

PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES DE ALTA TENSIÓN

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

AÑO 2016

BASADO EN CURSO 2015 (FERNANDO BERRUTTI)

Dimensionamiento de una puesta a tierra

- ▶ - Verificar que los potenciales que surgen en la superficie debido al máximo defecto a tierra, son inferiores a las tensiones de paso y contacto admisibles.
- ▶ - Dimensionar el conductor de la malla para soportar esfuerzos mecánicos y térmicos.
- ▶ - La resistencia de la malla debe ser tal de sensibilizar el rele de neutro.

Datos necesarios

3

SUBESTACIONES EN MT

- ▶ - Conocer el area donde se va a construir la malla de tierra.
- ▶ -Datos sobre cual va a ser la resistividad superficial ρ_s .
- ▶ -Icc maxima a tierra
- ▶ -Porcentaje de Icc maxima que realmente va por la malla.
- ▶ -Tiempo de apertura de las protecciones.
- ▶ -Valor maximo de R compatible con la sensibilizacion de la proteccion.

Criterios geometricos:

- ▶ Rodear la estacion con un conductor a lo largo de todo el perimetro, extendiendose del cerco perimetral o limite de 1m a 1.5m, abarcando un area lo suficientemente grande como para tener una resistencia adecuada (este conductor no forma parte integral de la malla calculada, pero sirve para disminuir el gradiente de potencial en el acceso a la instalacion).
- ▶ Tender conductores de Cu electrolitico desnudo a una profundidad de 0.5 a 1.5 metros, formando una grilla con separacion de entre 3 y 7 metros (estos conductores si forman parte integral de la malla a calcular).

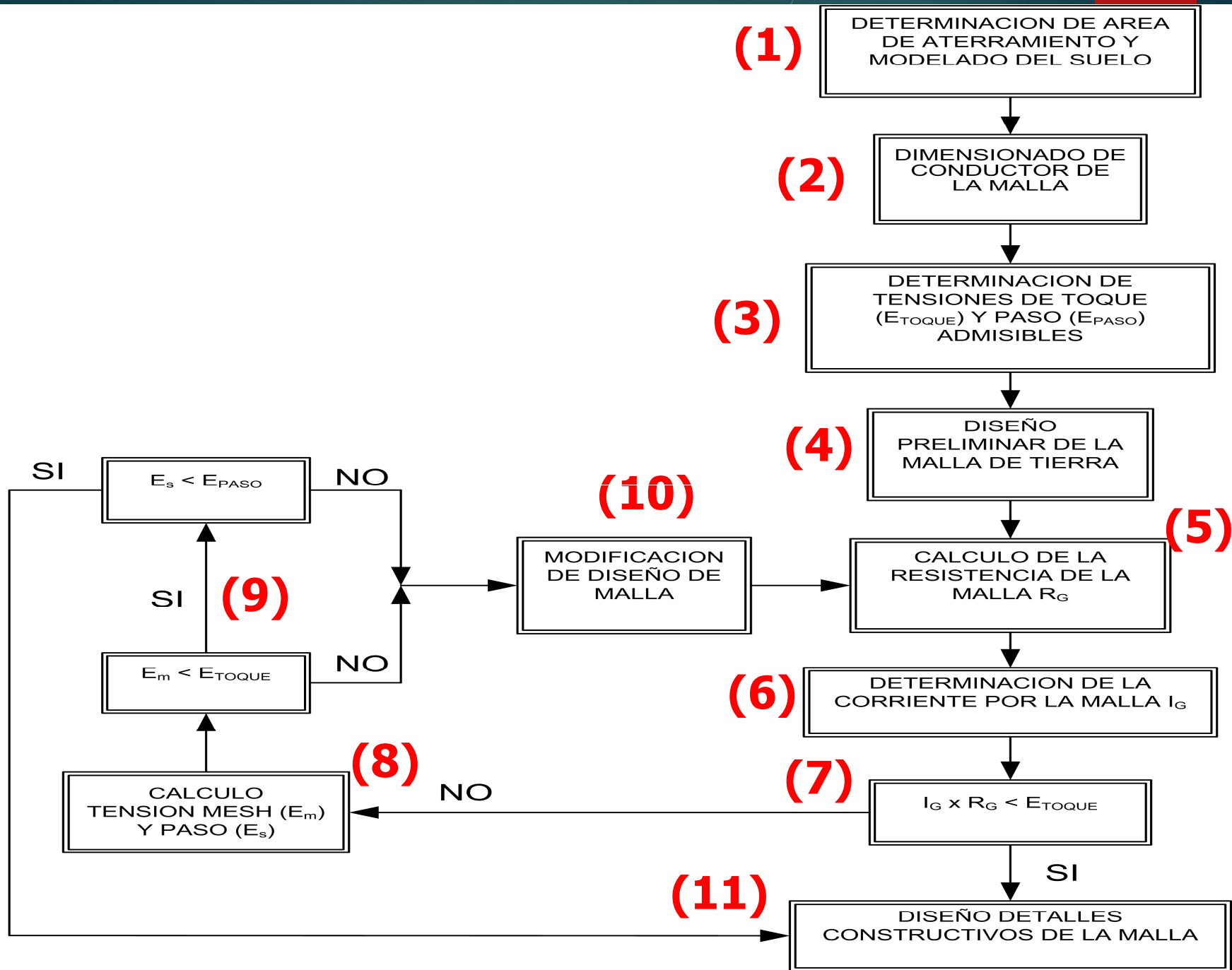
Criterios geometricos:

- ▶ Todos los cruces entre conductores se deben realizar con soldadura exotermica, así como las uniones entre conductores y jabalinas, asegurando un control adecuado de los gradientes de potencial producidos durante la ocurrencia de una falta a tierra.
- ▶ Luego de enterrada la malla, se cubre el terreno con una capa de piedra partida de entre 10cm, 15cm o 20cm de espesor si se trata de una estacion exterior. En el caso de estaciones interiores, la losa de hormigon tiene un espesor de entre 10cm y 15cm y presenta una resistividad similar a la de la piedra partida (2500 Ω .m).

Método norma IEEE-80

6

- ▶ 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

8

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

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

Mallas de tierra Dimensionado

9

SUBESTACIONES EN MT

I = corriente rms en kA

A = sección de conductor en mm^2

T_m = máxima temperatura en $^{\circ}\text{C}$

T_a = temperatura ambiente en $^{\circ}\text{C}$

T_r = temperatura de referencia para los materiales en $^{\circ}\text{C}$

α_0 = coeficiente térmico de la resistividad a 0°C

α_r = coeficiente térmico de la resistividad a T_r

ρ_r = la resistividad del conductor a T_r en $\mu\Omega - \text{cm}$

$K_0 = 1/\alpha_0$

t_c = tiempo de circulación de la corriente en s

TCAP = factor de capacidad térmica en $\text{J}/\text{cm}^3/^{\circ}\text{C}$

$$I = 226.53 * Scobre * \sqrt{\left(\frac{1}{t_{defecto}} * Ln\{(Tm - Ta) / (234 + Ta) + 1\}\right)}$$

- ▶ El valor de Tm esta limitado por el tipo de conexión utilizada:
- ▶ -Soldadura exotermica. Tm=850°C.
- ▶ -Soldadura convencional. Tm=450°C.
- ▶ Ta= T ambiente en °C.

Método norma IEEE-80

11

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

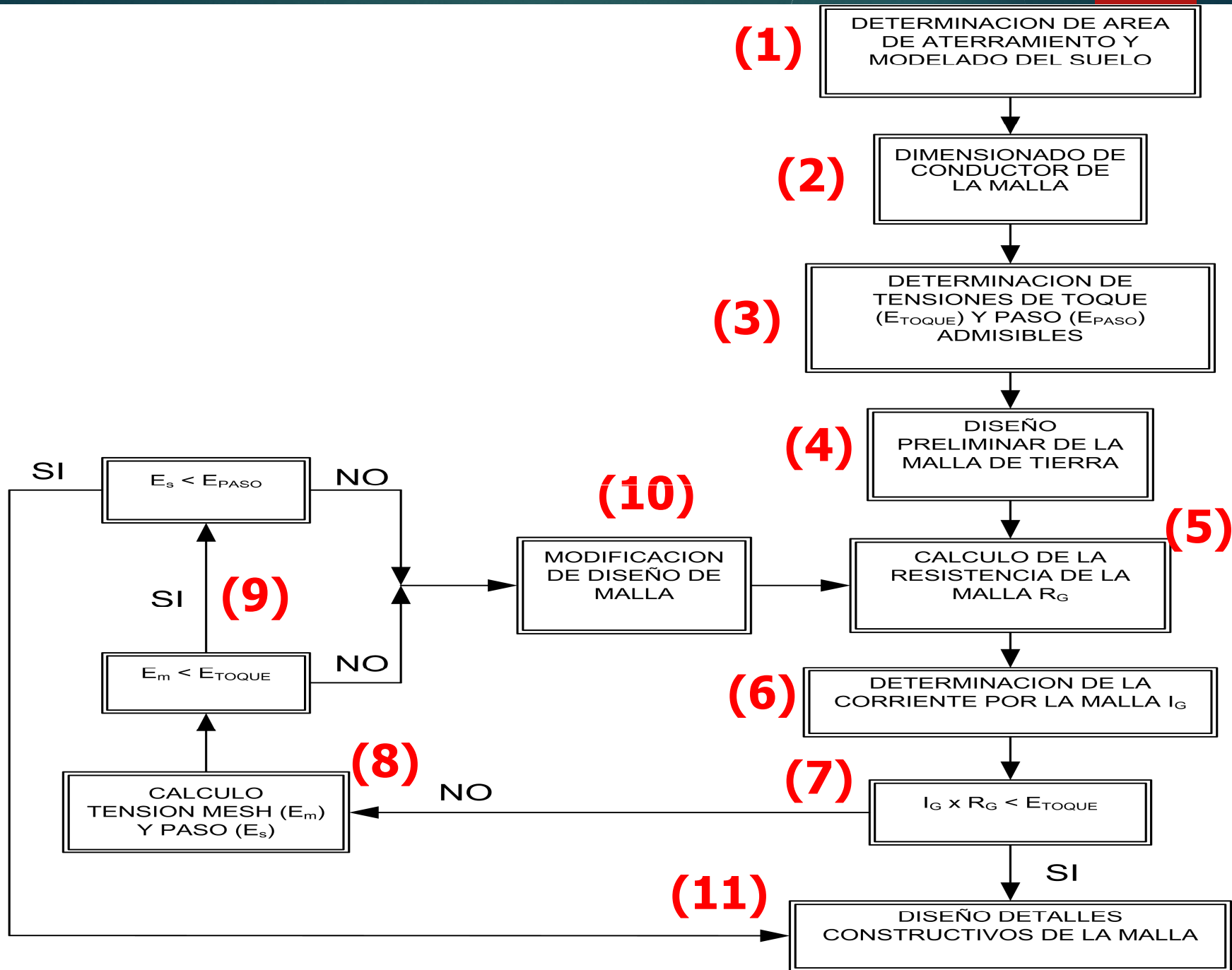
$$E_{\text{paso_adm}} = (1000 + 6C_s \rho_s) \times \frac{k}{\sqrt{t_s}}$$

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

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

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

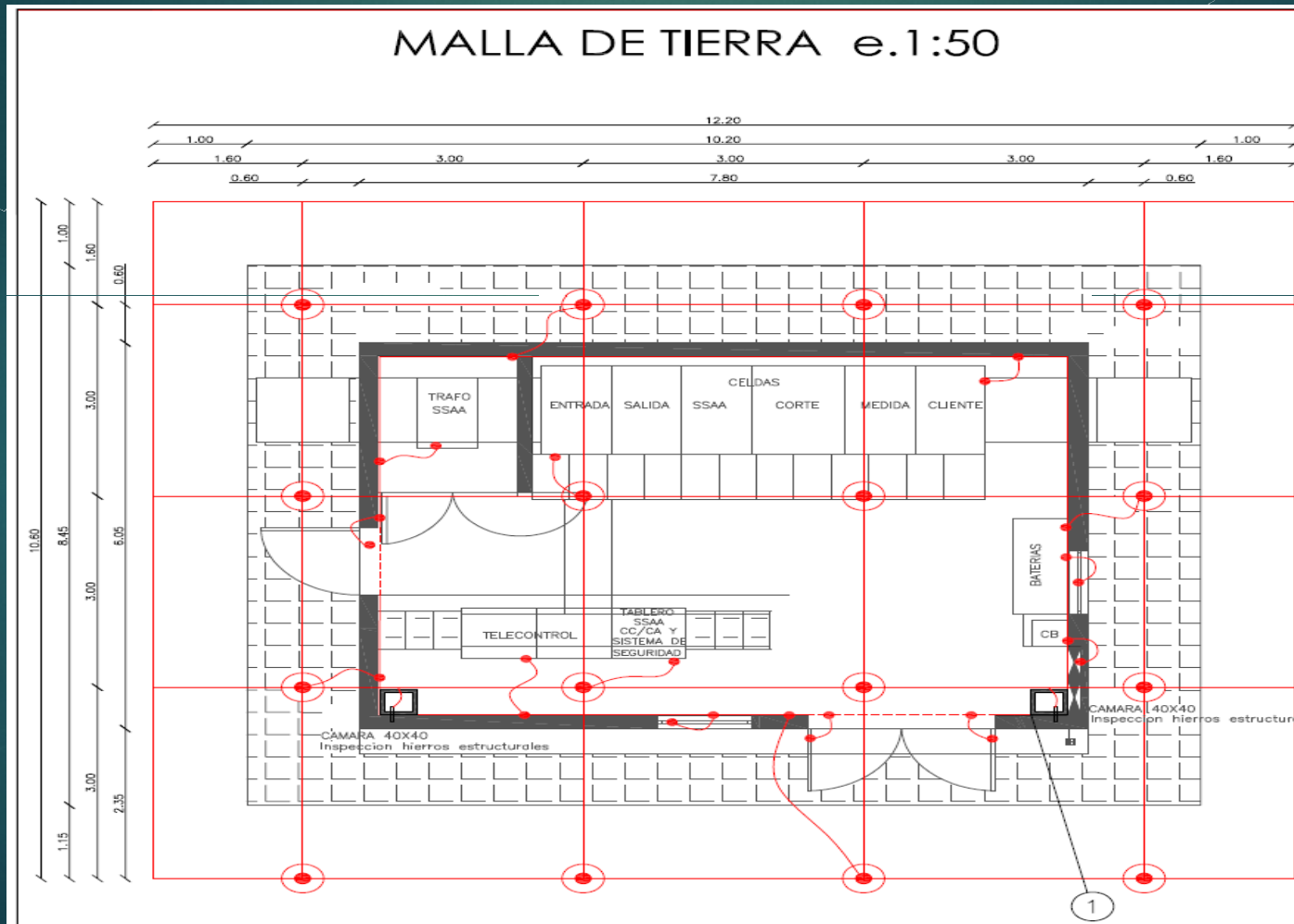
$$k = 0.157 \text{ peso } 70\text{kg}$$



Método norma IEEE-80

13

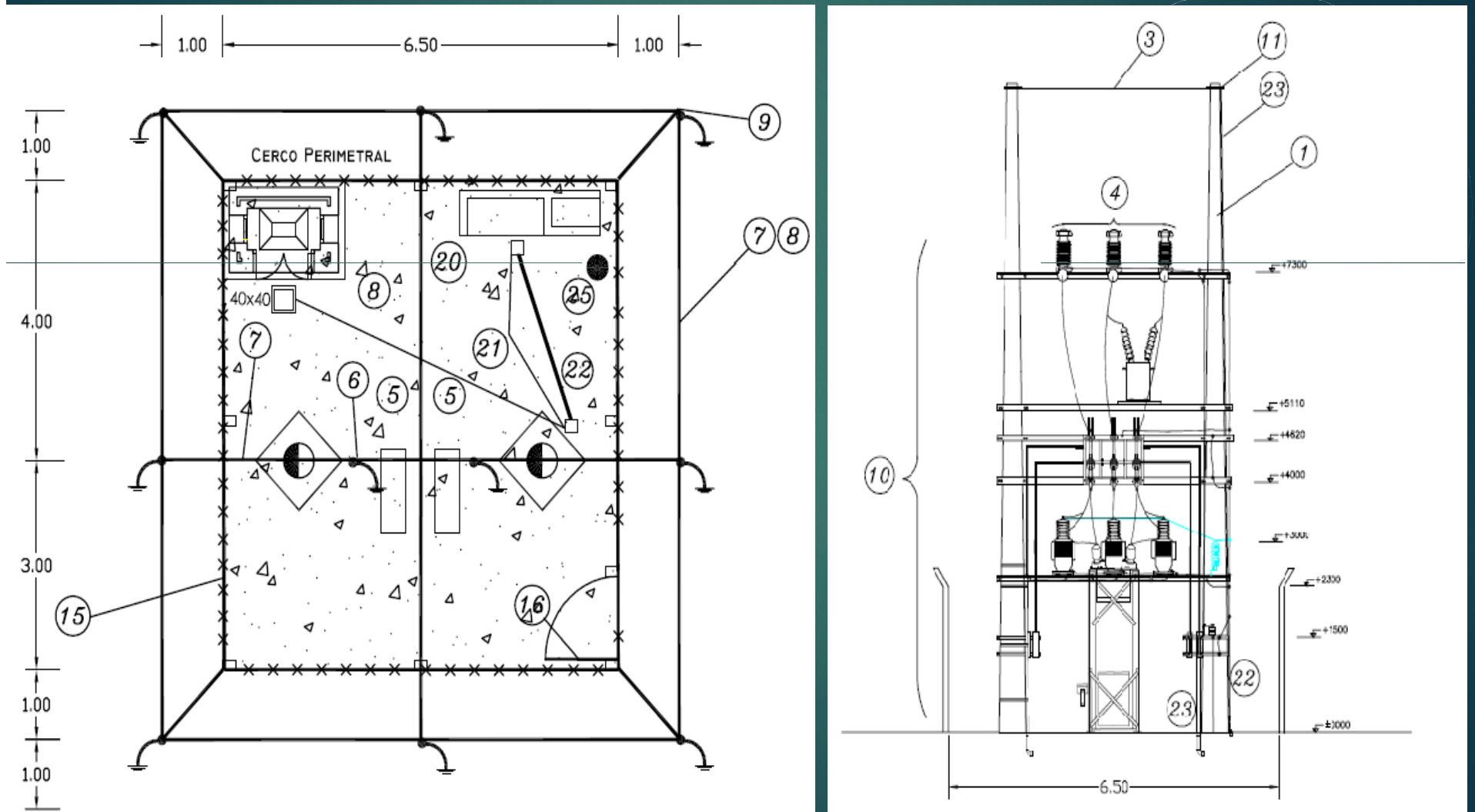
► Cuarto punto: diseño físico de la malla



Método norma IEEE-80

14

► Cuarto punto: diseño físico de la malla



Método norma IEEE-80

15

▶ Quinto, sexto y séptimo punto

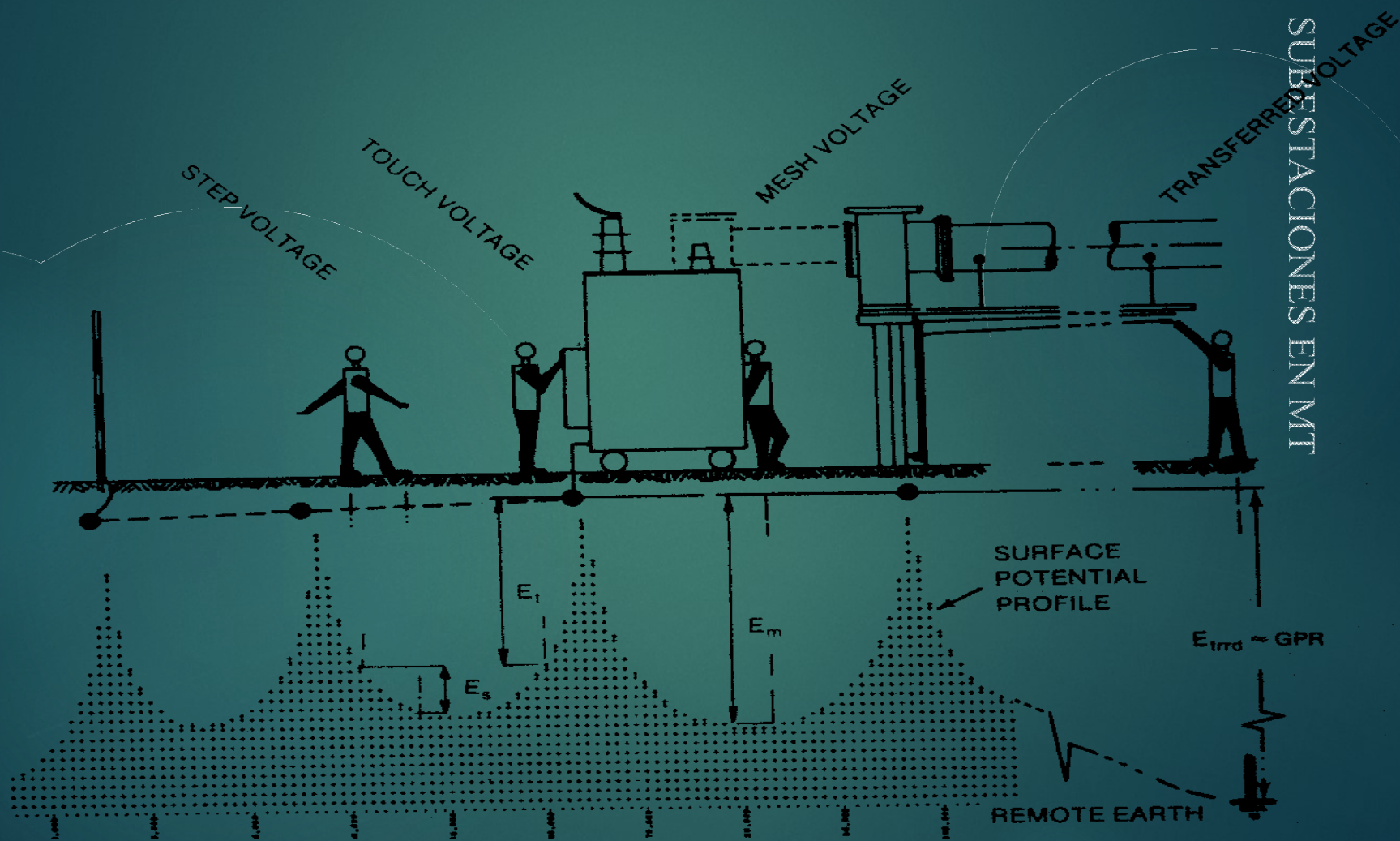
▶ (5)
$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

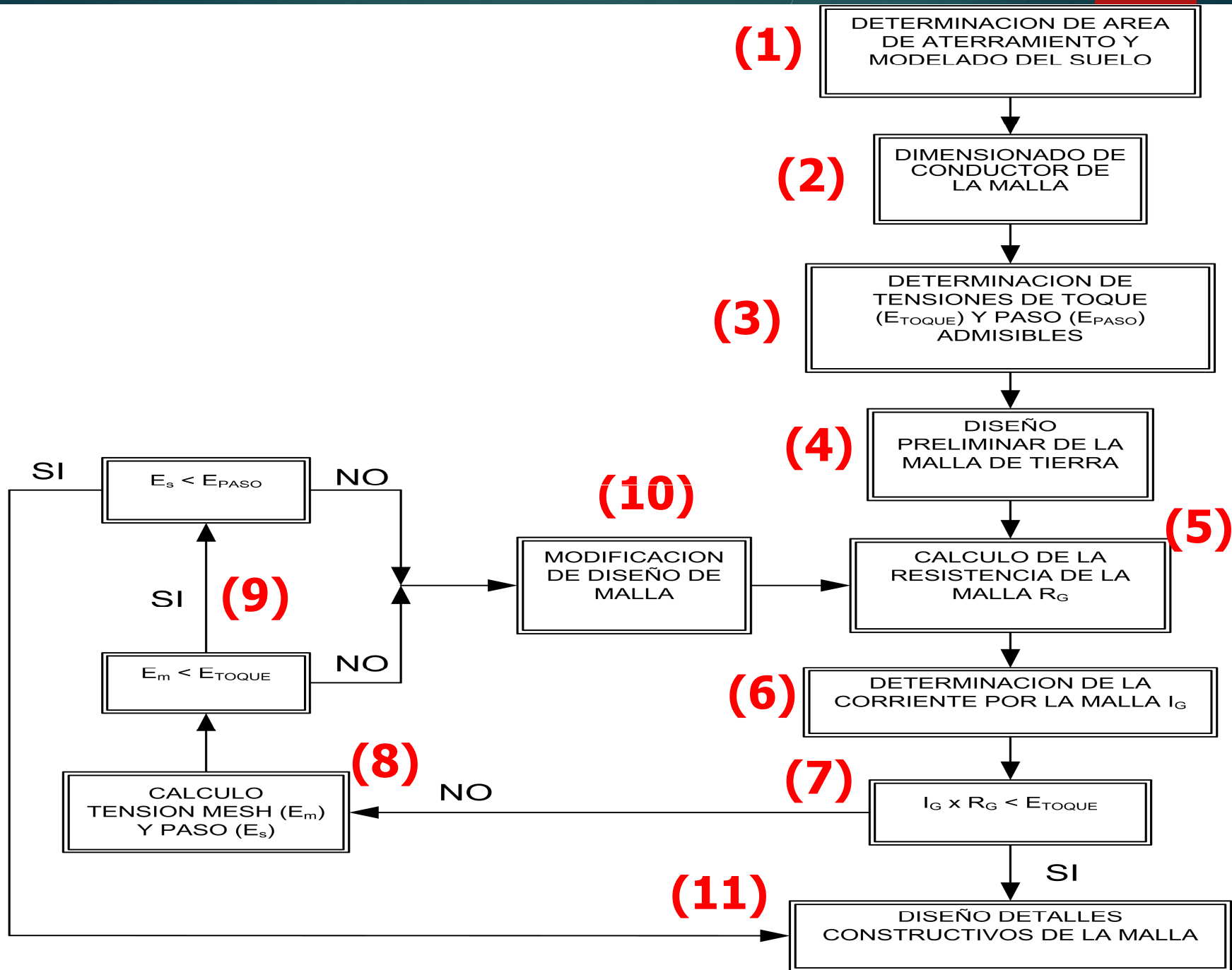
▶ (6)
$$I_G = C_p \times S_f \times D_f \times I_f$$

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

Método norma IEEE-80

16





Método norma IEEE-80

18

► Octavo y noveno punto

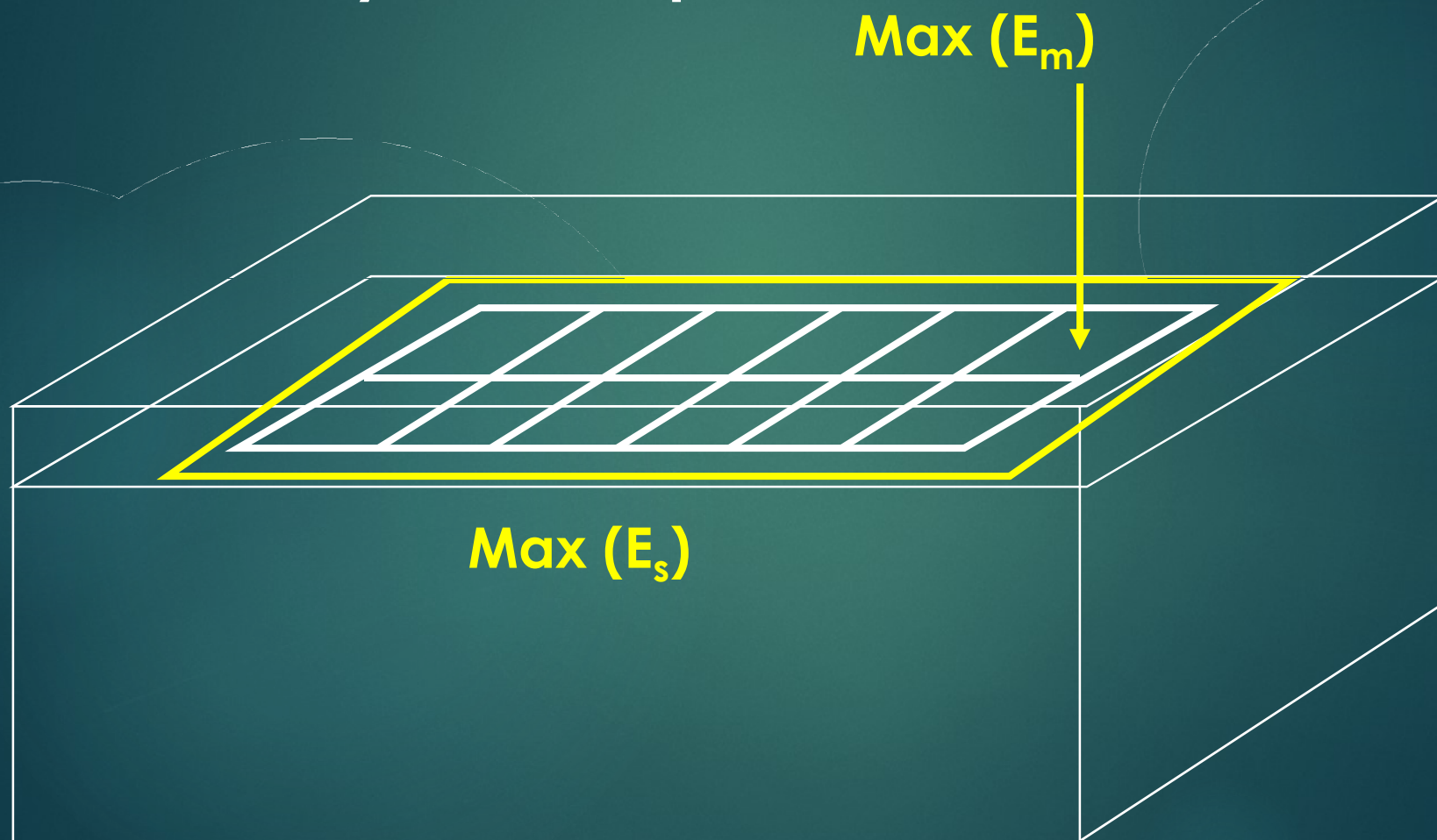
$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_M} < E_{\text{toque_max}}$$

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

Método norma IEEE-80

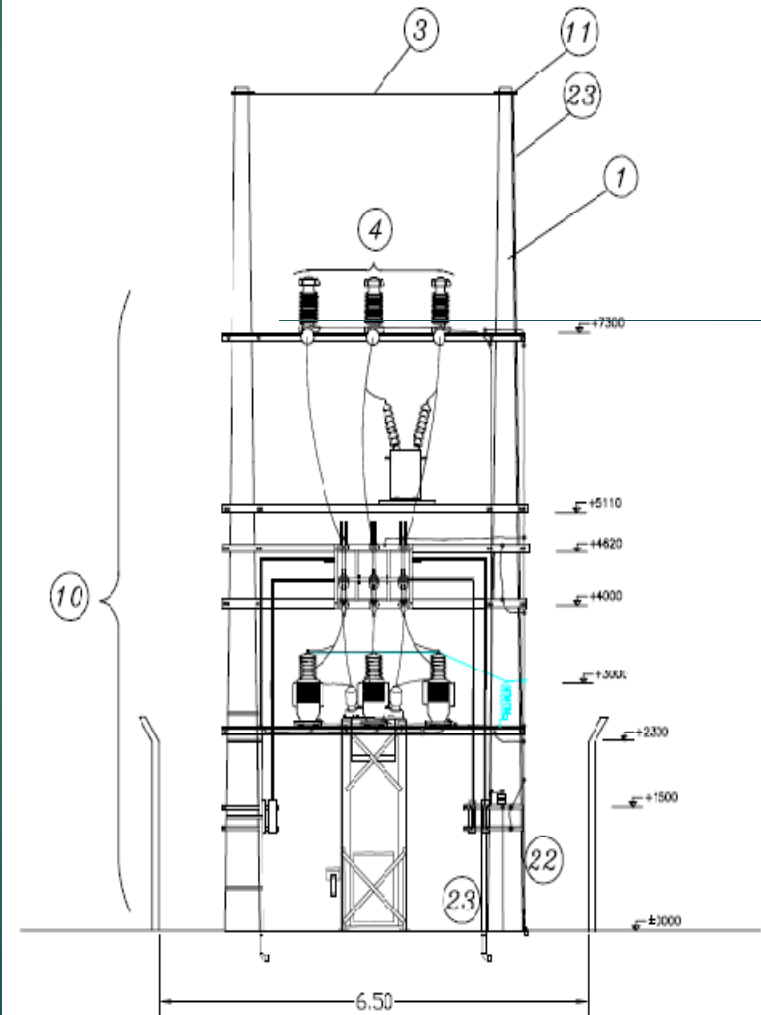
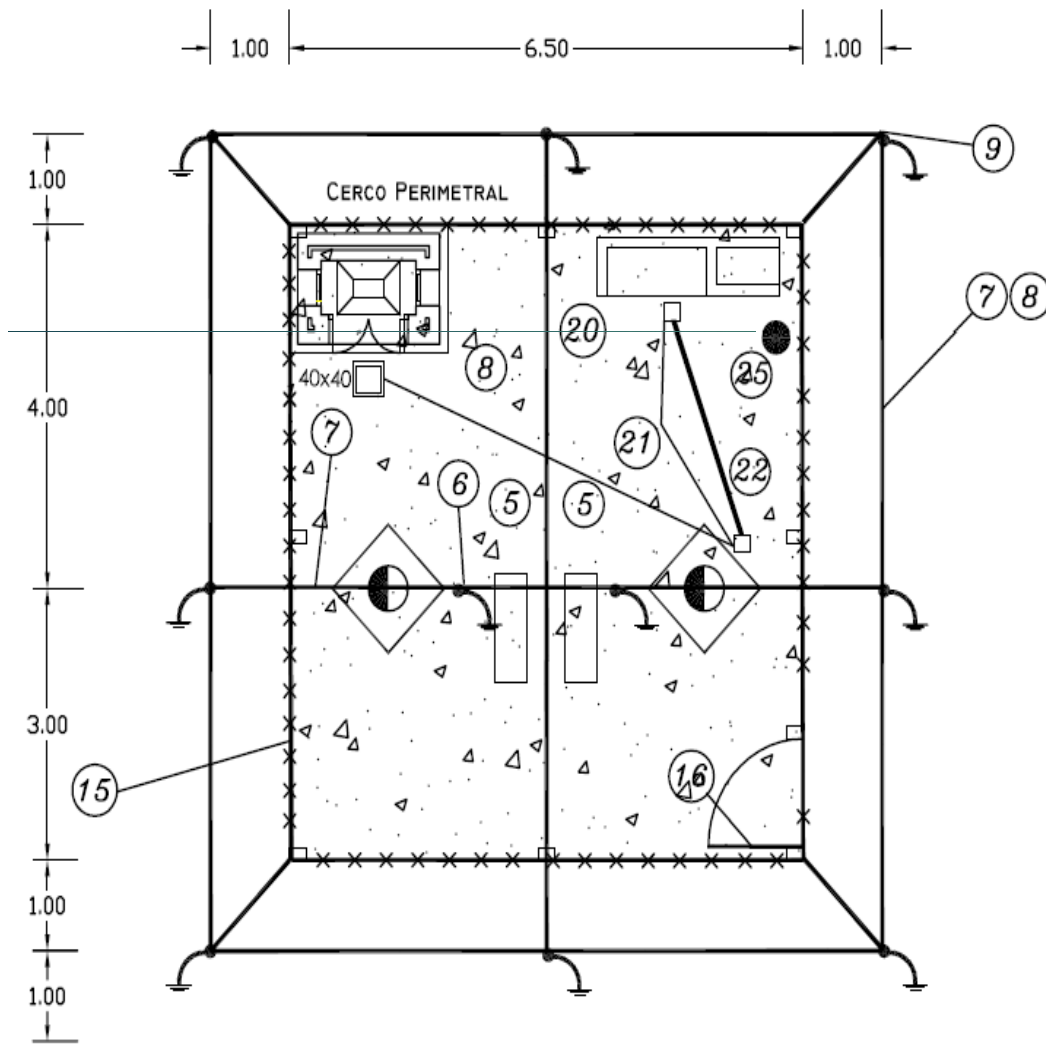
19

► Octavo y noveno punto



Diseño sencillo: MPAT Puesto de Conexión 31.5kV

20



Método norma IEEE-80

21

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

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

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

Método norma IEEE-80

22

SUBESTACIONES EN MT

- ▶ K_i tiene en cuenta los efectos de la distribución no uniforme de la corriente por la malla.
- ▶ K_m se define como coeficiente de malla, y tiene en cuenta la influencia de la profundidad de la malla, diametro del conductor y espaciamiento entre conductores.
- ▶ K_s introduce en el calculo la mayor diferencia de potencial entre dos puntos distanciados 1m. Relaciona todos los parametros de la malla que inducen tensiones en la superficie.

Tensión de contacto

23

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

- ▶ 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

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

- ▶ 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

25

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

- ▶ 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

26

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

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

- ▶ $n = \text{factor geométrico} = n_A \times n_B \times n_C \times n_D$.
- ▶ $n_A = 2L_C/L_P$ 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

27

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

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

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

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

Tensión de contacto

28

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

- ▶ 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

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

- ▶ 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

30

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

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

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

Método norma IEEE-80

31

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

- ▶ 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)**.