



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
TECNÓLOGA EN ELECTROMECAÁNICA**

TEMA: “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE MALLADO ACTUAL, PARA SU MODIFICACIÓN Y MEJORAMIENTO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA CONOCOTO, EN LA CIUDAD DE QUITO.”

**AUTORA: PEÑA GOYES, BRIGITTE
ARACELY**

**DIRECTOR: ING. SARZOSA ANTE,
DAVID DE JESÚS**

**LATACUNGA
2019**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mes de noviembre del año 2018, hubo una descarga atmosférica la cual afectó al sistema de alumbrado de la Planta de tratamiento de agua Conocoto, así como también un variador de velocidad, una balanza de cloro y un medidor de energía por no encontrarse un adecuado sistema de puesta a tierra para equipos.

Objetivo General

Optimizar el sistema de puesta a tierra de la Planta Conocoto a través del análisis y diagnóstico del sistema de mallado actual, para su modificación y mejoramiento.

Objetivos Específicos

Analizar el sistema de puesta a tierra actual de la Planta Conocoto, mediante la recopilación de datos.

Realizar mediciones de campo en los Sistemas de Puesta a Tierra de la Planta Conocoto mediante el uso del telurómetro y multímetro.

Aplicar los resultados obtenidos para la optimización del sistema de puesta a tierra, tomando en consideración las mediciones realizadas de campo y el respectivo diagnóstico que se haya tomado al respecto.

Alcance

- Análisis y mediciones del Sistema de Puesta a Tierra de la Planta Conocoto, con el fin de optimizar el mallado actual, enfocado en la confiabilidad y seguridad de la Planta y de los trabajadores.
- Análisis del Sistema de Pararrayos, considerando el radio de cobertura de cada dispositivo de protección atmosférica
- Levantamiento de planos y diagramas unifilares para detallar las condiciones actuales del Sistema de Puesta a Tierra
- Modificación del Sistema de Puesta a Tierra, considerando configuraciones de mallas y mejoramiento del suelo mediante la aplicación del intensificador de terreno, GEM.

Sistema de Puesta a Tierra

Proteger la integridad física de las personas, manteniendo un mismo nivel de potencial cuando debido a una falla eléctrica o descarga atmosférica se generen tensiones de alto nivel.

Proveer un punto de referencia para las fuentes de corriente alterna (AC) y continua (DC).

Proporcionar un camino seguro y de baja impedancia para las corrientes de defecto hacia los electrodos de puesta a tierra.

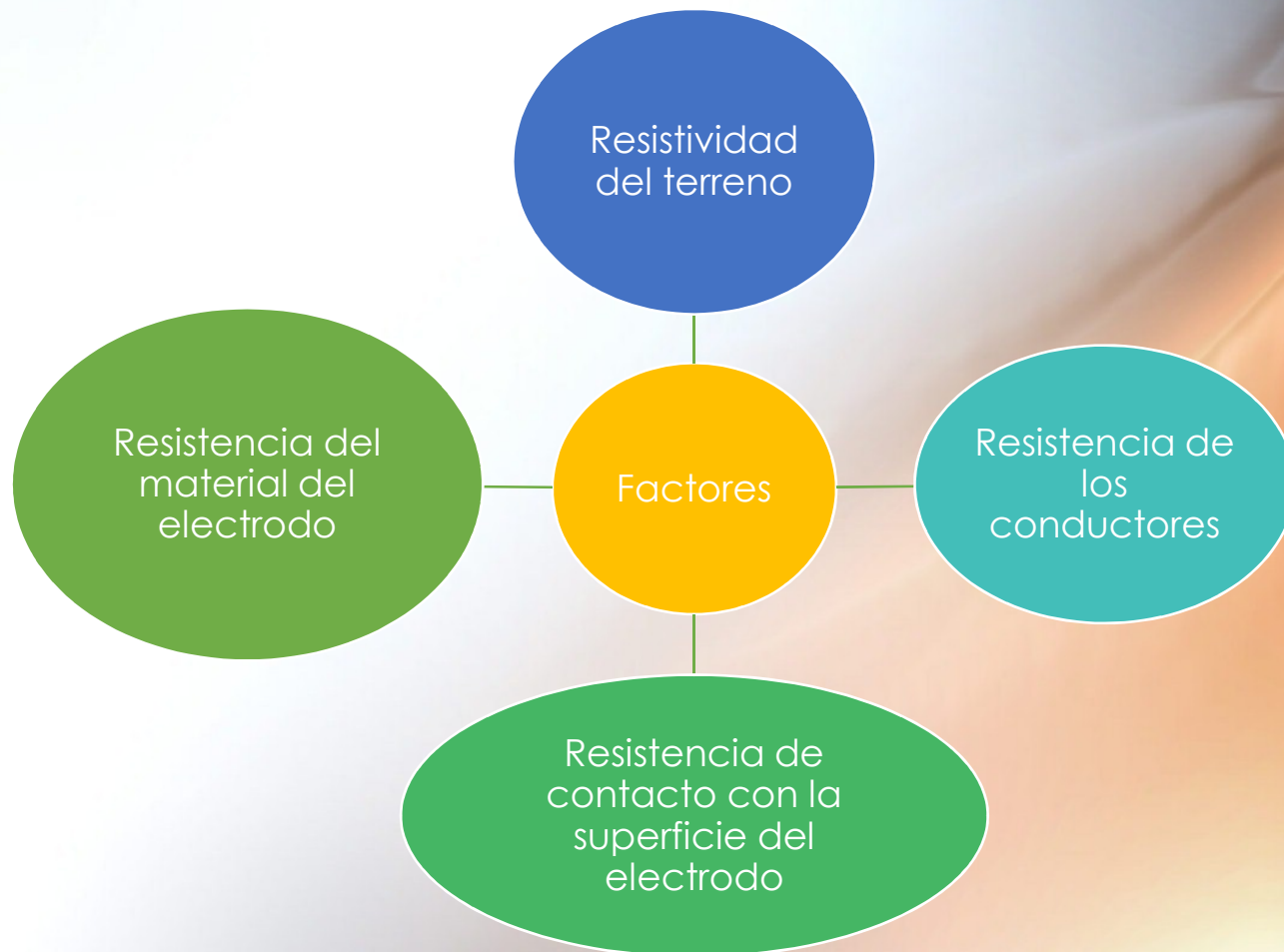
Compensación de potencial

Una conexión directa de todos los elementos metálicos de dicha instalación

Instalando dispositivos de protección contra sobrevoltajes (DPSs).

Instalando descargadores equipotenciales.

Factores que intervienen en SPAT



Factores que intervienen en la variación de la resistividad del terreno

- Las sales solubles y su concentración
(sales + agua=electrolitos)
- El estado higrométrico (agua)
- La temperatura
- La compacidad
- La estratigrafía (capas)

Método de medición del terreno

- Método de cuatro puntas o electrodos (Método Wenner)

$$\rho = 2 \pi a R$$

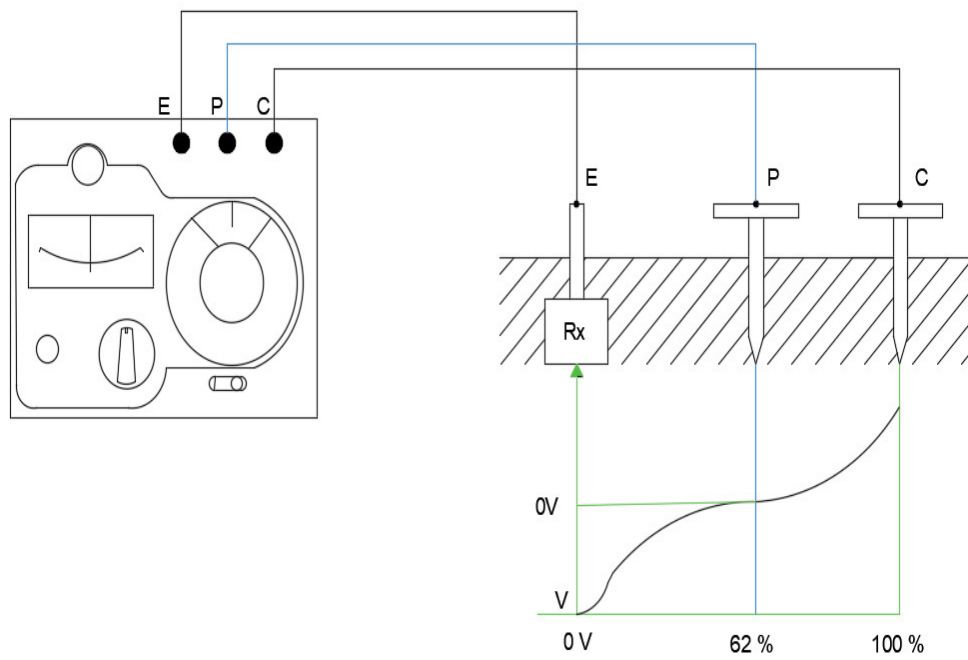
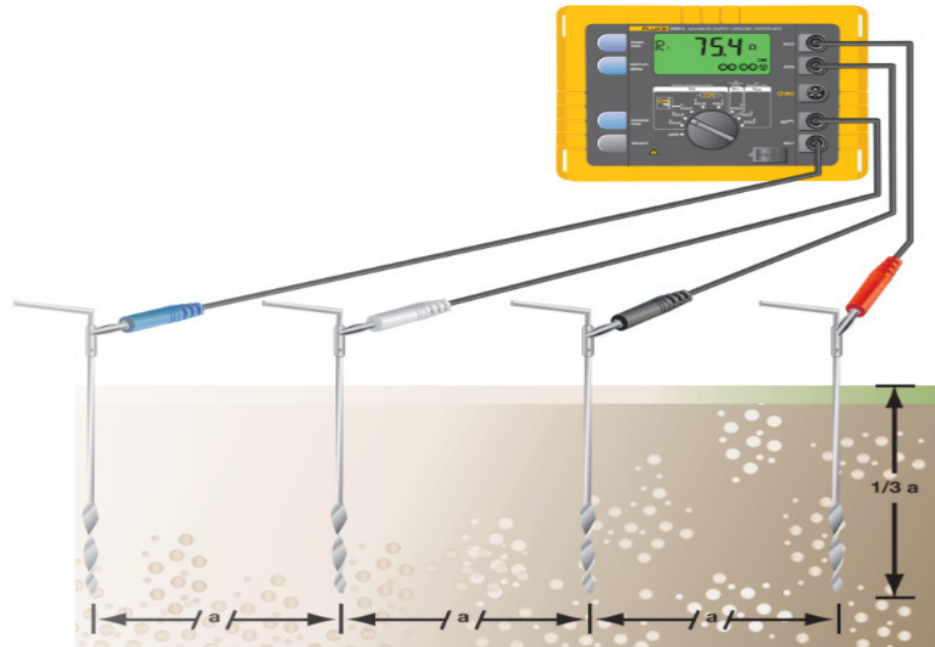
En donde:

- ❖ ρ = resistividad promedio del suelo a un valor de profundidad a (Ωm)
- ❖ $\pi = 3,1416$
- ❖ a = la distancia entre los electrodos (m)
- ❖ R = el valor de resistencia medida (Ω)

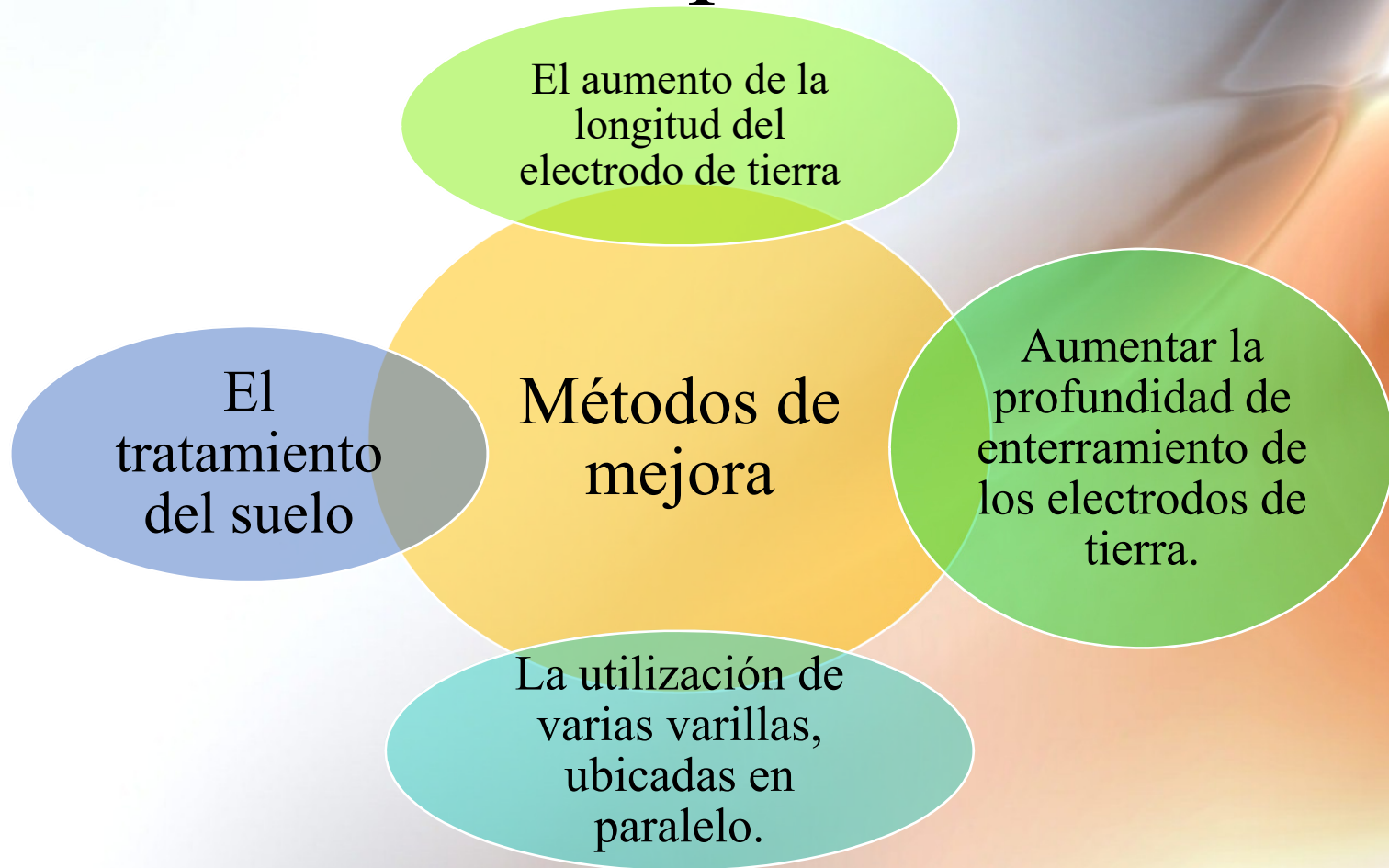
Método de medición de la puesta a tierra

Método del 62%

- Se lo conoce también como: método de caída de potencial y método de los 3 puntos o 3 polos.
- Inyectar una determinada corriente entre la pica externa (C) y la varilla de puesta a tierra (E).
- Mide la caída de potencial entre la pica interna (P) y la varilla de puesta a tierra (E).



Métodos para mejorar la resistencia de puesta a tierra



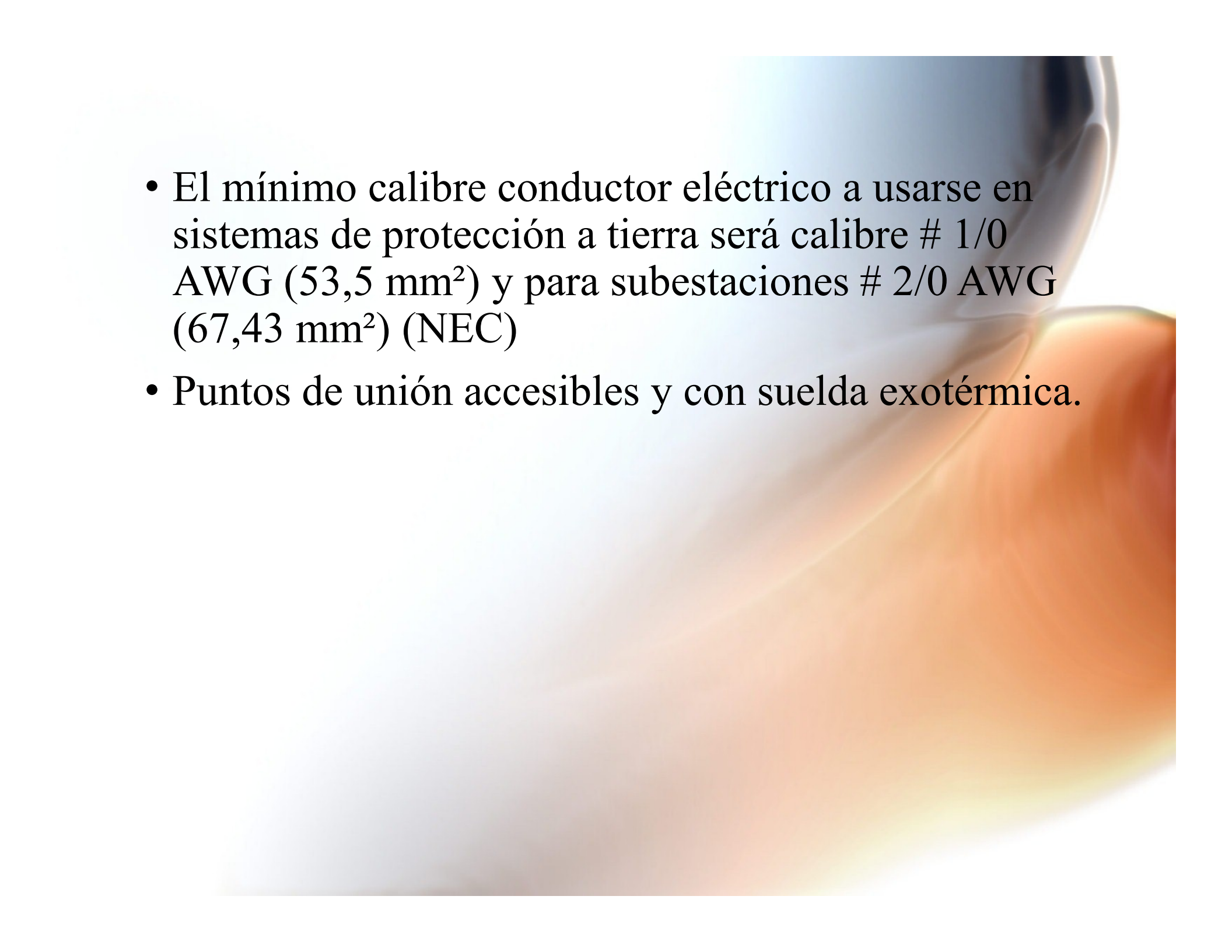
Tratamiento del suelo

GEM (Ground Enhancement Material)

- es un material conductor no corrosivo
- Composición: base de polvo de carbono
- haciéndolo ideal para suelos con poca conductividad (suelo rocoso, cimas de montañas y suelo arenoso).
- Contiene cemento de Portland que se endurece cuando se seca, consiguiéndose que no se filtre o deslave.
- Para la preparación del producto se utilizó de 1.5 a 2 gal (5.68 a 7.57 L) de agua limpia por cada saco de 25 lbs.

Consideraciones para la instalación de puesta a tierra

- Puestas a tierra interconectadas. Se permite utilizar bobinas de choque (NEC)
- Prohibido una misma puesta a tierra para todas las necesidades
- Distancia mínima entre electrodos 1.8 m. (NOM-001-SEDE-2012)
- Longitud mínima de electrodo=1.8 m(NEC)
- La longitud mínima de enterramiento de los electrodos = 0.50 m

- 
- El mínimo calibre conductor eléctrico a usarse en sistemas de protección a tierra será calibre # 1/0 AWG (53,5 mm²) y para subestaciones # 2/0 AWG (67,43 mm²) (NEC)
 - Puntos de unión accesibles y con suelda exotérmica.

Soldadura Cadweld plus

- La cápsula de soldadura contiene el material de soldadura (Al y CuO).



- La Unidad de control operada funciona por medio de 8 baterías de litio AA, 12V dc. Envía una descarga eléctrica a alta corriente a la tira de ignición.



Diseño según normativa IEEE Std. 80-2000

PASO 1. Datos

- Datos de placa del transformador

Características	Especificaciones
Marca	ECUATRAN S.A
Serie	235193
Año de fabricación	1993
Impedancia MT/BT	3.7/3.4
Frecuencia	60 Hz
Potencia Nom. KVA	125
Operación m.s.n.m	3000
No. Fases	3
Líquido aislante	Aceite
Tensión de entrada	22.8 KV
Tensión Baja Tensión	220 V
Corriente en Baja Tensión	343.3 A
Conexión	Delta-Y

$$\rho = \Omega\text{m.}$$

$$A = 18 \text{ m}^2.$$

$$h = \text{m}$$

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

Resistividad

Área

Profundidad de enterramiento

0.5 s despeje de falla

PASO 2. Determinación del calibre del conductor

- $I_{sec} = \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * V_{BT}}$
- $I_{cc-max-sec} = \frac{100\%}{Z\%} I_{sec}$
- $I_{cc-asim} = I_{cc-max-sec} * F_{asim}$

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

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

- $A_{kcmil} = I_{falla} * K_f * \sqrt{t_s} [mm^2]$

Material	Conductividad (%)	Temperatura de fusión Tm (°C)	Kf
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7.06
Cobre duro cuando se utilizan conexiones mecánicas a presión	97	250	11.78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10.45

1 kcmil es igual a 0.507 mm²

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	10.51
3/0	7	85.03	11.8
4/0	7	107.02	13.25

PASO 3. Límite de tensiones de toque y paso

- $V_{paso\ tolerable} = \frac{(1000+6*C_s*\rho_s)*0,157}{\sqrt{t_s}}$
- $V_{contacto\ tolerable} = \frac{(1000+1,5*C_s*\rho_s)*0,157}{\sqrt{t_s}}$
- Si no se utiliza ninguna capa protectora de superficie, entonces $C_s = 1$ y $\rho_s = \rho$

• PASO 4. DISEÑO

- $L_x = m \quad L_y = m$

- $L_p = m$ Perímetro de la malla

- $D = m$ Separación entre conductores

- $N = 6$ Número de varillas

- $L_V = m$ Longitud de la varilla

Longitud total de todos los conductores que forman la red de tierra (m)

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

Longitud total del conductor

- $L_C = L_C + M * L_V [m]$

PASO 5. Resistencia de la malla de tierra

Coeficientes K_1 y K_2

- $$K_1 = \frac{\sqrt{L_x * L_y}}{2} * 1,84 \left[\frac{1}{L_x} * \ln \left(\frac{L_x + \sqrt{(L_x)^2 + L_y^2}}{L_y} \right) + \frac{1}{L_y} * \right.$$

$$\left. \ln \left(\frac{L_y + \sqrt{L_x^2 + (L_y)^2}}{L_x} \right) + \frac{L_x}{3(L_y)^2} + \frac{L_y}{3(L_x)^2} - \frac{((L_x)^2 + (L_y)^2)}{3(L_x)^2(L_y)^2} * \right.$$

$$\left. \sqrt{(L_x)^2 + (L_y)^2} \right]$$

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

$$\left(\dots \sqrt{\dots (L_y)^2} \right)$$

Para calcular el área de mallas cuadradas o rectangulares

$$A = L_x * L_y [m]$$

Resistencia de malla

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

Donde:

- R_1 = Resistencia del conductor
- R_2 = Resistencia de todas las varillas
- R_m = Resistencia mutua entre R_1 y R_2

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

Donde:

- $a' = \sqrt{(d * h)}$ Si h es diferente de 0

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

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

L_c longitud total del conductor

PASO 6. Máxima corriente de falla (I_G) y potencial de tierra (GPR)

$$I_G = 1,9 * I_O [A]$$

- Según la normativa IEEE Std 80-2000: $I_f = I_O =$
Corriente de falla de Tierra simétrica en el primario

$$GPR = I_G * R_G [V]$$

- $GPR > V_{contacto\ tolerable}$, se continua a calcular las máximas tensiones de malla y paso en caso de falla.

- **PASO 7. Máxima tensión de malla en caso de falla (E_m).**

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d$$

- $n_a = \frac{2 * L_c}{L_p}$
- $n_b = 1$ para mallas cuadradas
- $n_c = 1$ para mallas cuadradas y rectangulares
- $n_d = 1$ para mallas cuadradas, rectangulares y en forma de L.
- $k_{ii} = 1$
- $K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_o}}$

Factor geométrico K_m

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left\{ \ln \left[\frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D + 2 + h)^2}{8 * D * d} - \frac{h}{4 * d} \right] + \frac{k_{ii}}{k_h} * \ln \left[\frac{8}{\pi * (2 * n - 1)} \right] \right\}$$

- Para mallas con varillas de tierra a lo largo del perímetro el factor de irregularidad K_i

$$K_i = 0.664 + 0.148 * n$$

- $$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_G}{L_c + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_V}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] * N * L_V}$$

- Si $E_m > V_{\text{contacto tolerable}}$ se debe cambiar la configuración de la malla.
- Si $E_m < V_{\text{contacto tolerable}}$ se procede a calcular las máximas tensiones de paso en caso de falla

PASO 8. Máxima tensión de paso en caso de falla

- La longitud efectiva del conductor enterrado L_s es:

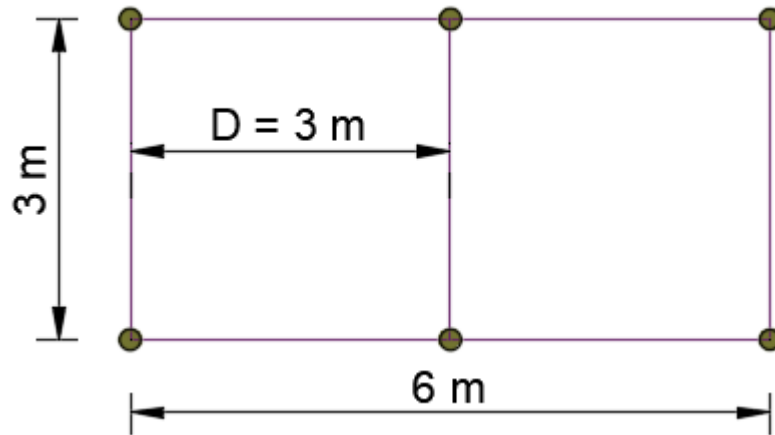
$$L_s = 0.75 * L_C + 0.85 * L_V$$

- $K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2*h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$

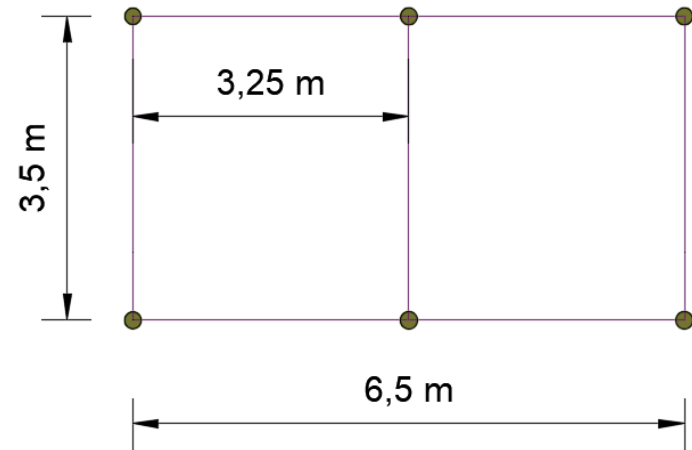
$$V_{paso\ max} = \frac{\rho * K_s * K_i * I_G}{L_s}$$

- Si $V_{paso\ max} > V_{paso\ tolerable}$ cambiar la configuración de la malla
- Si $V_{paso\ max} < V_{paso\ tolerable}$ el diseño está correcto.

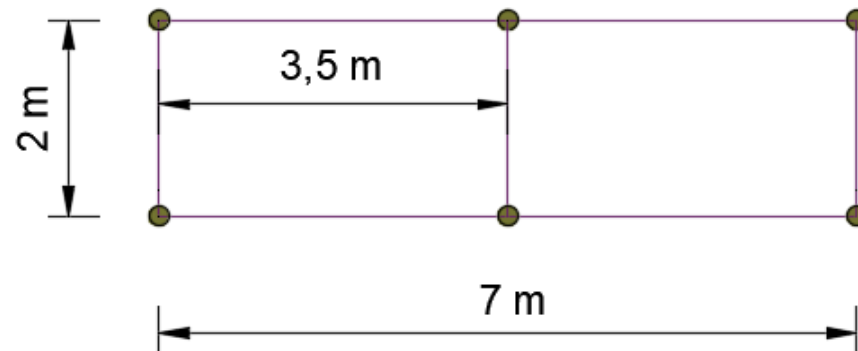
Configuraciones de mallas



M1



MBC



MTCl

Sistema de Pararrayos

Recibir o capturar el rayo mediante un pararrayo.

Conducir la corriente del rayo a tierra mediante una instalación derivadora.

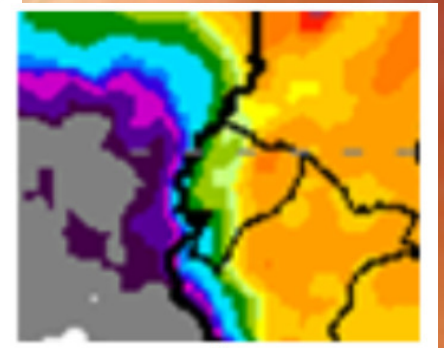
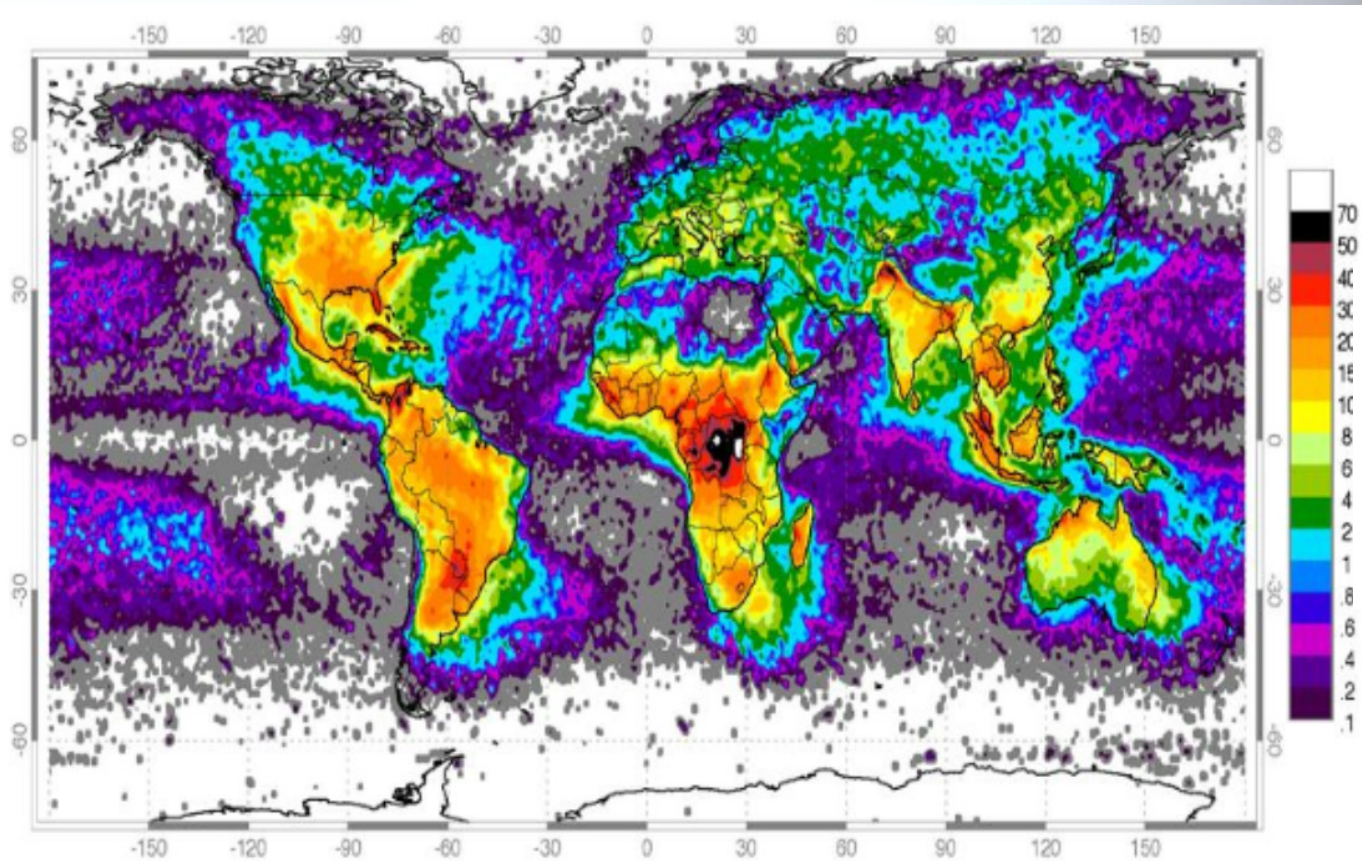
Dispersar la corriente de rayo en el terreno mediante una puesta a tierra.

Pararrayos

- Mayor radio de cobertura, durabilidad (PDC).
- Toma de tierra en triangulo.
- En suelo arenoso o pedregoso, el espacio entre varillas debe ser $>$ a 3m (10 pies). Se utiliza varillas cooperweld de diámetro 5/8" y 1,8 m de longitud.
- Unidas entre sí por un conductor, idéntico o compatible en sus características a aquel utilizado en la bajante, enterrado en una zanja al menos 50 cm de profundidad.

Nivel de protección

- **Densidad de Impactos de Rayos a tierra por Km^2 al año (N_g)**



- **Frecuencia esperada de Impactos directos de Rayos (N_e).**

$$N_e = N_g * A_e * C_1 * 10^{-6} \text{ [n}^\circ \text{ impactos/año]}$$

- *Superficie de captura equivalente de la estructura aislada (A_e)*

$$A_e = a * l + 6 * h * (l + a) + 9 * \pi * h^2$$

- *Cálculo de la situación relativa a la estructura (C_1)
Tabla*

- **Frecuencia Aceptada de Rayos (N_a).**

$$N_a = \frac{5.5}{C_2 C_3 C_4 C_5} * 10^{-3}$$

- C_2 coeficiente en función del tipo de construcción
- C_3 coeficiente en función del contenido
- C_4 coeficiente en función del uso del edificio
- C_5 coeficiente en función de la necesidad de continuidad en las actividades que se desarrollan en el edificio.
- **Selección del Nivel de Protección (N_a).**

Si $N_e > N_a$ es necesario un sistema de protección para descarga atmosféricas.

- **Cálculo de la Eficiencia de la Instalación (E)**

$$E = 1 - \frac{N_a}{N_e}$$

Eficiencia requerida	Nivel de protección
-----------------------------	----------------------------

$E \geq 0.98$	1
---------------------------------	----------

$0.95 \leq E < 0.98$	2
---	----------

$0.80 \leq E < 0.95$	3
---	----------

$0 \leq E < 0.80$	4
--	----------

Nivel de protección	Distancia D m
----------------------------	----------------------

1	20
----------	-----------

2	30
----------	-----------

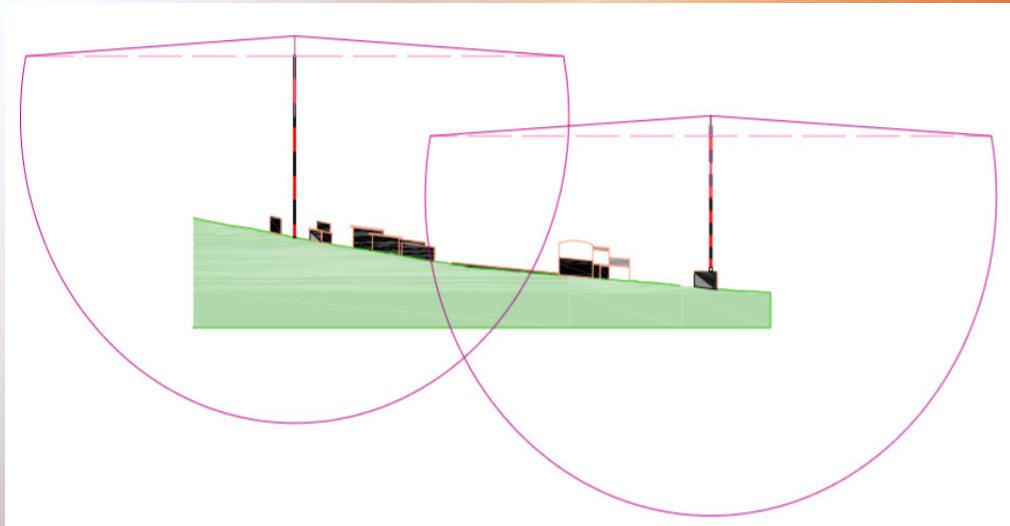
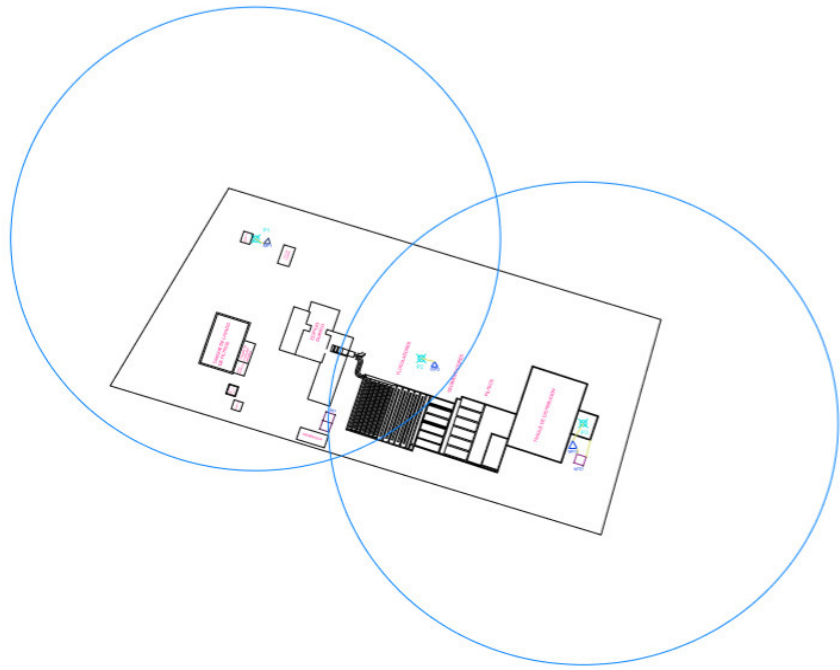
3	45
----------	-----------

4	60
----------	-----------

Radio de cobertura

$$Rp(h) = \sqrt{h(2D - h) + \Delta(2D + \Delta)}$$

- ***h*** Altura de la punta del pararrayo con relación al plano horizontal ocupado por el punto más alto del elemento a proteger.
- ***r(m)*** Distancia de cebado, en función al nivel de protección.
- **$\Delta(\text{m})$** Distancia en función del tiempo del avance de cebado (Δt). $60 \mu\text{s}$
- ***Rp*** el radio de la esfera en m que define la zona protegida.



Resultados

- Tanque de consumo interno



44.15 Ω



1.8 Ω

- Balanzas de cloro



19.98 Ω



1.4 Ω

CONCLUSIONES

- El uso del intensificador de terreno GEM mejora en un 50 % la resistividad del terreno que rodea las varillas y conductor eléctrico, ayudando a mantener su humedad sin considerar las estaciones climáticas.
- Es necesario que las picas auxiliares Utilizadas en las mediciones de resistividad del terreno y resistencia de malla de tierra se encuentren totalmente enterradas, ya que de esta manera nos aseguramos de que exista un buen contacto con el terreno y que en la medición se considera las capas del terreno.
- El método ideal, según estadísticas de campo para medir resistencia de mallas de tierra es el método del 62%, ya que garantiza una mayor precisión en su medición.
- Las uniones exotérmicas aseguran una unión permanente y de baja resistencia a comparación de los conectores mecánicos que generan puntos calientes por no tener un ajuste eficaz y durable.

RECOMENDACIONES

- Se debe realizar en toda el área diferentes mediciones de la resistividad del terreno, con el fin de determinar si es homogéneo o que área del terreno no es la adecuada para la construcción de una malla de tierra.
- Se recomienda realizar varias mediciones cambiando la posición de las 2 picas auxiliares al menos 90° con respecto a la varilla de tierra de prueba con el fin de obtener un valor real, considerándose el valor medio de los obtenidos.
- Al terminar la explosión en el proceso de suelda exotérmica se debe dejar reposar al menos 10 segundos con el fin de que la suelda se haya adherido al conductor y a la varilla.
- Las varillas de tierra y conductor deben estar libre de polvo y humedad para garantizar la adhesión del material de suelda en ellos.



GRACIAS POR SU
ATENCIÓN