

PROYECTO : CENTRO DE FORMACION JUVENIL PARA EL SRPA.

18/12/2014

UBICACION : SAMPUES

PROPIETARIO : DEPARTAMENTO DE SUCRE

**CALCULO DE LA RED DE TIERRAS PARA SISTEMA TRIFASICO, CON UNA CAPACIDAD INSTALADA  
DE 225 KVA., A 13200 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-1999".

**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 EL ART. 15 DEL REGLAMENTO TÉCNICO - RETIE "RES MIN. MINAS No. 180466 ABRIL 2 DE 2007".

**CONSIDERACIONES Y ABREVIATURAS :**

RESISTENCIA DEL TERRENO ( * )	R=	2,70	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.				
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	$\rho$ =	101,79	ohm/m.	
RESISTIVIDAD SUPERFICIAL	$\rho_s$ =	10000,00	ohm/m.	(CONSIDERADO ASFALTO)
CORRIENTES DE FALLAS MONOFASICAS	Ig=	984	A.	
TIEMPO DE DURACION DE LA FALLA	Ts=	0,50	seg.	
RELACION X/R EN EL BUS DE ACOMETIDA	X/R=	20,00		
FACTOR DE DECREMENTO	Df=	1,051		
FACTOR DE PROYECCION	Cp=	1,00		
CORRIENTE MAXIMA DE MALLA	IG=	1034	A.	
TEMPERATURA MAXIMA EN LOS CONECTORES	Tm=	450,00	° C.	
FACTOR PARA CALCULAR Cmil/Amp.	Factor=	6,60		
AREA REQUERIDA DEL CONDUCTOR (Cmil)	Ar=	6827,4845	Cmil.	

PROYECTO : CENTRO DE FORMACION JUVENIL PARA EL SRPA.

18/12/2014

UBICACION : SAMPUES

PROPIETARIO : DEPARTAMENTO DE SUCRE

**CALCULO DE LA RED DE TIERRAS PARA SISTEMA TRIFASICO, CON UNA CAPACIDAD INSTALADA  
DE 225 KVA., A 13200 V., 3F, 3H, 60Hz.**

AREA DEL CONDUCTOR A USAR (Cmils)	<b>Ac=</b>	211600	<b>Cmils.</b>
CALIBRE DEL CONDUCTOR A USAR EN LA RED	<b>Cc=</b>	2/0	<b>AWG</b>
DIAMETRO DEL CONDUCTOR EN LA RED	<b>d=</b>	0,00927	<b>m.</b>
FACTOR DE REFLEXION	<b>K=</b>	-0,9798	
ESPESOR DE LA CAPA SUPERFICIAL	<b>hs=</b>	0,1000	<b>m.</b>
FACTOR DE REDUCCION	<b>Cs=</b>	0,5805	
POTENCIAL DE PASO TOLERABLE	<b>Ep=</b>	5877	<b>V.</b>
POTENCIAL DE CONTACTO TOLERABLE	<b>Ec=</b>	1592,38	<b>V.</b>
Nº DE CONDUCTORES EN PARALELO	<b>Na=</b>	7,00	
Nº DE CONDUCTORES TRANSVERSALES	<b>Nb=</b>	4,00	
Nº DE VARILLAS DE LA RED	<b>Nv=</b>	6,00	
LONGITUD DE LOS PARALELOS DE LA RED	<b>La=</b>	5,00	<b>m.</b>
LONGITUD DE LOS TRANSVERSALES DE LA RED	<b>Lb=</b>	10,00	<b>m.</b>
LONGITUD DE LAS VARILLAS DE TIERRAS	<b>Lv=</b>	2,44	<b>m.</b>
ESPACIAMIENTO ENTRE COND. PARALELOS	<b>D=</b>	2,00	<b>m.</b>
PROFUNDIDAD DE LA RED	<b>h=</b>	1,00	<b>m.</b>
AREA CUBIERTA POR LA MALLA	<b>A=</b>	50,00	<b>m².</b>
LONGITUD TOTAL DE COND. DE LA MALLA	<b>Lc=</b>	75,00	<b>m.</b>
LONGITUD TOTAL DE VARILLAS DE TIERRA	<b>Lr=</b>	14,64	<b>m.</b>
LONGITUD TOTAL DE MALLA DE TIERRA	<b>L=</b>	91,84	<b>m.</b>
Nº DE COND. PARALELOS P/CALCULO DE <b>Es</b>	<b>Ns=</b>	7,00	<b>m.</b>
FACTOR GEOMETRICO PARA POT. DE PASO	<b>Ks=</b>	0,4170	
FACTOR DE CORRECCION P/GEOM. DE RED	<b>Kis=</b>	1,86	
POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA	<b>Es=</b>	889	<b>V.</b>
Nº DE COND. PARALELOS P/CALCULO DE <b>Em</b>	<b>Nm=</b>	5,29	
PROFUNDIDAD DE REFERENCIA DE LA MALLA	<b>ho=</b>	1,00	<b>m.</b>
FACTOR DE CORRECCION (EFECTO DE h)	<b>Kh=</b>	1,41	

PROYECTO : CENTRO DE FORMACION JUVENIL PARA EL SRPA.

18/12/2014

UBICACION : SAMPUES

PROPIETARIO : DEPARTAMENTO DE SUCRE

**CALCULO DE LA RED DE TIERRAS PARA SISTEMA TRIFASICO, CON UNA CAPACIDAD INSTALADA  
DE 225 KVA., A 13200 V., 3F, 3H, 60Hz.**

FACTOR DE CORRECCION (EFECTO COND. MALLA)	<b>Kii=</b>	1,0000
FACTOR DE CORRECCION P/GEOMETRIA DE RED	<b>Kim=</b>	1,5659
FACTOR GEOMETRICO PARA Em	<b>Km=</b>	0,6083
POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA	<b>Em=</b>	697 V.
RESISTENCIA TOTAL DEL SISTEMA DE TIERRA	<b>Rg=</b>	6,8719 ohm.

**CALCULOS :**

DE LA ECUACION 65 DE IEEE std. 80-1986

$$Df = 1 + [(Ta + Ts) \cdot (e)^{-2 Ts/Ta}]^{1/2} = 1,05 \quad Ta = 0,03 \text{ seg.}$$

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.

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

$$IG = 1,00 \cdot 1,05 \cdot 984,12 = 1034,47$$

$$IG = 1034,47 \text{ A.}$$

SELECCION DEL CONDUCTOR.

DE LA TABLA 2 DE IEEE std. 80-1986 Y CONSIDERANDO CONECTORES SOLDABLES DE BRONCE DONDE Tm=450 °C Y Ts=0,50 seg., EL FACTOR PARA CALCULAR LOS Cmil/Amp.

$$\text{Factor} = 6,60$$

AREA REQUERIDA DEL CONDUCTOR EN Cmil.

$$Ar = IG \times \text{FACTOR}$$

$$Ar = 1034,47 \times 6,60$$

$$Ar = 6827,48 \text{ Cmil.}$$

PROYECTO : CENTRO DE FORMACION JUVENIL PARA EL SRPA.

18/12/2014

UBICACION : SAMPUES

PROPIETARIO : DEPARTAMENTO DE SUCRE

**CALCULO DE LA RED DE TIERRAS PARA SISTEMA TRIFASICO, CON UNA CAPACIDAD INSTALADA  
DE 225 KVA., A 13200 V., 3F, 3H, 60Hz.**

EL CONDUCTOR CON UNA SECCION DE 6,83 KCM CORRESPONDE A UN CALIBRE  
N°. 1/0 AWG., PERO PARA SOPORTAR LOS ESFUERZOS MECANICOS QUE  
PUDIERAN PRESENTARSE, SE EMPLEARA CALIBRE N°. **2/0 AWG**

**Cc = 2/0 AWG      Ac = 133,10 KCM      CON DIAMETRO DE      d = 0,00927 m.**

CALCULO DEL FACTOR DE REFLEXION **K**.

$$K = [\rho - \rho_s] \div [\rho + \rho_s]$$

$$K = (101,79 - 10000,00) \div (101,79 + 10000,00)$$

$$K = -0,9798$$

EL ESPESOR DE LA CAPA SUPERFICIAL SERA DE **hs= 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 :

$$Cs = [1 \div 0.96] \cdot \frac{1 + 2 \cdot \epsilon \cdot K \div 1 + 2n \cdot hs \div 0.08}{1} = 0,5805$$

CALCULO DE POTENCIALES TOLERABLES.

POTENCIAL DE PASO TOLERABLE **Ep**.

$$Ep = [1000 + 6 \cdot Cs \cdot \rho_s] \cdot [0.116 / (Ts) \exp. \frac{1}{2}]$$

$$Ep = [1000 + 6 \cdot 0,5805 \cdot 10000,00] \cdot [0.116 \div (0,50) \exp. \frac{1}{2}]$$

$$Ep = [35827,09] \cdot [0,116 \div 0,71] = 5877,39$$

$$Ep = 5877,39 \text{ VOLTS.}$$

POTENCIAL DE CONTACTO TOLERABLE **Ec**.

$$Ec = [1000 + 1.5 \cdot Cs \cdot \rho_s] \cdot [0.116 / (Ts) \exp. \frac{1}{2}]$$

$$Ec = [1000 + 1.5 \cdot 0,5805 \cdot 10000,00] \cdot [0.116 \div (0,50) \exp. \frac{1}{2}]$$

$$Ec = [9706,77] \cdot [0,116 \div 0,71] = 1592,38$$

$$Ec = 1592,38 \text{ VOLTS.}$$

DISPOSICION DE LOS CONDUCTORES EN LA RED.  
SE CONSIDERAN :

PROYECTO : CENTRO DE FORMACION JUVENIL PARA EL SRPA.

18/12/2014

UBICACION : SAMPUES

PROPIETARIO : DEPARTAMENTO DE SUCRE

**CALCULO DE LA RED DE TIERRAS PARA SISTEMA TRIFASICO, CON UNA CAPACIDAD INSTALADA  
DE 225 KVA., A 13200 V., 3F, 3H, 60Hz.**

Na = 7,00  
Nb = 4,00  
Nv = 6,00  
La = 5,00  
Lb = 10,00  
Lv = 2,44  
D = 2,00

EN ESTE CASO LA PROFUNDIDAD DE LA MALLA SERA h = 1,00

$$A = (La \cdot Lb) \text{ m.}^2$$

$$A = (5,00 \cdot 10,00) \text{ m.}^2 = 50,00$$

$$A = 50,00 \text{ m.}^2$$

$$Lc = (Na \cdot La) + (Nb \cdot Lb)$$

$$Lc = (7,00 \cdot 5,00) + (4,00 \cdot 10,00) = 75,00$$

$$Lc = 75,00 \text{ m.}$$

$$Lr = (Nv \cdot Lv) \text{ m.}$$

$$Lr = (6,00 \cdot 2,44) \text{ m.} = 14,64$$

$$Lr = 14,64 \text{ m.}$$

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

$$L = [75,00 + (1.15 \cdot 14,64)] \text{ m.} = 91,84$$

$$L = 91,84 \text{ m.}$$

Nº DE CONDUCTORES PARALELOS QUE SE CONSIDERAN PARA EL CALCULO DEL POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA (Ns).

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

$$Ns = 7,00$$

CALCULO DE Ks PARA POTENCIAL DE PASO.

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

$$Ks = [1 \div 3,1416] \cdot [(1 \div 2,00) + (1 \div 3,00) + ((1 \div 2,00) \cdot 1 - 0,031)] =$$

PROYECTO : CENTRO DE FORMACION JUVENIL PARA EL SRPA.

18/12/2014

UBICACION : SAMPUES

PROPIETARIO : DEPARTAMENTO DE SUCRE

**CALCULO DE LA RED DE TIERRAS PARA SISTEMA TRIFASICO, CON UNA CAPACIDAD INSTALADA  
DE 225 KVA., A 13200 V., 3F, 3H, 60Hz.**

$$K_s = [0,3183] \cdot [(0,50) + (0,33) + ((0,50) \cdot 0,969)] =$$

$$K_s = [0,3183] \cdot [(0,50) + (0,33) + (0,48)] = 0,4170$$

$$K_s = 0,4170$$

CALCULO DE  $K_{is}$        $K_{is} = [0,656 + (0,172 \cdot N_s)]$

$$K_{is} = [0,656 + (0,172 \cdot 7,00)]$$

$$K_{is} = 1,86$$

POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA  $E_s$ .

$$E_s = P \cdot K_s \cdot K_{is} \cdot I_G \div L$$

$$E_s = (101,79 \cdot 0,4170 \cdot 1,860 \cdot 1034) \div (91,84) =$$

$$E_s = 889,24$$

Nº DE CONDUCTORES PARALELOS QUE SE CONSIDERAN PARA EL CALCULO  
DEL POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA  $N_m$

$$N_m = (N_a \cdot N_b)^{\frac{1}{2}}$$

$$N_m = (7,00 \cdot 4,00)^{\frac{1}{2}}$$

$$N_m = (28,00)^{\frac{1}{2}} = 5,29$$

$$N_m = 5,29$$

LA PROFUNDIDAD DE REFERENCIA DE LA MALLA SE CONSIDERA :  $h_o = 1,00$  m.

CALCULO DE  $K_h$ .

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

$$K_h = [1 + (1,00 \div 1,00)]^{\frac{1}{2}} = 1,41$$

$$K_h = 1,41$$

COMO NUESTRA MALLA CUENTA CON ELECTRODOS EN LAS ESQUINAS  $K_{ii} = 1,0000$

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

$$K_{ii} = [1 + ((2 \cdot N_m) \div (2 \div N_m))] =$$

PARA MALLAS CON ELECTRODOS EN ESQUINAS.       $K_{ii} = 1,0000$

PROYECTO : CENTRO DE FORMACION JUVENIL PARA EL SRPA.

18/12/2014

UBICACION : SAMPUES

PROPIETARIO : DEPARTAMENTO DE SUCRE

**CALCULO DE LA RED DE TIERRAS PARA SISTEMA TRIFASICO, CON UNA CAPACIDAD INSTALADA  
DE 225 KVA., A 13200 V., 3F, 3H, 60Hz.**

CALCULO DE  $K_{im}$

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

$$K_{im} = [ 0.656 + ( 0.172 \cdot 5,29 ) ] = 1,5659$$

$$K_{im} = 1,5659$$

CALCULO DE  $K_m$

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

$$K_m = [ 0,159 ] \cdot [ \ln \{ ( 26,9687 ) + ( 107,8749 ) - ( 26,9687 ) \} + \{ ( 0,7071 ) \cdot \ln ( 0,2968 ) \} ] =$$

$$K_m = [ 0,159 ] \cdot [ \ln \{ ( 107,8749 ) \} + \{ ( 0,7071 ) \cdot \ln ( 0,2968 ) \} ] =$$

$$K_m = [ 0,159 ] \cdot [ \{ ( 4,6810 ) \} + \{ ( 0,7071 ) \cdot ( -1,2147 ) \} ] =$$

$$K_m = [ 0,159 ] \cdot [ \{ ( 4,6810 ) \} + \{ ( -0,8589 ) \} ] =$$

$$K_m = [ 0,159 ] \cdot [ \{ ( 4,6810 ) \} + \{ ( -0,8589 ) \} ] = [ 0,159 ] \cdot [ \{ ( 3,8220 ) \} ] =$$

$$K_m = [ 0,159 ] \cdot [ \{ ( 3,8220 ) \} ] = 0,6083$$

$$K_m = 0,6083$$

POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA  $E_m$ .

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

$$E_m = ( 101,79 \cdot 0,6083 \cdot 1,0000 \cdot 1034 ) \div ( 91,84 ) = 697$$

$$E_m = 697$$

PROYECTO : CENTRO DE FORMACION JUVENIL PARA EL SRPA.

18/12/2014

UBICACION : SAMPUES

PROPIETARIO : DEPARTAMENTO DE SUCRE

**CALCULO DE LA RED DE TIERRAS PARA SISTEMA TRIFASICO, CON UNA CAPACIDAD INSTALADA  
DE 225 KVA., A 13200 V., 3F, 3H, 60Hz.**

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

EN TODO CASO DEBE  
CUMPLIRSE QUE :

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

**$E_p = 5.877,39 \text{ V}$** , POTENCIAL DE PASO TOLERABLE

**$E_s = 889,24 \text{ V}$** , POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA

**$E_c = 1.592,38 \text{ V}$** , POTENCIAL DE CONTACTO TOLERABLE

**$E_m = 697,45 \text{ V}$** , POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA

**CALCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA DE LA RED**

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

$$R_g = 101,79 \cdot [ (0,01) + \{ (0,03) \} \cdot \{ 1 + (0,79) \} ]$$

$$R_g = 101,79 \cdot [ (0,01) + \{ (0,03) \} \cdot \{ (1,79) \} ] = 6,8719$$

$$R_g = 6,8719$$

**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 DEL RETIE (RES. MIN MINAS No. 180466 DE ABRIL 2 DE 2007)**