
CÁLCULO Y DISEÑO MALLA TIERRA

BAJA TENSIÓN PROYECTO ELÉCTRICO ESCUELA ISLA DE PASCUA PENCO

Región : VIII Región del Bio Bio
Lugar malla : Calle La Heras Nº 485
Escuela : D 598 Penco
Rut. : 69.150.501 - 4
Dir. DEM : Calle Maipú Nº 209
Teléfono : 56 - 41 - 226 1308

Realizado por:
Claudio Mora Barriento - Ingeniero Eléctrico
13/06/2016

Ante cualquier consulta comunicarse al fono 82303028
cmora.mallatierra@gmail.com

TABLA CONTENIDO

ITEM	CONTENIDO	PÁGINA
1	INTRODUCCIÓN	4
1.1.	Objetivos de la puesta a tierra de Baja Tensión de la Escuela D 598 Penco.	4
1.2.	Elementos a ser enterrados	4
1.3.	Implementación de este sistema a tierra	5
1.4.	Alcance del documento	5
1.5.	Recursos disponibles	5
1.6.	Metodología	5
2.	MODELADO DEL TERRENO	6
2.1.	Medición de Resistividad de Terreno	6
2.2.	Materiales y herramientas usadas para medición de resistividad terreno	7
2.3.	Tabla con valores de resistencia de terreno y resistividad Aparente	7
2.4.	Interpretación de una curva de campo mediante las curvas patrón	8
2.5.	Curva de campo obtenida en terreno en Calle La Heras N° 485 para el	8
2.6.	Resistividad aparente y espesores de los estratos de terreno de campo	9
2.7.	Parámetros de la malla tierra	10
3.	ELECCIÓN DEL CONDUCTOR	10
3.1.	Materiales empleados y corrosión	10
3.2.	Dimensionado del conductor	11
3.3.	Onderdonk	11
3.4.	Conductor aislado Tp y Ts	12
4.	DISEÑO PREELIMINAR DE LA MALLA	12
5.	MALLA TIERRA PROPUESTA	13
5.1.	Vista aérea malla propuesta.	13
5.2.	Vista lateral malla propuesta.	13

6.	CALCULO RESISTENCIA MALLA	14
6.1.	Corto circuito en Baja Tensión	14
6.2.	Impedancias del sistema eléctrico en (pu)	15
6.3.	Sistema eléctrico simplificado en (pu)	15
7.	CONCLUSIÓN	16
8.	ANEXO	17

1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de puesta a tierra, contribuyen de forma importante a la protección y el buen funcionamiento de los sistemas de energía eléctrica. Prácticamente todos los equipos eléctricos y electrónicos necesitan estar conectados a una red de puesta a tierra.

El presente informe, entrega el diseño y metodología, los materiales a usar para ejecutar esta malla de puesta a tierra de la Escuela D 598 Penco ubicado en la Calle La Heras N° 485 de la VIII Región del Bío Bío.

Su instalación eléctrica es en baja tensión, que alimenta las oficinas, baños, Equipos de computación e iluminación y su potencia de carga es igual a 45,00 kVA.

Es importante destacar que las mediciones de resistividad de terreno realizadas se obtuvieron en otoño, donde prácticamente no ha llovido, día totalmente despejado, favoreciendo este estudio para dar garantía que los cálculos obtenidos van a cumplir los requerimientos de la Norma Nch 4/2003.

1.1. Objetivos de la puesta a tierra de Baja Tensión de la Escuela D 598 Penco.

Primordialmente son dos los objetivos de la realización de una puesta a tierra en las instalaciones eléctricas:

- a) Proveer un camino de descarga a tierra de corrientes producidas por efecto de operación normal o en falta de un sistema eléctrico, sin exceder los límites permisibles por los equipos afectados por la falta.
- b) Asegurar la integridad física de cualquier persona que pueda encontrarse en contacto al momento de producirse una falla, mediante la limitación de las tensiones de contacto.

Estos objetivos se logran controlando la interacción del sistema de puesta a tierra, específicamente diseñado para evitar la diferencia de potencial en caso de falta, y los circuitos accidentalmente puesto a tierra por defecto propios de la instalación eléctrica.

1.2. Elementos a ser enterrados

Existen dos categorías de circuitos de tierra en las instalaciones, cada uno los cuales, aplica una serie de dispositivos con características en común.

- a) **TIERRA DE PROTECCIÓN:** Se encuentra en esta clasificación la puesta a tierra de todos los elementos metálicos que accidentalmente pueden quedar en tensión, como por ejemplo: computadores, equipos de iluminación, tableros eléctricos, etc.
- b) **TIERRA DE SERVICIO:** Se encuentran en esta clasificación los dispositivos que intencionalmente se pone a tierra: descargadores de sobretensión, seccionadores de puesta a tierra.

La norma Nch 4/2003 y la norma IEEE-80 aconseja la ejecución de una malla de tierra común que interconecte ambos sistemas.

1.3. Implementación de este sistema a tierra

La puesta a tierra en esta instalación se logra a través de la ejecución de mallas a tierra. Dicha malla estará constituida por un sistema de electrodos desnudos interconectados, bajo tierra, dispuestos en forma tanto horizontal (Cable cobre desnudo) como vertical (electrodos), con esto proveyendo una superficie equipotencial para los distintos dispositivos eléctricos y las estructuras metálicas dispuesta en una subestación.

1.4. Alcance del documento

Este documento está basado en la metodología de diseño de malla tierra provisto en la norma IEEE 80-2000, al mismo tiempo se incorporan criterios de diseño establecidos por los autores basados en normas Nch 4/2003 y como también normas publicadas por la IEEE.

1.5. Recursos disponibles

Para este estudio se usó el Telurímetro digital de cuatro picas calibrado Megabras 20kWe, con la serial N° MM3291 B, Certificado N° 910 de calibración, que cuenta con indicadores de ruido en caso de medición fallada y lectura digital de alta confiabilidad de la medición.

Contará con las curvas patrón Orellana y Money mas las curva de terreno obtenida a través de un programa computacional excel con planillas log log.

Para el cálculo y diseño de la malla tierra se emplea un programa Excel avanzado, donde se ingresan todos los datos recopilados en terreno como los de la empresa distribuidora, líneas aéreas de BT, superficie a ocupar y su resistividad de terreno.

1.6. Metodología

El diagrama de flujo explica como se procede en forma sistemática para el diseño de una malla puesta a tierra. Si bien se explica todos los pasos con detalle, a continuación se hará un breve comentario sobre cada paso a realizar de forma de poder comprender rápidamente el criterio de diseño, y la característica iteraria del mismo.

METODOLOGÍA SISTEMÁTICA DEL CÁLCULO

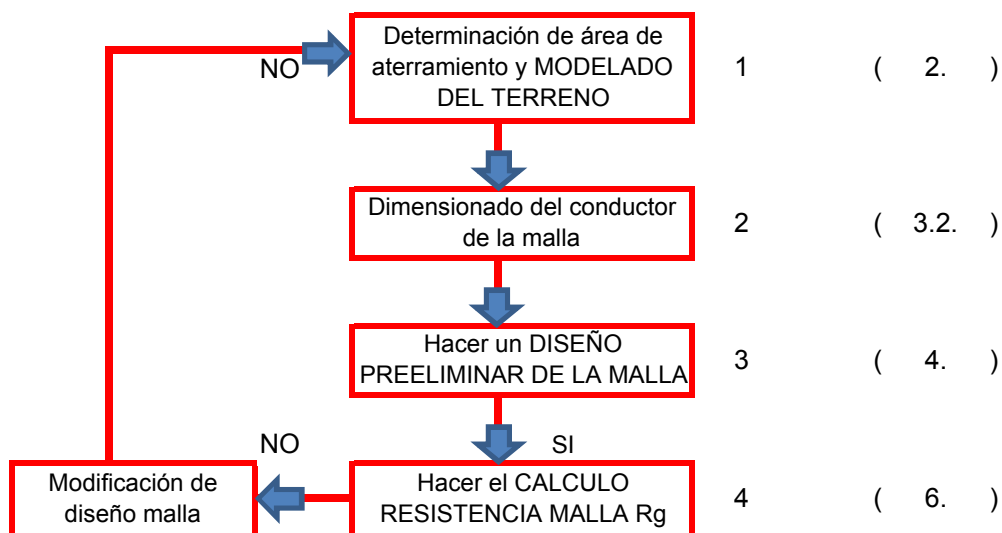


Fig. a) metodología sistemática de cálculo

2. MODELADO DEL TERRENO

Determinación del área de aterramiento y modelado del suelo

Visto en terreno la malla propuesta y estudiada se ejecutará en patio de la Escuela D 598 Penco entrada de vehículos motorizados, costado edificio D 598 Penco.

El área de la malla propuesta es de un área de 16,00 m²

La Escuela D 598 Penco está conectado actualmente a la Empresa distribuidora CGE Distribución S.A.

Actualmente este suelo superficial a sido tratado en la capa superior como un ante jardín con varias plantas.

Las mediciones realizadas nos indica que es un terreno de Tres Capas, y su resistividad es muy baja, dando lugar una malla tierra de pequeña dimensión y así cumplir requisitos según la Nch 4/2003.

2.1. Medición de Resistividad de Terreno

Para diseñar la malla puesta a tierra es imperativa la realización de ensayos mediante el método de Schlumberger, para determinar las características de resistividad del terreno en el sitio donde se montará la instalación correspondiente, determinando el modelo del suelo más conveniente de acuerdo a los datos recabados. Esto será útil para la evaluación de la resistencia de la malla tierra diseñada para proteger a las personas y equipos cuando se producen frente a la aparición de una falla.

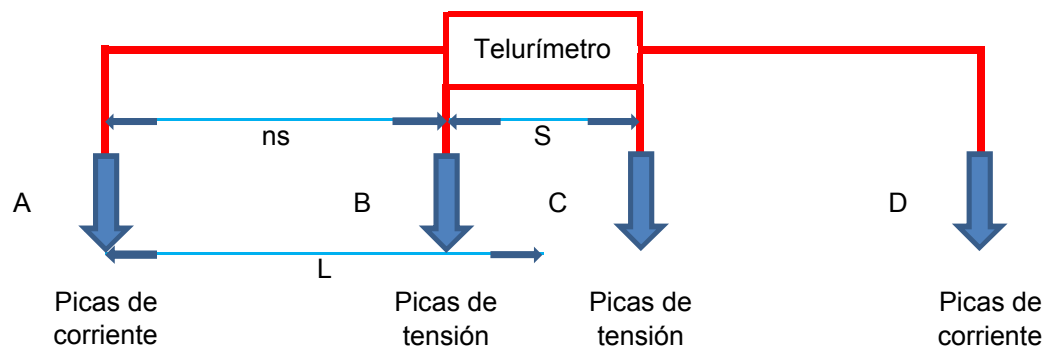


Fig. b) Método Schlumberger

Los cuatro electrodos se ubican en línea recta, cada par (potencial y corriente) simétricamente ubicados con respecto al centro de medición elegido. Siendo "s" la separación entre electrodos de potencial y "L" la distancia del centro de la medición a cada electrodo de corriente. La representación de esta configuración se muestra en la Figura.

A continuación se explicarán los detalles relacionados con la experiencia de Medición de la resistividad de suelo. Esta se realizó en la ,Calle La Heras N° 485 de la Escuela D 598 Penco , en una zona más o menos uniforme de césped. El equipo utilizado en terreno, que se describirá a continuación.

2.2. Materiales y herramientas usadas para medición de resistividad terreno

Telurímetro megabras 20kwe
 4 estacas (electrodos) de cobre
 Cables banana
 Pinzas
 2 carretes de cable
 Huincha de medir
 Mazo
 Lienzo con mediidas que indica donde clavar los electrodos



Fig. c) Equipo utilizado en terreno

2.3. Tabla con valores de resistencia de terreno y resistividad Aparente

De la teoría electromagnética, se puede deducir la siguiente expresión relacionando a la tensión medida, con la corriente inyectada con el telurímetro a través de las picas A y D.

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (2 ; 1)$$

N° Medicion	Distancia entre potencial	Distancia desde centro a Inyección Corriente	R Aparent. (Ω)	Rho Aparente (Ω * mt)					
1	1	0,6	186	64,27698569					
2	1	0,8	78,1	95,68977064					
3	1	1	14,82	34,91880234					
4	1	1,6	5,1	37,01110305					
5	1	2	2,3	27,09623664	Curva Patrón		Q - 9		
6	1	2,5	0,87	16,39911365	Lámina patrón		31		
7	1	3	0,5	13,74446786	Espesor patrón		10		
8	1	4	0,25	12,37002107	Resistividad patrón		1	0,2	0,01
9	1	5	0	0	Rho 1	77			
10	1	6	0	0	Rho 2	15,4			
11	1	8	0	0	Rho 3	0,77			
12	1	10	0	0	E 1	0,55			
13	1	12	0	0	E 2	5,5			
14	1	16	0	0	E 3	1006,05			
15	1	20	0	0	Y (Ohm-m)	77			
16	1	25	0	0	X	0,55			

Tabla de Mediciones de resistividad aparente efectuadas en la empresa D 598 Penco de la Calle La Heras N° 485.

2.4. Interpretación de una curva de campo mediante las curvas patrón

Previo al iniciar el proceso de interpretar se decide para este caso que es una estructura de tres capas, con esto una inspección visual uno puede interpretar la curva.

2.5. Curva de campo obtenida en terreno en Calle La Heras N° 485 para el PROYECTO ELÉCTRICO ESCUELA ISLA DE PASCUA PENCO.

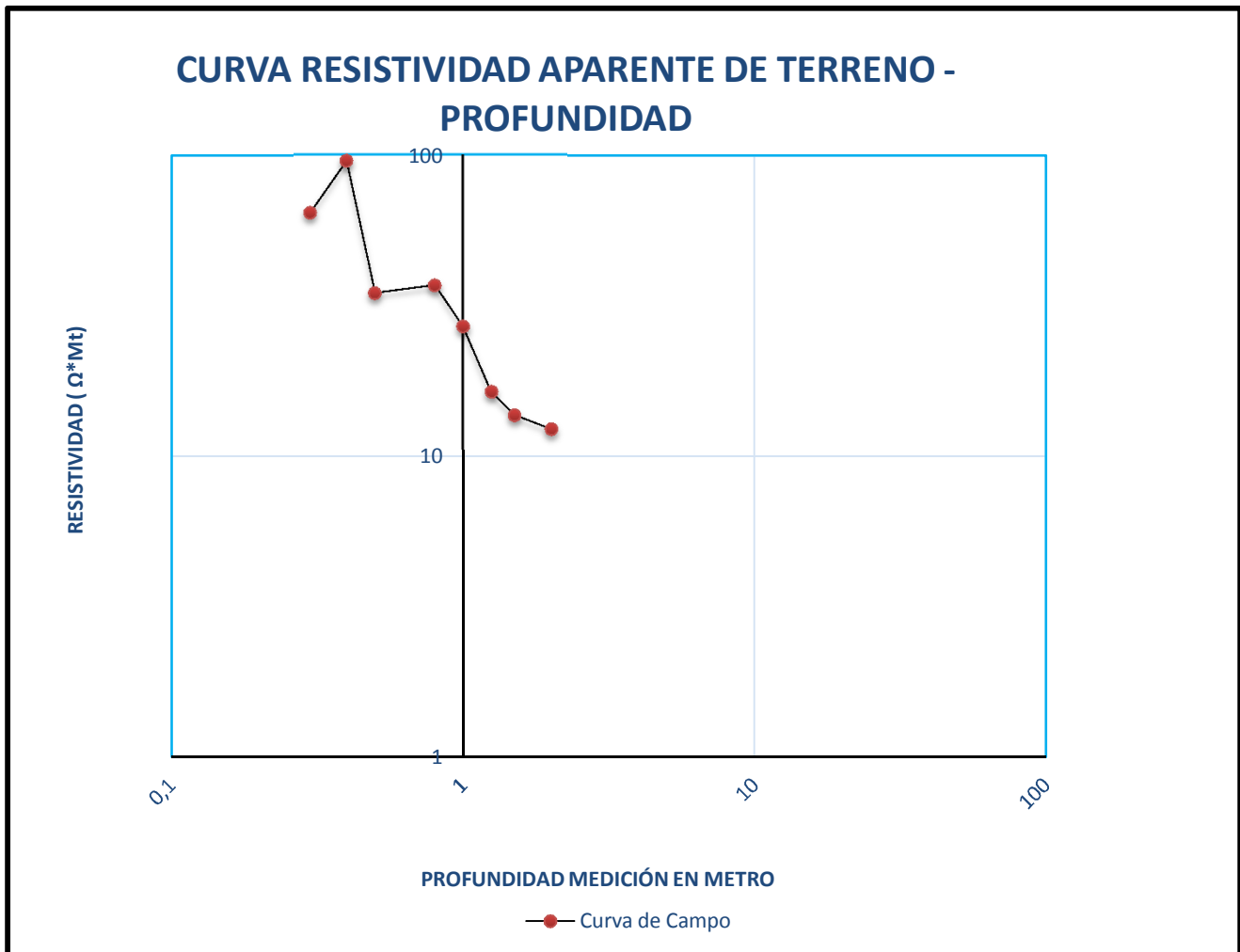


Fig. d) La figura muestra la curva de campo

TERRENO ESTRATIFICADO	Tres capas		
CURVA TIPO	Q - 9		
LÁMINA PATRÓN	31		
ESPESOR PATRÓN	10		
RESISTIVIDAD PATRÓN	1	0,2	0,01

2.6. Resistividad aparente y espesores de los estratos de terreno de campo

Resistividad Aparente			Capas	
ρ_1	77	$\Omega \cdot m$	E1	0,55 m
ρ_2	15,4	$\Omega \cdot m$	E2	5,5 m
ρ_3	0,77	$\Omega \cdot m$	E3	1006,05 m

Corte tipo Q - 9			Corte Geoelectrico Terreno de Tres Capas	
Profundidad de las capas	E1	0,55 m		
	E1 + E2	6,05 m		
	E1 + E2 + E3	1.012,10 m		

Fig. e) La figura muestra los distintos Estratos de terreno

Empleando el método de BUGSDORF Y YAKOBS, en su versión analítica, el que dice que es posible reducir capas en forma iterativa y determinar la RESISTIVIDAD EQUIVALENTE del Terreno, de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$\rho_e = \left[\frac{F_n}{\sum_{i=1}^n \frac{[F_1 - F_{i-1}]}{\rho_i}} \right] \quad (2; 2) \quad F_1 = \left[\sqrt{1 - \frac{V_i^2}{r_o^2}} \right] \quad (2; 3)$$

$$V_i^2 = \frac{1}{2} * \left[q^2 + h_i^2 + r_o^2 + \sqrt{[q^2 + h_i^2 + r_o^2]^2 - 4 * q^2 * r_o^2} \right] \quad (2; 4)$$

$$q^2 = 2 * r * [r + b] \quad (2; 5) \quad r_o^2 = r^2 - b^2 \quad (2; 6)$$

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (2; 5)$$

ρ_e Resistividad equivalente (Ohm)
 S Superficie de la malla (m^2)
 r Radio medio de la malla propuesta
 b Profundidad de enterramiento de la malla
 h_i Profundidad del estrato i
 r_i Resistividad del estrato i

2.7. Parámetros de la malla tierra

Topología de la Malla	:	Reticulado Horizontal con 4,00 barras Verticales.
Superficie de la Malla	:	16,00 m^2
Profundidad del Reticulado	:	0,60 metros

Con estos parámetros, la resistividad equivalente del terreno para la malla es:

ρ_{eq}	4,64	$\Omega * m$
-------------	------	--------------

3. ELECCIÓN DEL CONDUCTOR

Para esta malla se uso:

Conductor horizontal de cable desnudo N° 4,00 AWG, de 21,15 mm^2

TP cable aislado Superflex como tierra de protección N° 4,00 AWG, de 21,15 mm^2 .

TS cable aislado Superflex como tierra de servicio N° 4,00 AWG, de 21,15 mm^2 .

Conectores termofusión

3.1. Materiales empleados y corrosión

Los materiales empleados usualmente son de cobre, ya que tiene una alta continuidad y resistente a la corrosión .

Las derivaciones de la malla a los equipos se realiza generalmente con soldadura exotérmica, las cuales garantizan continuidad en el circuito de tierra, así como un punto de fusión más alto que el del propio cobre, con lo cual, las derivaciones en este caso no constituyen puntos débiles en la instalación, factibles de fusión como es el caso de los conectores a presión de bronce, que tienen un punto de fusión bajo respecto al cobre, y que en determinados cortocircuitos, podrían llegar a fundirse.

La corrosión es considerada como un deterioro de una sustancia debido a la reacción con el entorno, pudiendo ser esta reacción química, electroquímica, o física. La misma es observada generalmente en las estructuras metálicas y equipos expuestos a la atmósfera, así como directamente enterrados. En el caso de los metales, la corrosión es predominantemente electroquímica, debido a la diferencia de potencial en la superficie de un metal o a la diferencia de potencial entre dos metales de contacto.

Este aspecto debe ser considerado al momento de diseñar una malla de tierra dado que en el caso de aterramiento en edificios, el cobre puede causar seria corrosión a los hierros de la estructura y a tuberías de acero.

Algunas medidas preventivas en este informe son:

- a) La utilización de metales galvanizados para la interconexión de estructuras metálicas a la malla de tierra.
- b) La utilización de protección catódica para estructuras o metales de acero.

Estos aspectos fueron considerados en este informe para evitar problemas de seguridad y mantenimiento en la ejecución de la instalación correspondiente.

3.2. Dimensionado del conductor

Los electrodos que conforman la malla en este informe, así como todas las uniones de chicotes, deben poder soportar sin fundirse las corrientes de cortocircuitos que puedan dañar la instalación. La sección mínima de conductor que soporta una determinada corriente de cortocircuito está dada por la siguiente expresión.

3.3. Onderdonk

CONDUCTOR DESNUDO PARA MALLA B/T; para satisfacer requerimiento dinámico por cortocircuito.

$$t_{fusión} = \left[\frac{[1973 * S_{conductor}]^2}{33 * \left[\frac{I_{\phi 1}}{2} \right]^2} \right] \log \left[\frac{1083^{\circ} - 30^{\circ}}{234^{\circ} + 30^{\circ}} \right] \quad (2 ; 8)$$

Donde :

I	:	Corriente de falla a tierra en kA sin Malla	36.590,46 A
A mm ²	:	Sección del conductor en mm ²	21,15 mm ²
T _{max}	:	Máxima temperatura permitida en °C (1083°C)	1.083 ° C
T _a	:	Temperatura ambiente definida en °C	30 ° C
K _o	:	Constante numérica igual a 234	234
t _c	:	Duración de la falla	0,25 seg

Generalmente, los conductores de tierra son de cobre desnudo y para este caso usaremos uno de 21,15 mm² de sección a nivel de instalación Industrial debido a tres importantes razones fundadas:

- a) Debe ser capaz de resistir la corrosión durante toda la vida útil de la instalación .
- b) Debe poder soportar los esfuerzos mecánicos debido a la ocurrencia de cortocircuito y a la presión ejercida por las diversas máquinas auxiliares utilizadas para el montaje electromecánico que circulen durante la ejecución de la obra.

- c) Las corrientes de falla tienen una magnitud entre los 500A y 2500A, despejándose por lo general en menos de un segundo.

t_f	=	41,24983	Segundos
-------	---	----------	----------

Ciclos (seg) = $\frac{t_f}{0,02 \text{ seg}}$	>	50 o 60 ciclos	>	tiempo operación protección
---	---	----------------	---	-----------------------------

Ciclos (seg) = 2.062,49	ciclos por segundo	41,25	>	0,25
-------------------------	--------------------	-------	---	------

De acuerdo requerimiento Dinámico por Cortocircuito CUMPLE REQUISITO.

3.4. Conductor aislado T_p y T_s

$$I_{\text{Nominal}_{BT}} = \left[\frac{S}{\sqrt{3} * V_L} \right]$$

(2 ; 9)

$$I_{FS} = [I_{\text{nominal}} * 1,25]$$

(2 ; 9)

$$I_{N(B/T)} = 68,37$$

$$(A) \quad I_{FS} = 85,46$$

$$I_{\text{Nominal}_{BT}} = \left[\frac{I_{\text{nominal}} * 1,25}{2} \right]$$

(2 ; 10)

$T_p \text{ B/T}$	=	42,73	(A)	TP cable aislado Superflex como tierra de protección N° 4,00 AWG, de 21,15 mm².
-------------------	---	-------	-----	---

$T_p \text{ B/T}$	=	$T_s \text{ B/T}$	TS cable aislado Superflex como tierra de servicio N° 4,00 AWG, de 21,15 mm².
-------------------	---	-------------------	---

4. DISEÑO PREELIMINAR DE LA MALLA

Diseño físico y cálculo de la malla de tierra

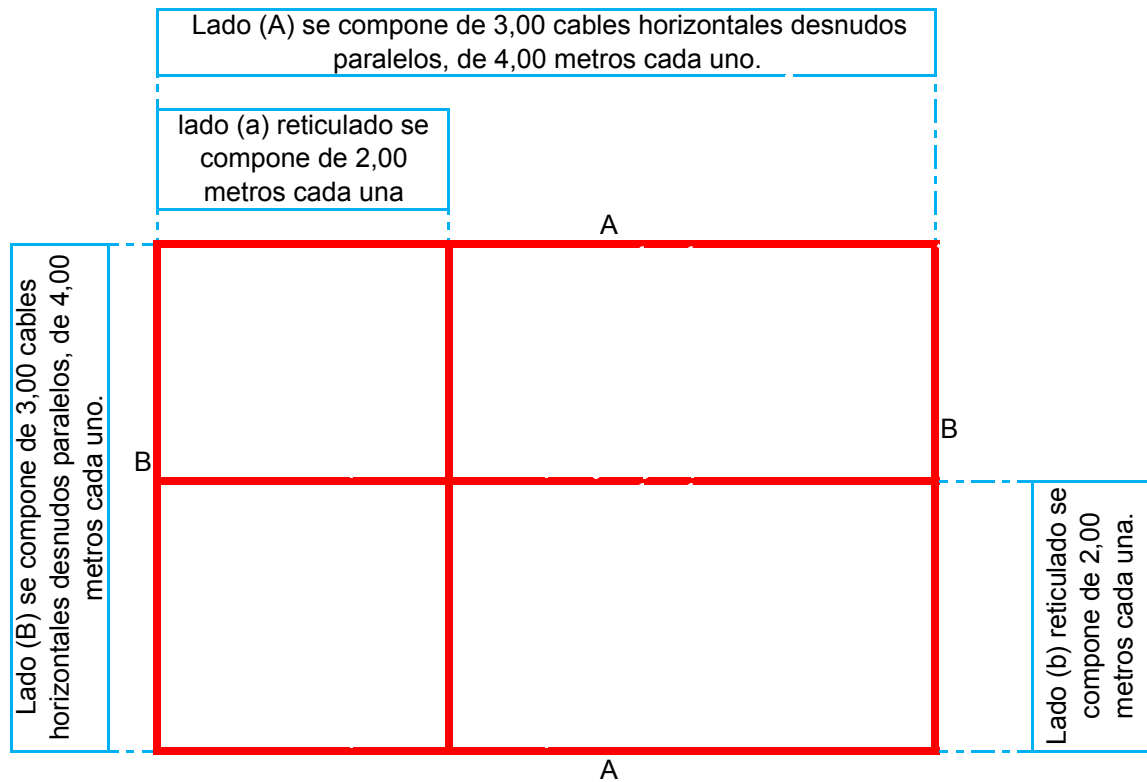
Estos pasos implican la determinación del cortocircuito fase - tierra de acuerdo a la instalación particular, la proposición de una malla de aterramiento preeliminar, y la evaluación del desempeño de la misma en caso de ocurrencia de una falla. En caso de no cumplir con los requisitos de seguridad, se deberá rediseñar la malla hasta que la cumpla, debiendo repetirse cada uno de los pasos, hasta que todas las condiciones de seguridad se verifiquen.

Definición de detalles constructivos

Habiendo determinado la geometría de la malla, se determinará los detalles correspondientes al aterramiento de los diversos componentes de la instalación.

5. MALLA TIERRA PROPUESTA

5.1. Vista aérea malla propuesta.



5.2. Vista lateral malla propuesta.

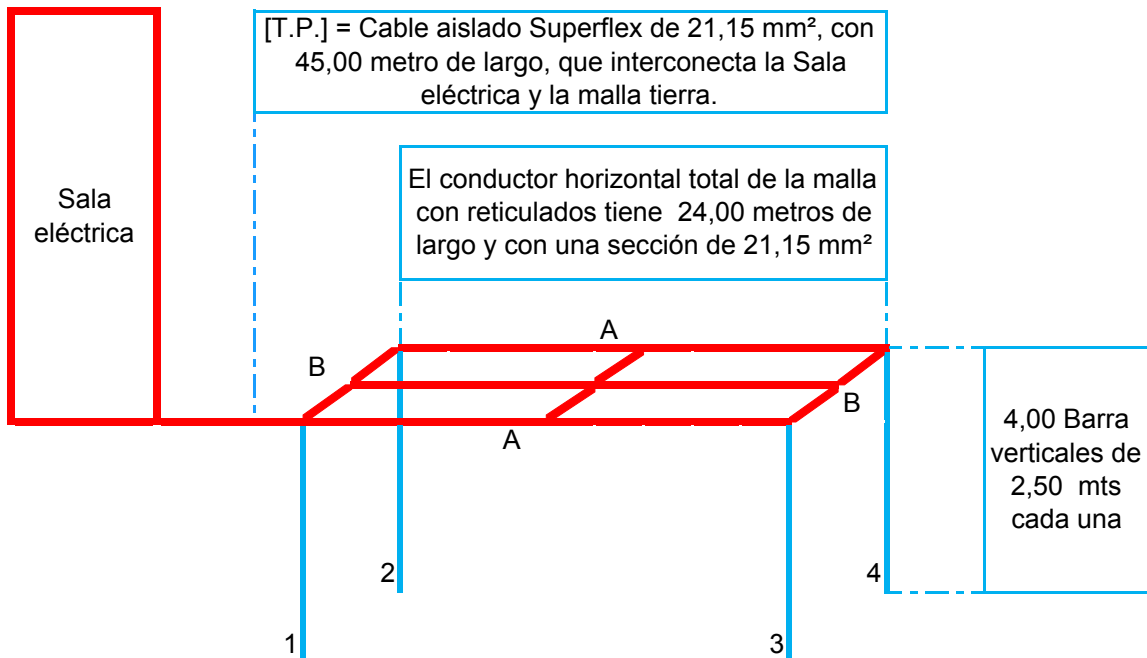


Fig. f) La figura muestra la malla equipotencial propuesta con una sección del conductor horizontal desnudo de 21,15 mm² y con 4,00 barras verticales de 2,50 metros cada una.

6. CALCULO RESISTENCIA MALLA

El valor de la resistencia de la malla de tierra se calcula mediante el procedimiento propuesto por SCHWARZ para una malla formada por un reticulado.

Resultados :

$$K_1 = 1,43 - \frac{2,3 * h}{\sqrt{S}} - 0,044 * \frac{A}{B} \quad (2 ; 11)$$

$$K_2 = 5,5 - \frac{8 * h}{\sqrt{S}} + \left[0,15 - \frac{h}{\sqrt{S}} \right] * \frac{A}{B} \quad (2 ; 12)$$

$$R_M = \frac{\rho_e}{\pi * L_m} * \left[\ln \left[\frac{2 * L_m}{\sqrt{h * d}} \right] + \frac{K_1 * L_m}{\sqrt{S}} - K_2 \right] \quad (2 ; 13)$$

$$R_e = \frac{\rho_e}{2 * \pi * N_e * L_e} * \left[\ln \left[\frac{4 * L_e}{r_e} \right] - 1 + \frac{2 * K_1 * L_e}{\sqrt{S}} * [\sqrt{N_e} - 1]^2 \right] \quad (2 ; 14)$$

$$R_{me} = \frac{\rho_e}{\pi * L_m} * \left[\ln \left[\frac{2 * L_m}{L_e} \right] + \frac{K_1 * L_m}{\sqrt{S}} - K_2 + 1 \right] \quad (2 ; 15)$$

$$R_{malla} = \left[\frac{R_m * R_e - R_{me}^2}{R_m + R_e - 2R_{me}} \right] \quad (2 ; 16)$$

ρ_e malla	Resistividad equivalente malla	4,64 $\Omega * m$
ρ_e electrodo	Resistividad equivalente electrodo	4,64 $\Omega * m$
L_e	Largo del electrodo	2,50 m
N_e	Números de electrodos	4,00 c/u
S	Superficie de la malla	16,00 m ²
A	Lado mayor de la malla	4,00 m
B	Lado menor de la malla	4,00 m
h	Profundidad de la malla	0,60 m
L	Largo conductor Cu	24,00 m
K_1	Factor malla	1,04
K_2	Factor malla	4,30
R_e	Resistencia electrodo vertical	0,55 Ω
R_m	Resistencia conductor horizontal	0,54 Ω
R_{me}	Resistencia mutua	0,36 Ω
R_{malla}	Resistencia malla	0,45 Ω

6.1. Corto circuito en Baja Tensión

Para el el punto de empalme de la figura g), se produce un cortocircuito en la barra B1, y para estas condiciones se calculan las corrientes trifásica, monofásica a tierra con Rg y sin resistencia de malla.



Fig. g) La figura muestra un sistema simplificado de cortocircuito en la barra B1.

$I_{\phi 3}$	=	12.196,82 A
--------------	---	-------------

$I_1 = I_2 = I_3$	=	160,41 A
-------------------	---	----------

$I_{\phi 1 \text{ sin malla}}$	=	36.590,46 A
--------------------------------	---	-------------

$I_{\phi 1 \text{ con malla}}$	=	481,23 A
--------------------------------	---	----------

R malla =	0,45	Ω
-----------	------	----------

$I_{\phi 1 \text{ sin malla}} = \frac{1V_{pu}}{Z_{pu}} * 3 * I_b$

(2 ; 17)

6.2. Impedancias del sistema eléctrico en (pu)

PUNTO EMPALME pu	
X1	0,0028872
X2	0,0028872
X3	0,0022561

R malla pu	
Rmalla	0,24

R1	0,0015952
R2	0,0015952
R3	0,0015842

6.3. Sistema eléctrico simplificado en (pu)

Es posible establecer que frente a una falla monofásica a tierra, es necesario considerar una conexión en serie de las tres redes de secuencia, a través de una impedancia $3Z$, según se presenta en la figura g)

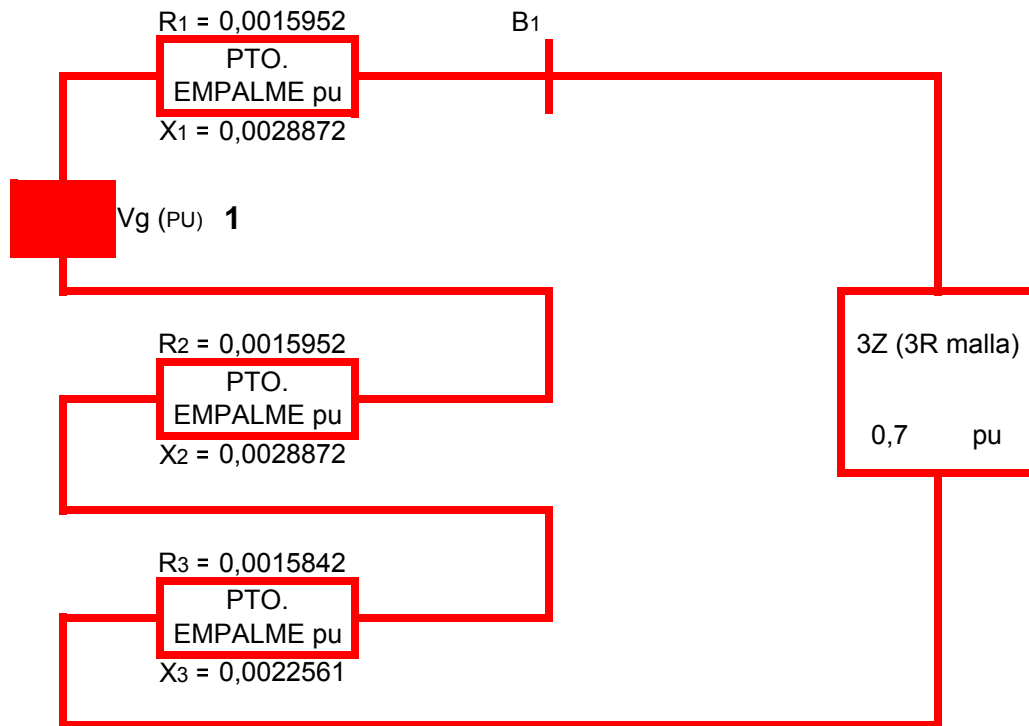


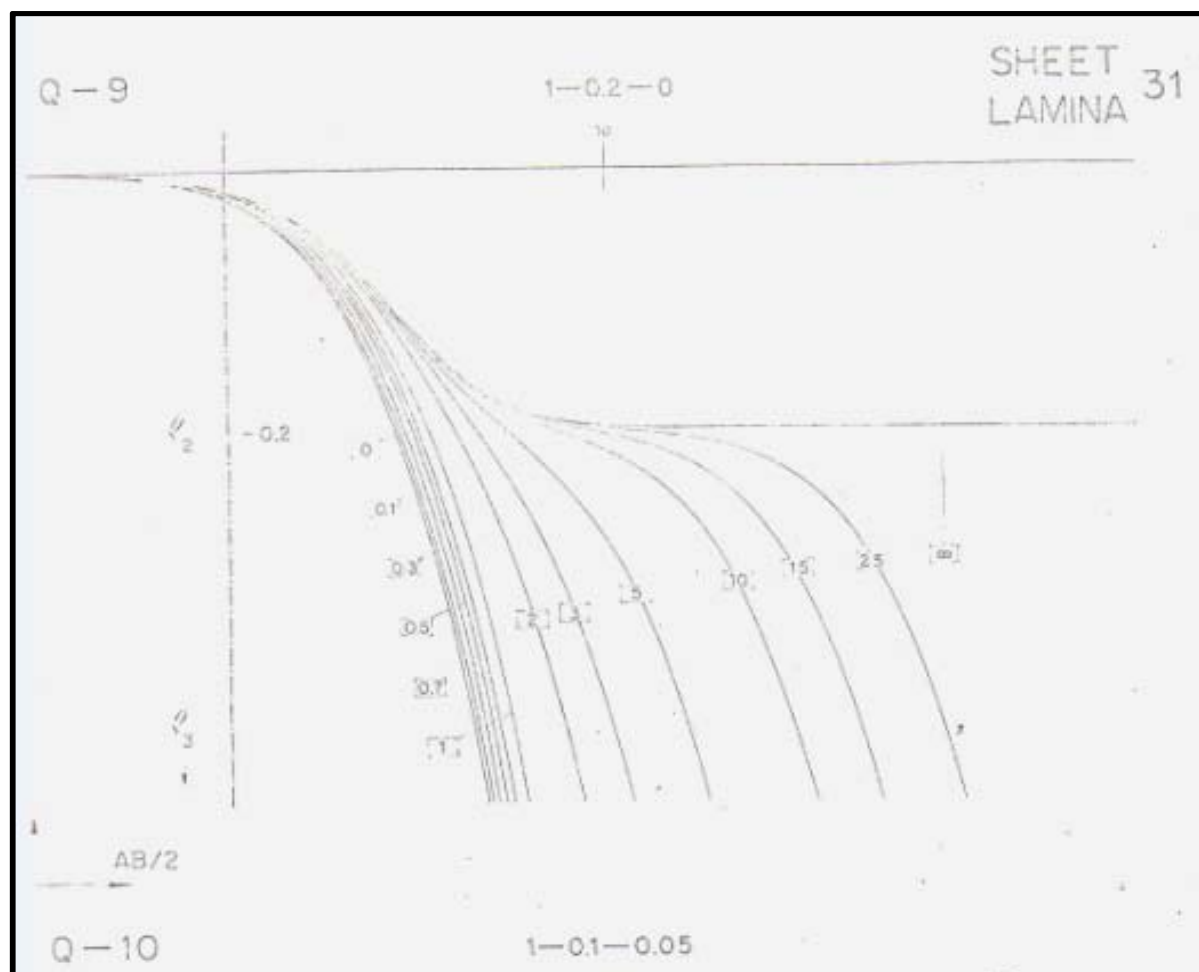
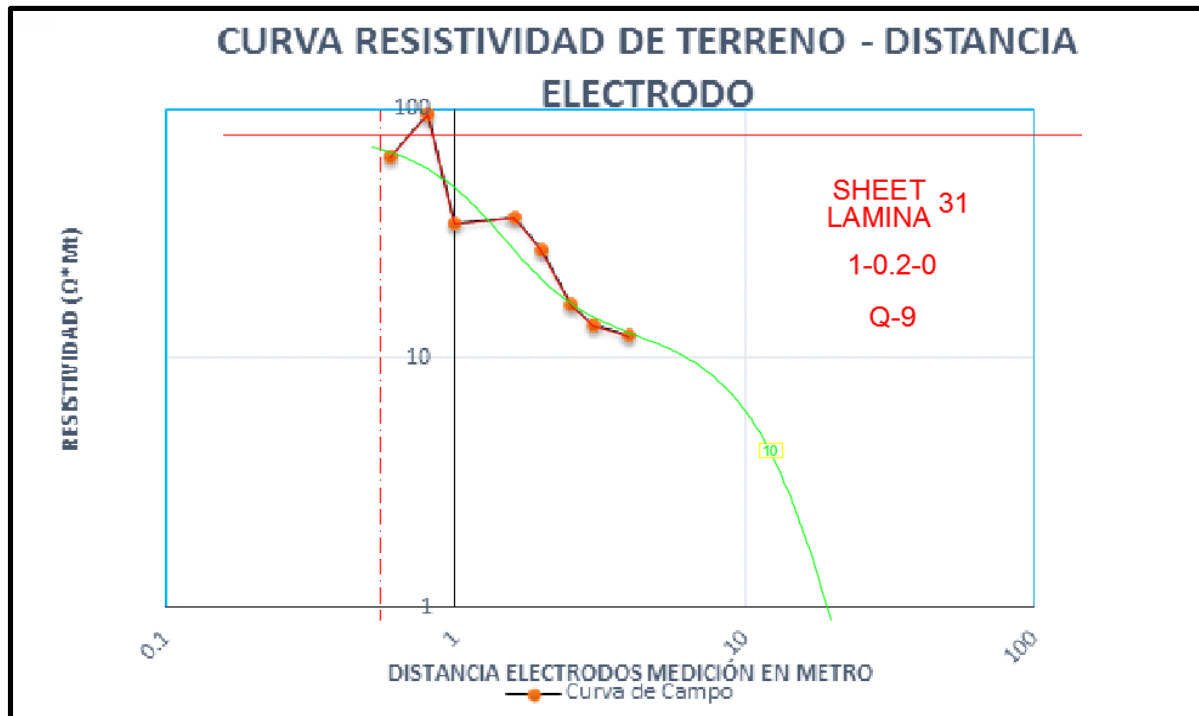
Fig. g) Esta figura muestra la interconexión de las redes de secuencia en el cálculo falla monofásica a tierra.

BASE	
BT	
Z	1,93
S (kVA)	75,00
V (kV)	0,38
I (A)	113,95

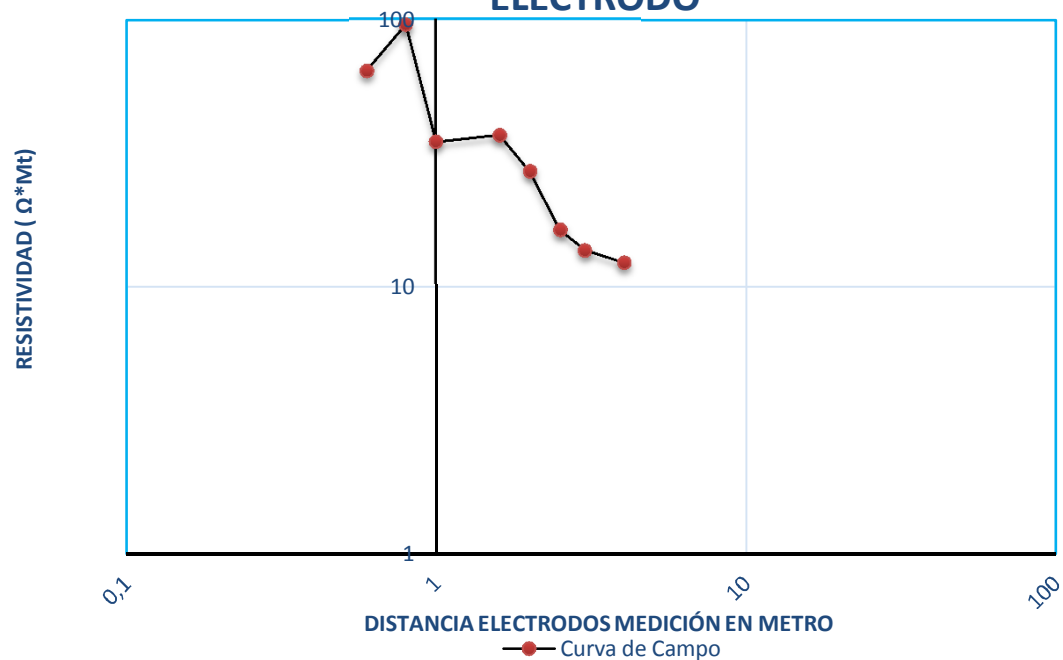
7. CONCLUSIÓN

La malla tiene una resistencia a tierra de 0,45 Ohms, por lo tanto: SI CUMPLE REQUISITO según la Norma Chilena Nch - 2003.

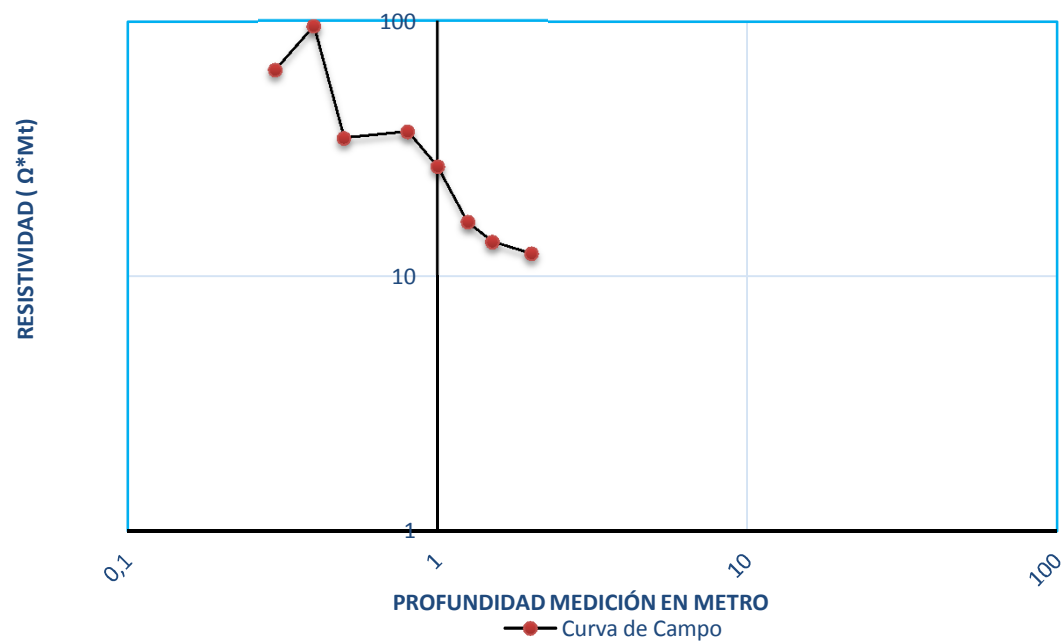
8. ANEXO



CURVA RESISTIVIDAD DE TERRENO - DISTANCIA ELECTRODO



CURVA RESISTIVIDAD DE TERRENO - PROFUNDIDAD



Universidad de Concepción

Electrical Magnitudes Calibration Laboratory
Laboratorio de Calibración de Magnitudes Eléctricas



Edificio Tecnológico Mecánico
Departamento Eléctrico
Facultad de Ingeniería

Calibration Certificate Certificado de Calibración

Calibration Mark
Marca de Calibración

0910
LabCal ME
15-08

Object : **Digital Earth Tester**
Objeto :

Manufacturer : **Megabras**
Fabricante :

Model : **MTD-20KWe**
Modelo :

Serial Number : **MM 3291 B**
Número de Serie :

Customer : **Claudio Mora Barriento**
Cliente :

Order Number : **2015-169-1**
Número de Solicitud :

Number of Pages of the Certificate : **6**
Número de Páginas del Certificado :

Calibration Date : **14/08/2015**
Fecha de Calibración :

This Calibration Certificate documents the traceability to National Standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units.
It is recommended to the user to recalibrate the instrument at appropriate intervals.

Este Certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los Patrones Nacionales, que realizan las unidades de medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos apropiados.

This Calibration Certificate may not be reproduced other than full except with the permission of the LabCal-ME. Certificates without signatures, watermark and stampers are not valid.

Este Certificado de Calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del LabCal-ME. Los certificados sin firma, sello de agua y timbres no son válidos.



Head of the LabCal-ME
Jefe del LabCal-ME

Gabriel Spano S.

Calibrated by
Calibrado por

Gabriel Spano S.

LabCal-ME

Fono

Fax

E-Mail

Edmundo Lareñas 270, Interior, Concepción, Chile

56-41-3951087

56-41-2304777

labcalme@educ.cl

0910
LabCal ME
15-08

• Calibration Object

Objeto de la Calibración

Was calibrated the Digital Earth Tester Megabras MTD-20KWe Serial Number MM 3291 B in its functions of measuring of resistance and AC voltage.

Fué calibrado el Digital Earth Tester Megabras MTD-20KWe Número de Serie MM 3291 B en sus funciones de medición de resistencia y voltaje AC.

• Calibration Method

Método de Calibración

For the calibration of the instrument Digital Earth Tester, Megabras, MTD-20KWe, in its function of resistance and AC voltage the LabCal-ME used as standard a Precision Resistance Decade Box Time Electronics, 1067, for the ranges of 20 Ω , 200 Ω , 2 k Ω , a precision Resistance Decade Box Time Electronics, 1040, for range 20 k Ω and a Multifunction Calibrator Fluke 5520A to generate AC voltage.

Proper at the repeatability of the instrument only were taken 2 measurements for each point of measurement.

The mathematical model for the measurement process was :

$$\text{Deviation}_{\text{MTD-20KWe}} = \text{Reading}_{\text{MTD-20KWe}} - \text{Standard}_{\text{Value}}$$

Where :

Deviation_{MTD-20KWe} : Error of Megabras MTD-20KWe.

Reading_{MTD-20KWe} : Indicated value of Megabras MTD-20KWe - Ro.

Standard_{Value} : Standard value (Time Electronics 1067, Time Electronics 1040 or Fluke 5520A)

Ro : Residual Resistance of Time Electronics 1067 or Time Electronics 1040.

The mathematical formula for relative deviation was :

$$\text{Relative}_{\text{Deviation}} = \frac{\text{Reading}_{\text{MTD-20KWe}} - \text{Standard}_{\text{Value}}}{\text{Standard}_{\text{Value}}}$$

Where :

Relative_{Deviation} : Error of Instrument Megabras MTD-20KWe in percentage.

Para calibrar el instrumento Digital Earth Tester, Megabras, MTD-20KWe, en su función de medición de resistencia y voltaje AC, el LabCal-ME utilizó como patrón una Caja de Décadas Resistivas de Precisión, Time Electronics, 1067, para los rangos de 20 Ω , 200 Ω , 2 k Ω , una Caja de Décadas Resistivas, Time Electronics, 1040, para el rango de 20 k Ω y un Calibrador Multifunciones Fluke 5520A para generar voltaje AC. Debido a la repetibilidad del instrumento sólo se tomaron 2 medidas para cada punto de medición.

0910
LabCal
ME
15-08

El modelo matemático usado en el proceso de medición fue :

$$\text{Desviación}_{\text{MTD-20KWe}} = \text{Lectura}_{\text{MTD-20KWe}} - \text{Valor}_{\text{Patrón}}$$

Donde :

$\text{Desviación}_{\text{MTD-20KWe}}$: Error del Megabraz MTD-20KWe.

$\text{Lectura}_{\text{MTD-20KWe}}$: Valor indicado en el Megabraz MTD-20KWe - Ro.

$\text{Valor}_{\text{Patrón}}$: Valor del patrón (Time Electronics 1067, Time Electronics 1040, o Fluke 5520A.)

Ro : Resistencia Residual de Time Electronics 1067 o Time Electronics 1040.

La fórmula matemática para la desviación relativa fue :

$$\text{Desviación}_{\text{Relativa}} = \frac{\text{Lectura}_{\text{MTD-20KWe}} - \text{Valor}_{\text{Patrón}}}{\text{Valor}_{\text{Patrón}}}$$

Donde :

$\text{Desviación}_{\text{Relativa}}$: Error del instrumento Megabraz MTD-20KWe expresado en porcentaje.

• Environmental Conditions

Condiciones Ambientales

This calibration was performed in an environment of $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ temperature and $30\% < \text{HR} < 60\%$ of relative humidity.

Esta calibración fue realizada en un ambiente de temperatura $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y $30\% < \text{HR} < 60\%$ de humedad relativa.

• Results

Resultados

For the results table, the information given is the deviation between the measurement value of the instrument and the calibration value of the working standards.

Refer to results table on pages 5 and 6.

Para la tabla de resultados se informa la desviación que posee el instrumento frente al valor de los patrones de trabajo.

Referirse a la tabla de resultados que se encuentran en las páginas 5 y 6.

• Uncertainty

Incertidumbre

The uncertainty is the expanded uncertainty obtained multiplying the standard uncertainty by coverage factor $k=2$. It has been determined in accordance with "Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)" and "Expression of Uncertainty of Measurement in Calibration, EA-4/02". The value of the measurand lies with a probability of approximately 95%.

La incertidumbre entregada es la incertidumbre expandida obtenida al multiplicar la incertidumbre estándar por un factor de cobertura $k=2$. Esta ha sido determinada de acuerdo con lo expresado en la "Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)" and "Expression of Uncertainty of Measurements in Calibration, EA-4/02". El valor de la incertidumbre es entregada con un nivel de confianza aproximado de un 95%.

0910
LabCal
ME
15-08

• LabCal-ME Traceability *Trazabilidad del LabCal-ME*

The traceability of LabCal-ME is documented by calibration certificates and is to primary standards which realize the units of measurement. In this particular case for the instruments that were used to calibrate the traceability is to the LCPN-ME.

La trazabilidad del LabCal-ME está documentada por medio de certificados de calibración y es a patrones primarios que realizan las unidades de medición. En particular para el instrumental usado para llevar a cabo la calibración, la trazabilidad es al Laboratorio Custodio Patrón Nacional de Magnitudes Eléctricas (LCPN- ME).

• Instruments Used *Instrumentos Usados*

The instrumental used by LabCal-ME to perform the calibration of Digital Earth Tester Megabras MTD-20KW, serial number MM 3291 D consist of standards described as follow .

Description	Model	Manufacturer	Serial Number	Next Calibration
Precision Resistance Decade Box	1087	Time Electronics	1931B15	03-2016
Resistance Decade Box	1040	Time Electronics	1995E15	03-2016
Multifunction Calibrator	5520A	Fluke	7640016	07-2016

El instrumental usado por el LabCal-ME para la calibración del Digital Earth Tester Megabras MTD-20KW, número de serie MM 3291 B consta de los patrones descritos a continuación :

Descripción	Modelo	Fabricante	Número Serie	Próxima Calibración
Caja Década Resistiva Precisión	1087	Time Electronics	1931B15	03-2016
Caja Década Resistiva	1040	Time Electronics	1995E15	03-2016
Calibrador Multifunciones	5520A	Fluke	7640016	07-2016

• Observations *Observaciones*

Was performed the check of battery status in accordance with the specifications of the User Manual. The instrument is in compliance with the technical specifications of the manufacturer.

Se realizó el chequeo del estado de la batería de acuerdo a lo especificado por el fabricante en el Manual del Usuario. El instrumento cumple con las especificaciones técnicas del fabricante.

0910
LabCal
ME
15-08

1.- Digital Earth Tester Megabras MTD-20KWe, Serial Number = MM 3291 B
Digital Earth Tester Megabras MTD-20KWe, Número de Serie = MM 3291 B

1.1 Electrical Resistance Measurement Values
Valores Medición de Resistencia Eléctrica

4 wire
4 hilos

Standard Value	Reading	Deviation	Relative Deviation	Uncertainty
Valor	Lectura	Desviación	Desviación Relativa	Incertidumbre
3.00 Ω	3.02 Ω	0.02 Ω	0.67 %	0.28 %
10.00 Ω	10.20 Ω	0.20 Ω	2.0 %	0.08 %
15.00 Ω	15.32 Ω	0.32 Ω	2.1 %	0.06 %
30.0 Ω	30.0 Ω	0.0 Ω	0.00 %	0.20 %
100.0 Ω	102.0 Ω	2.0 Ω	2.0 %	0.06 %
150.0 Ω	153.2 Ω	3.2 Ω	2.1 %	0.04 %
300 Ω	299 Ω	-1 Ω	-0.33 %	0.20 %
1000 Ω	1019 Ω	19 Ω	1.9 %	0.06 %
1500 Ω	1534 Ω	34 Ω	2.3 %	0.04 %
3.00 k Ω	3.08 k Ω	0.08 k Ω	2.7 %	0.22 %
10.00 k Ω	10.18 k Ω	0.18 k Ω	1.8 %	0.12 %
15.00 k Ω	14.94 k Ω	-0.06 k Ω	-0.40 %	0.24 %

1.2 Electrical Resistance Measurement Values
Valores Medición de Resistencia Eléctrica

3 wire
3 hilos

Standard Value	Reading	Deviation	Relative Deviation	Uncertainty
Valor	Lectura	Desviación	Desviación Relativa	Incertidumbre
3.00 Ω	3.06 Ω	0.06 Ω	1.7 %	0.28 %
10.00 Ω	10.25 Ω	0.25 Ω	2.5 %	0.08 %
15.00 Ω	15.37 Ω	0.37 Ω	2.5 %	0.06 %
30.0 Ω	30.1 Ω	0.1 Ω	0.33 %	0.20 %
100.0 Ω	102.1 Ω	2.1 Ω	2.1 %	0.06 %
150.0 Ω	153.5 Ω	3.5 Ω	2.3 %	0.04 %
300 Ω	298 Ω	-2 Ω	-0.67 %	0.20 %
1000 Ω	1019 Ω	19 Ω	1.9 %	0.06 %
1500 Ω	1533 Ω	33 Ω	2.2 %	0.04 %
3.00 k Ω	3.08 k Ω	0.08 k Ω	2.7 %	0.22 %
10.00 k Ω	10.19 k Ω	0.19 k Ω	1.9 %	0.12 %
15.00 k Ω	14.96 k Ω	-0.04 k Ω	-0.27 %	0.24 %

Page 6 of 6

Página 6 de 6

0910
LabCal
ME
15-08

1.3 AC Voltage Measurement Values at 50 Hz

Valores Medición de Voltaje AC a 50 Hz

Standard Value	Reading	Deviation	Relative Deviation	Uncertainty
Valor	Lectura	Desviación	Desviación Relativa	Incertidumbre
50.0 V	50.4 V	0.4 V	0.80 %	0.20 %
100.0 V	100.8 V	0.8 V	0.80 %	0.10 %
150.0 V	151.3 V	1.3 V	0.87 %	0.10 %

LabCal-ME

Fono

Fax

E-Mail

Edmundo Larraín 270, Interior, Concepción, Chile

56-41-2551387

56-41-2334777

labcalme@udec.cl