



CTS557 Centros de transformación industriales de 34,5 kV. Cálculo malla de puesta a tierra

NORMA TÉCNICA

Revisión #:	Entrada en vigencia:
1	04 Marzo 2014



Esta información ha sido extractada de la plataforma Likinormas de Enel Colombia en donde se encuentran las normas y especificaciones técnicas. Consulte siempre la versión actualizada en <https://likinormas.enelcol.com.co>





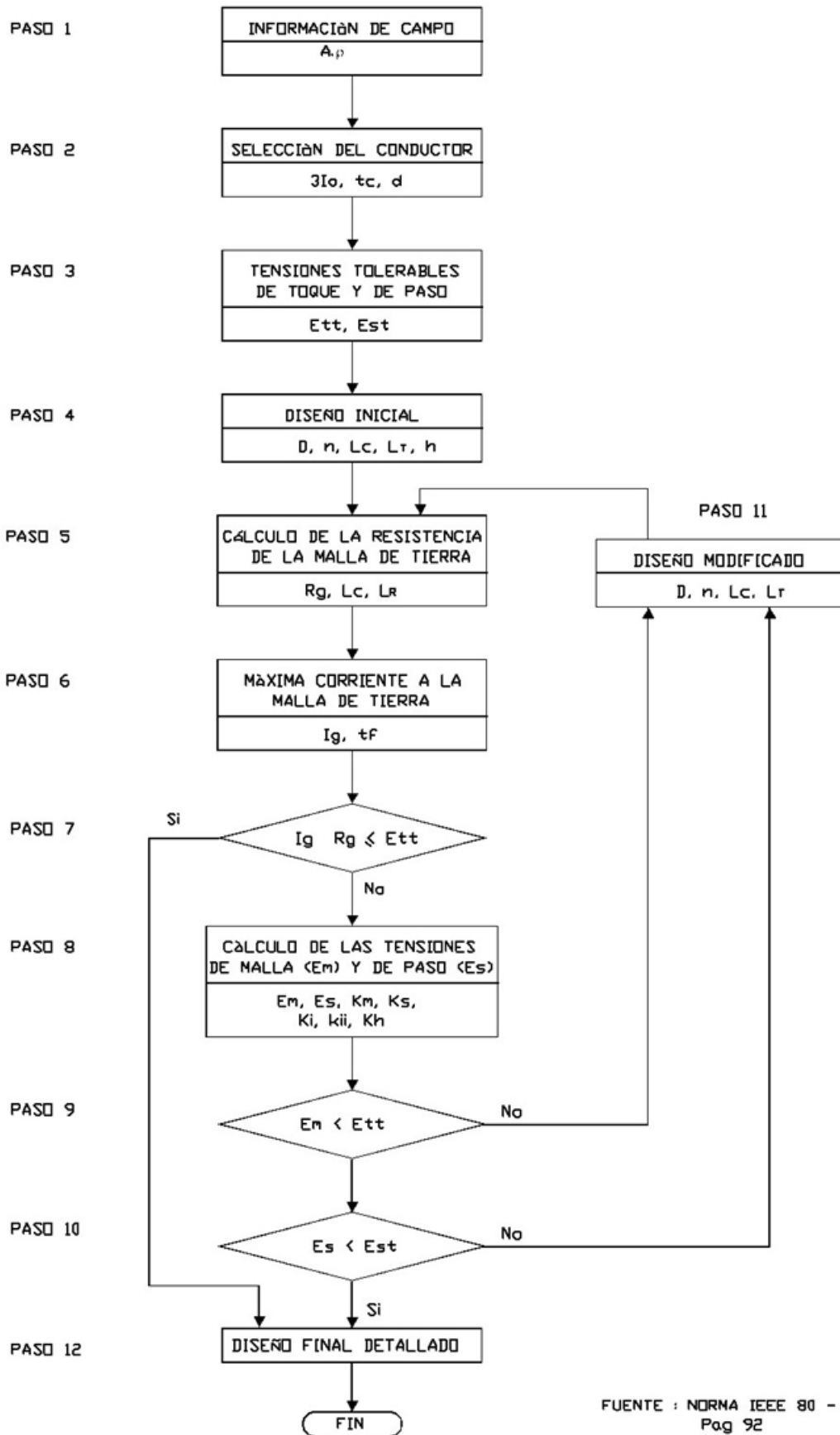




DIAGRAMA DE FLUJO PARA CÁLCULO DE MALLA DE PUESTA A TIERRA

CÁLCULO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA

De acuerdo con la versión de la IEEE C 62924, se presentan las definiciones, procedimientos y pasos que sirven para programar el cálculo de la malla, en el lenguaje de computador que prefiera el diseñador. El procedimiento es el siguiente :

PASO 1 : INFORMACIÓN DE CAMPO

Área del lote : A

Resistividad del terreno : Rho

PASO 2 : SELECCIÓN DEL CONDUCTOR

$$A = I \sqrt{\frac{\frac{t_c \alpha_r \rho_r 10^4}{TCAP}}{1 + \frac{T_m - T_a}{K_o + T_a}}}$$

A : Sección transversal del conductor (mm^2).

I : Corriente simétrica de **falla** que va a la malla (kA rms).

T_m : Temperatura máxima permisible ($^{\circ}\text{C}$).

T_a : Temperatura ambiente.

T_r : Temperatura de referencia para constantes de diferentes materiales ($^{\circ}\text{C}$).

$Alpha_o$: Coeficiente de resistencia térmica a 0°C .

$Alpha_r$: Coeficiente de resistencia térmica a la temperatura de referencia T_r .

Rho_r : Resistividad del conductor de la malla de **tierra** a la temperatura de referencia T_r . Para el conductor de cobre : $1/56$ (μ Ohmios/cm)

K_o : Coeficiente inverso de la resistencia térmica : $1/Alpha_o$ ó $(1/Alpha_r) - T_r$.

T_c : Duración de la corriente de **falla** (seg.). (Normalmente de toma 0.5 seg).



TCAP : Factor de capacidad térmica, de la tabla 1 página 66 de la IEEE 80 - 1986 (J/cm³/°C)

TABLA 1 CONSTANTES DE MATERIALES (IEEE 80 -1986, pag 66)

CONDUCTOR	CONDUCTIVIDAD	Alpha _r (20 °C)	K _o (0 °C)	TEMPERATURA DE FUSION	Rho Alpha _r (20 °C) (μ Ohmios/cm)	TCAP (J/cm ³ / °C)
De cobre	97%	0,00381	242	1 084	1,7774	3,422

PASO 3 . TENSIONES TOLERABLES DE TOQUE (Ett) Y DE PASO (Est)

Est = E step 70 = (1000 + 6 C_s(h_s,k) Rho s) 0,157/Raíz cuadrada de ts (V)

Est = E touch 70 = (1000 + 1.5 C_s(h_s,k) Rho s) 0,157/Raíz cuadrada de ts (V)

C_s : Factor de reducción para disminuir el valor nominal de la resistividad de la capa superficial (grava) ; es función de h_s y k .

h_s : Profundidad de la capa superficial (grava) (m)

K : Factor de reflexión $K = (Rho - Rho s) / (Rho + Rho s)$

Rho : Resistividad del terreno de la subestación (Ohmios-m)

Rho s : Resistividad de la capa superficial (grava), cuando se utilice. (Ohmios-m)

C_s : Puede tomar los siguientes valores :

C_s =1 Para terrenos sin grava o con resistividad similar a la grava

C_s <1 Para terrenos con grava y calculado así :

$$C_s = \frac{1}{0,96} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{\sqrt{1 + \left(\frac{2nh_s}{0,08} \right)^2}} \right]$$

n : Numero de conductores en paralelo en una dirección.

ts : Duración de la falla en segundos. Normalmente se toma 0,5 segundos.

También se puede seleccionar de la figura 8 página 41 de la Norma IEEE C 62924.

PASO 4 : DISEÑO INICIAL



De acuerdo con el área de la **subestación** se escoge:

D : Separación entre conductores paralelos (m)

n : Número de conductores en una dirección.

L : Longitud total de la malla de **tierra** que incluye el conductor y las varillas (m)

h : Profundidad de instalación de la malla (m)

PASO 5 : CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA A TIERRA

R_g : Resistencia de la malla de **tierra** (Ohmios)

Rho : Resistividad promedio del terreno (Ohmios.m)

L_c : Longitud del conductor de la malla (m)

L_r : Longitud total de las varillas (m)

L : Longitud total de la malla de **tierra** que incluye el conductor y las varillas (m) ($L_c + L_r$)

A : Área ocupada por la malla (m^2)

h : Profundidad de instalación de la malla (m)

$$R_g = \frac{\rho}{L} + \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}}$$

Para mallas instaladas a menos de 250 mm de profundidad, y

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20} A} \left[1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right] \right]$$

Para mallas instaladas entre 250 y 2 500 mm de profundidad.

PASO 6 : MÁXIMA CORRIENTE A LA MALLA DE TIERRA

Cálculo simplificado de la corriente de **falla** a **tierra** monofásica

$$I_o = E / (X_1 + X_2 + X_o)$$

I_o : Corriente de **falla** simétrica eficaz de secuencia cero (A)

E : **Tensión** fase neutro (V)

X_1 : Reactancia de secuencia positiva del **sistema** , calculada en el punto de **falla** (Ohmios/ Fase)

X_2 : Reactancia de secuencia negativa del **sistema** , calculada en el punto de **falla** (Ohmios/Fase)

X_o : Reactancia de secuencia cero del **sistema** , calculada en el punto de **falla** (Ohmios/Fase)

$$I_g = S_f (3 I_o)$$

I_g : Corriente simétrica eficaz que fluye a la malla (A)

S_f : Factor de división entre la corriente de **falla** a **tierra** y la distribución de la corriente que se va a **tierra** por la malla.



$$I_G = C_p \cdot D_f \cdot I_g$$

D_f : Factor de disminución de la duración de la falla

C_p : Factor de proyección del sistema por aumento de las corrientes de la falla (A)

I_G : Corriente máxima a la malla (A)

PASO 7 :COMPARAR LA ELEVACIÓN MÁXIMA DE TENSIÓN (GRP = $I_G R_g$) CON LA TENSIÓN TOLERABLE DE TOQUE

Si la elevación máxima de tensión (GRP) es menor que la tensión tolerable de toque, no es necesario realizar más análisis.

PASO 8 : CALCULAR LAS TENSIONES DE MALLA (E_m) Y DE PASO (E_s)

$$E_m = \text{Rho} K_m K_i I_G / L$$

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

K_{ii} : Para mallas con varilla de tierra en el perímetro, en las esquinas o dentro del perímetro.

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}}$$

Para mallas sin varillas o con pocas varillas no localizadas en las esquinas o en el perímetro.

$$Kh = \sqrt{1 + h / h_0}$$

h_0 : 1 m (profundidad de instalación de la malla, utilizada como referencia)

E_m : Tensión de malla (V)

K_m : Factor de espaciamento

K_{ii} : Factor de corrección que tiene en cuenta la tensión en los extremos

Kh : Factor de corrección que tiene en cuenta la profundidad de enterramiento de la malla

K_i : Factor de corrección por la geometría de la malla

$$K_i = 0,656 + 0,172 n$$

$$E_s = \text{Rho} K_s K_i I_G / L$$



$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (W) \right]$$

$$W = 1 - 0.5^{n-2}$$

Para mallas instaladas entre $0,25 \text{ m} < h < 2,5 \text{ m}$. El valor de W es igual a :

$$W = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{n-1}$$

Para $n \geq 6$ $W \cong \frac{1}{2(n-1)} + 1n(n-1) - 0.423$

Es : **Tensión** de paso

Ks : Factor de espaciamento para tensiones de paso.

PASO 9 : COMPARACIÓN ENTRE LA TENSIÓN DE MALLA (Em) Y LA TENSIÓN TOLERABLE DE TOQUE (Ett)

Cuando la **tensión** de malla (Em) es menor que la **tensión** tolerable de toque (Ett), se puede seguir al paso 10. En caso contrario el diseño inicial debe ser modificado en el paso 11

PASO 10 : COMPARACIÓN ENTRE LA TENSIÓN DE PASO (Es) Y LA TENSIÓN TOLERABLE DE PASO (Ets)

Cuando la **tensión de paso** (Es) calculada es inferior a la **tensión** tolerable de paso (Ets) se debe realizar el diseño detallado. En caso contrario el diseño inicial debe ser modificado en el paso 11

PASO 11 : MODIFICACIÓN DEL DISEÑO INICIAL

Si las tensiones de paso o de toque calculadas son mayores que las mismas tensiones tolerables, se debe modificar el diseño inicial, tal como escoger menor espaciamento de las cuadrículas, adicionar varillas de **tierra** , colocar más conductores, mejorar la resistividad del terreno, etc.

PASO 12 : DISEÑO DETALLADO

Una vez cumplidos los requisitos de tensiones de toque y de paso se debe completar con los conductores necesarios para aterrizar todos los equipos de la malla. Se debe incluir las varillas de **tierra** necesarias cerca a equipos como **pararrayos** , neutro de transformadores, etc.. Además incluir los conectores para unir los conductores, varillas etc.