



$$\text{Sankosha [6.7]} \quad \frac{\rho}{2.73 \cdot L} \cdot \log\left(2 \cdot \frac{L}{r}\right) = 35.105 \Omega$$

**1.2 DOS VARILLAS** electrodo de longitud  $L$  y radio  $r$  enterradas con un espaciamiento  $d$  en un terreno de resistividad  $\rho$ , conectadas en paralelo. Uso: General

$$L = 3 \text{ m} \quad d > L \quad \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \ln\left(4 \cdot \frac{L}{r}\right) - 1 \right) + \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot d} \cdot \left( 1 - \frac{L^2}{3 \cdot d^2} + \frac{2 \cdot L^4}{5 \cdot d^4} \right) = 17.521 \Omega$$

$$r = 0.008 \text{ m} \quad \text{H.B.Dwight [6.1]}$$

$$d = 10 \text{ m}$$

$$\rho = 100 \Omega \cdot \text{m} \quad d < L \quad \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \ln\left(4 \cdot \frac{L}{r}\right) + \ln\left(4 \cdot \frac{L}{d}\right) - 2 + \frac{d}{2 \cdot L} - \frac{d^2}{16 \cdot L^2} + \frac{d^4}{512 \cdot L^4} \right) = 17.796 \Omega$$

**1.3 UNA VARILLA ELECTRODO CON TRATAMIENTO O EMBEBIDA EN CONCRETO** de longitud  $L$  y radio  $r$ , rodeada de material de resistividad  $\rho_1$  y radio  $r_1$ . Donde el terreno natural tiene una resistividad  $\rho$ .

$$\rho = 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

*Fagan - Lee [6.2]*

$$r_1 = 0.152 \text{ m}$$

$$\rho_1 = 0.25 \text{ ohm} \cdot \text{m}$$

$$r = 0.008 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left[ \rho \cdot \left( \ln\left(\frac{8 \cdot L}{2 \cdot r_1}\right) - 1 \right) + \rho_1 \cdot \left( \ln\left(\frac{8 \cdot L}{2 \cdot r}\right) - 1 \right) - \rho_1 \cdot \left( \ln\left(\frac{8 \cdot L}{2 \cdot r_1}\right) - 1 \right) \right] = 17.897 \Omega$$

**2. CONDUCTOR ENTERRADO**

**2.1 CONDUCTOR** horizontal de longitud total B, radio a, enterrado a una profundidad S (s/2) en un terreno de resistividad ρ.

B = 20 m  
 a = 0.006 m  
 S = 0.5 m  
 ρ = 100 Ω·m

*H.B.Dwight [6.1]*      s := 2·S      b :=  $\frac{B}{2}$

$$\frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot b} \cdot \left( \ln \left( 4 \cdot \frac{b}{a} \right) + \ln \left( 4 \cdot \frac{b}{s} \right) - 2 + \frac{s}{2 \cdot b} - \frac{s^2}{16 \cdot b^2} + \frac{s^4}{512 \cdot b^4} \right) = 8.339 \Omega$$

*Tabla C.1 NMX-J-549-ANCE-2005 [6.6]*

$$\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot B} \cdot \left( \ln \left( \frac{B^2}{1.85 \cdot S \cdot 2 \cdot a} \right) \right) = 8.298 \Omega$$

*Sankosha [6.7]*

$$\frac{\rho}{2.73 \cdot B} \cdot \log \left( \frac{B^2}{2S \cdot a} \right) = 8.784 \Omega$$

**2.2 CONDUCTOR** horizontal en "L" con longitud total B (b por brazo), radio a, enterrado a una profundidad S (s/2) en un terreno de resistividad ρ.

B = 20 m  
 a = 0.006 m  
 S = 0.5 m  
 ρ = 100 Ω·m  
 b = 10 m

*H.B.Dwight [6.1]*      s := 2·S      b :=  $\frac{B}{2}$

$$\frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot b} \cdot \left( \ln \left( 2 \cdot \frac{b}{a} \right) + \ln \left( 2 \cdot \frac{b}{s} \right) - 0.2373 + 0.2146 \cdot \frac{s}{b} + 0.1035 \cdot \frac{s^2}{b^2} - 0.0424 \cdot \frac{s^4}{b^4} \right) = 8.617 \Omega$$

*Tabla C.1 NMX-J-549-ANCE-2005 [6.6]*

$$\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot B} \cdot \left( \ln \left( \frac{B^2}{1.27 \cdot S \cdot 2 \cdot a} \right) \right) = 8.597 \Omega$$

**2.3 CONDUCTOR horizontal en ESTRELLA DE TRES PUNTAS**, con longitud total B (b por brazo), radio a, enterrado a una profundidad S (s/2) en un terreno de resistividad  $\rho$ .

$$\begin{array}{l}
 B = 20 \text{ m} \\
 a = 0.006 \text{ m} \\
 S = 0.5 \text{ m} \\
 \rho = 100 \Omega \cdot \text{m} \\
 b = 6.667 \text{ m}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{H.B.Dwight [6.1]} \\
 s := 2 \cdot S \\
 b := \frac{B}{3}
 \end{array}
 \quad
 \frac{\rho}{6 \cdot \pi \cdot b} \cdot \left( \ln \left( 2 \cdot \frac{b}{a} \right) + \ln \left( 2 \cdot \frac{b}{s} \right) + 1.071 - 0.209 \cdot \frac{s}{b} + 0.238 \cdot \frac{s^3}{b^3} - 0.054 \cdot \frac{s^4}{b^4} \right) = 8.97 \Omega$$

Tabla C.1 NMX-J-549-ANCE-2005 [6.6]

$$\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot B} \cdot \left( \ln \left( \frac{B^2}{0.767 \cdot S \cdot 2 \cdot a} \right) \right) = 8.999 \Omega$$

**2.4 CONDUCTOR horizontal en ESTRELLA DE CUATRO PUNTAS**, con longitud total B (b por brazo), radio a, enterrado a una profundidad S (s/2) en un terreno de resistividad  $\rho$ .

$$\begin{array}{l}
 B = 20 \text{ m} \\
 a = 0.006 \text{ m} \\
 S = 0.5 \text{ m} \\
 \rho = 100 \Omega \cdot \text{m} \\
 b = 5 \text{ m}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{H.B.Dwight [6.1]} \\
 s := 2 \cdot S \\
 b := \frac{B}{4}
 \end{array}
 \quad
 \frac{\rho}{8 \cdot \pi \cdot b} \cdot \left( \ln \left( 2 \cdot \frac{b}{a} \right) + \ln \left( 2 \cdot \frac{b}{s} \right) + 2.912 - 1.071 \cdot \frac{s}{b} + 0.645 \cdot \frac{s^3}{b^3} - 0.145 \cdot \frac{s^4}{b^4} \right) = 9.835 \Omega$$

Tabla C.1 NMX-J-549-ANCE-2005 [6.6]

$$\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot B} \cdot \left( \ln \left( \frac{B^2}{0.217 \cdot S \cdot 2 \cdot a} \right) \right) = 10.004 \Omega$$

**2.5 CONDUCTOR horizontal en ESTRELLA DE SEIS PUNTAS**, con longitud total B (b por brazo), radio a, enterrado a una profundidad S (s/2) en un terreno de resistividad  $\rho$ .

$$\begin{array}{l}
 B = 20 \text{ m} \\
 a = 0.006 \text{ m} \\
 S = 0.5 \text{ m} \\
 \rho = 100 \Omega \cdot \text{m} \\
 b = 3.333 \text{ m}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{H.B.Dwight [6.1]} \\
 s := 2 \cdot S \\
 b := \frac{B}{6}
 \end{array}
 \quad
 \frac{\rho}{12 \cdot \pi \cdot b} \cdot \left( \ln \left( 2 \cdot \frac{b}{a} \right) + \ln \left( 2 \cdot \frac{b}{s} \right) + 6.851 - 3.128 \cdot \frac{s}{b} + 1.758 \cdot \frac{s^3}{b^3} - 0.409 \cdot \frac{s^4}{b^4} \right) = 11.779 \Omega$$

Tabla C.1 NMX-J-549-ANCE-2005 [6.6]

$$\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot B} \cdot \left( \ln \left( \frac{B^2 \cdot 10^3}{9.42 \cdot S \cdot 2 \cdot a} \right) \right) = 12.5 \Omega$$

**2.6 CONDUCTOR** horizontal en ESTRELLA DE OCHO PUNTAS, con longitud total B (b por brazo), radio a, enterrado a una profundidad S (s/2) en un terreno de resistividad  $\rho$ .

B = 20 m  
a = 0.006 m  
S = 0.5 m  
 $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$   
b = 2.5 m

*H.B.Dwight [6.1]*       $s := 2 \cdot S$        $b := \frac{B}{8}$

$$\frac{\rho}{16 \cdot \pi \cdot b} \cdot \left( \ln \left( 2 \cdot \frac{b}{a} \right) + \ln \left( 2 \cdot \frac{b}{s} \right) + 10.98 - 5.51 \cdot \frac{s}{b} + 3.26 \cdot \frac{s^3}{b^3} - 1.17 \cdot \frac{s^4}{b^4} \right) = 13.707 \Omega$$

Tabla C.1 NMX-J-549-ANCE-2005 [6.6]

$$\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot B} \cdot \left( \ln \left( \frac{B^2 \cdot 10^4}{2.69 \cdot S \cdot 2 \cdot a} \right) \right) = 15.33 \Omega$$

**2.7 CONDUCTOR** horizontal de radio a, en círculo de diámetro D, enterrado a una profundidad S (s/2) en un terreno de resistividad  $\rho$ .

D = 10 m  
a = 0.006 m  
S = 0.5 m  
 $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$

*H.B.Dwight [6.1]*       $s := 2 \cdot S$

$$\frac{\rho}{4 \cdot \pi^2 \cdot D} \cdot \left( \ln \left( 8 \cdot \frac{D}{a} \right) + \ln \left( 4 \cdot \frac{D}{s} \right) \right) = 3.324 \Omega$$

**3. CABLES EN CEMENTO CONDUCTOR**  
Ver: [www.sankosha-usa.com/calc4.asp](http://www.sankosha-usa.com/calc4.asp)

**3.1 CONTRA-ANTENA** de B metros de largo totales y un ancho w, enterrado a una profundidad S, en un terreno de resistividad  $\rho$ . Uso: Antenas de RF

B = 20 m  
w = 0.5 m  
S = 0.5 m  
 $\rho = 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$

*C.L. Hallmark [6.4]*

$$\frac{\rho}{2.73 \cdot B} \cdot \log \left( 2 \cdot \frac{B^2}{S \cdot w} \right) = 6.42 \Omega$$

**3.2 CONTRA-ANTENA** de B metros de largo totales repartidos en DOS BRAZOS A 90 GRADOS, y un ancho w, enterrado a una profundidad S, en un terreno de resistividad ρ. Uso: Antenas de RF

B = 20 m

w = 0.5 m

S = 0.5 m

ρ = 100 ohm·m

*C.L. Hallmark [6.4]*

$$\frac{\rho \cdot 1.03}{2.73 \cdot B} \cdot \log\left(2 \cdot \frac{B^2}{S \cdot w}\right) = 6.612 \Omega$$

**3.3 CONTRA-ANTENA** de B metros de largo totales repartidos en DOS BRAZOS EN PARALELO, con una separación g entre ellos, y un ancho w, enterrado a una profundidad S, en un terreno de resistividad ρ. Uso: Antenas de RF

B = 20 m

w = 0.5 m

S = 0.5 m

ρ = 100 ohm·m

g = 5 m

*Sankosha [6.7]*

$$\frac{\rho}{2.73 \cdot B} \cdot \left( \log\left(\frac{B^2}{2 \cdot S \cdot w}\right) + \log\left(\frac{B}{g}\right) \right) = 6.42 \Omega$$

**3.4 CONTRA-ANTENA** de B metros de largo totales repartidos en DOS BRAZOS EN CRUZ, de un ancho w, enterrado a una profundidad S, en un terreno de resistividad ρ. Uso: Antenas de RF

B = 20 m

w = 0.5 m

S = 0.5 m

ρ = 100 ohm·m

*Sankosha [6.7]*

$$\frac{\rho \cdot 1.12}{2.73 \cdot B} \cdot \log\left(2 \cdot \frac{B^2}{S \cdot w}\right) = 7.19 \Omega$$

**3.5 CONTRA-ANTENA** de B metros de largo totales repartidos en TRES BRAZOS DE IGUAL LONGITUD, y un ancho w, enterrado a una profundidad S, en un terreno de resistividad ρ. Uso: Antenas de RF

B = 20 m

w = 0.5 m

S = 0.5 m

ρ = 100 ohm·m

*C.L. Hallmark [6.4]*

$$\frac{\rho \cdot 1.06}{2.73 \cdot B} \cdot \log\left(2 \cdot \frac{B^2}{S \cdot w}\right) = 6.805 \Omega$$

**3.6** CONTRA-ANTENA de B metros de largo totales repartidos en CUATRO BRAZOS DE IGUAL LONGITUD, y un ancho w, enterrado a una profundidad S, en un terreno de resistividad  $\rho$ . Uso: Antenas de RF

$$B = 20 \text{ m}$$

$$w = 0.5 \text{ m}$$

$$S = 0.5 \text{ m}$$

$$\rho = 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$$

*C.L. Hallmark [6.4]*

$$\frac{\rho \cdot 1.12}{2.73 \cdot B} \cdot \log\left(2 \cdot \frac{B^2}{S \cdot w}\right) = 7.19 \Omega$$

**3.7** CONTRA-ANTENA de B metros de largo totales repartidos en SEIS BRAZOS DE IGUAL LONGITUD, y un ancho w, enterrado a una profundidad S, en un terreno de resistividad  $\rho$ . Uso: Antenas de RF

$$B = 20 \text{ m}$$

$$w = 0.5 \text{ m}$$

$$S = 0.5 \text{ m}$$

$$\rho = 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$$

*C.L. Hallmark [6.4]*

$$\frac{\rho \cdot 1.42}{2.73 \cdot B} \cdot \log\left(2 \cdot \frac{B^2}{S \cdot w}\right) = 9.116 \Omega$$

**3.6** CONTRA-ANTENA de B metros de largo totales repartidos en OCHO BRAZOS DE IGUAL LONGITUD, y un ancho w, enterrado a una profundidad S, en un terreno de resistividad  $\rho$ . Uso: Antenas de RF.

$$B = 20 \text{ m}$$

$$w = 0.5 \text{ m}$$

$$S = 0.5 \text{ m}$$

$$\rho = 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$$

*C.L. Hallmark [6.4]*

$$\frac{\rho \cdot 1.65}{2.73 \cdot B} \cdot \log\left(2 \cdot \frac{B^2}{S \cdot w}\right) = 10.592 \Omega$$

#### 4. MALLAS SIN VARILLAS

**4.1 MALLA** consistente en un conductor de longitud total B enterrado a S m, encerrando una área de A m<sup>2</sup> de terreno con una resistividad ρ. Uso: Subestaciones.

<p>B = 20 m</p> <p>A = 600 m<sup>2</sup></p> <p>S = 0.5 m</p> <p>ρ = 100 Ω·m</p>	<p>Para S &lt; 0.25 m</p> <p style="text-align: center;"><i>Laurent-Niemann [6.2]</i></p> <p>Para 0.25 m &lt; S &lt; 2.5 m</p> <p style="text-align: center;"><i>J.G. Sverak [6.2]</i></p>	$\frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{B} = 6.809 \Omega$ $\rho \cdot \left[ \frac{1}{B} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{1 + S \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] = 6.749 \Omega$
--	--	---

**4.2 MALLA DE UN CUADRADO** de L1 metros de lado, con conductor de radio a, enterrado a una profundidad S en un terreno con una resistividad ρ. Uso: Subestaciones.

<p>L1 = 20 m</p> <p>a = 0.006 m</p> <p>S = 0.5 m</p> <p>ρ = 100 Ω·m</p>	<p style="text-align: center;">s := 2 · S</p> <p style="text-align: center;"><i>Seidman [6.5]</i></p>	$\frac{\rho}{0.2061 \cdot L1} \cdot \left( 0.0304 - 0.0083 \cdot \ln \left( a \cdot \frac{s}{L1^2} \right) \right) = 2.961 \Omega$
---	---	--

**4.3 MALLA** de L1 metros de lado, DE CUATRO CUADRADOS, con conductor de radio a, enterrado a una profundidad S en un terreno con una resistividad ρ. Uso: Subestaciones.

<p>L1 = 20 m</p> <p>a = 0.006 m</p> <p>S = 0.5 m</p> <p>ρ = 100 Ω·m</p>	<p style="text-align: center;">s := 2 · S</p> <p style="text-align: center;"><i>Seidman [6.5]</i></p>	$\frac{\rho}{0.2061 \cdot L1} \cdot \left( 0.0475 - 0.0054 \cdot \ln \left( a \cdot \frac{s}{L1^2} \right) \right) = 2.599 \Omega$
---	---	--

**4.4 MALLA** de L1 metros de lado, DE NUEVE CUADRADOS, con conductor de radio a, enterrado a una profundidad S en un terreno con una resistividad ρ. Uso: Subestaciones.

<p>L1 = 20 m</p> <p>a = 0.006 m</p> <p>S = 0.5 m</p> <p>ρ = 100 Ω·m</p>	<p style="text-align: center;">s := 2 · S</p> <p style="text-align: center;"><i>Seidman [6.5]</i></p>	$\frac{\rho}{0.2061 \cdot L1} \cdot \left( 0.05 - 0.0043 \cdot \ln \left( a \cdot \frac{s}{L1^2} \right) \right) = 2.365 \Omega$
---	---	--



## 5. MALLAS CON VARILLAS

**5.1 MALLA** consistente en el largo combinado B de conductor y varillas, enterrado todo a S m de profundidad, encerrando una área de A m<sup>2</sup> de terreno con una resistividad  $\rho$ . Uso: Subestaciones.

$$B = 20 \text{ m}$$

$$A = 600 \text{ m}^2$$

$$S = 0.5 \text{ m}$$

$$\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$$

Para  $S < 0.25 \text{ m}$

$$\text{Laurent-Niemann [6.2]} \quad \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{B} = 6.809 \Omega$$

Para  $0.25 \text{ m} < S < 2.5 \text{ m}$

*J.G. Sverak [6.2]*

$$\rho \cdot \left[ \frac{1}{B} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{1 + S \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] = 6.749 \Omega$$

**5.2 MALLA** de área A, enterrada a una profundidad S, EN UN TERRENO DE UNA CAPA de resistividad  $\rho$ .

Las varillas electrodo tienen un largo L y radio r, con su parte superior también a la profundidad S. La suma de las longitudes de los conductores de radio a, sin las n varillas electrodo es B. El lado más corto es L1 y el lado más largo es L2.

$$A = 600 \text{ m}^2$$

$$S = 0.5 \text{ m}$$

$$\rho = 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$r = 0.008 \text{ m}$$

$$a = 0.006 \text{ m}$$

$$B = 20 \text{ m}$$

$$n = 6$$

$$L1 = 20 \text{ m}$$

$$L2 = 30 \text{ m}$$

*Schwarz [6.2]*

Constantes de Geometría para una profundidad  $S < 0.1 \cdot \sqrt{A} = 2.449 \text{ m}$

$$K1 := -0.05 \cdot \frac{L2}{L1} + 1.2$$

$$K1 = 1.125$$

$$K2 := 0.1 \cdot \frac{L2}{L1} + 4.68$$

$$K2 = 4.83$$

Resistencia de los conductores de la malla (R1)

$$R1 := \frac{\rho}{\pi \cdot B} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot B}{\sqrt{2 \cdot a \cdot S}} \right) + \frac{K1 \cdot B}{\sqrt{A}} - K2 \right)$$

$$R1 = 3.666 \Omega$$

Resistencia de todas las varillas electrodo (R2)

$$R2 := \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot L} \left[ \ln \left( \frac{4 \cdot L}{r} \right) - 1 + \frac{2 \cdot K1 \cdot L}{\sqrt{A}} \cdot (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

$$R2 = 6.094 \Omega$$

Resistencia Mutua (Rm) entre conductores y varillas electrodo

$$R_m := \frac{\rho}{\pi \cdot B} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot B}{L} \right) + \frac{K1 \cdot B}{\sqrt{A}} - K2 + 1 \right) \quad R_m = -0.511 \Omega$$

### Resistencia Total del Sistema

$$\frac{R1 \cdot R2 - R_m^2}{R1 + R2 - 2 \cdot R_m} = 2.048 \Omega$$

**5.3 MALLA** de área A, enterrada a una profundidad S, EN UN TERRENO DE DOS CAPAS. La capa superficial tiene un espesor H y una resistividad superficial  $\rho_s$ . Las varillas electrodo tienen un largo L y su parte superior está también a la profundidad S. La suma de las longitudes de los conductores sin las varillas electrodo es B. La resistividad de la capa inferior donde está enterrada la malla es  $\rho$ . El lado más corto es L1 y el lado más largo es L2.

*Schwarz [6.2]*

$$A = 600 \text{ m}^2$$

$$S = 0.5 \text{ m}$$

$$\rho_s = 1 \times 10^4 \text{ ohm} \cdot \text{m}$$

$$\rho = 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$r = 0.008 \text{ m}$$

$$a = 0.006 \text{ m}$$

$$B = 20 \text{ m}$$

$$n = 6$$

$$L1 = 20 \text{ m}$$

$$L2 = 30 \text{ m}$$

Resistividad Aparente

$$\rho_a := L \cdot \rho \cdot \frac{\rho_s}{[\rho \cdot (H - S) + \rho_s \cdot (L + S - H)]} \quad \rho_a = 103.413 \Omega \cdot \text{m}$$

Constantes de Geometría para una profundidad  $S < 0.1 \cdot \sqrt{A} = 2.449 \text{ m}$

$$K1 := -0.05 \cdot \frac{L2}{L1} + 1.2 \quad K1 = 1.125$$

$$K2 := 0.1 \cdot \frac{L2}{L1} + 4.68 \quad K2 = 4.83$$

Resistencia de los conductores de la malla (R1). Nota: Es importante utilizar el valor de resistividad de la capa donde está la malla horizontal.

$$R1 := \frac{\rho}{\pi \cdot B} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot B}{\sqrt{2 \cdot a \cdot S}} \right) + \frac{K1 \cdot B}{\sqrt{A}} - K2 \right)$$

$$R1 = 3.666 \Omega$$

Resistencia de todas las varillas electrodo (R2)

$$R2 := \frac{\rho a}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot L} \left[ \ln \left( \frac{4 \cdot L}{r} \right) - 1 + \frac{2 \cdot K1 \cdot L}{\sqrt{A}} \cdot (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

$$R2 = 6.302 \Omega$$

Resistencia Mutua (Rm) entre conductores y varillas electrodo

$$Rm := \frac{\rho a}{\pi \cdot B} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot B}{L} \right) + \frac{K1 \cdot B}{\sqrt{A}} - K2 + 1 \right)$$

$$Rm = -0.529 \Omega$$

**Resistencia Total del Sistema**

$$\frac{R1 \cdot R2 - Rm^2}{R1 + R2 - 2 \cdot Rm} = 2.07 \Omega$$

## 6. REFERENCIAS

- [6.1] DWIGHT, H.B. *Calculation of Resistances to Ground*. AIEE Transactions vol 55. Dic 1936. págs. 1319-1328.
- [6.2] IEEE *Guide for Safety in AC Substation Grounding*. IEEE Std-80-2000.
- [6.3] RÜDENBERG, R. *Fundamental Considerations on Ground Currents*. Electrical Engineering. Ene 1945.
- [6.4] HALLMARK, C. L. Grounding Systems LLC. Graphite Sales, Inc.
- [6.5] SEIDMAN, A. *Handbook of Electric Power Calculations*. McGraw-Hill 1996.
- [6.6] NMX-J-549-ANCE-2005. Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas - Especificaciones, Materiales y Métodos de Medición. ANCE. 2005.
- [6.7] *San-Earth Technical Review - Practical Measures for Lowering Resistance to Grounding*. Sankosha Corp.

