

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA, COMO  
ALTERNATIVA EN LA PROTECCIÓN DE EQUIPOS DE LA ESTACIÓN  
BASE TRANSMISORA DE COMUNICACIONES-ALKOSTA, UBICADO  
EN LA PROVINCIA DE CHEPEN-LA LIBERTAD”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

VILLALOBOS VALDIVIESO, JUNIOR CESAR AUGUSTO

**Villa El Salvador**

**2017**

### **DEDICATORIA:**

Dedico mi Proyecto de Ingeniería a mis padres, mis hermanos y toda mi familia por su apoyo incondicional, para culminar con éxito mis estudios profesionales.

### **AGRADECIMIENTO:**

A Dios, a mis padres y mis maestros de la UNTELS por sus sabios consejos y orientación para obtener mi título profesional.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	13
1.2. Justificación del Proyecto.....	14
1.3. Delimitación del Proyecto.....	15
1.3.1. Teórica.....	15
1.3.2. Espacial.....	15
1.3.3. Temporal.....	15
1.4. Formulación del Problema.....	15
1.4.1 Problema General.....	15
1.4.2 Problemas Específicos.....	15
1.5. Objetivos.....	16
1.5.1 Objetivo General.....	16
1.5.2 Objetivos Específicos.....	16
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	17
2.2 Bases Teóricas.....	20
2.3 Marco Conceptual.....	57
<b>CAPÍTULO III: DESCRIPCION Y DISEÑO DEL PROYECTO</b>	
3.1 Diseño del sistema de puesta a tierra .....	60
3.2 Construcción del sistema de puesta a tierra.....	67
3.3 Revisión y consolidación de resultados.....	72
<b>CONCLUSIONES</b> .....	76
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	77
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	78
<b>ANEXOS</b> .....	79

## LISTADO DE FIGURAS

- Figura N° 01: Sistema de puesta a tierra simple.
- Figura N° 02: Distribución del potencial alrededor de un electrodo.
- Figura N° 03: Gráfico esquemático para determinar la resistividad eléctrica de un material.
- Figura N° 04: Resistividad de un cubo de terreno de 1m de lado.
- Figura N° 05: Método wenner de medida de la resistividad del terreno.
- Figura N° 06: Método schlumberge de medida de la resistividad del terreno.
- Figura N° 07: Ecuación de la resistividad.
- Figura N° 08: Ecuación de la resistividad aparente.
- Figura N° 09: Ecuación de la resistencia de un electrodo vertical.
- Figura N° 10: Ecuación de la resistencia de electrodos paralelos.
- Figura N° 11: Ecuación de la resistencia de la malla.
- Figura N° 12: Ecuación de la resistencia mutua.
- Figura N° 13: Ecuación de la resistencia total.
- Figura N° 14: Método de wenner – utilizado en la determinación inicial de la resistividad.
- Figura N° 15: Curva resistividad vs profundidad.
- Figura N° 16: Curva “K” vs profundidad “H”.
- Figura N° 17: Representación de la profundidad “h” en relación a la superficie del suelo.
- Figura N° 18: Dimensionamiento del pozo a tierra.
- Figura N° 19: Detalle del enterramiento de cable desnudo en zanja.
- Figura N° 20: Detalle de la unión fleje con varilla en pozo de tierra.

Figura N° 21: Conexión del sistema de puesta a tierra con la estación base de comunicaciones

Figura N° 22: Comparación de la resistividad y resistencia.

## LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 01: Naturaleza del terreno.

Tabla N° 02: Lectura realizada con el Telurómetro.

Tabla N° 03: Datos calculados en relación a la resistividad.

Tabla N° 04: Obtención de los parámetros " $\rho_{ap}/\rho_1$ " y "a".

Tabla N° 05: Obtención del parámetro "H".

Tabla N° 06: Obtención de los parámetros " $\rho_{ap}/\rho_1$ " y "a".

Tabla N° 07: Obtención del parámetro "H".

Tabla N° 08: Valores de resistividad y resistencia antes del diseño.

Tabla N° 09: Valores de resistividad y resistencia después del diseño.

## INTRODUCCIÓN

En toda instalación eléctrica es esencial proteger la infraestructura, equipos y bienes en general. Por tal motivo se necesita dotarla de mecanismos de protección adecuados, ya sea que se trate de instalaciones para alimentar aparatos eléctricos o con estructuras susceptibles de deterioro, eléctricamente hablando. Por lo dicho, es fundamental la protección contra fallas de aislamiento que originen tensiones por el contacto indirecto.

La tensión por contacto indirecto se origina en una estructura metálica, cuando un conductor energizado y sin aislamiento, establece contacto la misma, energizándola. Para minimizar los efectos de dicho contacto indirecto, la instalación debe contar con un sistema de protección; el método más efectivo y de mayor seguridad es el sistema de puesta a tierra.

A nivel de equipos de telecomunicaciones es importante y casi imprescindible hacer uso de mecanismos de protección que garanticen la operación y disponibilidad de los mismos de forma permanente, evitando averías debido a variaciones de potencial que se presentaban entre la masa y la tierra.

En ese sentido y con la finalidad de diseñar un sistema de puesta a tierra como alternativa de protección, sobre la cual se encuentra instalado la estación base transmisora de comunicación, es que a continuación presento mi proyecto de ingeniería el cual está dividido en 3 capítulos.

Cabe señalar que la Estación Base Transmisora de Comunicaciones-ALKOSTA, de ahora en adelante llamada "EBT", de la empresa "CLARO SAC", presentaba la

ausencia de un sistema de puesta a tierra, ya que contratista encargada de realizar la EBT no concluyo los trabajos y aun restaba la ejecución de sistema puesta a tierra por lo que se nos otorgó el diseño y ejecución, ya que había la necesidad de poner en operación lo más pronto posible la transmisión de comunicación por celular.

En el Capítulo I, se describe el planteamiento del problema, que está relacionado con la no ejecución de un sistema de puesta a tierra el mismo que genera una exposición a los equipos de comunicaciones, y retraso en los plazos establecidos para que pueda entrar en funcionamiento la EBT, otro problema presente es la reducción del ohmiaje ya el terreno presentaba una resistividad muy alta

En el Capítulo II, se describe el marco teórico en la cual se sustenta la propuesta de solución, referente al diseño de un sistema de puesta a tierra, apoyándome en teorías relacionadas al cálculo de su resistencia eléctrica, métodos de medición de resistividad, así como normativas relacionadas a su construcción.

En el Capítulo III, se presenta el diseño del sistema de puesta a tierra, a fin de alcanzar una resistencia adecuada, según la normatividad; para luego especificar los procedimientos para su construcción. Finalmente se presenta un análisis en la cual se obtiene el ohmiaje requerido el cual es necesario para la protección de los equipos de comunicaciones y así poder cumplir los estándares requeridos.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La Estación Base Transmisora de Comunicaciones-ALKOSTA, ahora llamada “EBT” de la empresa “CLARO SAC”, ubicado en la provincia de Chepen – La Libertad, presentaba una situación muy particular, no tenía un sistema de puesta a tierra, ya que por problemas de cambio de CONTRATISTA no se ejecutó por lo que se requirió el diseño y ejecución del SPAT ya que se tenía la necesidad de poner en operación lo más pronto posible la transmisión de comunicación por celular, por lo que se estaba incumpliendo con los tiempos y plazos establecidos.

De esta forma se exponían los equipos de comunicaciones, haciendo más grave esta situación, el hecho de que estos equipos son muy sensibles a pequeñas descargas eléctricas, o a pequeñas oscilaciones de energía eléctrica en su alimentación.

También cabe señalar que otro problema muy importante fue la reducción del ohmiaje ya que para el procedimiento se visualizó que el terreno era altamente resistivo.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto se justifica en que al diseñar e implementar un sistema de puesta a tierra en la EBT, se reducirá los riesgos de variaciones de potencial que se presentaban entre la masa y la tierra, garantizando la protección de los equipos de comunicaciones, y mejorando la disponibilidad del enlace de comunicación, evitando paradas inesperadas del mismo y eliminando cualquier posibilidad de penalidad o sanción por parte del ente regulador de las telecomunicaciones.

Y es que el diseño propuesto plantea cumplir con los estándares requeridos para la EBT de comunicaciones, hasta un valor óptimo, capaz de garantizar la protección y seguridad de los equipos de comunicación, con un valor máximo de  $5 \Omega$ .

## **1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

### **1.3.1 TEÓRICA**

El trabajo de suficiencia profesional desarrollado, desde el punto de vista teórico, abarca el diagnóstico de la resistividad del suelo, donde se ubica la estación base transmisora de comunicaciones, mediante el método de Wenner, y para el cálculo de la resistencia del sistema de puesta a tierra diseñado, se utiliza la fórmula de Schwartz.

### **1.3.2 ESPACIAL**

El sistema de puesta a tierra se desarrolló para la estación base de transmisión de comunicaciones - ALKOSTA de la Empresa “CLARO SAC”, ubicado en San Pedro 106, provincia de Chepen – La libertad.

### **1.3.3 TEMPORAL**

El proyecto de ingeniería comprende el periodo del 4 de abril al 21 de abril de 2017.

## **1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.4.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cómo poder diseñar un sistema de puesta a tierra, como alternativa para la protección de equipos de la EBT de Comunicaciones-ALKOSTA, ubicado en la provincia de Chepen-La Libertad?

### **1.4.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cómo diseñar el sistema de puesta a tierra para poder cumplir con los estándares establecidos en la EBT de Comunicaciones-ALKOSTA ubicado en la provincia de Chepen-La Libertad?
- ¿Cuánto será el valor de la resistividad obtenido a partir del diseño del sistema de puesta a tierra propuesto, usando la Bentonita, Cemento Conductor y Tierra de Chacra, en la Estación Base Transmisora de Comunicaciones-ALKOSTA, ubicado en la provincia de Chepen-La Libertad?

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de puesta a tierra, como alternativa para la protección de equipos de la Estación Base Transmisora de Comunicaciones-ALKOSTA, ubicado en la provincia de Chepen-La Libertad.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar el sistema de puesta a tierra con el fin de poder cumplir con el estandarizado para la Estación Base Transmisora de Comunicaciones-ALKOSTA ubicado en la provincia de Chepen-La Libertad.
- Calcular el valor de la resistividad, a partir del diseño del sistema de puesta a tierra propuesto, con el uso de Bentonita, Cemento Conductivo y Tierra de chacra, para la Estación Base Transmisora de Comunicaciones-ALKOSTA, ubicado en la provincia de Chepen-La Libertad.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Beltrán (2010), en su tesis titulada “Diagnóstico de la red de puesta a tierra de la subestación eléctrica BARBACOA II” para 400/230 Y 34,5 KV” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Eléctrica en la Universidad del Oriente de Barcelona, concluye que: “El valor teórico de la resistencia de la malla a tierra da un valor por debajo de  $1\Omega$ , lo que indica un buen funcionamiento de la malla de tierra, garantizando así la disipación de algunas corrientes de fallas en la S/E. Además los voltajes de toque y paso en la periferia son menores en comparación con los valores tolerable obtenidos tanto por el método matemático, como por el método del programa digital ETAP”.<sup>1</sup>

Duche (2013), en su tesis titulada “Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora el Alisal par sistemas de telecomunicaciones de Movistar” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, concluye que: “El diseño y cálculo de resistencia realizado para la Estación presenta una resistencia de puesta a tierra de  $4,57\Omega$  lo cual es bueno, ya que las normas dicen que estos sistemas de telecomunicaciones deben tener valores por debajo de los  $5\Omega$

---

<sup>1</sup>BELTRAN, Y. (2014). Diagnóstico de la red de puesta a tierra de la subestación eléctrica BARBACOA II. (Tesis de Pre Grado). Universidad del Oriente. Barcelona, España.

cumpliendo así los requerimientos para sistemas de telecomunicaciones. El valor medido de la resistividad del terreno se ve afectado por las condiciones del terreno, del medio ambiente o temperatura y principalmente de la estacionalidad del año”.<sup>2</sup>

Fierro (2015), en su tesis titulada “Diseño del sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica del nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, concluye que: “Al efectuar las mediciones de resistividad se pudo observar también que mientras se aumentó la distancia entre cada pica de medición, disminuyó la resistividad del terreno, esta acción es inversamente proporcional. El diseño y el cálculo de la resistencia realizado para la Subestación Eléctrica presenta una resistencia de puesta a tierra de  $0.95\Omega$  cumpliendo con la norma según CEN Covenin 200”.<sup>3</sup>

De la Vega (2012), en su libro titulado “Problemas de ingeniería de puesta a tierra”, señala que: “Una instalación de puesta a tierra es aquella instalación eléctrica que tiene como misión derivar corriente hacia la tierra, o bien, establecer contacto con ella; las corrientes involucradas pueden ser de

---

<sup>2</sup>DUCHE, E. (2013).Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora el Alisal par sistemas de telecomunicaciones de Movistar. (Tesis de Pre Grado).Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, Ecuador.

<sup>3</sup>FIERRO, R. (2015).Diseño del sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica del nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil. (Tesis de Pre Grado).Diseño del sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica del nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

naturaleza estacionaria, casi estacionaria, de alta frecuencia o electromagnética en forma de impulsos, corrientes que pueden ser originadas durante el funcionamiento de un sistema técnico hecho por el hombre o causado por un fenómeno natural”.<sup>4</sup>

García (2013), en su libro titulado “La Puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el R.A.T.”, señala que: “El valor de la resistencia de puesta a tierra y el reparto de potencial en el suelo cuando el sistema de puesta a tierra esta recorrido por una intensidad de defecto tienen, fundamentalmente, como factor proporcional determinante la resistencia específica o resistividad del terreno y del subsuelo en el que está enterrada. Es por esta razón que la concepción de una red de puesta a tierra requiere, inicialmente, el análisis de la naturaleza del suelo sobre el que vaya a realizarse”.<sup>5</sup>

González (2013), en su libro titulado “Instalaciones de Distribución”, señala que: “Para llevar a cabo el método de Wenner se necesitan 4 electrodos puestos en línea recta a la misma distancia unos de otros. Entre los electrodos exteriores se inyecta una corriente alterna, y entre los electrodos interiores se mide la diferencia de potencia.”.<sup>6</sup>

---

<sup>4</sup>DE LA VEGA, M. (2012).Problemas de ingeniería de puesta a tierra. México: LIMUSA

<sup>5</sup>GARCÍA, R. (2013).La Puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el R.A.T. Barcelona, España: MARCOMBO

<sup>6</sup>GONZÁLESZJ. (2013).Instalaciones de Distribución. Madrid, España: EDITEX

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA**

La mayoría de las contingencias eléctricas se deben a errores de alambrado, y de éstos la mayoría están relacionados con los sistemas de puesta a tierra. Hablar de este tema suena muy abstracto para quien no está relacionado con en el mismo. La puesta a tierra es una conexión de seguridad humana y patrimonial que se diseña en los equipos eléctricos, electrónicos y otros sistemas para protegerlos de disturbios o transitorios por los cuales pudieran resultar dañados. Recordemos que una falla es una fuga de corriente que busca un medio de conducción para drenar a tierra, este medio podría ser una persona y el riesgo es mayor si esta se encuentra en lugares húmedos, por lo que un sistema de puesta a tierra es vital para la protección contra este fenómeno.

Los procedimientos de diseño de un sistema de puesta a tierra se basan en conceptos tradicionales, pero su aplicación puede ser muy compleja, es decir, el proyecto se puede ver como ciencia, pero la aplicación correcta es un arte, ya que cada instalación es única en su localización, tipo de suelo, y equipos a proteger. Por lo tanto, realizar un sistema de puesta a tierra requiere de un cuidado especial y su realización debe hacerse por personas calificadas.

Cuando se propone realizar la instalación de puesta a tierra, de inmediato pensamos en una varilla o una malla de metal conductora enterrada en nuestras instalaciones y que tiene el fin de confinar y dispersar en el terreno subyacente, descargas fortuitas, asumiendo su “eliminación”; sin embargo esto es incorrecto, ya que se ha demostrado que en estos puntos existen diferencias de potencial, valores que un determinado momento se podría comparar con el potencial necesario con el que trabajan los aparatos electrodomésticos. Se ha comprobado que en la mayoría de las fallas de los sistemas en baja tensión, sobre todo en donde están sistemas de cómputo, que las fallas se deben a una mala conexión del conductor de puesta a tierra.

Por otro lado, se sabe que el globo terráqueo es considerado con potencial cero, no obstante el material que la compone puede tener una resistividad eléctrica muy alta, así que para obtener un valor adecuado se debe hacer un estudio que nos indique que el valor seleccionado está dentro de lo permitido.

La resistividad es la característica del terreno de oponer resistencia al paso de la corriente eléctrica en un metro cúbico. Este término se refiere al valor que existe entre el electrodo de la toma de tierra que se desea considerar y otro electrodo lejano de resistencia cero; este valor puede variar dentro de un rango muy amplio, ya que depende del tipo de material que tenga el suelo, del contenido de humedad, variaciones estacionales, etc.

Por mencionar un ejemplo, una conexión sólida a tierra facilita de manera importante la operación de los dispositivos de protección contra sobretensiones, ya que estos equipos como pararrayos, apartarrayos, hilo de guarda, cuernos de arqueo, etc., necesitan de una conexión a tierra para su correcta ejecución.

Un sistema de puesta a tierra es un conjunto de conductores eléctricos (cables y electrodos) directamente enterrados en el suelo y distribuidos a través de una instalación expresamente diseñada para soportar corrientes excepcionales en caso de corto circuito o descarga atmosférica, entre otras eventualidades. A este sistema se conectan todos y cada uno de los elementos de la instalación que requieran ser puestos a tierra, tales como los neutros, tanques y carcasas de los equipos, los cables de guarda, las estructuras metálicas y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra, logrando los siguientes objetivos:

- Proveer un medio seguro para proteger al personal.
- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes a tierra.
- Proveer un medio para disipar las corrientes eléctricas indeseables. Facilitar la operación de los dispositivos de protección.
- Proveer un medio de descarga y desenergización de equipos, antes de proceder a las tareas de mantenimiento.

- Dar mayor confiabilidad y seguridad al servicio eléctrico.
- Disipar la corriente asociada a las descargas atmosféricas, limitando las sobretensiones generadas.
- Limitar la elevación de potencial de la red a valores aceptables, cuando ocurre una falla a tierra.
- Establecimiento y permanencia de un potencial de referencia.

### **2.2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS PUESTA A TIERRA**

Los sistemas de puesta a tierra se clasifican en dos grandes grupos:

#### **a) De acuerdo a su naturaleza:**

Esta clasificación se refiere a la naturaleza dicotómica de los sistemas de puesta a tierra y se divide en dos secciones:

- **Instalación artificial de puesta a tierra:**

Son aquellas que se construyen específicamente para tal fin, utilizando las diversas clases de electrodos.

- **Instalación natural de puesta a tierra:**

Son en realidad elementos de otros sistemas técnicos (líneas de tuberías metálicas o cimientos de estructuras metálicas), que se encuentren dentro del ámbito de la instalación que se desea proteger y/o en su proximidad.

**b) De acuerdo a su aplicación:**

Se refiere en otras palabras, a las que distingue las instalaciones de puesta a tierra de acuerdo a su funcionalidad, y constan de tres secciones importantes:

- **Sistemas de puesta a tierra de protección:**

Tienen la misión de limitar el valor de la tensión contra tierra de aquellas partes del sistema eléctrico que no deben ser mantenidas ni en tensión ni aisladas y con las cuales puede tener contacto el personal.

Es indispensable para asegurar que durante el traspaso de corriente a tierra no dañen a los seres vivos que estuviesen dentro del sistema de tierra o en su proximidad en esos momentos.

- **Sistemas de puesta a tierra de funcionamiento:**

Se aplica para satisfacer ciertas condiciones del servicio del sistema técnico en cuestión, es decir sirven para poner a tierra por necesidad de funcionamiento a determinados puntos del circuito eléctrico, tales como neutro de generadores y transformadores, aparatos para la conexión de la tensión contra tierra, apartarrayos, etc.

- **Sistemas de puesta a tierra de trabajo:**

Estos sistemas son realizados con carácter provisional, efectuados para poner a tierra parte de la instalación eléctrica, normalmente en tensión, a los cuales se debe llegar para efectuar un trabajo o reparación, tales como cuchillas de seccionadores, etc.

Existen diferentes dispositivos o partes del sistema con un fin determinado, pero cada uno tiene diferente propósito, no es lo mismo la puesta a tierra contra descargas atmosféricas que la puesta a tierra para cargas electrostáticas.

Por tal motivo, es necesario hacer una clasificación secundaria de los sistemas de puesta a tierra de acuerdo a su propósito, esto es:

- **Puesta a tierra de los sistemas eléctricos:**

Esta clasificación tiene el propósito de limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de descargas atmosféricas, fenómenos de inducción o, de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos.

Se logra uniendo mediante un conductor apropiado a la corriente de falla a tierra total del sistema, una parte del sistema eléctrico al planeta tierra.

**a) Puesta a tierra en señales electrónicas:**

Su propósito es evitar la contaminación de señales con frecuencias diferentes a las deseadas.

La puesta a tierra se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero, que puede ser el planeta tierra. También tiene el propósito de evitar la destrucción de los elementos semiconductores por un incremento en el voltaje. Se colocan dispositivos de protección conectados entre los conductores activos y la referencia cero.

**b) Puesta a tierra de protección atmosférica:**

Sirve para canalizar la energía de las descargas atmosféricas a tierra sin mayores daños a personas y propiedades. Esta protección se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta tierra que cubre los equipos o edificios a proteger.

### c) Puesta a tierra de protección electrostática:

La finalidad de esta protección es neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando el planeta tierra como referencia de voltaje cero.

En la figura siguiente se observa un sistema de puesta a tierra simple, formado por un electrodo, un conductor eléctrico y su respectivo conector.

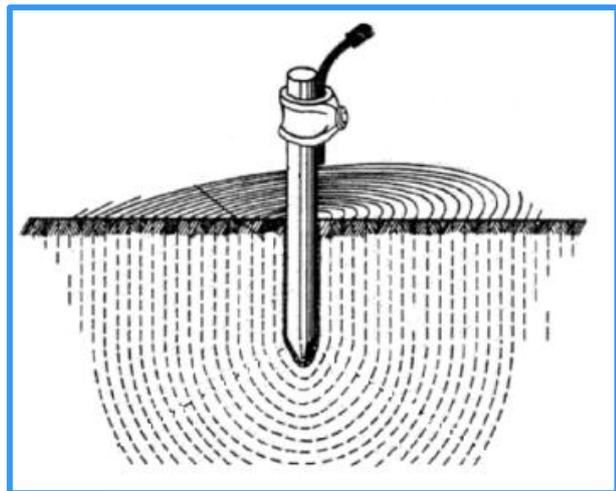


FIGURA N° 01: SISTEMA DE PUESTA A TIERRA SIMPLE

#### 2.2.1.2 ANILLO - PUESTA A TIERRA

Se la define, como el “conjunto de conductores eléctricos conectados en forma horizontal o vertical uniformemente espaciados, incluyendo electrodos de puesta a tierra enterrados en forma vertical, que se ubican en el interior del suelo”.

El anillo de puesta a tierra en subestaciones eléctricas tiene una gran área de instalación ubicándose en el suelo del patio de maniobras y es recubierta con ripio (piedra en pequeños pedazos).

Los conductores están soldados comúnmente con suelda exotérmica e instalada a una profundidad no mayor de 70 cm.

#### **a) Características básicas de un Anillo de puesta a tierra**

Las puestas a tierra deben estar constituidas por materiales y elementos que permitan un correcto funcionamiento a lo largo de su expectativa de vida útil a un costo razonable.

Las características básicas son:

- Baja resistencia y una distribución de voltaje de superficie razonable.
- Buena capacidad conductora.
- Larga durabilidad.

Los componentes básicos de un Anillo de puesta a tierra son:

- **Conductor de puesta a tierra**

El propósito principal es conducir la energía eléctrica de falla de la subestación hacia tierra, los materiales usuales de construcción son de aluminio o cobre.

El aluminio por sus características tiene una menor conductividad eléctrica produciendo mayores pérdidas pero tiene un costo relativamente bajo. El cobre es un mejor conductor que el aluminio, sin embargo el costo es mucho mayor.

- **Varilla o jabalina de puesta a tierra**

Generalmente se las denomina como jabalinas, varillas o electrodo vertical de puesta a tierra, usualmente en las instalaciones de puesta a tierra se las coloca en forma vertical/perpendicular a la superficie, soldados con el conductor horizontal de puesta a tierra en los vértices, dependiendo de la configuración de la Anillo.

## **b) Configuración del Anillo de puesta a tierra**

En la implementación de la malla de tierra, se toma en consideración el espacio físico disponible y los requerimientos eléctricos.

Existen varias configuraciones de un Anillo de puesta a tierra, las comunes son cuadradas, rectangulares, en forma de “L”, en forma de ‘T’, en forma de ‘C’, con los siguientes tipos de configuraciones:

- Electrodo con perímetro establecido sin jabalinas en los vértices.
- Electrodo con perímetro establecido con jabalinas en los vértices.
- Electrodo con perímetro establecido con reticulado interno y sin jabalinas.
- Electrodo con perímetro establecido con reticulado interno y con jabalinas en los vértices.
- Electrodo con perímetro establecido con reticulado interno y con jabalinas en las uniones perimetrales.

### **2.2.1.3 ELÉCTRODO Y RED DE ELECTRODOS**

Los electrodos tienen como finalidad principal la transmisión de la corriente de falla a tierra de una manera segura, garantizando la unión íntima con ella, además disminuyen la resistencia de tierra para dicho propósito. Los electrodos de tierra son: Artificiales, constituidos por barras, tubos, placas, cables y otros elementos metálicos.

Naturales, elementos metálicos enterrados en la tierra, aprovechados para la puesta a tierra si cumplen condiciones reglamentarias. Cuando los electrodos están lo suficientemente distantes para que la corriente máxima que pasa por cada uno de ellos modifique al potencial de los otros, se dice que los electrodos de tierra son independientes.

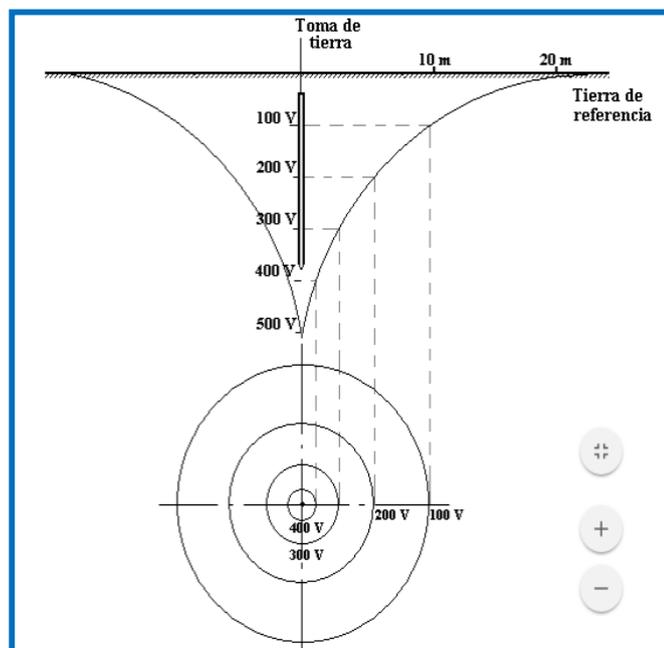
#### **a) Potencial alrededor de un electrodo**

Al pasar la corriente eléctrica por el electrodo hincado sobre el terreno, aparece en él una caída de voltaje a partir del electrodo. Este potencial está en función de la resistividad del terreno y la densidad de corriente. Además, la densidad de corriente a través del electrodo depende de su forma geométrica, colocación y distancia entre electrodos y la distancia hasta el electrodo del punto que se analice.

Es importante tomar en cuenta el gradiente del potencial cuando se diseña el sistema de aterramiento, por la peligrosidad de este a un ser viviente al momento de una corriente de falla. En los electrodos simétricos, el voltaje ubicado radialmente a la misma distancia y profundidad, será el mismo.

Los puntos equipotenciales se encuentran sobre círculos concéntricos cuyo punto central coincide con el centro del electrodo. En los electrodos asimétricos, los puntos equipotenciales sobre la tierra sigue aproximadamente la forma del electrodo.

En cualquier caso, a medida que se separa del electrodo la diferencia de potencial disminuye. La zona en la que el voltaje entre dos puntos se hace prácticamente igual a cero sobre la superficie, se le llama “tierra de referencia”. Se puede trazar una curva que relacione los voltajes existentes entre la tierra de referencia y puntos ubicados sobre la superficie de la tierra en dirección perpendicular al electrodo.



**FIGURA N° 02: DISTRIBUCIÓN DEL POTENCIAL ALREDEDOR DE UN ELÉCTRODO**

## **b) Tipos de electrodos**

Los electrodos deben tener propiedades mecánicas y eléctricas adecuadas para responder a ensayos e inspección, el material no debe corroerse y además tener buena conductividad eléctrica.

Se usa el cobre, acero galvanizado, acero inoxidable y hierro fundido. Encontramos por ejemplo la varilla Copperweld.

La varilla Copperweld de acero recubierto de cobre, que se entierra profundidad de por lo menos de 2.4 m; de encontrarse roca a menos de 1.25 m, esta puede enterrarse a un mínimo de 0.8 m. Su desventaja es el área de contacto, pero presenta buena longitud.

### **a) Electrodo naturales:**

Entre estos tenemos las tuberías de agua, que se usan sí cumplen condiciones como: tener por lo menos 3 m en contacto directo con la tierra y ser eléctricamente continua hasta el punto de conexión. Estructuras metálicas de edificios, para lo que debemos tener en cuenta que su impedancia a tierra debe ser baja, lográndolo uniendo las columnas a las partes metálicas de la cimentación con conductores.

**b) Electrodo de varilla:**

Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos o de tepetate, las varillas no pueden meterse de esa manera; se doblan o solamente no pueden entrar.

Si encontramos una roca a menos de 2.40 m, estos electrodos se pueden meter en diagonal hasta con un ángulo de 45° de la vertical.

**c) Electrodo de placa:**

Los electrodos de placa no deberán tener menos de 0.2 m<sup>2</sup> de superficie en contacto con el suelo. Y las placas de acero o hierro deberán tener por lo menos 6.4 mm de espesor. Si son de material no ferroso deberán tener por lo menos 1.52 mm de espesor.

Para utilizar una placa como electrodo, se debe de considerar que su posición óptima es de forma vertical, instalados a unos 2 m de profundidad, al colocarla horizontalmente, el terreno debajo de ella se asentaría y separaría del mismo.

#### **d) Electrodo de cinta o cable:**

Si se elige un electrodo de cinta, se debe considerar que su sección debe ser de al menos 100 mm<sup>2</sup>. Se conocen como dimensiones típicas las de 30 x 4 mm y las de 40 x 5 mm. Estas cintas son galvanizadas y se fabrican con estos fines, lo más usual, más práctico y duradero es el cable desnudo o cinta de cobre reconocidamente usado con efectividad y durabilidad.

Estos electrodos para máxima efectividad, son instalados como únicos electrodos horizontales, colocados a 1 m de profundidad. El uso de electrodos horizontales y extensos es típico en terrenos rocosos que dificultan las perforaciones profundas. En el caso de que los cables o cintas sirvan para unir a electrodos verticales formando una malla, deben enterrarse a profundidades de 0.8 m sobre el nivel del terreno (para evitar el voltaje de paso).

#### **c) Conexión entre electrodos**

La conexión entre electrodos se realiza por medio de cobre desnudo, ayudando esto a reducir la impedancia global.

Las conexiones deben ser robustas mecánicamente, resistencia a la corrosión y baja resistividad. Dichas conexiones son factores tomados en cuenta en el diseño. Se tomará en cuenta algunos métodos empleados para unir, método mecánico, bronceado, soldadura exotérmica y soldadura por fusión autógena.

**a) Conexiones mecánicas:**

Empleadas comúnmente la conexión apernada (mecánica) y la compresión (hidráulica), deben cumplir las normas pues serán sometidos a impactos mecánicos, eléctricos y térmicos. Se debe tener cuidado al efectuar perforaciones efectuadas para acomodar pernos cuando se unen cintas entre sí. Al apernar diferentes metales, se debe limpiar y proteger con inhibidor de óxido.

**b) Conexiones bronceadas:**

Se aplican en cobres y aleaciones de cobre. Su ventaja principal es que proporciona baja resistencia de unión que no se corroe.

Es necesario una superficie limpia y plana de los materiales para el bronceado.

**c) Uniones exotérmicas:**

Se realizan mediante moldes de grafito, diseñado para ajustar el tipo específico de unión. Usando una pistola con pedernal se enciende una mezcla de polvo de aluminio y de óxido de cobre y la reacción que se crea forma una unión de cobre puro.

Entre sus beneficios están: proporcionar una unión permanente de baja resistencia y resistente a la corrosión. No es permitida para conectar cobre y aluminio en las subestaciones.

**d) Conexión con soldadura autógena:**

El cobre se puede unir por soldadura de bronce o soldadura al arco en presencia de gas. Esta técnica emplea alta temperatura y material de relleno.

El arco eléctrico proporciona el calor, mientras que el área en torno al electrodo y la soldadura es envuelta por un gas tal como argón o nitrógeno, esto reduce la oxidación durante el proceso de soldadura.

#### **2.2.1.4 PRODUCTOS QUÍMICOS A UTILIZAR PARA LOS SISTEMAS PUESTA A TIERRA**

##### **a) Bentonita Sódica**

La bentonita sódica se encuentra en forma natural y que contiene un alto nivel de iones de sodio.

##### **b) Cemento Conductivo**

GEO-GEM es un Cemento Conductivo 100% ECOLOGICO de Muy Alta Conductividad Eléctrica, diseñado para reducir la resistencia eléctrica de las Puestas a Tierra.

El volumen de aplicación del cemento conductivo será según la resistividad y tipos de terrenos donde se proyecta el sistema de puesta a tierra así como el valor final deseado indicado también en la siguiente tabla de referencia.

NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD EN $\Omega\cdot m$	DOSIFICACION POR CADA ELECTRODO
Terrenos pantanosos -Limoso	20 a 100	25 -30kg.
Turba Húmeda con presencia Humus	5 a 150	25-40kg.
Arcilla Plástica	50	25 – 30kg.
Marga y Arcillas Compactas	100 a 200	25-50kg.
Cultivable , arenoso, arcilloso compacto	30 a 500	25-50kg.
Suelo pedregoso Cubierto de césped	300 a 500	30 – 50kg
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000	50-60kg.
Calizas compactas – rocoso fraccionados	1000 a 5000	50 – 75kg.
Calizas Agrietadas	500 a 1000	50kg.
Árido con granitos procedentes de alteraciones	1500 a 10000	50 – 75kg.
Roca Ígnea - compacto	5000 a 15000	50-75kg.

TABLA N° 01: NATURALEZA DEL TERRENO

### 2.2.1.5 IMPORTANCIA DEL ESPIRAL EN LA VARILLA DE COBRE.

A pesar de que es muy común escuchar sobre el concepto del cable a tierra, es importante dar a conocer el funcionamiento, presentación y protección que implica su presencia en el sistema eléctrico del hogar.

El principal rol de la conducción a tierra es desviar la corriente a través de un hilo de cobre, impidiendo que entre en contacto con una persona y produzca un shock eléctrico. Se utiliza cobre pues este elemento posee una resistencia baja, es decir es un excelente conductor eléctrico. “Este hilo consiste en un filamento conductor conectado a una malla de cobre enterrada bajo la cimentación de la vivienda y será por el cual circularán los electrones que pueden escapar de los aparatos frente a cualquier falla”, explica el ingeniero civil electricista Carlos Navarro.

Tanto en casas como en edificios, el cable a tierra se encuentra ubicado en el contacto central de los enchufes. Cuando se respetan las normas de instalación, es posible reconocer este cable por estar recubierto por un aislante de color verde.

En cuanto a los aparatos eléctricos, éstos deben estar conectados a tierra, como indica el experto al asegurar que “las partes metálicas expuestas, como la carcasa de una lavadora o refrigerador que están en contacto directo con el usuario, pueden transformarse en conductores de un voltaje peligroso si el aislamiento eléctrico falla. Esto no ocurre cuando la instalación cuenta con cable a tierra”.

Es importante advertir que al adquirir un electrodoméstico, éste cuente con tres clavijas en su enchufe, de manera que el contacto central esté conectado a la malla entregando un camino seguro por donde la corriente pueda devolverse ante cualquier eventualidad.

### **2.2.1 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA**

Por definición general la resistividad determina la capacidad física que tienen los elementos o materiales para oponerse al paso de la corriente eléctrica, este es un valor que se mantiene constante, depende de la naturaleza del elemento y únicamente sufrirá cambios al variar su temperatura. Por medio de los aislantes es posible poner límites al flujo de corriente eléctrica así como crear caminos bien definidos utilizando buenos conductores eléctricos, mientras que no es posible controlar el calor generado a un grado comparable.

Por otro lado, es claro que el grupo de los metales son mejores conductores térmicos; su resistividad, así como su conductividad tanto térmica como eléctrica es producto de los electrones libres que; molecularmente hablando, poseen en su última órbita. Contrario a los semiconductores, que forman un grupo que está entre los metales y los aislantes, cuya principal importancia se debe al modo en que estos se ven afectados por los cambios de temperatura y por pequeñas cantidades de impurezas.

El grafico mostrado a continuación, ilustra un esquema para determinar la resistividad eléctrica de una muestra de material cuyas dimensiones son 1m de lado por 1m de profundidad.

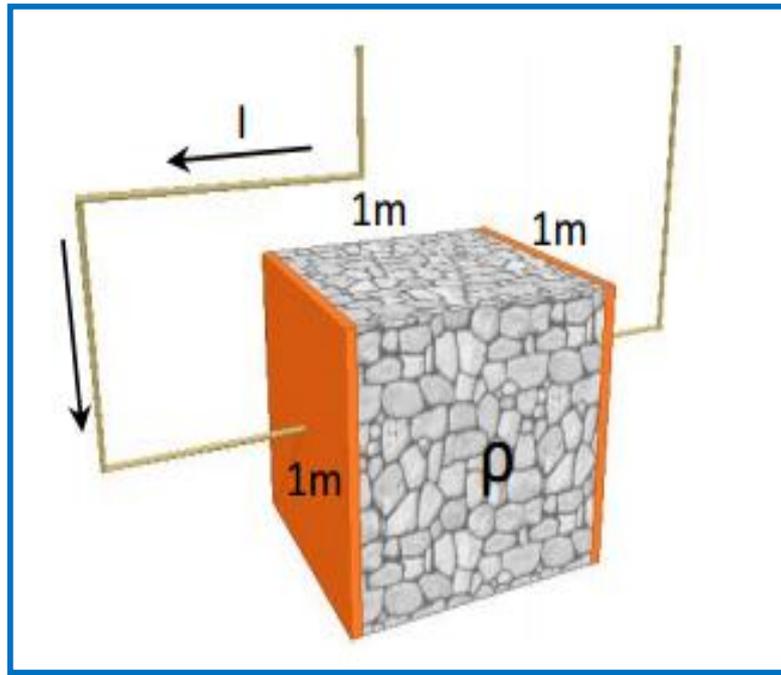


FIGURA Nº 03: GRÁFICO ESQUEMÁTICO PARA DETERMINAR LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE UN MATERIAL

### 2.2.1.1 RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La resistividad del terreno es la resistencia que muestra al paso de la corriente, un cubo de terreno de 1 metro de arista. Se expresa en  $\Omega \cdot m$  y se representa con la letra  $\rho$ .

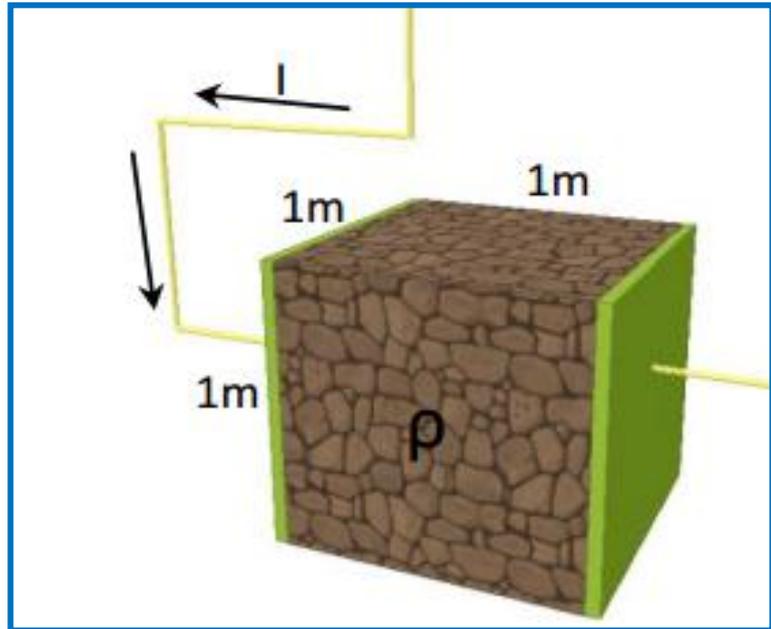


FIGURA Nº 04: RESISTIVIDAD DE UN CUBO DE TERRENO DE 1M DE LADO

La resistividad de un terreno determinado va a depender de su origen, cantidad de humedad, temperatura, salinidad y estratigrafía, siendo esta última característica la cantidad de capas de distinta composición que tenga el terreno a analizarse, también se ve afectada la resistividad por las variaciones estacionales. Otro factor que incide en la resistividad de un terreno es la compactación, ya que al aumentar el tamaño de las partículas que lo forman; la resistividad es mayor y viceversa.

La resistividad de un terreno viene determinada por varios factores que pueden modificarla, los más significativos son:

- **Sales solubles:**

La resistividad del agua se encuentra determinada por la cantidad de sales minerales disueltas en ella.

- **Estado higrométrico:**

Depende del contenido de agua, humedad y el clima.

- **Estratigrafía:**

El término hace referencia a que el suelo no presenta uniformidad, sino que tiene diferentes capas cuya composición no es igual, por lo cual su resistividad varía con cada una de ellas.

- **Temperatura:**

La resistividad de un terreno no cambia significativamente hasta alcanzar el punto de congelamiento; solo entonces la resistividad se incrementa vertiginosamente aparentando que no hay contacto con la tierra, la razón de ello es que no hay descomposición de sales.

- **Compactación:**

La resistividad del terreno disminuye al incrementar la compactación del mismo.

- **Granulometría:**

Este parámetro influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad, sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra.

### 2.2.1.2 MÉTODOS DE LA RESISTIVIDAD

El aparato que se utiliza para la medición de la resistividad aparente del terreno, es conocido como Telurómetro, consta de un voltímetro y de un amperímetro.

#### a) Método de Wenner

Mide la resistividad del terreno, se es necesario enterrar los 4 electrodos en el suelo.

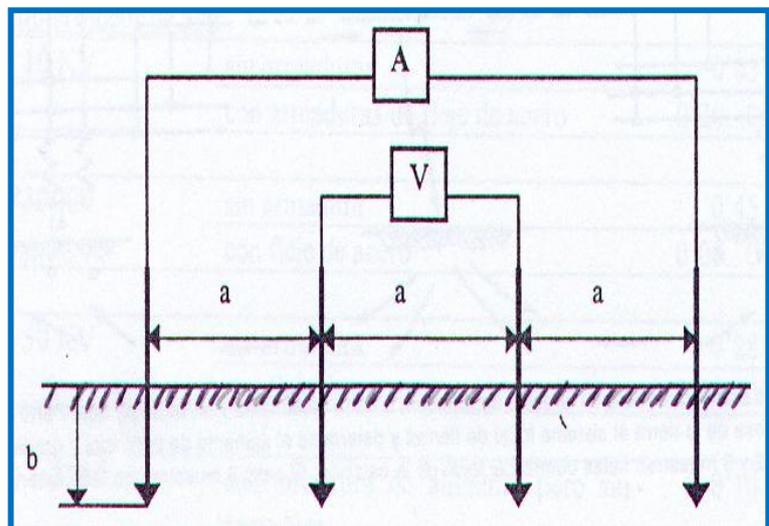


FIGURA N° 05: MÉTODO WENNER DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración la cual no debe exceder la relación “ $a/20$ ”. Y es generalmente limitada a 0,3 metros, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno.

### b) Método de Schlumberger

La variante en este método es el distanciamiento de las varillas de prueba, se las utiliza para medir la resistividad del suelo cuando las picas de prueba están separadas por una gran distancia o para acelerar las pruebas para múltiples ubicaciones de las picas de prueba.

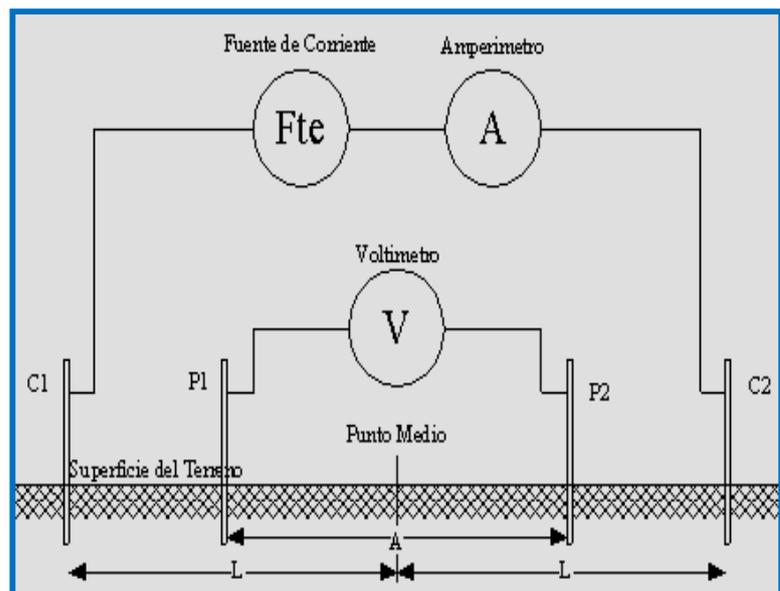


FIGURA Nº 06: MÉTODO SCHLUMBERGE DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

### 2.2.1.3 RESISTIVIDAD POR EL MODELO DE SUELO DE DOS CAPAS.

Un modelo de suelo de dos capas puede representarse por una capa superior de profundidad finita, por encima de una capa inferior de profundidad infinita. El cambio abrupto de la resistividad en las proximidades de cada capa de suelo puede describirse por medio del factor K.

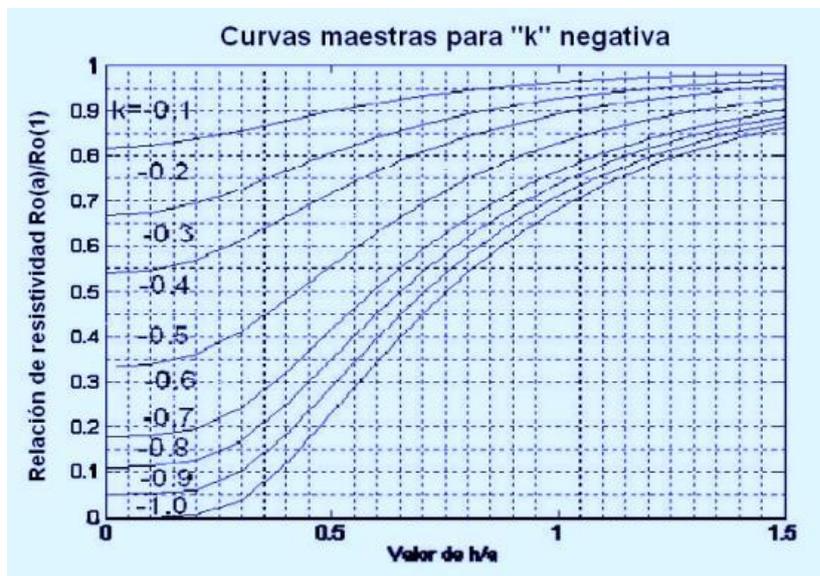


FIGURA N° 07: CURVA "K" NEGATIVA

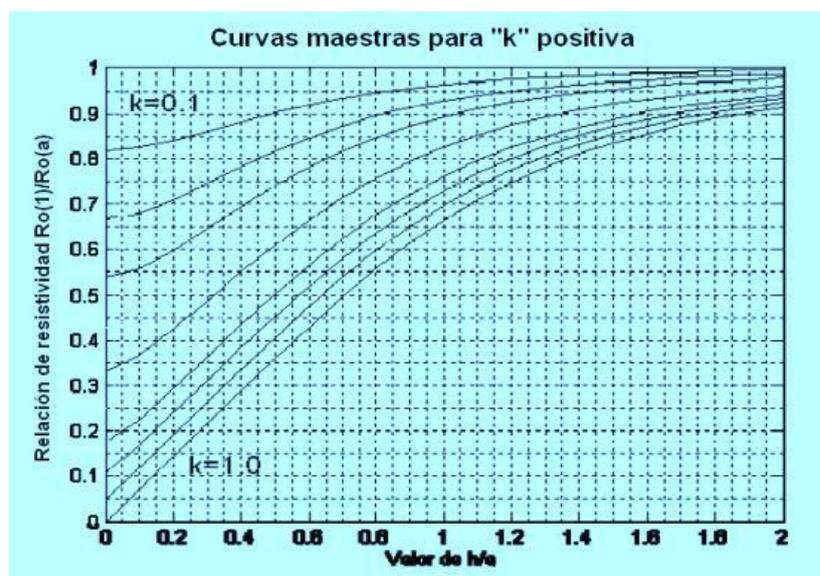


FIGURA N° 08: CURVA "K" POSITIVA

#### **2.2.1.4 DESCRIPCION DE LO EQUIPOS A PROTEGER**

Para hacer la descripción de los equipos que comprenderían una BTS, hemos creído conveniente elegir la marca Ericsson, nos hemos basado en una norma de instalación RBS 6000 para Vodafone.

- **Elementos del Nodo Distribuido de Ericsson RBS 6600.**

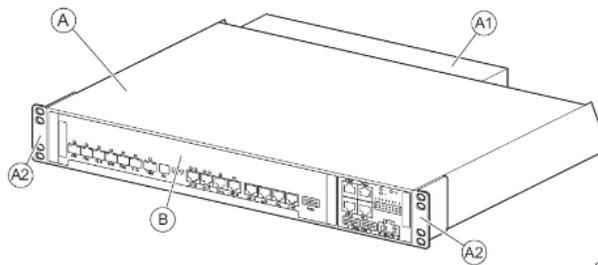
La RBS6601 es una estación base de la familia de la RBS6600 para GSM, DCS, UMTS ó LTE.

La RBS 6601 consta de una unidad principal indoor llamada Main Unit (MU) y de un número de RRU que se localizan junto a las antenas.

##### **a.1 MU RBS 6601**

La RBS 6601 se compone de una unidad de banda base llamada Main Unit (MU) y de un máximo de seis unidades radio remotas (RRU), la unión entre ambas se realiza a través de fibra óptica. En la siguiente figura se muestran las partes principales de la MU:

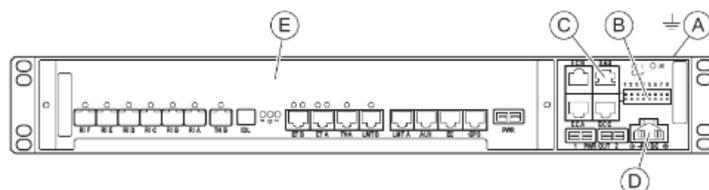
- A: Main Unit (Suport System).
- A1: Módulo de ventilación.
- A2: Soportes móviles (orejeras).
- B: DU



**FIGURA Nº 09: MU RBS 6601**

Las interfaces de conexión de la MU se muestran en la siguiente figura:

- A: Interfaz de conexión a tierra.
- B: Interfaz de alarmas externas.
- C: Interfaz de alimentación SAU.
- D: Interfaz de alimentación de entrada.
- E: DU con las interfaces de:
  - \* Gestión LAN.
  - \* GPS.
  - \* E1 y Ethernet óptica/eléctrica



**FIGURA Nº 10: INTERFAS MU**

### Características

Dimensiones (Alto x Ancho x Profundo)	66x483x350 mm
Espacio necesario en rack 19"	2U
Peso (totalmente equipada)	< 10kg
Rango de temperaturas (°C)	De +5 a +50°C
Consumo máximo	405W

### a.2 DUG

Esta unidad es la controladora del estándar GSM. Proporciona conmutación, gestión del tráfico, temporización e interfaz radio. Tiene una capacidad máxima de 12 portadoras

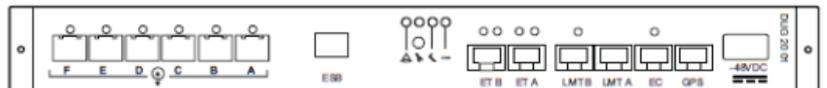


FIGURA Nº 11: DUG

### a.3 DUW

Esta unidad es la controladora del estándar WCDMA (UMTS). Proporciona conmutación, gestión de tráfico, temporización, procesado en banda base e interfaz radio. Tiene capacidad máxima de 768 channel elements en el DL y 512 en el UL.

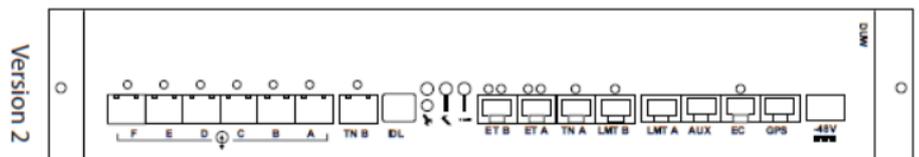


FIGURA Nº 12: DUW

### a. 4 DUS

Esta unidad es una controladora multi-estándar para LTE. Proporciona conmutación, gestión del tráfico, temporización, procesado en banda base e interfaz radio.

## b.1 RRU

La RRU es la unidad remota de radio. Puede localizarse remotamente de la RBS Main Unit (MU), hasta una distancia de 15 km. Las RRU están diseñadas para ser instaladas junto a las antenas de una RBS. Un cable de fibra óptica, también llamado enlace de interfaz óptico (Optical Interface Link-OIL), conecta las RRU a las RBS MU. Hasta 6 RRU pueden ser conectadas en configuración estrella con enlaces OIL a la RBS.

La RRU se conecta a las antenas mediante cable RF. Como norma general se instalarán lo más próximo posible a las antenas de radio, aprovechando elementos estructurales existentes en los emplazamientos.

	RRUW/RRUS01	RRUS11	RRUS12
Dimensiones con carcasa (mm) Alto x Ancho x Profundo	636x383x169	500x431x182	518x470x187
Peso (cubierta solar incluida)	20 kg	23 kg	26,3 kg
Espacio libre mínimo en la parte superior		500 mm	
Espacio libre mínimo en la parte inferior.		300 mm	
Espacio mínimo libre entre 2 RRU		200 mm	
Espacio libre en el frontal		> 1.000 mm	
Rango de temperaturas de trabajo		De -40 a +55 °C	
Diámetro de tubo soporte (si se instala tubo soporte)		60 – 120 mm	

## **b.2 DC-BOX**

Para dotar de protección contra sobretensiones (OVP, Over Voltage Protection) a las conexiones de alimentación de las RRU, se instalará una DC-BOX. Esta se alimentará de un disyuntor, o 2 paralelados, de la parte no prioritaria del equipo de fuerza del emplazamiento. Las MU deberán alimentarse en primera opción del equipo de fuerza del emplazamiento; en segunda opción, de la DC-BOX.

La DC-BOX proporciona 9(Eltek) o 10(Delta) disyuntores de 30 A, en una unidad de 1U de altura, con protección OVP tipo II accesible desde el frontal.

Se instalarán siempre en la parte superior del módulo de transporte, rack de 19" o armario de intemperie donde se equipe

## **b.3 SIU**

La SIU es el elemento que posibilita la migración a tráfico IP de las RBS. Se trata de una tarjeta de 1 U de altura y enrackable en 19", que proporcionará un interfaz común entre las RBS (ya sean de GSM, UMTS o LTE) y las redes de transporte IP Ethernet o IP sobre PDH

## Sus Características

Dimensiones (Alto x Ancho x Profundo )	43 x 482 x 252 mm
Espacio necesario en rack de 19"	1 U
Peso (totalmente equipada)	3,9 kg
Rango de temperaturas de trabajo	De +5 a +50 °C
Alimentación	-48 Vdc de las propias MU

### 2.2.1.5 FORMULAS PARA HALLAR LA RESISTIVIDAD

#### a) Cálculo De Resistividad (r: Resistividad)

$$\text{RESISTIVIDAD} = 2\pi AR$$

FIGURA N° 09: ECUACIÓN DE LA RESISTIVIDAD

Dónde:

A: Distancia de Separación de las Estacas Auxiliares

R: Lectura del Instrumento

#### b) Cálculo de la Resistividad Aparente (pa: Resistividad de Aparente (Ohm-m))

$$Pa = (h1 + h2) / ((h1/\rho1) + (h2/\rho2) )$$

FIGURA N° 10: ECUACIÓN DE LA RESISTIVIDAD APARENTE

Dónde:

$\rho_1$ : Resistividad 1ra. Capa

$\rho_2$ : Resistividad 2da. Capa

$\rho_a$ : Resistividad de Aparente ( $\Omega$ -m)

$h_1$ : Primera Capa (m)

$h_2$ : Segunda Capa (m)

**c) Calculo Resistencia de un Electrodo Vertical (Re:  
Resistencia de un electrodo Vertical ( $\Omega$ ))**

$$R_e = (\rho_a / 2\pi L) \times \ln(4L / D)$$

FIGURA N° 11: ECUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE UN ELÉCTRODO VERTICAL

Dónde:

$\rho_a$ : Resistividad de Aparente ( $\Omega$ -m)

R%: Porcentaje de Reducción

$R_e$ : Resistencia de un Electrodo Vertical ( $\Omega$ )

$\rho_d$ : Resistividad de Diseño

L: Longitud del Electrodo (m)

D: Diámetro del Electrodo (m)

**d) Calculo de Resistencia electrodos Paralelos  
( $R_r$ : Resistencia de los electrodos en Paralelo)**

$$R_r = (R_e / N) \times F$$

FIGURA N° 12: ECUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ELÉCTRODOS PARALELOS

Dónde:

Rr: Resistencia de los electrodos en Paralelo

Re: Resistencia de un electrodo.

N: Numero de electrodos.

F: Factor de tabla.

**e) Cálculo de Resistencia de la Malla o Ring (R $\omega$ : Resistencia de la Malla o Ring).**

$$R\omega = \rho d \left( \frac{0,53}{\sqrt{Amalla}} + \frac{1,75}{n^{\frac{1}{3}} L_{total}} \right) \left( 1 - \frac{80hd}{n\sqrt{Amalla}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

**FIGURA Nº 13: ECUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA**

Dónde:

R $\omega$ : Resistencia de la Malla o ring

P1: Resistividad de la 1era. Capa

P2: Resistividad de la 2da. Capa

R%: Porcentaje de Reducción

Pd: Resistividad de diseño

Amalla: Área de la Malla

n: Numero de Cuadriculas de la Malla

h: Profundidad donde se Coloca la malla

d: Diámetro del conductor de la malla

Ltotal: Longitud total del cable en le malla o Ring

**f) Cálculo de Resistencia Mutua (Rm: Resistencia Mutua)**

$$R_m = (0.73/L_{tot.}) \times \rho_d \times \text{Log} (2L_{tot.} / L)$$

FIGURA Nº 14: ECUACIÓN DE LA RESISTENCIA MUTUA

Dónde:

Rm: Resistencia Mutua

Ltot: Longitud total

Pd: Resistividad de diseño

L: Longitud Del Electrodo

**g) Cálculo de Resistencia Total del sistema (Rt: Resistencia total del Sistema).**

$$R_t = (R_\omega \times R_r - R_m^2 / R_\omega + R_r + 2R_m)$$

FIGURA Nº 15: ECUACIÓN DE LA RESISTENCIA TOTAL

Dónde:

Rt: Resistencia total del Sistema

R $\omega$ : Resistencia de la malla o Ring

Rr: Resistencia de los electrodos en paralelo

Rm: Resistencia Mutua entre Los sistemas

Re: Resistencia de un electrodo Vertical ( $\Omega$ )

## h) Cálculo de Resistencia por modelo de suelo a Dos Capas

$$K = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_1 + \rho_2)$$

FIGURA Nº 16 ECUACIÓN DE LA RESISTENCIA POR MODELOS DESUELOS

### 2.3 MARCO CONCEPTUAL

- Acoplamiento: Se forma entre dos circuitos cuando existe algún camino por el que uno de ellos pueda ceder energía al otro. El acoplamiento por conducción se da cuando dos circuitos tienen alguna impedancia común.
- Blindajes: Método que consisten en una superficie metálica dispuesta entre dos regiones del espacio, utilizada con el fin de atenuar la propagación de los campos electromagnéticos.
- Campo Eléctrico: Región del espacio en que una masa eléctrica pasiva colocada en cualquier punto sufre la acción de una fuerza.
- Campo Magnético: Campo de fuerzas creado por cargas eléctricas en movimiento, que se manifiesta por la fuerza que experimenta una carga eléctrica al moverse en su interior.
- Corriente de falla a tierra: Corriente producida por malas maniobras u originada en eventos atmosféricos (rayos) que fluye por el sistema de puesta a tierra durante una falla.
- Jabalina: Varilla o electrodo vertical de puesta a tierra, empleados para reducir el valor óhmico de mallas de puesta a tierra y controlar los voltajes de seguridad.

- Jabalina alargada: Unión de dos jabalinas típicas conectadas en serie, se las utiliza para llegar a profundidades mayores en donde existe una menor resistividad.
- Puesta a tierra (PT): Conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por el cual un circuito eléctrico o el equipo está conectado a la tierra o algún cuerpo conductor de relativamente grandes dimensiones que disipa las corrientes de falla en la tierra.
- Resistencia de puesta a tierra o resistencia de dispersión: Relación entre el máximo voltaje de puesta a tierra y la corriente de falla, que fluye desde la puesta a tierra respecto a una tierra remota.
- Resistividad del terreno: Resistencia medida entre las superficies de las caras opuestas de un cubo de 1 metro de lado con material de un suelo homogéneo, normalmente medido en W.m.
- Suelo Artificial: Compuesto de materiales orgánicos e inorgánicos de baja resistividad, utilizado para mejorar la conductividad del subsistema electrodo-tierra.
- Tiempo de despeje de falla: Tiempo medido desde el inicio de una falla hasta que la misma es despejada por dispositivos electrónicos o electromecánicos accionado por dispositivos de protección.
- Transitorios: Son perturbaciones creadas por impulsos acopladas en los circuitos eléctricos, que se encuentran en forma conducida en los cables de alimentación y en las entradas de control y señalización.
- Voltaje de transferencia: Es un caso especial del voltaje de contacto, es un voltaje (originado en el electrodo de puesta a tierra) que es transferido

dentro o fuera de la subestación, desde o hacia un punto remoto externo al sitio de la subestación.

- Zanjado: participio pasado de zanjar. Terreno en el cual se ha abierto una zanja.
- Zanjar: Excavar una zanja en el suelo.

## CAPÍTULO III

### DESCRIPCION Y DISEÑO DEL PROYECTO

#### 3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Siendo coherente con los objetivos planteados en este trabajo de suficiencia profesional a continuación procederé a realizar el diseño del sistema de puesta a tierra.

Para el diseño inicialmente se realizó el estudio inicial del suelo, obteniendo mediciones de resistividad, con el propósito de disminuir hasta un valor adecuado para el aterramiento de los equipos de la estación base de transmisión.

##### 3.1.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTIVIDAD INICIAL DEL SUELO

El método utilizado fue el de Método de Wenner, para lo cual se trabajó con el Telurómetro Digital de marca Megabras, modelo EM 4055, con Mediciones de Tención Alterna VCA a 60 Hz, en la Escala de 200V; cuyo rango de mediciones de Resistencia, están en las escalas de 20/200/2000/20 K $\Omega$ .

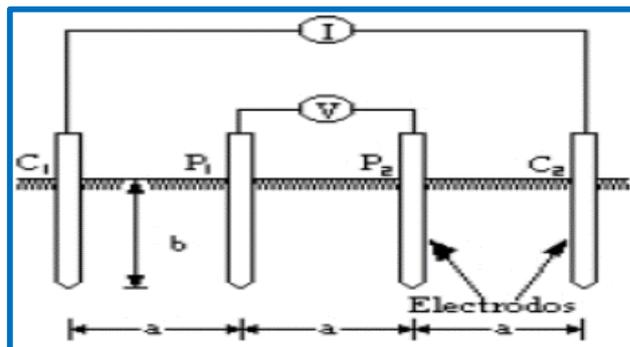


FIGURA N° 16: MÉTODO DE WENNER – UTILIZADO EN LA DETERMINACIÓN INICIAL DE LA RESISTIVIDAD

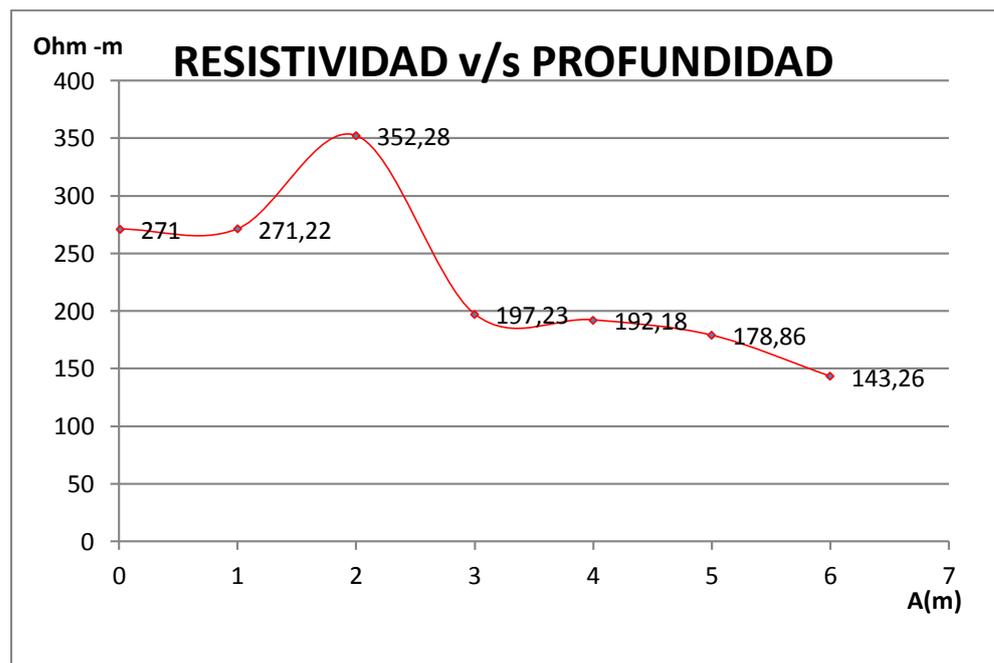
**Lecturas tomadas en Campo**

Espaciamiento(m)	X( $\Omega$ )	Y( $\Omega$ )	Z( $\Omega$ )
1.00	59	47.3	23.2
2.00	37.3	26.6	20.2
3.00	2.7	11.19	17.5
4.00	2.27	6.47	14.2
5.00	1.98	4.6	10.5
6.00	1.5	2.3	7.6

**TABLA N° 02: LECTURA REALIZADA CON EL TELURÓMETRO**

Espaciamiento	Resistividad Ohm-M			Resistividad Prom(x)
	X	Y	Z	
1.00	370.709	297.195	145.77	271.22
2.00	468.727	334.266	253.841	352.28
3.00	50.8939	210.927	329.868	197.23
4.00	57.0515	162.609	356.886	192.18
5.00	62.2037	144.514	329.868	178.86
6.00	56.5488	86.7082	286.514	143.26

**TABLA N° 03: DATOS CALCULADOS EN RELACIÓN A LA RESISTIVIDAD**



**FIGURA N° 17: CURVA RESISTIVIDAD vs PROFUNDIDAD**

## PRIMERA EVALUACIÓN

De la gráfica anterior deducimos un valor para una resistividad  $\rho_1$  y un valor de K que está limitada entre -1 y +1, cuando el valor de K > 0 se aplica  $\rho_1/\rho_{ap}$  y cuando el valor de K < 0 se aplica  $\rho_{ap}/\rho_1$ .

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
$\rho_1$	271	$\Omega.m$
$\rho_{ap}$	192.18	$\Omega.m$
$\rho_{ap}/\rho_1$	0.70	adimensional
a	4	m

TABLA N° 04: OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS “ $\rho_{ap}/\rho_1$ ” y “a”

Ahora se intersecta los valores con la curva Positiva del modelo de capas. Ver **Figura N°07**

1era Tabla

	K	h/a	h(m)
1	-0.1	0	0.00
2	-0.2	0.22	0.88
3	-0.3	0.46	1.84
4	-0.4	0.6	2.40
5	-0.5	0.71	2.84
6	-0.6	0.8	3.20
7	-0.7	0.87	3.48
8	-0.8	0.93	3.72
9	-0.9	0.98	3.92
10	-1	1.04	4.16

TABLA N° 05: OBTENCIÓN DEL PARÁMETRO “h”

## SEGUNDA EVALUACIÓN

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
$\rho_1$	271	$\Omega.m$
$\rho_{ap}$	178.86	$\Omega.m$
$\rho_{ap}/\rho_1$	0.66	adimensional
a	5	m

TABLA N° 06: OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS “ $\rho_{ap}/\rho_1$ ” y “a”

Ahora se intersecta los valores con la curva Positiva del modelo de capas. Ver **Figura N°07**

2da Tabla

	K	h/a	h(m)
1	-0.1	0	0.00
2	-0.2	0	0.00
3	-0.3	0.37	1.85
4	-0.4	0.52	2.60
5	-0.5	0.62	3.10
6	-0.6	0.71	3.55
7	-0.7	0.78	3.90
8	-0.8	0.84	4.20
9	-0.9	0.9	4.50
10	-1	0.95	4.75

TABLA N° 07: OBTENCIÓN DEL PARÁMETRO “h”

Ahora se intersectan ambas alturas para poder encontrar un punto de coincidencia

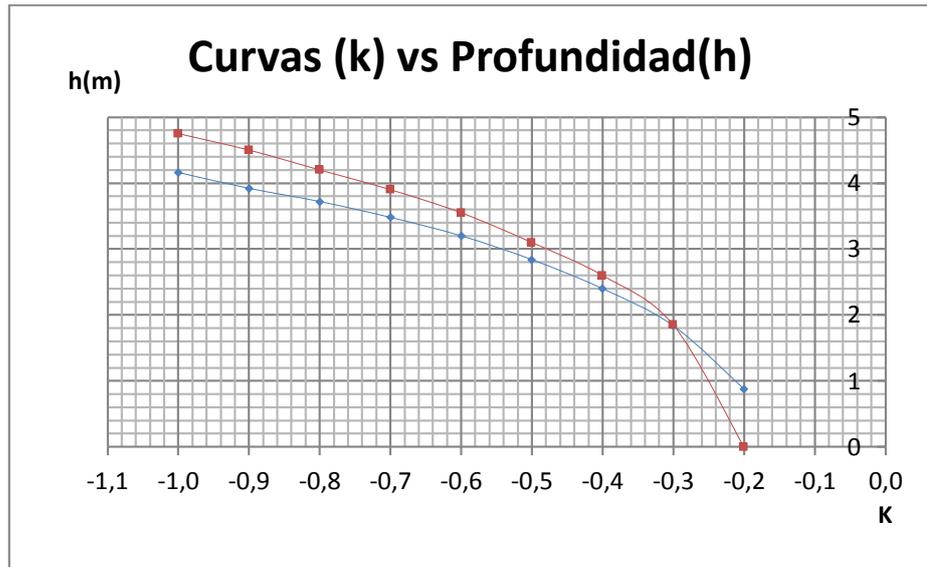


FIGURA N° 18: CURVA “K” vs Profundidad “h”

De la intersección de las curvas se obtienen:

$k = - 0.3$  y  $h = 1.80$ , reemplazando en la siguiente expresión:

$k = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$ , se tiene que:

$\rho_1 = 271 \Omega.m$  y  $\rho_2 = 145.923 \Omega.m$

Luego, lo represento mediante la siguiente figura:

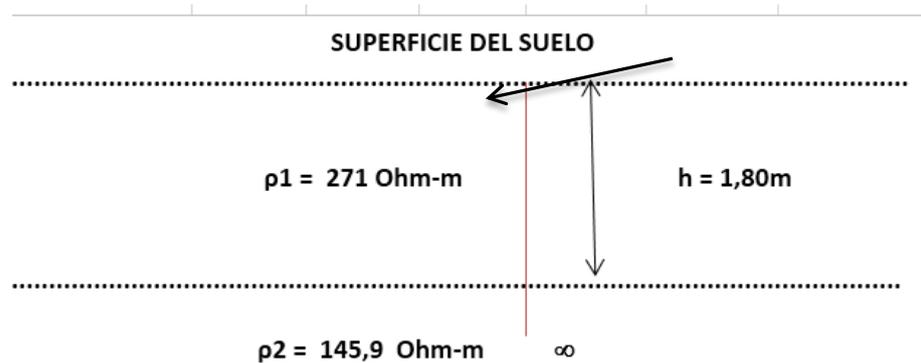


FIGURA N° 19: REPRESENTACIÓN DE LA PROFUNDIDAD “h” EN RELACIÓN A LA SUPERFICIE DEL SUELO

### 3.1.2 CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

#### A. Cálculo de la resistividad aparente:

Considerando la siguiente expresión  $\rho_a = (h_1+h_2) / ((h_1/\rho_1) + (h_2/\rho_2))$

Dónde:

- $\rho_1$ : Resistividad 1<sup>era</sup> Capa = 271
- $\rho_2$ : Resistividad 2<sup>da</sup> Capa = 145.92
- $h_1$ : Profundidad primera capa = 1,8m
- $h_2$ : Profundidad segunda capa = 2m

Reemplazando, se tiene que  $\rho_a = 186.75 \Omega.m$

#### B. Cálculo de la resistencia del electrodo vertical

Considerando la siguiente expresión  $R_e = \rho_d \times \ln(4L/D) / 2 \times \pi \times L$

Dónde:

- $\rho_a$  : Resistividad Aparente = 186.75 $\Omega.m$
- R% : Porcentaje de Reducción = -80%
- $\rho_d$  : Resistividad de diseño = 37.40  $\Omega.m$
- L : Longitud del Electrodo = 2.4m
- D : Diámetro del Electrodo = 0.01905m

Reemplazando se tiene que  $R_e$  es igual a 14.9 $\Omega$

### C. Cálculo de la resistencia del electrodo en paralelo

Considerando la siguiente expresión  $R_r = (R_e \times F) / N$

Dónde:

- $R_e$ : Resistencia de un Electrodo =  $14.9\Omega$
- N: Número de Electrodo = 4
- F: Factor de la Tabla = 1.36

Reemplazando se tiene que  $R_r$  es igual a  $5.066\Omega$

### D. Cálculo de la resistencia a tierra con fleje de Cu desnudo

**3x70mm**

Considerando la siguiente expresión

$$R = \rho \times \text{Log} (2 \times L^2 / W \times D) / (2.73 \times L)$$

Dónde:

- $\rho$ : Resistencia aparente de  $\rho_1$ , considerando un terreno homogéneo =  $271\Omega$
- $\rho$ : Resistencia con porcentaje de Reducción =  $54.20\Omega$
- W: Ancho de Fleje de cable 70mm = 0.07m
- L: Longitud del Fleje = 20m
- D: Profundidad como Mínimo = 0.4m
- R%: Porcentaje de Reducción = 80%

Reemplazando se tiene que R es igual a  $4.42\Omega$

### **E. Cálculo de la resistencia mutua**

Considerando la siguiente expresión:

$$R_m = 0.73 \times \rho_d \times \text{Log} (2L_t / L) / L_t$$

Dónde:

- $L_t$ : Longitud Total = 20m
- $\rho_d$ : Resistividad de diseño = 37.40Ω.m
- L: Longitud del electrodo = 2.4m

Reemplazando se tiene que  $R_m$  es igual a 1.66Ω

### **F. Cálculo de la resistencia del sistema de puesta tierra**

Considerando la siguiente expresión:

$$R_g = (R_1 \times R_2 - R_{12}) / (R_1 + R_2 - 2R_{12})$$

Donde:

$R_1$ : Resistencia del Electrodo = 4.42Ω

$R_2$ : Resistencia de la Malla = 2.93Ω

$R_{12}$ : Resistencia Mutua Electrodo – Malla = 1.66Ω

Reemplazando se tiene que la resistencia del sistema es de 3.82Ω

## **3.2 CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.**

A continuación, se procede a describir el procedimiento realizado para la construcción del sistema de puesta tierra, tomando como referencia los cálculos y valores obtenidos en el diseño descrito en el punto anterior.

Teniendo en cuenta que, para la instalación de la puesta a tierra según el diseño realizado, se construirá un pozo y una zanja.

### **3.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL POZO A TIERRA**

El diseño mandó a instalar 1 Pozo vertical con electrodo de cobre de alta pureza de diámetro de  $\frac{3}{4}$ " x 2.40mts.

Seguidamente se apertura un hoyo de 2.90m de profundidad x 0.80 m<sup>2</sup> de ancho.

Después de haber realizado la excavación del pozo, se procedió a humedecer las paredes del pozo conjuntamente con el fondo, para reactivar las sales naturales.

Luego se procedió a cernir la tierra de cultivo en malla cocada de  $\frac{1}{2}$ ", mezclando con 90Kg de bentonita sódica (03 sacos de 30kg) por metro cúbico de tierra.

En el fondo del pozo se colocó una capa de tierra cernida y tamizada de 0.20m de altura, al centro del mismo se colocó el electrodo de cobre de diámetro de  $\frac{3}{4}$ " (19mm) x 2,40m de longitud, para luego proceder a colocar el molde de PVC de 4" de diámetro y 0,50m de longitud, cubriendo al electrodo de cobre.

Luego se aplicó cemento conductivo puro dentro del molde en proporción de 100kg. (04 sacos de 25kg) de cemento conductivo por cada pozo. Por el exterior del molde se aplicó la tierra de cultivo con bentonita, compactando en capas de 0,20m, agregando agua en pequeñas cantidades, repitiendo el procedimiento hasta cubrir el 80% del electrodo.

### **3.2.2 CONSTRUCCION DE LA ZANJA**

El diseño manda unir el pozo con fleje de cobre de 3mmx70mm.

En la zanja de interconexión de 0,40m x 0,60m se procedió a humedecer tanto las paredes como la parte del fondo con abundante cantidad de agua.

Luego se colocó una capa de 0,40m de ancho x 0,10m alto de tierra de cultivo mezclada con bentonita sódica en proporción 60kg (dos sacos de 30kg) por m<sup>3</sup> de tierra, agregando luego 3cm de cemento conductivo en seco, instalando seguidamente el fleje o platina de cobre de 70x3mm, cubrir el fleje con otra capa de 3cm de cemento conductivo en seco aplicando un total 6cm de alto x 27cm de ancho como mínimo (02 sacos de 25kg por cada 1.8ml de zanja) verificar que el fleje quede cubierto totalmente por el cemento conductivo en toda su longitud.

Sobre esto culminar el relleno de 0.40m de ancho x 0.44m de alto colocando la tierra de cultivo reforzado con bentonita sódica en proporción 90kg (03 sacos de 30kg) por metro cúbico de tierra

compactando en capas de 0.20m y agregando abundante cantidad de agua hasta llegar al nivel superior o nivel de piso terminado.

El estudio contempla reemplazar la tierra extraída de la excavación por tierra de cultivo para sistemas de tierra.

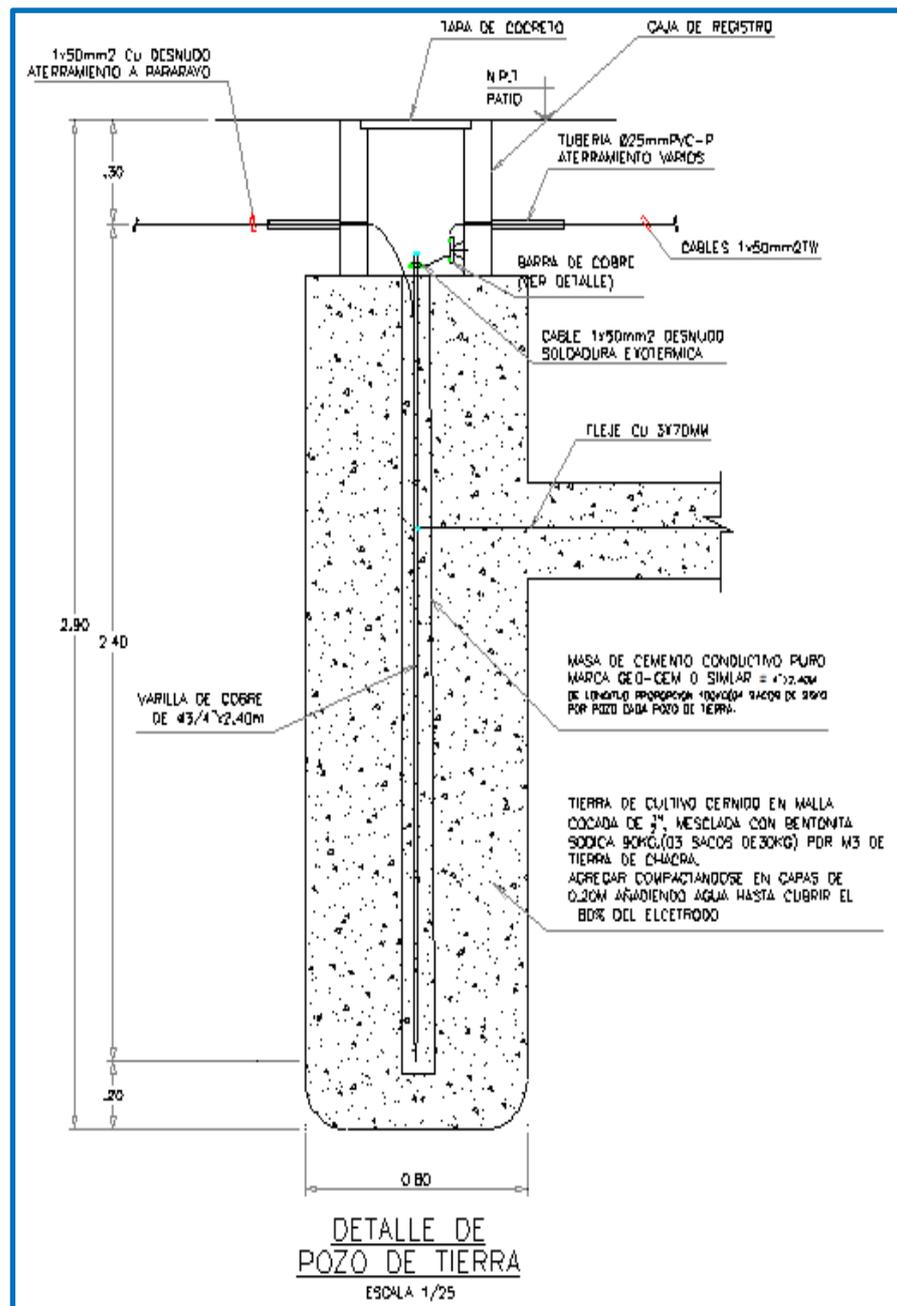


FIGURA N° 20: DIMENSIONAMIENTO DEL POZO A TIERRA

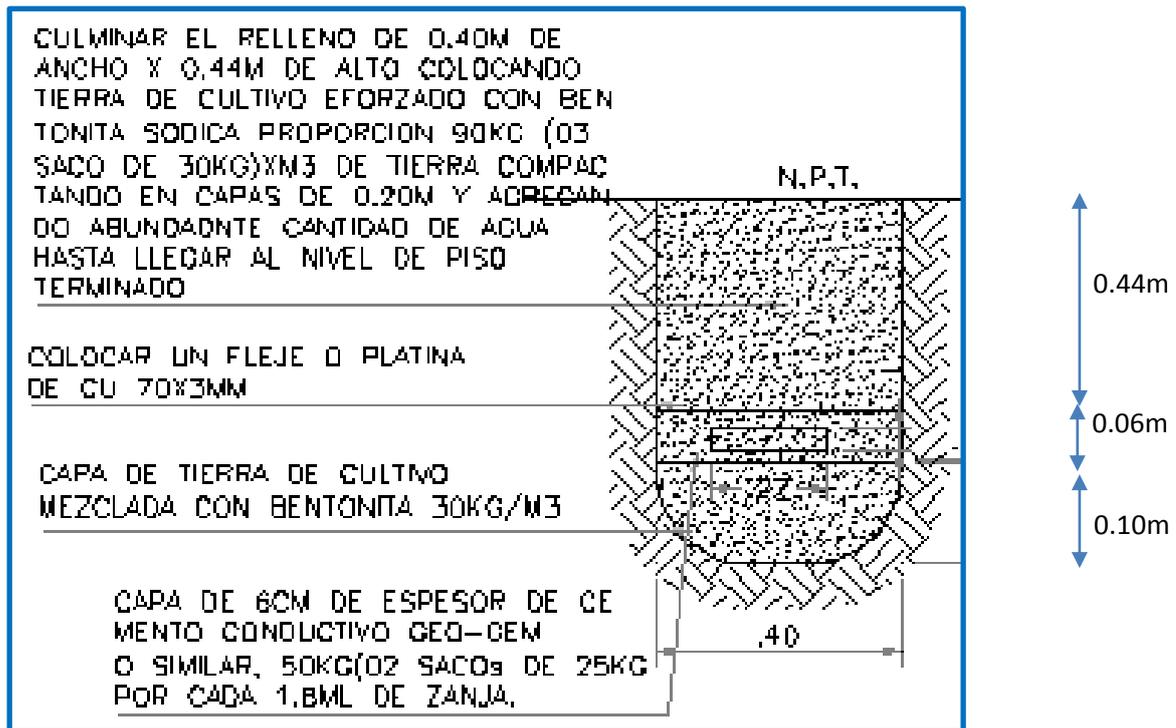


FIGURA N° 21: DETALLE DEL ENTERRAMIENTO DE CABLE DESNUDO EN ZANJA

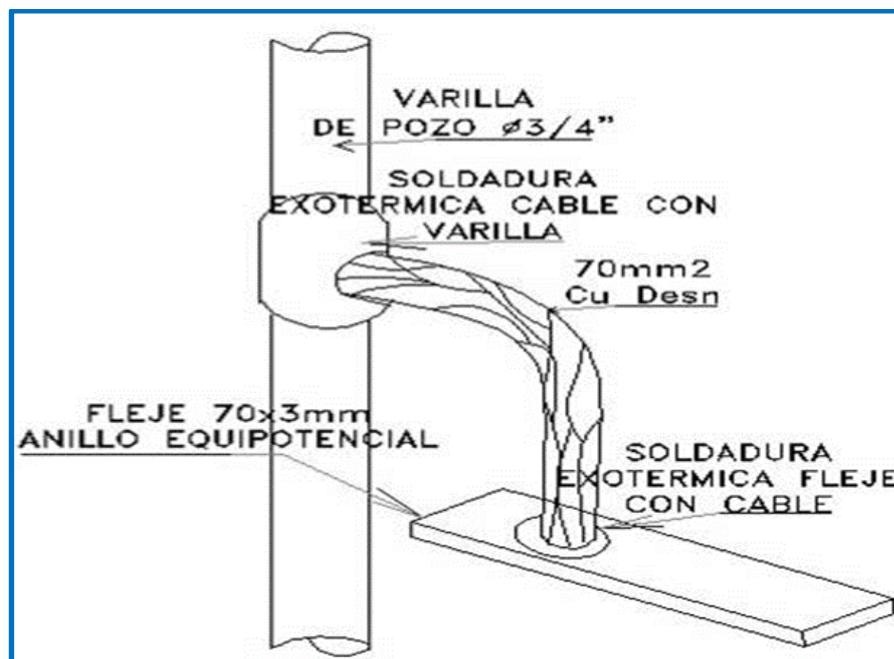


FIGURA N° 22: DETALLE DE LA UNIÓN FLEJE CON VARILLA EN POZO DE TIERRA

El sistema de puesta a tierra se conectará con la estación base de comunicación tal y como se muestra en la siguiente figura.

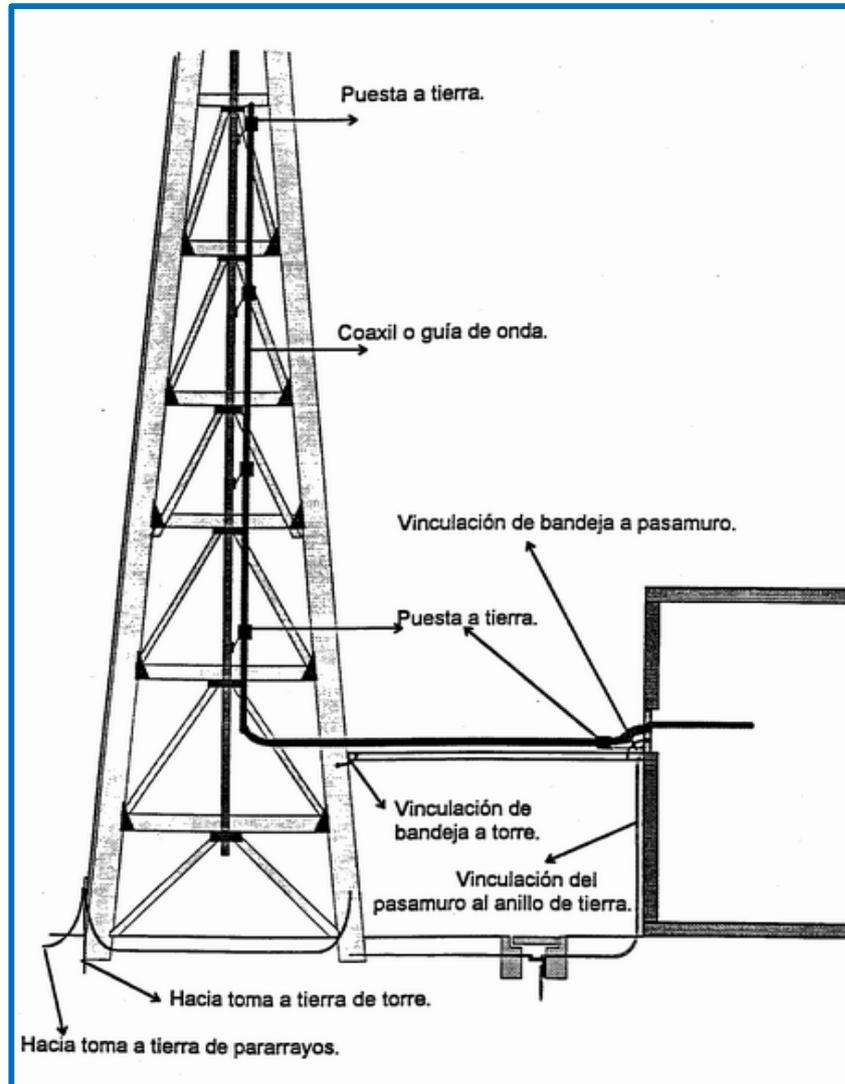


FIGURA N° 23: CONEXIÓN DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA CON LA ESTACION BASE DE COMUNICACIÓN

### 3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, procederé a realizar un análisis comparativo de los valores de resistividad y resistencia antes y después del diseño e implementación del sistema de puesta a tierra.

ANTES DEL DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA 1m			
Resistividad del Terreno	370.709Ω.m	Resistencia del terreno	59Ω

TABLA N° 08: VALORES DE RESISTIVIDAD Y RESISTENCIA ANTES DEL DISEÑO

VALORES DESPUES DEL DISEÑO Y EJECUCION	
Resistencia del Sistema	3.82Ω

TABLA N° 09: VALORES DE RESISTIVIDAD Y RESISTENCIA DESPUÉS DEL DISEÑO

Comparando ambos resultados:

Luego del análisis comparativo, queda evidenciando que se llegó al o megado requerido ( $>5\Omega$ ) cumpliendo lo establecido por las normas de OPSITEL.

### 3.4 PROTOCOLO DE PRUEBAS.

#### 3.4.1 Método de Medición.

El método de los cuatro puntos de Wenner es el método más preciso y popular. Son razones para esto que: el método obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades; no es necesario un equipo pesado para realizar las medidas; los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno.

#### 3.4.2 Certificado de Medición de Resistencia Eléctrica del sistema de Puesta a Tierra.

**CERTIFICADO DE MEDICION DE RESISTENCIA ELECTRICA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPAT)**

**DATOS DEL CLIENTE**

Nombre Comercial: Estación Base de Transmisión de Comunicaciones - ALKOSTA  
 Dirección: San Pedro 106, provincia de Chepen – La libertad  
 Coordinación: Ing. Junior Cesar Villalobos Valdivieso  
 Fecha de Medición: 02 de Mayo del 2017

**EQUIPO UTILIZADO**

Marca: MEGABRAS  
 Modelo: EM 4055  
 Serie: MU 7064C  
 Pozo: N° 01  
 Tipo: Digital Automático  
 Rango: x1Ω  
 Frecuencia: 270 Hz

**CERTIFICADO N° CPAT 01.**

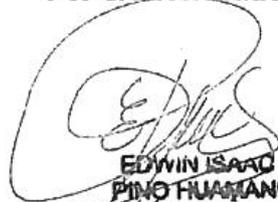
SPAT	Medición	Hora	Ubicación del SPAT	Observación
P-1	3.62Ω	11:00 a.m.	Dentro de la EBC	SPAT Nuevo

Descrip	Electrodo de Puesta a Tierra				Conduct. puesta a Tierra		Protec. EBC
	Material	φ mm	L mm	Tipo de Inst.	S mm <sup>2</sup>	Color Aislamiento	
P-1	Cobre	19	2.5	Vertical	10	Cu Desnudo	

SOBRE LA MEDICION	
FRECUENCIA	270 Hz

<b>CONCLUSION</b>
La resistencia eléctrica del SPAT ejecutada con un pozo de puesta a tierra, cumple con lo establecido en el CNE y no supera los 5 $\Omega$
<b>VIGENCIA DE CERTIFICADO</b>
El criticado tiene una vigencia de 12 meses
<b>PROFESIONAL RESPONSABLE</b>
El Ing. Edwin Pino Huamani

Por el Interesado.:



**EDWIN ISAAC  
PINO HUAMANI  
INGENIERO ELECTRICISTA  
Reg. CIP N° 138478**

## **CONCLUSIONES**

### **CONCLUSIÓN GENERAL**

- Se concluye que con el diseño del sistema de puesta a tierra la resistividad cumple con lo estandarizado por OPSITEL para la Estación Base Transmisora de Comunicaciones-ALKOSTA, el mismo que garantizará la protección de los equipos ya que se encuentra dentro de lo establecido por norma.

### **CONCLUSIONES ESPECÍFICAS**

- Se concluye que el sistema de puesta a tierra presenta como características de diseño una configuración de 4 pozo de 2.9m de profundidad x 0.8m<sup>2</sup> de ancho y una zanja con dimensiones de 0.40m de ancho x 0.60m de profundidad, y cuya unión será con un fleje de cobre de 3mmx70mm, garantizando así la obtención de un valor de resistencia adecuado, capaz de proteger los equipos de comunicación.
- Finalmente se concluye que solo con el uso de TIERRA DE CHACRA Y ADITIVOS podemos obtener una resistencia de 3.82Ω. valores coherentes con lo recomendado por la normatividad y que garantizan la protección de los equipos.

## **RECOMENDACIONES**

### **RECONMEDACIÓN GENERAL**

- En relación al diseño y la implementación del sistema de puesta a tierra se recomienda realizar un plan de mantenimiento y verificación programado a fin de garantizar que el ohmiaje del sistema de puesta a tierra siempre este por debajo de lo recomendando según la normatividad.

### **RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS**

- En relación a las características de diseño se recomienda que todas las pruebas eléctricas se efectúen con equipos e instrumentos debidamente calibrados para lo cual, se debe disponer del certificado de calibración.
- Finalmente se recomienda tomar este estudio como referencia a fin de que pueda servir como aporte para próximos casos o situaciones que ameriten un sistema de protección ante variaciones de potencial entre la masa y la tierra.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **BELTRAN, Y. (2014)**. Diagnóstico de la red de puesta a tierra de la subestación eléctrica BARBACOA II. (Tesis de Pre Grado). Universidad del Oriente. Barcelona, España.
2. **BELTRAN, Y. (2014)**. Diagnóstico de la red de puesta a tierra de la subestación eléctrica BARBACOA II. (Tesis de Pre Grado). Universidad del Oriente. Barcelona, España.
3. **DE LA VEGA, M. (2002)**. Problemas de ingeniería de puesta a tierra. México: LIMUSA
4. **GARCÍA, R. (2010)**. La Puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el R.A.T. Barcelona, España: MARCOMBO
5. **GONZÁLES, ZJ. (2013)**. Instalaciones de Distribución. Madrid, España: EDITEX

## **ANEXOS**

TOMAS DE LECTURAS.

LECTURAS EN "X"



LECTURAS EN "Y"



LECTURAS EN "Z"

