

DISEÑO DE PUESTA A TIERRA COLEGIO NORMAL SUPERIOR DE MOMPOX

ELABORADOR POR:
ING. JESSICA BACCA SENIOR
09/05/2025



CONTROL DE RESPONSABLES

Responsable		Versión		
		1	2	3
Elaboración	Nombre	JPBS		
	Empresa	PACT		
	Fecha	09/05/2025		
	Firma	Jessica Bacca S		
Revisión	Nombre	JFDC		
	Empresa	PACT		
	Fecha			
	Firma			
Aprobación	Nombre	JFDC		
	Empresa	PACT		
	Fecha			
	Firma			

JPBS	Jessica Patricia Bacca Senior
JFDC	Johann Fernández de Castro
PACT	Power And Control Consulting

CONTROL DE REVISIONES

Revisión	Aspecto Revisado	Fecha
0	Emisión Inicial	09/05/2025
1		
2		
3		

TABLA DE CONTENIDO

1. Objetivo	6
2. Alcance.....	6
3. Descripción del proyecto	6
4. Nomenclatura	7
5. Parámetros electricos y consideraciones del sistema	8
6. Normativa aplicable.....	8
6.1. Normas técnicas colombianas	8
6.2. Reglamentos y normas de obligatorio cumplimiento.....	9
7. Metodología.....	9
8. Definiciones	10
9. Parámetros GENERALES del sistema	11
10. Cálculo de la malla de puesta a tierra	12
10.1. Intensidad y tensión máxima admisible.....	12
10.2. Cálculo de la sección del conductor de la malla para la puesta a tierra	15
10.3. Factor de decremento	15
10.4. Cálculo de la resistencia de tierra	16
10.5. Cálculo de elevación de potencial.....	17
10.6. Resumen de las tensiones de contacto y paso de la malla de PAT.....	17
11. Cálculo de conductores de conexión de equipos al sistema de puesta a tierra....	¡Error! Marcador no definido.
11.1. Consideraciones generales	¡Error! Marcador no definido.
12. Conclusiones y recomendaciones	19

13. Anexo	20
13.1. Plano de puesta a tierra	20
13.2. Reporte de puesta a tierra ETAP	20
14. Bibliografía.....	22

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto.....	6
Figura 2. Diagrama de bloques de procedimiento de diseño.	10
Figura 3. Tensiones de paso y de contacto.....	13
Figura 4. Malla de puesta a tierra.	20
Figura 5. Tensión de paso.....	20
Figura 6. Tensión de contacto	21
Figura 7. Tensión absoluta.....	21

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones climáticas.....	7
Tabla 2. Nomenclatura de tableros.	7
Tabla 3. Parámetros de la instalación.....	8
Tabla 4. Parámetros del sistema.	11
Tabla 5. Parámetros del terreno.....	12
Tabla 6. Características de instalación.....	12
Tabla 7. Tensión soportada de paso y de contacto.	14
Tabla 8. Selección de conductor de malla de puesta a tierra.	15
Tabla 9. Elevación de potencial.....	17
Tabla 10. Resumen de variables de malla de PAT.....	17
Tabla 11. Calibre de conductores de conexión de puesta a tierra	¡Error! Marcador no definido.

1. OBJETIVO

El objetivo del presente documento es elaborar el diseño del sistema de puesta a tierra para el Colegio Normal Superior de Mompox, con base en los resultados obtenidos en el estudio de resistividad del terreno [1] previamente realizado, con el fin de garantizar una adecuada disipación de corrientes de falla al suelo, proteger a las personas que interactúan con las instalaciones eléctricas, y asegurar la correcta operación de los sistemas eléctricos ante eventos de falla. De igual manera, se busca suministrar la información técnica necesaria para la implementación del sistema de tierras, conforme a los criterios de seguridad establecidos en la normativa vigente, permitiendo así identificar riesgos asociados a tensiones de paso y contacto, y establecer las condiciones de instalación y conexión que aseguren la integridad del sistema eléctrico y la protección de los usuarios.

2. ALCANCE

Presentar los cálculos relacionados con el diseño del sistema de puesta a tierra para las instalaciones eléctricas del Colegio Normal Superior de Mompox. El estudio contempla la modelación de la malla de puesta a tierra, el análisis de resistividad del terreno previamente obtenido, y la evaluación de parámetros críticos como la resistencia de puesta a tierra, tensiones de paso y contacto, y distribución del potencial de tierra. Asimismo, incluye la elaboración de planos, esquemas de instalación, especificaciones técnicas de materiales y recomendaciones para su correcta implementación conforme a la normativa IEEE 80 e IEEE 81.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El área de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Santa Cruz de Mompox, departamento de Bolívar, Colombia. Las coordenadas geográficas aproximadas del sitio son: latitud $9^{\circ}13'33.48''$ N y longitud $74^{\circ}25'0.21''$ O. La zona presenta condiciones climáticas típicas de una región de clima cálido y húmedo.



Figura 1. Ubicación del proyecto.

Mompox presenta un clima cálido. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 24 °C a 37 °C. Los parámetros climáticos se describen a continuación:

Tabla 1. Condiciones climáticas.

Humedad Relativa	
Máxima:	100% [2]
Media:	100% [2]
Temperatura Ambiente:	
Mínima:	22 °C [2]
Media:	32,2 °C [2]
Máxima:	40 °C [2]
Velocidad del viento	
Promedio:	14.15 km/h [2]
Máxima:	130 km/h [3]
Elevación Sobre el Nivel del Mar	
Media:	19 msnm [3]
Contaminación	
IEC 60071	IV [5]
Normativa Afinia	Alta

4. NOMENCLATURA

En la **Tabla 2** se presenta la nomenclatura utilizada para los tableros y equipos asociados al proyecto.

Tabla 2. Nomenclatura de tableros.

NOMENCLATURA DE TABLEROS		
ITEM	DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA
1	Transformador principal	TRF-1
2	Planta eléctrica de emergencia	G1
3	Tablero general de baja tensión	TGBT

4	Tablero de luces y tomas 1	TDLT-1
5	Tablero de luces y tomas 2	TDLT2
6	Tablero de aire acondicionado	TDAA
7	Tablero de aire acondicionado cargas planta	TDAA-2
8	Tablero de luces y tomas 4	TDLT-4
9	Tablero de luces y tomas 5	TDLT-5
10	Tablero de luces y tomas 6	TDLT-6
11	Tablero de luces y tomas 7	TDLT-7
12	Tablero de luces y tomas 8	TDLT-8
13	Tablero general regulado	TG-R
14	Tablero de bomba de agua potable	TBAP
15	Tablero de bomba contra incendio	TBCI

5. PARÁMETROS ELECTRICOS Y CONSIDERACIONES DEL SISTEMA

Se asume una corriente de cortocircuito para efectos del diseño del sistema de puesta a tierra, debido a que no se cuenta con la factibilidad eléctrica del operador de red disponible al momento de la elaboración del presente documento. Los parámetros eléctricos de la instalación se modelan con base en los datos nominales del transformador, cuyas características se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de la instalación

Parámetros de la Instalación	Valor
Tensión Primario [V]	13.200
Tensión Secundario [V]	220
Potencia del Trafo [kVA]	225
Impedancia de corto del trafo	4%
Corriente de falla monofásica primaria [kA]	3,5
X/R falla primaria monofásica	4
Corriente de falla monofásica secundaria [kA]	15
X/R falla secundaria monofásica	4

La red simulada hace parte del Sistema de Distribución Regional de Afinia con nivel de tensión de 13,2 kV.

6. NORMATIVA APLICABLE

6.1. Normas técnicas colombianas

- RETIE [5].
- NTC 2050 [6].

6.2. Reglamentos y normas de obligatorio cumplimiento

- IEEE Std 80 [7].
- IEEE Std 81 [8].

7. METODOLOGÍA

La metodología empleada para el diseño del sistema de puesta a tierra está basada en los lineamientos establecidos en la norma IEEE Std 80 [7], complementada con los procedimientos de medición de resistividad y modelación del terreno según la guía IEEE Std 81 [8]. Adicionalmente, se tienen en cuenta los requisitos establecidos en el RETIE [5], aplicable en el territorio colombiano.

Las consideraciones principales para la elaboración del diseño son:

- Se parte de los datos de campo, incluyendo la resistividad del terreno obtenida mediante estudio geofísico con el método de Wenner, y las dimensiones del área que será protegida por el sistema de puesta a tierra.
- Se selecciona el conductor con base en la corriente de falla esperada y el tiempo de despeje de la protección, utilizando los criterios térmicos definidos en la IEEE Std 80 para garantizar que no se exceda la capacidad térmica del material.
- Se definen los límites de seguridad de tensión de paso y contacto (E_{step} , E_{touch}) de acuerdo con la duración de la falla y el tipo de suelo, considerando cuerpos de 50 kg.
- Se propone un diseño inicial de la malla, que incluye la longitud y distribución de conductores horizontales y verticales (varillas), así como su profundidad de enterramiento.
- Se calcula la resistencia del sistema de puesta a tierra (R_g) con base en fórmulas empíricas proporcionadas por la IEEE Std 80 o mediante software especializado.
- Se determina la corriente que fluye hacia la malla (I_g) como una fracción de la corriente total de falla.
- Se verifica que la tensión de contacto ($I_g * R_g$) no exceda el valor permisible (E_{touch}). Si excede, se modifica el diseño preliminar.
- Se calculan las tensiones de malla y paso utilizando los factores correctivos geométricos (K_m , K_s , etc.) definidos en la norma IEEE Std 80.
- Se comparan las tensiones calculadas con los valores límite ($E_m \leq E_{touch}$ y $E_s \leq E_{step}$). Si se exceden, se ajustan las dimensiones, número de conductores o profundidad de la malla.
- Una vez que se cumplen todos los criterios de seguridad, se define el diseño final detallado, que incluye planos, cantidades, especificaciones técnicas de materiales y memoria de cálculo.

Los cálculos se realizaron utilizando herramientas de simulación especializada ETAP Ground Grid [9], integrando los parámetros del terreno, la configuración geométrica de la malla y las características eléctricas del sistema.

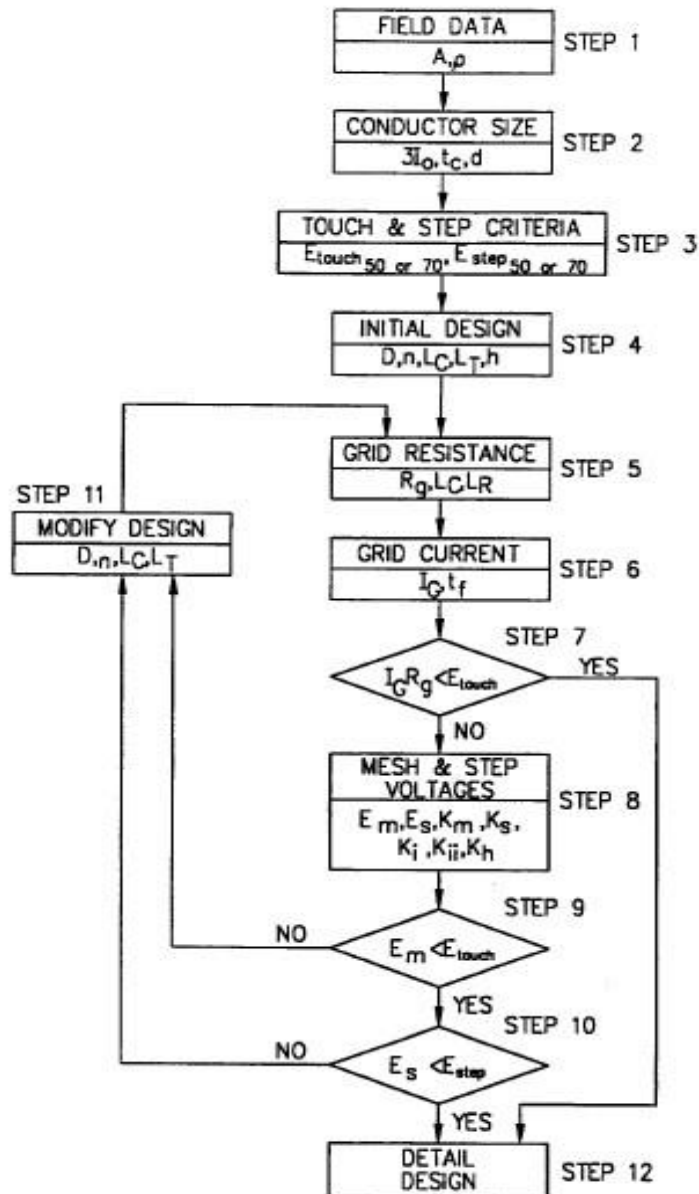


Figura 2. Diagrama de bloques de procedimiento de diseño.

8. DEFINICIONES

Sistema de puesta a tierra (SPT): El sistema de puesta a tierra es un conjunto de conductores, electrodos y conexiones cuya función es disipar de manera segura al terreno las corrientes de falla o sobrecorrientes, garantizando la integridad de las personas y equipos eléctricos. Este sistema establece una referencia de potencial cero y limita las

tensiones de paso y contacto a valores seguros durante fallas a tierra o descargas atmosféricas.

Resistividad del terreno: La resistividad es una propiedad eléctrica del suelo que cuantifica la capacidad del terreno para resistir el paso de corriente eléctrica. Se expresa en ohm-metro ($\Omega \cdot m$) y es un parámetro fundamental para el diseño del sistema de puesta a tierra, ya que influye directamente en la resistencia del sistema y en la distribución del potencial en la superficie.

Corriente de falla: La corriente de falla es la corriente eléctrica que fluye por un camino no intencional o anómalo del sistema, como consecuencia de una falla de aislamiento o cortocircuito, especialmente entre fases o hacia tierra. Esta corriente debe ser evacuada eficazmente por el sistema de puesta a tierra para minimizar riesgos y daños en los equipos.

Profundidad de enterramiento: La profundidad de enterramiento es la distancia vertical desde la superficie del terreno hasta la ubicación de los conductores del sistema de puesta a tierra. Generalmente se expresa en metros (m) y afecta la impedancia del sistema y la distribución del gradiente de potencial en superficie, por lo tanto, influye en la seguridad frente a tensiones de paso y contacto.

Capa superficial: La capa superficial es una capa de material de alta resistividad, como grava o arena seca, colocada sobre la superficie del terreno donde se encuentra el sistema de puesta a tierra. Su función principal es aumentar la resistencia de contacto del cuerpo humano con el suelo, reduciendo así el riesgo de electrocución por tensiones de paso y contacto.

Electrodo de puesta a tierra: El electrodo de puesta a tierra es un conductor metálico enterrado en el suelo que forma parte del sistema de puesta a tierra y cuya función es disipar la corriente eléctrica hacia el terreno. Puede estar conformado por varillas verticales, conductores horizontales, anillos, mallas o placas, dependiendo del diseño del sistema.

Tensión de paso: La tensión de paso es la diferencia de potencial que puede existir entre los pies de una persona al caminar sobre el suelo energizado durante una falla a tierra. Esta tensión puede inducir una corriente a través del cuerpo, por lo que debe mantenerse por debajo de los límites seguros establecidos por las normas de diseño.

Tensión de contacto: La tensión de contacto es la diferencia de potencial entre una parte del cuerpo (por ejemplo, la mano) y los pies de una persona que está en contacto con una estructura conductora energizada indirectamente, como una carcasa metálica conectada al sistema de puesta a tierra durante una falla. Es un parámetro crítico en la evaluación del riesgo eléctrico y debe mantenerse dentro de valores seguros para evitar descargas peligrosas.

Tensión de soportabilidad:

9. PARÁMETROS GENERALES DEL SISTEMA

En la Tabla 4 se indican los parámetros principales del sistema asociados a las fallas monofásicas.

Tabla 4. Parámetros del sistema.

Parámetros del Sistema	Valor
Tiempo de despeje de falla [s]	0,5
Factor de decremento	1,026
Factor de división de corriente	1,0

Factor de Sobredimensionamiento

1

La resistividad del terreno fue determinada a partir del documento 'Estudio de resistividad del terreno' [1], el cual contiene los resultados del análisis eléctrico del subsuelo mediante el método de Wenner, incluyendo la estratificación y valores medidos en sitio. Los resultados del estudio se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros del terreno.

Parámetros del Terreno	Valor
Resistividad capa 1 [Ωm]	6,42
Espesor capa 1 [m]	0,25
Resistividad capa 2 [Ωm]	14,8
Resistividad del material de superficie [Ωm]	4.267,2
Espesor del material de superficie [cm]	20
Factor de reducción por capa superficial (Cs)	0,817
Factor de Reflexión (K)	-0,997

En la Tabla 6, se presentan las características de instalación de la malla de puesta a tierra propuesta.

Tabla 6. Características de instalación.

Características de Instalación	Valor de Entrada
Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)	40
Profundidad de enterramiento de los conductores (m)	0,5
Largo Malla (m)	5
Ancho Malla (m)	5
Distancia de retícula (m)	2,5
Cantidad de varillas de puesta a tierra	4
Longitud de varillas (m)	2,44
Longitud de conductor enterrado (m)	39,76
Área de la malla (m^2)	25

La malla simétrica se encuentra descrita en el plano "IAC-NSM-PL-ELE-004" [9] adjunto.

10. CÁLCULO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA

10.1. Intensidad y tensión máxima admisible

El primer paso para lograr la seguridad del personal ante la aparición de un fallo eléctrico es calcular la máxima intensidad que puede soportar el cuerpo humano sin que se produzca fibrilación ventricular. Para ello se utilizará la fórmula de Dalziel's, que establece la máxima intensidad que puede soportar el cuerpo humano con una probabilidad de supervivencia del 99.5%

La ecuación exacta para el cálculo es:

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

k: Constante variable en función del peso de la persona, 0,116 para personas de 50 kg.

t_s: Es el tiempo máximo de despeje de la falla por el sistema de protecciones eléctricas, establecido para el proyecto en 0.5 s.

La intensidad que circula por el cuerpo humano dependerá de la tensión aplicada y del camino que tome la intensidad a través de este. Para lo cual se definen dos posibilidades (contacto o paso).

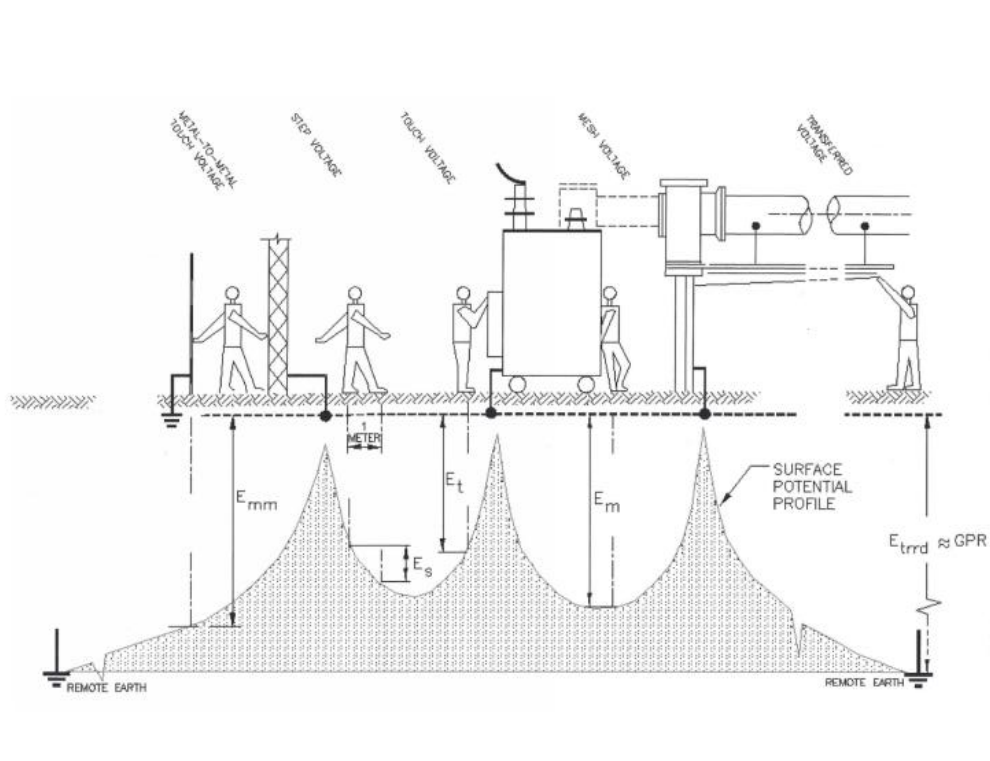


Figura 3. Tensiones de paso y de contacto.

Las ecuaciones para calcular la tensión de paso y de contacto máximas permisibles por el cuerpo humano son:

$$E_p = (R_b + 2 \cdot R_f) \cdot I_b$$

$$E_p = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot I_b$$

$$E_c = \left(R_b + \frac{R_f}{2} \right) \cdot I_b$$

$$E_c = (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot I_b$$

Donde:

- I_b : Máxima intensidad de corriente soportable por el cuerpo humano, calculada en el apartado anterior.
- ρ_s : Resistividad del terreno en contacto con los pies, $\rho_s = 4.267,2 \, \Omega \cdot m$ para superficie de piedra picada.
- ρ : Resistividad del terreno en la capa inferior, $25 \, \Omega \cdot m$.
- R_b : Resistencia del cuerpo humano $1.000 \, \Omega$, en circuitos mano-pie y pie-pie.
- C_s : Factor de reducción de la resistividad que tiene en cuenta que el contacto entre el terreno con los pies no es infinito y que no toda la intensidad del fallo viaja a través de la capa superficial del terreno.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2 \cdot h_s + 0.09}$$

Donde:

- h_s : Grosor de la capa superficial en metros.

En la **Tabla 7** se presentan las tensiones máximas de contacto y de paso a las cuales se puede someter el cuerpo humano sin causarle daños.

Tabla 7. Tensión soportada de paso y de contacto.

Parámetro	Valor
Tensión soportada de paso 50 Kg [V]	3.593,9
Tensión soportada de contacto 50 Kg [V]	1.021,5
Tensión soportada de paso 70 Kg [V]	4.864,2
Tensión soportada de contacto 70 Kg [V]	1.382,6

10.2. Cálculo de la sección del conductor de la malla para la puesta a tierra

La sección mínima considerando el aumento de la temperatura del conductor se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$A = \frac{3 \cdot I'_0}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_s \cdot \alpha_r \cdot \rho_r}\right) \cdot \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}}$$

Donde:

- K_0 : $1/o = 242$.
- α_r : Coeficiente térmico de resistividad a 20°C del conductor = 0.00381.
- ρ_r : Resistividad del conductor a 20 °C en $\mu\Omega/\text{cm}$ = 1.78.
- TCAP: Factor de Capacidad Térmica del Conductor = 3.42.
- T_m : Temperatura máxima de fusión del conductor ($\text{j/cm}^3/\text{°C}$), 1.084°C.
- T_a : Temperatura ambiente, 40°C.
- t_s : Tiempo máximo del despeje de la falla, 0.5 s.
- $3 \cdot I'_0$: Corriente de falla a tierra $3 \cdot I'_0$ de diseño 15 kA.

Por criterio térmico, el conductor seleccionado debe tener mínimo una sección de cobre de 37,8 mm² correspondiente a 1/0 AWG mientras que por criterio mecánico la sección mínima de cobre es de 67,43 correspondiente a 2/0 AWG como se muestra en la Tabla 8.

Por lo anterior, se selecciona un conductor de cobre desnudo semiduro de 70 mm² = 2/0 AWG. De esta manera se mejora el factor de seguridad, compatibilidad con la red existente y resistencia mecánica de la red de tierra, y se utiliza valores normalizados para soldaduras exotérmicas, además cumplir con la sección transversal mínima exigida por la normativa el RETIE [4] y aconsejable de la IEEE-80 [6].

Tabla 8. Selección de conductor de malla de puesta a tierra.

Parámetro	Valor
Material Escogido para la Malla	Cobre Comercial
Área del conductor criterio Térmico [mm ²]	37,8
Selección del conductor Criterio Térmico	1/0 AWG
Área del conductor criterio Mecánico [mm ²]	67,43
Selección del conductor Criterio Mecánico	2/0 AWG
Conductor Seleccionado	2/0 AWG
Diámetro Conductor [m]	0,009

10.3. Factor de decremento

La corriente máxima de rejilla IG se calcula considerando la forma envolvente de la onda de cortocircuito:

$$I_G = D_f \cdot I'_G$$

Donde:

- I'_G : Corriente máxima de rejilla.
- D_f : Factor de decremento para el tiempo de duración de la falla. Se calcula de acuerdo IEEE std. 80 [6] de la siguiente manera:

$$D_f = \sqrt{1 + \left(\frac{T_a}{t_f}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_f}{T_a}}\right)}$$

Donde:

- T_a : es la constante de tiempo de offset corriente continua en segundos. Para sistemas de 60 Hz T_a es igual a:

$$T_a = \frac{X}{R \cdot 100\pi}$$

- X/R (falla en punto frontera): 4 Sustituyendo los valores en la ecuación resulta T_a igual a 0,013 segundos.
- t_f : Tiempo máximo del despeje de la falla, 0,5 s.

De acuerdo con la tabla 10 de la IEEE Std 80 [6] de los valores típicos de D_f se toma el valor de 1,026.

10.4. Cálculo de la resistencia de tierra

De acuerdo con el estándar IEEE-80, el cálculo de resistencia de tierras de un combinado de electrodos horizontales (rejilla) y electrodos verticales (varillas o picas) viene dada por la siguiente expresión (Ecuación de Schwarz):

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

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot L_c} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot L_c}{a'} \right) + \frac{k_1 \cdot L_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right]$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot n_r \cdot L_r} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot L_r}{b} \right) - 1 + \frac{2 \cdot k_1 \cdot L_r}{\sqrt{A}} \cdot (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right]$$

$$R_m = \frac{\rho}{\pi \cdot L_c} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot L_c}{L_r} \right) + \frac{k_1 \cdot L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right]$$

Donde:

- R_g : es la resistividad del electrodo de puesta a tierra.
- R_1 : es la resistividad propia de la malla o rejilla.
- R_2 : es la resistividad propia de las varillas o picas.
- R_m : es la resistividad mutua entre R_1 y R_2

- ρ : Resistividad equivalente del terreno, 14 $\Omega \cdot m$
- L_c : Longitud total de conductores de la rejilla, 39,76 m.
- L_r : Longitud de cada pica o varilla, 2,44 m.
- n_r : Numero de picas o varillas, 4.
- a' : Coeficiente de profundidad de la rejilla ($\sqrt{d1 \times a}$), donde "a" es la profundidad de la rejilla (0,5 m) y d1 es el diámetro del conductor (0,0106 m): 0,092 m.
- b : diámetro de las picas o varillas, 0,016 m.
- A : Área que conforma la rejilla, 25 m².
- k_1 y k_2 , son constantes geométricas que dependen de la relación largo/ancho de la rejilla, utilizando las gráficas que se presentan en las normas antes citadas, 1,145 y 4,79 respectivamente.

De acuerdo con lo anterior, la resistencia de puesta a tierra es de 0.997 Ω .

10.5. Cálculo de elevación de potencial

La elevación del potencial de tierra (GPR) está dado por la siguiente ecuación:

$$GPR = I_G \cdot R_g$$

$$GPR (V) = 3.537$$

Tabla 9. Elevación de potencial

Características Eléctricas	Valor
Resistencia de puesta a tierra	0,997
Corriente inyectada a la malla Primario (kA)	3,589
GPR (V)	3.537,0
Tensión de malla (V)	963,8
Tensión de paso (V)	606,7
Cumple malla 50kgs	SÍ
Cumple paso 50kgs	SÍ
Cumple malla 70kgs	SÍ
Cumple paso 70kgs	SÍ

10.6. Resumen de las tensiones de contacto y paso de la malla de PAT

Tabla 10. Resumen de variables de malla de PAT

Variable	Valor	Unidad	Comentario
Rg	0,997	Ω	Valor de la Resistencia de puesta a tierra de la malla.
Conductor	2/0 AWG	AWG	Conductor escogido para malla de puesta a tierra.
Sección	67,44	mm ²	Sección transversal del conductor escogido.

E _{touch50Kg}	1.021,5	V	Máxima tensión de contacto tolerable por una persona de 50 kg.
E _{step50Kg}	3.593,9	V	Máxima tensión de paso tolerable por una persona de 50 kg.
IG	3,59	kA	Corriente que circula por la malla de puesta a tierra.
GPR	3.537,0	V	Máxima elevación de potencial que se puede presentar durante una situación de falla a tierra.
Em	963,8	V	Máxima tensión de malla que se puede presentar para una falla a tierra.
Es	606,7	V	Máxima tensión de paso que se puede presentar para una falla a tierra.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las tensiones de paso y contacto cumplen con el criterio de soportabilidad, al ser inferiores a las tensiones tolerables asociadas al proyecto según lo indicado por RETIE.
- La resistencia de la malla de puesta a tierra cumple con el valor sugerido del RETIE, al ser un valor inferior al máximo recomendado.
- Se recomienda realizar mantenimiento anual al sistema de puesta a tierra.

12. ANEXO

12.1. Plano de puesta a tierra

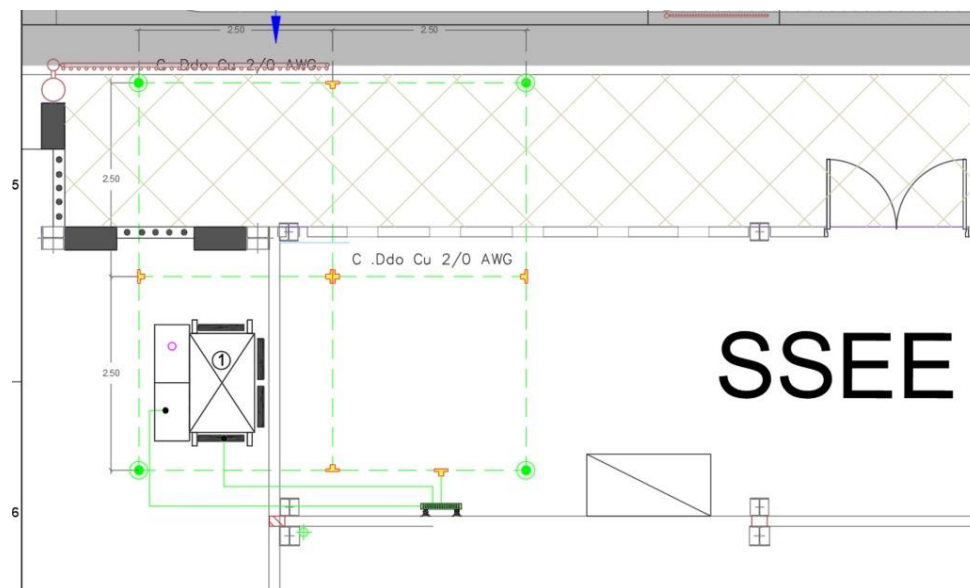


Figura 4. Malla de puesta a tierra.

12.2. Reporte de puesta a tierra ETAP

Ground Grid Systems - Grid1_GGC - Step Potential Profile [Overvoltage Limits]

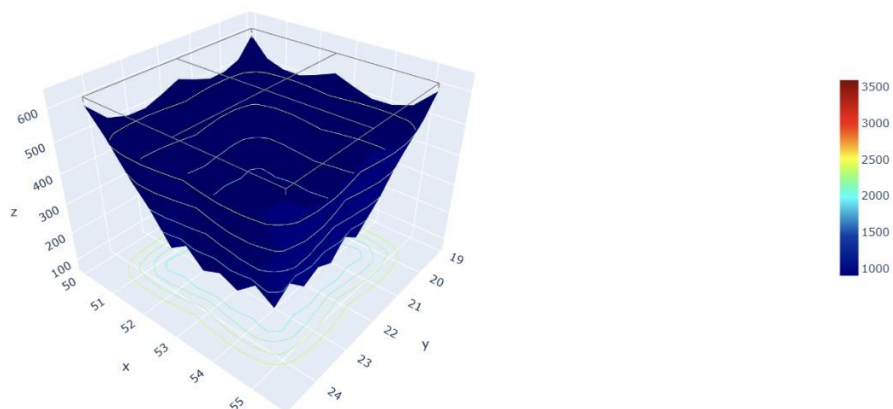


Figura 5. Tensión de paso

Ground Grid Systems - Grid1_GGC - Touch Potential Profile [Overvoltage Limits]

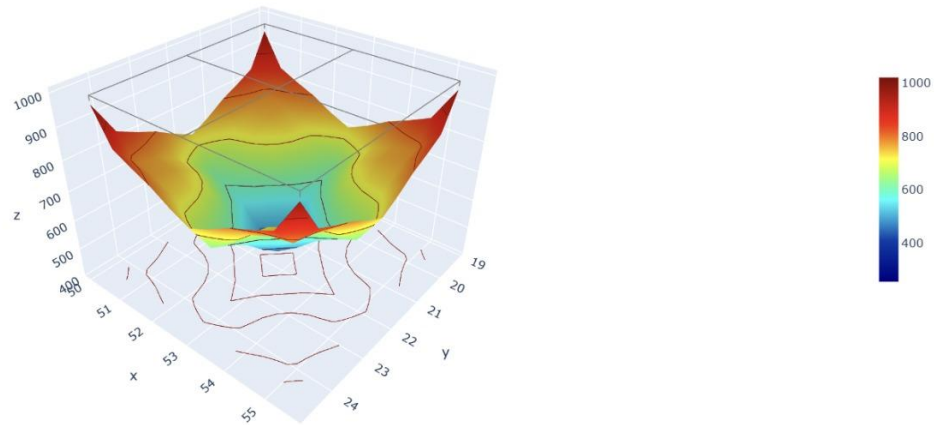


Figura 6. Tensión de contacto

Ground Grid Systems - Grid1_GGC - Absolute Potential Profile [Overvoltage Limits]

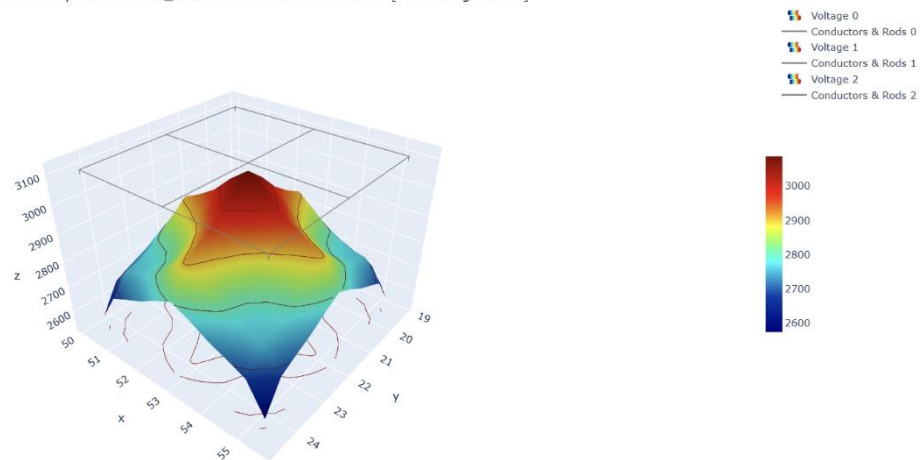


Figura 7. Tensión absoluta

13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Power and Control Consulting S.A.S, «IAC-NSM-IN-ELE-001 Estudio de resistividad del terreno colegio normal superior de Mompox,» Barranquilla, 2025.
- [2] IDEAM, ATLAS CLIMATOLÓGICO DE COLOMBIA, 2018.
- [3] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, «Capítulo B-6 Mapa de viento,» de *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*, Bogota, Colombia, 2010, pp. B-39.
- [4] PACT Consulting, VE-CIV-P-05-V1 Topografía, Barranquilla, 2024.
- [5] Ministerio de Minas y Energia de Colombia, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, Colombia, 2024.
- [6] Icontec, Código eléctrico colombiano NTC 2050 Segunda actualización, Bogotá: Carvajal, 2020.
- [7] IEEE, Std 80 Guide for Safety in AC Substation Grounding, New York, 2013.
- [8] IEEE, Std 81 Guide for Measuring Earth, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System, New York: American National Standards Institute, 2012.
- [9] Operation Technology Inc, *Electrical Power System Analysis & Operation Software ETAP*, California, 2020.
- [10] Power and Control Consulting S.A.S, «IAC-NSM-PL-ELE-004,» Barranquilla, 2025.