

INFORME TÉCNICO DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL Y CÁLCULO MALLA EQUIPOTENCIAL DE MALLA DE M.T.

OBRA : **CESFAM VILLA ALEGRE TEMUCO.**
DIRECCIÓN : **ARGENTINA N° 0875, COMUNA DE VILLA ALEGRE
REGIÓN DE LA ARAUCANIA.**
POTENCIA TOTAL : **400 KVA.**

VICENTE GUAJARDO AGUIRRE
Ing. Ejec. Electricista

VICENTE GUAJARDO A.
ING. EJEC. ELECTRICISTA
AUT. S.E.C. CLASE "A"

1.- CONTENIDO

- DATOS GENERALES.
- NORMAS Y ESTÁNDARES.
- DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO EMPLEADO.
- CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.
- TABLA DE VALORES OBTENIDOS EN TERRENO.
- INTERPRETACIÓN DE CURVA GEOELECTRICA.
- GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENTRE CURVA PATRÓN Y DE TERRENO.
- CURVA MOONEY-ORELLANA.

DATOS GENERALES

CALCULISTA : VICENTE GUAJARDO AGUIRRE.
LIC. S.E.C.6.229.254-7 (A)

SONDEADO : CLAUDIO RAMIREZ SEPULVEDA.

CÁLCULO : KARLA VÁSQUEZ BALTIERRA.
kvasquezb@gelchile.cl

ESTADO DEL TIEMPO : NUBLADO.

TEMPERATURA AMB. : 10 ° C.

FECHA DE SONDEO : 25 DE JULIO DE 2020.

FECHA DE INFORME : 10 DE AGOSTO DE 2020.

CONTACTO : PEDRO QUINTANILLA.

SOLICITANTE : INGENEL INGENIERIA ELECTRICA.

NORMAS Y ESTÁNDARES

NCH ELEC. 4/2003 Instalaciones de consumo en Baja Tensión (CHILE).

NSEG 5 E.n. 7 Superintendencia de Electricidad y Combustibles (CHILE).

INN Instituto Nacional de Normalización (CHILE).

IEEE 80 Guía de Seguridad para Puesta a Tierra de Subestaciones de Corriente Alterna (USA).

IEEE Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (USA).

IEEE 81 Mediciones de Puestas a Tierra (USA).

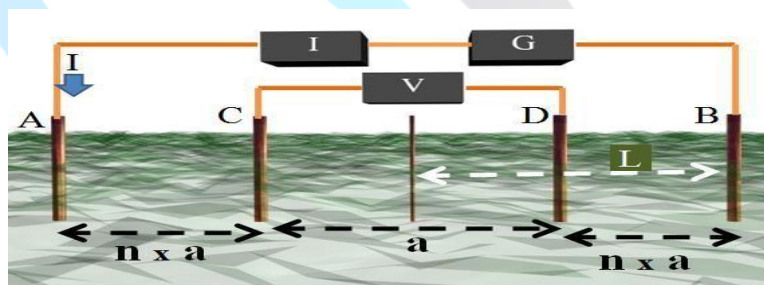
DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO EMPLEADO

Se empleó método de los cuatro (4) electrodos, en configuración de **SCHLUMBERGER**.

A_i : Separación del estrados fijos.

$D_{i/2}$: Distancia entre electrodo móvil y eje de medida (mts.)

$N_i * A_i$: Distancia entre electrodos móvil y fijo (mts.).



DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO



Modelo AEMC 6471 multifunción probador de resistencia de tierra es un instrumento de medición portátil diseñado para medir: la resistencia de tierra con 2 pinzas (sin barras auxiliares), vínculo/conexión de la resistencia (de 2 polos y 4 polos detección Kelvin), la resistencia del terreno (3 polos o 4 polos), la resistencia a tierra el acoplamiento y la resistencia de tierra selectiva, y la resistividad del terreno (Wenner o método de Schlumberger).

El modelo 6471 de AEMC medidas de 0,01 a 99,99 Ω y se escala automática, buscando automáticamente el rango de medición óptima, la frecuencia y la prueba actual. También es muy fácil de usar. Sólo tienes que conectar los cables, seleccionar el modo de prueba, pulse en "Inicio" y lea los resultados. Hasta 512 resultados de la prueba pueden ser almacenados en la memoria interna para su posterior recuperación a la pantalla o descargados a un PC mediante el software Data View.

El modelo 6471 de AEMC probador de resistencia se CATIV nominal de 50 V y está protegido contra sobre tensión es a más de 250 V de CA contra la conexión accidental a circuitos. La tensión también se muestra en la pantalla. En el caso de un fallo del sistema, el modelo 6471 puede soportar 250 V CA.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Centro de Instrumentación y Desarrollo Electrónico
Laboratorio de Calibración Magnitudes Eléctricas



SISTEMA NACIONAL
DE ACREDITACIÓN
Acreditación LC 067



FO-SC-17 v03

Certificado de Calibración : CCE 364-2020 Fecha de Emisión: 01 de MARZO de 2020 Página 1 de 5

Cliente : CLAUDIO MITCHEL RAMIREZ SEPULVEDA
Dirección : LAS ARTES N°1012, MAIPU - SANTIAGO
Descripción del ítem : MEDIDOR DE RESISTENCIA DE TIERRA
Marca : AEMC
Modelo : 6471
Serie / Código : 236598HHDV

| | | | |
|----------------------------|------------------|----------------|--------------------|
| Patrón utilizado | : DECADA | DECADA | MULTÍMETRO DIGITAL |
| Marca | : IET | IET | AGILENT |
| Modelo | : RS-201W-2W | RS-RTD | 34410A |
| Serie | : D2-01221808 | D2-01221807 | MY45002261 |
| Próxima calibración patrón | : Diciembre 2020 | Diciembre 2020 | Diciembre 2020 |
| Certificado emitido por | : CIDE USACH | CIDE USACH | CIDE USACH |
| Trazabilidad | : LCPN-ME (UdeC) | LCPN-ME (UdeC) | LCPN-ME (UdeC) |

Lugar de la calibración : CIDE-USACH, Alameda N° 3363, Estación Central - Santiago
Condiciones ambientales : $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ / $(45 \pm 25) \% \text{HR}$
Método de calibración : Comparación directa con patrones de referencia, según procedimiento PR-CA-31 v01
Fecha de calibración : 01 de MARZO de 2020


Los resultados expresados en el presente certificado de calibración son válidos solo para el instrumento identificado y para las condiciones establecidas en el momento de la calibración y que son documentadas en el presente certificado de calibración.

Los patrones utilizados en la presente calibración son trazables a patrones nacionales o internacionales, de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades SI.

La incertidumbre informada ha sido estimada multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. El valor del mensurando se encuentra dentro del intervalo indicado de valores con una probabilidad del 95%.

Los laboratorios de calibración CIDE-USACH, se encuentran acreditados por el Sistema Nacional de Acreditación, bajo la norma NCH-ISO/IEC 17025:2017 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración".

El CIDE no asume responsabilidades por daños posteriores a la calibración, ocasionados por el mal empleo del instrumento.


Roberto Figueroa Muñoz
Jefe Laboratorio Calibración


Flavio Torres Yáñez
Responsable Técnico

TABLA DE VALORES

| Med. Nro. | a | N*A | Di/2 | R | Ro |
|-----------|---|-------|-------|-------|---------|
| 1 | 1 | 0,50 | 1,00 | 36,78 | 86,661 |
| 2 | 1 | 1,00 | 1,50 | 18,77 | 117,935 |
| 3 | 1 | 1,50 | 2,00 | 9,63 | 113,451 |
| 4 | 1 | 2,50 | 3,00 | 4,14 | 113,804 |
| 5 | 1 | 3,50 | 4,00 | 2,28 | 112,815 |
| 6 | 1 | 4,50 | 5,00 | 1,41 | 109,634 |
| 7 | 1 | 5,50 | 6,00 | 0,97 | 108,943 |
| 8 | 1 | 7,50 | 8,00 | 0,50 | 100,138 |
| 9 | 1 | 9,50 | 10,00 | 0,32 | 100,280 |
| 10 | 1 | 11,50 | 12,00 | 0,23 | 103,869 |
| 11 | 1 | 14,50 | 15,00 | 0,16 | 112,972 |
| 12 | 1 | 19,50 | 20,00 | 0,10 | 125,585 |
| 13 | 1 | 24,50 | 25,00 | 0,07 | 137,390 |
| 14 | 1 | 29,50 | 30,00 | 0,04 | 113,066 |

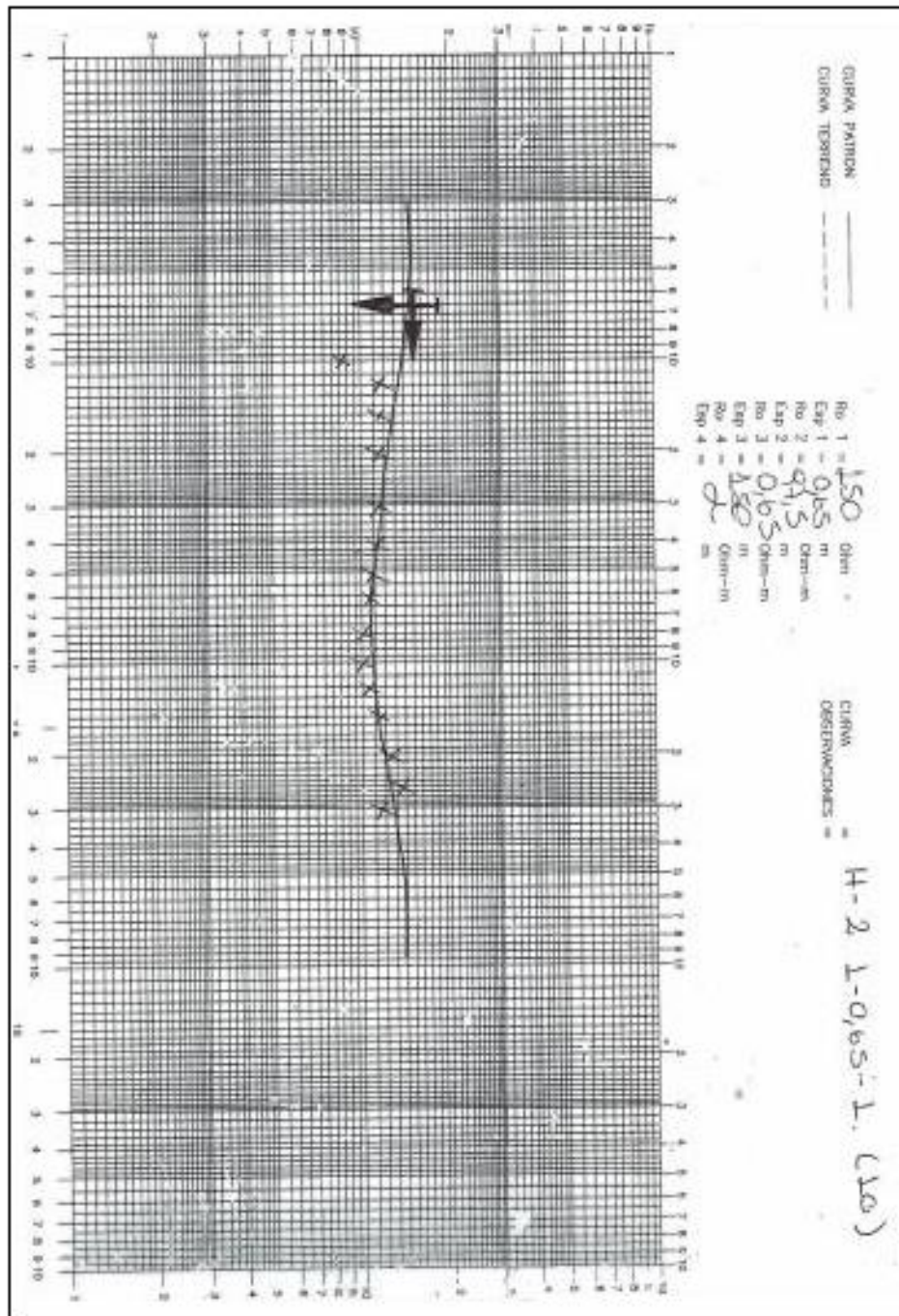
$$\text{Rho} = \pi \times n \times (n + 1) \times a \times R$$

INTERPRETACION DE LA CURVA GEOLECTRICA

Del análisis comparativo entre las Curvas Patrones de MOONEY-ORELLANA y curva de terreno se obtiene como resultado la siguiente configuración Geo-eléctrica.

| CONFIGURACION | H-2 | 1-0,65-5 | C A P A S (1 0) |
|---------------|--------------|--------------------|-------------------|
| CAPA Nro. 1: | Resistividad | = 150.00 [OHM*MTR] | |
| | Profundidad | = 0.65 [MTR] | |
| CAPA Nro. 2: | Resistividad | = 97.50 [OHM*MTR] | |
| | Profundidad | = 0.65 [MTR] | |
| CAPA Nro. 3: | Resistividad | = 150.00 [OHM*MTR] | |
| | Profundidad | = INFINI [MTR] | |

GRAFICO DE COMPARACION ENTRE CURVA PATRON Y DE TERRENO



SHEET LAMINA 2

H-1

1-0.65-0.8

10 100

0.8 0.65

0 0.1 0.3 0.7 1 2 3 5 10 15 25 ∞

H-2

1-0.65-1

10 100

0.65 0.2 0.3 0.5 0.7 1 2 3 5 10 15 25 ∞

H-3

1-0.65-5

5 10 100

0.65 0.1 0.2 0.3 0.5 0.7 1 2 3 5 10 15 25 ∞

H-4

1-0.65-∞

10 100

0.65 0.1 0.2 0.3 0.5 0.7 1 2 3 5 10 15 25 ∞

$E_1 = 1; A_1 = 1; E_2 = \infty$

THREE-LAYER CURVES-CURVAS DE TRES CAPAS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO DE UNA MALLA A TIERRA PARA LA PUESTA A TIERRA CON UNA SUBESTACIÓN PARTICULAR.

LA MALLA SERA PROYECTADA DE TAL FORMA QUE EN CASO DE FALLA EXISTAN LOS GRADIENTES DE POTENCIAL SEGUROS DENTRO DEL TIEMPO MÁXIMO DE 0,1 SEGUNDO.

SE CALCULARÁ MALLA EQUIPOTENCIAL PARA M.T. CON UNA POTENCIA TOTAL DE LA SUBESTACION **400 KVA.**

CALCULO PARA MALLA DE M.T.

1.- CONFIGURACIÓN GEO-ELECTRICA DEL TERRENO.

PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO : 0,6 m.
NUMERO DE CAPAS : 3

CÁLCULO DEL R0 EQUIVALENTE

El valor de la resistividad equivalente, se determinará utilizando el método de Burgsdorf - Jacobs, el cual establece que el valor de la resistividad equivalente de un terreno (ρ_e) está dado por la siguiente expresión:

$$\rho_e = \frac{1}{\frac{1}{\rho_1} \times (F_1 - F_0) + \frac{1}{\rho_2} \times (F_2 - F_1) + \frac{1}{\rho_3} \times (F_3 - F_2)}$$

Radio equivalente de la malla:

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Donde:

- r: Radio medio o equivalente de la malla (m).
- s: Superficie de la puesta a tierra (m²)

Valores Intermedios Variable auxiliar r_0^2 y q_0^2 de la malla:

$$r_0^2 = (r)^2 - (h)^2 \quad q_0^2 = 2 \times r \times (r + h)$$

$$V_{(1)}^2 = \frac{1}{2} \times \left(u_{(1)} - \sqrt{(u_{(1)}^2)^2 - 4 \times q_0^2 \times r^2} \right)$$

$$V_{(2)}^2 = \frac{1}{2} \times \left(u_{(2)} - \sqrt{(u_{(2)}^2)^2 - 4 \times q_0^2 \times r^2} \right)$$

$$V_{(3)}^2 = \frac{1}{2} \times \left(u_{(3)} - \sqrt{(u_{(3)}^2)^2 - 4 \times q_0^2 \times r^2} \right)$$

PARA UN TERRENO DE TRES ESTRATOS:

$$F_1 = \sqrt{1 - \frac{v^2(1)}{r^2(0)}}$$

$$F_2 = \sqrt{1 - \frac{v^2(2)}{r^2(0)}}$$

$$F_3 = \sqrt{1 - \frac{v^2(3)}{r^2(0)}}$$

Reemplazando los valores de las resistividades y profundidades de los estratos presentes, obtenidos mediante el estudio geo-eléctrico del suelo, la ecuación anteriormente descrita.

Se obtiene el siguiente resultado:

$$\mathbf{R_o \text{ Equiv.} = 140,28 \text{ ohms-m}}$$

CÁLCULO DE SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR

El IEEE Std. 80-1976, Guide for Safety in Substation Grounding, la norma aceptada por la industria eléctrica, usa la ecuación de Onderdonk como base para seleccionar el mínimo tamaño del conductor que se funda bajo condiciones de falla.

Para conductores de cobre esta ecuación es:

$$S_{MIN} = \frac{I_F}{1973 \times \sqrt{\frac{\log_{10} \left(\frac{T_m - T_A}{234 + T_A} + 1 \right)}{33 \times Top}}}$$

S = Sección del conductor en mm².

If = Intensidad máxima de cortocircuito que se espera alcance o recorra la toma de tierra

Top= Tiempo en segundos que dura la circulación de la intensidad anterior 0,5 Seg.

Tm = Temperatura máxima admisible en el conductor en ° C, por efectos de seguridad se consideran 450° C para mallas con uniones soldadas (Reacción Exotérmica).

T_A = Temperatura ambiente de 10 ° C.

| | | | |
|----------------------------|---|---------|-----------------|
| Mínima Sección S/Onderdonk | = | 2,99 | mm ² |
| Diámetro del conductor | = | 0,00654 | m |

Considerando eventuales problemas de corte accidental por esfuerzo mecánico ante fallas; la sección mínima que se deberá utilizarse es la inmediatamente superior, o sea:

33,6mm² - 2 AWG.

2.- NIVELES DE CORTOCIRCUITO PROPUESTOS.

| | | | |
|--------------------|---|-------|------|
| I _{CC 1f} | = | 3.500 | Amp. |
| I _{CC 3f} | = | 4.500 | Amp. |

| | | | |
|--------------|---|------|------|
| T. op. | = | 0,30 | Seg. |
| Tensión A.T. | = | 12 | kv. |
| Tensión B.T. | = | 380 | V |
| Impedancia | = | 4 | % |

3.- DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA DE MALLA.

| Tipo de Unión | EXOTERMICA | |
|--|------------|----------|
| Cantidad de Barras | = | 1 un. |
| Tiempo mínimo de operación De la protección | = | 0,3 seg. |
| Lado mayor de la malla (A) | = | 8 m. |
| Lado menor de la malla (B) | = | 6 m. |
| Relación A/B | = | 1,3 |
| Largo del conductor | = | 62 m. |
| Superficie de la malla | = | 48 m. |

4.- CÁLCULO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Resistencia de Malla Método de Schwarz Para el cálculo de la resistencia de la malla se establece que la resistencia de una malla está dada por las siguientes expresiones:

$$R_M = \frac{\rho_e}{\pi \times L} \times \left[\ln \left(\frac{2 \times L}{\sqrt{h \times d}} \right) + \frac{K_1 \times L}{\sqrt{S}} - K_2 \right] [\Omega]$$

COEFICIENTES DE IRREGULARIDAD DE MALLA.

$$K_1 = 1,43 - \frac{2,3 \times h}{\sqrt{S}} - 0,044 \times \left[\frac{A}{B} \right]$$

$$K_2 = 5,5 - \frac{8 \times h}{\sqrt{S}} + \left\{ 0,15 - \frac{h}{\sqrt{S}} \right\} \times \left[\frac{A}{B} \right]$$

$$K_1 = 1,17$$

$$K_2 = 4,89$$

Donde:

- ρ_e Resistencia equivalente del terreno ($\Omega \cdot m$)
- L largo total del conductor de la malla (m)
- H Profundidad de enterramiento de la malla (m)
- S Área total de la malla (m^2)
- A Lado mayor del reticulado (m)
- B Lado menor del reticulado (m)

Aplicando el cálculo para malla rectangular reticulada, se determinó el siguiente valor:

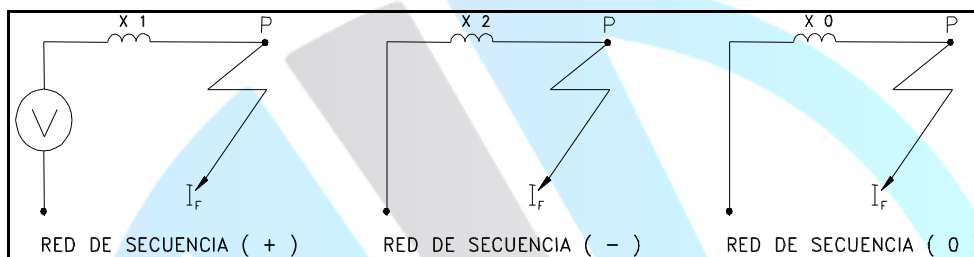
Resistencia de Malla = 9,49 ohms.

5.-ESQUEMA DE MALLA. (VER DETALLE ADJUNTO)

6.- CÁLCULO DE COMPONENTES DE SECUENCIA

El cálculo de los valores de las componentes de secuencia se realizó a través de las siguientes ecuaciones:

Esquema de las redes de secuencia



$$X_1 = \frac{V}{\sqrt{3} \times I_{CC3\phi}}$$

$$X_2 = X_1$$

$$X_0 = \frac{3 \times V}{\sqrt{3} \times I_{CC1\phi}} - [X_1 + X_2]$$

- DETERMINACIÓN DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA

$$X_1 = 1,540 \text{ ohms}$$

$$X_2 = 1,540 \text{ ohms}$$

$$X_0 = 2,859 \text{ ohms}$$

7.- CÁLCULO CORRIENTE DE FALLA REAL

Para determinar el valor de la corriente de falla real, se utiliza los valores de la resistencia de puesta a tierra obtenida, se aplicará la siguiente expresión:

$$I_F = \frac{3 \times V}{\sqrt{3} \times \sqrt{(3 \times R_M)^2 + (X_0 + X_1 + X_2)^2}}$$

- **PROTECCIÓN DE RESPALDO**

$$I_{cc\ 1\ f} = 714,670 \text{ Amp.}$$

$$\begin{aligned} \text{Top OPERACIÓN} &= 0,011 \text{ Seg.} \\ \text{FACTOR DECRECIMIENTO} &= 1,69 \end{aligned}$$

ASIMETRIA DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

Esta asimetría inicial se origina en la presencia de reactancias inductivas en el circuito de falla, lo que hace que el circuito se comporte como si existiera una componente de Corriente Continua en la corriente de falla.

Esta componente continua desaparece más o menos rápidamente dependiendo de la relación X/R .

El efecto práctico que esta situación acarrea es que las protecciones deben dimensionales para corriente de fallas asimétricas y como los cálculos nos entregan el valor simétrico se han establecido factores de asimetría en función de la relación X/R .

Como no es fácil establecer la razón exacta X/R , se acostumbra emplear factores de asimetría típica para distintos puntos de un sistema.

En la tabla adjunta se muestran valores típicos de valores de decrementos.

Para tiempos de fallas intermedios los factores respectivos se pueden obtener por interpolación lineal.

T A B L A

| Tiempo de falla s | Factor D |
|----------------------|-------------|
| 0,01 | 1,7 |
| 0,02 | 1,62 |
| 0,04 | 1,5 |
| 0,08 | 1,32 |
| 0,1 | 1,25 |
| 0,25 | 1,1 |
| 0,5 o más | 1,0 |

- 7.- LONGITUD MÍNIMA DEL CONDUCTOR, PARA CONTROLAR LAS GRADIENTES DE POTENCIALES.

$$K_m = 0,512$$

$$K_i = 1,340$$

Ro de Capa de contacto = 3000 ohm-m (Gravilla 0,15 m)

Factor de reducción de Ro de capa de contacto = 0,75

Lmin. = 20,470 mt.

GRADIENTES DE POTENCIAL

USANDO LOS DATOS PROVENIENTES DE LA PROTECCIÓN DE RESPALDO Y RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL DE LA ZONA DONDE ESTA LA MALLA.

8.- CÁLCULO DE GRADIENTES DE POTENCIAL.

• **CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE MALLA**

$$V_M = \frac{K_M * K_i * \rho_e * I_{f1\phi} * F_D}{L_M}$$

$$V_m = 1873,330 \text{ V.}$$

• **CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE PASO EN LA PERIFERIA**

$$V_{PP} = \frac{K_S * K_i * \rho_e * I_{f1\phi} * F_D}{L_M}$$

$$V_{pp} = 1867,546 \text{ V.}$$

$$(K_S = 0,51)$$

9.- CÁLCULO DE GRADIENTES DE POTENCIAL MÁXIMAS ADMISIBLES

• **CÁLCULO DE LA Tensión DE CONTACTO ADMISIBLE**

$$V_C = \frac{116 + 0,174 * C_s * \rho_s}{M * \sqrt{t}}$$

$$V_c = 5673,102 \text{ V.}$$

• **CÁLCULO DE LA Tensión DE PASO**

$$V_P = \frac{116 + 0,696 * C_s * \rho_s}{M * \sqrt{t}}$$

$$V_p = 18888,094 \text{ V.}$$

NOTA: EL TIEMPO DE OPERACIÓN REAL ES DE 0,10 SEGUNDOS, SE LE HA APLICADO UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 3.

10.- CONDICIONES DE SEGURIDAD.
DEBE CUMPLIRSE QUE:

$$V_m \leq V_c \quad \text{y} \quad V_{pp} \leq V_p$$

$$V_m = 1873,330 \text{ V.}$$

$$V_c = 5673,102 \text{ V.}$$

$$V_{pp} = 1867,546 \text{ V.}$$

$$V_p = 18888,094 \text{ V.}$$

11.- EN DEFINITIVA, MALLA INDICADA CUMPLE CON LAS CONDICIONES FIJADAS DE TIEMPO DE OPERACIÓN DE PROTECCIONES Y DE GRADIENTES PERMISIBLES. ESTA MALLA SE DEBE UBICARSE CON UNA CAPA DE 0,15 MTS. DE ESPESOR DE GRAVILLA O CHANCADO, SALIENDO 1 MTS. AL EXTERIOR, A FIN DE LIMITAR LAS GRADIENTES SUPERFICIALES.

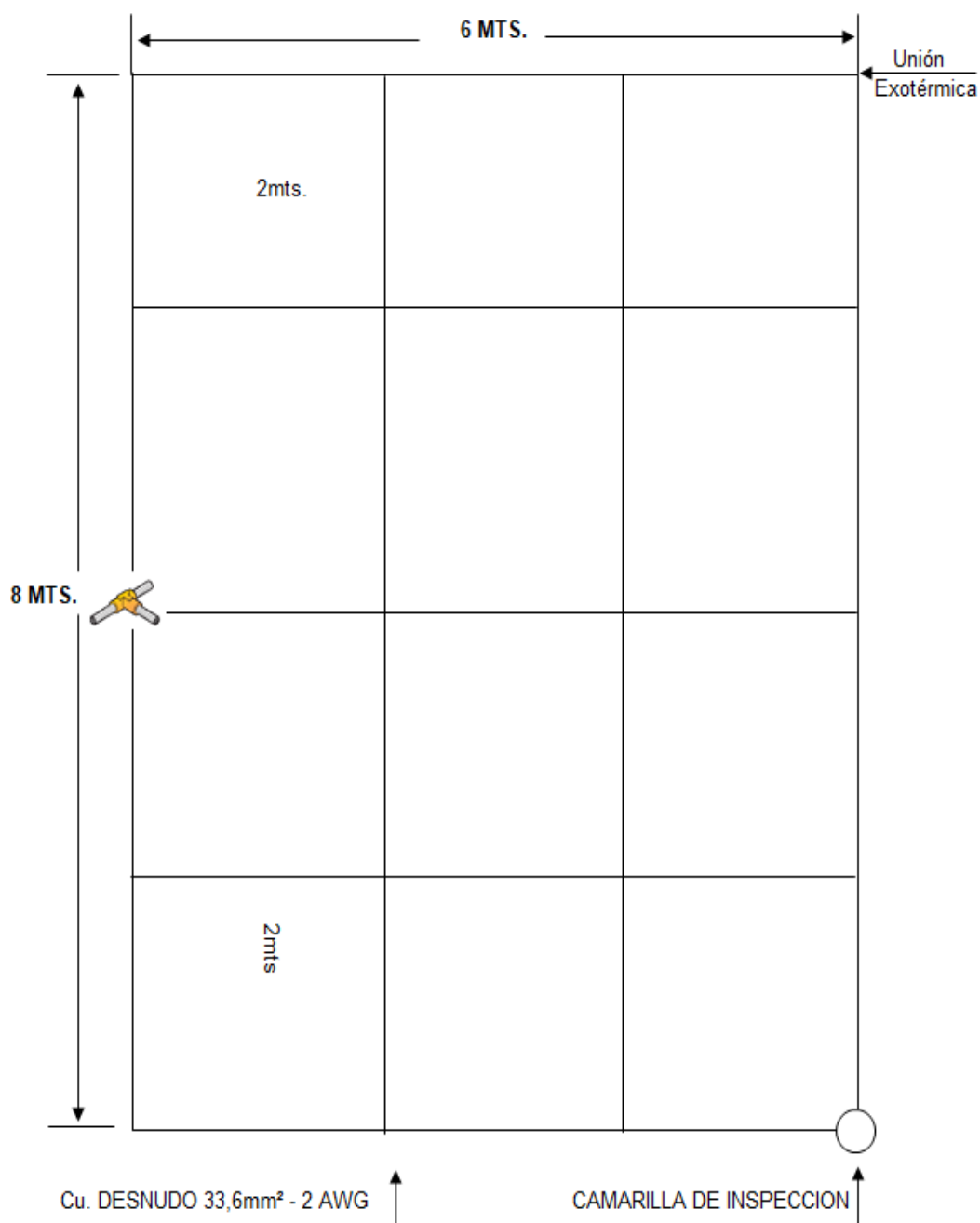
NOTA:

- Estos valores son teóricos en terreno Pueden Variar se recomienda efectuar la malla de la Forma indicada sin modificaciones ni de tamaño, sección además se debe de realizar una Medición de Resistencia para corroborar su resistencia.

CONCLUSIÓN:

Se determina, el análisis realizado a través de los cálculos interpretados en este informe, nos indica que el valor de resistencia del sistema de puesta a tierra propuesto es inferior al máximo permitido; por lo tanto, el diseño de la malla y su sección cumple con las condiciones exigidas por la normativa eléctrica vigente NCH Elec 4/2003.

ESQUEMA DE MALLA DE M. T.



REGISTRÓ FOTOGRÁFICO:



