

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PAUTA DE MANTENCIÓN PARA MALLAS DE PUESTA A TIERRA, EN**  
**CODELCO DIVISIÓN ANDINA**

Trabajo de Titulación para optar al Título  
Profesional de Técnico Universitario en  
ELECTRICIDAD

Alumnos:

Felipe Andrés González Henríquez

Profesor Guía:

Ing. Franz Yurjevic Perin

**2012**

## **RESUMEN**

**Keywords:** Mallas de puesta a tierra - medición de impedancia - continuidad eléctrica - resistividad eléctrica del subsuelo tierra - minera

En este trabajo se entregan tres procedimientos fundamentales, para verificar el estado de las mallas de puesta a tierra, ellos son: medición de impedancia, continuidad eléctrica y resistividad eléctrica del subsuelo tierra. También se indican los equipos y recursos humanos necesarios para efectuarlos en un tiempo definido, con el objeto de conocer el estado de éstas a través de protocolos de medida que permiten determinar la resistencia de la malla de puesta a tierra, la resistividad del suelo y la continuidad entre las estructuras.

La carta Gantt que aparece en este informe, contiene todas las mallas de puesta a tierra, con las variables de tiempo, ambientales y de ejecución que posee la División, puede ser modificada para otro tipo de empresa minera que trabaje sobre los mil metros de altura, ya que ha sido adaptada a esa condición. Además indica la frecuencia en que se deben realizar las mediciones y el porcentaje de avance a medida que se realizan éstas con su correspondiente valorización económica.

## **ÍNDICE**

**RESUMEN**

**SIGLAS Y SIMBOLOGÍA**

**INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

- 1.1. ¿QUÉ ES UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA?
- 1.2. FINALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA
- 1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA
  - 1.3.1. Tipos de suelos y su resistividad
  - 1.3.2. Voltajes a considerar en una malla de puesta a tierra
  - 1.3.3. Método de la ANSI/IEEE Std 80

### **CAPÍTULO 2: MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA, RESISTIVIDAD DEL SUELO Y CONTINUIDAD ENTRE ESTRUCTURAS**

- 2.1. MÉTODO CAÍDA DE POTENCIAL
  - 2.1.1. Procedimiento de medición de impedancia de puesta a tierra
  - 2.1.2. Instrumentos a utilizar
- 2.2. MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL SUELO
  - 2.2.1. Procedimiento de medición método Schlumberger
- 2.3. MEDICIÓN DE CONTINUIDAD ENTRE ESTRUCTURAS
  - 2.3.1. Procedimiento de medición continuidad entre estructuras
- 2.4. NORMAS SOBRE MANTENCIÓN DE PUESTAS A TIERRA QUE SE ADAPTARÁN A LA PAUTA

### **CAPÍTULO 3: MALLAS EXISTENTES EN CODELCO ANDINA**

- 3.1. IDENTIFICAR CANTIDAD DE MALLAS
  - 3.1.1. Selección de mallas a realizar mantención

### **CAPÍTULO 4: FORMATO DE INFORMES Y REPORTES FOTOGRÁFICOS**

- 4.1. INFORMES
- 4.2. FOTOGRAFÍAS

## **CAPÍTULO 5: COSTOS**

### **5.1. COSTO HORAS HOMBRE DE LA EJECUCIÓN DE LA PAUTA**

#### **5.1.1. Carta Gantt**

## **CONCLUSIONES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1: ARTICULOS RELACIONADOS CON PUESTA A TIERRA**

### **ANEXO 2: CARTA GANTT**

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1-1. Tensión de paso

Figura 1-2. Tensión de contacto

Figura 2-1. Configuración electródica método caída de potencial

Figura 2-2. Esquema medición método caída de potencial

Figura 2-3. Esquema distancia de medición método de la caída de potencial

Figura 2-4. Configuración generalizada método de cuatro puntos

Figura 2-5. Configuración electródica de Schlumberger

Figura 2-6. Resistividad aparente Schlumberger

Figura 2-7. Esquema de medición de continuidad

Figura 3-1. Esquema de áreas en que se divide Andina

Figura 4-1. Formato de impedancias de puesta a tierra

Figura 4-2. Formato de continuidad eléctrica

Figura 4-3. Formato de mediciones de resistividad eléctrica del subsuelo

Figura 4-4. Inexistencia de cable de tierra

Figura 4-5. Cable de interconexión del sistema de tierra cortado

Figura 4-6. Toma de tierra cortada y desconectada

Figura 4-7. Toma de tierra cortada

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2-1. Tabla con los instrumentos a utilizar

Tabla 3-1. División de áreas a realizar mediciones

Tabla 5-1. Recursos humanos

Tabla 5-2. Elementos de protección personal

Tabla 5-3. Seguros involucrados

Tabla 5-4. Instalación de faena

Tabla 5-5. Transporte

Tabla 5-6. Equipos e instrumentos

Tabla 5-7. Gastos administrativos

Tabla 5-8. Áreas de producción

Tabla 5-9. Tramos v/s tiempo

Tabla 5-10. Presupuesto final

Tabla 5-11. Carta Gantt contenida en el proyecto

Tabla 5-12. Porcentaje de la carta Gantt

Tabla 5-13. Tiempo que tomará realizar las mediciones

## **SIGLAS Y SIMBOLOGÍA**

### **SIGLAS**

|         |                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ANSI    | : American Nacional Standard Institute (Instituto Nacional Americano de Normalización)                  |
| DIN     | : Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)                                    |
| IEC/CEI | : International Electronic Commission (Comisión Electrónica Internacional)                              |
| IEEE    | : Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) |
| NEMA    | : National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos)         |
| SPAT    | : Sistema de puesta a tierra                                                                            |
| SEV     | : Sondeo eléctrico vertical                                                                             |

### **SIMBOLOGÍA**

|          |                |
|----------|----------------|
| \$       | : Peso chileno |
| V        | : Volt         |
| $\Omega$ | : Ohm          |
| m        | :Metro         |

## **INTRODUCCIÓN**

Una malla de puesta a tierra es un conjunto de conductores desnudos que permiten conectar los equipos que componen una instalación a un medio de referencia, en este caso, la tierra. Los sistemas de puesta a tierra están diseñados para asegurar que, durante una falla a tierra, los potenciales tanto en el terreno como en los conductores conectados al electrodo de tierra o en los conductores expuestos en la cercanía, estén dentro de los límites apropiados para proporcionar una vía de baja resistencia para lograr la operación correcta de los elementos de protección de las líneas de los sistemas de transmisión, evitando así, diferencias de potencial peligrosas para las personas que laboran o transitan en una instalación [9].

En el trabajo se presenta una pauta sobre la mantención de mallas de puesta a tierra que va dirigida a la división Andina de CODELCO Chile, permitiendo un correcto desarrollo de la mantención, por parte de la empresa contratista a cargo de la ejecución del proyecto.

La división Andina está ubicada a ochenta kilómetros al noreste de Santiago, entre 3.700 y 4.200 metros sobre el nivel del mar. En la actualidad esta división realiza la explotación de minerales en la mina subterránea de Río Blanco y en la mina a rajo abierto Sur Sur.

La inexistencia de un registro ordenado con las mediciones, y estado de las mallas, y por otro lado de procedimientos a efectuar al momento de realizar este tipo de maniobra, dificulta su ejecución, poniendo en riesgo la vida de las personas, es por esta razón que esta pauta permite contar con todo lo necesario para ejecutar un estudio del estado de éstas. Una vez realizadas las mantenciones a un sistema de puesta a tierra, se entrega un informe a CODELCO con los resultados de las mediciones, certificando que se encuentra en óptimas condiciones la malla de puesta a tierra, y que éstas cumplen con las normas nacionales.

## **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una pauta para la mantención de las diferentes mallas de puesta a tierra existentes en la División Andina de CODELCO.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los diversos tipos de mallas de puesta a tierra existentes en la División Andina.
- Describir las políticas internas de la empresa sobre la mantención de mallas de puesta a tierra.
- Identificar normas relacionadas a la mantención de mallas de puesta a tierra.
- Idear una pauta con procedimientos específicos para la mantención de las mallas de puesta a tierra.
- Determinar costos de mantención.

## **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

## 1. ANTECEDENTES GENERALES

### 1.1. ¿QUÉ ES UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA?

Una malla de puesta a tierra es un conjunto de conductores desnudos y electrodos que permiten conectar los equipos que componen una instalación a un medio de referencia, en este caso, la tierra.

Tres componentes constituyen la resistencia de la malla de puesta a tierra:

- La resistencia del conductor que conecta los equipos a la malla de puesta a tierra.
- La resistencia de contacto entre la malla y el terreno.
- La resistencia del terreno donde se ubica la malla.

### 1.2. FINALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA

La finalidad de una malla de puesta a tierra es garantizar la protección de las personas que laboran en una instalación o transiten por ésta y por otra parte, garantizar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico y sus protecciones.

Una puesta a tierra cumple diversas funciones, entre las más importantes, destacan:

- Contribuir a reducir los valores de sobrevoltaje que pueden aparecer en condiciones anormales de operación en los sistemas de transmisión.
- Proporcionar una vía de baja resistencia para lograr la operación correcta de los elementos de protección de las líneas de los sistemas de transmisión.
- Conducir en forma eficiente hacia tierra las descargas atmosféricas, limitando las diferencias de potencial que pudieran presentarse en la instalación.

### 1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA

#### 1.3.1. Tipos de suelos y su resistividad

La resistividad del terreno donde se construirá una malla de puesta a tierra es una de las condiciones fundamentales en la construcción de una de éstas, debido a que es el valor óhmico que posee el terreno, influyendo proporcionalmente en los valores de resistencia y en las solicitaciones de voltaje que pueden aparecer en una instalación.

##### ➤ Definición de conductividad

La conductividad eléctrica es la capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí.

#### 1.3.2. Voltajes a considerar en una malla de puesta a tierra

En el momento en que la malla difunde una corriente de  $I$  Amperes al terreno, una persona puede quedar expuesta a los siguientes voltajes de riesgo.

##### ➤ Voltaje de paso

Corresponde a la diferencia de potencial entre dos puntos ubicados sobre la superficie del suelo, separados una distancia de un metro. Ver figura 1-1.

##### ➤ Voltaje de contacto

Corresponde a la diferencia de potencial existente entre un punto sobre la superficie del terreno, y el potencial que adquiere un conductor metálico unido a la malla. Ver figura 1-2.

Método de cálculo aproximado de voltajes de contacto y paso

#### 1.3.3. Método de la ANSI/IEEE Std 80

La ANSI/IEEE ha propuesto su norma Standard 80, una serie de expresiones para el cálculo de las solicitaciones de voltaje en el interior y contorno de una malla de puesta a tierra. De acuerdo a la norma antes mencionada, la solicitación máxima entre mano y pies  $V_{cont}$  en el interior de una malla de puesta a tierra y la solicitación máxima

entre pies  $V_{paso}$  en su contorno, pueden determinarse en forma aproximada con las siguientes expresiones:

$$V_c = \frac{116 + 0.174 C \rho_s}{\sqrt{t}} \text{ [V]}$$

$$V_p = \frac{116 + 0.696 C \rho_s}{\sqrt{t}} \text{ [V]}$$

Donde:

$V_c$ , es la tensión de contacto, en volts.

$V_p$ , es la tensión de paso, en volts.

$\rho_s$ , es la resistividad de la superficie, expresado en ohm-metro.

t, es el tiempo de duración de la falla, en segundos.

C, es un factor de corrección debido a la presencia de la capa superficial resistiva. (en la práctica, se estima  $c=1$ ).

$$V_m = K_m K_i \rho \left( \frac{I_d}{L_e} \right) \text{ [V]}$$

$$V_{pp} = K_s K_i \rho \left( \frac{I_d}{L_e} \right) \text{ [V]}$$

Donde:

$V_m$ , es la tensión de la malla de puesta a tierra, expresado en volt.

$V_{pp}$ , es la tensión periférica de la malla de puesta a tierra, expresado en volt.

$K_m$  y  $K_s$ , son factores adimensionales que dependen solo de las características geométricas de la malla de puesta a tierra.

$K_i$ , es un factor adimensional empírico, que considera la mayor densidad relativa de corriente en los elementos exteriores de la malla de puesta a tierra.

$\rho$ , es la resistividad del terreno, supuesto homogéneo, en ohm-metro.

$I_d$ , es la corriente dispersada por la malla de puesta a tierra, expresado en amperes.

$L_e$ , es la longitud total equivalente de los elementos que conforman la malla, considerando conductores y barras, en metros.

Al realizar los cálculos de  $V_c$  y posteriormente los de  $V_m$ , se debe cumplir que  $V_m$  tiene que ser menor o igual a  $V_c$ . Algo similar ocurra con  $V_p$  y  $V_{pp}$ , en donde  $V_p$  debe ser mayor o igual a  $V_{pp}$ .

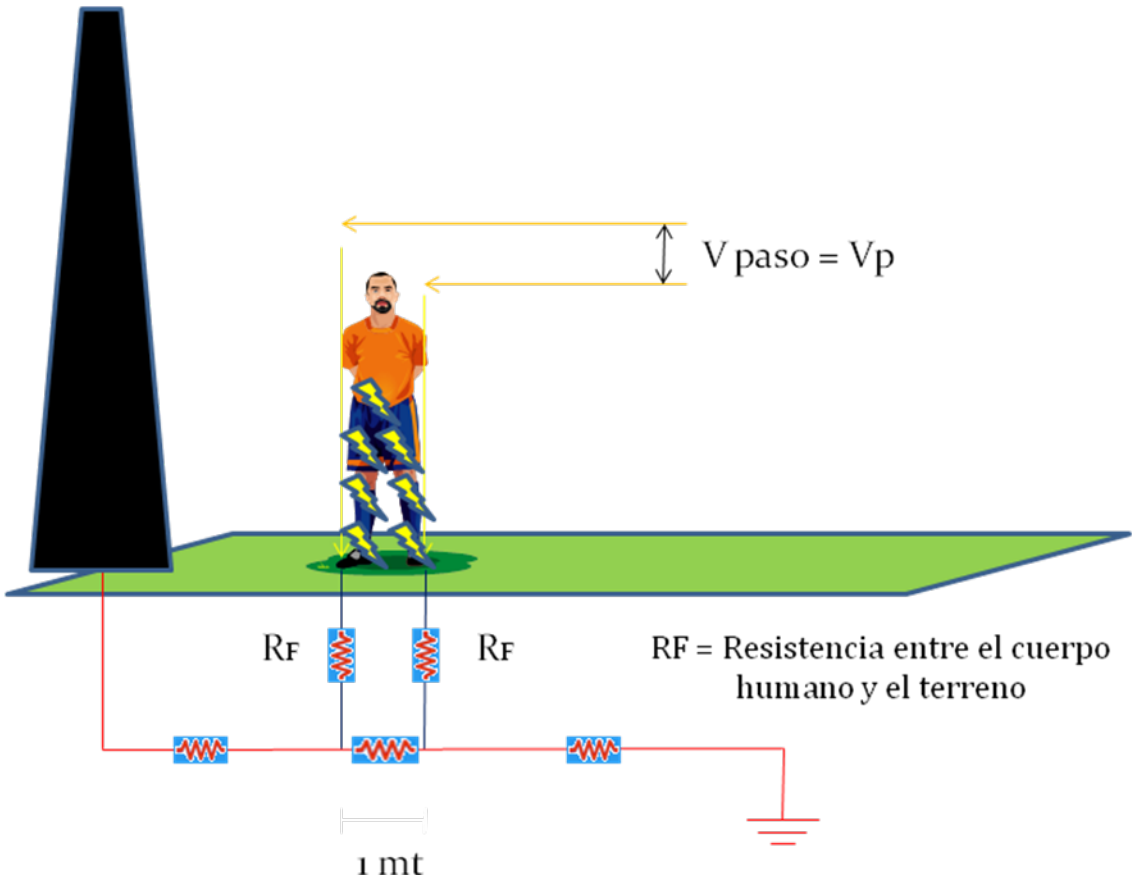


Figura 1-1. Tensión de paso

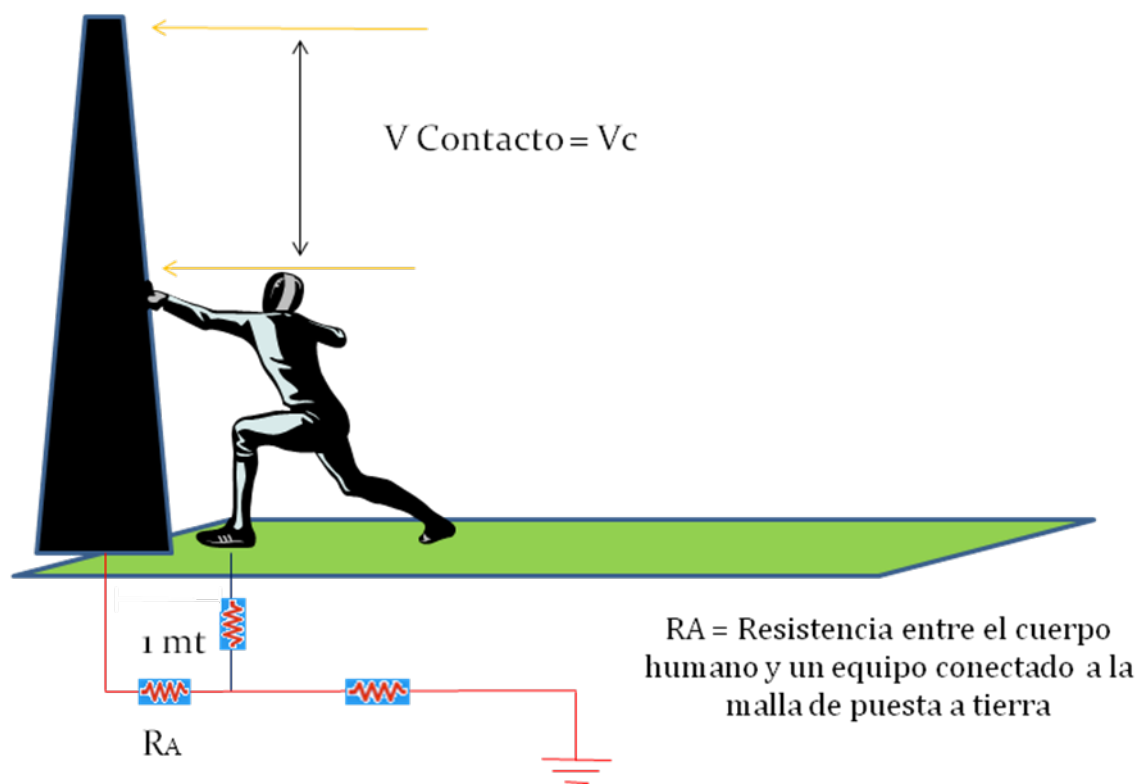


Figura 1-2. Tensión de contacto

**CAPÍTULO 2: MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA DE  
PUESTA A TIERRA, RESISTIVIDAD DEL SUELO Y CONTINUIDAD ENTRE  
ESTRUCTURAS**

2. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA, RESISTIVIDAD DEL SUELO Y CONTINUIDAD ENTRE ESTRUCTURAS

2.1. MÉTODO CAÍDA DE POTENCIAL

Este método es ampliamente usado y posee variantes, como por ejemplo el método de Hill. El método de la caída de potencial considera un arreglo electródico tal como lo muestra la figura 2-1.

Una corriente  $I$  circula entre los electrodos de test  $E$  y el electrodo de corriente  $C$ , resultando variaciones de potencial en la superficie, en suma un potencial de contorno a lo largo de la dirección  $C, P, E$ .

El método de la caída de potencial consiste en graficar la razón de  $V/I = Z$  como una función del espaciamiento de prueba  $EP$ . El electrodo de potencial es desplazado lejos del sistema de puesta a tierra bajo test en estaciones previamente establecidas, obteniéndose un valor de impedancia en cada una de estas estaciones.

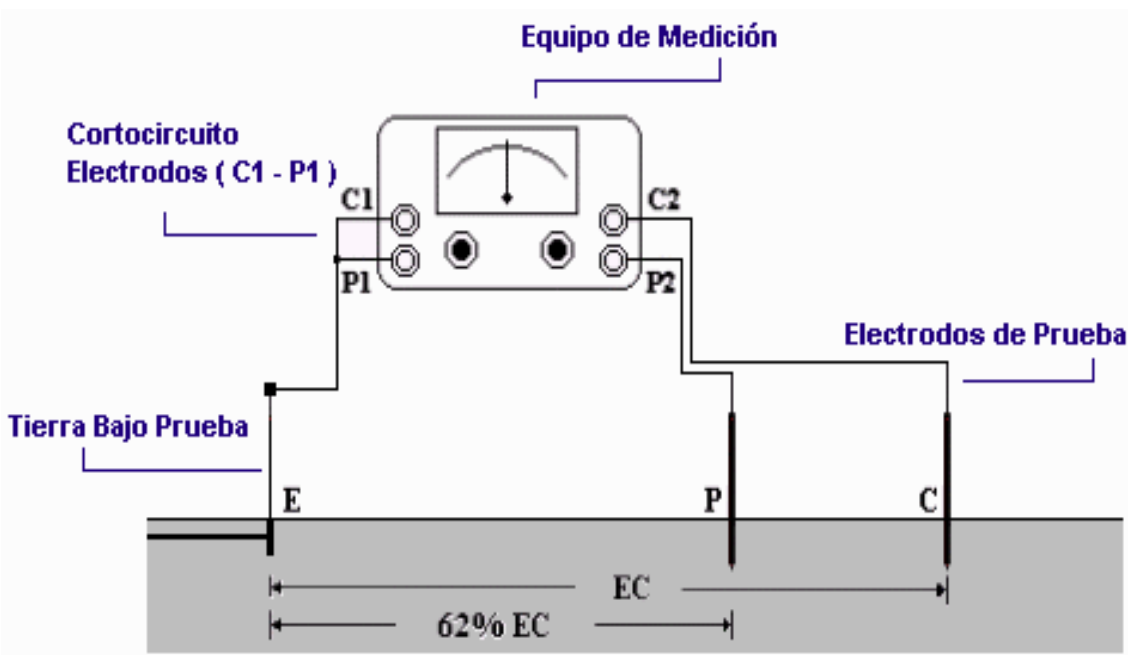


Figura 2-1. Configuración electródica método caída de potencial

Es necesario que el electrodo de corriente esté localizado fuera de la influencia del sistema de puesta a tierra a ser verificada, con tal de evitar que exista un traslape entre los radios de acción generados por las corrientes de cada uno de los electrodos.

Esta influencia es algunas veces llamada alcance del sistema de puesta a tierra y puede ser considerada como la menor distancia donde los efectos de los potenciales de levantamiento causados por corrientes producidas por la medición son despreciables.

Para este efecto, el posicionamiento de los electrodos de potencial y de corriente obedece a una estructura definida, tal como se puede apreciar en la figura 2-2. En el caso de pequeños sistemas de puesta a tierra, que cubren un área de 118 metros cuadrados, el electrodo C se debe ubicar a 30 metros del electrodo o malla a verificar, P se coloca a una distancia aproximada de 62% de EC.

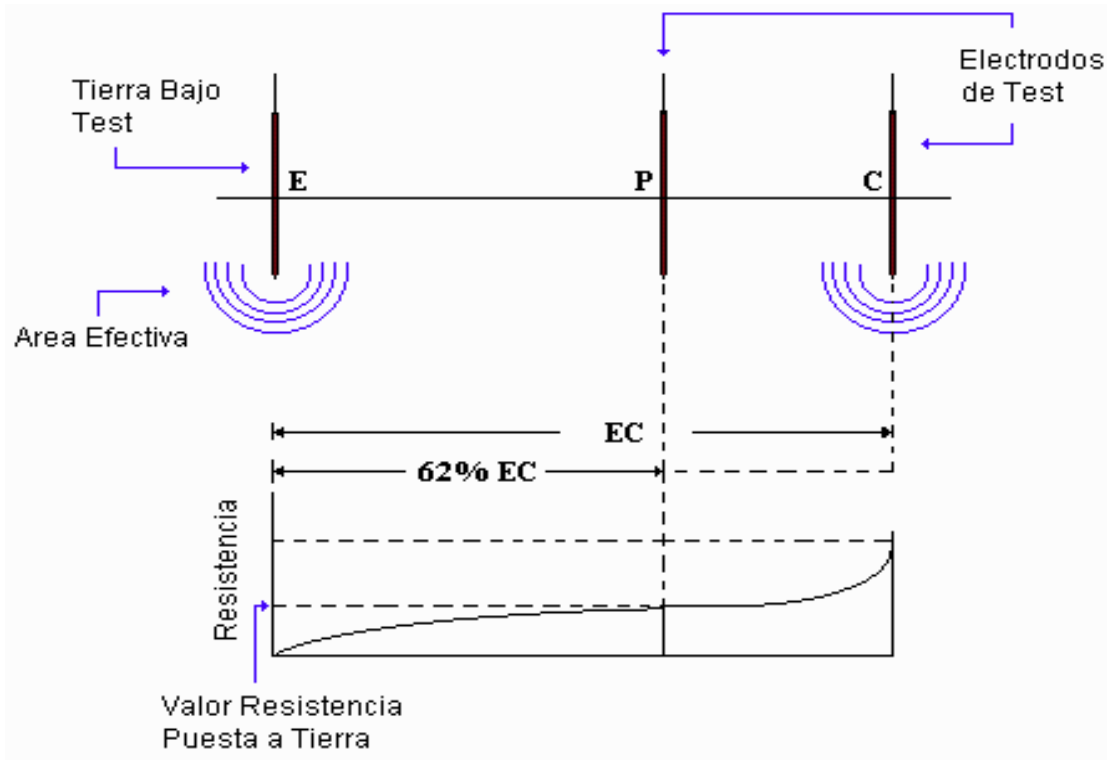


Figura 2-2. Esquema medición método caída de potencial

En el caso de ser mallas de grandes proporciones, la distancia en que se ubica el electrodo C, debe ser del orden de cinco veces el radio de la circunferencia que rodea el sistema a medir figura 2-3. El electrodo P, se ubica a aproximadamente un 62% de la distancia entre la malla y C. En ambos casos la obtención de los valores de impedancia se realiza por medio de estaciones determinadas en línea recta hacia C.

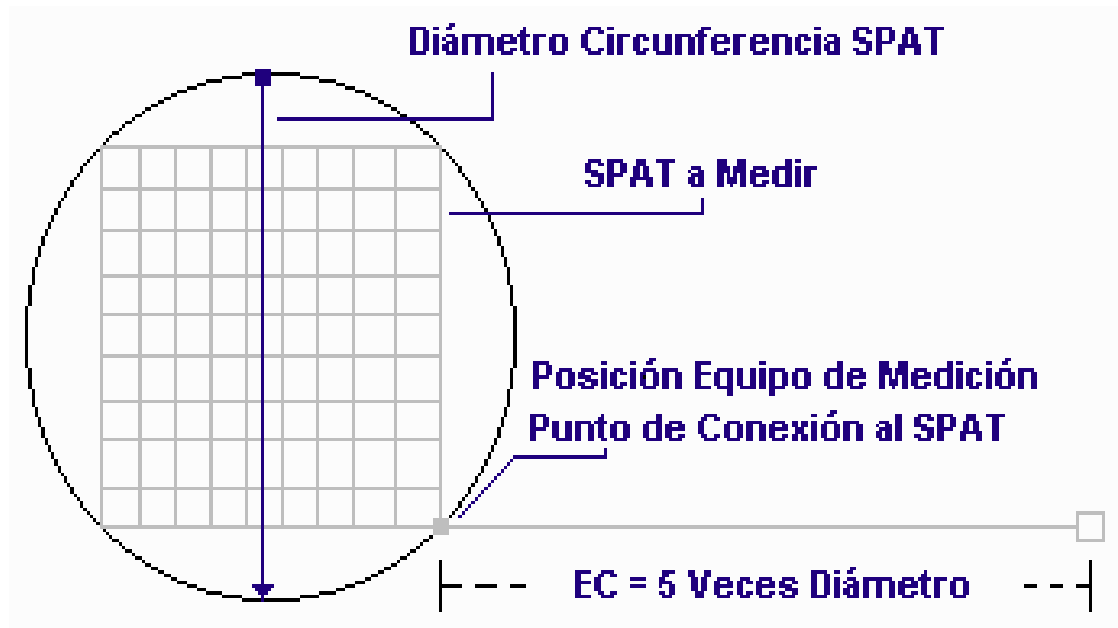


Figura 2-3. Esquema distancia de medición método caída de potencial

La impedancia obtenida es graficada en función de la distancia EP, con tal de obtener una parte plana en la curva generada por medio de los datos.

#### 2.1.1. Procedimiento de medición de impedancia de puesta a tierra

- a. Asegurarse de las condiciones de operación normal del equipo y de los accesorios necesarios para la medición.
- b. Definir el lugar de medición, en forma particular y general, escoger los puntos de referencia para la medición.
- c. Proceder a elegir una línea de medición, la que debe ser la más apropiada, considerando las características físicas del lugar y del subsuelo. Dibujar el layout del lugar de medición, considerando las características físicas y las líneas de medición.
- d. Anotar las condiciones bajo las cuales se realiza la medición: Estado del clima, hora, fecha y lugar. Equipos utilizados: N° serie, modelo y marca.
- e. Verificar el estado de la malla de tierra a medir, en el caso de estar enterrada, desenterrar y limpiar con una escobilla de acero para eliminar el posible óxido, de esta forma se asegura que exista continuidad entre la tierra y el dispositivo de conexión.
- f. Para efectuar la medición, se debe ubicar el punto de conexión directo al sistema de tierra, que puede estar ubicado en el patio de una S/E, central, repetidora, radio-estación, celda celular o un poste de concreto en la calle. La opción de conexión es en el conductor a tierra de los tableros correspondiente al sistema bajo test o ensayo.

Los lugares más adecuados para conectarse al SPAT son:

Cámara de registro (si existe).

- Caja de distribución de tierra - CDT.
- Cajas de paso de distribución eléctrica.
- Barra de tierra tableros.
- Cable a tierra chasis equipos (Motores, transformadores, etc.).
- Cable a tierra poste subestación aérea.

g. Dependiendo del equipo que se vaya a utilizar, tres o cuatro bornes de conexión, quizás sea necesario corto-circuitar dos bornes para poder aplicar este método, por lo que se recomienda revisar el manual del equipo y las recomendaciones que realiza el fabricante.

h. Conectar los terminales C2 y P2 a dos electrodos enterrados de manera que P2 se desplace desde el 50 al 80% de la distancia entre E y C2, la cual corresponderá a 30 [m] para configuraciones de electrodo simple o pequeñas mallas, que cubren un área de 118 metros cuadrados. En el caso de ser mallas de grandes proporciones la distancia en que se ubica el electrodo C2 debe ser del orden de cinco veces el radio de la circunferencia que rodea el sistema a medir, sin importar la topología que éste presente.

i. Realizar la medición anotando el valor de impedancia medido en el formato especificado para este caso.

j. Una vez realizada la medición desplazar el electrodo P2 siguiendo el siguiente esquema 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75% y 80%, de la distancia EC2.

2.1.2. Instrumentos a utilizar

Los instrumentos a utilizar son los indicados en la tabla 2-1.

Tabla 2-1. Tabla con los instrumentos a utilizar

| Ítem | Descripción                                                                   | Cantidad |
|------|-------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1    | Megger Testeador de tierra, 600 [Vac], 128 [Hz], Z = 0.01 A 9990 [ $\Omega$ ] | 1        |
| 2    | TRMS multímetro digital                                                       | 1        |
| 3    | Amperímetro TRMS digital de tenaza                                            | 1        |
| 4    | Martillo de Teflón 2kg                                                        | 2        |
| 5    | Electrodos para trabajo pesado de 50 cm de largo                              | 5        |
| 6    | Huinchas de medir 60 [mt]                                                     | 1        |

Tabla 2-1. Tabla con los instrumentos a utilizar (Continuación)

| Ítem | Descripción                                                          | Cantidad |
|------|----------------------------------------------------------------------|----------|
| 7    | Carrete de Cable de THHN 12 AWG, (305 mt monopolar; 1 Rojo; 1 Negro) | 2        |
| 8    | Cable THHN 12 AWG 100 metros                                         | 5        |
| 9    | Cable THHN 12 AWGona 50 metros                                       | 4        |
| 10   | Cable THHN 12 AWG 10 metros                                          | 2        |
| 11   | Martillo Geólogo (punta cuadrada y la otra es un punzón)             | 1        |
| 12   | Pala Geólogo                                                         | 1        |
| 13   | Cámara Fotográfica Digital                                           | 1        |
| 14   | Distanciómetro Láser, 15 a 1000 [M]                                  | 1        |
| 15   | Altímetro con brújula incluida.                                      | 1        |

2.2. MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL SUELO

El sondeo eléctrico vertical (SEV) consiste en la determinación de las resistividades aparentes de la estratificación del subsuelo, a lo largo de la vertical que se encuentra bajo el punto de prueba.

Los valores de resistividad aparente obtenidos se grafican versus el espaciamiento de los electrodos, en escala logarítmica.

El sondeo eléctrico vertical encuentra aplicaciones fundamentalmente destinadas a:

- Determinar la variación de la resistividad en función de la profundidad.
- Determinar las secuencias de zonas de resistividad alta y baja.
- Estimar la profundidad a depósitos de arena y grava (ripio).
- Estimar la ubicación y profundidad de napas acuíferas.
- Determinar el espesor de una capa.
- Determinar zonas de fallas.

En este procedimiento, el centro de la configuración electródica permanece en un lugar fijo, mientras que el espaciamiento entre los electrodos se aumenta de una lectura a otra. Según el dispositivo de prueba a utilizar, los electrodos a variar serán todos o sólo los de corriente, manteniendo fijos los de potencial. El esquema elemental usado en estas configuraciones utiliza dos electrodos para la inyección de corriente C1 y

C2 y dos electrodos para la medición de la diferencia de potencial P1 y P2. Tal como se muestra en la figura 2-4.

Ya que la profundidad efectiva de penetración del sondeo aumenta con el espaciamiento de los electrodos, este método de sondeo es muy gráfico en la ilustración de las secuencias de capas, además se puede elegir en forma bastante precisa el espaciamiento óptimo de los electrodos para el estudio detallado.

El sondeo eléctrico es utilizado para determinar, fundamentalmente, la estratificación del suelo y las características de resistividad y espesor de sus capas.

Para ambos objetivos son aplicables las diferentes técnicas de medición de resistividad, principalmente las que utilizan cuatro electrodos en diferentes configuraciones:

- Wenner
- Schlumberger

Las configuraciones mencionadas consideran diferentes distribuciones para la separación de los electrodos, teniendo cada una de ellas sus propias características, ventajas y aplicabilidad. En particular el Método de Schlumberger encuentra su fuerte en lograr de mejor forma la especificación de espesores y resistividades de cada capa que conforma el volumen del suelo sondeado. En cambio el método de Wenner es altamente recomendable cuando se desea realizar un mapeo horizontal del terreno es decir conocer

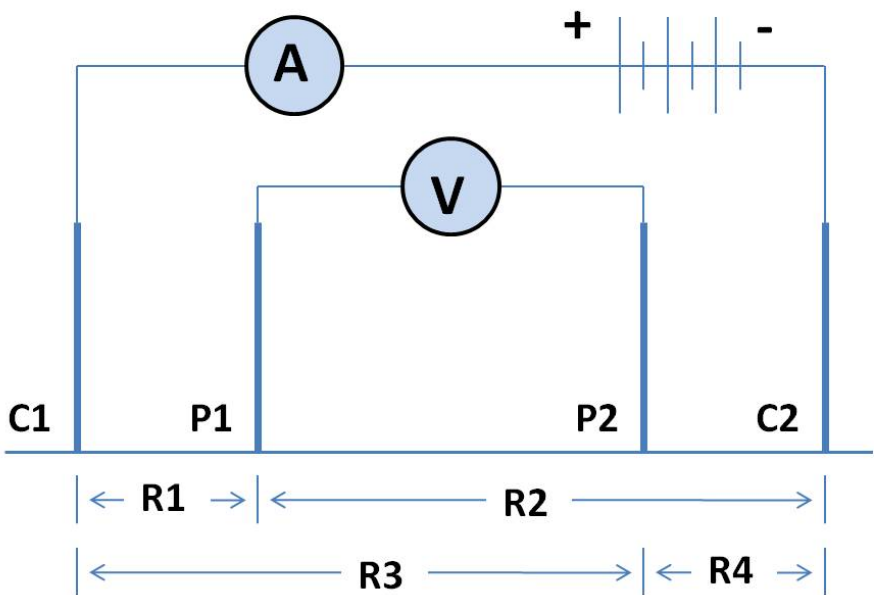


Figura 2-4. Configuración generalizada método de cuatro puntos

El método de Schlumberger no se ve afectado por este problema, dado a que ambos electrodos de potencial permanecen fijos, y son los electrodos de corriente los que se mueven a espaciamientos predeterminados en cada estación de medición, como muestra la figura 2-5.

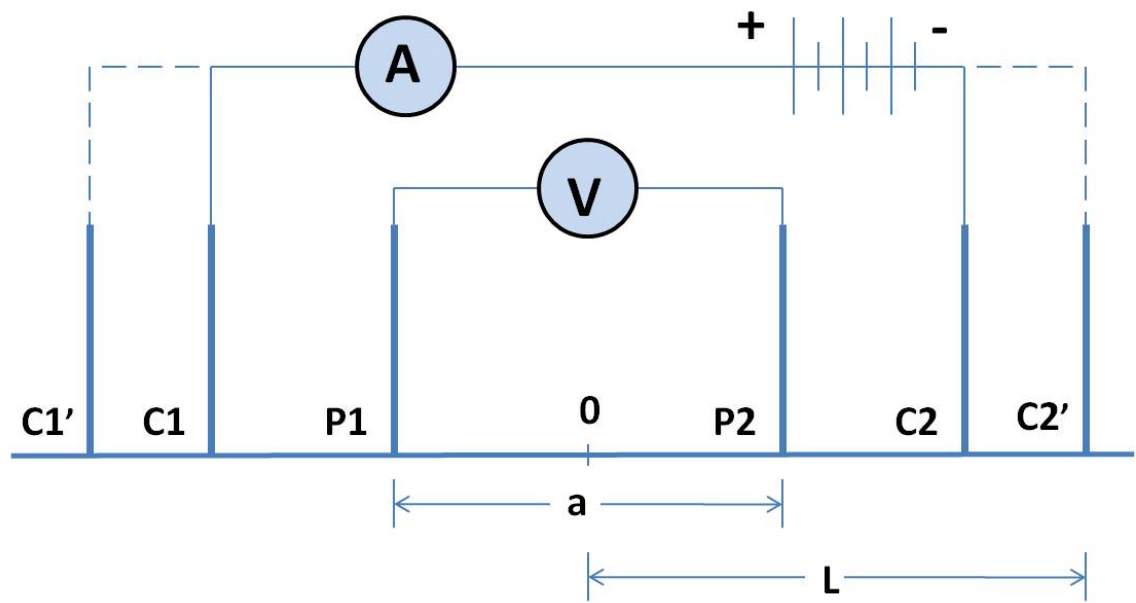


Figura 2-5. Configuración electródica de Schlumberger

Donde la resistividad aparente Schlumberger  $\rho_{as}$  está dada por (ver figura 2-6):

$$\rho_{as} = \left( \frac{a\pi V}{I} \right) \bullet \left\{ \left( \frac{L}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right\} [\Omega - m]$$

Figura 2-6. Resistividad aparente Schlumberger

- Donde:
- $a$  = Distancia existente entre P1 y P2 expresada en metro, la que corresponde a 1.
  - $V$  = Voltaje medido, expresado en volts.
  - $I$  = Corriente medida, expresada en amperes.
  - $L$  = Longitud  $0c1=0c2$  expresada en metros.

### 2.2.1. Procedimiento de medición método Schlumberger

- a. Asegurarse de las condiciones del equipo y de los accesorios necesarios para la medición.
- b. Definir lugar de medición, en forma particular y general, escoger los puntos de referencia para la medición.
- c. Proceder a elegir una línea de medición, la que debe ser la más apropiada, considerando la fisonomía del lugar. Dibujar layout del lugar de medición, teniendo en cuenta las características físicas del lugar y las líneas de medición.
- d. Anotar condiciones bajo las cuales se realiza la medición: Estado del clima, hora, fecha, lugar. Equipos utilizados: N° serie, modelo, marca.
- e. Montar el setup según el esquema de la configuración electródica general, dos electrodos de potencial y dos electrodos de corriente.
- f. En la primera estación de medida, los electrodos de potencial se sitúan a una distancia de un 1 [m] entre sí, y los electrodos de corriente a 1,5 [m] del punto central o 50 [cm] de cada electrodo de corriente. La profundidad de entierro de los electrodos es un 10% de su largo.
- g. Una vez realizado el conexionado entre los equipos y los electrodos. Verificar que el circuito quede cerrado.
- h. Encender los equipos e instrumentos utilizados para la medición de tensión y de corriente. Realizar la medición anotando los valores de resistencia, tensión y corriente de inyección en el formato respectivo.
- i. Desplazar los electrodos de corriente a la siguiente posición, que se encuentra especificada en el formato de medición utilizado para este caso. El movimiento de los electrodos se realiza siguiendo la línea de medición trazada anteriormente.

La cantidad de estaciones a realizar depende de la potencia del equipo, su sensibilidad y la finalidad de la medición.

Es importante señalar que a partir de la medición (o ensayo geoelectrico), se obtienen las características del terreno con el cual se determina su  $\rho$  equivalente a partir del cual se diseña una malla de puesta a tierra que cumpla con las condiciones de seguridad.

### 2.3. MEDICIÓN DE CONTINUIDAD ENTRE ESTRUCTURAS

La medición de continuidad se realiza por medio de la utilización de un equipo de medición geoeléctrico de cuatro terminales (C1, P1, P2 y C2) su finalidad es verificar si la estructura bajo test se encuentra conectada a la malla de puesta a tierra.

#### 2.3.1. Procedimiento de medición continuidad entre estructuras

- a. El equipo a utilizar debe permitir que se cortocircuiten los bornes de potencial (P1 y P2) con los de corriente (C1 y C2), es decir P1 con C1 y P2 con C2. Con lo que se logran dos bornes de conexión CRef y CTest.
- b. Escoger una estructura de referencia: reja perimetral, transformador, pararrayo, etc., la que debe encontrarse conectada al SPAT. Normalmente se utiliza como referencia la misma estructura o conexión que se usó para la medición de la impedancia de puesta tierra.
- c. En base a lo anterior enumerar cada estructura para una posterior identificación.
- d. Conectar el borne CRef a la estructura de referencia, y el borne CTest a la estructura bajo prueba. (Ver Fig. 2-7.).
- e. En algunos casos, se deberá escobillar o utilizar elementos abrasivos para eliminar el óxido existente en las estructuras metálicas.
- f. Configurar el equipo para medición de resistencia y realizar la medición.
- g. En caso de existir continuidad, el equipo entregará un valor de resistencia, en caso contrario el equipo indicará un circuito abierto.
- h. Identificar claramente las estructuras que han presentado circuito abierto en la medición, para la posterior mejora de condiciones que presenta.

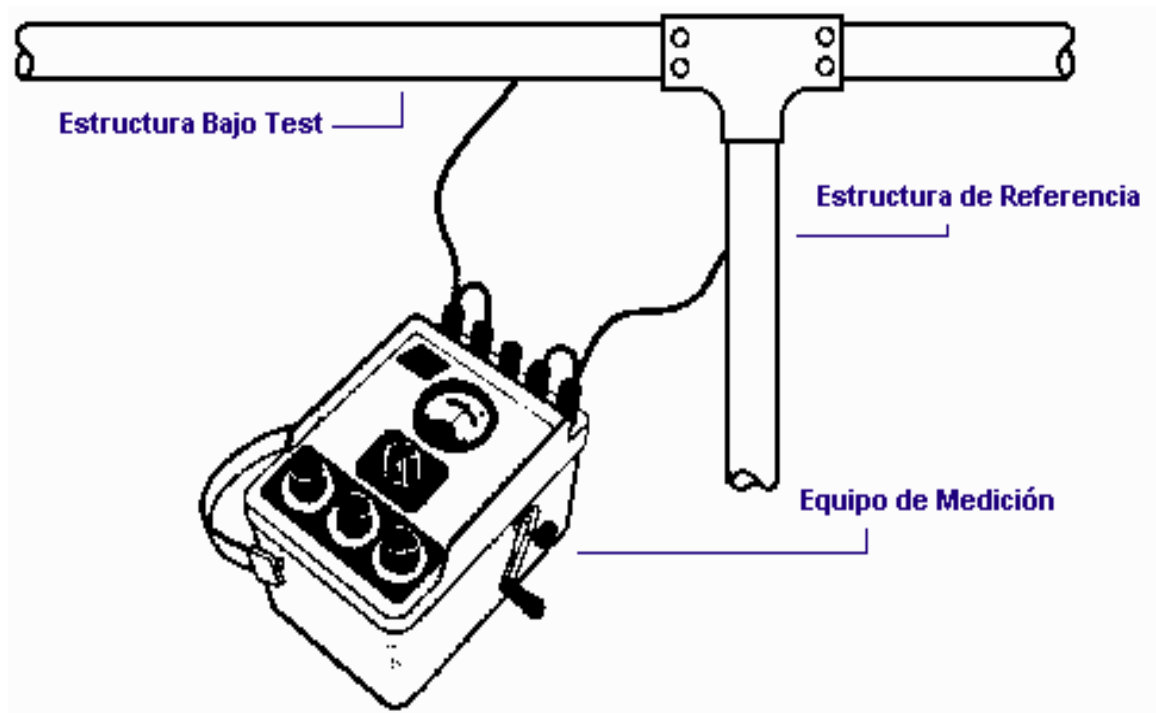


Figura 2-7. Esquema de medición de continuidad

#### 2.4. NORMAS SOBRE MANTENCIÓN DE PUESTAS A TIERRA QUE SE ADAPTARÁN A LA PAUTA

Estándares aplicados a la infraestructura eléctrica.

- **IEEE Std.142-1991.**, IEEE Recommended practice for grounding of industrial and Comercial Power Systems.
- **ANSI/IEEE Std.80-1986.**, IEEE Guide for safety in AC Substation grounding.
- **ANSI/IEEE Std.81-1983.**, IEEE Guide for measuring earth resistivity, ground impedance and earth surface potentials of a ground system.
- **ANSI/IEEE Std.81.2-1991.**, IEEE Guide for measuring earth resistivity ,ground impedance, and earth surface potentials of a ground system.
- **ANSI/IEEE Std.1100-1992.**, IEEE Recommended practice for sensitive electronic equipment.
- **ANSI/NFPA 780-1995.**, Standard for the installation of lightning protection systems.
- **ANSI/UL 467.**, Standard for grounding and bonding equipment.
- **NEMA CC-1.**, Electric power connection for substation.

- **CEI, IEC 1024-1-1:1993.**, “Protection of structures against lightning”, International Standard, International Electrotechnical Commission, 1993.
- **ST-TECN 001-1994**, “Earth system analysis using impulse techniques”, Global Lightning Pty. Ltd. Australia 1994.
- **Roman, I.**, “Apparent resistivity of a single uniform overburden”, U.S. Geological Survey, Professional Paper No. 365.

#### Estándares Aplicados a Test de Medición de la Infraestructura Eléctrica.

- **DIN EN 61557-7, Publication date: 1998-05**, Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1000 V a.c. and 1500 Vd.c. - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 7: Resistance to earth (IEC 61557-7:1997); German version EN 61557-7:1997.
- **DIN VDE 0100, Publication date: 1973-05**, Direction of power installations with rated voltages below 1000 V (including amendment VDE 0100p/4.74).
- **DIN VDE 0141, Publication date: 1989-07**, Earthing system for power installations with rated voltages above 1 kV.
- **DIN VDE 0800-2, Publication date: 1985-07**, Telecommunications; earthing and equipotential bonding.
- **DIN VDE 0185-110, Publication date: 1997-01**, Lightning protection system – Guide for testing lightning protection systems.

#### Normas Chilenas.

- **NSEG 5 E.n. 71**, Instalaciones eléctricas de corrientes fuertes Capítulo III, Protecciones de las instalaciones.
- **NSEG 20 E.P. 79**, Electricidad, Subestaciones transformadores interiores punto 10 Puesta a tierra
- **Reglamento de Seguridad Minera**, Decreto Supremo No. 72, Capítulo noveno, del Ministerio de Minería.

**CAPÍTULO 3: MALLAS EXISTENTES EN CODELCO ANDINA**

3. MALLAS EXISTENTES EN CODELCO ANDINA

3.1. IDENTIFICAR CANTIDAD DE MALLAS

En CODELCO División Andina se cuenta con 174 Mallas a tierra, las cuales están separadas por áreas. Ver figura 3-1.

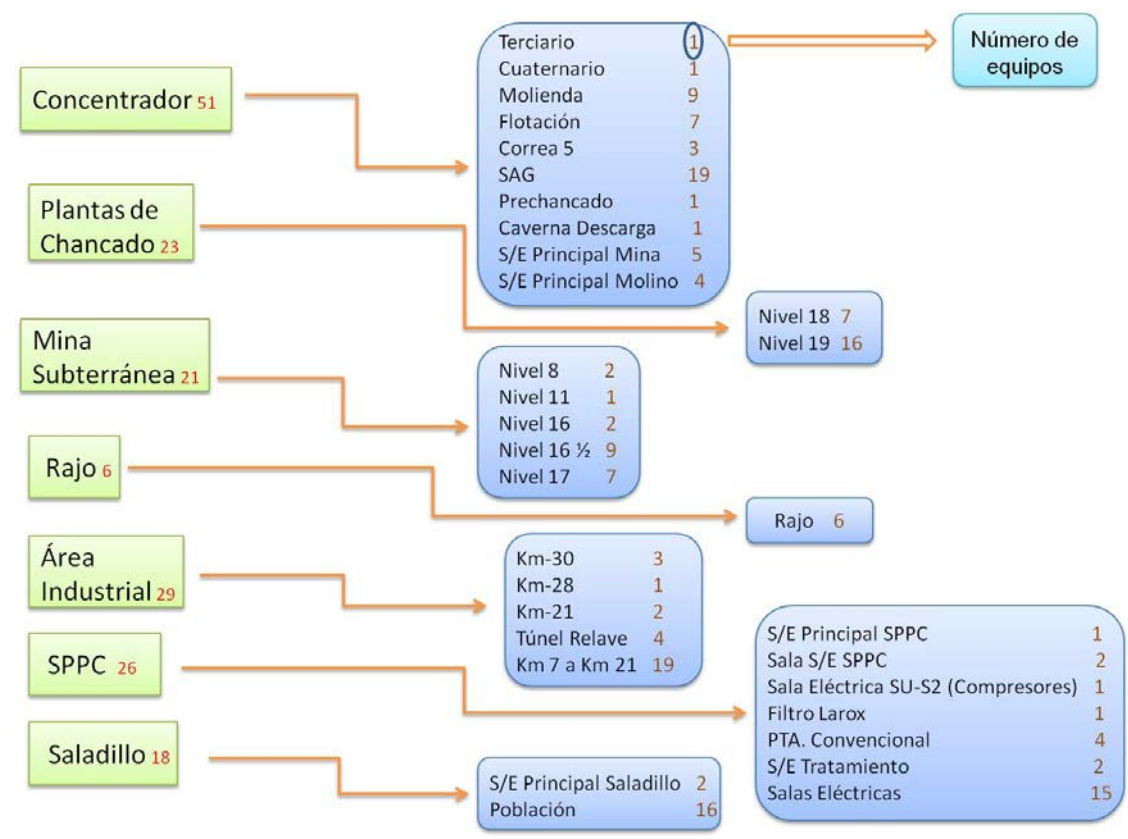


Figura 3-1. Esquema de áreas en que se divide Andina

3.1.1. Selección de mallas a realizar mantención

Estas mediciones y evaluaciones se realizarán en las siguientes áreas de División Andina:

- **Concentradora:**
  - Sala Eléctrica Molino Unitario y Subestación L
  - Sala Eléctrica A y Subestación B y C

- Sala Eléctrica B y Subestación E y F
- Sala Eléctrica C y Subestación J y K
- Sala Eléctrica D y Subestación F1 y SWG MT F1 y MT F2
- Sala Eléctrica Planta de Cal y Subestación SU C1
- Sala Eléctrica SAG (SWG MT M1 y MT M2)
- Sala Eléctrica Pebbles y Subestación SU M3
- Sala Eléctrica Planta de Reactivos y Subestación SU R1
- Sala Eléctrica Terciario y Subestación A
- Sala Eléctrica Cuaternario y Subestación A1
- Sala Eléctrica Cabezal Correa 5 y Subestación Y
- Sala Eléctrica Cabezal Correa A7 y Subestación SU TD1
- Sala Eléctrica Pre Chancado y Subestación SU PCH1
- Sala Eléctrica Espesador de Relaves N°1 y N° 2 y Subestación T 11
- Sala Eléctrica Subestación Molino Barras A B C D
- Subestación SAG (SWG Siemens, GIS, Sala de Rele, T1 y T2)
- Sala Eléctrica Cabezal Correa 5 N° 2 y Subestaciones Master y Slave
- Sala Eléctrica Generación y Subestaciones GEA y GEB
- Sala Eléctrica Molinos y Subestación H
- Sala Eléctrica 2A y Subestación 2A
- Sala Eléctrica Hilton y Subestación Hilton
- Patio Mufas de 220 KV
- Patio Molinos
- Patio Minas

➤ **Planta de Chancado Primario:**

- Sala Eléctricas “E” y Subestaciones 19A , 19B, 19C y 19 D.
- Sala Eléctrica “D1”
- Sala Eléctrica “D”
- Sala Eléctrica “X1” y Subestación 18 A
- Sala Eléctrica “X2” y Subestación 18 B
- Sala Eléctrica “Don Luis” y Subestación TU CH1 y SU CH1.
- Sala Eléctrica “Tolva Traspaso” y Subestaciones TU TT2 y TU TT3
- Sala Eléctrica “3200”
- Sala Eléctrica Desconectores Costado Pique

➤ **Planta Productos Comercializables (SPPC):**

- Sala Eléctrica “Convencional”
- Sala Eléctrica “Cementación”
- Sala Eléctrica “Molibdeno”
- Sala Eléctrica “Selectiva 1er Piso”
- Sala Eléctrica “Selectiva 2do Piso”
- Sala Eléctrica “Larox”
- Sala Eléctrica “LR 1er Piso”
- Sala Eléctrica “LR 2do Piso”
- Sala Eléctrica “Verty-Press”
- Sala Eléctrica “Despacho de Cu.”
- Sala Eléctrica “Peróxido”
- Nave de Proceso “Molibdeno”
- Nave de Proceso “LR
- Nave de Proceso “Filtrado Convencional”
- Nave de Proceso “Filtro Larox”
- Sala de Compresores y Subestación SU S2
- Subestación N
- Subestación N1
- Subestación O
- Subestación P
- Subestación Larox
- Subestación Principal SPPC y Subestación SUS1

➤ **Mina Rajo:**

- Subestación SSG Pique Directo
- Sala Eléctrica, Subestación Infraestructura MARC Minas Rajo.(SSE) y SWG Infraestructura.
- Sala Eléctrica Refugio Sur Sur (SSB)
- Subestación Unitaria Botadero 8 (SSD)

➤ **Mina Subterránea:**

- Sala Eléctrica Subestación Mina SWG I y II
- Sala Eléctrica “EQM-19” y Subestación H2C
- Sala Eléctrica “EQM-17” y Subestación 17 A
- Sala Eléctrica “EQM NV. 161/2”
- Sala Eléctrica “EQM VDF”

- Sala Eléctrica “Barrio Cívico 161/2 EQM BC” y Subestación 16 1/2 A y S/E Sizer
- Sala Eléctrica “EQM NV 8”
- Sala Eléctrica 17D y S/E 17D
- Sala Eléctrica 17B y S/E 17B
- Sala Eléctrica 17C y S/E 17C
- Sala Eléctrica 18C Y S/E 18C
- Sala Huinche Pique Don Luis S/E 8 A
- Subestación SSF Túnel Exploración
- Subestación 11 A
- Sala Eléctrica 16 A y Subestaciones 16 A y 16 B2
- Subestación 16B
- Subestación 16 1/2 B
- Subestación 16 1/2 C
- Subestación 161/2 D
- Subestación 161/2 E
- Subestación 17 E
- Subestación 17 F
- Sala Eléctrica 16 1/2 B Nueva y Subestación 16 1/2 B (Nueva Martillo)
- Sala Eléctrica H2A y Subestación H2A
- Sala Eléctrica H1B y Subestación H1B
- Sala Eléctrica H2B y Subestación H2B

➤ **Área Industrial: (Superficie)**

- Subestación a Piso KM 28
- Subestación a Piso KM 21
- Subestación a Piso PRV
- Subestación Bombas Elevadoras
- Subestación a Piso Pozo Piuquenes N°1
- Subestación a Piso Pozo Piuquenes N°2
- Subestación a Piso Pozo Piuquenes N°3
- Subestación a Piso Pozo Piuquenes N°4
- Subestación a Piso Pozo Piuquenes N°5
- Subestación a Piso Pozo Piuquenes N°6
- Patio KM 21

- **Saladillo:**
- Subestación a Piso Maestranza Bodega Portería
  - Patio S/E Principal Saladillo
  - Patio SPPC

➤ Ruta a seguir

Debido a las extensas distancias entre cada área de CODELCO División Andina, se ha fijado una ruta a seguir, la cual permite optimizar los tiempos de medición, obteniendo más mediciones en menor tiempo. Es necesario considerar el clima en el cual se realizará el trabajo, el cual puede provocar una paralización de las faenas. Las mediciones a realizar, se dividirán en tres tramos, denominados, A, B y C.

Se comenzará por la Mina de Rajo (tramo A), la cual posee una menor cantidad de mallas de puesta a tierra, considerando también, la accesibilidad a ella en invierno.

Una vez finalizada la medición de esta área, se debe continuar por las otras áreas de producción del tramo A. Finalizado el tramo se debe continuar por el tramo B y C respectivamente. Ver tabla 3-1.

Tabla 3-1. División de áreas a realizar mediciones

| Áreas de producción                  | Tramos | Número de mallas de puesta a tierra |
|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|
| Mina Subterránea y Área Industrial   | A      | 50                                  |
| Planta de Chancado, Rajo y Saladillo | B      | 47                                  |
| Concentrador y SPPC                  | C      | 77                                  |

**CAPÍTULO 4:      FORMATO DE INFORMES Y REPORTES**  
**FOTOGRAFICOS**

#### 4. **FORMATO DE INFORMES Y REPORTES FOTOGRÁFICOS**

##### 4.1. **INFORMES**

Se deben entregar los informes, con las mediciones solicitadas y el respectivo certificado que acredite el cumplimiento del decreto 72 Artículo 424, respecto al registro de la información.

Las mediciones a realizar son:

- **Mediciones de impedancias de puesta a tierra**
- **Mediciones continuidad eléctrica**
- **Mediciones resistividad eléctrica del subsuelo tierra**

A continuación se ven ejemplos de las mediciones realizadas en áreas específicas de la División. El formato a utilizar debe ser similar a los presentados.

Mediciones de Impedancias de Puesta a Tierra

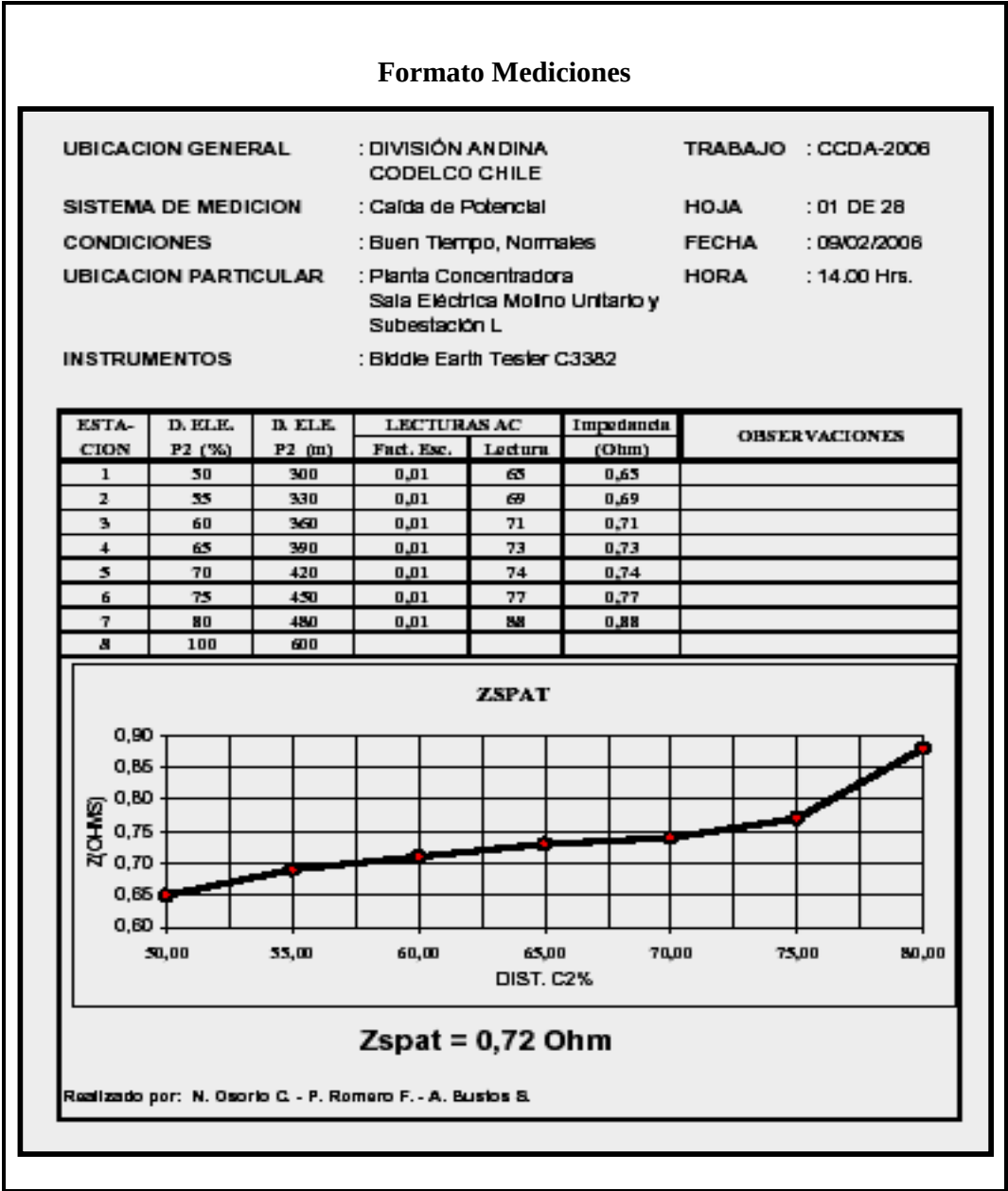


Figura 4-1. Formato de impedancias de puesta a tierra

**Nº 2006-020**

**UBICACIÓN PARTICULAR** : Planta Concentradora.

ESTE DOCUMENTO CERTIFICA QUE EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPAT) INDIVIDUALIZADO FUE VERIFICADO EN SU VALOR DE IMPEDANCIA USANDO INSTRUMENTO CUYA CALIBRACIÓN PROVIENE DEL NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (EX-NBS), U.S.A.

**IDENTIFICACIÓN SISTEMA** : SPAT Sala Eléctrica Molino Unitario y Subestación L.

VALOR IMPEDANCIA DEL SPAT: 0,72 [ $\Omega$ ].

QUE SE OBTUVO UTILIZANDO EL MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL

INSTRUMENTO USADO PARA LA CERTIFICACIÓN:

FABRICANTE : BIDDLE                      PROCEDENCIA : U.S.A.

REALIZADO POR : Ing. Jorge Carranza Castro

FIRMA : \_\_\_\_\_

Figura 4-1. Formato de impedancias de puesta a tierra (Continuación)

Mediciones Continuidad Eléctrica

Formato mediciones

UBICACION GENERAL : DIVISION ANDINA - CODELCO CHILE

SISTEMA DE MEDICION : Continuidad

CONDICIONES : Normales

UBICACION PARTICULAR : Planta Concentradora

INSTRUMENTOS : MEGGER EARTH TESTER 250220,  
S/Nº C3382

TRABAJO : CCDA-2006

HOJA : 01 DE: 03

FECHAS : 15/02/2006

16/02/2006

27/02/2006

| DESDE<br>SISTEMA DE TIERRA | HASTA<br>SISTEMA DE TIERRA  | RESIST.<br>CABLE 1<br>(OHMS) | RESIST.<br>CABLE 2<br>(OHMS) | RESIST.<br>MEDIDA<br>(OHMS) | RESIST.<br>FINAL<br>(OHMS) |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Sala Eléc. Planta de Cal   | Sala Eléctrica A            | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléc. Planta de Cal   | Sala Eléctrica B            | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléc. Planta de Cal   | Sala Eléctrica C            | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléctrica C           | Sala Eléctrica D Piso 1     | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléctrica C           | Sala Eléctrica D Piso 2     | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléctrica A           | Sala Eléc. Molino Unitario  | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléctrica A           | Sala Eléc. Planta Reactivos | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléctrica A           | Sala Eléctrica Pebbles      | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléctrica Pebbles     | Sala Eléctrica SAG          | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléc. Molino Unitario | Sala Eléc. Esp. Relaves 2   | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléc. Esp. Relaves 2  | Sala Eléctrica 2A           | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
| Sala Eléc. Planta de Cal   | Sala Eléctrica Terciario    | 0,62                         | 0,68                         | 1,32                        | 0,02                       |
|                            |                             |                              |                              |                             |                            |
|                            |                             |                              |                              |                             |                            |

OBSERVACIONES :

REALIZADO POR: N. Osorio C. - P. Romero F. - A. Bustos S.

Figura 4-2. Formato de continuidad eléctrica

Mediciones Resistividad Eléctrica del Subsuelo

Formato Mediciones

UBICACION GENERAL

: DIVISIÓN ANDINA

TRABAJO

: CCDA-2008

SISTEMA DE MEDICION

: Shlumberger

HOJA

: 01 DE : 03

CONDICIONES

: Normales

FECHA

: 16/02/2006

UBICACION PARTICULAR

: Planta Concentradora

HORA

: 15:15 Hrs.

Primer Nivel,

Exterior entrada Tunel Planta de Cal

INSTRUMENTOS

: Biddle Earth Tester

S/N 3382

| ESTACION | O-A<br>(m) | M-N<br>(m) | FACTOR<br>ESCALA | LECTURA | LECTURA   | RESISTIVIDAD | OBSERVACIONES |
|----------|------------|------------|------------------|---------|-----------|--------------|---------------|
|          |            |            |                  | MEDIDA  | CORREGIDA | Rho s        |               |
|          |            |            |                  | Ohm     | Ohm       | Ohm - m      |               |
| 1        | 1          |            |                  |         |           |              |               |
| 2        | 1,5        | 2          | 0,1              | 368     | 36,8      | 72           |               |
| 3        | 2          | 2          | 0,1              | 218     | 21,8      | 103          |               |
| 4        | 3          | 2          | 0,1              | 146     | 14,6      | 183          |               |
| 5        | 4          | 2          | 0,1              | 114     | 11,4      | 268          |               |
| 6        | 5          | 2          | 0,01             | 950     | 9,5       | 358          |               |
| 7        | 6          | 2          | 0,01             | 740     | 7,4       | 407          |               |
| 8        | 8          | 2          | 0,01             | 480     | 4,8       | 475          |               |
| 9        | 10         | 2          | 0,01             | 280     | 2,8       | 435          |               |
| 10       | 13         | 2          | 0,01             | 190     | 1,9       | 501          |               |
| 11       | 15         |            |                  |         |           |              |               |
| 12       | 20         |            |                  |         |           |              |               |
| 13       | 25         |            |                  |         |           |              |               |

$$Rho s = pi * MN * ((OA / MN)^2 - 0.25) * Rs \quad (Ohm-m)$$

LINEA : 1

C1"

C1

P1

P2

C2

C2"

ff-----ff-----O-----I-----O-----ff-----ff

A" A M D N B B"

REALIZADO POR : N. Osorio C. - P. Romero F. - A. Bustos S.

Figura.4-3. Formato de mediciones de resistividad eléctrica del subsuelo

4.2. FOTOGRAFÍAS

Las anomalías presentes en la red de mallas de puesta a tierra, deben ser informadas por escrito y con una fotografía indicándolas.

A continuación se ven ejemplos de fotografías tomadas en áreas específicas de la División. El formato a utilizar debe ser similar a los presentados.

En chancado primario sur, no existe cable general de red de tierras, en escalerilla de cables instalado en túnel de acceso a Sala Eléctrica X1. El cable MCM 500 se encuentra cortada, sustraído por terceros. Ver figura 4-4.



Figura 4-4. Inexistencia de cable de tierra

En Chancado Primario Sur, el cable 2/0 AWG de interconexión del sistema de tierra de Sala Eléctrica X1 a la red de tierras general, se encuentra cortado en escalerilla de cables instalada en túnel de acceso a sala. Ver figura 4-5.



Figura 4-5. Cable de interconexión del sistema de tierra cortado

Toma de tierra MS15-21, cortada, desconectada de estructura de S/E 16 B2.  
Ver figura 4-5.



Figura 4-6. Toma de tierra cortada y desconectada

Toma de tierra CH02-02, cortada a ras de piso. Ver figura 4-7.



Figura 4-7. Toma de tierra cortada

**CAPÍTULO 5: COSTOS**

5. COSTOS

5.1. COSTO HORAS HOMBRE DE LA EJECUCIÓN DE LA PAUTA

El presupuesto expuesto a continuación ha sido formulado considerando que el proyecto va a ser ejecutado por una empresa contratista externa a CODELCO Andina, el cual tendrá una duración de 7 meses para realizar todas las mediciones antes mencionadas.

Tabla 5-1. Recursos humanos

| Recursos Humanos                         |             |                   |                |                        |                                |                 |               |            |                     |
|------------------------------------------|-------------|-------------------|----------------|------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------------|
| 08:00-17:00                              | H/H por día | Días a las semana | Semanas al mes | Número de trabajadores | Valor por trabajador [\$ / HH] | H/H a la semana | [\$ / semana] | [\$ / mes] | Valor proyecto [\$] |
| Cuadrilla de 4 Tec. Univ en Electricidad | 9           | 5                 | 4              | 4                      | 5.000                          | 180             | 900.000       | 3.600.000  | 22.680.000          |
| Ingeniero en ejecución Electrico         | 9           | 5                 | 4              | 1                      | 8.000                          | 45              | 360.000       | 1.440.000  | 9.072.000           |
| Ingeniero en Prevención de Riesgo        | 9           | 5                 | 4              | 1                      | 8.000                          | 45              | 360.000       | 1.440.000  | 9.072.000           |
| Total                                    | 9           | 5                 | 4              | 6                      |                                |                 | 1.620.000     | 6.480.000  | 40.824.000          |

Tabla 5-2. Elementos de protección personal

| Elementos de Protección Personal | Cantidad | Valor Inicial por trabajador [\$] | valor total [\$] | Insumos mensuales [\$] | Total Proyecto [\$] |
|----------------------------------|----------|-----------------------------------|------------------|------------------------|---------------------|
| EPP                              | 6        | 80.000                            | 480.000          | 120.000                | 1.236.000           |

Tabla 5-3. Seguros involucrados

| Seguros Involucrados | Cantidad | Valor unitario [\$] | Valor mensual [\$] | Total [\$] |
|----------------------|----------|---------------------|--------------------|------------|
| Seguros              | 6        | 150.000             | 900.000            | 5.400.000  |

Tabla 5-4. Instalación de faena

| Instalación de Faena | Cantidad | Valor mensual [\$] | Valor diario [\$] | Total [\$] |
|----------------------|----------|--------------------|-------------------|------------|
| Container            | 1        | 350.000            | 11.667            | 2.450.000  |
| Señaléticas          | 1        |                    |                   | 45.000     |
| Total                |          |                    |                   | 2.495.000  |

Tabla 5-5. Transporte

| Transporte                             | Cantidad | Valor mensual [\$] | Valor diario [\$] | Total [\$] |
|----------------------------------------|----------|--------------------|-------------------|------------|
| Camioneta 4x4 con combustible incluido | 1        | 1.300.000          | 43.333            | 8.060.000  |

Tabla 5-6. Equipos e instrumentos

| Equipos e Instrumentos |                                                                      |              |                           |            |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------|------------|
| Item                   | Descripción                                                          | Cantida<br>d | Valor<br>unitario<br>[\$] | Total [\$] |
| 1                      | Megger Testeador de tierra, 600 [Vac], 128 [Hz], Z = 0.01 A 9990 [Ω] | 1            | 950.000                   | 950.000    |
| 2                      | TRMS multímetro digital                                              | 1            | 350.000                   | 350.000    |
| 3                      | Ampermetro TRMS digital de tenaza                                    | 1            | 300.000                   | 300.000    |
| 4                      | Martillo de Teflón 2kg                                               | 2            | 17.850                    | 35.700     |
| 5                      | Electrodos para trabajo pesado de 50 cm de largo                     | 5            | 6.780                     | 33.900     |
| 6                      | Huinchas de medir 60 mt                                              | 1            | 16.681                    | 16.681     |
| 7                      | Carrete de Cable de THHN 12 AWG, (305 mt monopolar; 1 Rojo; 1 Negro) | 2            | 64.770                    | 129.540    |
| 8                      | Cable THHN 12 AWG 100 metros                                         | 5            | 21.590                    | 107.950    |
| 9                      | Cable THHN 12 AWG 50 metros                                          | 4            | 12.600                    | 50.400     |
| 10                     | Cable THHN 12 AWG 10 metros                                          | 2            | 5.400                     | 10.800     |
| 11                     | Martillo Geólogo (punta cuadrada y la otra es un punzón)             | 1            | 19.990                    | 19.990     |
| 12                     | Pala Geólogo                                                         | 1            | 25.000                    | 25.000     |
| 13                     | Cámara Fotográfica Digital                                           | 1            | 49.000                    | 49.000     |
| 14                     | Distanciómetro Láser, 15 a 1000 [M]                                  | 1            | 248.000                   | 248.000    |
| 15                     | Altímetro con brújula incluida.                                      | 1            | 66.150                    | 66.150     |
| 16                     | Total                                                                |              |                           | 2.393.111  |

Tabla 5-7. Gastos administrativos

| Gastos Administrativos                                                | Mensual<br>[\$] | Total [\$] |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|
| Gastos Administrativos (secretaria, contador, papel, impresiones,etc) | 600.000         | 4.200.000  |

Tabla 5-8. Áreas de producción

| Áreas de producción                  | Tramos | Número de mallas de puesta a tierra |
|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|
| Planta de Chancado, Rajo y Saladillo | A      | 47                                  |
| Mina Subterránea y Área Industrial   | B      | 50                                  |
| Concentrador y SPPC                  | C      | 77                                  |

Tabla 5-9. Tramos v/s tiempo

|       | Tramos | Número de mallas | Mallas por día | Días | Tiempo            |
|-------|--------|------------------|----------------|------|-------------------|
|       | A      | 47               | 2              | 24   | 1 mes y 4 días    |
|       | B      | 50               | 2              | 25   | 1 mes y 5 días    |
|       | C      | 77               | 1              | 77   | 3 meses y 17 días |
| Total |        | 174              |                | 126  | 6 meses y 6 días  |

Presupuesto Final

Tabla 5-10. Presupuesto final

|                                  | Total [\$] |
|----------------------------------|------------|
| Instalación de faena             | 2.495.000  |
| Transporte                       | 8.060.000  |
| Equipos e instrumentos           | 2.393.111  |
| Recursos humanos                 | 40.824.000 |
| Seguros involucrados             | 5.400.000  |
| Elementos de protección personal | 1.236.000  |
| Gastos administrativos           | 4.200.000  |
| Costo proyecto                   | 5.000.000  |
|                                  |            |
| Sub total                        | 69.608.111 |
|                                  |            |
| Imprevisto 10 %                  | 6.960.811  |
| Sub total                        | 76.568.922 |
| Impuesto 19 %                    | 14.548.095 |
| Total                            | 91.117.017 |

5.1.1. Carta Gantt

Tabla 5-11. Carta Gantt contenida en el proyecto

|   |                  |              |                                        |          |
|---|------------------|--------------|----------------------------------------|----------|
| A | MINA SUBTERRANEA | NIVEL 8      | SALA HUINCHE S/E 8 A                   | Semana 1 |
|   |                  |              | SALA EQM-NV8 EQM NV8                   | Semana 1 |
|   |                  | NIVEL 11     | SALA 11A S/E 11 A (W2)                 | Semana 1 |
|   |                  | NIVEL 16     | SALA 16 A S/E 16 A                     | Semana 1 |
|   |                  |              | SALA 16 A S/E 16 B                     | Semana 1 |
|   |                  | NIVEL 16 1/2 | SALA EQM BC EQM BC 16 1/2              | Semana 1 |
|   |                  |              | SALA EQM BC S/E 16 1/2 A               | Semana 1 |
|   |                  |              | SALA 16 1/2 B S/E 16 1/2 B (Martillos) | Semana 1 |
|   |                  |              | SALA VENTILACION S/E 16 1/2 C          | Semana 1 |
|   |                  |              | SALA VENTILACION S/E 16 1/2 D          | Semana 1 |
|   |                  |              |                                        |          |
| A |                  |              | SALA VENTILACION S/E 16 1/2 E          | Semana 2 |
|   |                  |              | SALA VENTILACION EQM VDF               | Semana 2 |
|   |                  |              | SALA 16 1/2 F S/E 16 1/2 F SIZER       | Semana 2 |
|   |                  |              | SALA 16 C S/E 16 C                     | Semana 2 |
|   |                  | NIVEL 17     | SALA EQM17- EQM17                      | Semana 2 |
|   |                  |              | SALA EQM17- S/E 17 A                   | Semana 2 |
|   |                  |              | SALA 17 B - S/E 17 B (GTN)             | Semana 2 |
|   |                  |              | SALA 17 C - S/E 17 C (T y BC 17)       | Semana 2 |
|   |                  |              | SALA 17 D - S/E 17 D (GTC)             | Semana 2 |
|   |                  |              | SALA 17 E -S/E 17 E                    | Semana 2 |

Tabla 5-12. Porcentaje de la Carta Gantt

|                   |       |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Avance Semana %   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| Avance acumulado% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |

Como se puede observar en la figura 5-11 las mediciones a realizar en la mina subterránea, se realizarán entre la primera y segunda semana, adicionalmente es necesario un día más de la tercera semana. Adicionalmente, la carta Gantt posee unas pestañas en donde se selecciona si se realizó o no la medición, en el caso de haber sido efectuada ésta, se selecciona realizado y automáticamente se mostrará el porcentaje de avance tanto semanal, como del proyecto completo. Ver figura 5-12.



## **CONCLUSIONES**

De acuerdo a los objetivos tanto general como específicos planteados en este trabajo, se pudo verificar que CODELCO División Andina posee varias de sus mallas de puesta a tierra interconectadas, lo cual significa que existe equipotencialidad entre las áreas de producción, a excepción de la mina de rajo, área industrial y Saladillo, los cuales por independencia y distancia física entre sus instalaciones, no poseen continuidad eléctrica y por lo tanto equipotencialidad entre sus sistemas de puestas a tierra.

Los procedimientos planteados de mediciones de impedancia de puesta a tierra, continuidad eléctrica y resistividad eléctrica del subsuelo tierra, han sido aprobados por la unidad eléctrica de la división bajo estándares nacionales como internacionales homologadas nacionalmente, como por ejemplo ANSI/IEEE Std.80 o el Decreto Supremo No. 72 del Reglamento de Seguridad Minera.

El presupuesto presentado, fue elaborado para una empresa minera lo que considera condiciones laborales extremas como; trabajo en altura, climas adversos, riesgos de derrumbe o inhalación de gases tóxicos para el organismo, lo cual hace necesario considerar seguros de vida por el alto riesgo, encareciendo así, el valor de la ejecución de este proyecto.

La aplicación de la pauta de mallas de puesta a tierra permite a CODELCO División Andina u otro tipo de minera que quiera adaptar esta modalidad, tener un registro del estado de la red de mallas de puesta a tierra, otorgando así mayor seguridad a sus trabajadores y, por tanto, aportar a la prevención de los riesgos que conlleva una de éstas cortadas, con un conexionado defectuoso o una alta impedancia, además permitirá la importante función de elaborar tablas con la frecuencia con que se deben realizar en las mallas de puesta a tierra.

En el caso de que aparezca una deficiencia en una malla de puesta a tierra u obtener mediciones con valores superiores o fuera de normativa, se debe informar inmediatamente al departamento de electricidad o en el caso de CODELCO, a la unidad de energía eléctrica para solucionar el problema.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] ANTARA R. “Métodos de medición de puesta a tierra” / Ronal Antara. Lima, Perú. 2003.
- [2] CALVAS, R. “Los dispositivos diferenciales de corriente residual en BT” / Roland Calvas. Schneider Electric España. 2001.
- [3] LACROIX, B. “Los esquemas de conexión a tierra en BT” / Bernard Lacroix. Schneider Electric España. 2000.
- [4] LEGRAND “Guía de la potencia”. Santiago, Chile. 2004.
- [5] MARCHANT, L. “Curso de instalaciones eléctricas” / Luis Marchant. Viña del Mar, Chile. 2002.
- [6] MEDINA, J. “Puesta a tierra de Centrales eléctricas” / José Medina. Lima, Perú. 2000.
- [7] MORALES, N. “Mallas de tierra” / Nelson Morales. Santiago, Chile. 1999.
- [8] ORELLANA, E. – MOONEY, H. “Master tables and curves for vertical electrical sounding” / Ernesto Orellana y Harold Mooney. Madrid, España. 1966.
- [9] ORTUONDO, P. “Manual para el proyecto y análisis de sistemas de puesta a tierra” / Pedro Ortuondo. Santiago, Chile. 1997.
- [10] S.E.C., NCH ELEC 4/2003 “Instalaciones de consumo en baja tensión” / Código Eléctrico. Santiago, Chile. 2003.
- [11] THOMASSET, G. “Cálculo de corrientes de cortocircuito”/Georges Thomasset. Schneider Electric España. 2000.
- [12] COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION. “Earthing Practice”, Inglaterra. 1997

[13] CHILE. Ministerio de Minería. N° 72. Decreto Supremo. Diario Oficial. Santiago, Chile, 27 de enero de 1986.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: ARTICULOS RELACIONADOS CON PUESTA A TIERRA**

De acuerdo al Reglamento de Seguridad Minera, Decreto Supremo No. 72, Capítulo noveno, del Ministerio de Minería. Los artículos que involucran temas relacionados a los sistemas de puestas a tierra son los siguientes:

- Art. 452. Los alimentadores de tensión superior a quinientos (500) volts deben ser del tipo "armado", con cubierta metálica protectora. Esta armadura deberá conectarse a tierra. Los cables armados podrán instalarse bajo tierra o suspenderse en los costados de las galerías, en soportes adecuados. Se aceptarán cables alimentadores de tensión superior a quinientos (500) volts, del tipo flexible, que lleven una malla metálica protectora concéntrica en cada fase. Dicha malla deberá conectarse a tierra.
- Art. 453. En cada nivel electrificado deberá tenderse un cable de tierra, conectado eléctricamente a la tierra general exterior de la mina. Las subestaciones (transformadores) y centros de distribución de energía del nivel deberán conectarse a este cable de tierra del nivel, configurando la red o malla de tierra de éste. Toda maquinaria, línea férrea (ferrocarril no electrificado), las cañerías de aire y de agua instaladas en el nivel, las estructuras metálicas y artefactos metálicos, deberán ir conectados eléctricamente al cable de tierra.
- Art. 454. Las carcasas de los motores, de los generadores, de los transformadores y de los equipos de maniobras y las estructuras y bases en que estén montadas, deberán conectarse eléctricamente a la malla de tierra del nivel. La línea de tierra del nivel deberá ser eléctricamente independiente del retorno usado, donde exista tracción eléctrica.

**ANEXO 2: CARTA GANTT**

Carta Gantt II