

CUADERNILLO

Con EJERCICIOS y EJEMPLOS



RESUELTOS

COMPLEMENTO DEL LIBRO

Estudio y Diseño de Malla a Tierra BT y MT

ING. DANIEL HENRIQUEZ SANTANA

CUADERNILLO

Con EJERCICIOS y EJEMPLOS

RESUELTOS

RESOLUCIÓN DE EJERCICIOS Y EJEMPLOS QUE LO AYUDARÁ A UNA
MEJOR COMPRENSIÓN CONCEPTUAL Y PRACTICA DEL

ESTUDIO Y DISEÑO DE MALLA A TIERRA

INDICE DE CONTENIDOS

	Pagina
1. GUIA EJERCICIOS N° 1 (15 ejercicios).....	1
2. SOLUCIONES GUIA EJERCICIOS N° 1.....	4
3. CALCULO MALLA CON BARRAS VERTICALES.....	15
4. GUIA EJERCICIO N° 2 (Resistividad Terreno).....	16
5. SOLUCION GUIA EJERCICIO N° 2.....	17
6. EJEMPLO (TRABAJO PRACTICO).....	19
7. CONCLUSIONES	26

❖ **GUIAS RESUELTAS POR** : Alumnos participantes a Seminario
❖ **REVISADO POR** : Ing. Daniel Henríquez Santana



GUIA DE EJERCICIOS N° 1

1. Cual debe ser la **Resistencia de Puesta a Tierra (RPT)** de una instalación eléctrica en un local húmedo, si se utiliza como protección un disyuntor de 16A curva C, instalado en un tablero de distribución A/F. Vea Norma SEC NCH4-2003 aplique Tabla 10.22 . **Rpta : 0,43 ohm.**
2. Considere el mismo caso anterior, pero agregue al tablero de distribución una protección más sensible. Considere un **Protector Diferencial** de 25 A y 30ma de sensibilidad. Vea Norma SEC. ¿ Cual será ahora la exigencia mínima para la resistencia de puesta a tierra que permita hacer funcionar ésta nueva protección . **Rpta : 800 ohm.**
3. Cuál es la **Corriente de cortocircuito** en un Tablero Eléctrico , si la impedancia de falla Z es de 0,5 ohm y la alimentación es de 220V/50Hz. Suponga una instalación de fuerza y aplique un factor de asimetría de 1,2. **Rpta : 744 amperes**
4. Determine el **Voltaje de Contacto** al cual queda expuesto un usuario de una lavadora de ropa con carcasa metálica conectada a tierra de protección, si la resistencia de falla de **aislamiento** entre fase y carcasa es de **28 ohm** (por envejecimiento) y la **resistencia puesta a tierra RPT**, es de **12 ohm**. Considere una alimentación de 220V/50Hz. **Rpta : 66 Volts AC.**
5. Según Norma SEC NCH4-2003 Aplique Tabla 10.24, si se diseña un electrodo enmallado de 10 mt, (2mtx1mt con 4 verticales y 3 horizontales)sección mínima de 16mm², enterrado en un suelo de resistividad especifica de 100 ohmxmt, cual será la rpt del sistema. **Rpta : 20 ohms**
6. Si el mismo diseño de electrodo del caso anterior, es instalado en un terreno pero con resistividad de 45 ohm x mt estime el valor de la resistencia de puesta a tierra . **Rpta : 9 ohm.**
7. Calcular la sección mínima que debe tener un cable de cobre desnudo y que formará parte de un electrodo malla tierra servicio que estará expuesto a una corriente de cortocircuito FASE-NEUTRO de 1.500 amperes y la curva característica del FUSIBLE indica que operará a 3 segundos. Se usará unión pro TERMOFUSIÓN. **Respta : 9,2 mm²** como mínimo.
8. Compruebe y explique basado en la Leyes de Kirchoff el funcionamiento del circuito equivalente de una protección diferencial en una Instalación Eléctrica.
9. Cual es la Resistencia puesta a tierra de un ELECTRODO VERTICAL si instalamos en un terreno que tiene una resistividad equivalente 100 ohmxmt y éste es de Cu y tiene un largo de 1,5mt y un radio de 7,94mm. **Respuesta : 62,9 ohm** (vea tabla resistencia de este electrodo en Norma SEC).

ESTUDIO y DISEÑO DE MALLA A TIERRA BT y MT

WWW.DHSING.CL

INGENIEROS RELATORES

10. En un edificio de 14 pisos y 15 dptos por piso, determine lo siguiente : (**considere** : si cada tablero de distribución de los departamentos tiene 2 diferenciales 2x25A/30ma para protección indirecta zona seca y 5 tableros con 3 diferenciales para Servicios Comunes :

A) ¿ Cual será la corriente máxima de fuga a tierra que eventualmente pudiera existir ? **Rpta : 13,05 Amperes**

B) Calcule según SEC 4/2003 la resistencia puesta a tierra Rpt necesaria para un electrodo de Malla puesta a tierra. Respuesta : **Rpt = 3,83 ohm**

C) ¿ A que voltaje queda sometido un usuario del edificio a través de las carcasa de los equipos si eventualmente ocurriera A). **Respuesta : 49,9Volts** que es menor que 50V exigido por Norma.

D) ¿ A que voltaje queda sometido un usuario del edificio a través de las carcasa de los equipos si ocurriera que un equipo fugará a tierra de protección 40ma. **Respta : 0,115 Volts** (cumple norma)

E) Comente : ¿ Qué sucede si los artefactos conectados en forma permanente a la I.E. aumentan su corriente de fuga a niveles superiores al máximo permitido que es **1 ma** ?. Esto es común que suceda, a medida que los años transcurren por envejecimiento de los artefactos y la IE.

F) ¿ Qué sucede si la resistividad del terreno sube . Comente a los menos 3 efectos a tener presente.

11. ELECTRODO DE MALLA :

Calcular la resistencia puesta a tierra Rpt de una malla de protección usando el método de LAURENT. Los datos de la malla son :

- Electrodo de 4 x 4 mt
- Sección cable de cobre desnudo : 35 mm²
- Profundidad de la malla he : 0,6 mt
- Resistividad del terreno : 43 ohm x mt



Respta : 6,54 ohm

12. Efectuar el calculo de la Rpt de la malla en base a los datos del ejercicio anterior, por el método de SCHWARTZ. Método exacto. **Respta : 4,9 ohm**

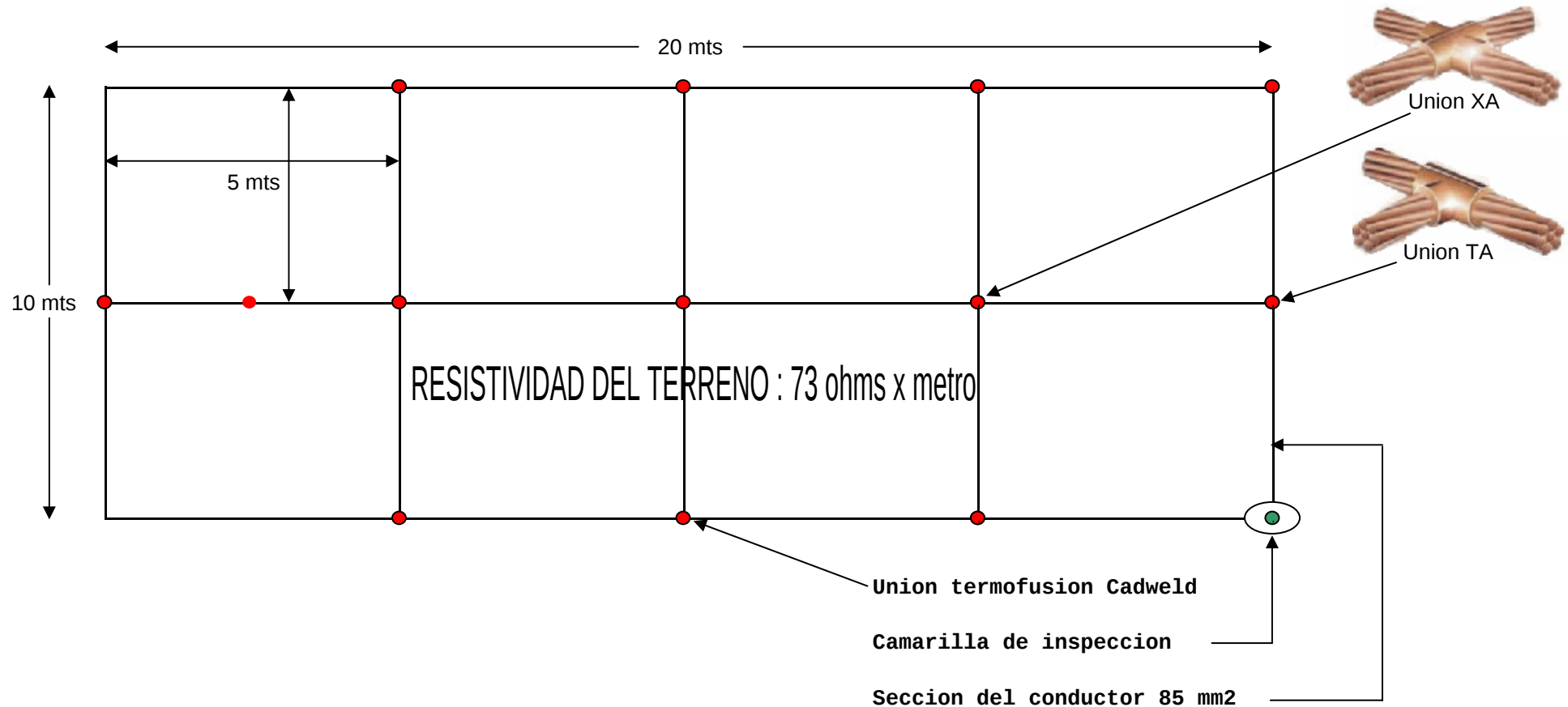
13. Si se entierra una Barra de CU de 1,5 mt de sección 5/8" determine la Rpt instalada en un terreno de 43 ohm x mt. **Respta : 27, 1 ohm**

14. Use **Excel CALC-EM-1** y proceda a calcular los electrodos de los ejercicio 13, 12 y 11.

15. Use **Excel CALC-EM-1 Y CALCULE** resistencia puesta a tierra del Electrodo mostrado en la pagina siguiente.

EJERCICIO 15

ESQUEMA DE ELECTRODO MALLA BT Y MT



CON ADITIVO QUIMICO

RESPUESTA : 2,95 ohms según LAURENT

RESPUESTA : 2,62 ohm SEGÚN SCHWARZ

SOLUCION EJERCICIO N°
REF MANUAL CONSULTA. Pag.

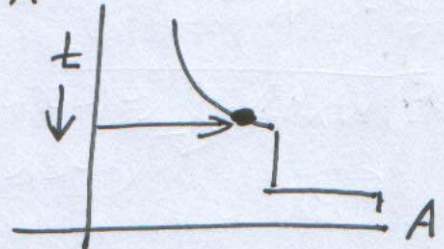
1

$K = 3,5$ VER TABLA 10.22 (P4-2003) :

$$R_{PT} \leq \frac{V_S}{K \cdot I_n} = \frac{24 \text{ V (HUMEDO)}}{3,5 \cdot 16 \text{ A}}$$

$$R_{PT} \leq 0,43 \Omega$$

Si USARÁ "Disyuntor"



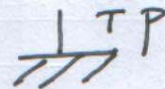
SOLUCION EJERCICIO N°
REF MANUAL CONSULTA. Pag.

2

Si usa DIFERENCIAL (INTERUPTOR)

$$R_{PT} \leq \frac{V_S}{I_D} = \frac{24 \text{ V}}{0,030 \text{ A}} =$$

$$\Rightarrow R_{PT} \leq 800 \Omega$$



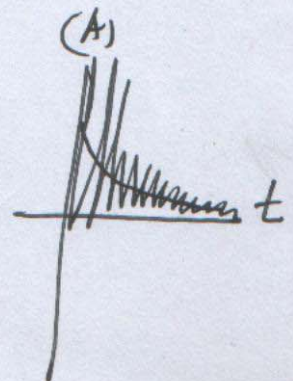
SOLUCION EJERCICIO N°
REF MANUAL CONSULTA. Pag.

3

$$I_{CC1\phi} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{RMS}}{Z_{falta}} \cdot f_A$$

$$I_{CC1\phi} = \frac{1,41 \cdot 220 \text{ V}}{0,5 \Omega} \cdot (1,2)$$

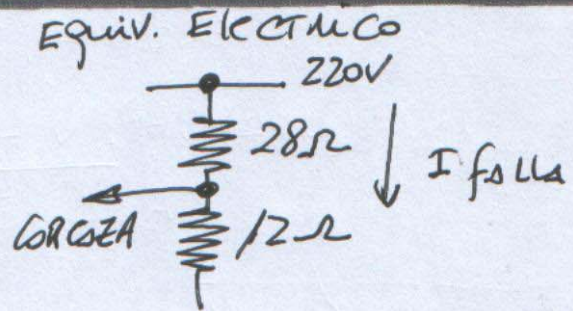
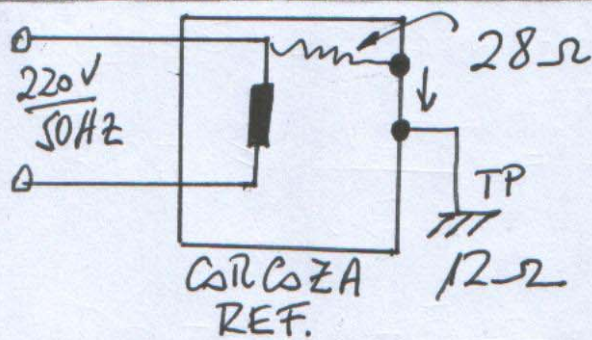
$$I_{CC1\phi} = 744 \text{ A}$$



SOLUCION EJERCICIO N°

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

4



$$\frac{220V}{28\Omega + 12\Omega} = 5,5A \Rightarrow V_C = 5,5A \cdot 12\Omega$$

$$V_C = 66V, X$$

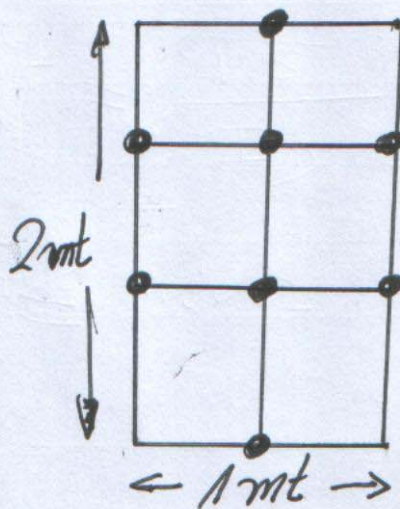
24V. (hurea) ¡ EXCEDE VSEDMIDAD NORMA (50V)

SOLUCION EJERCICIO N°

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

5

REF = TABLA 10.24 (NCH 4-2003) RPT



$$L_m = 10 \text{ mt}$$

$$\rho = 100 \Omega \times \text{mt}$$

$$\phi_{\min} = 16 \text{ mm}^2$$

$$n_e = 0,6 \text{ mt}$$

SEGUN TABLA

$$R_{PT} \leq 20 \Omega$$

SOLUCION EJERCICIO N°

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

6

SEGUN TABLA 10.24

Si $\rho = 45 \Omega \times \text{mt}$

Aplicando Factor $\rho/100 = \frac{45}{100} = 0,45$

$$\Rightarrow R_{PT} \leq 20 \Omega \times 0,45$$

$$R_{PT} \leq 9 \Omega$$

7

SOLUCION EJERCICIO N°

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

APLICAR FORMULA DE SECCION MINIMA OLDENDORF
 CONECCION AUTOFUSION (SOLDADURA) $\Rightarrow K = 6.96$

$$\phi S_{min} = \frac{K \cdot I_f \cdot \sqrt{t}}{1973} = \frac{6.96 \cdot 1500 A \cdot \sqrt{3s}}{1973}$$

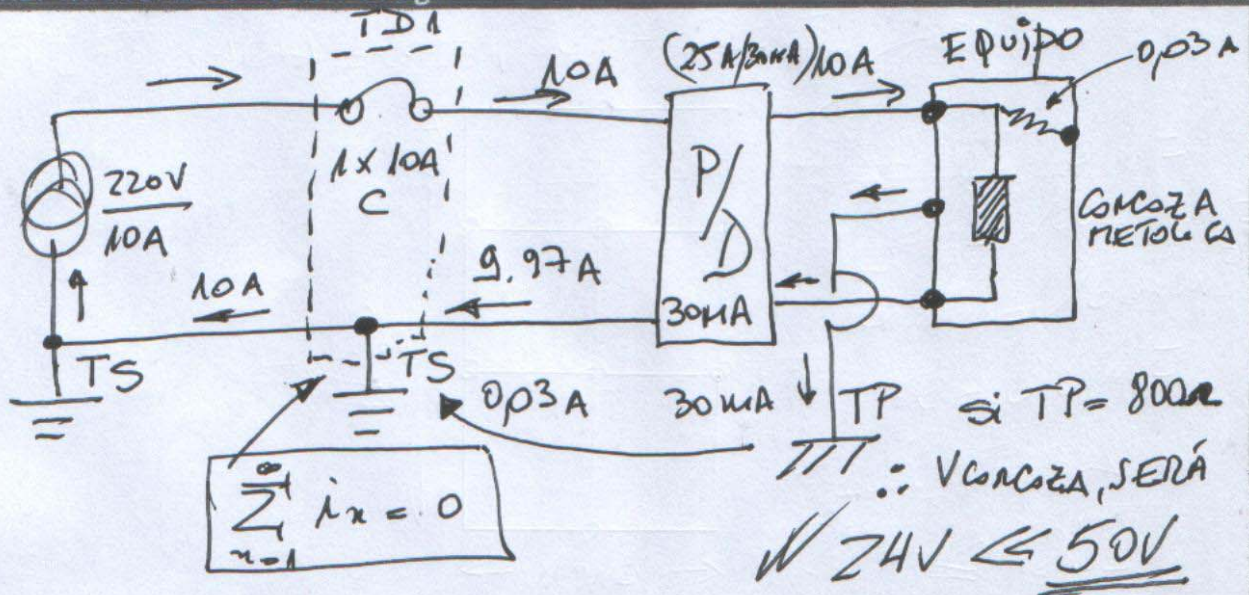
$$S_{min} = \underline{9.2 \text{ mm}^2} \Rightarrow \text{min } 16 \text{ mm}^2$$

(S/ NCH 4-2003)

8

SOLUCION EJERCICIO N°

REF MANUAL CONSULTA. Pag.



9

SOLUCION EJERCICIO N°

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

$$\rho = 100 \Omega \times m \cdot t \quad (Cu)$$

$$1.5 m \cdot t = L_1$$

$$r = 7.94 \text{ mm}$$

$$R_e = \frac{\rho_{eq}}{2 \cdot \pi \cdot L_1} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L_1}{a} \right)$$

$$R_e = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 1.5} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 1.5}{7.94 \cdot 10^{-3} m \cdot t} \right) = \underline{\underline{62.9 \Omega}}$$

SOLUCION EJERCICIO Nº
REF MANUAL CONSULTA. Pag.

10

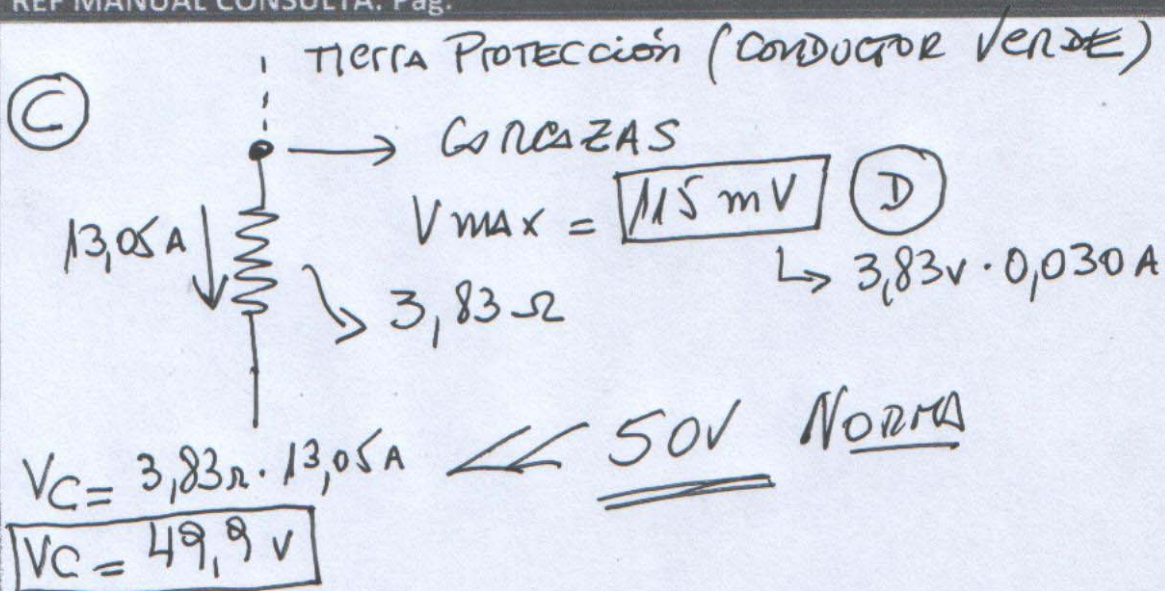
14 pisos. 15 Dptos = 210
210 TABLEROS. 2 Diferenciales = 420 Dif
SERV. COMÚN 5 TABLEROS. 3 Dif = 15 Dif
435 DIFERENC.

(A) $4,35 \text{ Dif} \cdot 0,030 \text{ A} = \underline{13,05 \text{ A}}$

(B) $R_{PT} \leq \frac{V_S}{N^{\circ} \text{ Dif} \cdot I_D} = \frac{50 \text{ V}}{435 \cdot 0,030 \text{ A}} = \underline{3,83 \Omega}$

SOLUCION EJERCICIO Nº
REF MANUAL CONSULTA. Pag.

10



SOLUCION EJERCICIO Nº
REF MANUAL CONSULTA. Pag.

10

(E) PODRIAN OPERAR "ALEATORIA MENTE" LOS DIFERENCIALES

(F) SI I SUBE $\Rightarrow R_{PT}$ SUBE $\Rightarrow \underline{\underline{V_{CONTACTO}}}$ SUBE
 $\therefore$ queda FUERA DE NORMA

SOLUCION EJERCICIO Nº

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

11

$$R_{ML} = \frac{I_{eq}}{4 \cdot r} + \frac{I_{eq}}{L_m} = \frac{43}{4 \cdot 2,26} + \frac{43}{24 \text{ mts}}$$

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{16}{\pi}} = 2,26 \checkmark$$

$$R_{PT} \leq 6,54 \Omega$$

SOLUCION EJERCICIO Nº

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

12

$$I_{eq} = 43 \Omega \times \text{mt} \quad S_c = 35 \text{ mm}^2$$

$$h_e = 0,6 \text{ mt} \quad \text{MALLA} = 4 \times 4 \quad S = 16 \text{ mt}^2$$

$$R_{MSCH} = \frac{I_{eq}}{\pi L_m} \left[L_n \left(\frac{2 \cdot L_m}{\sqrt{h_e \cdot d}} \right) + \left(\frac{K_1 \cdot L_m}{\sqrt{S}} \right) - K_2 \right]$$

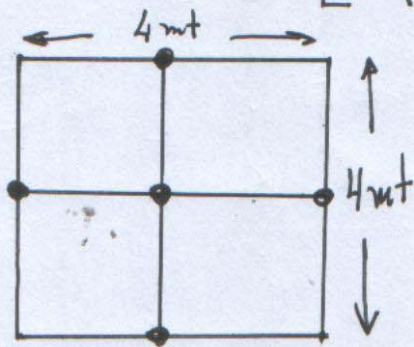
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 35}{\pi}} = 668 \cdot 10^{-3} \text{ mt}$$

SOLUCION EJERCICIO Nº

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

12

$$R_{MS} = \frac{43}{\pi \cdot 24} \left[L_n \left(\frac{2 \cdot 24}{\sqrt{0,6 \cdot 668 \cdot 10^{-3}}} \right) + \left(\frac{K_1 \cdot 24}{\sqrt{16}} \right) - K_2 \right]$$



$$K_1 = 1,43 - \left(\frac{2,3 \cdot h_e}{\sqrt{S}} \right) - \left[0,044 \left(\frac{A}{B} \right) \right]$$

$$K_1 = 1,041$$

SOLUCION EJERCICIO Nº

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

12

IDEM:

$$K_2 = 55 - \left(\frac{8 \cdot h_e}{\sqrt{5}} \right) + \left[\left(0,15 - \frac{h_e}{\sqrt{5}} \right) \cdot \left(\frac{A}{B} \right) \right]$$

$$K_2 = 4,3$$

$$R_{HS} = \frac{43}{\pi \cdot 24} \left[\ln \left(\frac{48}{0,063} \right) + \frac{1,041 \cdot 24}{4} - 4,3 \right]$$

$$R_{HS} = 4,9 \, \Omega \quad | \quad \text{SCHWARTZ}$$

SOLUCION EJERCICIO Nº

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

13

Si UTILIZA UNA BARRA CU DE 4.5 mt
¿ que RPT SE (TEUDRA)?

$$\phi = 5,8''$$

$$1'' = 0,0254 \, \text{mt}$$

$$5/8 \cdot 0,0254 = 0,015875$$

$$a = \frac{\phi}{2} = 0,015875$$

$$R_e = \frac{\rho_{\text{Cu}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L}{e} \right)$$

$$e = 7,94 \cdot 10^{-3} \, \text{mt}$$

$$R_e = 27,07 \, \Omega$$

SOLUCION EJERCICIO Nº

REF MANUAL CONSULTA. Pag.

EJERCICIO 14

AYUDA DIDACTICA

CURSO ESTUDIO Y DISEÑO DE MALLA A TIERRA BT y AT

<http://www.dhsing.cl/>

EVALUACIÓN DE PUESTA A TIERRA

ELECTRODO TIPO MALLA

según método de LAURENT



$$R_{mL} = \frac{\rho_{eq}}{4r} \cdot \frac{\rho_{eq}}{L_m}$$

$$r = \sqrt{s/\pi}$$

r	2,26	radio equivalente malla (mt)
Lm	24	Longitud del conductor (mt)
#iNUM!	peq	Resistividad eq del terreno (ohmxmt)

Rpt **6,55** Ω ✓

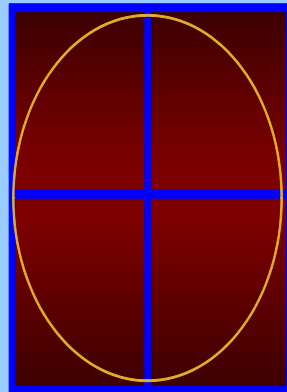
Tabla N° 10.24
Resistencia de Puesta a Tierra en Terrenos de Resistividad Especifica de 100 Ω -m

Tipo de electrodo de tierra	Cable o cinta largo [m]				Barras largo [m]				Plancha vertical canto superior enterrado a 1 m	
	10	25	50	100	1	2	3	5	0,5 x 1	1 x 1
Resistencia de puesta a tierra	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

Superintendencia de Electricidad y Combustibles

81

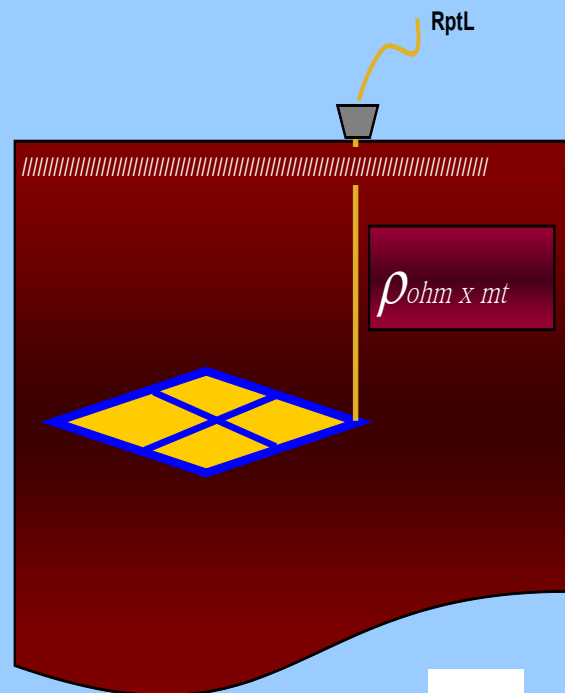
N° barras M	3
N° barras m	3
Lm	24



lado B **4** mts

lado A **4** mts

mm2
21,2
26,7
33,6
42,4
53,5
67,4
85



EJERCICIO 14

AYUDA DIDACTICA

CURSO ESTUDIO Y DISEÑO DE MALLA A TIERRA BT y AT

<http://www.dhsing.cl/>

EVALUACION DE PUESTA A TIERRA

ELECTRODO TIPO MALLA
según método de SCHWARZ

Resumen de parametros

K1	1,041
K2	4,3

sección	35	mm2
d	0,006677	mt
Superficie	16	mts2
he	0,6	mt
d	0,006677	mt
A	4	mt
B	4	mt
peq	43	ohmxmt
Lm	24	mt

RpTschw	4,89	Ω
---------	------	---

$$K1 = 1,43 - \left(\frac{2,3 \cdot he}{\sqrt{S}} \right) - [0,044 \cdot (A/B)]$$

$$K2 = 5,5 - \left(\frac{8 \cdot he}{\sqrt{S}} \right) + \left[\left(0,15 - \frac{he}{\sqrt{S}} \right) \cdot (A/B) \right]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Sec}{\pi}}$$

$$RmS = \frac{\rho_{eq}}{\pi Lm} \cdot \left[n \left(\frac{2Lm}{\sqrt{e-d}} \right) + \left(\frac{K1 \cdot Lm}{\sqrt{S}} \right) \right] \cdot K2$$

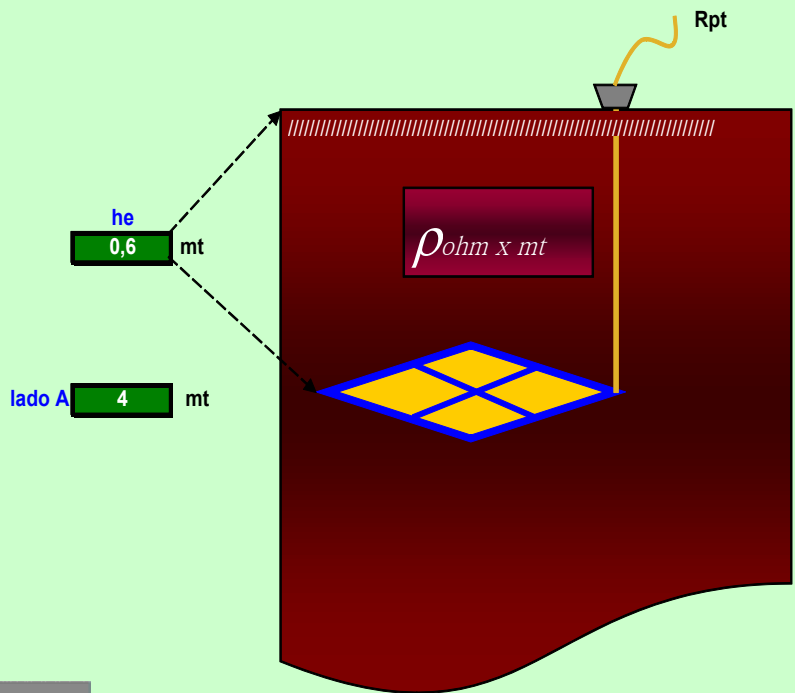
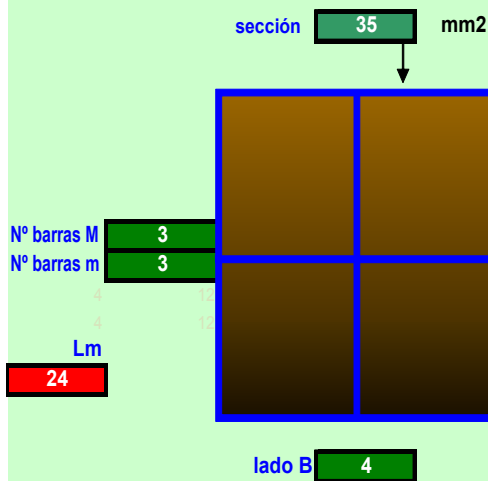
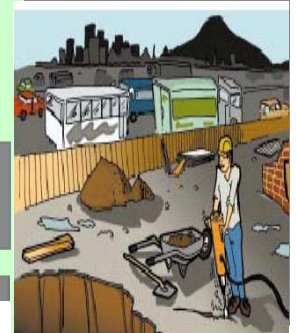


Tabla N° 10.24
Resistencia de Puesta a Tierra en Terrenos de Resistividad Especifica de 100 Ω·m

Tipo de electrodo de tierra	Cable o cinta largo [m]				Barras largo [m]				Plancha vertical canto superior enterrado a 1 m	
	10	25	50	100	1	2	3	5	0,5 x 1	1 x 1
Resistencia de puesta a tierra	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

mm2	referencia practica	electrodo
21,2		
26,7	TERRENO HUMEDO 50 ohmxmt	16 mts2
33,6	TERRENO HUMEDO-SECO 100 ohmxmt	25 mts2
42,4	TERRENO SEMISECO 150 ohmxmt	100 mts2
53,5		
67,4		
85		

EJERCICIO 14

AYUDA DIDACTICA

CURSO ESTUDIO Y DISEÑO DE MALLA A TIERRA BT y AT

<http://www.dhsing.cl/>

EVALUACION DE PUESTA A TIERRA

ELECTRODO VERTICAL TIPO BARRA

BARRA CU COBRE

L	1,5	largo electrodo mt
a	0,007938	radio del electrodo mt
peq	43	ohmxmt

$$R_e = \frac{\rho_{eq}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \frac{\ln(2 \cdot L)}{a}$$

Rpt 27 Ω

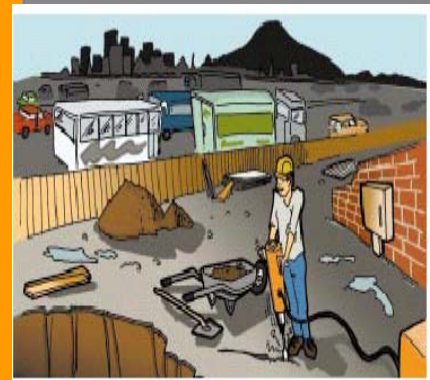


Tabla N° 10.24
Resistencia de Puesta a Tierra en Terrenos de Resistividad Especifica de 100 Ω·m

Tipo de electrodo de tierra	Cable o cinta largo [m]				Barras largo [m]				Plancha vertical canto superior enterrado a 1 m	
	10	25	50	100	1	2	3	5	0,5 x 1	1 x 1
Resistencia de puesta a tierra	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

Superintendencia de Electricidad y Combustibles

81

