

PROYECTO :

UBICACION :

PROPIETARIO :

**CALCULO DE LA RED DE TIERRAS PARA SISTEMA TRIFASICO, CON UNA CAPACIDAD INSTALADA
(O BANCO DE TRANSFORMACION) EN SUBESTACION DE 1500 KVA., A 23000 V., 3F, 3H, 60Hz.**

OBJETIVOS :

- 1.- **VERIFICAR QUE LOS POTENCIALES DE CONTACTO Y DE PASO EN LA RED DE TIERRAS DE LA SUBESTACION NO EXCEDAN LOS VALORES LIMITE DE LOS POTENCIALES TOLERABLES POR EL CUERPO HUMANO.**
- 2.- **VERIFICAR Y GARANTIZAR QUE LA RESITENCIA A TIERRA DE LA RED, SE ENCUENTRE DENTRO DEL RANGO DE VALORES RECOMENDADOS Y ESTABLECIDOS POR LA "NOM-001-SEDE-2005".**

PROCEDIMIENTO DE CALCULO :

UTILIZAREMOS EL METODO APROBADO POR LA "IEEE" EN "GUIDE FOR SAFETY IN A.C. SUB-STATION GROUNDING", SEGUN LA NORMA : 80-1986, AUTORIZADO Y CONGRUENTE CON LA NORMA OFICIAL MEXICANA VI - GENTE, "NOM-001-SEDE-2005".

CONSIDERACIONES Y ABREVIATURAS :

RESISTENCIA DEL TERRENO (*)	R=	1.43	ohm.	(VERIFICADO EN FORMA PRACTICA EN LA OBRA)
SEPARACION ENTRE ELECTRODOS ADYACENTES (**)	a=	6.00	m.	
PROFUNDIDAD DE ELECTRODOS (**)	b=	0.30	m.	
(**) VALORES Y DATOS DE PRUEBAS DE CAMPO, ESTIMADOS.	P =	54.03	ohm/m.	
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	P _s =	4657.50	ohm/m.	(CONSIDERANDO CONCRETO)
RESISTIVIDAD SUPERFICIAL	Ig=	2107	A.	
CORRIENTES DE FALLAS MONOFASICAS	Ts=	0.50	seg.	
TIEMPO DE DURACION DE LA FALLA	X/R=	20.00		
RELACION X/R EN EL BUS DE ACOMETIDA	Df=	1.051		
FACTOR DE DECREMENTO	Cp=	1.00		
FACTOR DE PROYECCION	IG=	2215	A.	
CORRIENTE MAXIMA DE MALLA	Tm=	450.00	° C.	
TEMPERATURA MAXIMA EN LOS CONECTORES				

FACTOR PARA CALCULAR Cmil/Amp.	Factor=	6.60
AREA REQUERIDA DEL CONDUCTOR (Cmil)	Ar=	14620.8 Cmil.
AREA DEL CONDUCTOR A USAR (Cmil)	Ac=	211600 Cmil.
CALIBRE DEL CONDUCTOR A USAR EN LA RED	Cc=	4/0 AWG
DIAMETRO DEL CONDUCTOR EN LA RED	d=	0.01168 m.
FACTOR DE REFLEXION	K=	-0.9771
ESPESOR DE LA CAPA SUPERFICIAL	hs=	0.1000 m.
FACTOR DE REDUCCION	Cs=	0.5805
POTENCIAL DE PASO TOLERABLE	Ep=	2825 V.
POTENCIAL DE CONTACTO TOLERABLE	Ec=	829.31 V.
N° DE CONDUCTORES EN PARALELO	Na=	4.00
N° DE CONDUCTORES TRANSVERSALES	Nb=	5.00
N° DE VARILLAS DE LA RED	Nv=	6.00
LONGITUD DE LOS PARALELOS DE LA RED	La=	12.40 m.
LONGITUD DE LOS TRANSVERSALES DE LA RED	Lb=	7.35 m.
LONGITUD DE LAS VARILLAS DE TIERRAS	Lv=	3.05 m.
ESPACIAMIENTO ENTRE COND. PARALELOS	D=	3.10 m.
PROFUNDIDAD DE LA RED	h=	0.60 m.
AREA CUBIERTA POR LA MALLA	A=	91.14 m².
LONGITUD TOTAL DE COND. DE LA MALLA	Lc=	86.35 m.
LONGITUD TOTAL DE VARILLAS DE TIERRA	Lr=	18.29 m.
LONGITUD TOTAL DE MALLA DE TIERRA	L=	107.38 m.
N° DE COND. PARALELOS P/CALCULO DE Es	Ns=	5.00 m.
FACTOR GEOMETRICO PARA POT. DE PASO	Ks=	0.4393
FACTOR DE CORRECCION P/GEOM. DE RED	Kis=	1.516
POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA	Es=	742 V.

N° DE COND. PARALELOS P/CALCULO DE Em	Nm=	4.47
PROFUNDIDAD DE REFERENCIA DE LA MALLA	ho=	1.00 m.
FACTOR DE CORRECCION (EFECTO DE h)	Kh=	1.26
FACTOR DE CORRECCION (EFECTO COND. MALLA)	Kii=	1.0000
FACTOR DE CORRECCION P/GEOMETRIA DE RED	Kim=	1.4248
FACTOR GEOMETRICO PARA Em	Km=	0.6565
POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA	Em=	732 V.
RESISTENCIA TOTAL DEL SISTEMA DE TIERRA	Rg=	3.4574 ohm.

CALCULOS :

DE LA ECUACION 65 DE IEEE std. 80-1986 o TABLA DEL LIBRO SISTEMA DE TIERRAS, PAGINA 19.

$$Df = 1 + [(Ta \mp Ts)] \cdot [1 - (e)]^{-2 Ts/Ta \cdot 1/2} = 1.05 \quad Ta = 0.03 \text{ seg.}$$

constante de tiempo subtransitoria.

$$Df = 1.051$$

COMO NO SE PREVEE INCREMENTO FUTURO EN LA CORRIENTE DE FALLA.

$$Cp = 1.00$$

CORRIENTE MAXIMA DE MALLA.

$$IG = (Cp \cdot Df \cdot Ig)$$

$$IG = 1.00 \cdot 1.05 \cdot 2107.46 = 2215.28$$

$$IG = 2215.28 \text{ A.}$$

SELECCION DEL CONDUCTOR.

DE LA TABLA 2 DE IEEE std. 80-1986 Y CONSIDERANDO CONECTORES SOLDABLES DE BRONCE DONDE $T_m=450\text{ }^\circ\text{C}$ Y $T_s=0.50\text{ seg.}$, EL FACTOR PARA CALCULAR LOS Cmil/Amp.

$$\text{Factor} = 6.60$$

AREA REQUERIDA DEL CONDUCTOR EN Cmil.

$$A_r = I_G \times \text{FACTOR}$$

$$A_r = 2215.28 \times 6.60$$

$$A_r = 14620.83 \text{ Cmil.}$$

EL CONDUCTOR CON UNA SECCION DE 14.62 KCM CORRESPONDE A UN CALIBRE N°. 1/0 AWG., PERO PARA SOPORTAR LOS ESFUERZOS MECANICOS QUE PUDIERAN PRESENTARSE, SE EMPLEARA CALIBRE N°. **4/0 AWG**

$$C_c = 4/0 \text{ AWG} \quad A_c = 211.60 \text{ KCM} \quad \text{CON DIAMETRO DE } d = 0.01168 \text{ m.}$$

CALCULO DEL FACTOR DE REFLEXION K.

$$K = \frac{P - P_s}{P + P_s}$$

$$K = \frac{54.03 - 4657.50}{54.03 + 4657.50}$$

$$K = -0.9771$$

EL ESPESOR DE LA CAPA SUPERFICIAL SERA DE $h_s = 0.1000$

CON AYUDA DEL FACTOR DE REFLEXION Y EL ESPESOR DE LA CAPA SUPERFICIAL APLICANDO LA FORMULA N°. 23, DEL IEEE std. 80-1986, SE OBTIENE :

$$C_s = \left[1 \div 0.96 \right] \frac{1 + 2 \cdot E \cdot K}{1 + 2n \cdot h_s \div 0.08} = 0.5805$$

CALCULO DE POTENCIALES TOLERABLES.

POTENCIAL DE PASO TOLERABLE E_p .

$$E_p = [1000 + 6 \cdot C_s \cdot P_s] \cdot [0.116 / (T_s)^{\exp. \frac{1}{2}}]$$

$$E_p = [1000 + 6 \cdot 0.5805 \cdot 4657.50] \cdot [0.116 \div (0.50)^{\exp. \frac{1}{2}}]$$

$$E_p = [17221.02] \cdot [0.116 \div 0.71] = 2825.09$$

$$E_p = \quad \quad \quad \mathbf{2825.09} \quad \text{VOLTS.}$$

POTENCIAL DE CONTACTO TOLERABLE E_c .

$$E_c = [1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot P_s] \cdot [0.116 / (T_s)^{\exp. \frac{1}{2}}]$$

$$E_c = [1000 + 1.5 \cdot 0.5805 \cdot 4657.50] \cdot [0.116 \div (0.50)^{\exp. \frac{1}{2}}]$$

$$E_c = [5055.26] \cdot [0.116 \div 0.71] = 829.31$$

$$E_c = \quad \quad \quad \mathbf{829.31} \quad \text{VOLTS.}$$

DISPOSICION DE LOS CONDUCTORES EN LA RED.
SE CONSIDERAN :

$$N_a = \quad \quad \quad \mathbf{4.00}$$

$$N_b = \quad \quad \quad \mathbf{5.00}$$

$$N_v = \quad \quad \quad \mathbf{6.00}$$

$$L_a = \quad \quad \quad \mathbf{12.40}$$

$$L_b = \quad \quad \quad \mathbf{7.35}$$

$$L_v = \quad \quad \quad \mathbf{3.05}$$

$$D = \quad \quad \quad \mathbf{3.10}$$

EN ESTE CASO LA PROFUNDIDAD DE LA MALLA SERA $h =$ 0.60

$$A = (L_a \cdot L_b) \text{ m.}^2$$

$$A = (12.40 \cdot 7.35) \text{ m.}^2 = 91.14$$

$$A = \mathbf{91.14} \text{ m.}^2$$

$$L_c = (N_a \cdot L_a) + (N_b \cdot L_b)$$

$$L_c = (4.00 \cdot 12.40) + (5.00 \cdot 7.35) = 86.35$$

$$L_c = \mathbf{86.35} \text{ m.}$$

$$L_r = (N_v \cdot L_v) \text{ m.}$$

$$L_r = (6.00 \cdot 3.05) \text{ m.} = 18.29$$

$$L_r = \mathbf{18.29} \text{ m.}$$

$$L = [L_c + (1.15 \cdot L_r)] \text{ m.}$$

$$L = [86.35 + (1.15 \cdot 18.29)] \text{ m.} = 107.38$$

$$L = \mathbf{107.38} \text{ m.}$$

N° DE CONDUCTORES PARALELOS QUE SE CONSIDERAN PARA EL CALCULO DEL POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA (**Ns**).

$$\mathbf{Ns} = \text{MAXIMO DE } \mathbf{Na} \text{ o } \mathbf{Nb}$$

$$\mathbf{Ns} = \quad \quad \mathbf{5.00}$$

CALCULO DE **Ks** PARA POTENCIAL DE PASO.

$$\mathbf{Ks} = [1 \div \pi] \cdot [(1 \div 2h) + (1 \div (D+h)) + ((1 \div D) \cdot 1 - 0.50)]^{Ns-2} =$$

$$\mathbf{Ks} = [1 \div 3.1416] \cdot [(1 \div 1.20) + (1 \div 3.70) + ((1 \div 3.10) \cdot 1 - 0.125)] =$$

$$\mathbf{Ks} = [0.3183] \cdot [(0.83) + (0.27) + ((0.32) \cdot 0.875)] =$$

$$\mathbf{Ks} = [0.3183] \cdot [(0.83) + (0.27) + (0.28)] = \quad \quad \mathbf{0.4393}$$

$$\mathbf{Ks} = \quad \quad \mathbf{0.4393}$$

CALCULO DE **Kis** $\mathbf{Kis} = [0.656 + (0.172 \cdot \mathbf{Ns})]$

$$\mathbf{Kis} = [0.656 + (0.172 \cdot 5.00)]$$

$$\mathbf{Kis} = \quad \quad \mathbf{1.516}$$

POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA **Es**.

$$\mathbf{Es} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{Ks} \cdot \mathbf{Kis} \cdot \mathbf{IG} \div \mathbf{L}$$

$$\mathbf{Es} = (54.03 \cdot 0.4393 \cdot 1.516 \cdot 2215) \div (107.38) =$$

$$\mathbf{Es} = \quad \quad \mathbf{742.29}$$

N° DE CONDUCTORES PARALELOS QUE SE CONSIDERAN PARA EL CALCULO DEL POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA **Nm**

$$\mathbf{Nm} = (\mathbf{Na} \cdot \mathbf{Nb})^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathbf{Nm} = (4.00 \cdot 5.00)^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathbf{Nm} = (20.00)^{\frac{1}{2}} = \quad \quad \mathbf{4.47}$$

$$\mathbf{Nm} = \quad \quad \mathbf{4.47}$$

LA PROFUNDIDAD DE REFERENCIA DE LA MALLA SE CONSIDERA : $h_o = 1.00$ m.

CALCULO DE **Kh**.

$$\mathbf{Kh} = [1 + (\mathbf{h} \div \mathbf{h_o})]^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathbf{Kh} = [1 + (0.60 \div 1.00)]^{\frac{1}{2}} = \quad \quad \mathbf{1.26}$$

$$\mathbf{Kh} = \quad \quad \mathbf{1.26}$$

COMO NUESTRA MALLA CUENTA CON ELECTRODOS EN LAS ESQUINAS $K_{ii} = 1.0000$

$K_{ii} =$ PARA MALLAS SIN ELECTRODOS.

$$K_{ii} = [1 \div ((2 \cdot Nm)^2 \div Nm)] =$$

PARA MALLAS CON ELECTRODOS EN ESQUINAS. $K_{ii} = 1.0000$

CALCULO DE K_{im}

$$K_{im} = [0.656 + (0.172 \cdot Nm)]$$

$$K_{im} = [0.656 + (0.172 \cdot 4.47)] = 1.4248$$

$$K_{im} = 1.4248$$

CALCULO DE K_m

$$K_m = [1 \div 2 \pi] \cdot [\ln \{ (D^2 \div 16h \cdot d) + ((D + 2h)^2 \div 8D \cdot d) - (h \div 4d) \} + \{ (K_{ii} \div Kh) \cdot \ln (8 \div (\pi \cdot 2 \cdot (Nm-1))) \}] =$$

$$K_m = [0.159] \cdot [\ln \{ (85.7056) + (63.8326) - (12.8425) \} + \{ (0.7906) \cdot \ln (0.3669) \}] =$$

$$K_m = [0.159] \cdot [\ln \{ (136.6957) \} + \{ (0.7906) \cdot \ln (0.3669) \}] =$$

$$K_m = [0.159] \cdot [\{ (4.9178) \} + \{ (0.7906) \cdot (-1.0026) \}] =$$

$$K_m = [0.159] \cdot [\{ (4.9178) \} + \{ (-0.7926) \}] =$$

$$K_m = [0.159] \cdot [\{ (4.9178) \} + \{ (-0.7926) \}] = [0.159] \cdot [\{ (4.1251) \}] =$$

$$K_m = [0.159] \cdot [\{ (4.1251) \}] = 0.6565$$

$$K_m = 0.6565$$

POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA E_m .

$$E_m = (\rho \cdot K_m \cdot K_{ii} \cdot I_G) \div (L)$$

$$E_m = (54.03 \cdot 0.6565 \cdot 1.0000 \cdot 2215) \div (107.38) = 732$$

$$E_m = 732$$

**COMPARACION DE POTENCIALES TOLERABLES POR EL CUERPO
Y LOS DE MALLA**

EN TODO CASO DEBE
CUMPLIRSE QUE :

$E_m \leq E_c$
 $E_s \leq E_p$

Ep=	2,825.09 V.	POTENCIAL DE PASO TOLERABLE
Es=	742.29 V.	POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA
Ec=	829.31 V.	POTENCIAL DE CONTACTO TOLERABLE
Em=	731.84 V.	POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA

CALCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA DE LA RED

$$R_g = \rho \cdot [(1 \div L) + \{ (1 \div (20 A)^{1/2}) \} \cdot \{ 1 + (1 \div ((1 + h) \cdot (20 \div A)^{1/2})) \}]$$

$$R_g = 54.03 \cdot [(0.01) + \{ (0.02) \} \cdot \{ 1 + (1.33) \}]$$

$$R_g = 54.03 \cdot [(0.01) + \{ (0.02) \} \cdot \{ (2.33) \}] = 3.4574$$

$$R_g = 3.4574$$

CONCLUSION :

LA RED TIENE UNA RESISTENCIA A TIERRA MENOR A 10.00 OHMS, Y LOS POTENCIALES DE LA MALLA SON MENORES A LOS QUE SOPORTA EL CUERPO HUMANO, POR LO QUE EL DISEÑO CUMPLE CON LOS LINEAMIENTOS Y REQUISITOS MINIMOS DE OBSERVACION OBLIGATORIA DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA, "NOM-001-SEDE-2005".

PROYECTO : 0

#####

UBICACION : 0

PROPIETARIO : 0.00

CALCULO DE LA RED DE PUESTA A TIERRA FISICA CONVENCIONAL PARA, UN SISTEMA ELECTRICO CON UN BANCO DE TRANSFORMACION DE 1500.0 KVA., 23000 / 13279 V.

SE UTILIZARA EL METODO CONDENSADO DE "LAURENT - NIEMANN", APROBADO POR LA "IEEE", QUE ESTABLECE LO SIGUIENTE :

R = RESISTENCIA DE LA MALLA A TIERRA EN OHMS.

ρ = RESISTENCIA ESPECIFICA DEL TERRENO EN OHMS/METRO.

r = RADIO EN METROS DE UNA AREA CIRCULAR EQUIVALENTE A LA MISMA OCUPADA POR LA MALLA REAL DE TIERRA. (AREA DE COBERTURA DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA)

L = LONGITUD TOTAL DE LOS CONDUCTORES Y VARILLAS ENTERRADOS.

$$R = \frac{\rho}{4 \times r} + \frac{\rho}{L} =$$

DESARROLLO DEL CALCULO :

AREA TOTAL EN ESTUDIO = 12.40 m. x 7.35 m. = 91.14 m².

CIRCUNFERENCIA CON UNA AREA IDENTICA A LA DE LA MALLA EN ESTUDIO =

$$\sqrt{(Area\ Total / \Pi)} = \sqrt{(91.14\ m^2 / 3.1416)} = 5.39\ m.$$

SE CALCULA LA LONGITUD DE CONDUCTORES Y VARILLAS ENTERRADAS =

NUMERO DE VARILLAS ENTERRADAS = 6.00 = 6.00 x 3.05m. x 1.15 = 21.03 m.

NUMERO DE CONDUCTORES PARALELOS = 4.00 = 4.00 x 12.40 = 49.60 m.

NUMERO DE CONDUCTORES TRANSVERSALES = 5.00 = 5.00 x 7.35 = 36.75 m.

LONGITUD TOTAL DE CONDUCTORES = 21.03 m.+ 49.60 m.+ 36.75 m.= 107.38 m.

SE SUSTITUYEN LOS VALORES EN LA FORMULA :

$$R = \frac{\rho}{4 \times r} + \frac{\rho}{L} = \frac{54.03}{21.56} + \frac{54.03}{107.38} = \mathbf{3.01\ OHMS.}$$

$$R \leq 10.00\ \Omega.$$

L.C.Q.D. Lo cual queda demostrado.