

PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES DE ALTA TENSIÓN

Parte 6 – Método de cálculo Norma IEEE-80/2000

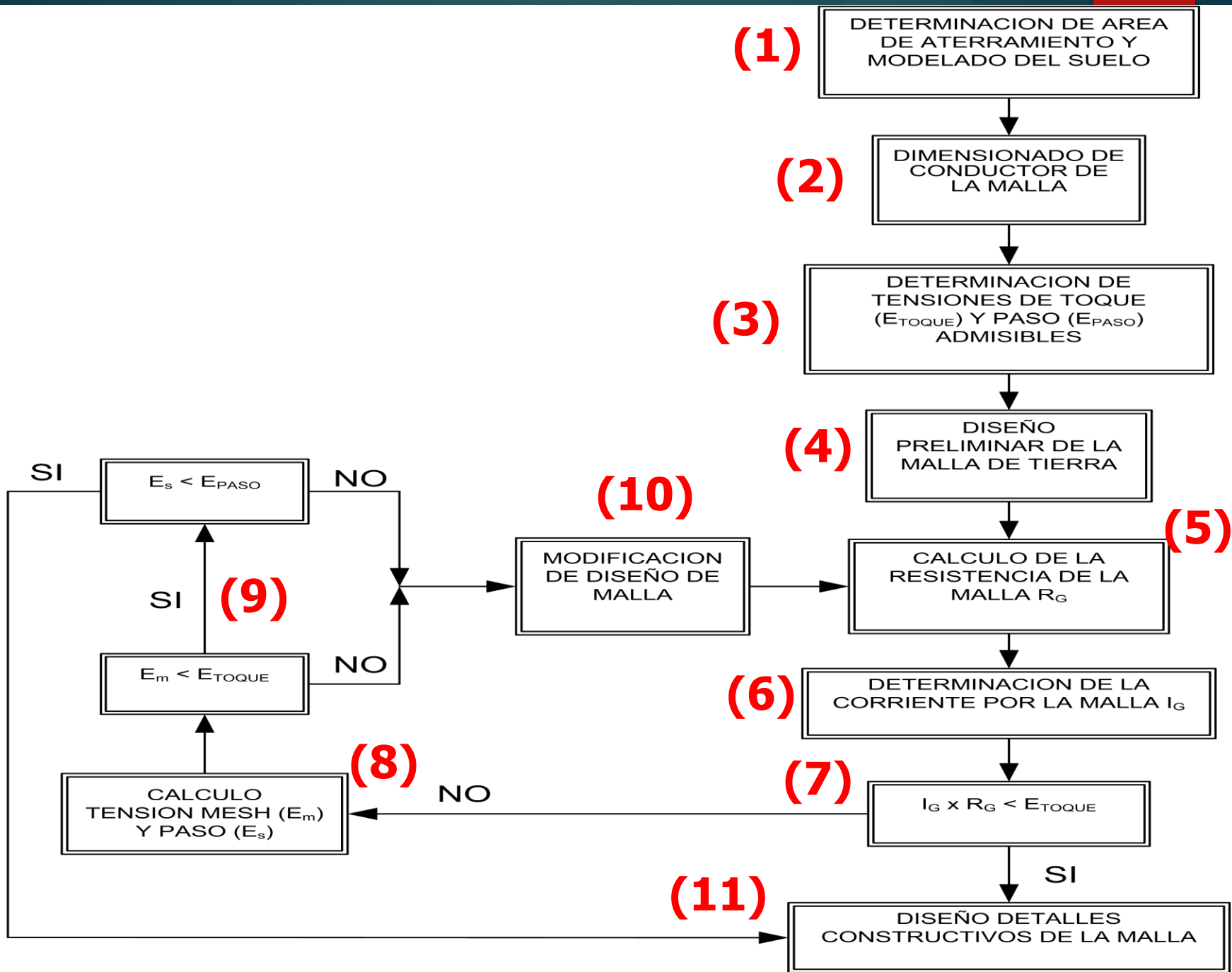
FERNANDO BERRUTTI

AÑO 2015

Método norma IEEE-80

2

- ▶ El terreno presenta resistividad uniforme.
- ▶ Los cálculos de tensión de contacto y paso que aparecen durante un defecto **son aproximaciones** para los cuadrados más “externos” de la grilla.
- ▶ La distribución de corriente es uniforme.



Método norma IEEE-80

- ▶ **Primer punto:** modelado del terreno.
- ▶ **Segundo punto:** dimensionado de los conductores de la malla de tierra.

$$A_{\text{mm}^2} = I \sqrt{\frac{\frac{t_c a_r \rho_r 10^4}{\text{TCAP}}}{\text{Ln} \left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right]}}$$

Método norma IEEE-80

- ▶ **Tercer punto:** cálculo de corrientes admisibles.

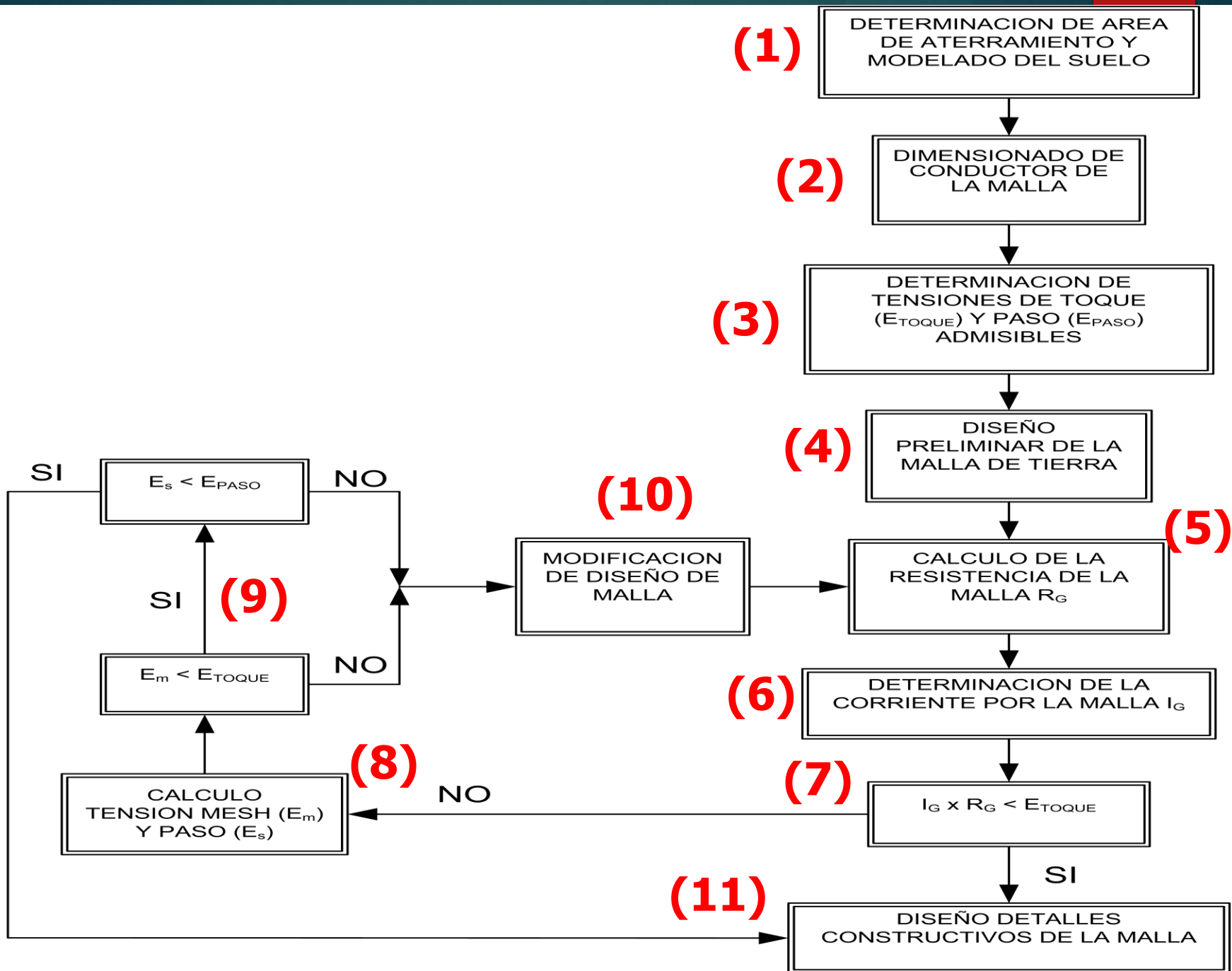
$$E_{\text{paso_adm}} = (1000 + 6C_s\rho_s) \times \frac{k}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{\text{toque_adm}} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \times \frac{k}{\sqrt{t_s}}$$

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

$$k = 0.116 \text{ peso } 50\text{kg}$$

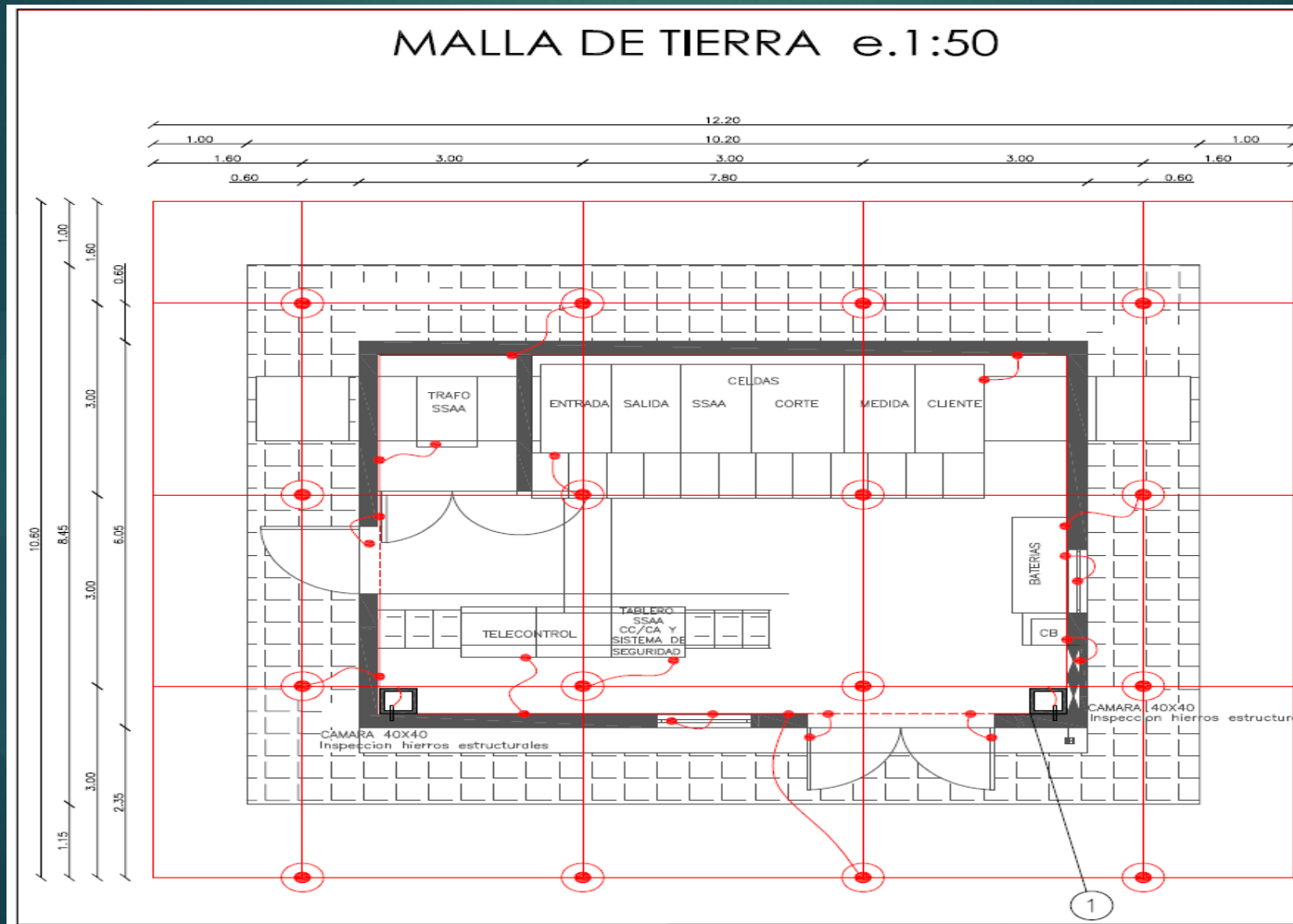
$$k = 0.157 \text{ peso } 70\text{kg}$$



Método norma IEEE-80

7

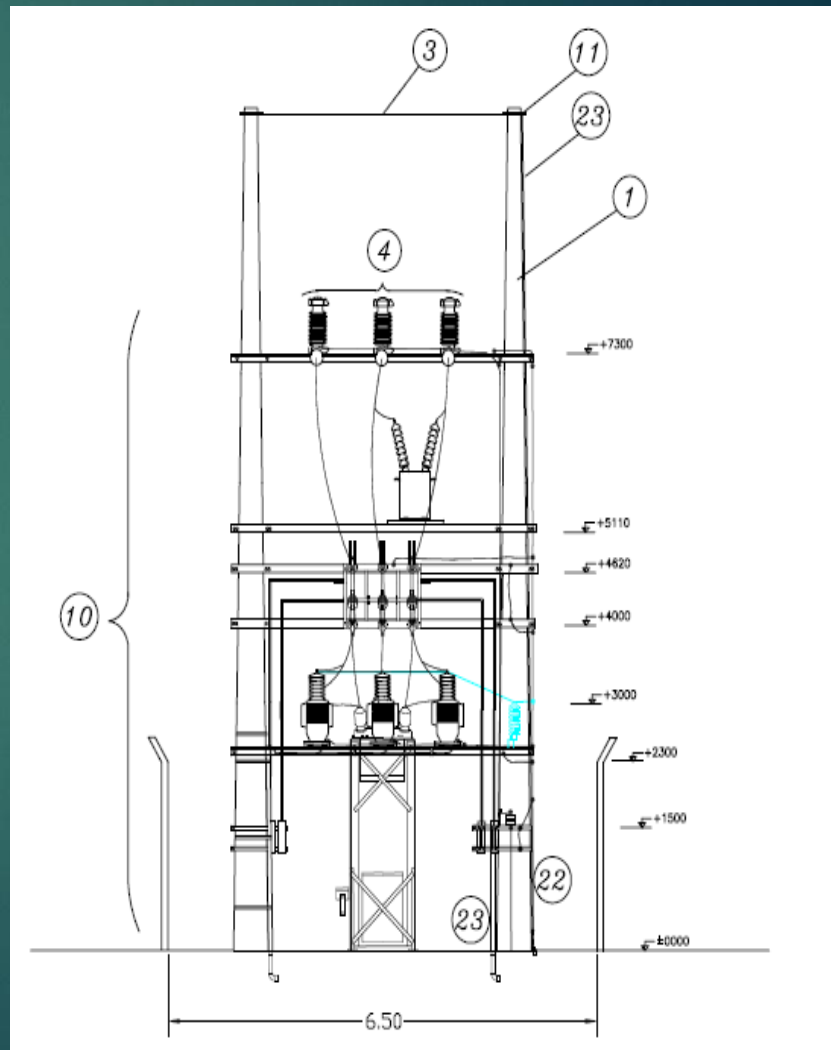
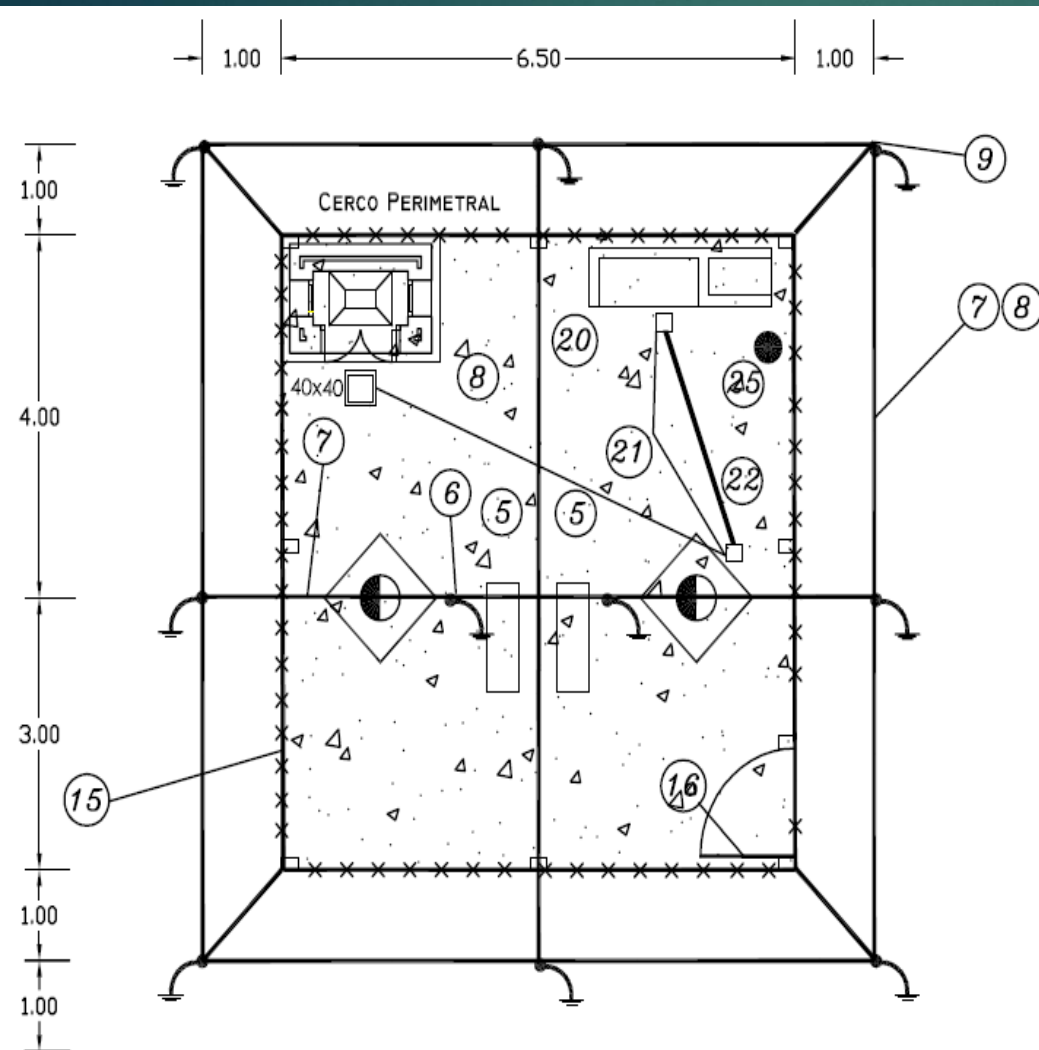
► Cuarto punto: diseño físico de la malla



Método norma IEEE-80

8

► Cuarto punto: diseño físico de la malla



Método norma IEEE-80

▶ Quinto, sexto y séptimo punto

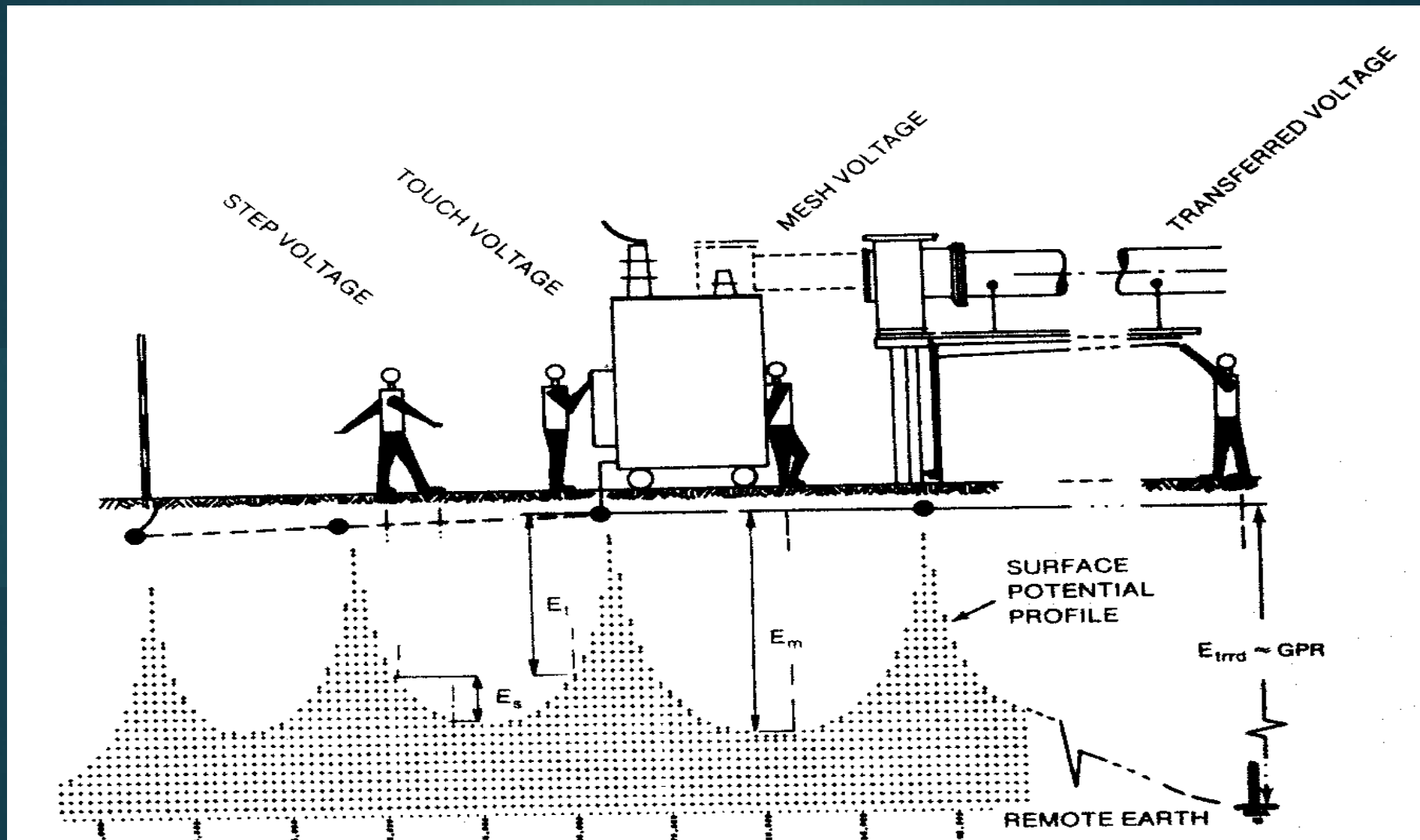
▶ (5)
$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

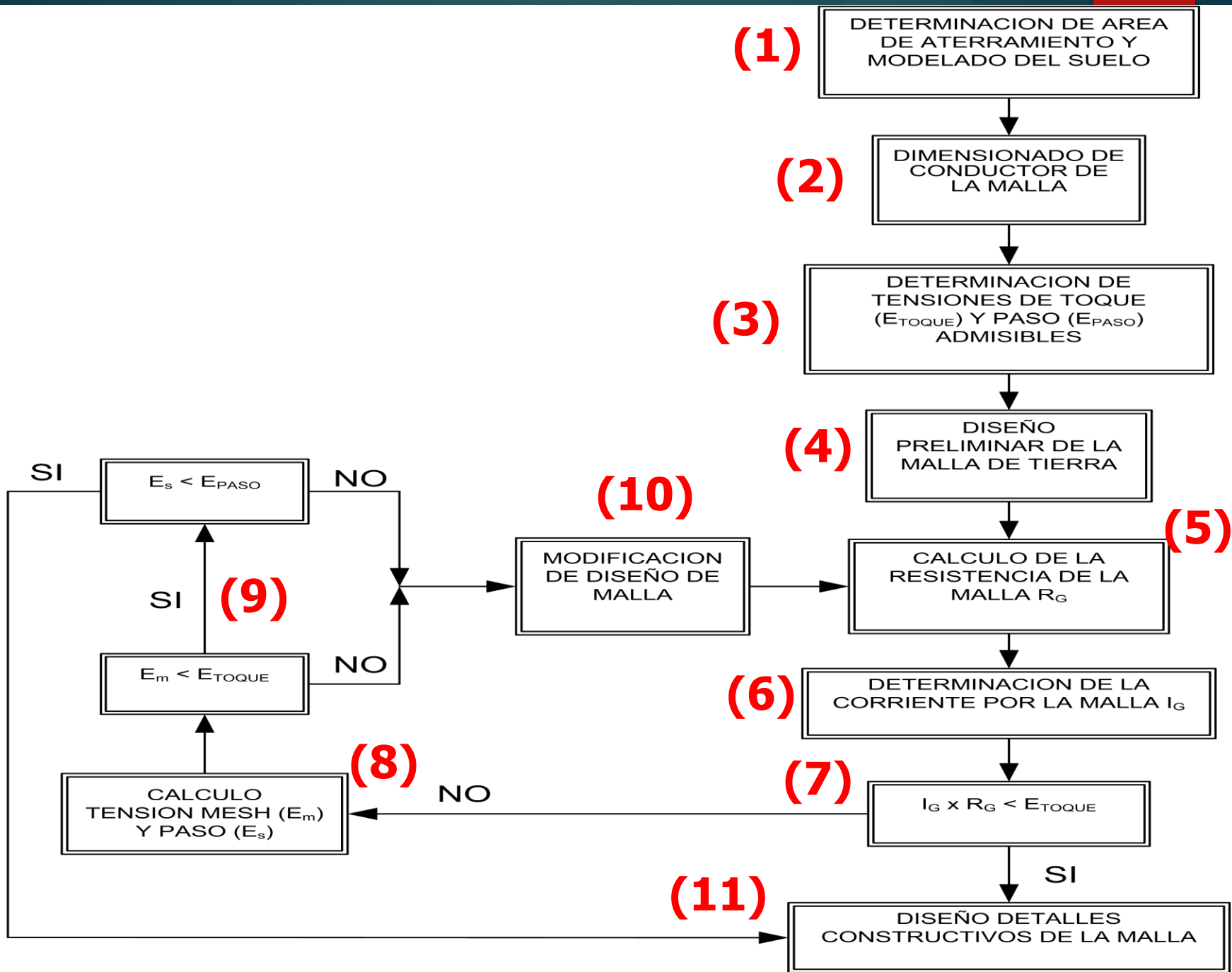
▶ (6)
$$I_G = C_p \times S_f \times D_f \times I_f$$

▶ (7)
$$R_g \times I_G < E_{\text{toque_adm}}$$

Método norma IEEE-80

10





Método norma IEEE-80

12

► Octavo y noveno punto

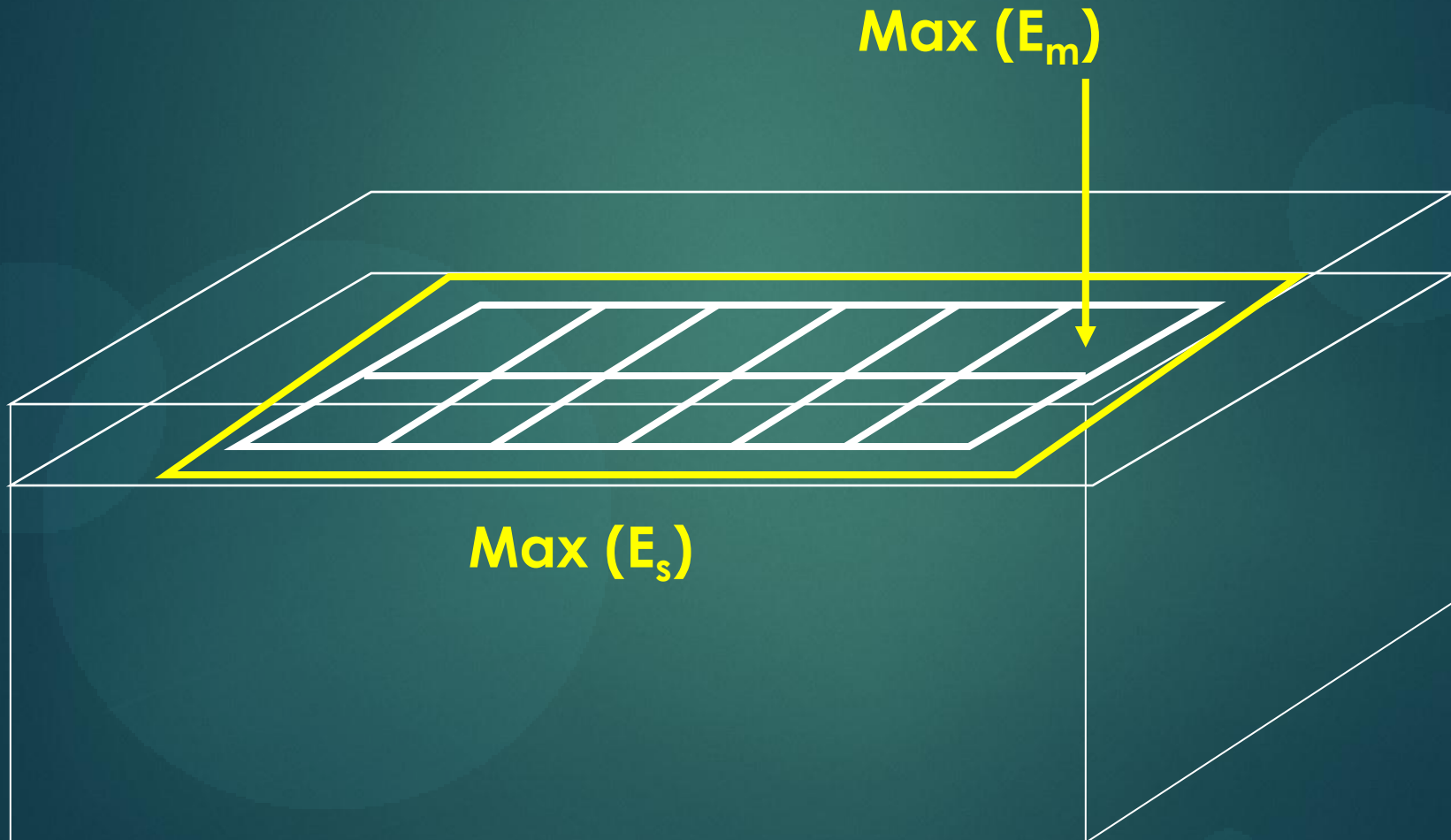
$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_M} < E_{\text{toque_max}}$$

$$E_s = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L_S} < E_{\text{paso_max}}$$

Método norma IEEE-80

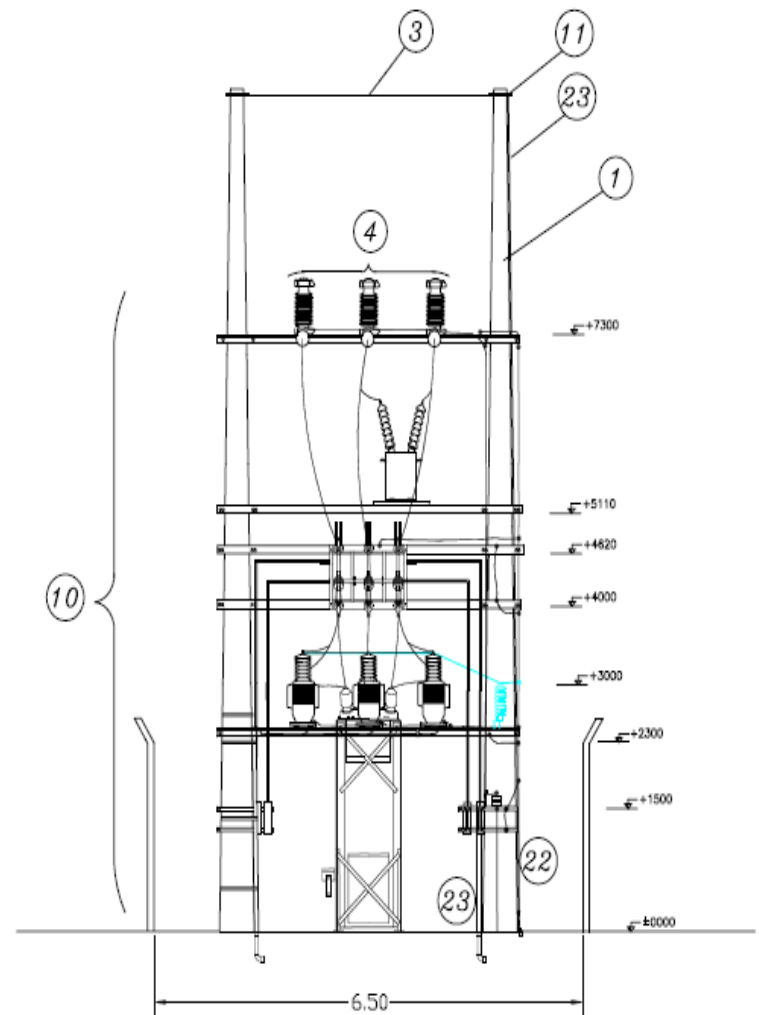
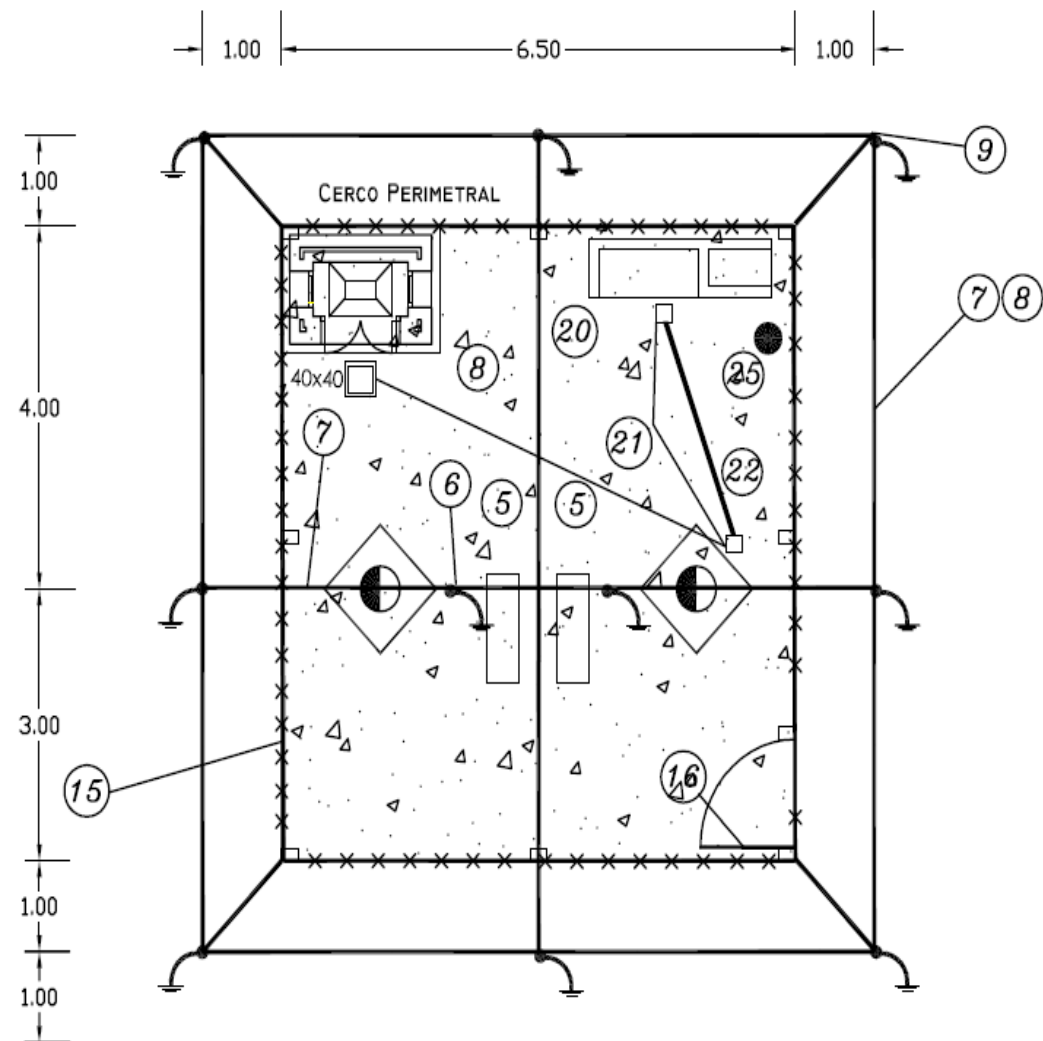
13

► Octavo y noveno punto



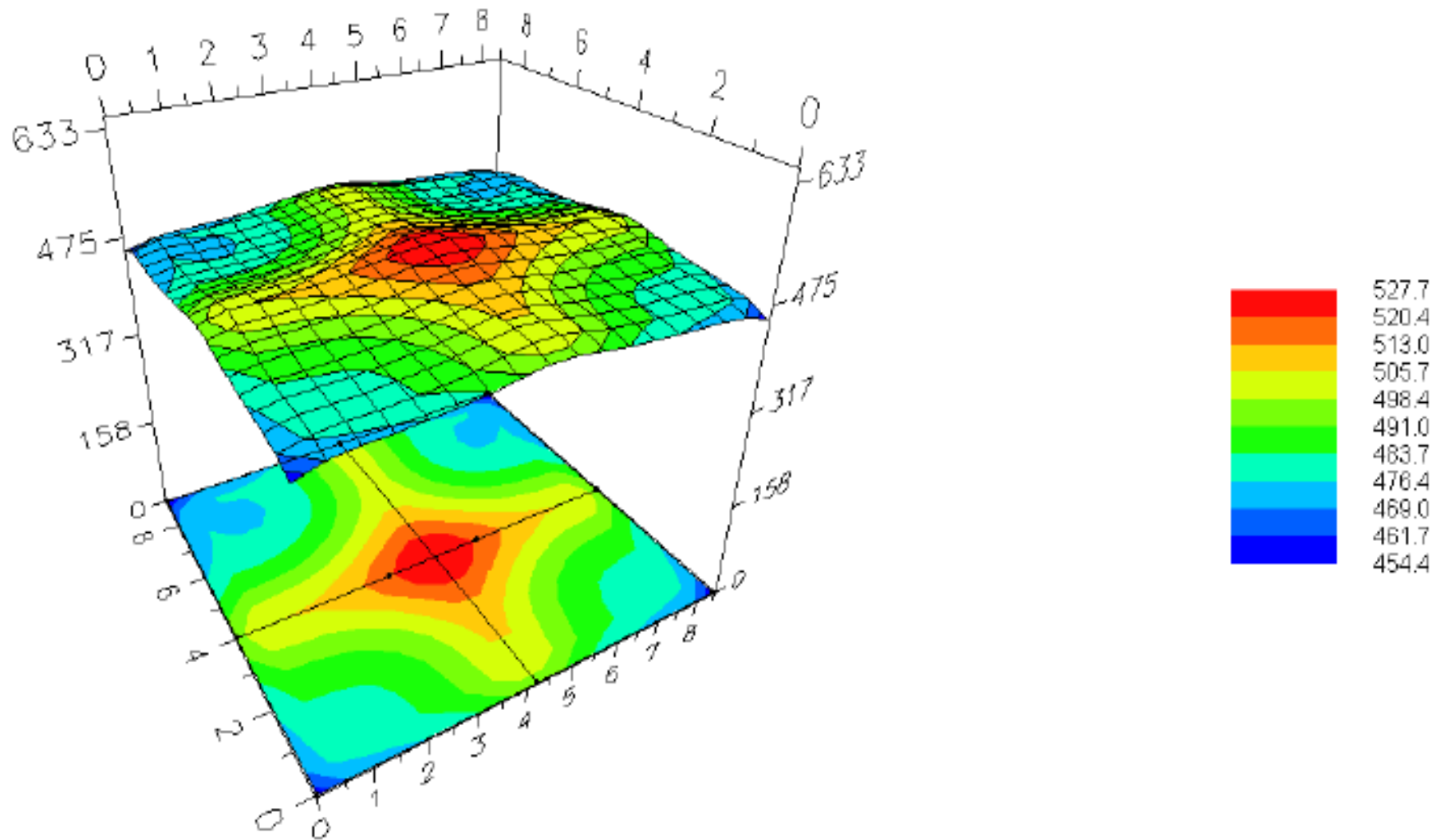
SUBESTACIONES EN MT

Diseño sencillo: MPAT Puesto de Conexión 31.5kV



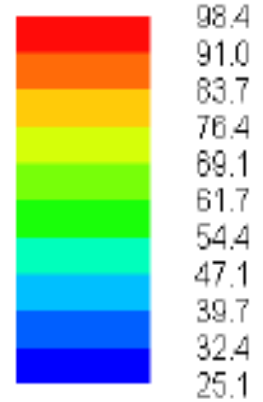
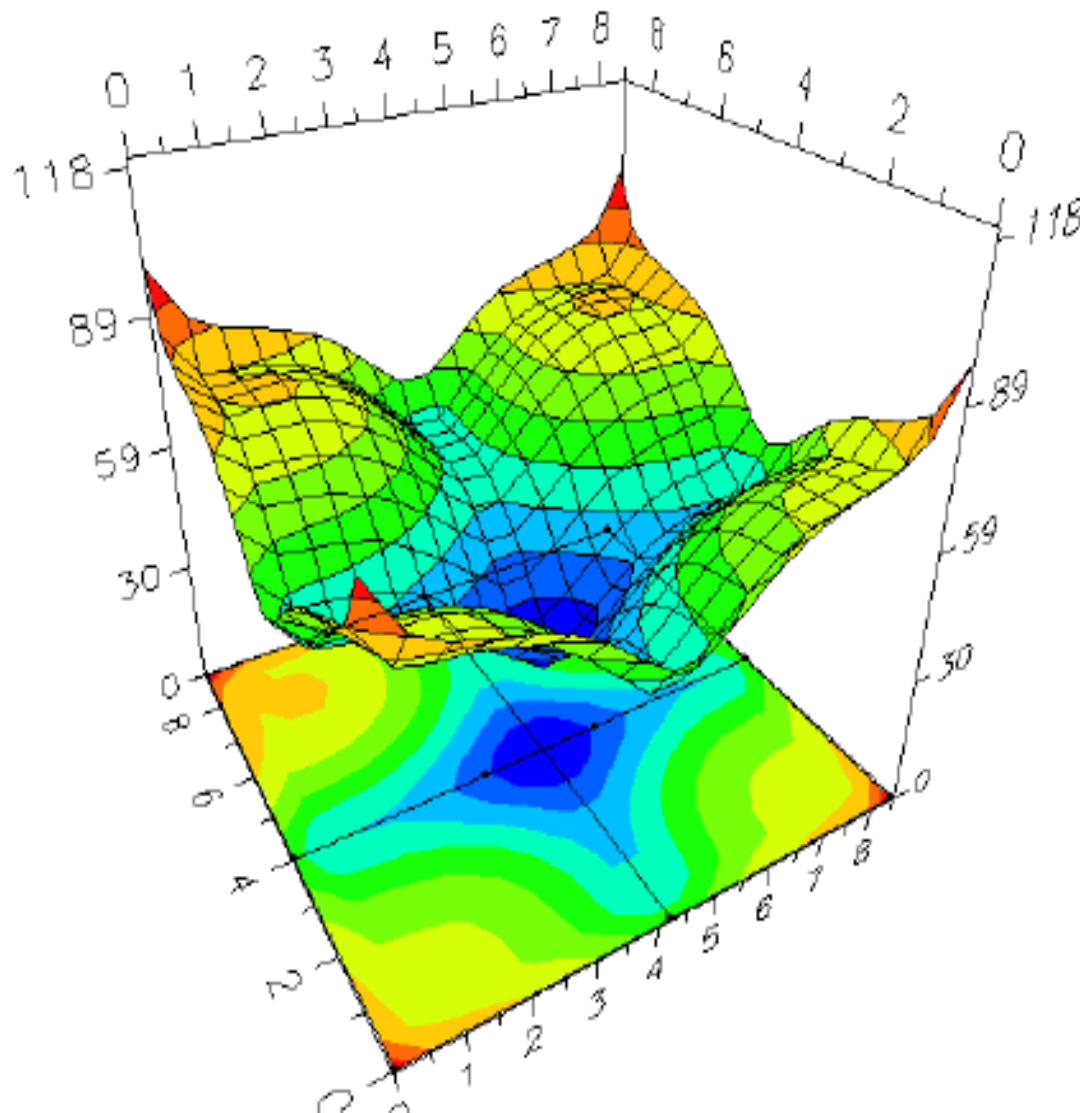
Tensión en la superficie

15



Tensión de mesh (toque)

16



Método norma IEEE-80

17

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_M} < E_{\text{toque_max}}$$

$$E_s = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L_S} < E_{\text{paso_max}}$$

- ▶ ρ : resistividad aparente del terreno.
- ▶ I_G : corriente que circula por la malla.
- ▶ $K_i = 0.644 + 0.144n$ (factor de irregularidad)

Tensión de contacto

18

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_M} < E_{\text{toque_max}}$$

- ▶ Para mallas con pocas jabalinas (o sin jabalinas).

$$L_M = L_C + L_R$$

- ▶ L_C : Longitud de conductor horizontal.
- ▶ L_R : Sumatoria de longitud jabalinas.

Tensión de contacto

19

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_M} < E_{\text{toque_max}}$$

- ▶ Para mallas con jabalinas en las esquinas y a lo largo del perímetro.

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R$$

- ▶ L_r : Longitud individual de una jabalina.
- ▶ L_x : Longitud máxima de malla en eje x.
- ▶ L_y : Longitud máxima de malla en eje y.

Tensión de contacto

20

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

- ▶ D: Separación máxima entre conductores paralelos.
- ▶ h: Profundidad de entierro de la malla (sin considerar la capa de piedra partida).
- ▶ d: Diámetro de los conductores.
- ▶ K_{ij} : 1 → para mallas con jabalinas en el perímetro.
→ $1/(2n)^{(2/n)}$ para malla con pocas o sin jabalinas.

Tensión de contacto

21

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad h_0 = 1m$$

- ▶ n = factor geométrico = $n_A \times n_B \times n_C \times n_D$.
- ▶ $n_A = 2L_C/L_P$ en todos los casos.
- ▶ $n_B = 1$ para mallas con forma cuadrada.
- ▶ $n_C = 1$ para mallas con forma rectangular.
- ▶ $n_D = 1$ para mallas rectangulares, cuadradas y con forma de "L".

Tensión de contacto

22

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad h_0 = 1\text{m}$$

► $n = \text{factor geométrico} = n_A \times n_B \times n_C \times n_D.$

$$n_B = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} \quad n_C = \left(\frac{L_x \times L_y}{A} \right)^{\frac{0.7 \times A}{L_x \times L_y}} \quad n_D = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

Tensión de contacto

23

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

- ▶ L_C : longitud total de conductor horizontal enterrado.
- ▶ L_p : longitud total de la periferia de la malla.
- ▶ A : área de la malla (m^2).
- ▶ L_x : La máxima longitud de la malla en dirección X.
- ▶ L_y : La máxima longitud de la malla en dirección Y.
- ▶ D_m : La máxima distancia entre dos puntos cualesquiera de la malla.

Todas las longitudes se expresan en metros.

Tensión de paso

24

$$E_s = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L_s} < E_{\text{paso_max}}$$

- ▶ ρ : resistividad aparente del terreno.
- ▶ I_G : corriente que circula por la malla.
- ▶ $K_i = 0.644 + 0.144n$ (factor de irregularidad).
- ▶ Longitud efectiva (L_s):

$$L_s = 0.75L_C + 0.85L_R$$

Tensión de paso

25

$$E_s = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L_s} < E_{\text{paso_max}}$$

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

- ▶ n: factor geométrico.
- ▶ D: separación máxima entre conductores.
- ▶ h: profundidad de entierro malla (sin considerar capa de piedra partida).

Método norma IEEE-80

26

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_M} < E_{\text{toque_max}}$$

$$E_s = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L_S} < E_{\text{paso_max}}$$

- ▶ Si se cumplen estas condiciones, finaliza el cálculo de la malla → consideraciones constructivas **(11)**.
- ▶ Si no se cumple, se debe proponer un nuevo diseño de malla de tierra y evaluar **(5)**.