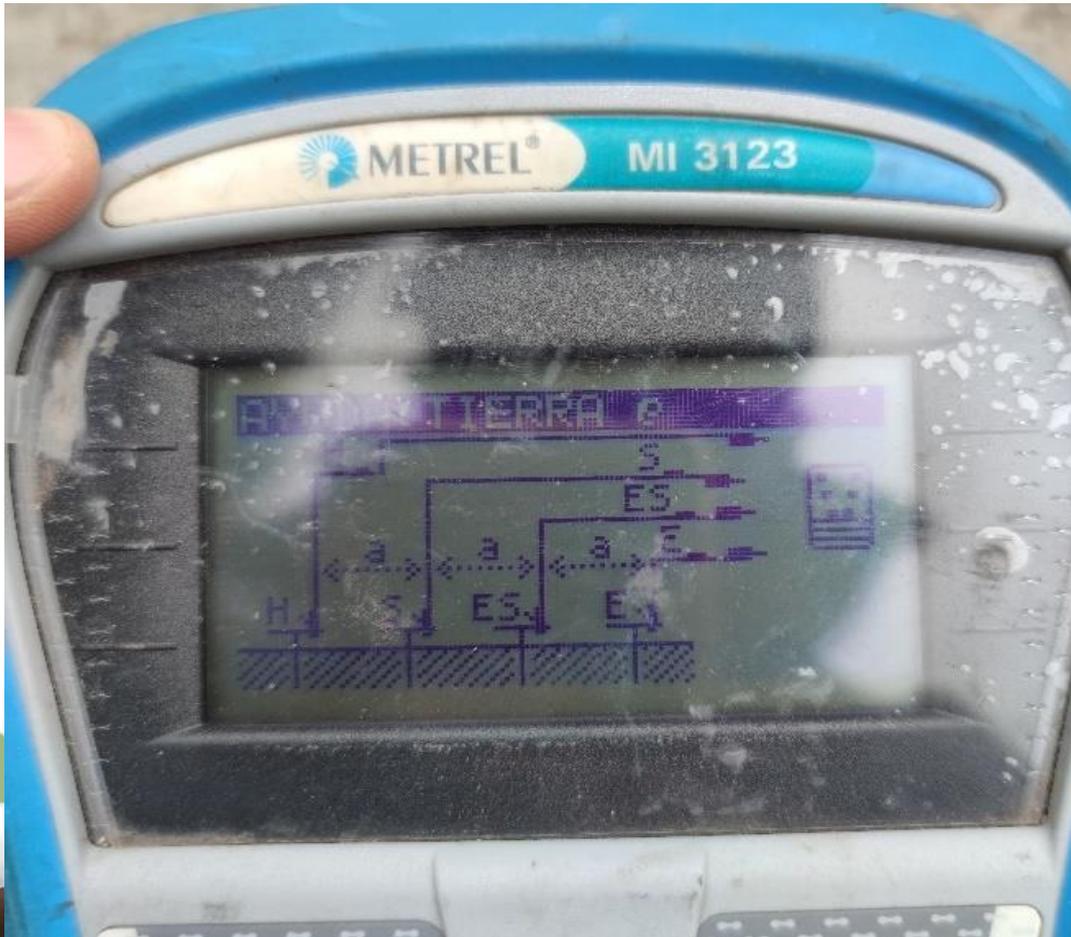




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

3. Se procede a revisar que el equipo este en buenas condiciones, para poder realizar las mediciones de resistividad de cada muestra por el método de Wenner con el equipo Marca METREL, modelo MI 3123





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

4. Se realiza la colocación de las picas partiendo de cada punto de muestra a 1 metro de distancia, después a 2 metros, en este caso tenemos un piso en el cual no se puede clavar las picas por lo cual se utiliza un método distinto como se observa a continuación.





La norma IEEE 80 describe el ensayo de resistividad terrestre Método de placa para la medición de la resistividad de un terreno no conductor. Esta norma describe el dispositivo de la placa comúnmente utilizado para medir los valores de resistividad y describe los procedimientos necesarios para hacer mediciones precisas.

Se usa una variación del método ya que no se cuenta con las placas de cobre, se procede a mojar unas toallas con agua y envolver cada pica y ponerlas en el suelo para que puedan tener mejor contacto con la superficie.





5. Se tabulan los valores obtenidos de la medición de acuerdo al número de muestra y la distancia.

Valores de resistividad del terreno.

Muestra	Resistividad ($\Omega \cdot m$) a 1 metro	Resistividad ($\Omega \cdot m$) a 2 metro
1	220	152
2	195	146
3	204	134
4	173	146
Resistividad Promedio	198	145





Análisis y Resultados

Para los diferentes análisis, se trabajará con una resistividad de 198 ($\Omega \cdot m$), que es el valor más crítico de acuerdo con la Tabla dada anteriormente

Se procede a realizar los cálculos según la normativa IEEE 80-2000, detallando las ecuaciones que se utilizan, reemplazando los valores obtenidos del levantamiento de información y las mediciones realizadas de resistividad respectivamente obtenidas.

Datos obtenidos del estudio

Valor de la resistividad

ρ

Resistividad del suelo, $\Omega \cdot m$

$$\rho = 198 \Omega \cdot m$$

Esta resistividad es un valor alto, para poder mejorar la resistividad del terreno se debe realizar un tratamiento químico con Gem al terreno para poder obtener una resistividad de 70 $\Omega \cdot m$,





Valor de la resistividad proyectada

$$\rho = 70 \Omega \cdot m$$

$$A = 8 \times 8 \text{ (m)} = 64 \text{m}^2$$

$$h = 0.50$$

$$t_s = 30 \text{ ciclos} = 0.5 \text{s}$$

ρ

Resistividad del suelo, $\Omega \cdot m$

A

Área total encerrada por la cuadrícula de tierra, m^2

h

Profundidad de enterramiento de los conductores de la cuadrícula, m

t_s

Duración del choque eléctrico para determinar la corriente de cuerpo tolerable, s

reemplazamos los valores respectivamente, para poder hallar los valores de las corrientes



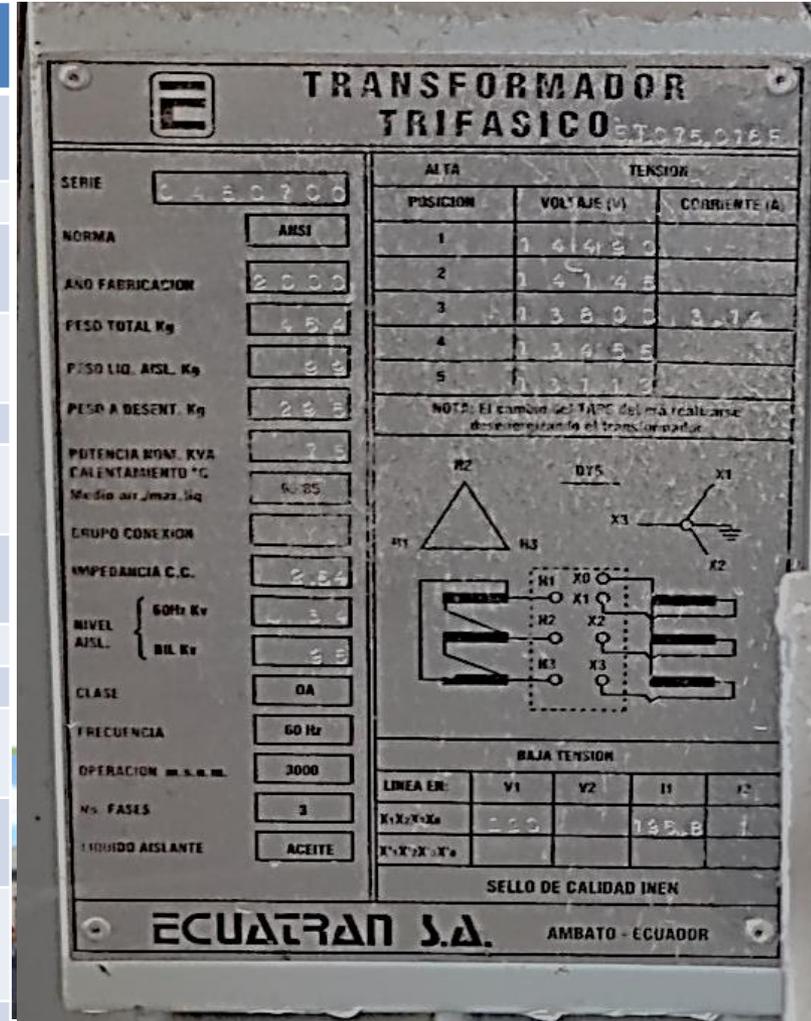


Cálculo del calibre del conductor.

Obtener la corriente de corto circuito Icc. Se utiliza los datos del transformador

Datos de placa del transformador.

Características	Especificaciones
Marca	ECUATRAN S.A
Serie	0460700
Año de fabricación	2000
Impedancia MT/BT (media tensión / baja tensión)	2,54
Frecuencia	60 Hz
Potencia Nom. KVA	75
Operación m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar)	3000
No. Fases	3
Líquido aislante	Aceite
Tensión de entrada	13800 V
Tensión Baja Tensión	220 V
Corriente en Baja Tensión	196,8 A
Conexión	DY5





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

corriente de corto circuito Icc.

Ecuación

Corriente del secundario

$$I_{sec} = \frac{kVA \times 1000}{\sqrt{3} \times V_{BT}}$$

kVA = potencia del transformador

V_{BT} = Voltaje de Baja

Reemplazamos los valores en la ecuación

$$I_{sec} = \frac{75 \times 1000}{\sqrt{3} \times 220v}$$

$$I_{sec} = 196.82 A$$





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Corriente de cortocircuito máxima del secundario.

$$I_{cc-max-sec} = \frac{100\%}{Z\%} I_{sec}$$

Donde:

$I_{cc-max-sec}$ = Corriente de cortocircuito máxima del secundario.

$Z\%$ = Impedancia del transformador

I_{sec} = Corriente de cortocircuito del secundario

Reemplazamos los valores en la ecuación 5.

$$I_{cc-max-sec} = \frac{100\%}{2.54\%} 196.82A$$

$$I_{cc-max-sec} = 7748.81 A$$





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Corriente de cortocircuito asimétrica.

$$I_{cc-asim} = I_{cc-max-sec} * F_{asim}$$

Donde:

$I_{cc-asim}$ = Corriente de cortocircuito asimétrica.

$I_{cc-max-sec}$ = Corriente de cortocircuito máxima del secundario

F_{asim} = Factor de asimetría

El factor de asimetría (F_{asim}) es 1.25, obtenida de la relación X/R en el punto de falla. La información se encuentra en el capítulo 6 de la IEEE Std 141-1986.

Reemplazamos valores en la ecuación .

$$I_{cc-asim} = 7748.81 \text{ A} * 1.25 \qquad I_{cc-asim} = 9686.01 \text{ A}$$





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Corriente máxima de cortocircuito del primario.

$$I_{cc-max-pri} = \frac{\sqrt{3} * V_{BT}}{V_{AT}} * I_{cc-max-sec}$$

Donde:

$I_{cc-max-pri}$ = Corriente máxima de cortocircuito del primario.

V_{BT} = Voltaje del lado de Baja tensión

V_{AT} = Voltaje del lado de Alta tensión

$I_{cc-max-sec}$ = Corriente máxima de cortocircuito del secundario.

Reemplazamos los valores en la ecuación .

$$I_{cc-max-pri} = \frac{\sqrt{3} * 220V}{13800V} * 7748.81 A$$

$$I_{cc-max-pri} = 213.96 A$$



Corriente máxima de cortocircuito del primario.

$$I_{cc-max-pri} = \frac{\sqrt{3} * V_{BT}}{V_{AT}} * I_{cc-max-sec}$$

$I_{cc-max-pri}$ = Corriente máxima de cortocircuito del primario.

V_{BT} = Voltaje del lado de Baja tensión

V_{AT} = Voltaje del lado de Alta tensión

$I_{cc-max-sec}$ = Corriente máxima de cortocircuito del secundario.

Reemplazamos los valores

$$I_{cc-max-pri} = \frac{\sqrt{3} * 220V}{13800V} * 7748.81 A$$

$$I_{cc-max-pri} = 213.96 A$$





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

En la siguiente ecuación Kf se obtiene de la tabla , considerando que el material a usar es cobre duro, utilizando suelda exotérmica

Constantes para los materiales de conductores.

Material	Conductividad (%)	Temperatura de fusión T_m (°C)	K_f
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7.06





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Calibre del conductor de la malla de tierra.

$$A_{\text{kcmil}} = I_{\text{falla}} * kf * \sqrt{ts} [mm^2]$$

Donde:

A_{kcmil} = Calibre del conductor de la malla de tierra.

I_{falla} = Corriente de falla.

ts = Duración del choque eléctrico para determinar la corriente de cuerpo tolerable, s

Considere que 1 kcmil es igual a 0.507 mm^2 y $tc = 0.50$ s a 30 ciclos, es el común valor utilizado para los diseños de mallas.

$$A_{\text{kcmil}} = 9.68 * 7.06 * \sqrt{0.5} [mm^2]$$

$$A_{\text{kcmil}} = 48.32 [mm^2]$$

$$48.32 * 0.507 = 24.49 [mm^2]$$



El valor obtenido en Calibre del conductor de la malla de tierra (Kcmil) es igual a 24.49 mm², se selecciona el calibre del conductor de acuerdo a la tabla que se muestra. Se considera el valor próximo y no menor al calculado en el área nominal del conductor.

Conductor de puesta a tierra.

Calibre del conductor		Área nominal (mm ²)	Diámetro (mm)
AWG	Nº Hilos		
4	7	21.15	5.88
2	7	33.63	7.41
1/0	7	53.51	9.36
2/0	7	67.44	10.5
3/0	7	85.03	11.8
4/0	7	107.02	13.2

En este caso se debería elegir el calibre 2 AWG.





Límite de tensión de toque y de paso.

Para limitar las tensiones peligrosas, se utilizan algunas ecuaciones considerando para los cálculos de una persona de 70 Kg. Al no tener ninguna capa protectora $C_s = 1$ y $\rho_s = \rho$.

C_s	Factor de reducción de la capa superficial
ρ_s	Resistividad de la capa superficial, $\Omega\text{-m}$
ρ	Resistividad del suelo, $\Omega\text{-m}$



Voltaje de paso tolerable.

$$V_{paso\ tolerable} = \frac{(1000 + 6 * C_s * \rho_s) * 0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

$V_{paso\ tolerable}$ = Voltaje de paso tolerable.

ρ_s = Resistividad del terreno

C_s = Factor de reducción de la capa superficial

t_s = Duración del choque eléctrico para determinar la corriente de cuerpo tolerable, s

Reemplazamos valores en la ecuación

$$V_{paso\ tolerable} = \frac{(1000 + 6 * 1 * 70) * 0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{paso\ tolerable} = 315.28\ V$$





Voltaje de toque tolerable.

$$V_{\text{contacto tolerable}} = \frac{(1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * 0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

$V_{\text{paso tolerable}}$ = Voltaje de paso tolerable.

ρ_s = Resistividad del terreno

C_s = Factor de reducción de la capa superficial

t_s = Duración del choque eléctrico para determinar la corriente de cuerpo tolerable, s

Reemplazamos los valores en la ecuación

$$V_{\text{contacto tolerable}} = \frac{(1000 + 1.5 * 1 * 70) * 0.157}{\sqrt{0.5}}$$

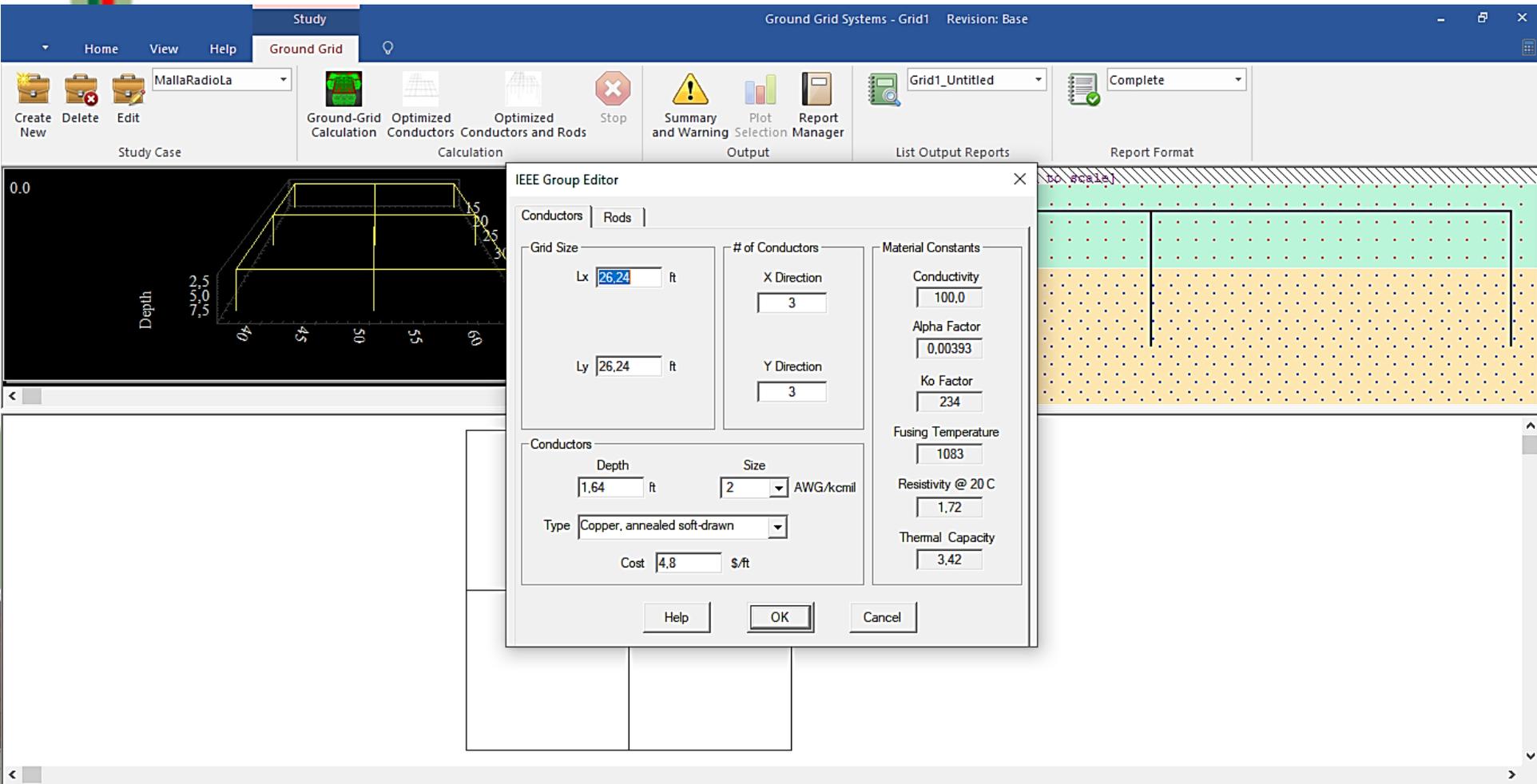
$$V_{\text{contacto tolerable}} = 245.34 \text{ V}$$



Diseño de malla

En esta parte se usó el programa ETAP 19 para poder encontrar la configuración ideal la Malla de puesta a tierra para el espacio que se dispone, en las Figuras se puede observar capturas de pantalla del programa ETAP 19.

Ingreso de Datos de dimensiones de la malla en ETAP 19.



The screenshot displays the ETAP 19 software interface for configuring a ground grid system. The main window shows a 3D plot of a terrain with a grid layout. A dialog box titled "IEEE Group Editor" is open, allowing the user to specify grid dimensions and conductor properties.

IEEE Group Editor - Grid Size:

- Lx: 26.24 ft
- Ly: 26.24 ft

IEEE Group Editor - # of Conductors:

- X Direction: 3
- Y Direction: 3

IEEE Group Editor - Conductors:

- Depth: 1.64 ft
- Size: 2 AWG/kcmil
- Type: Copper, annealed soft-drawn
- Cost: 4.8 \$/ft

IEEE Group Editor - Material Constants:

- Conductivity: 100.0
- Alpha Factor: 0.00393
- Ko Factor: 234
- Fusing Temperature: 1083
- Resistivity @ 20 C: 1.72
- Thermal Capacity: 3.42

The background interface shows a ribbon with tabs for "Study Case", "Ground Grid", "Output", "List Output Reports", and "Report Format". The "Ground Grid" tab is active, showing options for "Ground-Grid Calculation", "Optimized Conductors", and "Optimized Conductors and Rods".



Ingreso de datos de electrodos de la malla en ETAP 19.

The screenshot displays the ETAP 19 software interface for configuring ground grid systems. The main window is titled "Ground Grid Systems - Grid1" and shows a ribbon menu with options like "Home", "View", and "Help". The "Ground Grid" ribbon is active, showing icons for "Create New", "Delete", and "Edit". The main workspace is divided into a left pane showing a 3D plot of a grid system and a right pane showing a cross-section of the ground grid with rods. A dialog box titled "IEEE Group Editor" is open, allowing configuration of rod parameters.

IEEE Group Editor

Conductors | Rods

Rods

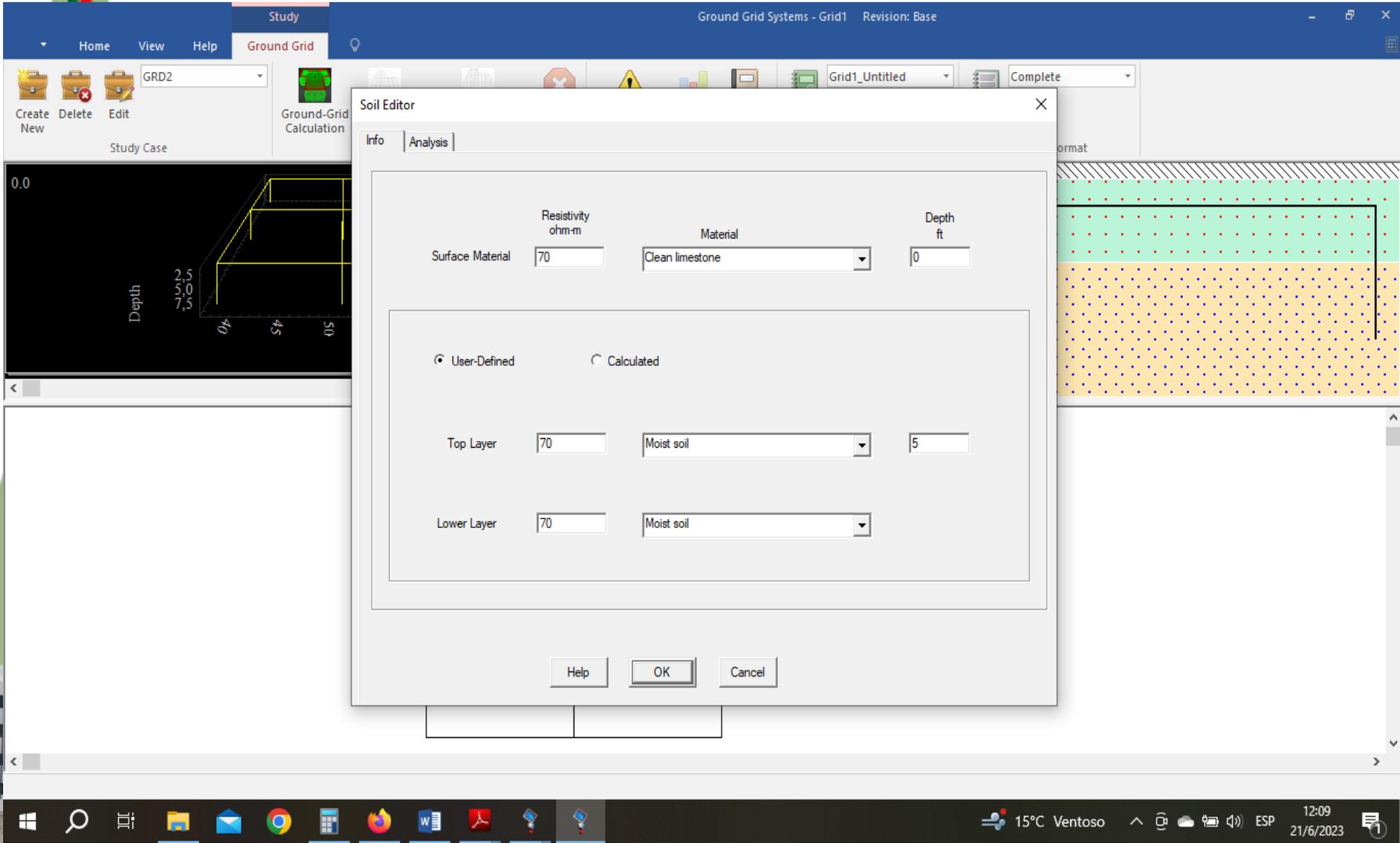
- # of Rods: 9
- Diameter: 0,75 inch
- Length: 7,87 ft
- Arrangement: Rods Throughout Grid Area
- Type: Copper, commercial hard-drawn
- Cost: 15 \$/Rod

Material Constants

- Conductivity: 97,0
- Alpha Factor: 0,00381
- Ko Factor: 242
- Fusing Temperature: 1084
- Resistivity @ 20 C: 1,78
- Thermal Capacity: 3,42

Buttons: Help, OK, Cancel

Ingreso de datos de resistividad del terreno en ETAP 19.



The screenshot displays the ETAP 19 software interface. The main window is titled "Ground Grid Systems - Grid1" and shows a "Ground Grid" tab. A "Soil Editor" dialog box is open, allowing for the configuration of soil resistivity data. The dialog box has two tabs: "Info" and "Analysis".

The "Info" tab contains the following fields:

- Surface Material:** Resistivity (ohm-m) is 70, Material is "Clean limestone", and Depth (ft) is 0.
- Layer Selection:** "User-Defined" is selected, and "Calculated" is unselected.
- Top Layer:** Resistivity (ohm-m) is 70, Material is "Moist soil", and Depth (ft) is 5.
- Lower Layer:** Resistivity (ohm-m) is 70, Material is "Moist soil".

Buttons for "Help", "OK", and "Cancel" are located at the bottom of the dialog box. In the background, a cross-section diagram of the ground grid is visible, showing a surface layer, a top layer with a grid, and a lower layer with a grid.



Diseño de malla de puesta a tierra en el programa ETAP 19.

The screenshot displays the ETAP 19 software interface for designing a ground grid system. The window title is "Ground Grid Systems - Grid1 Revision: Base". The ribbon includes "Study Case", "Calculation", "Output", "List Output Reports", and "Report Format".

Study Case: MallaRadioLa

Calculation: Ground-Grid Calculation, Optimized Conductors, Optimized Conductors and Rods

Output: Summary and Warning, Plot Selection, Report Manager

List Output Reports: Grid1_MallaR,Latacu

Report Format: Complete

3D View (Left): Shows a 3D perspective of the ground grid. The grid is a rectangular mesh with dimensions 40m by 40m. The depth of the rods is indicated as 138.0. The vertical axis is labeled "Depth" with values 2,5, 5,0, and 7,5.

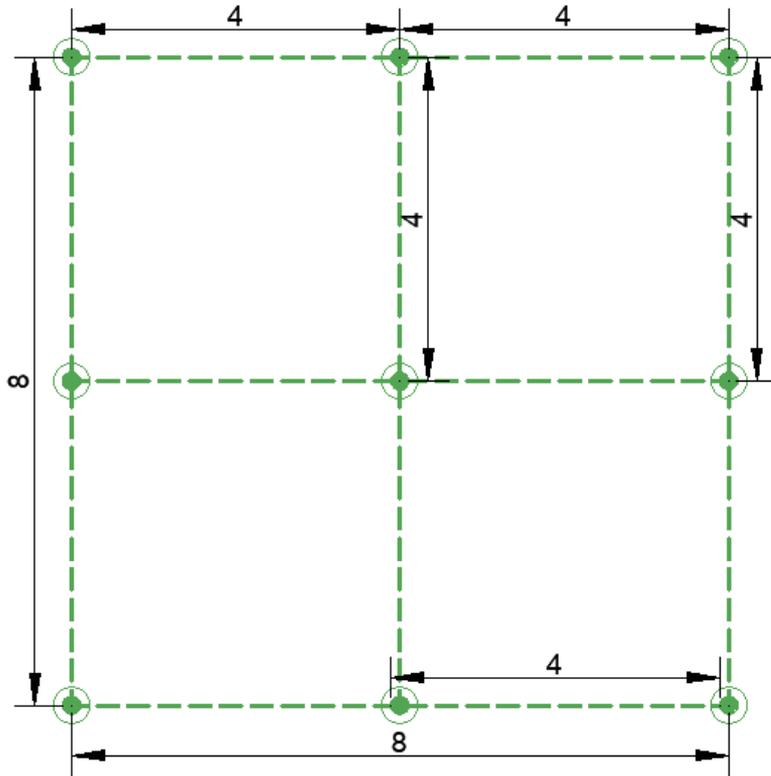
Soil Profile (Right): Shows a cross-section of the ground with different soil layers. The layers are labeled as "Clean limestone - 70,00" (top layer, hatched), "Moist soil - 70,00" (middle layer, green), and "Moist soil - 70,00" (bottom layer, yellow). The grid is shown as a series of red dots in the soil profile.

Table (Bottom): A 2x2 grid table is visible at the bottom of the interface.



Después de realizar la simulación en el programa ETAP 19 el diseño de la malla queda con la configuración y los valores que se observan en la figura

Configuración de malla de puesta a tierra proyectada.



$$L_x = 8 \text{ m}$$

L_x = Ancho de la malla.

$$L_y = 8 \text{ m}$$

L_y = Largo de la malla.

$$L_p = 64 \text{ m}$$

L_p = Promedio total de la malla

$$D = 4 \text{ m}$$

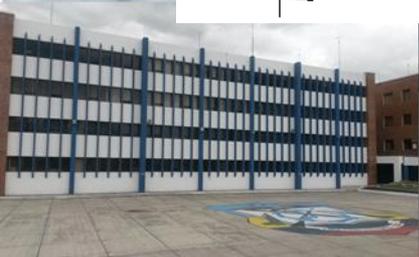
D = Espaciamiento de la malla.

$$N = 9$$

N = Numero de varillas

$$L_V = 2.4 \text{ m}$$

L_V = Longitud de Varilla





Para calcular la longitud de los conductores se emplea las ecuaciones

Longitud de los conductores.

$$L_c = \left(\frac{L_x}{D} + 1\right) * L_y + \left(\frac{L_y}{D} + 1\right) * L_x [m]$$

En donde:

L_c = Longitud de los conductores.

L_x = Ancho de la malla.

L_y = Largo de la malla.

D = Espaciamiento de la malla.

Remplazamos los valores en la ecuación 11.

$$L_c = \left(\frac{8}{4} + 1\right) * 8 + \left(\frac{8}{4} + 1\right) * 8 [m]$$

$$L_c = 48[m]$$





Longitud total de la malla.

$$LT = LC + N * LV [m]$$

En donde:

L_T = Longitud total de la malla

LC = Longitud total de los conductores.

N = Numero de varillas

LV = Longitud de Varilla

Reemplazamos

$$LT = 48 + 9 * 2.40 [m]$$

$$LT = 69.6 [m]$$





Cálculo de resistencia de la malla de puesta a tierra (R_g)

Para determinar la resistencia de una malla de tierra (R_g), combinando resistencias de: las varillas y del suelo, es utiliza la fórmula de Schwarz

Resistencia de puesta a tierra

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - (R_m)^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

R_1 = Resistencia del conductor

R_2 =Resistencia de todas las varillas

R_m =Resistencia mutua entre R_1 y R_2





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Para calcular R_1 se utiliza la ecuación

Resistencia de tierra de la malla.

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi Lc} \left[\ln \left(\frac{2Lc}{a'} \right) + K_1 + \left(\frac{Lc}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right]$$

$$R_1 = \frac{70}{\pi 48} \left[\ln \left(\frac{2(48)}{\sqrt{0.01 \cdot 0.5}} \right) + 1.36 + \left(\frac{48}{\sqrt{64}} \right) - 6.33 \right]$$

Donde:

$$R_1 = 3.82 \, \Omega$$

R_1 = Resistencia del conductor

ρ = Resistividad del terreno

LC = Longitud total de los conductores.

A = Area del conductor

K_1 = coeficiente de Kerckel

K_2 = coeficiente de Kerckel





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Se puede calcular los valores K_1 y K_2 mediante las fórmulas de Kerckel

Coeficiente K_1 calculado por la ecuación de Kerckel.

K_1

$$= \frac{\sqrt{Lx * Ly}}{2} * 1.84 \left[\frac{1}{Lx} * \ln \left(\frac{Lx + \sqrt{Lx^2 + Ly^2}}{Ly} \right) + \frac{1}{Ly} * \ln \left(\frac{Ly + \sqrt{Lx^2 + Ly^2}}{Lx} \right) + \frac{Lx}{3(Ly)^2} + \frac{Ly}{3(Lx)^2} \right.$$

$$\left. - \frac{((Lx)^2 + (Ly)^2)}{3(Lx)^2(Ly)^2} * \sqrt{Lx^2 + Ly^2} \right]$$

Donde:

K_1 = Coeficiente de Kerckel

Lx = Longitud de la malla en x

Ly = Longitud de la malla en y





Reemplazamos en la ecuación

$$K_1 = \frac{\sqrt{8 * 8}}{2} * 1.84 \left[\frac{1}{8} * \ln \left(\frac{8 + \sqrt{8^2 + 8^2}}{8} \right) + \frac{1}{8} * \ln \left(\frac{8 + \sqrt{8^2 + 8^2}}{8} \right) + \frac{8}{3(8)^2} + \frac{8}{3(8)^2} - \frac{((8)^2 + (8)^2)}{3(8)^2(8)^2} * \sqrt{8^2 + 8^2} \right]$$

$$K_1 = 1.36$$





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Coeficiente K_2 calculado por la ecuación de Kerckel.

K_2 = Coeficiente de Kerckel

L_x = Longitud de la malla en x

L_y = Longitud de la malla en y

Reemplazamos en la ecuación 16.

$$K_2 = \ln\left(\frac{4(L_x+L_y)}{L_y}\right) + 2K_1 \frac{(L_x+L_y)}{\sqrt{L_x \cdot L_y}} - \frac{\ln\left(L_x + \sqrt{(L_x)^2 + \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}\right)}{\frac{L_y}{2}} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\left(\frac{L_y}{2}\right) + \sqrt{(L_x)^2 + \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}}{\left(-\frac{L_y}{2}\right) + \sqrt{(L_x)^2 + \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}}\right)$$

$$K_2 = \ln\left(\frac{4(8+8)}{8}\right) + 2(1.36) \frac{(8+8)}{\sqrt{8 \cdot 8}} - \frac{\ln\left(8 + \sqrt{(8)^2 + \left(\frac{8}{2}\right)^2}\right)}{\frac{8}{2}} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\left(\frac{8}{2}\right) + \sqrt{(8)^2 + \left(\frac{8}{2}\right)^2}}{\left(-\frac{8}{2}\right) + \sqrt{(8)^2 + \left(\frac{8}{2}\right)^2}}\right)$$

$K_2 = 6.33$





Resistencia de las varillas de tierra.

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi N L v} \left[\ln \left(\frac{8 L v}{b} \right) - 1 + 2 K_1 + \left(\frac{L v}{\sqrt{A}} \right) - (\sqrt{N} - 1)^2 \right]$$

R_2 = Resistencia de las varillas de tierra

ρ = Resistividad del terreno

$L v$ = Longitud de las varillas

A = Área del conductor

K_1 = coeficiente de Kercel

N = Numero de varilla.

$$R_2 = \frac{70}{2\pi * 9 * 2.40} \left[\ln \left(\frac{8 * 2.40}{0.015875} \right) - 1 + 2 * 1.36 + \left(\frac{2.40}{\sqrt{64}} \right) - (\sqrt{9} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 2.63 \Omega$$





Resistencia de tierra mutua entre la malla y las varillas.

$$R_m = \frac{\rho}{\pi Lc} \left[\ln \left(\frac{2Lc}{Lv} \right) + K_1 \left(\frac{Lc}{\sqrt{A}} \right) - K_2 + 1 \right]$$

R_m = Resistencia de tierra mutua entre la malla y las varillas.

ρ = Resistividad del terreno

Lc = Longitud del conductor

A = Área del conductor

Lv = Longitud de la varilla

K_2 = coeficiente de Kerckel.

$$R_m = \frac{70}{\pi 48} \left[\ln \left(\frac{2 * 48}{2.40} \right) + 1.36 \left(\frac{48}{\sqrt{64}} \right) - 6.33 + 1 \right]$$

$$R_m = 3.02 \Omega$$





Para encontrar la resistencia de puesta a tierra reemplazamos los datos en la ecuación

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - (R_m)^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

R_1 = Resistencia del conductor

R_2 = Resistencia de todas las varillas

R_m = Resistencia mutua entre R_1 y R_2

$$R_g = \frac{3.82 * 2.63 - (3.02)^2}{3.82 + 2.63 - 2(3.02)}$$

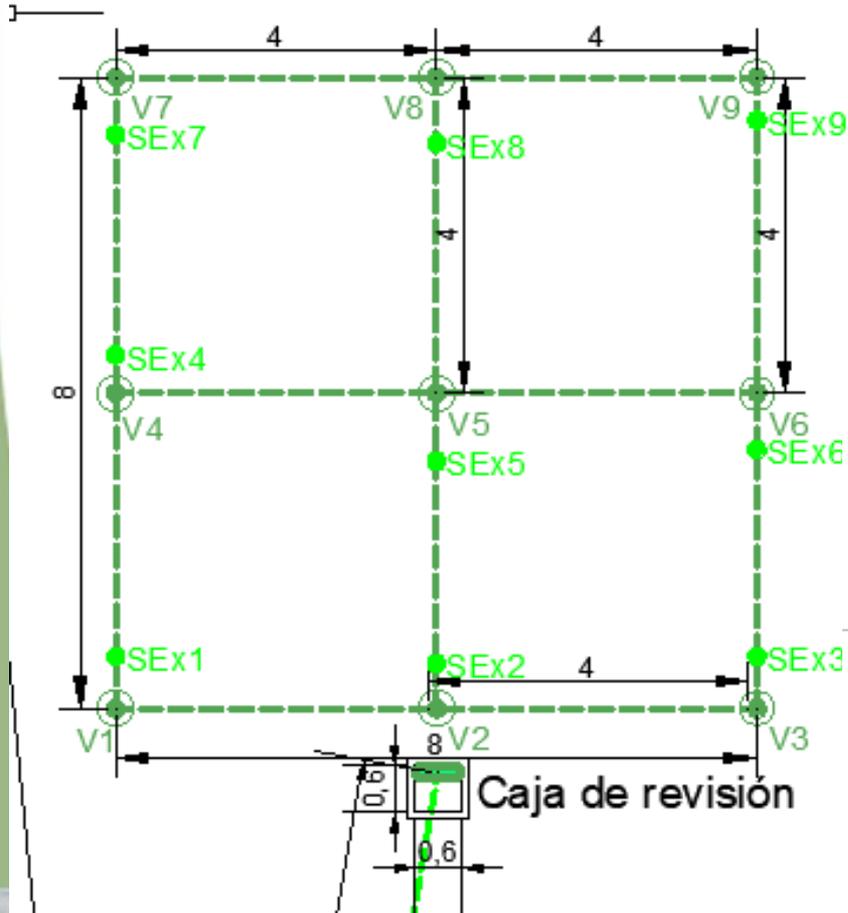
$$R_g = 2.25 \Omega$$

La resistencia obtenida es la óptima ya que se encuentra por debajo de los 5 Ω requeridos por la norma IEEE.





Plano de malla de puesta a tierra.



SIMBOLOGIA

	Varilla cooperwell, L=3m, $\phi_{\text{var}} = 8\text{mm}$
	Suelda exotermica de 115g
	Conductor de cobre desnudo #2AWG
	Conductor de cobre desnudo #2AWG en tuberia de 1"
	Caja de revisión
	Tablero de Distribución Principal





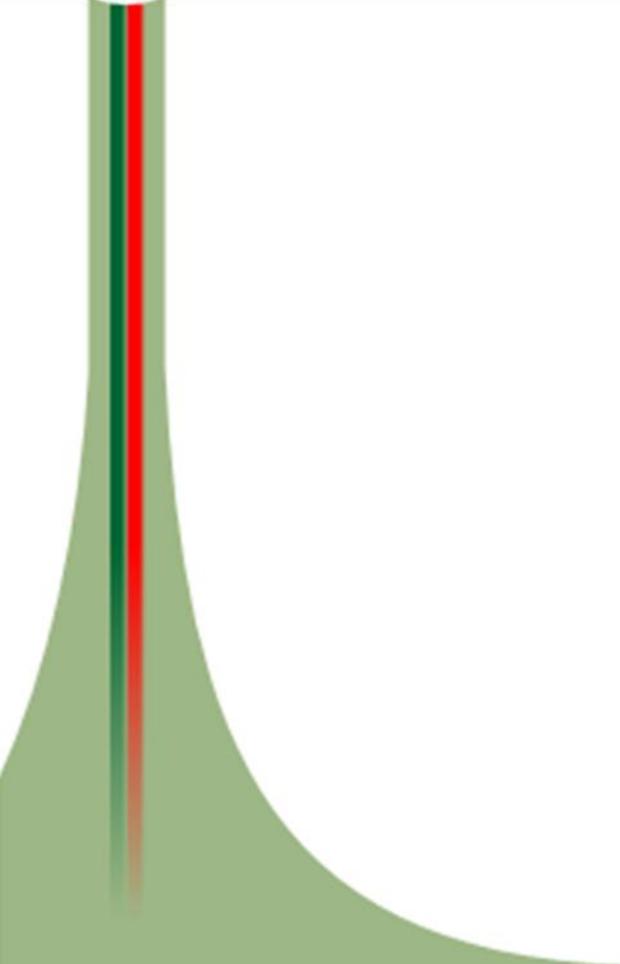
La malla de puesta a tierra se deberá construir en el lugar del garaje, ahí existe un espacio que corresponde al jardín y se debe aprovechar para que se implemente la malla, ya que las instalaciones de radio Latacunga funcionan en un lugar patrimonial y está construido con un piso de piedras, en la siguiente figura podemos observar la malla de puesta a tierra en el garaje y el trayecto del conductor 2awg desnudo que ira dentro de una manguera negra de pvc de 1", manguera que ira enterrada, hasta el tablero de distribución principal en el cual se conectara la referencia de la tierra la cual deberá ser llevada a su vez a cada tomacorriente que requiera una puesta a tierra.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA





1. Presupuesto referencial para la construcción de la Malla de puesta a tierra.

Para la implementación del sistema de puesta a tierra, se utilizaron algunos materiales, los cuales se enlistan en la tabla 9 con su respectivo costo.

COSTOS PRIMARIOS				
DESCRIPCIÓN (MATERIALES)	UNIDAD	CANT.	P/U	VALOR TOTAL
Conductor desnudo 2 AWG 7 hilos	m	48	\$ 7,42	\$ 356,16
Varilla de puesta a tierra Copperweld, de 3 metros de largo y 5/8" de diámetro	c/u	9	\$ 21,00	\$ 189,00
Intensificador de terreno GEM (25 lbs)	sacos	12	\$ 22,00	\$ 264,00
Molde de grafito Cable-Varilla	c/u	1	\$168,64	\$ 169,64
Molde de grafito en Cruz	c/u	1	\$168,64	\$ 168,64
Pinzas de Manipulación de Moldes	c/u	2	\$223,86	\$ 447,72
Cápsula de soldadura. Cadweld Plus 115	c/u	20	\$ 7,50	\$ 150,00
Cajas de revisión	c/u	4	\$ 11,00	\$ 44,00
VALOR DE MATERIALES TOTAL				\$ 1.789,16



MANO DE OBRA CIVIL	DÍAS	CANT. HOMBRES	P/U	VALOR TOTAL
Excavación	5	8	\$15,00	\$600,00
Sellado de la excavación	1	2	\$15,00	\$ 30,00
VALOR DE MANO DE OBRATOTAL				\$630,00
VALOR TOTAL DE LA CONSTRUCCION				2.419,16





Beneficios del colector solar con respecto a la ducha eléctrica

- No existe contaminación ambiental ya que no utiliza combustibles fósiles en el proceso de calentamiento de agua.
- Se puede utilizar en cualquier momento, ya que solo basta con abrir el grifo sin el riesgo de que se recaliente o se dañe algún circuito por exceso de manipulación, como es el caso de un calefón a gas con encendido electrónico.
- El consumo energético es menor en comparación con una ducha eléctrica, ya que la resistencia se encenderá únicamente en caso de que exista la necesidad de compensación de temperatura.
- Aunque el costo inicial del colector solar es algo elevado, con los ahorros que generará al evitar el consumo de energía eléctrica o gas, podemos recuperar la inversión en un corto plazo.





Conclusiones

Se determinó mediante mediciones del terreno el cual se proyecta la instalación de la malla de puesta a tierra un valor de $198 (\Omega \cdot m)$, este valor es alto y se debe realizar el tratamiento del terreno para bajar la resistividad a un valor de $70 (\Omega \cdot m)$.

Después de revisar y estudiar la normativa vigente se concluye que la norma IEEE Std. 80 2000 proporciona la metodología necesaria para aplicar en el diseño de la malla de tierra, siendo esta la adecuada.

La utilización de software nos permite proyectar una malla de puesta a tierra con dimensiones adecuadas para las condiciones de terreno y la medida que queremos obtener





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Se obtiene como resultado del estudio y los cálculos realizados un nivel de resistencia de la malla de puesta a tierra proyectado de 2.5 ohmios.

Se elaboró los planos en el cual nos da como resultado una malla de puesta a tierra cuadrada de 8m x 8m, con 9 varillas cooperweld, el presupuesto para la construcción de la malla de puesta a tierra es de \$ 2.419,16 dólares americanos





Recomendaciones

Ubicar el colector solar en dirección norte-sur para obtener una mejor incidencia de la radiación solar sobre el mismo.

Evitar instalar el colector solar en lugares con sombras o que impidan que la radiación solar llegué de una forma directa.

Se recomienda colocar los tubos de vacío sin que hayan sido expuestos a la radiación, ya que esto puede provocar un choque térmico al momento del llenado de agua por la diferencia de temperaturas.

Se recomienda colocar una barra de magnesio en el primer tubo al vacío con la finalidad de neutralizar las sales y minerales que pueden provocar oxidación dentro del termotanque.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Gracias

