



DIAGRAMA DE FLUJO PARA CALCULO DE MALLA DE PUESTA A TIERRA



**CENTROS DE TRANSFORMACIÓN INDUSTRIALES DE 34,5 kV  
CÁLCULO MALLA DE PUESTA A TIERRA**

**ELABORÓ**  
DISEÑO DE LA RED

**EMISIÓN**  
11-06-1999

**ÚLTIMA REVISIÓN**  
04-03-2014

**CTS 557**  
Pág. 1 de 6

## CALCULO 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 : INFORMACION DE CAMPO

Área del lote :  $A$

Resistividad del terreno :  $\rho$

### PASO 2 : SELECCIÓN DEL CONDUCTOR

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

- $A$  : Sección transversal del conductor (mm<sup>2</sup>)
- $I$  : Corriente simétrica de falla que va a la malla (kA rms)
- $T_m$  : Temperatura máxima permisible (°C).
- $T_a$  : Temperatura ambiente
- $T_r$  : Temperatura de referencia para constantes de diferentes materiales (°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 ( $\mu\Omega/cm$ )
- $K_o$  : Coeficiente inverso de la resistencia térmica :  $\frac{1}{\alpha_o}$  ó  $\left( \frac{1}{\alpha_r} \right) - T_r$
- $T_c$  : 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/cm<sup>3</sup>/°C)

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

CONDUCTOR	CONDUCTIVIDAD	$\alpha_r (20^\circ C)$	$\kappa_o (0^\circ C)$	TEMPERATURA DE FUSION	$\rho_{a_r} (20^\circ C)$ ( $\mu\Omega / cm$ )	TCAP (J/cm <sup>3</sup> /°C)
De cobre	97%	0,00381	242	1 084	1,7774	3,422



**CENTROS DE TRANSFORMACIÓN INDUSTRIALES DE 34,5 kV  
CÁLCULO MALLA DE PUESTA A TIERRA**

**ELABORÓ**  
DISEÑO DE LA RED

**EMISIÓN**  
11-06-1999

**ÚLTIMA REVISIÓN**  
04-03-2014

**CTS 557**  
Pág. 2 de 6

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

$$\text{Est} = E \text{ step } 70 = (1000 + 6C_s(h_s, k) \rho_s) 0,157 / \sqrt{ts} \quad (\text{V})$$

$$\text{Est} = E \text{ touch } 70 = (1000 + 1.5C_s(h_s, k) \rho_s) 0,157 / \sqrt{ts} \quad (\text{V})$$

- $C_s$  : 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  $k = \frac{(\rho - \rho_s)}{(\rho + \rho_s)}$
- $\rho$  : Resistividad del terreno de la subestación ( $\Omega$ -m)
- $\rho_s$  : Resistividad de la capa superficial (grava), cuando se utilice. ( $\Omega$ -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 :

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

- $n$  : Número 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 páginas 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)



CENTROS DE TRANSFORMACIÓN INDUSTRIALES DE 34,5 kV  
CÁLCULO MALLA DE PUESTA A TIERRA

ELABORÓ  
DISEÑO DE LA RED

EMISIÓN  
11-06-1999

ÚLTIMA REVISIÓN  
04-03-2014

CTS 557  
Pág. 3 de 6

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

- $R_g$  : Resistencia de la malla de tierra ( $\Omega$ )  
 $\rho$  : Resistividad promedio del terreno ( $\Omega.m$ )  
 $L_c$  : 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 : MAXIMA CORRIENTE A LA MALLA DE TIERRA

Cálculo simplificado de la corriente de falla a tierra monofásica

$$I_o = \frac{E}{x_1 + x_2 + x_0}$$

- $I_o$  : 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 ( $\Omega$ /Fase)  
 $x_2$  : Reactancia de secuencia negativa del sistema, calculada en el punto de falla ( $\Omega$ /Fase)  
 $x_0$  : Reactancia de secuencia cero del sistema, calculada en el punto de falla ( $\Omega$ /Fase)

$$I_g = S_f ( 3 I_o )$$



**CENTROS DE TRANSFORMACIÓN INDUSTRIALES DE 34,5 kV  
CÁLCULO MALLA DE PUESTA A TIERRA**

**ELABORÓ**  
DISEÑO DE LA RED

**EMISIÓN**  
11-06-1999

**ÚLTIMA REVISIÓN**  
04-03-2014

**CTS 557**  
Pág. 4 de 6

- $I_g$  : 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

$$I_G = C_p D_f I_g$$

- $D_f$  : 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 ELEVACION MAXIMA DE TENSION (GRP = $I_g R_g$ ) CON LA TENSION 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 ( $E_s$ )

$$E_m = \rho K_m K_i I_G / L$$

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

- $K_{ii}$  : 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  
 $K_i = 0,656 + 0,172 n$   
 $E_s = \rho K_s K_i I_G / L$



### CENTROS DE TRANSFORMACIÓN INDUSTRIALES DE 34,5 kV CÁLCULO MALLA DE PUESTA A TIERRA

ELABORÓ  
DISEÑO DE LA RED

EMISIÓN  
11-06-1999

ÚLTIMA REVISIÓN  
04-03-2014

CTS 557  
Pág. 5 de 6

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

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

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

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

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

*E<sub>s</sub>* : Tensión de paso

*K<sub>s</sub>* : Factor de espaciamento para tensiones de paso.

### **PASO 9 : COMPARACION ENTRE LA TENSION DE MALLA (E<sub>m</sub>) Y LA TENSION TOLERABLE DE TOQUE (E<sub>tt</sub>)**

Cuando la tensión de malla (E<sub>m</sub>) es menor que la tensión tolerable de toque (E<sub>tt</sub>), se puede seguir al paso 10. En caso contrario el diseño inicial debe ser modificado en el paso 11,

### **PASO 10 : COMPARACION ENTRE LA TENSION DE PASO (E<sub>s</sub>) Y LA TENSION TOLERABLE DE PASO (E<sub>ts</sub>)**

Cuando la tensión de paso (E<sub>s</sub>) calculada es inferior a la tensión tolerable de paso (E<sub>ts</sub>) se debe realizar el diseño detallado. En caso contrario el diseño inicial debe ser modificado en el paso 11

### **PASO 11 : MODIFICACION 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



**CENTROS DE TRANSFORMACIÓN INDUSTRIALES DE 34,5 kV  
CÁLCULO MALLA DE PUESTA A TIERRA**

**ELABORÓ**  
DISEÑO DE LA RED

**EMISIÓN**  
11-06-1999

**ÚLTIMA REVISIÓN**  
04-03-2014

**CTS 557**  
Pág. 6 de 6