

**UNIVERSIDAD TECNICA  
FEDERICO SANTA MARIA**

**Diseño De Sistema De Pueta A Tierra De Baja Tensión Para Proyecto  
Educativo Fab-Lab Universidad Técnica Federico Santa María  
Concepcion**

Nombre del estudiante: **Gonzalo Oporto Arias**

Institución: **Facultad De Electricidad, Universidad  
Técnica Federico Santa María,  
Concepción**

Nombre de profesor guía: **Esteban Díaz Montt**

Fecha: **05-12-2024**

# Objetivos General Y Específicos

## Objetivo General

Este proyecto tiene como objetivo diseñar una propuesta de puesta a tierra de protección evaluando la seguridad y costos de construcción enfocados en el “*Fab-Lab Universidad Técnica Federico Santa María Concepción*”.

## Objetivos específicos

- Identificar conceptos básicos de puesta a tierra.
- Describir el método de medición de resistividad del terreno e interpretación de datos obtenidos
- Presentar los criterios y parámetros a considerar necesarios para la creación de una puesta a tierra.
- Realizar el diseño de una puesta a tierra.
- Cubicar los materiales necesarios para la implementación.
- Evaluación de factibilidad de otras propuestas.

# Introducción

Desde el siglo XIX hasta la fecha la calidad de vida de las personas se ha mejorado gracias a las invenciones de Nikola Tesla y Thomas Edison, con sus inventos ayudaron mucho al avance de la ciencia y crearon las bases de la electricidad que utilizaron otros inventores para crear aparatos que mejoren y faciliten el trabajo de las personas, gracias a esto hoy en día es muy común para la población estar en contacto con construcciones donde tienen instalaciones eléctricas e interactuar con equipos electrónicos y eléctricos (Tesla contra Edison: la guerra que generó la corriente alterna. 2019). Por este motivo los profesionales encargados de diseñar los proyectos eléctricos tienen que velar por la seguridad de las personas y de los equipos, ya que al trabajar utilizando este tipo de energía o estar cerca de instalaciones que la utilicen o generen, se corre el peligro de sufrir un choque eléctrico, estos choques eléctricos son conocidos en la literatura como tensiones de contacto y tensiones de paso. Para minimizar los daños que podría producir este tipo de accidente se considera en el diseño del proyecto incorporar equipos de protección y la construcción de una puesta a tierra de protección, los principales objetivos que se buscan al incorporando la puesta a tierra son evitar voltajes peligrosos que puedan afectar y poner en riesgo a las personas y equipos, proporcionando una vía de baja impedancia de falla permitiendo la correcta operación de los elementos de protección, servir como vía de retorno de corrientes anómalas o provocadas por desequilibrios en el sistema.

Para poder diseñar la puesta a tierra es de gran importancia conocer la resistividad del terreno donde se desea instalar ya que la tierra en un medio no homogéneo debido a la distinta distribución de los elementos que la componen, es por esto que se han creado técnicas físicas, matemáticas y geológicas enfocadas en la exploración del subsuelo con el fin de analizar la superficie de la tierra y estudiar sus capas con sus diferentes propiedades físicas. Entre estas técnicas prospectivas están los métodos sísmicos, resistivos o eléctricos, en el presente trabajo se realizará el estudio del suelo utilizando un método eléctrico descrito posteriormente, además los criterios que se utilizan para diseñar las puestas a tierra están definidos en las normas nacionales Nch Elec 4/2003, la norma NSEG 20 e.p 78 y pliego técnico normativo RIC N°06 del reglamento de seguridad de las instalaciones de consumo de energía eléctrica. (Jorge Valenzuela. 2014. *Introducción al Proyecto eléctrico. Pag 216*)

La Universidad Técnica Federico Santa María se encuentra gestionando construcción de un nuevo laboratorio, por lo que es necesario construir una puesta a tierra de protección destinada para este proyecto, un empresa externa realizó mediciones en el terreno destinado

para el proyecto y presento una propuesta de puesta a tierra de protección, este trabajo busca verificar la veracidad de los datos obtenidos, diseñara una segunda propuesta y comparar los resultados con los del informe entregado por la empresa externa.

Este documento estará compuesto por cuatro capítulos en los cuales se busca describir el desarrollo del diseño de una tierra de protección y los criterios a utilizar, el capítulo uno estará enfocado en el marco teórico, explicando la forma de medir la resistividad del terreno y la interpretación de los datos obtenidos, además se explicarán los parámetros que se tienen que tener en cuenta para asegurar que la puesta a tierra cumple con la norma y es segura para la población, en el capítulo dos estará dirigido a mostrar la metodología utilizada para diseñar una puesta a tierra, comenzando con la obtención de los datos en terreno, aplicando la metodología para obtener la resistividad equivalente del terreno y terminando con el diseño final de la propuesta de la puesta a tierra, el cuarto capítulo se dedicara a la ubicación de los materiales necesarios para la construcción de la malla y se mencionaran algunas recomendaciones y conceptos básicos de seguridad a tener en cuenta al momento de construir la malla a tierra, el último capítulo serán las conclusiones del proyecto.

# Índice

Capítulo 1 .....	1
Marco Teórico.....	1
1.1 Resistividad Del Terreno.....	1
1.1.1 Naturaleza del suelo .....	1
1.1.2 Humedad en el terreno .....	2
1.1.3 Salinidad del suelo.....	3
1.1.4 Temperatura .....	3
1.1.5 Estratigrafía del terreno .....	3
1.2 Método de cuatro electrodos.....	4
1.2.1 Método de Schlumberger.....	6
1.2.2 Método de Wenner .....	7
1.2.3 Consideraciones .....	8
1.3 Curvas Patrón De Suelos.....	10
1.3.1 Curvas De Dos Capas .....	10
1.3.2 Curvas De Tres Capas .....	11
1.3.3 Curvas De Cuatro Capas .....	12
1.4 Método de Burgosdorf-Yakobs .....	12
1.5 Consideraciones De Seguridad.....	14
1.5.1 Valor de la intensidad que circula por el circuito de defecto .....	14
1.5.3 Resistencia del circuito de defecto.....	14
1.5.4 Tipo de corriente (alterna o continua) .....	14
1.5.5 Frecuencia.....	15
1.5.6 Recorrido de la corriente a través del cuerpo.....	15
1.5.7 Tiempo de contacto .....	15
1.5.8 Voltaje o tensión .....	17
1.5.8.1 Tensión De Paso.....	17
1.5.8.2 Tensión De Contacto.....	18
1.5.9 Corriente De Cortocircuito.....	19
Capitulo2.....	21
Diseño de puesta a tierra .....	21
2.1 Resistencia Equivalente Del Terreno .....	21
2.1.1 Calculo De Factores Para La Capa $\rho_1$ .....	27

2.1.2	Calculo De Factores Para La Capa p2.....	27
2.1.3	Calculo De Factor Para La Capa p3 .....	28
2.1.4	Resistividad Equivalente Del Terreno .....	28
2.2	Valores De Tensión Máxima Admisible.....	28
2.2.1	Tensión Máxima Admisible de Paso .....	30
2.2.2	Tensión Máxima Admisible de contacto .....	31
2.3	Corriente de cortocircuito.....	31
2.3.1	Calculo impedancia del transformador ( $Z_t$ ) .....	31
2.3.2	Calculo de impedancia del alimentador ( $Z_1$ ).....	32
2.3.3	Calculo de impedancia del subalimentador ( $Z_2$ ) .....	34
2.3.4	Calculo de la corriente de cortocircuito trifásica ( $I_{cc}$ ) .....	35
2.4	Cálculo De Sección Mínima Del Conductor De Malla A Tierra. ....	36
2.5	Cálculo De La Resistencia De La Malla. ....	37
2.6	Tensiones generadas en la malla .....	41
2.6.1	Factor Geométrico de la Malla $K_m$ .....	42
2.6.2	Factor de Irregularidad de la malla $K_i$ .....	42
2.6.3	Factor de Superficie de la malla $K_S$ .....	43
2.7	Calculo de Tensiones de paso y contacto en la malla.....	43
2.7.1	Calculo Factor Geométrico de la Malla $K_m$ .....	43
2.7.2	Calculo Factor de Irregularidad de la malla $K_i$ .....	44
2.7.3	Calculo Factor de Superficie de la malla $K_S$ .....	44
2.7.4	Calculo Tensión de Contacto en la Malla $V_m$ .....	44
2.7.5	Calculo Tensión de Paso en la Malla $V_{pp}$ .....	45
Capítulo 3	.....	46
Construcción De La Malla A Tierra.....		46
3.1	Cubicación de Materiales.....	46
3.2	Construcción de malla a tierra. ....	47
3.2.1	Termofusión.....	47
3.3	Cálculo De Tensiones de Paso Y Contacto En Propuesta De Empresa Externa. ....	52
3.3.1	Calculo Factor Geométrico de la Malla $K_m$ .....	52
3.3.2	Calculo Factor de Irregularidad de la malla $K_i$ .....	53
3.3.3	Calculo Factor de Superficie de la malla $K_S$ .....	53
3.3.4	Calculo Tensión de Contacto en la Malla $V_m$ .....	53
3.3.5	Calculo Tensión de Paso en la Malla $V_{pp}$ .....	53

Conclusión .....	55
Bibliografía.....	57
Anexos.....	58

# Capítulo 1

## Marco Teórico

### 1.1 Resistividad Del Terreno

Para poder diseñar una puesta a tierra es necesario conocer el comportamiento del terreno desde el punto de vista eléctrico, como elemento encargado de disipar las corrientes de defecto que lleguen a ella través de los electrodos, como los terrenos no son homogéneos se han creado teorías geoelectricas las cuales buscan la modelación del terreno, a partir de la representación de los estratos horizontales. Cada una de los estratos se caracterizan por su resistividad aparente y espesor. La resistividad del terreno es la resistencia que presenta al paso de la corriente un cubo de terreno de 1 metro de arista, se mide en [ $\Omega$ -m] y se representa con la letra " $\rho$ ".

La resistividad de un terreno depende de su naturaleza, contenido de humedad, salinidad, temperatura y estratigrafía. Además, a medida que aumenta el tamaño de las partículas que la componen, también aumenta el valor de la resistividad del suelo, por otro lado, también influye la compactación del suelo, a mayor grado de compactación, menor será la resistividad. (Jorge Valenzuela. 2014. *Introducción al Proyecto eléctrico. Pag 217*)

Se definirán estas variables para dar una mejor comprensión en la forma en la que afectan la resistividad del terreno.

#### 1.1.1 Naturaleza del suelo

Visto desde el punto de vista eléctrico los terrenos son buenos, regulares o malos conductores en función de su naturaleza, ya que estos no están delimitadas como para saber, de antemano, el valor de resistividad en el punto elegido para efectuar la toma de tierra, es común encontrar para una misma clase de terreno, situada en un mismo paraje, valores de resistividad muy diferentes, podría darse que un terreno tenga valores de algunas desenas de  $\Omega$ -m, para terrenos orgánicos y húmedos, a terrenos con un alta resistividad, como en el caso del granito.

La Tabla 01 muestra valores típicos de resistividad de un terreno según su naturaleza.

**Tabla 01***Valores orientativos de la resistividad en función del terreno*

<b>Naturaleza del terreno</b>	<b>Resistividad en [<math>\Omega</math>-m]</b>
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arenas arcillosas	50 a 500
Arena sílicea	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5.00
Suelo pedregoso desnudo	1.500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

*Nota:* esta tabla muestra valores de resistividad promedios de distintas naturalezas de suelo, es extraída del pliego técnico normativo RIC n°6 puesta a tierra y enlace equipotencial, tabla 6.2.

### **1.1.2 Humedad en el terreno**

El contenido de agua o humedad del terreno influye , de forma apreciable sobre su valor de resistividad, a mayor humedad presente en el terreno , menor será la resistividad de este. Este valor no se mantiene constante ya que varía en el tiempo según el clima, época del año, naturaleza del subsuelo, la profundidad de enterramiento considerada de la puesta a tierra y la situación del nivel freático o la existencia de una capa de agua subterránea, pero rara vez es nulo , incluso refiriéndose a zonas desérticas, en estos casos se puede hacer un mejoramiento del suelo incorporando en una capa subterránea partículas que ayuden a mantener por mayor tiempo la humedad en dicha capa.

### **1.1.3 Salinidad del suelo**

La cantidad de sales que contenga un terreno influye en la resistividad de este, ya que la conductividad del suelo es, esencialmente de naturaleza electrolítica, el flujo de la corriente tiene lugar a través del electrolito formado por las sales y el agua habitualmente contenida en el terreno, a mayor contenido de sales en el terreno menor será el valor de la resistividad de este. El lavado con agua abundante hace que las sales penetren a la parte profunda del terreno, por lo que aumentaría la resistividad de este, es por este motivo que no se recomienda lavar con un exceso de agua el terreno a utilizar y no construir la puesta de tierra en lugares cercanos a ríos.

### **1.1.4 Temperatura**

La resistividad del terreno aumenta a medida que va disminuyendo la temperatura del suelo y en el punto que alcance los 0 °C, el agua en el suelo se congelara, lo que ira reduciendo el movimiento de los electrolitos, esto generara un aumento considerable en la resistividad del terreno. Es por este motivo que al diseñar una puesta a tierra se tiene que considerar si el sector donde se instalara sufre de heladas y se debe buscar que la puesta a tierra alcance las capas del subsuelo que no se ven afectadas mayormente por el frio.

### **1.1.5 Estratigrafía del terreno**

La resistividad total de un terreno es el resultante de las diversas capas que lo componen. Puede suceder que una sola caspa presente una resistividad tan baja que la influencia de las demás sea imperceptible, tal como cuando se alcanzan subsuelos con presencia de agua. Hay que señalar que el valor de resistividad de las capas superiores se ven afectadas a las estaciones climáticas, pudiendo aumentar o disminuir según qué tan extremas y constantes sean estos cambios climáticos. Es por este motivo que lo mas prudente al instalar una puesta a tierra sea intentando llegar a las capas inferiores, se recomienda 1 metro de profundidad, ya que estos subsuelos no sufren mayores cambios en su resistividad frente a las condiciones climáticas.

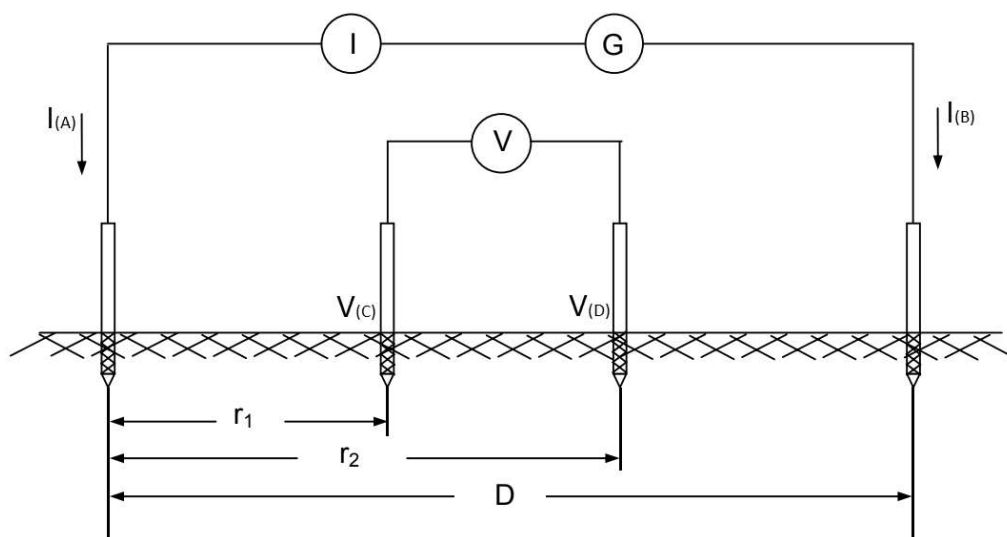
## 1.2 Método de cuatro electrodos

La realización de una instalación de opuesta a tierra requiere conocer previamente el perfil de la resistividad del terreno según la profundidad para facilitar la elección de la disposición de los electrodos a utilizar. El método mas utilizado para el estudio del suelo es el método de cuatro electrodos, este consiste en instalar de forma lineal cuatro electrodos he inyectar una corriente eléctrica en el suelo por medio de los electrodos exteriores, estas corrientes son de igual amplitud, pero en sentidos opuestos, generando 2 campos eléctricos semiesféricos, cada uno independiente generando una diferencia de potencia la cual será mediad por los electrodos internos.

El instrumento utilizado para realiza este tipo de mediciones se llama Telurómetro y el valor que entrega, es el correspondiente a la resistencia del terreno "R" expresada en ohm [ $\Omega$ ], que es el producto entre a la relación de la corriente inyectada y la caída de potencial

**Figura 01**

*Esquema general de medición de resistividad del terreno*



*Nota:* Este esquema representa el montaje general y la conexión del método de cuatro electrodos. imagen referenciada del libro *Introducción Al Proyecto Eléctrico* (p.218).

La diferencia de potencial  $V_C - V_D$  se puede expresar de la siguiente manera:

$$V_C - V_D = \frac{\rho * I}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \left( \frac{1}{D - r_2} - \frac{1}{D - r_1} \right) \right]$$

(1.1)

Donde:

$\rho$ : Resistividad [ $\Omega$ -m]

I: Corriente inyectada [A]

D,  $r_1$ ,  $r_2$ : distancia de electrodos [m]

En el esquema de conexión de puede apreciar que la diferencia de potencial  $V_C - V_D$  es la tensión medida por el voltímetro V, si se despeja la resistividad de la ecuación se obtiene la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{2 * \pi * V}{I} \left[ \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \left(\frac{1}{D - r_2} - \frac{1}{D - r_1}\right)} \right]$$

(1.2)

Como  $R = V/I$  tenemos que la expresión de resistividad también se puede expresar de la siguiente forma:

$$\rho = 2 * \pi * R * \left[ \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \left(\frac{1}{D - r_2} - \frac{1}{D - r_1}\right)} \right]$$

(1.3)

Esta es la fórmula de resistividad del método de los cuatro electrodos, cabe señalar que la resistividad obtenida es el valor de una capa del terreno y no corresponde al valor total del terreno a menos que este sea homogéneo, es por este motivo que se denomina como "resistividad aparente", por lo tanto es necesario realizar varias medidas de resistividad aparente variando la distancia de los electrodos, así mapeando varias capas del terreno, para luego interpretar los datos mediante el uso de curvas patrón, finalmente obteniendo la resistividad equivalente del terreno, los espesores de las capas y sus respectivas resistividades.

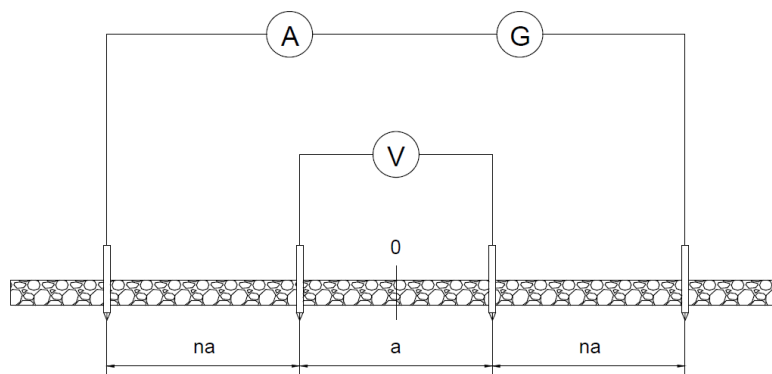
Según se desplacen los electrodos a medida que se obtienen las diferentes muestras de resistividad aparente, se definirá la configuración empleada. Existen 2 tipos de configuración comúnmente usadas, la configuración de Schlumberger y la configuración Wenner.

### 1.2.1 Método de Schlumberger

Para esta configuración los electrodos se ubicarán la línea recta, los dos electrodos de potencial, electrodos interiores, se ubicarán simétricamente respecto a un punto centro de medición, la distancia de separación entre ellos será de 1 metro. Los electrodos de corriente, electrodos exteriores, también se ubicarán de manera simétrica entre si respecto al mismo punto centro de medición. En este método los electrodos de potencial permanecerán fijos durante todo el estudio, en cambio, los electrodos de corriente se irán distanciando de manera simétrica respecto al punto centro de la medición por cada una de las mediciones que sean necesarias para el estudio de resistividad del suelo.

**Figura 02**

*Esquema de montaje de la configuración Schlumberger*



*Nota:* La imagen representa el esquema de montaje de la configuración de Schlumberger para el estudio de suelo. Imagen referencial de libro *Introducción al Proyecto Eléctrico* (p.219)

Considerando las distancias del esquema de la Imagen 01 se puede decir que:

$$r_1 = D - r_2 = na \quad (1.4)$$

$$r_2 = D - r_1 = na + a = a(n + 1) \quad (1.5)$$

Al reemplazamos estas igualdades en la ecuación de resistividad del método de cuatro estacas (1.2) y realizando las correspondientes simplificaciones matemáticas, la resistividad del terreno quedara expresada de la siguiente manera:

$$\rho = \pi * R * a * n(n + 1) \quad (1.6)$$

Nota: expresión extraída del libro *Introducción al Proyecto Eléctrico* (p.219)

Donde:

$\rho$ : Resistividad aparente. [ $\Omega$ -m]

R: Valor de resistencia del terreno. [ $\Omega$ ]

a: separación de electrodos de potencial. [m]

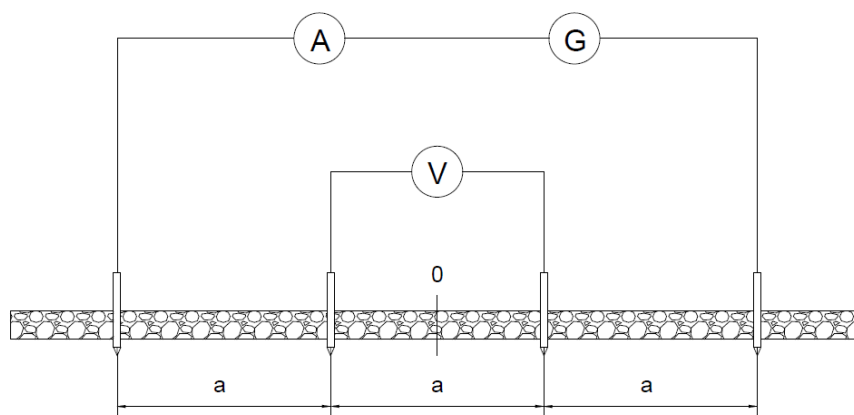
n: Razón entre la separación de los electrodos de corriente y la separación de los de potencial.

### 1.2.2 Método de Wenner

Esta configuración es parecida a la configuración de Schlumberger, los electrodos se ubicarán la línea recta, los dos electrodos de potencial, electrodos interiores, se ubicarán simétricamente respecto a un punto centro de medición. Los electrodos de corriente, electrodos exteriores, también se ubicarán de manera simétrica entre si respecto al mismo punto centro de medición. En este método a diferencia del método anterior, los cuatro electrodos se moverán en forma lineal en cada medición que se haga para mapear el terreno, la distancia entre ellos ira aumentando por cada medición.

**Figura 03**

*Esquema de montaje de la configuración Wenner*



Nota: La imagen representa el esquema de montaje de la configuración de Wenner para el estudio de suelo. Imagen referencial de libro *Puesta A Tierra En Edificios Y En Instalaciones Eléctricas* (P.15)

Al considerar esta distancia en la fórmula de resistividad aparente se obtiene la siguiente expresión:

$$\rho = 2 * \pi * R * a \quad (1.7)$$

Nota: Formula extraída del libro *Puesta A Tierra En Edificios Y En Instalaciones Eléctricas* (P.16)

Donde:

$\rho$ : Resistividad aparente. [ $\Omega$ -m]

R: Valor de resistencia del terreno. [ $\Omega$ ]

a: Separación de electrodos. [m]

La profundidad de la capa medida en cada medición está relacionada con la separación entre los electrodos y se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$h = \frac{3}{4} * a \quad (1.8)$$

Nota: ecuación extraída libro *Puesta A Tierra En Edificios Y En Instalaciones Eléctricas* (P.16)

Donde:

h: Profundidad de la capa [m]

a: Separación de electrodos [m]

### 1.2.3 Consideraciones

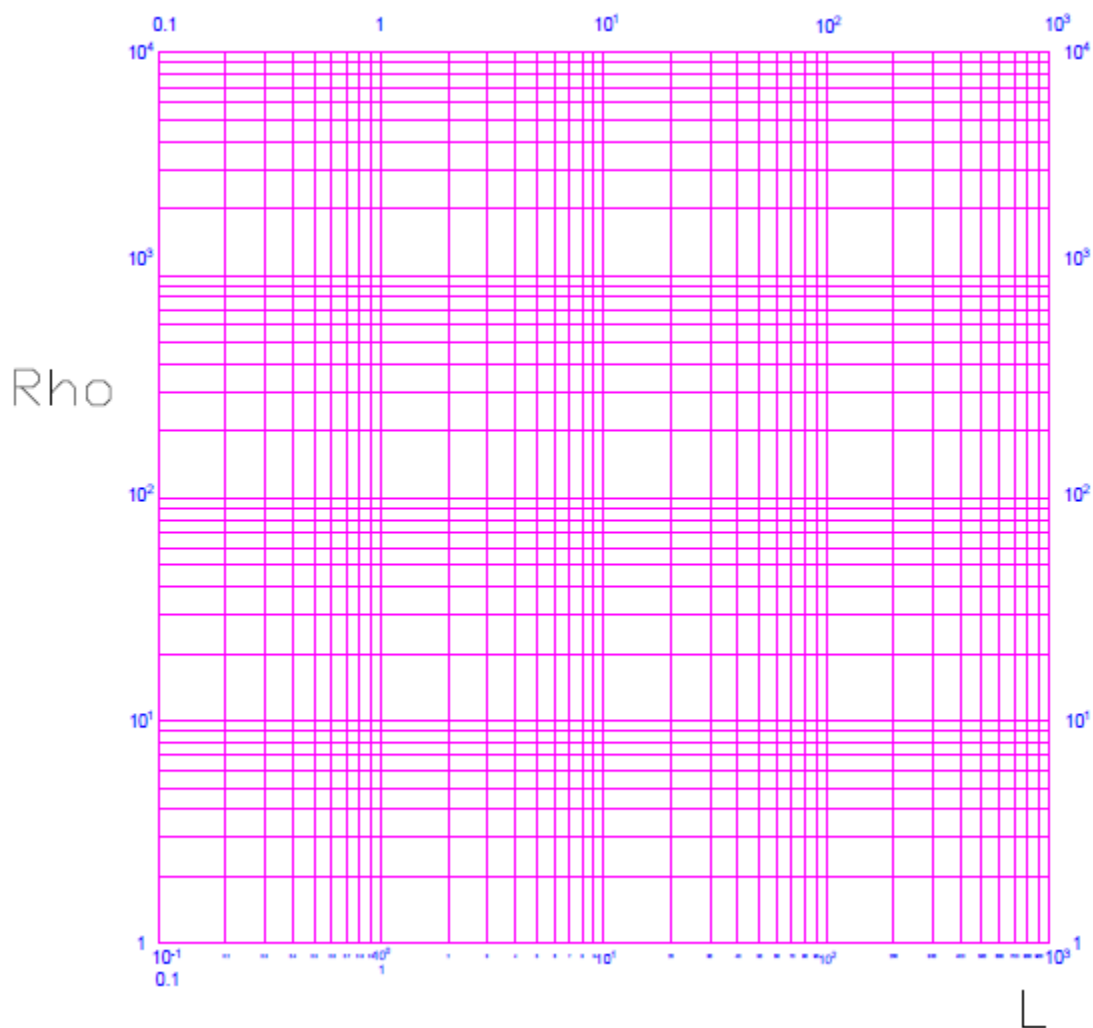
Para realizar el estudio del suelo, independiente del método a utilizar, se recomienda elegir un eje de medición en línea recta, que no presente mayores obstáculos para insertar los electrodos en el suelo a lo largo de este, sobre este eje se debe elegir un punto centro el cual se puede dejar indicado utilizando una estaca auxiliar. En el caso de existir alguna superficie que no permita la inserción de los electrodos en el suelo, como en el caso del concreto, se puede humedecer la superficie donde ira el electrodo y dejar sobre este el electrodo envuelto en un paño húmedo para realizar la medición en ese punto.

Una vez definida la dirección de la línea recta y el punto centro de la medición se comenzará a realizar la medición, a continuación, se mencionarán algunas medidas entre electrodos, distancia en metros, más utilizadas para realizar las mediciones: 0.5 - 0.6 - 0.8 - 1.0 – 1.2 – 1.6 – 2.0 – 2.5 – 3.0 – 4.0 – 5.0 – 6.0 – 8.0 – 10 – 12 – 15 – 20 – 25 etc. Cabe señalar que

estas medidas son solo una recomendación. Después de hacer las mediciones se construye una curva en una hoja logarítmica utilizando los datos de resistividad aparente y la distancia de separación de los electrodos.

#### Imagen 04

*Hoja de grafica logarítmica*



*Nota:* la imagen representa una hoja trágica logarítmica que se utiliza para graficar la curva de comportamiento del terreno medido utilizando como ejes la resistividad aparente y la longitud entre electrodos en cada medida.

### 1.3 Curvas Patrón De Suelos

El método utilizado para obtener la resistividad equivalente del terreno consiste en comparar una gráfica construida a partir de los valores de resistividad aparente obtenido en terreno con las gráficas presentadas por Ernesto Orellana y Harold Mooney en su publicación "Master Tables and Curves for Vertical Element Sounding Over Layered Structures", este método es conocido como "Método de las curvas patrones". La curva obtenida en terreno no siempre calza a la perfección al compararla con las curvas patrones, por lo que se busca la que más se aproxime a ella.

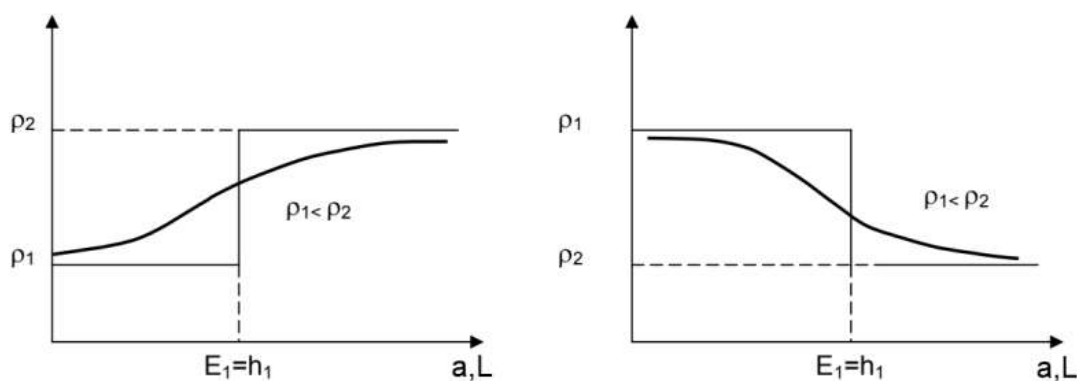
Para facilitar la selección de la curva patrón de resistividad aparente, se han clasificado según el número de capas que componen el terreno y subdividiéndose según la variación de la resistividad que presenten las capas entre sí, a continuación, se mencionaran los distintos tipos de curvas.

#### 1.3.1 Curvas De Dos Capas

Las curvas patrones presentan una familia de curvas de dos capas con 25 casos posibles. Puede darse el caso donde la resistividad de estrato superior es mayor que la del estrato inferior ( $\rho_1 > \rho_2$ ) o el caso contrario ( $\rho_1 < \rho_2$ ).

##### Imagen 05

Curvas Patrón de dos capas



*Nota:* En la imagen se muestran las curvas patrón de resistividad de un terreno que tiene dos capas.

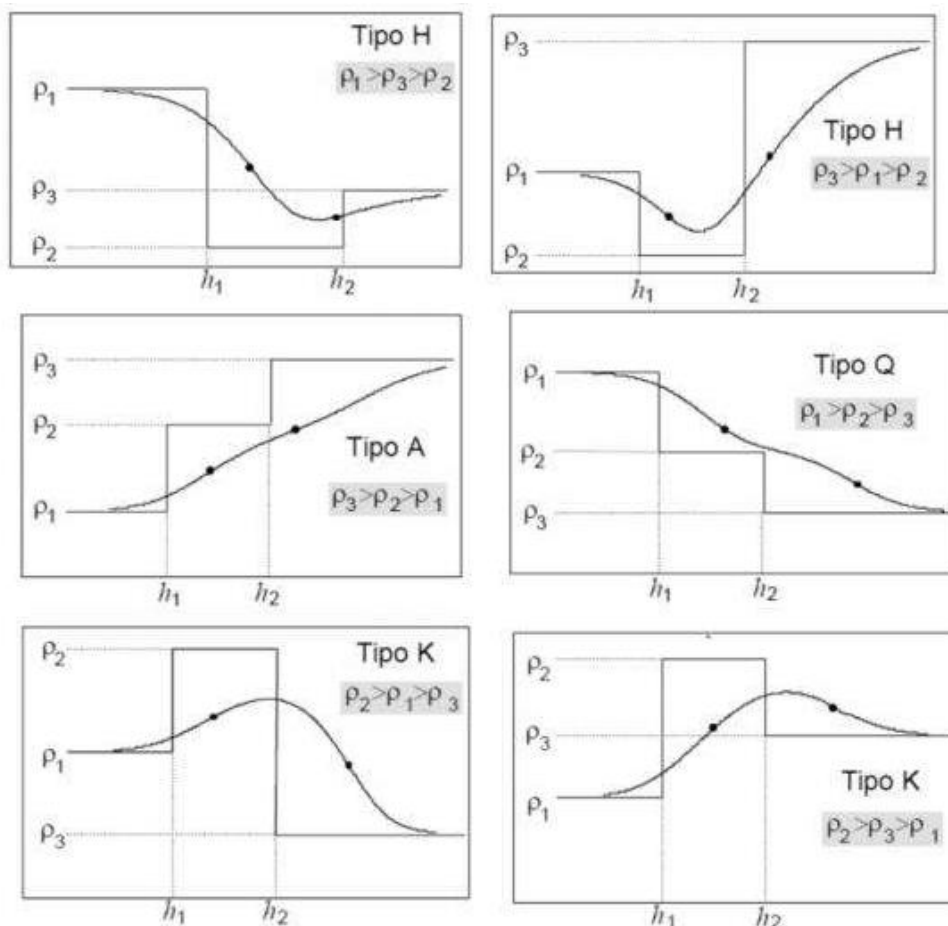
### 1.3.2 Curvas De Tres Capas

Existen 76 familias de curvas patrones para un terreno de 3 estratos con un total de 912 curvas. Se agrupan en 4 tipos según se relacionan las resistividades de los estratos, a pesar de que existen 6 posibles combinaciones de resistividades

- Tipo H:  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ , incluye los subtipos:  $\rho_1 > \rho_3 > \rho_2$  y  $\rho_3 > \rho_1 > \rho_2$
- Tipo K:  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ , incluye los subtipos:  $\rho_2 > \rho_1 > \rho_3$  y  $\rho_2 > \rho_3 > \rho_1$
- Tipo A:  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$
- Tipo Q:  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$

#### Imagen 06

Graficas de los tipos de curvas



*Nota:* En las imagines se representa de forma simple los distintos tipos de curvas patrón de 3 estratos según la relación entre sus estratos.

### 1.3.3. Curvas De Cuatro Capas

En se presentan 30 familias de curvas patrones para terrenos de cuatro capas con 480 curvas en total. Señalar que estas curvas están disponibles solo para la configuración Schlumberger y no para el caso de la configuración Wenner. Existen 24 posibles combinaciones de curvas de resistividad y se agrupan en 8 tipos.

Tipo HK:  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$ , incluye 5 subtipos.

Tipo HA:  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$ , Incluye 3 subtipos.

Tipo KH:  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$ , Incluye 5 subtipos.

Tipo KQ:  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$ , Incluye 3 subtipos.

Tipo AA:  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$ , Incluye 1 subtipos.

Tipo AK:  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$ , Incluye 3 subtipos.

Tipo QH:  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$ , Incluye 3 subtipos.

Tipo QQ:  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$ , Incluye 1 subtipos.

Después de seleccionar la curva patrón que más se aproxime a la curva construida con los datos obtenidos en terreno, se procede a obtener los valores de resistividad aparente de las distintas capas que la componen. Cabe señalar que en la actualidad existen varios softwares, como el llamado ipi2win, que se utilizan para facilitar el proceso de elección de la curva patrón, entregando automáticamente la gráfica de la curva patrón más aproximada y los valores de la resistividad aparente de las capas.

Posteriormente se utilizará el método matemático de Burgosdorf-Yakobs para obtener el valor de resistividad equivalente del terreno.

## 1.4 Método de Burgosdorf-Yakobs

Este método propone que una puesta a tierra compuesta por un conjunto de conductores horizontales en forma de malla enterrados a una profundidad "h" y un conjunto de barras verticales de longitud "Lr" se aproxima a un prisma metálico recto en la medida que se incrementa el número de elementos verticales y su resistencia disminuye en forma asintomática hasta un valor mínimo. Este prisma puede aproximarse a un semielipsoide que cubre una superficie "S"

igual a la que cubre la puesta a tierra y su eje menor "b" es igual a la profundidad máxima alcanzada por los electrodos.

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (1.9)$$

$$r_0^2 = r^2 - h^2 \quad (1.10)$$

$$q_0^2 = 2r(r + h) \quad (1.11)$$

$$u_i^2 = q_0^2 + r_0^2 + h_i^2 \quad (1.12)$$

$$v_i^2 = \frac{u_i^2 - \sqrt{(u_i^2)^2 - 4 * q_0^2 * r_0^2}}{2} \quad (1.13)$$

$$F_i = \sqrt{1 - \left(\frac{v_i}{r_0}\right)^2} \quad (1.14)$$

*Nota:* Los factores  $u_i$ ,  $v_i$  y  $F_i$  se calculan para cada uno de los estratos presentes en el terreno

Este método emplea los parámetros que se definen a continuación.

h: Profundidad en la que se encuentra enterrada la malla [m]

Lr: Longitud de barras enteradas [m]

Pi: Resistividad del estrato "i", supuesto uniforme [ $\Omega$ -m]

hi: Profundidad desde la superficie al termino de estrato "i"[m]

S: Área que cubre el perímetro del electrodo enterrado [ $m^2$ ]

Con los valore obtenidos de  $F_i$  de las capas que componen la curva patrón, se obtiene la resistividad equivalente del terreno a partir de la siguiente expresión:

$$\rho_{equi} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{(F_i - F_{i-1})}{\rho_i}} [\Omega - m], \text{ con } F_0 = 0 \quad (1.15)$$

## **1.5 Consideraciones De Seguridad**

Para diseñar la puesta a tierra se tiene que tener en cuenta seguridad de las personas. Al trabajar cerca de instalaciones eléctricas o utilizar aparatos que utilicen la energía eléctrica, siempre existirá el peligro de electrocución, el paso de la corriente por el cuerpo humano puede generar incomodidad, dolencia o provocar la muerte, es por eso que a continuación se mencionaran los factores que influyen en el riesgo eléctrico.

### ***1.5.1 Valor de la intensidad que circula por el circuito de defecto***

Los valores de intensidad no son constantes puesto que dependen de cada persona y del tipo de corriente, por ello se definen como valores estadísticos de forma que sean válidos para un determinado porcentaje de la población normal.

### ***1.5.2 Resistencia eléctrica del cuerpo humano***

Además de la resistencia de contacto de la piel (entre 100 y 500 W), debemos tener en cuenta la resistencia que presentan los tejidos al paso de la corriente eléctrica, con lo que el valor medio de referencia está alrededor de los 1000 W; pero no hay que olvidar que la resistencia del cuerpo depende en gran medida del grado de humedad de la piel.

### ***1.5.3 Resistencia del circuito de defecto***

Es variable, dependiendo de las circunstancias de cada uno de los casos de defecto, pudiendo llegar a ser nula en caso de contacto directo.

### ***1.5.4 Tipo de corriente (alterna o continua)***

La corriente continua actúa por calentamiento, aunque puede ocasionar un efecto electrolítico en el organismo que puede generar riesgo de embolia o muerte por electrólisis de la sangre; en cuanto a la corriente alterna, la superposición de la frecuencia al ritmo nervioso y

circulatorio produce una alteración que se traduce en espasmos, sacudidas y ritmo desordenado del corazón (fibrilación ventricular).

### **1.5.5 Frecuencia**

Las altas frecuencias son menos peligrosas que las bajas, llegando a ser prácticamente inofensivas para valores superiores a 100000 Hz (produciendo sólo efectos de calentamiento sin ninguna influencia nerviosa), mientras que para 10000 Hz la peligrosidad es similar a la corriente continua.

### **1.5.6 Recorrido de la corriente a través del cuerpo**

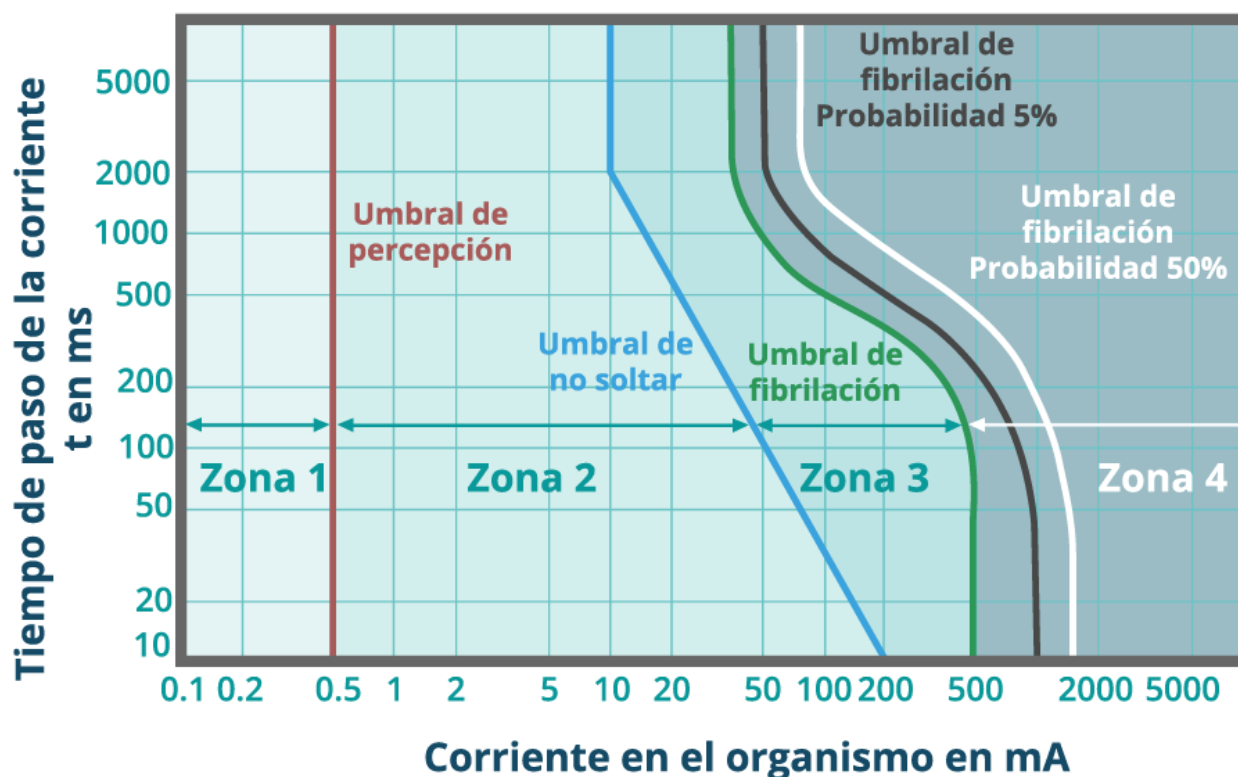
Los efectos de la electricidad son menos graves cuando la corriente no pasa a través de los centros nerviosos y órganos vitales ni cerca de ellos (bulbo, cerebelo, caja torácica y corazón). En la mayoría de los accidentes eléctricos la corriente circula desde las manos a los pies. Debido a que en este camino se encuentran los pulmones y el corazón, los resultados de dichos accidentes son normalmente graves. Los dobles contactos mano derecha- pie izquierdo (o inversamente), mano- mano, mano- cabeza son particularmente peligrosos. Si el trayecto de la corriente se sitúa entre dos puntos de un mismo miembro, las consecuencias del accidente eléctrico serán menores.

### **1.5.7 Tiempo de contacto**

Este factor condiciona la gravedad de las consecuencias del paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano junto con el valor de la intensidad y el recorrido de la misma a través del individuo. Es tal la importancia del tiempo de contacto que no se puede hablar del factor intensidad sin referenciar el tiempo de contacto.

**Imagen 07**

Curvas de seguridad



*Nota:* La grafica muestra las zonas respecto a la intensidad de la corriente y el tiempo de exposición, referencia grafica del libro *Puesta A Tierra En Edificios Y En Instalaciones Eléctricas* (P.160)

Zona 1: Zona de seguridad. Independiente del tiempo de contacto.

Zona 2: Efectos fisiológicos leves sin riesgo.

Zonas 3: habitualmente ningún daño orgánico. Con periodos superiores a 2 segundos se generan contracciones musculares que dificultan la capacidad de respiración. Pueden, en ciertas ocasiones, producir paro temporal del corazón sin alcanzar la fibrilación muscular.

Zona 4: Incremento en padecer un paro cardíaco debido a la fibrilación muscular, quemaduras de gravedad, paro respiratorio entre otras.

### 1.5.8 Voltaje o tensión

La resistencia del cuerpo humano varía según la tensión aplicada y según se encuentre en un local seco o mojado. Así el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión fija unos valores de tensión de seguridad, tensión de paso y tensión de contacto.

Para calcular los valores es necesario primero calcular el factor  $C_s$ , corresponde a un factor de corrección para calcular la resistencia efectiva del pie en la presencia de un espesor finito de material de la superficie. Este factor se calcula con la siguiente expresión:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 * \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * H_s + 0.09} \quad (1.16)$$

Donde:

$H_s$  : Espesor del material de la superficie [m]

$\rho_s$  : Resistividad de la superficie del terreno [ $\Omega$ -m]

$\rho$  : Resistividad equivalente por debajo de la superficie del terreno [ $\Omega$ -m]

Si no se utiliza alguna capa protectora en la superficie, como por ejemplo gravilla, los valores de  $C_s$  y  $\rho_s$  serán  $C_s = 1$  y  $\rho_s = \rho$

Nota: Expresión extraída desde *Pliego técnico normativo RIC N°06 puesta a tierra y enlace equipotencial anexo 6.1.*

#### 1.5.8.1 Tensión De Paso

Corresponde a la tensión que se puede presentar entre ambos pies de una persona que encuentra sobre la malla, en la norma chilena "*Pliego técnico normativo RIC N°06 puesta a tierra y enlace equipotencial*" se indica una expresión matemática para los valore máximo admisible de tensión que se pueden presentar en el terreno para personas de 50 [kg] de peso y otra para una persona de 70[kg] de peso.

Tensión de paso tolerable límite para un cuerpo de 50[kg] de peso:

$$V_{paso\ 50} = (1000 + 6C_s * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (1.17)$$

Tensión de paso tolerable límite para un cuerpo de 70[kg] de peso:

$$V_{paso\ 70} = (1000 + 6C_s * \rho_s) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (1.18)$$

Donde:

$V_{paso}$  : Tensión de paso. [V]

$\rho_s$  : Resistividad de la superficie del terreno. [ $\Omega$ -m]

$\rho$  : Resistividad equivalente por debajo de la superficie del terreno. [ $\Omega$ -m]

$C_s$  : Factor de corrección.

$t_s$  : Duración de la corriente de falla a tierra en segundos [s]. El cálculo se deberá realizar con un valor de  $t_s$  menor o igual al tiempo de operación de la protección de respaldo.

*Nota:* Expresiones extraídas desde *Pliego técnico normativo RIC N°06 puesta a tierra y enlace equipotencial anexo 6.1.*

### 1.5.8.2 Tensión De Contacto

Es la diferencia de potencial entre un punto en la superficie del terreno y cualquier otro punto que se pueda ser tocado simultáneamente por una persona, en la norma chilena "*Pliego técnico normativo RIC N°06 puesta a tierra y enlace equipotencial*" se indica una expresión matemática para los valores máximos admisibles de tensión que se pueden presentar en el terreno para personas de 50 [kg] de peso y otra para una persona de 70[kg] de peso.

Tensión de contacto tolerable límite para un cuerpo de 50 [kg] de peso:

$$V_{Contacto\ 50} = (1000 + 1.5C_s * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (1.19)$$

Tensión de contacto tolerable límite para un cuerpo de 70 [kg] de peso:

$$V_{Contacto\ 70} = (1000 + 1.5C_s * \rho_s) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (1.20)$$

Donde:

$V_{Contacto}$ : Tensión de contacto[V]

$\rho_s$  : Resistividad de la superficie del terreno [ $\Omega$ -m]

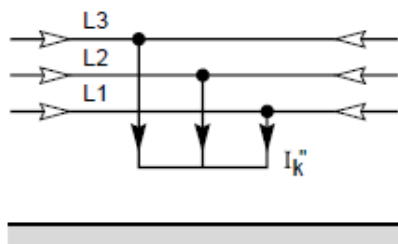
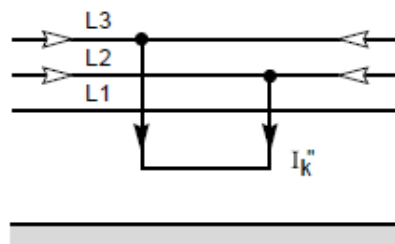
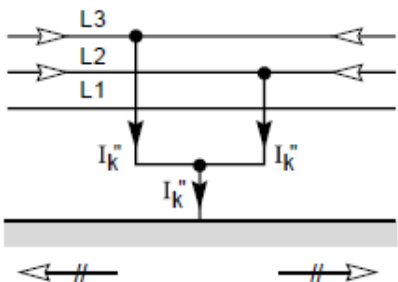
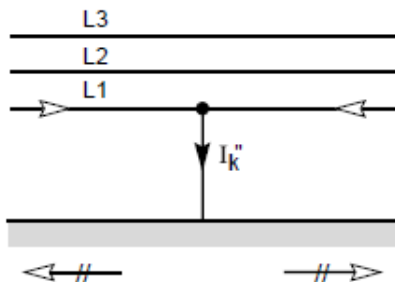
$\rho$  : Resistividad equivalente por debajo de la superficie del terreno [ $\Omega$ -m]

$C_s$  : Factor de corrección.

$t_s$  : Duración de la corriente de falla a tierra en segundos [s]. El cálculo se deberá realizar con un valor de  $t_s$  menor o igual al tiempo de operación de la protección de respaldo.

### **1.5.9 Corriente De Cortocircuito**

Uno de los factores de mayor peligro que se pueden generar en una instalación eléctrica son los provocados por las corriente de cortocircuito, estas corrientes son de gran magnitud y de no ser debidamente despejadas podrían ocasionar daños catastróficos a equipo o personas que estén expuestas a ellas, es por esto que es muy importante al momento de diseñar la puesta a tierra el considerar estas corriente para dimensionar la sección del conductor para que soporte la descara eléctrica sin que se vea dañado. En las instalaciones se pueden generar 4 tipos de cortocircuitos, los cortocircuito trifásico, cortocircuito entre fases, cortocircuito entre fases a tierra y cortocircuito fase a tierra, cabe señalar que el cortocircuito más común es el del tipo fase a tierra, pero el que presenta mayor riesgo es el cortocircuito trifásico, es por este motivo que se debe dimensionar el conductor para esta condición.

**Imagen 09***Tipo de Cortocircuito***a) cortocircuito trifásico simétrico****b) cortocircuito entre fases, aislado****c) cortocircuito entre fases, con puesta a tierra****d) cortocircuito fase-tierra**

*Nota:* La imagen muestra un esquema de los posibles cortocircuitos que se pueden generar. Imagen referenciada de *Cuaderno Técnico n°158, cálculo de corrientes de cortocircuito Schneider. (P 8)*

## Capítulo 2

### Diseño de puesta a tierra

#### 2.1 Resistencia Equivalente Del Terreno

Para comenzar a diseñar la puesta a tierra es necesario conocer la resistividad del terreno donde se proyecta instalar. La ubicación del proyecto es en el sector de áreas verdes cercano a los estacionamientos al costado del taller de maderas de la universidad.

##### Imagen 10

*Plano ubicación proyecto*



*Nota:* La imagen muestra un plano de un sector de la universidad mostrando el sector donde se instalará la puesta a tierra.

El levantamiento de los datos de resistencia del terreno se realiza utilizando el método Wenner descrito anteriormente, el telurómetro utilizado para hacer el estudio es el modelo MDT20KWe.

### Imagen 11

*Montaje del método Wenner*



*Nota:* La imagen muestra el equipo utilizado para medir y la implementación en terreno.

Los datos obtenidos se ordenan en la tabla 02 y utilizando la fórmula 1.7 se obtienen los valores de resistividad aparente del terreno de cada medición.

**Tabla 02***Registro de mediciones en terreno.*

<b>Medicion N°</b>	<b>a [m]</b>	<b>R [Ω]</b>	<b>ρ [Ω-m]</b>
1	0.5	133.1	418.14
2	1	95.3	598.78
3	1.5	75.2	708.74
4	2	15.6	196.03
5	2.5	60.9	956.61
6	3	41.9	789.79
7	4	13.8	346.83
8	5	7.8	245.04
9	6	3.99	150.41
10	8	1.83	91.98
11	10	1.33	83.56
12	15	4.07	383.58

*Nota:* la tabla muestra los valores de resistencia medidos en terreno a distintas distancias:

N°: Numero de medición.

a: Distancia entre electrodos. [m]

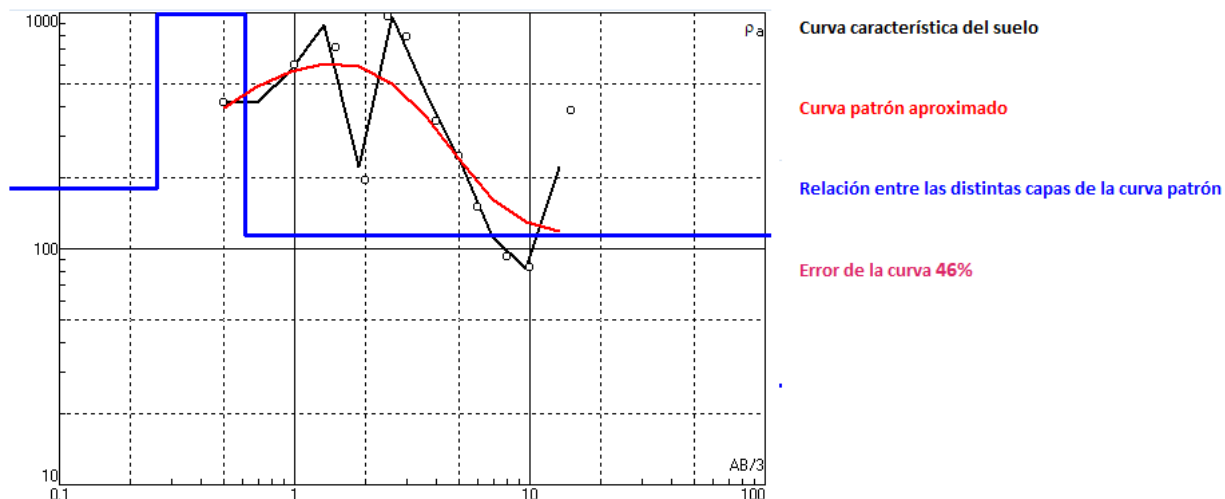
R: Resistencia medida por en telurómetro. [Ω]

ρ: Resistividad aparente del terreno en cada medición. [Ω-m]

Para seleccionar la curva patrón más aproximada a las características de terreno se utilizará el programa "ipi2win". Los datos que se ingresaran al programa son los de distancia entre electrodos y la resistividad aparente de cada medición. La siguiente grafica se construyó utilizando todas las mediciones realizadas en terreno.

## Imagen 12

Grafica característica de suelo



*Nota:* La grafica muestra la curva patrón que más se aproxima a la curva característica del suelo con un error del 46%.

Los valores entregados por el programa son:

**Tabla 03**

*Tabla de valores de resistividad*

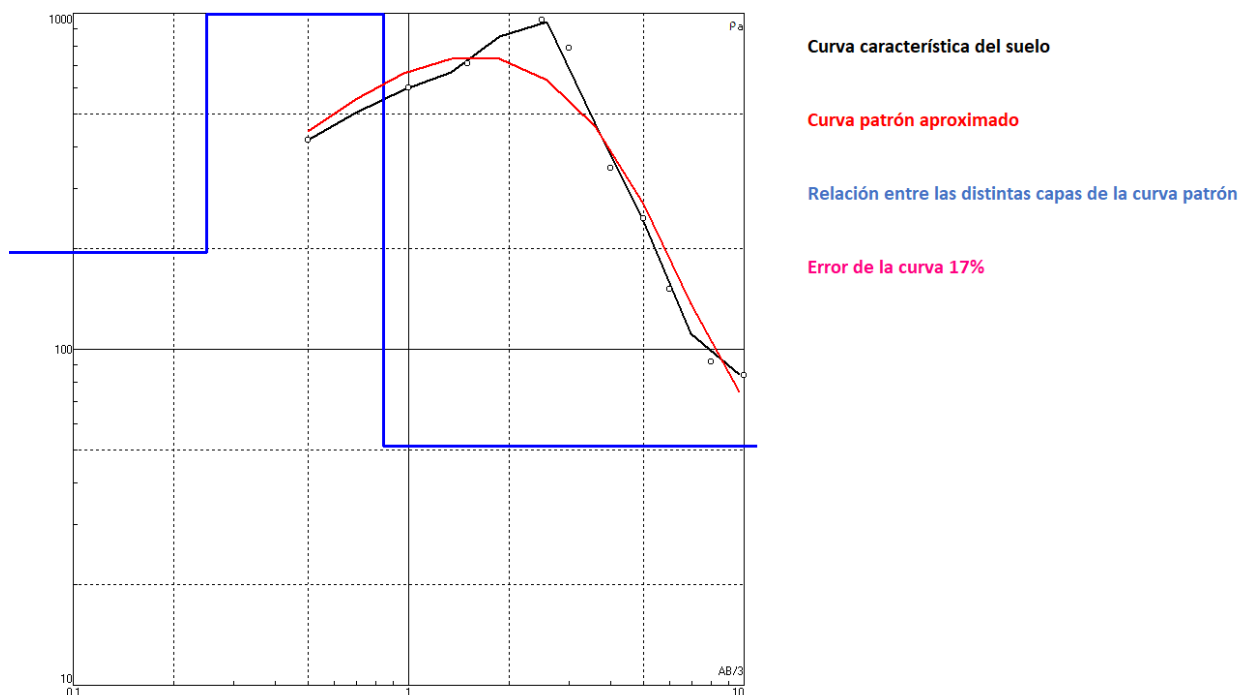
N°	$\rho$ [ $\Omega$ -m]	h [m]	d [m]
$\rho 1$	181	0.261	0.261
$\rho 2$	3475	0.358	0.616
$\rho 3$	114	inf	inf

*Nota:* La tabla muestra los valores obtenidos al utilizar el programa "ipi2win" con un 46% de error.

Para disminuir el error se ingresarán nuevamente los datos al programa, no considerando la medición número 4 y número 20, ya que estos valores se alejan bastante de la curva patrón. La grafica resultante es la siguiente:

### Imagen 13

Grafica característica de suelo.



*Nota:* La grafica muestra la curva patrón que más se aproxima a la curva característica del suelo con un error del 17%.

Se observa que la curva patrón se sobrepone de mejor manera por sobre la curva de comportamiento del suelo. La curva patrón es una de tres capas del tipo K,  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ , lo valores de resistividad son:

**Tabla 04**

*Tabla de valores de resistividad*

N°	$\rho$ [ $\Omega$ -m]	h [m]	d [m]
$\rho_1$	194	0.25	0.25
$\rho_2$	3136	0.59	0.84
$\rho_3$	51.4	inf	inf

*Nota:* La tabla muestra los valores obtenidos al utilizar el programa "ipi2win"

$\rho$ : Resistividad aparente de cada capa. [ $\Omega$ -m]

h: Espesor de cada capa. [m]

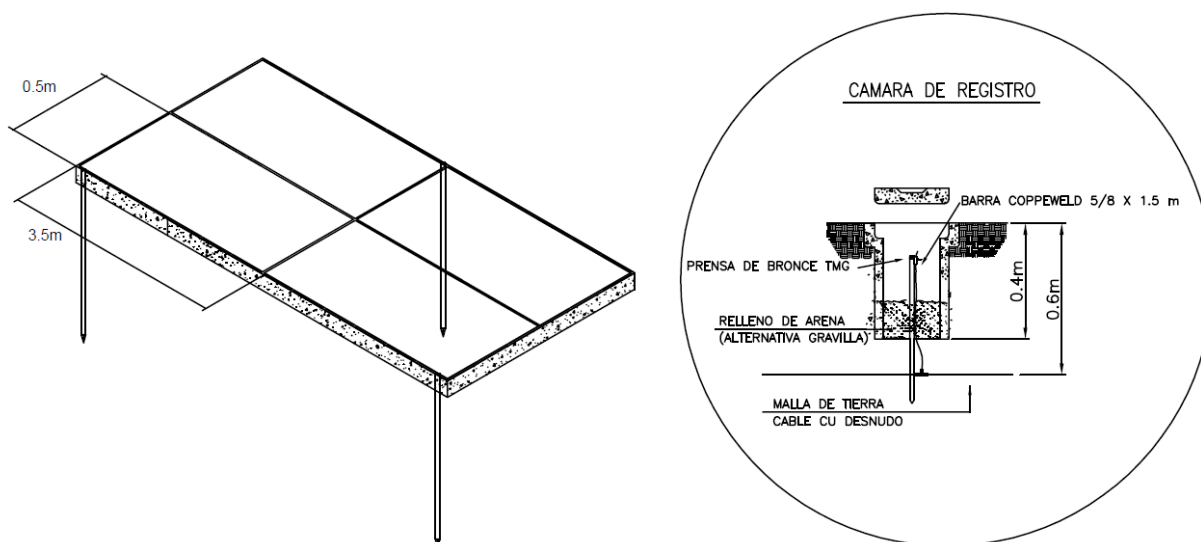
d: Profundidad del límite inferior de cada capa respecto a la superficie. [m]

Se utilizarán los valores obtenidos de la Tabla 04 y ocupando el método Burgsdorf-Yakobs se obtiene el valor de resistividad equivalente del terreno.

Una malla a tierra puede tener distintas dimensiones abarcando una misma área, por lo que es recomendable considerar un diseño simple dentro de lo posible, ya que esto podría encarecer innecesariamente el proyecto. Como diseño a evaluar se considera construir una malla 7 metros de largo y 1 metros de ancho, la profundidad de enterramiento será de 0.6 metros, se usarán 3 barras de 1.5 metros de largo de 5/8 de pulgada de sección y el diseño propuesto será el siguiente:

### Imagen 14

#### Diseño de malla



*Nota:* La imagen muestra una propuesta de diseño inicial, en el cálculo de la puesta a tierra no están considerados los tramos de conductor que irían a la cámara de registro y al tablero general.

El área que cubre la malla es de  $7[m^2]$ , si se reemplaza el valor en la fórmula 1.9 se obtiene:

$$r = \sqrt{\frac{7[m^2]}{\pi}} = 1.49[m]$$

Al reemplazar los valores del radio y la profundidad en las fórmulas 1.10 y 1.11 se obtiene:

$$r_0^2 = (1.49[m])^2 - (0.6[m])^2 = 1.86[m^2]$$

$$q_0^2 = 2 * 1.49[m] * (1.49[m] + 0.6[m]) = 6.24[m^2]$$

Los factores  $u_i$ ,  $v_i$  y  $F_i$  se calculan para las tres capas que componen la curva patrón.

### 2.1.1 *Calculo De Factores Para La Capa $\rho_1$*

Reemplazando los valores obtenidos de  $q_0^2$ ,  $r_0^2$  y el dato de profundidad de la capa en la fórmula 1.12 se obtiene:

$$u_1^2 = 6.24 + 1.86 + (0.25)^2 = 8.17[m^2]$$

Con este valor se obtiene el facto  $v_1^2$  al reemplazarlo en la fórmula 1.13.

$$v_1^2 = \frac{8.17 - \sqrt{(8.17)^2 - 4 * 6.24 * 1.86}}{2} = 1.84[m^2]$$

Finalmente se obtiene el factor  $F_1$  a partir de la formula 1.14.

$$F_1 = \sqrt{1 - \frac{1.84}{1.86}} = 0.11$$

### 2.1.2 *Calculo De Factores Para La Capa $\rho_2$*

Reemplazando los valores obtenidos de  $q_0^2$ ,  $r_0^2$  y el dato de profundidad de la capa en la fórmula 1.12 se obtiene:

$$u_2^2 = 6.24 + 1.86 + (0.85)^2 = 9.32[m^2]$$

Con este valor se obtiene el facto  $v_2^2$  al reemplazarlo en la fórmula 1.13.

$$v_2^2 = \frac{9.32 - \sqrt{(9.32)^2 - 4 * 6.24 * 1.86}}{2} = 1.48[m^2]$$

Finalmente se obtiene el factor  $F_1$  a partir de la formula 1.14.

$$F_2 = \sqrt{1 - \frac{1.48}{1.86}} = 0.45$$

### 2.1.3 Calculo De Factor Para La Capa $\rho_3$

Para la última capa de la curva patrón, el factor  $F_3$  sera:

$$F_3 = 1$$

### 2.1.4 Resistividad Equivalente Del Terreno

Con los factores  $F_i$  obtenidos de las distintas capas y sus correspondientes valores de resistividad aparente, se procede a utiliza la ecuación 1.15 para obtener la resistividad equivalente del terreno.

$$\rho_{equi} = \frac{1}{\frac{0.11 - 0}{194[\Omega - m]} + \frac{0.45 - 0.11}{3136[\Omega - m]} + \frac{1 - 0.45}{51.4[\Omega - m]}} = 87.63[\Omega - m]$$

## 2.2 Valores De Tensión Máxima Admisible

Según la información del proyecto, se ha considerado una protección con un tiempo de reacción de 3 segundos, además se considerara incorporar al terreno una capa superior de gravilla de aproximadamente 0.2 metros de espesor para crear una capa aislante entre la malla y las personas que transiten sobre ella, se utiliza este material por que posee como características una alta resistividad, es de fácil instalación, no acumula humedad, pueden circular equipos pesados sobre ella sin sufrir daños y sus valores se mantienen constantes frente a los cambios climáticos.

**Tabla 05**

*Valores medios aproximados de la resistividad en función del terreno.*

<b>Naturaleza del terreno</b>	<b>Valor medio de la resistividad [Ω-m]</b>
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y otros terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3000

*Nota:* Tabla extraída del Pliego técnico normativo RIC N°06 puesta a tierra y enlace equipotencial. Tabla 6.3.

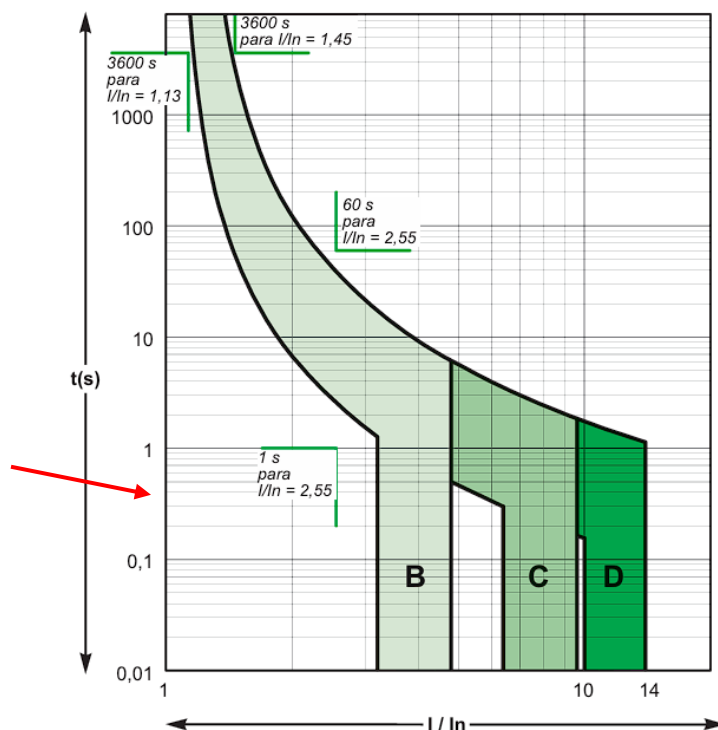
De la tabla anterior se extrae el valor de resistividad de la gravilla que es de 3000 [Ω-m], Utilizando la fórmula 1.16 y reemplazando los valores, se obtendrá el factor de corrección  $C_s$ , quedaría expresada de la siguiente forma:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 * \left(1 - \frac{87.63[\Omega - m]}{3000[\Omega - m]}\right)}{2 * 0.2[m] + 0.09} = 0.821$$

En el proyecto se consideró como protección general del tablero del laboratorio un disyuntor trifásico de 4x32A con una curva de funcionamiento tipo C, como se muestra en la imagen I en Anexos de este documento.

## Imagen 15

Curvas de disparo tipo B, C, D Calibres de 6 a 63 [A]



*Nota:* La grafica muestra la relación entre el tiempo de accionamiento de la protección con respecto a la cantidad de veces que se sobrepasa la corriente nominal.

De la gráfica se extrae que el tiempo máximo de operación de la protección ante un cortocircuito es de 0.3[s], con este dato se procederá a calcular los valores máximos admisibles de tensión de paso y de contacto que se podrían dar en la superficie de terreno.

### 2.2.1 Tensión Máxima Admisible de Paso

Para calcular la tensión de paso máxima tolerable se utilizará el criterio descrito en el *Pliego técnico normativo RIC N°06 puesta a tierra y enlace equipotencial anexo 6.1*. Se utilizará el criterio enfocado a una persona de 50[kg], fórmula 1.17, ya que es la situación más desfavorable. La tensión máxima sería:

$$V_{p \max} = (1000 + 6 * 0.821 * 3000[\Omega - m]) * \frac{0.116}{\sqrt{0.3[s]}} = 3341[V]$$

### 2.2.2 Tensión Máxima Admisible de contacto

Al igual que en el cálculo de la tensión de paso máxima admisible, se utilizará el criterio enfocado a una persona de 50[kg], fórmula 1.19, ya que es la situación más desfavorable, mencionada en el *Pliego técnico normativo RIC N°06 puesta a tierra y enlace equipotencial anexo 6.1*. La tensión de contacto máxima sería:

$$V_{C_{max}} = (1000 + 1.5 * 0.821 * 3000[\Omega - m]) * \frac{0.116}{\sqrt{0.3[s]}} = 994[V]$$

### 2.3 Corriente de cortocircuito

Para calcular el valor de la corriente de corto circuito se utilizará el método de las impedancias, el cual consiste en calcular las impedancias desde el transformador por su lado de baja tensión hasta el punto donde se realizará el estudio de corto circuito. En este caso se calculará la impedancia del transformador por su lado de baja tensión, la impedancia del alimentador a un tablero general y la impedancia del subalimentador que transportará la energía al tablero general del proyecto.

#### 2.3.1 Cálculo impedancia del transformador ( $Z_t$ )

**Tabla 06**

*Datos del transformador*

POTENCIA (Kva)	Tensión de línea [V]	Zpu %
50	380	4

*Nota:* La tabla presenta los datos de placa del transformador.

Para obtener la impedancia del transformador se utilizará la siguiente expresión:

$$Z_t = \frac{Z_{pu}}{100} * \frac{V^2}{S}$$

2.1

Nota: expresión extraída del texto *Cuaderno Técnico n°158, Calculo de corrientes de cortocircuito Schneider. (P 23)*

Donde:

$Z_t$ : Impedancia del transformador [mΩ]

$Z_{pu}$ : Impedancia porcentual de cortocircuito del transformador [%]

V: Tensión entre fases[V]

S: Potencia aparente del transformador [kVA]

Al reemplazar los valores en la fórmula 2.1 se tiene :

$$Z_t = \frac{4}{100} * \frac{(380[V])^2}{50[kAV]} = 115.52 [m\Omega]$$

### 2.3.2 *Calculo de impedancia del alimentador ( $Z_1$ ).*

Como no se cuenta con el plano eléctrico de la universidad que indique la sección y el largo del conductor que alimenta el tablero general desde el transformador, se estimará calculando el conductor del transformador a partir de su corriente nominal y se considerará una distancia de 80[m] entre transformador y tablero general.

Cálculo de la corriente nominal del transformador:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * V}$$

2.2

Donde:

V: Tensión entre fases[V]

S: Potencia aparente del transformador [VA]

Al reemplazar los valores de la placa de datos del transformador se tiene:

$$I_n = \frac{50 * 1000[VA]}{\sqrt{3} * 380[V]} = 75.927[A]$$

Se considerará que el conductor deberá soportar una sobrecarga de un 20%, por lo que el valor de corriente utilizado para dimensionar el conductor será:

$$I_{n+20\%} = 1.2 * 75.927[A] = 91.16[A]$$

Según tabla de conductores Imagen J en los anexos del documento el conductor con la sección más pequeña que soporta el paso de esta corriente es 4AWG con una sección de  $21.2[mm^2]$

El valor de la impedancia de los conductores está dado por las siguientes ecuaciones:

$$R_C = \frac{\rho_{cobre} * L_C}{S_C} \quad 2.3$$

$$X_C = k * L_C \quad 2.4$$

$$Z_c = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} \quad 2.5$$

Donde:

$R_C$  : Resistencia del conductor [ $m\Omega$ ]

$\rho_{cobre}$ : Rho del cobre [ $m\Omega * mm^2/m$ ]

$L_C$  : Longitud del conductor [m]

$S_C$  : Sección del conductor [ $mm^2$ ]

$X_C$  : Reactancia del conductor [ $m\Omega$ ]

$Z_c$  : Impedancia del conductor [ $m\Omega$ ]

$k$  : Constante que depende del tipo de conductor

( $k=0.12$  para unipolares)

( $k=0.08$  para multipolares)

*Nota:* El rho de cobre es de  $0.018[\frac{\Omega mm^2}{m}]$ . Dato extraído del texto *Cuaderno Técnico n°158, Calculo de corrientes de cortocircuito Schneider. (P 19)*

Utilizando los datos obtenidos se procede a calcular el valor de impedancia del alimentador.

### 2.3.2.1 Cálculo de resistencia del alimentador.

Utilizando la ecuación 2.3 se obtiene que el valor de resistencia es igual a:

$$R_1 = \frac{\left(0.018 \left[\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}\right] * 1000\right) * 80[\text{m}]}{21.2[\text{mm}^2]} = 67.92[\text{m}\Omega]$$

### 2.3.2.2 Cálculo de reactancia de conductor

Normalmente se utiliza conductores unipolares por lo que se considerara el valor k para unipolares, reemplazando en la ecuación 2.4 el valor de la reactancia es:

$$X_1 = 0.12 * 80[\text{m}] = 9.6[\text{m}\Omega]$$

### 2.3.2.3 Cálculo de impedancia

Con los valores obtenidos anteriormente se reemplazan en la ecuación 2.5, el valor de impedancia del alimentador es:

$$Z_1 = \sqrt{67.92^2 + 9.6^2} = 68.54[\text{m}\Omega]$$

### 2.3.3 Cálculo de impedancia del subalimentador ( $Z_2$ )

Los datos del proyecto indican que el conductor a utilizar es 4xRZ1-K de  $10[\text{mm}^2]$  y que recorrerá una longitud de  $90[\text{m}]$ .

#### 2.3.3.1 Cálculo de resistencia del alimentador.

Utilizando la ecuación 2.3 se obtiene que el valor de resistencia es igual a:

$$R_2 = \frac{\left(0.018 \left[\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}\right] * 1000\right) * 90[\text{m}]}{10[\text{mm}^2]} = 162[\text{m}\Omega]$$

### 2.3.3.2 Cálculo de reactancia de conductor

El conductor que está considerado para alimentar el tablero general del laboratorio es uno multipolar por lo que se considerara el valor k para multipolares.

$$X_2 = 0.08 * 90[m] = 7.2[m\Omega]$$

### 2.3.3.3 Cálculo de impedancia

Con los valores obtenidos anteriormente se reemplazan en la ecuación 2.5, el valor de impedancia del alimentador es:

$$Z_2 = \sqrt{162^2 + 7.2^2} = 162.15[m\Omega]$$

### 2.3.4 Cálculo de la corriente de cortocircuito trifásica ( $I_{cc}$ )

Como se mencionó anteriormente el cortocircuito más común es el monofásico, pero la corriente de cortocircuito masa alta se presenta en el cortocircuito trifásico, por este motivo solo se evaluará la condición más desfavorable.

El valor de la corriente de cortocircuito en el punto de falla se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{3} * Z_{cc}}$$

2.6

Nota: la expresión es extraída del texto *Cuaderno Técnico n°158, Cálculo de corrientes de cortocircuito Schneider. (P 23)*

Donde:

$I_{cc}$  = Corriente de corto circuito [kA]

V = Tensión de línea [V]

$Z_{cc}$  = Sumatoria de impedancias hasta el punto de falla [mΩ].

$$Z_{cc} = Z_t + Z_1 + Z_2$$

2.7

Al reemplazar los valores obtenidos anteriormente en la ecuación 2.6 se obtiene:

$$I_{cc} = \frac{380[V]}{\sqrt{3} * (115.52[m\Omega] + 68.54[m\Omega] + 162.15[m\Omega])} = 0.6336[kA]$$

## 2.4 Cálculo De Sección Mínima Del Conductor De Malla A Tierra.

Existen varias fórmulas de cálculo donde está considerada la sección del conductor, por lo cual se podría obtener el valor de la sección de la malla al despejarla de ellas. Cuando circula una corriente por un conductor, el conductor sufre un aumento en su temperatura, si esta corriente es elevada, como en el caso de una corriente de cortocircuito, la temperatura se elevará considerablemente, por este motivo se utilizará la expresión de Onderdonk, ya que plantea una relación entre la sección del conductor, la corriente de cortocircuito y el máximo calentamiento permisible en los puntos más desfavorables de la malla, estos puntos son las uniones.

Para saber cuáles son los valores máximos de temperatura en las uniones, se cuenta con la siguiente tabla la cual muestra estos valores dependiendo del tipo de unión.

**Tabla 07**

*Temperatura máxima de uniones*

Condición	Valor de k	Temperatura maxima Permisible [°C]
Para conductor solo	0.004	1083
Para uniones soldadas por autofusión	0.004	1063
Uniones soldadas	0.00524	450
Uniones apernadas	0.00742	250

Nota: Tabla extraída del texto *Introducción al proyecto eléctrico. (P.215)*

La fórmula para obtener la sección mínima del conductor a partir de la expresión de Onderdonk es:

$$S = \frac{I_{cc}}{1973 * \sqrt{\frac{\log \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1}{33 * t}}}$$

Nota: Se despejo la sección del conductor a partir de la expresión en el texto *Introducción al proyecto eléctrico. (P.209)*

Donde:

S : Sección del conductor [ $mm^2$ ]

$I_{cc}$ : Corriente de corto circuito [A]

t : tiempo durante el cual circula la corriente [s]

$T_m$  : temperatura máxima permisible según tipo de unión [ $^{\circ}C$ ]

$T_a$  : temperatura ambiente [ $^{\circ}C$ ]

La malla se construirá utilizando soldaduras exotérmicas en las uniones, al realizar la soldadura se llega a temperaturas superiores a los  $1400^{\circ}C$ , por este motivo el valor a utilizar de la tabla 06 es de temperatura será de  $1083^{\circ}C$

El tiempo de despeje de la falla es de 3[s] y la temperatura ambiente considerada es de  $40^{\circ}C$ . Al reemplazar los datos en la ecuación 2.8 se obtiene la sección mínima que puede tener el conductor:

$$S = \frac{0.6336 [kA] * 1000}{1973 * \sqrt{\frac{\log \frac{1083[^{\circ}C] - 40[^{\circ}C]}{234 + 40[^{\circ}C]} + 1}{33 * 0.3[s]}}} = 0.803[mm^2]$$

Según la norma *Pliego técnico normativo RIC N°06 puesta a tierra y enlace equipotencial*, en el punto 8.7, establece que la sección mínima del conductor a utilizado para construir una puesta a tierra es de  $25[mm^2]$ , De la tabla C ubicada en los anexo del documento se selecciona el conductor de cobre desnudo 2AWG que tiene una sección de  $33.6[mm^2]$ , ya que es una de las secciones más utilizada en el mercado, por lo que facilitara la adquisición de los moldes de grafito necesarios para construir la malla a tierra.

## 2.5 Cálculo De La Resistencia De La Malla.

Para estimar el valor de resistencia de la malla a tierra se utilizará el método Schwarz, ya que se desarrolla utilizando una expresiones de cálculo la cual considera la resistencia de un electrodo enmallado combinado con barras verticales, además presenta una componente adicional que es la resistencia mutua entre los conductores, según esto la resistencia del conjunto de la malla será:

$$R_t = \frac{R_1 * R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2R_{12}}$$

2.9

Donde:

$R_t$ : Resistencia total de la malla[Ω]

$R_1$ : Resistencia del conductor de malla. [Ω]

$R_2$ : Resistencia de los electrodos verticales. [Ω]

$R_{12}$ : Efecto mutuo[Ω]

Cada uno de elementos de ecuación 2.9 se obtienen a partir de las siguientes expresiones de cálculo:

$$R_1 = \frac{\rho_1}{\pi * L_c} \left[ \text{Ln} \left( \frac{2L_c}{h'} \right) + \frac{K_1 * L_c}{\sqrt{S}} - K_2 \right]$$

2.10

$$R_2 = \frac{\rho_a}{2 * n * \pi * L_b} \left[ \text{Ln} \left( \frac{8L_b}{d_2} \right) - 1 + \frac{2 * K_1 * L_b}{\sqrt{S}} * (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

2.11

$$R_{12} = \frac{\rho_a}{\pi * L_c} \left[ \text{Ln} \left( \frac{2L_c}{L_b} \right) + \frac{K_1 * L_c}{\sqrt{S}} - K_2 + 1 \right]$$

2.12

Nota: Formulas extraídas del libro *Introducción al proyecto eléctrico. (P.210)*

Donde:

$\rho_a$ : Resistividad aparente del terreno vista por una barra[Ω-M]

$\rho_1$ : Resistividad aparente del terreno vista por la malla[Ω-M]

$L_c$ : Largo del conductor enterrado que forma la malla [m]

$L_b$ : Largo enterrado de una barra[m]

$n$ : Numero de barras conectadas a la malla.

$d_1$ : Diámetro del conductor que forma la malla[m]

$d_2$ : Diámetro de cada barra[m]

Los factores  $K_1$ ,  $K_2$  y  $h''$  se obtiene de la siguiente manera:

$$K_1 = 1.43 - \frac{h}{\sqrt{S}} - 0.044 * \frac{A}{B}$$

2.13

$$K_2 = 5.5 - \frac{8h}{\sqrt{S}} + \frac{A}{B} \left( 0.15 - \frac{h}{\sqrt{S}} \right) \quad 2.14$$

$$h'' = \frac{d_1}{h} \quad 2.15$$

Donde:

$d_1$ : Diámetro del conductor que forma la malla[m]

$d_2$ : Diámetro de cada barra[m]

h: Profundidad de enterramiento de la malla.[m]

S: Área cubierta por la malla [ $m^2$ ]

A: Longitud del lado mayor de la malla[m]

B: Longitud del lado menor de la malla [m]

Para obtener el valor de resistencia la malla que se propone construir, se comienza calculando los factores.  $K_1$ ,  $K_2$  y  $h''$ . Al reemplazar los valores en la ecuación 2.13 sé que el valor de  $K_1$  es igual a :

$$K_1 = 1.43 - \frac{0.6[m]}{\sqrt{7[m^2]}} - 0.044 * \frac{7[m]}{1[m]} = 0.89$$

A continuación, se obtiene el valor de  $K_2$  reemplazando los valores en la ecuación 2.14.

$$K_2 = 5.5 - \frac{8 * 0.6[m]}{\sqrt{7[m^2]}} + \frac{7[m]}{1[m]} \left( 0.15 - \frac{0.6[m]}{\sqrt{7[m^2]}} \right) = 3.14$$

Finalmente, utilizando la ecuación 2.15 se obtiene el valor del factor  $h''$ .

$$h'' = \frac{0.00654[m]}{0.6[m]} = 0.0109$$

Con los factores ya calculados y los datos de la malla que se desea construir, se puede calcular el valor de los componentes  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_{12}$ .

Reemplazando valores en la ecuación 2.10 se obtiene que la resistencia de la malla es:

$$R_1 = \frac{87.63[\Omega - m]}{\pi * 24[m]} \left[ \text{Ln} \left( \frac{2 * 24[m]}{0.0109} \right) + \frac{0.89 * 24[m]}{\sqrt{7[m^2]}} - 3.14 \right]$$

$$R_1 = 15.48[\Omega]$$

Para calcular la resistencia de los electrodos hay que tener la precaución de transformar el valor de la sección en pulgadas a un valor en metros, en este caso el electrodo seleccionado para la construcción de la puesta a tierra tiene una sección de 0.015875 [m]. A continuación, se procede a utilizar la ecuación 2.11 para calcular el valor de resistencia:

$$R_2 = \frac{87.63[\Omega - m]}{2 * 3 * \pi * 1.5[m]} \left[ \text{Ln} \left( \frac{8 * 1.5[m]}{0.015875[m]} \right) - 1 + \frac{2 * 0.89 * 1.5[m]}{\sqrt{7[m^2]}} * (\sqrt{3} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 19.11[\Omega]$$

Por último, se obtiene el valor de efecto mutuo con la fórmula 2.12

$$R_{12} = \frac{87.63[\Omega - m]}{\pi * 24[m]} \left[ \text{Ln} \left( \frac{2 * 24[m]}{1.5[m]} \right) + \frac{0.89 * 24[m]}{\sqrt{7[m^2]}} - 3.14 + 1 \right]$$

$$R_{12} = 10.92[\Omega]$$

Con las tres variables despejadas se procede a obtener el valor total de la malla a tierra que se propone construir

$$R_t = \frac{15.48[\Omega] * 19.11[\Omega] - (10.92[\Omega])^2}{15.48[\Omega] + 19.11[\Omega] - 2 * 10.92[\Omega]}$$

$$R_t = 13.84[\Omega]$$

La norma chilena *Pliego técnico normativo RIC N°06 puesta a tierra y enlace equipotencial*, en el punto 6.1 menciona "Las puestas a tierra de servicio deben ser diseñadas de forma que aseguren el funcionamiento correcto de los equipos y de la instalación. El diseño deberá garantizar que, en el caso de circulación de una corriente de falla permanente, la tensión

de cualquier conductor activo con respecto a tierra no sobrepase los 250 V y el valor resultante de la puesta a tierra de servicio no debe superar los 20 Ohm". El valor obtenido es menor al límite máximo que establece la norma.

## 2.6 Tensiones generadas en la malla

La forma de verificar que la malla es segura para las personas que transiten sobre ella, es necesario calcular las tensiones de contacto ( $V_m$ ) y de paso ( $V_{PP}$ ) que se podrían generar en ella, estos valores se comparan con los valores de tensión de contacto y paso máximas permitidas calculadas anteriormente, lo que se espera es que estos valores obtenidos sean igual o inferiores a los valores máximos, de no ser así significa que el diseño de la malla no es seguro por lo que se tendría que modificar ya sea incorporando una mayor cantidad de conductor y/o aumentando la cantidad de barras en la malla.

$$V_{PP} \leq V_{P\ Max}$$

$$V_m \leq V_{C\ Max}$$

El estudio de los valores de tensiones en la malla se realizará con el método planteado por Laurent y Koch para verificar estos valores.

Tensión de contacto

$$V_m = \frac{\rho_{equi} * K_m * K_i * I_{cc}}{L_M}$$

2.16

Si la en el diseño de la malla está considerado incorporar barra se utiliza la siguiente expresión:

$$V_m = \frac{\rho_{equi} * K_m * K_i * I_{cc}}{L_M + 1.15 * L_b}$$

2.17

Tensión de paso

$$V_{PP} = \frac{\rho_{equi} * K_s * K_i * I_{cc}}{L_M}$$

2.18

Si la en el diseño de la malla está considerado incorporar barra se utiliza la siguiente expresión:

$$V_{PP} = \frac{\rho_{equi} * K_s * K_i * I_{cc}}{L_M + 1.15 * L_b} \quad 2.19$$

Formulas extraídas del libro *Introducción al proyecto eléctrico. (P.207)*

Donde:

$I_{cc}$ : Corriente de cortocircuito [A]

$\rho_{equi}$ : Resistividad del terreno [ $\Omega$ -m]

$L_M$ : Largo total del conductor de la malla [m]

$L_b$ : Suma de los largos de todas las barras instaladas en la malla [m]

Para obtener los valores de los factores  $K_s$ ,  $K_i$  y  $K_m$  es necesario tener en cuenta las siguientes definiciones:

A: Largo de la malla [m]

B: Ancho de la malla [m]

n: Numero de conductores paralelos de longitud A

m: Numero de conductores paralelos de longitud B

D: Espaciamiento entre conductores [m]

h: Profundidad de enterramiento de la malla [m]

d: diámetro del conductor [m]

### 2.6.1 Factor Geométrico de la Malla $K_m$

$$K_m = \frac{1}{2 * \pi} \left( \ln \left[ \frac{D^2}{16 * h * d} \right] + \frac{1}{\pi} * \ln \left\{ \frac{3}{4} * \frac{5}{6} * \frac{7}{8} * \dots \dots \right\} \right) \quad 2.20$$

Nota: Donde la cantidad de factores entre paréntesis {} es 2 menos que el número de conductores paralelos de la malla de su lado más largo.

### 2.6.2 Factor de Irregularidad de la malla $K_i$

$$K_i = 0.65 + 0.172n \quad 2.21$$

Nota: El factor  $K_i$  se calcula utilizando en número de el número de conductores paralelos de la malla a lo largo de su lado más largo.

### 2.6.3 Factor de Superficie de la malla $K_S$

$$K_S = \frac{1}{\pi} * \left[ \frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} * \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots \right\} \right]$$

2.22

Nota: Donde la cantidad de factores entre paréntesis  $\{ \}$  es el número de conductores paralelos de la malla de su lado más largo.

## 2.7 Calculo de Tensiones de paso y contacto en la malla

Los datos de la malla que son necesarios para calcular los valores de tensión son:

$I_{cc}$ :	633.6[A]	n:	3
$\rho_{equi}$ :	79.407[Ω-m]	m:	3
Largo de malla:	7[m]	D:	0.5[m]
Ancho de malla:	1[m]	d:	0.00654[m]
h:	0.6[m]	Numero de barras:	3
Largo de barras:	1.5[m]		

$$L_M = 3 * 7[m] + 3 * 1[m] = 24[m]$$

$$L_b = 3 * 1.5[m] = 4.5[m]$$

Se comienza por obtener los valores de con factores  $K_m$ ,  $K_i$  y  $K_S$

### 2.7.1 Calculo Factor Geométrico de la Malla $K_m$

Ya que el valor de n es 3, se utilizara un factor para calcularlo, al reemplaza los valores de los datos en la ecuación 2.20, se obtiene:

$$K_m = \frac{1}{2 * \pi} \left( \ln \left[ \frac{(0.5[m])^2}{16 * 0.6[m] * 0.00654[m]} \right] + \frac{1}{\pi} * \ln \left\{ \frac{3}{4} \right\} \right) = 0.2$$

### 2.7.2 *Calculo Factor de Irregularidad de la malla $K_i$*

Reemplazando lo valores en la ecuación 2.21 se obtiene:

$$K_i = 0.65 + 0.172 * 3 = 1.166$$

### 2.7.3 *Calculo Factor de Superficie de la malla $K_s$*

Como el valor de n es 3, se utilizara cuatro factores para calcularlo, al reemplaza los valores de los datos en la ecuación 2.21, se obtiene:

$$K_s = \frac{1}{\pi} * \left[ \frac{1}{2 * 0.6[m]} + \frac{1}{0.5[m] + 0.6[m]} + \frac{1}{0.5[m]} * \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \right\} \right] = 1.29$$

### 2.7.4 *Calculo Tensión de Contacto en la Malla $V_m$*

Al diseñara la malla se consideró incorporar barras en el perímetro de la malla por lo que se utilizara la formula 2.17, al reemplaza los valores se obtiene:

$$V_m = \frac{87.63[\Omega - m] * 0.2 * 1.166 * 659.8[A]}{24[m] + 1.15 * 4.5[m]} = 462.15[V]$$

Al comparar el valor obtenido con el valor máximo de tensión de contacto admisible en la malla, se aprecia que la tensión que se puede presentar en la malla es segura para la población.

$$V_m \leq V_{C \text{ Max}}$$

$$462.15[V] \leq 994[V]$$

### 2.7.5 *Calculo Tensión de Paso en la Malla $V_{pp}$*

Al diseñara la malla se consideró incorporar barras en el perímetro de la malla por lo que se utilizara la fórmula 2.19, al reemplaza los valores se obtiene:

$$V_{pp} = \frac{87.63[\Omega - m] * 1.29 * 1.166 * 633.6[A]}{24[m] + 1.15 * 4.5[m]} = 2980.8[V]$$

Al comparar con el valor obtenido con el valor máximo de tensión de paso admisible en la malla se aprecia que la tensión que se puede presentar en la malla es segura para la población.

$$V_{pp} \leq V_{P \text{ Max}}$$

$$2980.8[V] \leq 3356[V]$$

## Capítulo 3

### Construcción De La Malla A Tierra

#### 3.1 Cubicación de Materiales

**Tabla 08**

*Tabla de materiales*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Molde De Grafito Tipo T Para Barra Tierra 5/8 y Cable 35 $mm^2$ (2Awg)	1
Molde De Grafito unión "X" Cable 35 $mm^2$ (2Awg)	1
Tenaza Para Molde Grafito	1
Carga Cadweld C-90	14
Pistola de Ignición	1
Brocha	1
Rascador	1
Conductor Cobre Desnudo Duro 2 Awg 7H	39 [m]
Cámara de Registro Conduit PVC 110mmx20	1
Barra Cobrizada Toma Tierra 5/8" x 1.5[m]	4
Conector Cu estañado 2Awg	1
Conector de Bronce TT 5/8" Básico	1
Gravilla	8 [ $m^3$ ]
Pistola de Calor	1
Escobilla Metálica	1

*Nota:* tabla de materiales y herramientas necesarias para construir la malla a tierra.

## 3.2 Construcción de malla a tierra.

Los conductores se unirán soldándolas por medio de la termofusión, antes de comenzar con la construcción de la malla a tierra se debe tener en cuenta algunas recomendaciones de seguridad para evitar la ocurrencia de accidentes en la faena por parte del personal que está realizando la actividad y de personas externas que puedan transitar en la cercanía.

- Antes de construir la zanja donde irá enterrada la malla a tierra se debe delimitar el contorno del área para evitar el ingreso de personas externas a la actividad y que se puedan accidentar.
- Colocar un letrero con la información de contacto de la persona encargada de la actividad para comunicarse con ella en caso de ser necesario.
- Uso de elementos de protección personal básicos como zapatos de seguridad con caña larga, casco, guantes, lentes de protección, protector solar entre otros.
- La persona que haga la termofusión debe estar con un traje completo de cuero, guantes que soporten alta temperatura y usar un casco con careta facial.
- Antes de iniciar con la termofusión se debe considerar la existencia en el área de un extintor en buen estado para ser usado en caso de una emergencia.
- Retirar elementos inflables o cubrir con telas ignífugas cualquier elemento cercano que pueda salir dañado al realizar la termofusión.

### 3.2.1 Termofusión

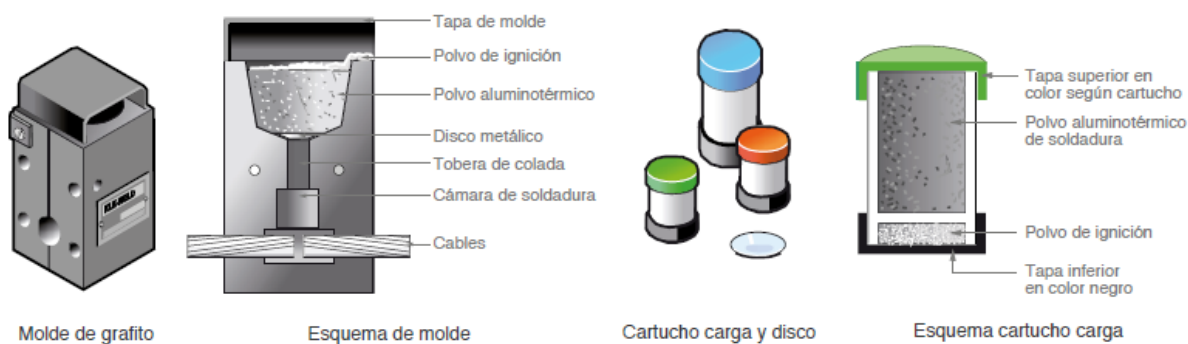
La soldadura aluminotérmica es un procedimiento que se realiza aprovechando la alta temperatura que se desarrolla en la reacción provocada por la reducción del óxido de cobre por el aluminio. La reacción tiene lugar en el interior de un molde de grafito, en el que previamente se han introducido las piezas a soldar; el metal resultante de la reacción aluminotérmica, en estado de fusión, fluye sobre ellas, fundiéndolas y formando una masa compacta y homogénea. La reacción es muy rápida y por tanto las piezas a soldar adquieren, en la zona que rodea al punto de soldadura, una temperatura muy inferior a la que se obtiene empleando los procedimientos habituales, factor muy importante cuando se trata de proteger el aislamiento del cable o las características físicas de los materiales a soldar. Este tipo de soldadura puede ser utilizada para soldar cobre con cobre, o cobre con acero.

Se mencionaran algunas características y beneficios de este tipo de unión

- Las sobrecargas o intensidades de cortocircuito no afectan a la conexión.
- La conductividad de la conexión es, al menos, igual o superior a la de los conductores unidos.
- No existe posibilidad de corrosión galvánica, puesto que los conductores quedan integrados en la propia conexión.

### Imagen 16

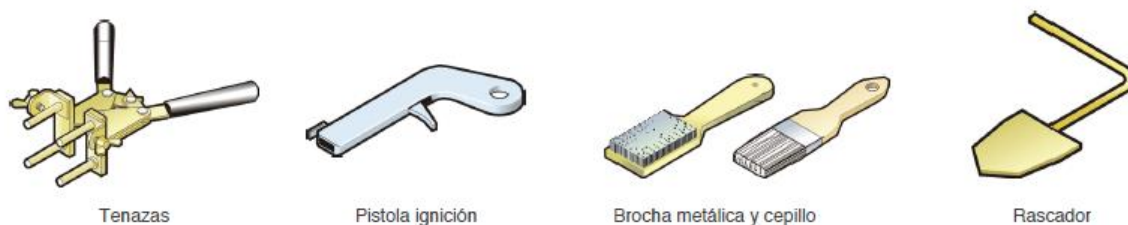
*Esquema interno de Molde de grafito y cartucho de carga*



*Nota:* la imagen ilustra el interior de un molde de grafito y un cartucho de carga. Imagen extraída de catalogo "Ingesco, Soldadura Aluminotérmica En Cobre"

### Imagen 17

*Accesorios*



*Nota:* En la imagen aparecen accesorios que se utilizan para manipular los moldes y elementos de limpieza de estos. Imagen extraída de catalogo "Ingesco, Soldadura Aluminotérmica En Cobre"

**Tenazas:** Es una herramienta en donde se instalan los moldes de grafitos y con ella se manipula la apertura y cierre de los moldes.

**Pistola Ignición:** En una herramienta que parece una pistola y al jalar el gatillo genera una chispa que se utiliza para iniciar la termofusión.

**Brocha metálica, cepillo y rascador:** son elementos de limpieza del molde de grafito los cuales se utilizan para retirar la escoria después de cada uso del molde sin dañarlo.

Antes de realizar una termofusión se debe preparar los puntos de unión, verificando que se encuentren el cable deberá estar perfectamente limpio y seco para conseguir una perfecta soldadura, los puntos de unión de los cables podrían tener residuos de grasas, aceites, óxido, humedad o residuos de barro lo que afectará la calidad de la soldadura, por este motivo se deberán limpiar con un desengrasante, pulirse con un cepillo metálico o retirar la humedad secando con una fuente de calor y eliminar los restos de barro. Un cable húmedo o recubierto de barro provocará una soldadura porosa y proyecciones de metal fundido fuera del molde. Otro factor que influye en la soldadura son los cables mal cortados o con hebras dobladas de forma irregular que impedirán el cierre correcto del molde, provocando fugas de metal fundido.

Al realizar la termofusión entre el cable y las barras, hay que tener en cuenta que el extremo de la barra sobre la que se realice la soldadura, deberá estar perfectamente limpio y exento de deformaciones al igual que lo indicado para la preparación de los cables.

### 3.2.1.1 Uso De Molde De Grafito

La humedad en el molde provocará una soldadura porosa; por tanto, deberá estar completamente seco en el momento de realizar cualquier soldadura. Antes de realizar la primera soldadura, se calentará el molde hasta que su temperatura no pueda soportarse al tacto, con un soplete o pistola de calor, en este caso, deberá realizarse con cuidado de no dañar la tenaza.

#### **Imagen 18**

*Calentamiento de molde de grafito*



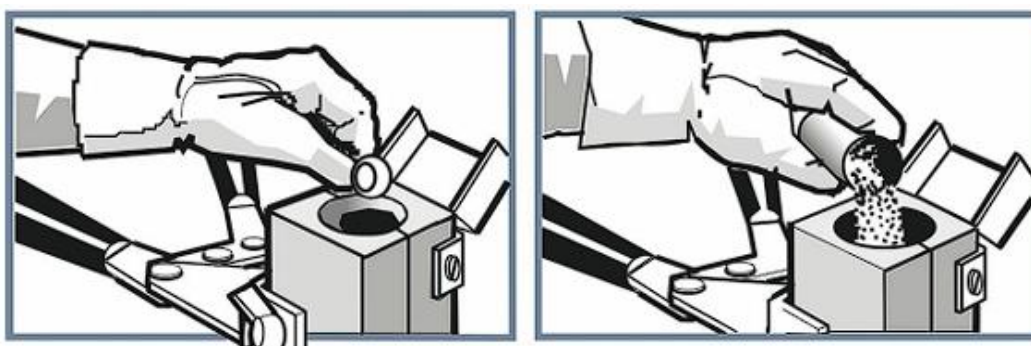
*Nota.* Imagen ilustra la forma de calentar el molde de grafito utilizando una flama.

Para las soldaduras sucesivas, el calor desarrollado mantendrá el molde a la temperatura correcta. Si el intervalo entre ellas provocase el descenso de esa temperatura, deberá reiniciarse el proceso.

Abrir el molde, separando los mangos de la tenaza. Para posicionar los elementos a soldar dentro del molde, cerrar la tenaza del molde y bloquearla en dicha posición. Verificar el correcto cierre del molde. Colocar el disco metálico, con la parte cónica hacia abajo, tapando el orificio de colada del molde.

### Imagen 19

*Ingreso de componentes al molde.*

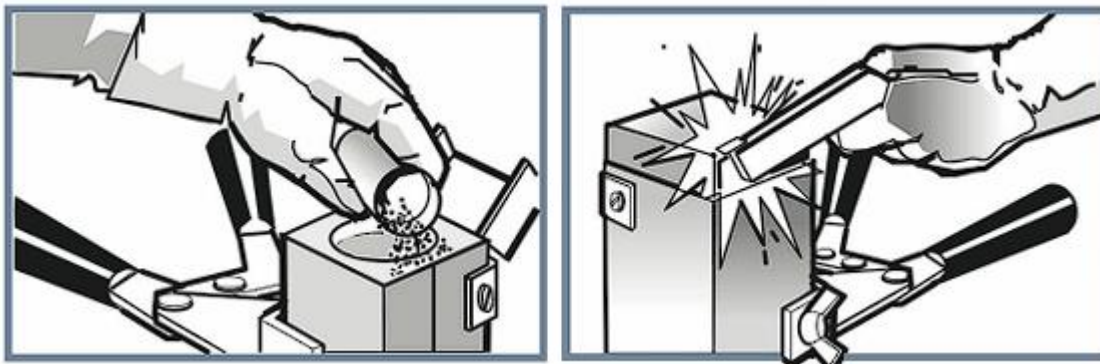


*Nota:* La imagen ilustra inicialmente el ingreso del disco metálico y posteriormente el contenido del cartucho.

La cantidad de polvo aluminotérmico en los cartuchos de carga esta dimensionada para los distintos tipos de moldes de grafito, antes de utilizar un cartucho hay que verificar que la cantidad del cartucho corresponde a la capacidad del molde de grafito a utilizar. Abrir la tapa de color del cartucho y vaciar todo el polvo de soldadura en la tolva del molde. Abrir la tapa inferior del cartucho y espolvorear el polvo de ignición sobre el de soldadura y en el borde del molde, bajo la abertura de la tapa, para facilitar su ignición.

**Imagen 20**

*Ignición de fundente.*

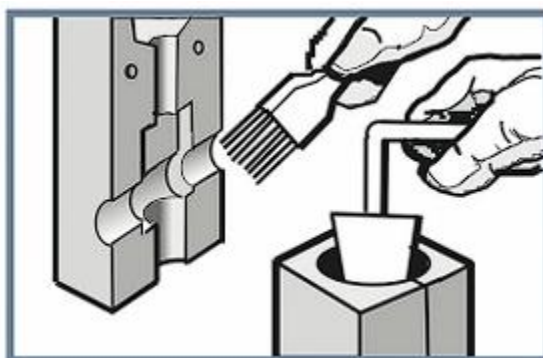


*Nota:* En la imagen se indica la ubicación del polvo de ignición y la forma de usar la pistola de ignición.

Cerrar la tapa del molde. Aplicar la pistola lateralmente, sobre el polvo de ignición, y accionarla para conseguir el encendido. Al momento de iniciar el encendido, retirar rápidamente las manos para evitar accidentes. Esperar un minuto antes de abrir la tenaza del molde para poder extraer la soldadura. Finalmente limpie el molde eliminando los restos de la tolva, el orificio de colada y la tapa del molde con un rascador, retire los residuos la cámara de soldadura con una brocha, una vez limpio se puede volver a utilizar.

**Imagen 21**

*Ignición de fundente.*



*Nota:* Imagen ilustra proceso de limpieza del molde.

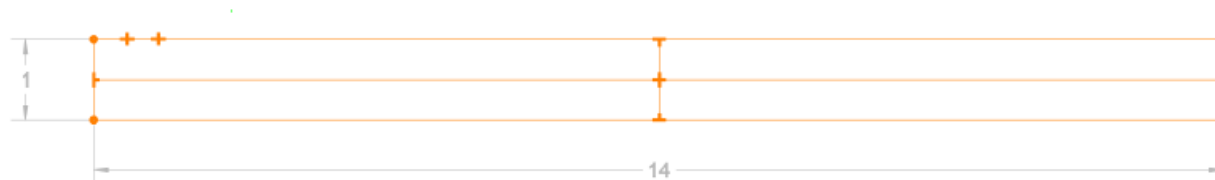
### 3.3 Cálculo De Tensiones de Paso Y Contacto En Propuesta De Empresa Externa.

Al revisar el informe del Proyecto "FAB-LAB CONCEPCION" diseñado por el proyectista Miguel Vargas G., se observa que no se indican los valores de tensión de paso y de contacto que se podrían presentar en la malla, por este motivo se calcularán a partir de los datos indicados en el mismo informe para verificar la seguridad del diseño de malla propuesto. Los valores de tensión en la malla se calcularán con el método planteado por Laurent y Koch

Los datos necesarios para realizar los calculo se extraerán le las páginas 03, 08 y 09 del informe del Proyecto "FAB-LAB CONCEPCION" indicados en los anexos de este documento.

#### Imagen 22

Diseño malla proyecto "FAB-LAB CONCEPCION"



(Imagen Elaboración Propia)

*Nota:* La imagen muestra el diseño de malla propuesto para el proyecto.

Largo total conductor:	45[m]	Área:	14[m <sup>2</sup> ]
Largo de barras:	1.5[m]	Largo de malla :	14[m]
diámetro de conductor:	0.00654[m]	Ancho de malla:	1[m]
Numero de barras:	3	n:	3
Resistividad equivalente:	209.11[Ω-m]	D:	0.5[m]
h:	0.6[m]		

#### 3.3.1 Calculo Factor Geométrico de la Malla $K_m$

Ya que el valor de n es 3, se utilizara un factor para calcularlo, al reemplaza los valores de los datos en la ecuación 2.20, se obtiene:

$$K_m = \frac{1}{2 * \pi} \left( \ln \left[ \frac{(0.5[m])^2}{16 * 0.6[m] * 0.00654[m]} \right] + \frac{1}{\pi} * \ln \left\{ \frac{3}{4} \right\} \right) = 0.2$$

### 3.3.2 *Calculo Factor de Irregularidad de la malla $K_i$*

Reemplazando lo valores en la ecuación 2.21 se obtiene:

$$K_i = 0.65 + 0.172 * 3 = 1.166$$

### 3.3.3 *Calculo Factor de Superficie de la malla $K_S$*

Como el valor de n es 3, se utilizará tres factores para calcularlo, al reemplaza los valores de los datos en la ecuación 2.21, se obtiene:

$$K_S = \frac{1}{\pi} * \left[ \frac{1}{2 * 0.6[m]} + \frac{1}{0.5[m] + 0.6[m]} + \frac{1}{0.5[m]} * \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \right\} \right] = 1.24$$

### 3.3.4 *Calculo Tensión de Contacto en la Malla $V_m$*

La corriente de corto circuito considerada para hacer el cálculo será la obtenida en el punto 2.3.4 porque es la corriente de falla en el punto más cercana al tablero general del laboratorio. En el diseño la malla propuesta se consideró incorporar barras en el perímetro de la malla por lo que se utilizara la fórmula 2.17, al reemplaza los valores se obtiene:

$$V_m = \frac{209.11[\Omega - m] * 0.205 * 1.166 * 659.8[A]}{45[m] + 1.15 * 4.5[m]} = 631.18[V]$$

Al comparar el valor obtenido con el valor máximo de tensión de contacto admisible en la malla, se aprecia que la tensión que se puede presentar en la malla es segura para la población.

$$V_m \leq V_{C Max}$$

$$631.18[V] \leq 994[v]$$

### 3.3.5 *Calculo Tensión de Paso en la Malla $V_{pp}$*

Al igual que en el punto anterior, se considerará la corriente de cortocircuito obtenida en el punto 2.3.4 y se utilizará la fórmula 2.19, al reemplazar los valores se obtiene:

$$V_{pp} = \frac{209.11[\Omega - m] * 1.24 * 1.166 * 659.8[A]}{45[m] + 1.15 * 4.5[m]} = 3817.8[V]$$

Al comparar con el valor obtenido con el valor máximo de tensión de paso admisible en la malla se aprecia que la tensión que se puede presentar en la malla es mayor al valor máximo admisible.

$$V_{pp} \leq V_{P \text{ Max}}$$
$$3817.8[V] \geq 3341[V]$$

## Conclusión

Una puesta a tierra es un componente crítico en cualquier instalación eléctrica, esencial para la seguridad y el funcionamiento eficiente de los sistemas eléctricos. consiste en conectar las partes metálicas de una instalación eléctrica a un grupo de elementos conductores instalados en el suelo. Este proceso crea un camino de baja resistencia que permite la disipación segura de corrientes eléctricas no deseadas. Su objetivo principal es proteger tanto a las personas como a los equipos eléctricos. ( Daniel Rendueles. CMO KLK, s.f)

En el desarrollo del diseño de la puesta a tierra se clarifica los pasos a seguir, comenzando con obtención de los datos en terreno del suelo utilizando el método de Wenner, analizando los datos por medio de herramientas tecnológica y ecuaciones matemáticas para obtener el valor de resistividad del suelo. Además, se describen el método para obtener los parámetros que se tienen que tener en cuenta para asegurar que el diseño de la puesta a tierra es seguro, finalmente se evalúa un diseño preliminar contractando sus valores con los parámetros de seguridad.

En este trabajo se evaluó una propuesta presentada por un proyectista externo, analizando los datos entregados en un informe, se aprecia la omisión de algunos datos, comparando dicha propuesta con la planteada en este proyecto enfocándose en analizar los valores de resistencia de las mallas a tierra, verificando que este valor no supere los valores mencionados en la norma. Se compararon las tensiones de paso y de contacto que se podrían generar en ambas mallas al momento de una falla con los valores máximos permisibles, por último, se evaluó las dimensiones de las mallas, ya que, la cantidad de material a utilizar influirán en el costo final para su implementación.

El valor de la resistencia de la puesta a tierra informado por el proyectista, menciona que es inferior a  $10[\Omega]$  y el valor calculado de la resistencia de la puesta a tierra desarrollado en este proyecto es de  $13.86[\Omega]$ , a pesar de que son valores distintos, ambos son inferiores al valor máximo permisible de  $20[\Omega]$  mencionado en la norma (Norma Chilena *Pliego Técnico Normativo RIC N°06 Puesta A Tierra Y Enlace Equipotencial*, punto 6.1. año 2020)

Al calcular las tensiones de contacto de ambas mallas se obtiene que el valor de la malla propuesta por el proyectista es de  $631.18[V]$  y el valor calculado de la tensión de contacto de la malla desarrollada en este proyecto es de  $462.15[V]$ , ambas tensiones están por debajo del valor de tensión máxima permitida de contacto que es de  $994[V]$ .

La tensión máxima permitida de paso es de 3341[V], y al calcular las tensiones de paso de ambas mallas se obtiene que el valor de tensión de la malla propuesta por el proyectista es de 3817.8[V] siendo la tensión calculada de paso de la malla desarrollada en este proyecto es de 2980.8[V], en este caso se aprecia que el valor de la tensión de la malla del proyectista sobrepasa el valor máximo permitido , lo que indica que no es segura para las personas, la manera de solucionar esto es rediseñar la malla y posteriormente realizar los cálculos nuevamente para verificar que cumpla con los criterios de seguridad.

Al analizar el diseño de las mallas a tierra se puede apreciar que son bastante similares, pero las dimensiones en el largo del conductor de cobre desnudo 2AWG apreciando una diferencia en su longitud, lo cual influirá en el costo del proyecto, en la malla desarrollada propuesta por el proyectista, considero un largo de conductor de 45[m] en cambio en este proyecto se considero un largo de 24[m], lo que confirma que la malla a tierra propuesta en este proyecto, significaría menores costo en su implementación.

Concluyendo que al observar la cotización de materiales que está en los anexos de este documento se aprecia que el valor monetario de una unidad de carga para realizar una termofusión es cuatro veces mayor que el costo de un metro de cable de cobre desnudo, es por este motivo que, al diseñar una malla a tierra se debe considerar un balance entre el diseño y el valor de los materiales necesarios para construirla, ya que se podría dar el caso de que un diseño sea más pequeño pero es más costoso porque contiene mayor cantidad de uniones. Todo esto con la finalidad de implementar una malla a tierra con un diseño que cumpla los estándares de normas de seguridad y además posea costos de implementación más factibles.

## Bibliografía

- Juan J. Martínez Requena y José C. Toledano Gasca *Puesta A Tierra En Edificios Y En Instalaciones Eléctricas*.
- Rogelio García Márquez (2014) *La Puesta A Tierra De Instalaciones Eléctricas*.
- Jorge Valenzuela *Introducción Al Proyecto Eléctrico*.
- La norma chilena *Pliego técnico normativo RIC N°06 puesta a tierra y enlace equipotencial*.(2020)  
[Pliego-Técnico-Normativo-RPTD-N°06-Puesta-a-tierra.pdf](#)
- Catálogo *Vitel Energía (2024)*  
[Catálogo Eléctrico Vitel Energía 2024](#)
- Catálogo *Puesta a tierra, unión equipotencial y nVent ERICO Cadweld*  
[E1339C-ES.pdf](#)
- Benoît De Metz-Noblat, Frédéric Dumes Y Christophe Poulain (2007) *Cuaderno Técnico nº 158 Cálculo de corrientes de cortocircuito Schneider*  
[CT158-V11-b.pmd](#)
- Walter M. Villa-Acevedo , Johnatan M. Rodríguez-Serna y Juan D. Saldarriaga-Loaiza (2019) *Estimación de Parámetros del Suelo de dos Capas usando el Algoritmo de Optimización de Mapeo Media-Varianza*  
[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642019000100299](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000100299)
-

## Anexos

**Tabla A**

Tabla de datos de moldes de grafito unión con barra copper



### MOLDE GRAFITO PARA CONEXIÓN CON BARRA COPPER 1/2 5/8 3/4

REF.	mm <sup>2</sup>	AWG	CARGAS	MEDIDA BARRA COOPER
0733551091	25x25	4	90	1/2
0733551092	35x35	2	90	
0733551093	50x50	1/0	90	
0733551094	70x70	2/0	115	
0733551095	95x95	3/0	115	
0733551096	120x120	4/0	150	
0733551097	25x25	4	90	5/8
0733551098	35x35	2	90	
0733551099	50x50	1/0	115	
0733551100	70x70	2/0	115	
0733551101	95x95	3/0	115	
0733551102	120x120	4/0	150	
0733551103	25x25	4	200	3/4
0733551104	35x35	2	200	
0733551105	50x50	1/0	200	
0733551106	70x70	2/0	200	
0733551107	95x95	3/0	200	
0733551108	120x120	4/0	250	



*Nota:* La tabla muestra los moldes de grafito disponibles de unión con la barra copper para distintas secciones y la carga necesaria de termo fundente para realizar la unión. Tabla extraída de catálogo catálogo *Vitel Energía* (P 269).

Tabla B

Tabla de datos de moldes de grafito unión X



Especialista en la fabricación de artículos para sistemas de puesta a tierra. Cuenta con una amplia gama de productos para el proceso de termofusión y tratamiento de suelo. Cumple con estándares ISO, CE y certificaciones UL.

### PROCESO DE UNIÓN POR TERMOFUSIÓN



1  
Revisar que los cables y molde se encuentren limpios y secos antes de comenzar el proceso.



2  
Fije el molde de grafito con la tenaza, verificando que los extremos de los cables estén centrados en la cámara de soldar del molde.



3  
Coloque el disco metálico en el fondo de la cámara de soldar, luego vierta el contenido del sobre sin comprimirlo.

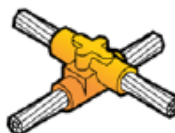


4  
Cierre la tapa del molde de grafito y accione el chispero en una de las aberturas de la tapa del molde, dando inicio a la reacción exotérmica que producirá la soldadura.

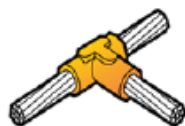
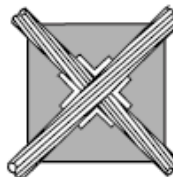
### MOLDES DE GRAFITO

#### MOLDE DE GRAFITO CONEXIÓN EN "CRUZ"

Dispositivos para soldar cables a través del proceso de termofusión. Permite juntar un conductor de cobre desnudo pasante con otro confrontado, formando una "X", modelos según calibre conductor. Cuenta con estándares CE y certificaciones UL.

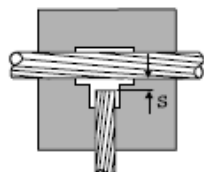


REF.	mm <sup>2</sup>	AWG	CARGAS
0733551070	25x25	4	65
0733551072	35x35	2	90
0733551075	50x50	1/0	150
0733551078	70x70	2/0	200
0733551080	95x95	3/0	250
0733551090	120x120	4/0	2x150



#### MOLDE DE GRAFITO CONEXIÓN EN "T"

Dispositivos para soldar cables a través del proceso de termofusión, permite juntar un conductor de cobre desnudo pasante con otro confrontado, formando una "T", modelos según calibre conductor. Cuenta con estándares CE y certificaciones UL.



REF.	mm <sup>2</sup>	AWG	CARGAS
0733551040	25x25	4	45
0733551042	35x35	2	45
0733551045	50x50	1/0	90
0733551048	70x70	2/0	90
0733551050	95x95	3/0	115
0733551055	120x120	4/0	150

*Nota:* La tabla muestra los moldes de grafito disponibles de unión tipo X para distintas secciones de cable desnudo y la carga necesaria de termo fundente para realizar la unión.  
Tabla extraída de catálogo catálogo *Vitel Energía* (P 271).

Tabla C

Tabla de datos cobre desnudo Tecnoled Solar




## CABLES DE COBRE DESNUDO

**Características**  
Conductor de cobre electrolítico con temple blando, de sección circular, compuesto por hebras cableadas helicoidalmente bajo capas concéntricas.

**Aplicaciones**  
Usado para sistemas de puesta a tierra.  
Secciones disponibles a partir de los 6 AWG.

**Normas de Fabricación**  
NCH - 360.  
ASTM - B8.  
NFPA 70 (NEC).

DESARROLLAMOS  
PRODUCTOS  
ESPECIALES

CONSULTA POR EL TIPO

**ATRIBUTOS**

- Permite uso en zonas contaminadas.
- Buena conductividad eléctrica.
- No sufre depreciación en el largo plazo.

Código	Calibre		Número de Hebras	Diámetro Hebras (mm)	Diámetro Total Aprox. (mm)	Resistencia Eléctrica 20°C (Ohm/km)	Peso Aprox. (kg/km)	Corriente a 40°C (Amp)
	Awg	mm <sup>2</sup>						
2201056	6	13,3	1	4,11	4,11	1,35	117,9	135
2201065	-	16	1	4,5	4,5	1,12	142	118
2201075	4	21,2	1	5,19	5,19	0,85	188,1	170
2201078	4	21,2	7	1,96	5,88	0,882	192	155
2201080	-	25	7	2,13	6,4	0,727	226	167
2201086	2	33,6	7	2,47	7,41	0,5549	305	209
2201085	-	35	7	2,52	7,6	0,524	317	209
2201088	1	42,4	7	2,78	8,34	0,4398	385	215
2201090	1/0	53,5	7	3,12	9,36	0,3487	485	282
2201102	2/0	67,4	7	3,5	10,5	0,2766	611	329
2201095	-	70	19	2,17	10,8	0,268	637	324
2201108	3/0	85	7	3,93	11,79	0,2194	770	382
2201114	4/0	107,2	19	2,68	13,4	0,168	972	444
2201112	4/0	107,2	7	4,42	13,26	0,174	972	444
2201120	-	120	37	2,03	14,2	0,153	1,086	471

20

*Nota:* La tabla muestra las especificaciones de dimensión de distintos calibres de conductor de cobre desnudo.

## Tabla D

### Tabla de datos barra copper

Material: Acero ligado con cobre  
Resistencia a la tracción: 552 MPa Mín.



N.º de artículo	Diámetro del electrodo, nominal	Diámetro del electrodo, medido	Longitud	Espesor del recubrimiento	Peso unitario	Etiqueta UPC	Cumple con	Certificaciones
613840	3/8"	9,0 mm	1,2 m	254 µm	0,570 kg	No		
613850	3/8"	9,0 mm	1,5 m	254 µm	0,730 kg	No		
613860	3/8"	9,0 mm	1,8 m	254 µm	0,900 kg	No		
613870	3/8"	9,0 mm	2,1 m	254 µm	1,076 kg	No		
613880	3/8"	9,0 mm	2,4 m	254 µm	1,230 kg	No		
611330	1/2"	12,7 mm	0,9 m	254 µm	0,980 kg	No		
6113330	1/2"	12,7 mm	1,0 m	254 µm	1,003 kg	No	IEC® EN 62561-2	
611340	1/2"	12,7 mm	1,2 m	254 µm	1,260 kg	No		
611350	1/2"	12,7 mm	1,5 m	254 µm	1,570 kg	No		
611353	1/2"	12,7 mm	1,5 m	330 µm	1,670 kg	No		
611360	1/2"	12,7 mm	1,8 m	254 µm	2,010 kg	No		
611370	1/2"	12,7 mm	2,1 m	254 µm	2,108 kg	No	IEC® EN 62561-2	
611380	1/2"	12,7 mm	2,4 m	254 µm	2,510 kg	No	ANSI®/NEMA® GR1	UL
611300	1/2"	12,7 mm	3,0 m	254 µm	3,110 kg	No	ANSI®/NEMA® GR1	CSA, cULus
611303	1/2"	12,7 mm	3,0 m	330 µm	3,350 kg	No	ANSI®/NEMA® GR1	cULus
615830	5/8"	14,2 mm	0,9 m	254 µm	1,130 kg	No	IEC® EN 62561-2	
6158330	5/8"	14,2 mm	1,0 m	254 µm	1,237 kg	No	IEC® EN 62561-2	
615840	5/8"	14,2 mm	1,2 m	254 µm	1,540 kg	No	IEC® EN 62561-2	
615843	5/8"	14,2 mm	1,2 m	330 µm	1,540 kg	No	IEC® EN 62561-2	
615850	5/8"	14,2 mm	1,5 m	254 µm	1,920 kg	No	IEC® EN 62561-2	
615853	5/8"	14,2 mm	1,5 m	330 µm	2,040 kg	No	IEC® EN 62561-2	
615860	5/8"	14,2 mm	1,8 m	254 µm	2,300 kg	No	IEC® EN 62561-2	
615863	5/8"	14,2 mm	1,8 m	330 µm	2,450 kg	No	IEC® EN 62561-2	
6158660	5/8"	14,2 mm	2,0 m	254 µm	2,477 kg	No	IEC® EN 62561-2	
615870	5/8"	14,2 mm	2,1 m	254 µm	2,600 kg	No		
615880	5/8"	14,2 mm	2,4 m	254 µm	3,070 kg	No	IEC® EN 62561-2, ANSI®/NEMA® GR1	UL

*Nota:* La tabla muestra las dimensiones constructivas de barras de distintos diámetros, Tabla extraída del catálogo "Puesta a tierra, unión equipotencial y nVent ERICO Cadweld" (Pag16)

## Imagen E

Imagen página 03 del informe proyecto "FAB-LAB CONCEPCION"

### 1. DATOS DEL PROYECTO

Memoria de diseño de malla a tierra de baja tensión para una carga conectada de 50kVA.

### 2. IDENTIFICACIÓN CALCULISTA

Nombre : Miguel Vargas Gamboa  
 Correo : tramitacionsec@gmail.com  
 Teléfono : +569 46310021

### 3. CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO MÁXIMO EN BAJA TENSIÓN:

$$I_{falla} = \frac{S}{Vl \times \sqrt{3} \times Z(pu)} \times F = A$$

POTENCIA (KVA)	TENSION LINEA (V)	Zpu %	I Falla (kA)
50	380	4	2,165

F= 1.2 → RIC

### 4. CÁLCULO SECCIÓN SEGÚN ONDERDONK

$$S = \frac{I_{coci\_MAX}}{1973 \times \sqrt{\frac{\log\left(\frac{Tm - Ta}{234 + Ta}\right) + 1}{33 \times t}}} = mm^2$$

ESCENARIO	Corriente de Falla (kA)	Tiempo en (s)	Cálculo de Sección mínima en mm2	Sección Comercial en mm2
	2,165	3	8,68	33,6 awg

TEMPERATURA AMBIENTE (TA): 40 [°C]  
 TEMPERATURA MÁXIMA PERMISIBLE (TM): 1083 [°C]  
 (Temperatura de Fusión del cobre - Termofusión)

CONDUCTOR COMERCIAL MALLA:

Sección: 33,6 mm<sup>2</sup> - 2 awg  
 Diámetro: 0,006541 m.

Esta Sección se calculó considerando la seguridad y resistencia al cortocircuito.

*Nota:* En la imagen se muestran las formulas utilizadas y los valores obtenidos por el proyectista extremo.

## Imagen F

Imagen página 08 del informe proyecto "FAB-LAB CONCEPCION"

### 10. CALCULO RESISTIVIDAD EQUIVALENTE

USANDO EL MÉTODO DE BURGDORT Y YACOBS

$$Rho_{EQUIV} = \sum_{j=1}^n \frac{F_n}{\frac{1}{\rho_j} * (F_j - F_{j-1})}$$

RHO EQUIV. = 209.11 [OHM\*MTR]

### 11. CONTROL DE AGENTES EXTERNOS AL PROCESO

La naturaleza de los terrenos es en general del tipo heterogénea, sumado a otros agentes externos, influyen en la creación del modelo de terreno y en precisión de valores finales como representativos del área examinada y resistencia de puesta a tierra diseñada. Por lo tanto, se pueden aplicar factores de corrección como holgura de valores finales para los cálculos, el proyectista puede aplicar factores de holgura en distintos puntos del proyecto en forma interna, para formalizar, en el caso de este proyecto, respecto a la resistencia final calculada de ha aplicado un factor de holgura de 15%.

### 12. MALLA A REALIZAR

Largo de la malla (l)	: 14 (m)
Ancho de la malla (a)	: 1 (m)
Cond. Paral. Al largo de la malla	: 3
Cond. Paral. Al ancho de la malla	: 3
Profundidad de la malla (h)	: 0.6 (m)
Largo del conductor	: 45 (ml) (No Considera Arranques al Tablero)
Sección del conductor malla (s)	: 2 AWG.
Barras verticales	: Si, en esquinas de 5/8"x1.5m.

**"ES OBLIGATORIO UTILIZAR GEL EN TODO EL VOLUMEN DE INSTALACIÓN DE LA MALLA A TIERRA"**

Las uniones se deben realizar con soldadura de termofusión.

*Nota:* En la imagen se muestran la formula utilizada para obtener la resistividad equivalente del terreno, las dimensiones de la malla y la cubicacion de materiales considerados por el proyectista extreno.

## Imagen G

Imagen página 09 del informe proyecto "FAB-LAB CONCEPCION"

### 13. DIBUJO ESQUEMATICO DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA A CONSTRUIR



(Imagen Elaboración Propia)

### 14. RESISTENCIA PUESTA A TIERRA

Largo de la malla (l)	: 14 (m)
Ancho de la malla (a)	: 1 (m)
Cond. Paral. Al largo de la malla	: 3
Cond. Paral. Al ancho de la malla	: 3
Profundidad de la malla (h)	: 0.6 (m)
Largo del conductor	: 45 (ml) No considera arranques a Tableros.
Sección del conductor malla (s)	: 2 Awg
Barras en Esquinas	: Si, 4 de 5/8" x 1.5m

Constantes:  $k1 = 0,445179486160854$   
 $k2 = 4,072151606756$

#### CALCULO DE LA RESISTENCIA POR SCHWARS

$$R_{sch} = \frac{\rho_{eq}}{4 \times Lm} \times \left[ \ln \left( \frac{2 \times Lm}{\sqrt{h \times d}} \right) + \left( \frac{k1 \times Lm}{\sqrt{S}} \right) - k2 \right] = 9,935071938 \text{ ohm}$$

#### CALCULO DE LA RESISTENCIA DE LAS BARRAS

$$R_b = \frac{\rho_{eq}}{2 \times \Pi \times N \times l} \times \left[ \ln \frac{8 \times l}{db} - 1 + \left( \frac{2k1 \times l}{\sqrt{S}} \right) \times (\sqrt{N} - 1)^2 \right] = 25,6109268 \text{ ohm}$$

#### CALCULO DE LA RESISTENCIA MUTUA DEL CONJUNTO

$$R_m = R_{sch} - \frac{\rho_{eq}}{\Pi \times Lm} \times \left[ \ln \frac{l}{\sqrt{h \times dc}} - 1 \right] = 6,219129236 \text{ ohm}$$

#### CALCULO DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA

$$R = \frac{R_{sch} \times R_b - R_m^2}{R_{sch} + R_b - 2 R_m} = \text{MENOR A 10 OHM}$$

Nota: En la imagen se muestra el diseño de la malla a tierra, las formulas utilizadas para calcular el valor ohmico de la puesta a tierra y los valores obtenidos por el proyectista extreno.

## Imagen H

Cotización de materiales empresa Gobantes.

Codigo	Cant	Emb	Entrega	Descripción	P.Unitario	Dcto.	Total
N0134045	50	Metros/1	ENTREGA INMEDIATA	CABLE DESNUDO DURO #2 AWG 7 HEBRAS	\$6.060	34,00	\$199.980
I0604021	6	Tira/1	ENTREGA INMEDIATA	Barra Cobrizada Toma Tierra 5/8" x 3 m Ekoline	\$16.948	37,00	\$64.063
I0609761	6	Tira/1	ENTREGA INMEDIATA	Barra Cobrizada Toma Tierra 5/8" x 1.5 m Ekoline (CBR1615PRE)	\$7.303	37,00	\$27.605
N0509303	1	Unidad/1	FECHA POPR DEFINIR	CADWELD MOLDE SSC-1V PLUS	\$258.582	28,00	\$186.179
N0509004	1	Unidad/1	FECHA POPR DEFINIR	CADWELD CAPSULA #90	\$24.408	28,00	\$17.574
I0609391	1	Unidad/1	ENTREGA INMEDIATA	Conector Bronce TT 5/8" Basico Ekoline	\$1.439	33,00	\$964
N0933072	1	Unidad/1	ENTREGA INMEDIATA	CAMARA REGISTRO CONDUIT PVC 110mmX20	\$2.519	28,00	\$1.814
I0608774	3	Unidad/1	ENTREGA INMEDIATA	Conector Cu Estanado # 2 AWG Ekoline	\$926	33,00	\$1.861

Forma de Pago: Efectivo, Cheque, Tarjeta débito/crédito, Transferencia.	
Cotizado Por:	S06 DANIEL ESCOBAR OYARCE
Validez Cotización:	72 HORAS. EN COND. ELECTRICOS 1 DIA
Observaciones:	La entrega puede variar según aceptación de la cotización.

<b>Total Neto</b>	\$	500.040
<b>19% IVA</b>	\$	95.008
<b>Total</b>	\$	595.048

Datos de Transferencia: Banco BCI | Cta. Cte: 11369621 | Electricidad Gobantes S.A. | Rut: 80.409.800-3  
 Teléfono: +56 22 6900000 | www.gobantes.cl | RRSS: @gobantes\_chile  
 Casa matriz y salón de ventas: Av. Matta 1195 Santiago

*Nota:* la imagen muestra valores de precio de compnetes necesarios para la construion de la puesta a tierra.



## Imagen J

### Tabla calibre de conductores Tecnored Solar




### CABLES DE COBRE AISLADO BT (RV-K)

#### Características

- Cable multifilar de hebras de cobre con temple blando concéntrico clase B, aislación de polietileno reticulado (XLPE) y cubierta de PVC.
- Tensión de servicio: 0,6/1KV.      ● Temperatura de servicio: 90° C.
- Temperatura de sobrecarga: 130° C.   ● Temperatura de cortocircuito: 250° C.

#### Aplicaciones

- Conductor de potencia y control para instalaciones en donde se requiere una gran flexibilidad.
- Gran flexibilidad para uso en bandejas porta conductores y tuberías.

#### Normas de Fabricación

- IEC 60502-1.
- IEC 60228.



Códigos	Calibres		Espesor Aislación (mm)	Espesor Cubierta (mm)	Diámetro Total Aprox. (mm)	Resistencia Eléctrica Nominal (Ohm/Km)	Peso Aprox. (Kg/Km)	Capacidad de carga (AMP)	
	AWG/MCM	mm²						En Aire 30°	Enterrado 30°
	CABLE MONOPOLAR								
2205105	14	2,08	0,7	0,9	5,18	8,59	41,94	35	25
2205111	12	3,31	0,7	0,9	5,77	5,41	57,41	40	25
2205115	10	5,16	0,7	0,9	6,6	3,41	82,49	55	40
2205120	8	8,36	0,7	1	7,39	2,18	116,1	80	55
2205125	6	13,3	0,7	1	8,73	1,37	174,7	105	75
2205130	4	21,2	0,9	1,1	10,91	0,862	247,1	140	95
2205135	3	26,7	0,9	1,1	11,72	0,692	333,7	165	110
2205140	2	33,6	0,9	1,1	12,59	0,547	407,03	190	130
2205145	1	42,2	1	1,2	14,5	0,436	520,97	220	150
2205150	1/0	53,48	1	1,2	15,6	0,344	637,14	260	170
2205155	2/0	67,4	1,1	1,3	16,7	0,276	780,39	300	195
2205160	3/0	85,2	1,1	1,3	18,7	0,219	978,72	350	225
2205165	4/0	107	1,2	1,4	20,8	0,173	1226,19	405	260
2205170	250	127	1,2	1,4	22,5	0,146	1444,3	455	290
2205175	300	152	1,4	1,5	24,5	0,122	1723,3	505	320
2205180	350	177,3	1,6	1,5	26,5	0,105	2005,3	570	350
2205185	500	253	1,7	1,7	28,9	0,0741	2815,66	700	430

*Nota:* La tabla muestra el capacidad de carga según la seccion del conductor