



CÁLCULO Y DISEÑO MALLA TIERRA SISTEMA TT BAJA TENSIÓN PROYECTO ELÉCTRICO ESCUELA ETHEL` HENCK DE GRANT

Región : Región VIII Biobío
Lugar malla : calle Los Lirios N° 11, Villa Cosmito, Escuel Ethel` Henck de Grant
Institución : Departamento Educacional Penco
Rut. : 69.150.501 - 4
Dir. Institución : Calle Maipú N° 209
Teléfono : (56-41) 226 1308

Realizado por:
Ricardo Andrade - Ingeniero Civil Eléctrico
Claudio Mora Barriento - Ingeniero [E] Eléctrico
02-02-2017

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 Institución Departamento Educacional 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 Los Lirios N° 11, Villa	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	12
4.	DISEÑO PRELIMINAR 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
6.1.1.	Datos necesarios para el cálculo nivel de corto circuito en B1 de la fig. g).	14
6.2.	Impedancias del sistema eléctrico en (pu)	15
6.3.	Sistema eléctrico simplificado en (pu)	15
7.	TERRENO, MATERIAL PARA CONSTRUCCIÓN MALLA TIERRA	17
8.	DIAGRAMA EQUIPOTENCIAL A TRAVÉS DE LAS BARRAS, [T.P.]	18
9.	FIGURA CÁMARA EQUIPOTENCIAL A TRAVÉS DE LAS BARRAS, [T.P.]	19
10.	CONCLUSIÓN	19
11.	OBSERVACIÓN	19
12.	ANEXO	20

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 Institución Departamento Educacional Penco ubicado en la calle Los Lirios N° 11, Villa Cosmito, Escuel Ethel` Henck de Grant de la Región VIII Biobío.

Su instalación eléctrica es en baja tensión, que alimenta las oficinas, baños, Equipos de computacional e iluminación perimetral y su potencia de carga es igual a 23 kVA.

Es importante destacar que las mediciones de resistividad de terreno realizadas se obtuvieron en verano, 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 Institución Departamento Educacional

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 defectos 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: refrigeradores, instrumental laboratorio, 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 resistividad de terreno, superficie a ocupar, tambien se asume un nivel de corto circuito de la empresa distribuidora, líneas de BT, datos del transformador.

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

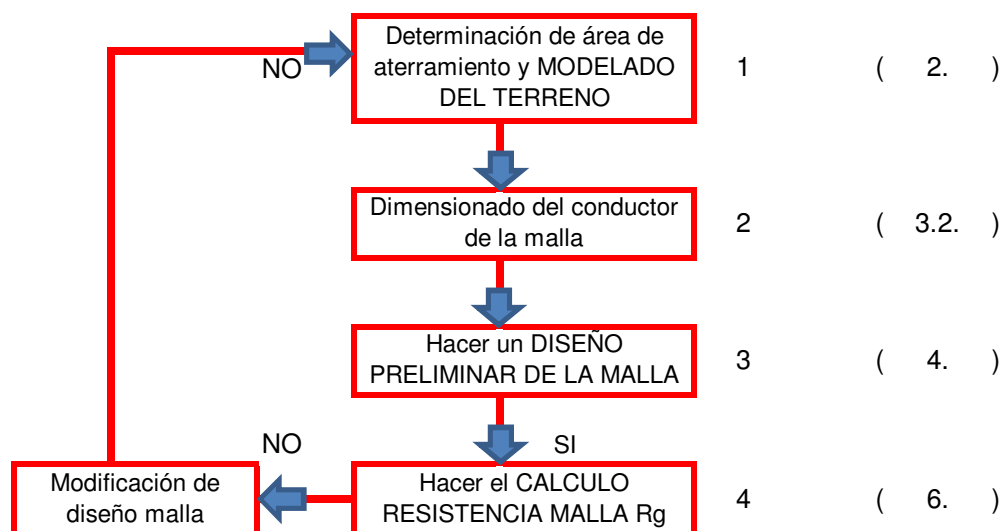


Fig. a) metodología sistemática de cálculo

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 Institución Departamento Educacional Penco entrada de vehículos motorizados, costado edificio Departamento Educacional Penco.

El área de la malla propuesta es de un área de 32 m²

La Institución Departamento Educacional Penco está conectado actualmente a la Empresa distribuidora CGE Distribución S.A.

Actualmente este suelo superficial a sido tratado en la capa superior con gravilla para el acceso de vehículos.

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.

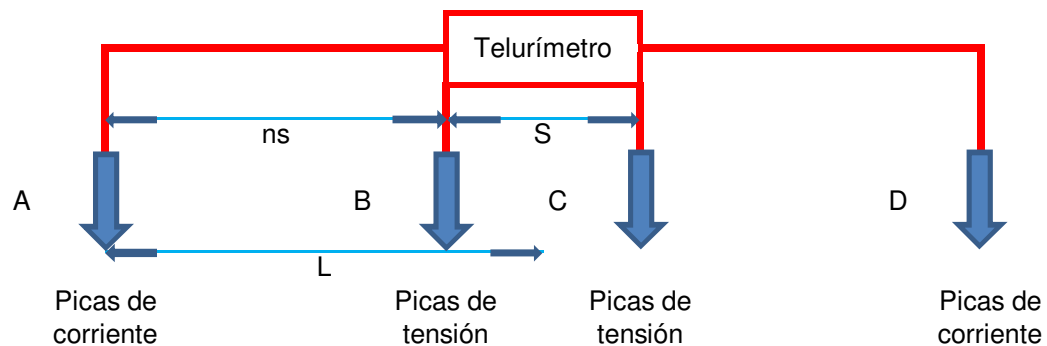


Fig. b) Método Schlumberger

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 Los Lirios N° 11, Villa Cosmito, Escuel Ethel' Henck de Grant de la Institución Departamento Educacional 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.

$$\rho_{\text{aparente}} = 2 * \pi * a * R \quad (2 ; 1)$$

N° Medicion	Distancia entre potencial	Distancia desde centro a Inyección Corriente	R Aparent. (Ω)	Rho Aparente (Ω * mt)				
1	1	0,6	269	92,95972662				
2	1	0,8	90,8	111,250079				
3	1	1	24,1	56,78428721				
4	1	1,6	9,19	66,69255628				
5	1	2	4,07	47,94855788	Curva Patrón	Q - 4		
6	1	2,5	2,53	47,68937648	Lámina patrón	29		
7	1	3	1,06	29,13827186	Espesor patrón	2		
8	1	4	0,54	26,71924552	Resistividad patrón	1	0,4	0,2
9	1	5	0,46	35,76703236	Rho 1	97,5		
10	1	6	0,36	40,43229745	Rho 2	48		
11	1	8	0,2	40,05530633	Rho 3	33		
12	1	10	0,1	31,33738672	E 1	1,392		
13	1	12	0	0	E 2	5,8		
14	1	16	0	0	E 3	3,2		
15	1	20	0	0	Y (Ohm-m)	150		
16	1	25	0	0	X	0,32		

Tabla a) Mediciones de resistividad aparente efectuadas en la empresa Departamento Educacional Penco de la calle Los Lirios N° 11, Villa Cosmito, Escuel Ethel` Henck de Grant.

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 Los Lirios N° 11, Villa Cosmito, Escuel Ethel Henck de Grant para el PROYECTO ELÉCTRICO ESCUELA ETHEL HENCK DE GRANT.

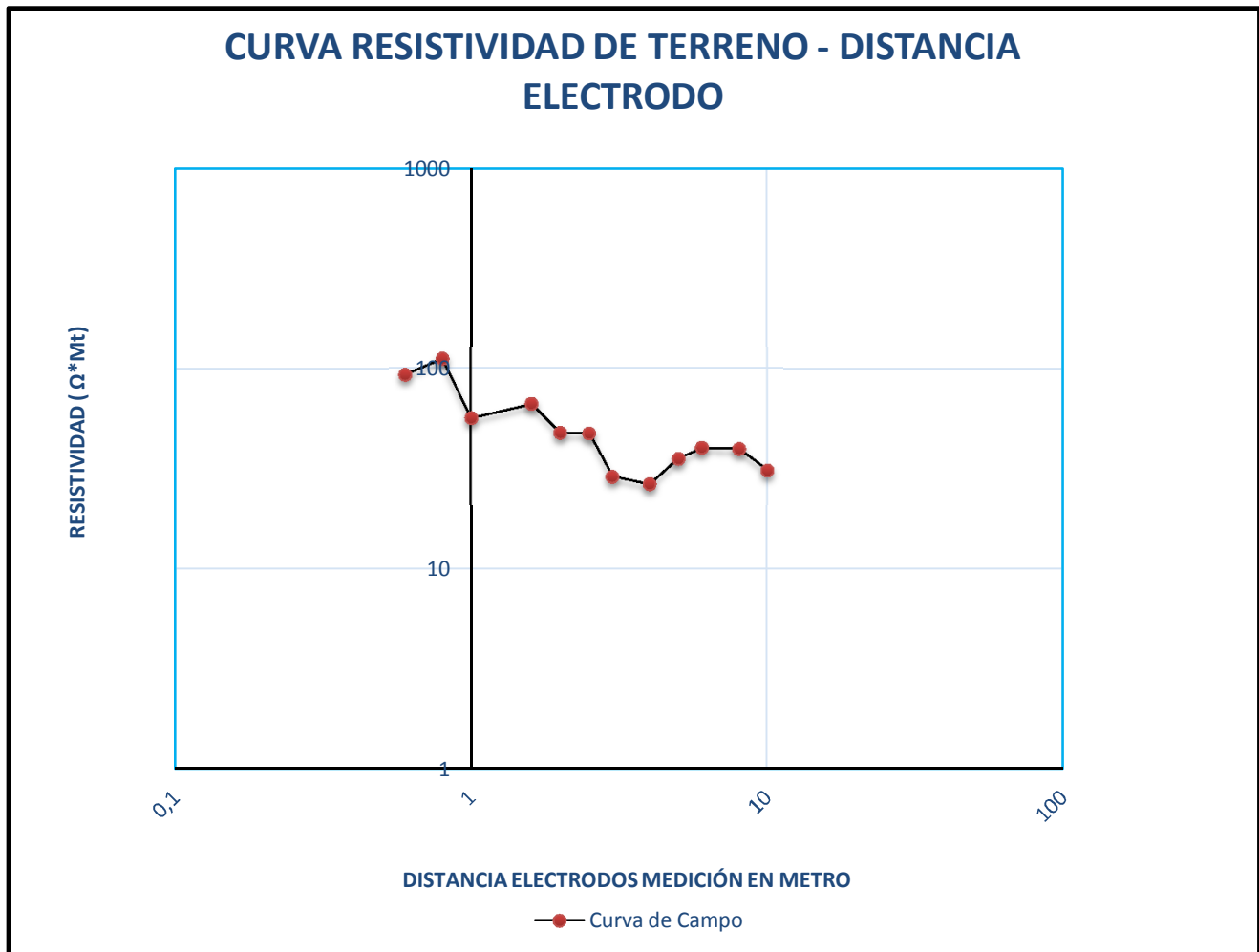


Fig. d) La figura muestra la curva de campo

TERRENO ESTRATIFICADO	Tres capas		
CURVA TIPO	Q - 4		
LÁMINA PATRÓN	29		
ESPESOR PATRÓN	2		
RESISTIVIDAD PATRÓN	1	0,4	0,2

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

Resistividad Aparente			Capas	
ρ_1	97,5	$\Omega \cdot m$	E1	1,392 m
ρ_2	48	$\Omega \cdot m$	E2	5,8 m
ρ_3	33	$\Omega \cdot m$	E3	3,2 m

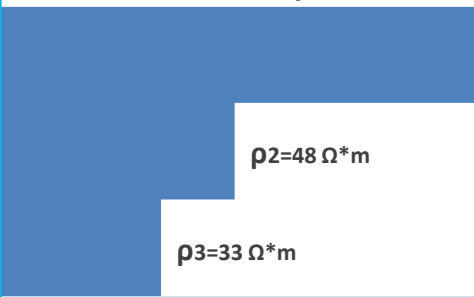
Corte tipo Q - 4			Corte Geoelectrico Terreno de Tres Capas	
Profundidad de las capas	E1	1,39 m		$\rho_1=97,5 \Omega \cdot m$
	E1 + E2	7,19 m		$\rho_2=48 \Omega \cdot m$
	E1 + E2 + E3	10,39 m		$\rho_3=33 \Omega \cdot m$

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:

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

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

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

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (2;7)$$

- ρ_e Resistividad equivalente (Ohm)
 S Superficie de la malla (m²)
 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 barras Verticales.
Superficie de la Malla	:	32 m ²
Profundidad del Reticulado	:	0,80 metros

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

ρ_{eq}	63,73	$\Omega * m$
-------------	-------	--------------

3. ELECCIÓN DEL CONDUCTOR

Para esta malla se uso:

Conductor horizontal de cable desnudo Nº 2 AWG, de 33,62 mm²

TP cable aislado Superflex como tierra de protección Nº 4 AWG, de 21,20 mm².

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	8.993,11 A
A mm ²	: Sección del conductor en mm ²	33,62 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 _f	: Tiempo de fusión según claculo	4,60 seg
t _c	: Duración de la falla	0,4 seg
Ciclos	: Ciclos por segundo	230,16 C/Seg

Generalmente, los conductores de tierra son de cobre desnudo y para este caso usaremos uno de 33,62 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) Para este caso suponemos una corrientes de falla trifásica simétrica entregada por CGE Distribución S.A., con una magnitud de 4.000,00 Amper y una corriente de falla monofásica simétrica de 4850 Amper, la corriente monofásica calculada según item 6.1. [Corto circuito en Baja Tensión] es de $I_{\phi 1} = 46,53$ Amper, despejándose en un tiempo fusible de 0,40 segundo.

t_f	=	4,60312	Segundos
-------	---	---------	----------

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

Ciclos (seg) =	230,16	ciclos por segundo	4,60	>	0,4
----------------	--------	--------------------	------	---	-----

De acuerdo requerimiento Dinámico por Cortocircuito CUMPLE REQUISITO.

3.4. Conductor aislado T_p

$$I_{\text{Nominal}_{BT}} = \left[\frac{S}{\sqrt{3} * V_L} \right] \quad (2 ; 9) \quad I_{FS} = [I_{\text{nominal}} * 1,25] \quad (2 ; 10)$$

$$I_{N(B/T)} = 34,94 \quad (A) \quad I_{FS} = 43,68$$

$$I_{\text{Nominal}_{BT}} = \left[\frac{I_{\text{nominal}} * 1,25}{2} \right] \quad (2 ; 11)$$

T_p B/T	=	21,84	(A)	TP cable aislado Superflex como tierra de protección N° 4 AWG, de 21,20 mm².
-----------	---	-------	-----	--

4. DISEÑO PRELIMINAR DE LA MALLA

Diseño físico y cálculo de la malla de tierra

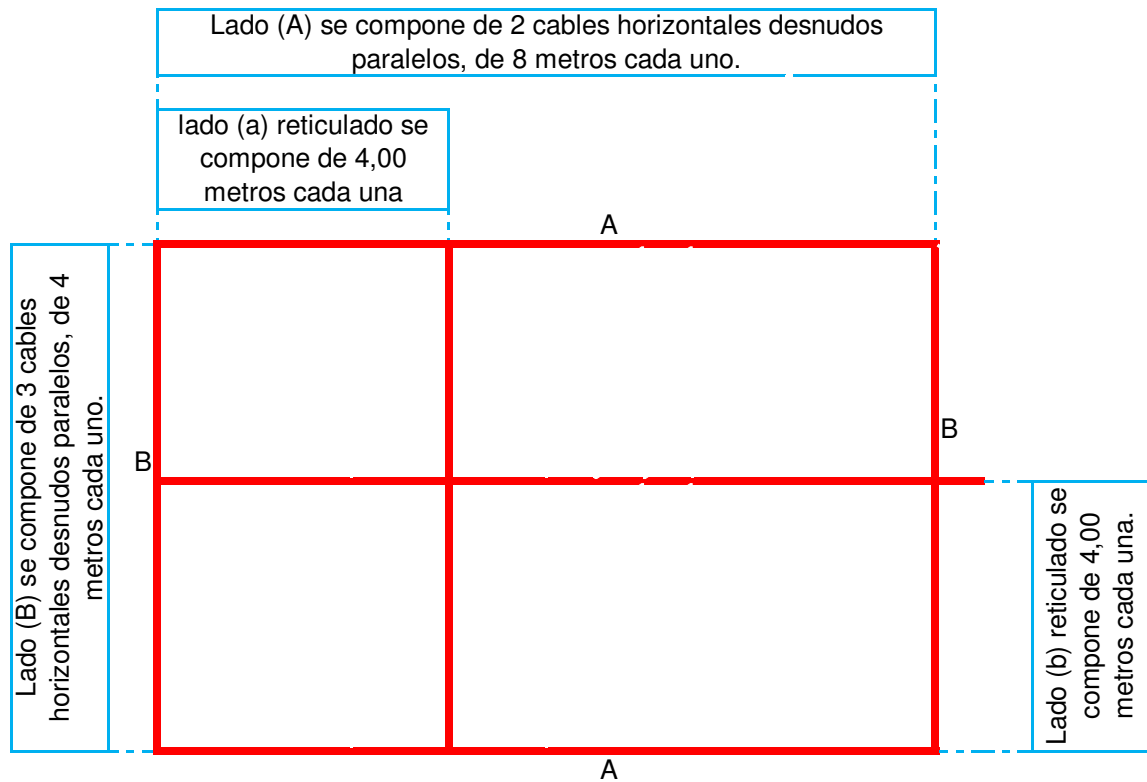
Estos pasos implican la determinación del cortocircuito fase - tierra de acuerdo a la instalación particular, la proposición de una malla de aterramiento preeliminar, y la evaluación del desempeño de la misma en caso de ocurrencia de una falla. En caso de no cumplir con los requisitos de seguridad, se 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.

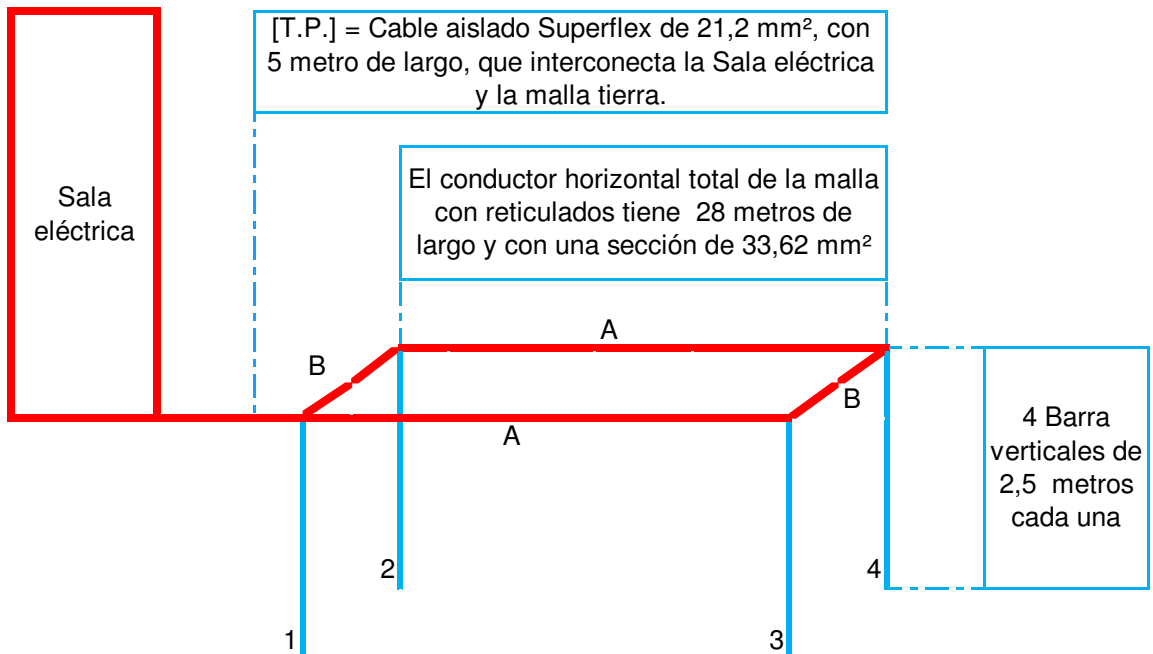


Fig. f) La figura muestra la malla equipotencial propuesta con una sección del conductor horizontal desnudo de 33,62 mm² y con 4 barras verticales de 2,5 metros cada una.

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 :

$$K_1 = 1,43 - \frac{2,3 * h}{\sqrt{S}} - 0,044 * \frac{A}{B} \quad (2 ; 12)$$

$$K_2 = 5,5 - \frac{8 * h}{\sqrt{S}} + \left[0,15 - \frac{h}{\sqrt{S}} \right] * \frac{A}{B} \quad (2 ; 13)$$

$$R_M = \frac{\rho_e}{\pi * L_m} * \left[\ln \left[\frac{2 * L_m}{\sqrt{h * d}} \right] + \frac{K_1 * L_m}{\sqrt{S}} - K_2 \right] \quad (2 ; 14)$$

$$R_e = \frac{\rho_e}{2 * \pi * N_e * L_e} * \left[\ln \left[\frac{4 * L_e}{r_e} \right] - 1 + \frac{2 * K_1 * L_e}{\sqrt{S}} * [\sqrt{N_e} - 1]^2 \right] \quad (2 ; 15)$$

$$R_{me} = \frac{\rho_e}{\pi * L_m} * \left[\ln \left[\frac{2 * L_m}{L_e} \right] + \frac{K_1 * L_m}{\sqrt{S}} - K_2 + 1 \right] \quad (2 ; 16)$$

$$R_{malla} = \left[\frac{R_m * R_e - R_{me}^2}{R_m + R_e - 2R_{me}} \right] \quad (2 ; 17)$$

ρ_e malla	Resistividad equivalente malla	63,73 $\Omega * m$
ρ_e electrodo	Resistividad equivalente electrodo	64,19 $\Omega * m$
L_e	Largo del electrodo	2,50 m
N_e	Números de electrodos	4,00 c/u
S	Superficie de la malla	32,00 m ²
A	Lado mayor de la malla	8,00 m
B	Lado menor de la malla	4,00 m
h	Profundidad de la malla	0,80 m
L	Largo conductor Cu	28,00 m
K_1	Factor malla	1,02
K_2	Factor malla	4,39
R_e	Resistencia electrodo vertical	7,19 Ω
R_m	Resistencia conductor horizontal	5,29 Ω
R_{me}	Resistencia mutua	3,47 Ω
R_{malla}	Resistencia malla	4,69 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.

6.1.1. Datos necesarios para el cálculo nivel de corto circuito en B1 de la fig. g).

Impedancia en por ciento del transformador (Z%)	=	5,8	[%]
(X / R) del transformador	=	10	
Potencia Aparente en (KVA) del transformador	=	15	[KVA]
Kilo Volts en BT del transformador	=	0,38	[K.V.]
Kilo Volts en MT del transformador	=	13,2	[K.V.]
Corriente de falla trifásica simétrica Distribuidora	=	4000	[Amp.]
Corriente de falla trifásica asimétrica Distribuidora	=	4500	[Amp.]
(X / R) trifásica Distribuidora	=	0,00	[0/1]
Corriente de falla monofásica simétrica Distribuidora	=	4850	[Amp.]
Corriente de falla monofásica asimétrica Distribuidora	=	4989	[Amp.]
(X / R) monofásica Distribuidora	=	0,00	[0/1]

$$R_{1sep} = \frac{V_L}{\sqrt{3} * I_{03simétrico} * \sqrt{1 + \left(\frac{X}{R}\right)^2_{3\emptyset simétrico}}} \quad (2 ; 18)$$

$$R_{0sep} = \frac{\sqrt{3} * V_L}{I_{01asimétrico} * \sqrt{1 + \left(\frac{X}{R}\right)^2_{3\emptyset asimétrico}}} - 2 * R_1 \quad (2 ; 19)$$

$$X_{1sep} = \frac{\left(\frac{X}{R}\right)_{3\emptyset simétrico} * V_L}{\sqrt{3} * I_{03simétrico} * \sqrt{1 + \left(\frac{X}{R}\right)^2_{3\emptyset simétrico}}} \quad (2 ; 20)$$

$$X_{0sep} = \frac{\left(\frac{X}{R}\right)_{1\emptyset asimétrico} * V_L * \sqrt{3}}{I_{\emptyset 1 asimétrico} * \sqrt{1 + \left(\frac{X}{R}\right)_{1\emptyset asimétrico}^2}} - 2 * X_1 \quad (2 ; 21)$$

$$R_{1 TRANSF} = \frac{Z\%}{100} * \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{X}{R}\right]_{TRANSF}^2}} \quad (2 ; 22)$$

$$X_{1 TRANSF} = \left[\frac{X}{R}\right]_{TRANSF} * R_{1 TRANSF} \quad (2 ; 23)$$

$I_{\emptyset 3}$	=	2.997,70	A
-------------------	---	----------	---

$I_1 = I_2 = I_3$	=	15,51	A
-------------------	---	-------	---

$I_{\emptyset 1 \text{ sin malla}}$	=	8.993,11	A
-------------------------------------	---	----------	---

$I_{\emptyset 1 \text{ con malla}}$	=	46,53	A
-------------------------------------	---	-------	---

R malla =	4,69	Ω
------------------	------	----------

$$I_{\emptyset 1 \text{ sin malla}} = \frac{1V_{pu}}{Z_{pu}} * 3 * I_b \quad (2 ; 24)$$

6.2. Impedancias del sistema eléctrico en (pu)

PUNTO EMPALME [pu]	
X1	0,0000051
X2	0,0000051
X3	0,0000050

FASE + Tp [pu]	
X1	0,0002955
X2	0,0002955
X3	0,0002955

R malla pu	
Rmalla	0,49

R1	0,0001645
R2	0,0001645
R3	0,0000670

R1	0,0023843
R2	0,0023843
R3	0,0023843

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 h)

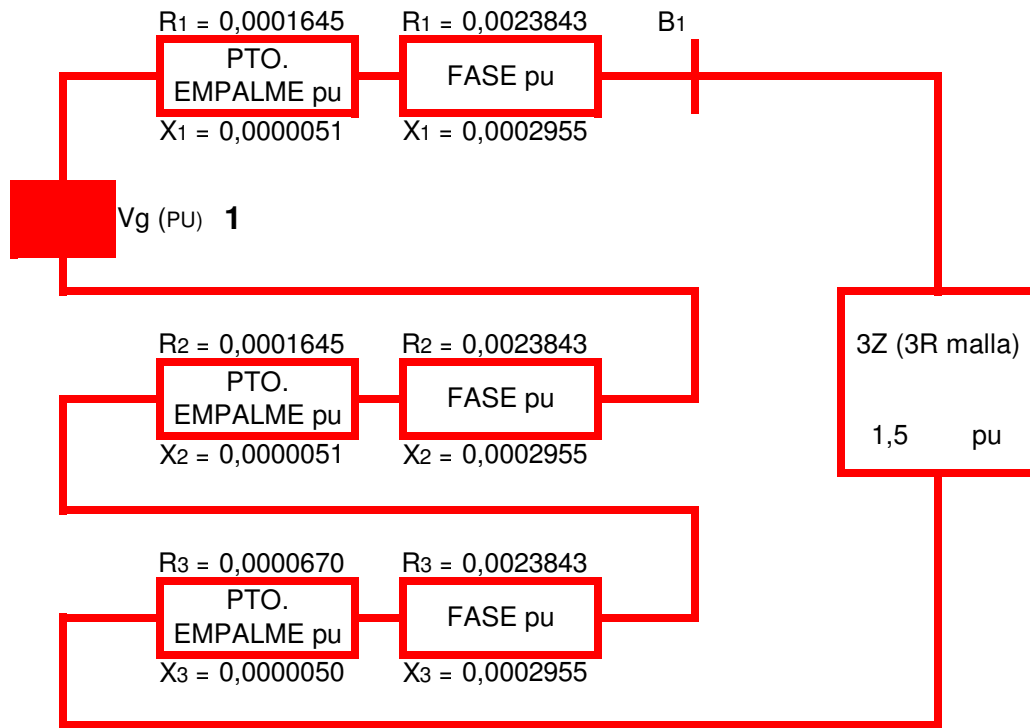


Fig. g) Esta figura muestra la interconexión de las redes de secuencia en el cálculo falla monofásica a tierra.

BASE	
BT	
Z	9,63
S (kVA)	15,00
V (kV)	0,38
I (A)	22,79

7. TERRENO, MATERIAL PARA CONSTRUCCIÓN MALLA TIERRA PROYECTADA

S	Superficie terreno de la malla	32,00 m ²
h	Profundidad terreno de la malla	0,80 m
Ne	Número de electrodos	4 c/u
Le	Largo electrodo vertical	2,50 m
A	Lado mayor de la malla	8 m
B	Lado menor de la malla	4 m
a	Lado mayor regilla	4 m
b	Lado menor regilla	4 m
L	Largo conductor Cu	28,00 m
S conductor	Sección conductor malla	33,62 mm ²
Øe	Diametro electrodo	0,015875 m
Kg malla	Kg total de la malla electrodo horizontales	8,40 kg
H - T	Conector tipo T horizontal 33,62 mm ²	2 c/u
H - X	Conector tipo X horizontal 33,62 mm ²	0 c/u
H - II	Conector paralelo horizontal 33,62 mm ²	1 c/u
V - T	Conector horizo. a elect. vertical 33,62 mm ²	4 c/u
B tierra	Borne de tierra [cámara de tierra]	1 c/u
B princ.	Borne principal conexión tierra tablero	1 c/u
B equip.	Borne equipotencial une todas las tierras cámara y tableros eléctricos.	NO c/u
Conductor de [T.P.]	Conductor tipo Superflex de 21,2 mm ² , usado para conectar equipos metálicos que no son partícipe de un circuito, desde borne tierra a barra principal de un equipo puesta a tierra.	5 m

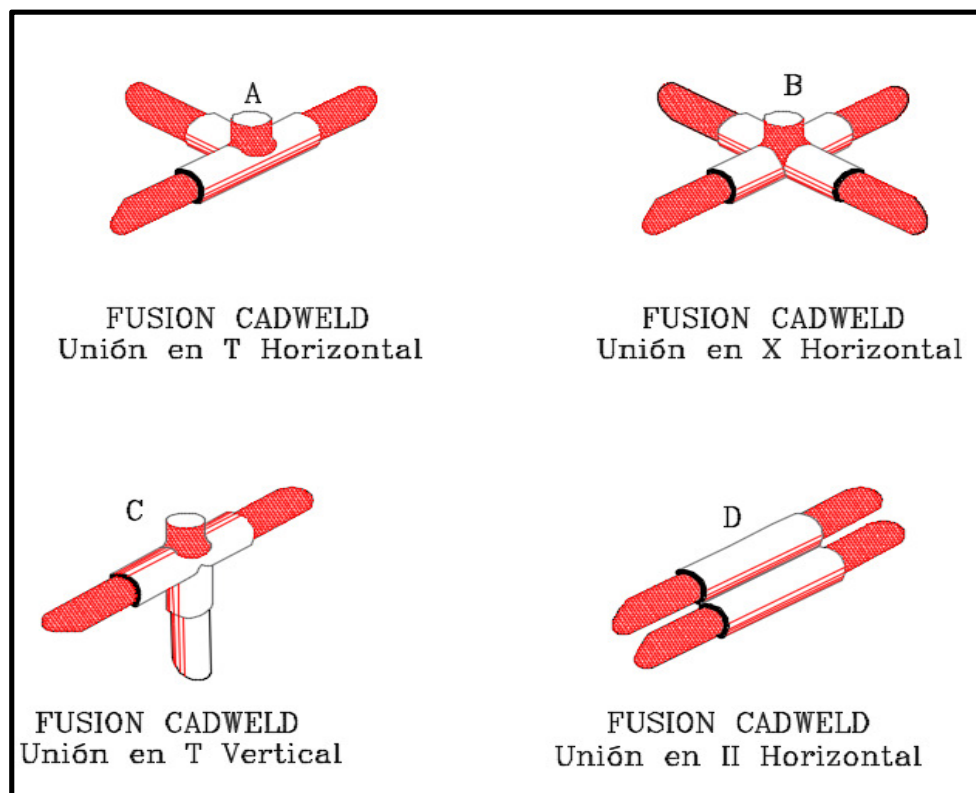


Fig. h) Esta figura muestra la fusión CADWELD con los distintos tipos de unión [TH - XH - TV - IIH] para esta malla proyectada de 32 m².

8. DIAGRAMA EQUIPOTENCIAL A TRAVÉS DE LAS BARRAS, [T.P.]

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).

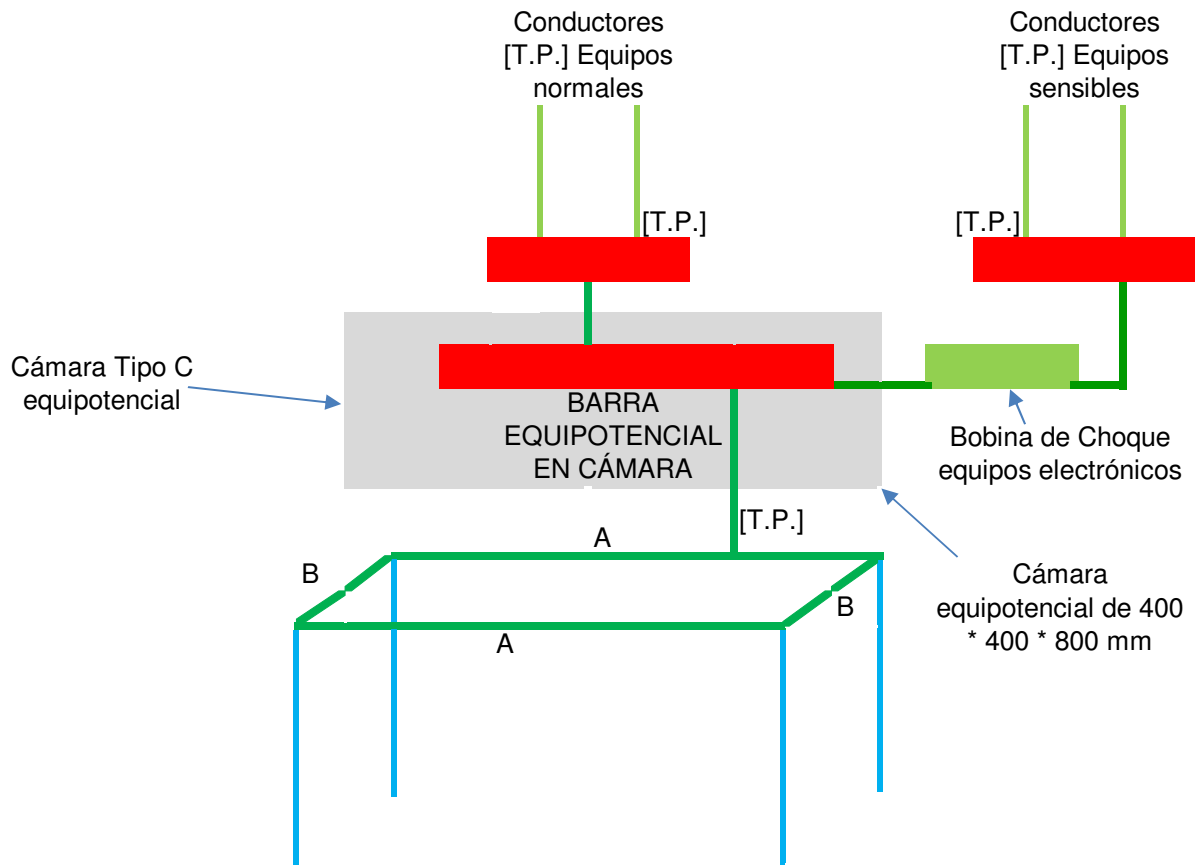


Fig. i) Esta figura muestra un diagrama de interconexión de las barras para que sea una malla equipotencial a tierra.

9. FIGURA CÁMARA EQUIPOTENCIAL A TRAVÉS DE LAS BARRAS, [T.P.]

La conexión de los conductores de puesta a tierra de protección, tierra de servicio y equipotenciales deberá realizarse a la barra o juego de bornes mediante terminales comprimidos por indentación.

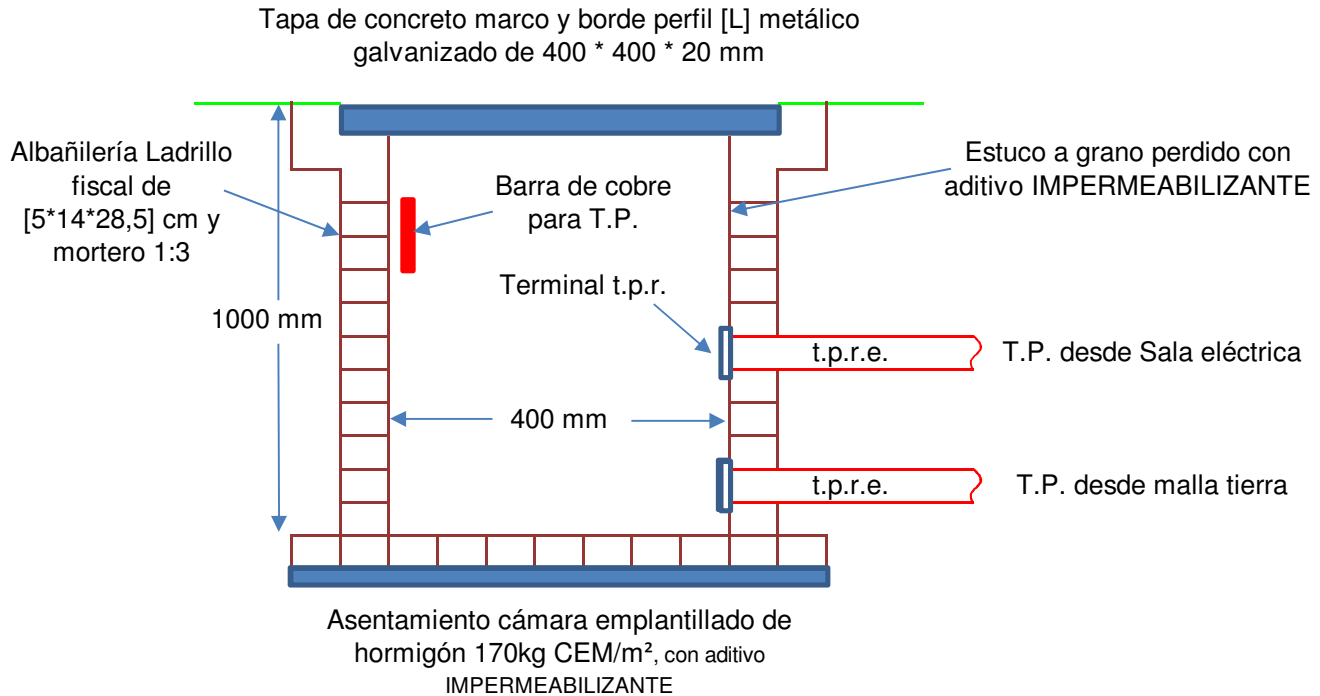


Fig. j) Esta figura muestra el tipo de construcción, dimensión sus componentes de esta cámara equipotencial a tierra tipo C.

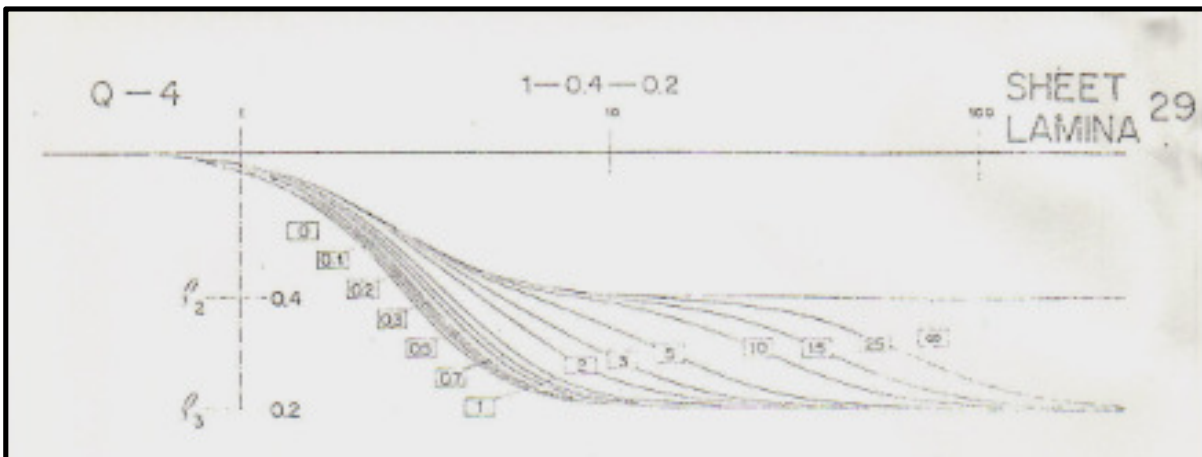
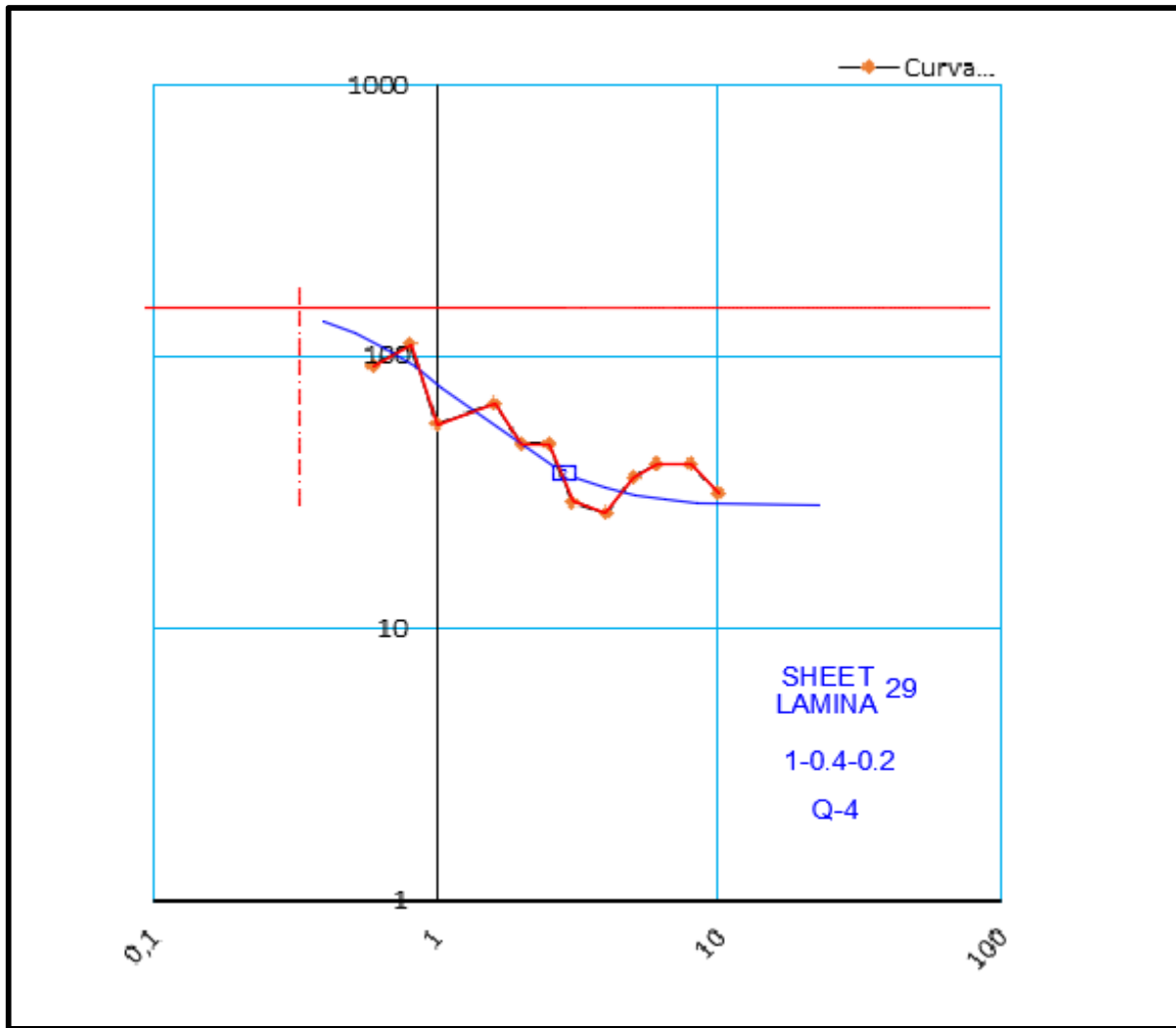
10. CONCLUSIÓN

La malla tiene una resistencia a tierra de 4,69 Ohms, por lo tanto: SI CUMPLE REQUISITO según la Norma Chilena Nch - 2003.

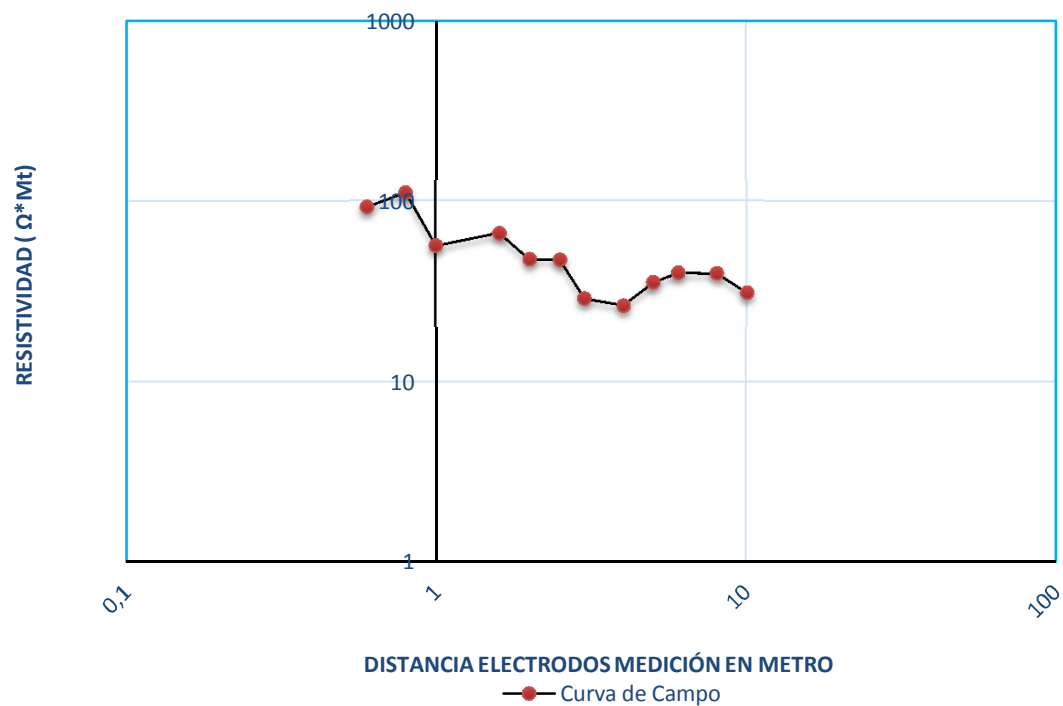
11. OBSERVACIÓN

La ejecución de la malla tierra será de acuerdo al diseño, ya que cualquier alteración, cambio o modificación del terreno, construcción o instalación, puede provocar cambios significativos en el valor final real medido.

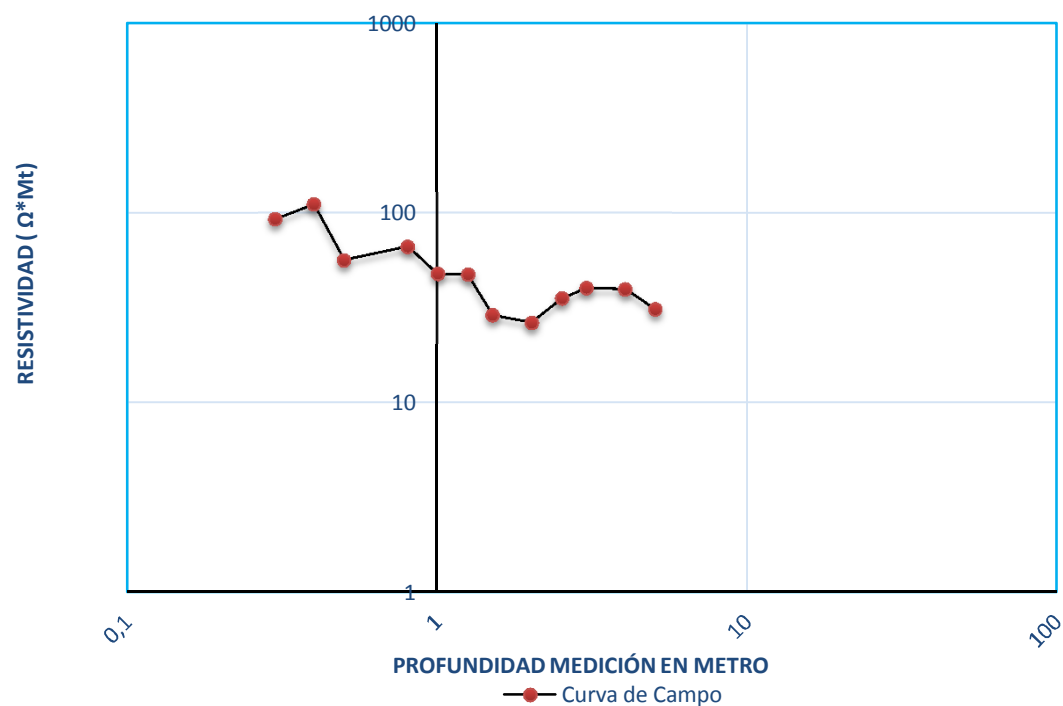
12. ANEXO



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

1054
LabCal
ME
16-09

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 : **2016-213-1**
Número de Solicitud :

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

Calibration Date : **12/09/2016**
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 de LabCal-ME
Certificado de Calibración

14 SEP 2016

Gabriel Spano S.

Calibrated by
Calibrado por
Certificado de Calibración

14 SEP 2016

Gabriel Spano S.

LabCal-ME

Edmundo Lareñas 270, Interior, Concepción, Chile

Fono

56-41-2661087

Fax

56-41-2204777

E-Mail

labcalme@udec.cl

1054
LabCal ME
16-09

• **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.

1054
LabCal ME
16-09

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%.

LabCal-ME

Edmundo Laranas 270, Interior, Concepción, Chile

Fono

56-41-2681087

Fax

56-41-2204777

E-Mail

labcalme@udec.cl

1054
LabCal
ME
16-09

• **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-20KWe, serial number MM 3291 B, consist of standards described as follow :

Description	Model	Manufacturer	Serial Number	Next Calibration
Precision Resistance Decade Box	1067	Time Electronics	1931B15	06-2017
Resistance Decade Box	1040	Time Electronics	1995E15	06-2017
Multifunction Calibrator	5520A	Fluke	7640016	06-2017

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

Descripción	Modelo	Fabricante	Número Serie	Próxima Calibración
Caja Década Resistiva Precisión	1067	Time Electronics	1931B15	06-2017
Caja Década Resistiva	1040	Time Electronics	1995E15	06-2017
Calibrador Multifunciones	5520A	Fluke	7640016	06-2017

• **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.

1054
LabCal
ME
16-09

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 MTD-20KWe	Deviation MTD-20KWe	Relative Deviation	Uncertainty
Valor Patrón	Lectura MTD-20KWe	Desviación MTD-20KWe	Desviación Relativa	Incertidumbre
3.00 Ω	3.00 Ω	0.00 Ω	0.00 %	0.28 %
10.00 Ω	10.13 Ω	0.13 Ω	1.3 %	0.08 %
15.00 Ω	15.20 Ω	0.20 Ω	1.3 %	0.06 %
30.0 Ω	29.7 Ω	-0.3 Ω	-1.0 %	0.20 %
100.0 Ω	101.3 Ω	1.3 Ω	1.3 %	0.06 %
150.0 Ω	151.9 Ω	1.9 Ω	1.3 %	0.04 %
300 Ω	295 Ω	-5 Ω	-1.7 %	0.20 %
1000 Ω	1010 Ω	10 Ω	1.0 %	0.06 %
1500 Ω	1521 Ω	21 Ω	1.4 %	0.04 %
3.00 k Ω	3.04 k Ω	0.04 k Ω	1.3 %	0.22 %
10.00 k Ω	10.15 k Ω	0.15 k Ω	1.5 %	0.12 %
15.00 k Ω	14.87 k Ω	-0.13 k Ω	-0.87 %	0.24 %

1.2 Electrical Resistance Measurement Values
Valores Medición de Resistencia Eléctrica

3 wire
3 hilos

Standard Value	Reading MTD-20KWe	Deviation MTD-20KWe	Relative Deviation	Uncertainty
Valor Patrón	Lectura MTD-20KWe	Desviación MTD-20KWe	Desviación Relativa	Incertidumbre
3.00 Ω	3.04 Ω	0.04 Ω	1.3 %	0.28 %
10.00 Ω	10.17 Ω	0.17 Ω	1.7 %	0.08 %
15.00 Ω	15.26 Ω	0.26 Ω	1.7 %	0.06 %
30.0 Ω	29.8 Ω	-0.2 Ω	-0.67 %	0.20 %
100.0 Ω	101.3 Ω	1.3 Ω	1.3 %	0.06 %
150.0 Ω	152.3 Ω	2.3 Ω	1.5 %	0.04 %
300 Ω	297 Ω	-3 Ω	-1.00 %	0.20 %
1000 Ω	1012 Ω	12 Ω	1.2 %	0.06 %
1500 Ω	1524 Ω	24 Ω	1.6 %	0.04 %
3.00 k Ω	3.05 k Ω	0.05 k Ω	1.7 %	0.22 %
10.00 k Ω	10.15 k Ω	0.15 k Ω	1.5 %	0.12 %
15.00 k Ω	14.88 k Ω	-0.12 k Ω	-0.80 %	0.24 %

LabCal-ME

Fono

Fax

E-Mail

Edmundo Lareñas 270, Interior, Concepción, Chile

56-41-2661087

56-41-2204777

labcalme@udec.cl

Page 6 of 6
Página 6 de 6

1054
LabCal
ME
16-09

1.3 AC Voltage Measurement Values at 50 Hz
Valores Medición de Voltaje AC a 50 Hz

Standard Value Valor Patrón	Reading MTD-20KW Lectura MTD-20KW	Deviation MTD-20KW Desviación MTD-20KW	Relative Deviation Desviación Relativa	Uncertainty Incertidumbre
50.0 V	50.5 V	0.5 V	1.0 %	0.20 %
100.0 V	101.1 V	1.1 V	1.1 %	0.10 %
150.0 V	151.3 V	1.3 V	0.87 %	0.10 %

LabCal-ME

Edmundo Lareña 270, Interior, Concepción, Chile

Fono

56-41-2661087

Fax

56-41-2204777

E-Mail

labcalme@udec.cl