

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD INDUSTRIAL**



**PROYECTO DE GRADO A NIVEL LICENCIATURA**

**“REDISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA, PARA  
EL CONDOMINIO TORRES DEL POETA”**

**POR: EDGARDO QUISPE RAMÍREZ**  
**TUTOR: ING. NÉSTOR MAMANI VILLCA**

LA PAZ – BOLIVIA

2022

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD INDUSTRIAL**



**“REDISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA, PARA  
EL CONDOMINIO TORRES DEL POETA”**

**TRIBUNALES** : LIC. EDUARDO QUINTEROZ RODRIGUEZ  
: ING. ROLANDO SALINAS SAAVEDRA  
: ING. RUPERTO ADUVIRI RODRIGUEZ

**DECANO** : LIC. EDUARDO QUINTEROZ RODRIGUEZ

**VICE-DECANO** : LIC. FELIX CAHUAYA MAMANI

**DIRECTOR** : LIC. JUAN OSWALDO TIÑINI APAZA.

**POSTULANTE** : UNIV. EDGARDO QUISPE RAMIREZ

**TUTOR** : ING. NESTOR MAMANI VILLCA

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD INDUSTRIAL**

Proyecto de grado:

**“REDISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA, PARA  
EL CONDOMINIO TORRES DEL POETA”**

Presentado por: Univ. Edgardo Quispe Ramírez

Para optar el grado académico de Licenciatura en Electricidad

Nota numeral: .....

Nota Literal: .....

Ha sido: .....

Director de carrera: Lic. Oswaldo Tiñini Apaza.

Tutor : Ing. Néstor Mamani Villca

Tribunal : Ing. Rolando Salinas Saavedra.

Tribunal : Ing. Ruperto Aduviri Rodriguez

Tribunal : Lic. Eduardo Quinteros Rodrguez

## **DEDICATORIA**

A Dios, y a mis padres por permitirme llegar hasta este momento de mi vida. Por guiarme en todos los triunfos y momentos difíciles que me ha enseñado a valorarlo cada día más a mi familia por ser las personas que me han acompañado durante todo mi trayecto de estudio y de la vida quienes con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi agradecimiento primeramente a Dios por haber bendecido mi vida y guiado el camino en cada uno de mis pasos.

Agradezco el esfuerzo de mis padres que fueron mis mayores promotores de la vida, a mi papá Antonio Quispe Kjara y a mi mamá Teresa Ramirez Luque, también a mis hermanos, Basilio, Oscar, Cesar y mi hermana Maricela, muchas gracias por apoyarme en todo tiempo de mis estudios, y en la vida misma.

Gracias a la Universidad Mayor de San Andrés y a la carrera de Electricidad Industrial, por haberme formado en ella, agradezco a mi Docente Tutor Ing. Néstor Mamani Villca y a mis tribunales, Lic. Eduardo Quinteros R., Ing. Rolando Salinas S. y al Ing. Ruperto Aduviri R., gracias a las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, hoy se ve reflejado en la culminación de mi paso por la Universidad.

También agradecer a Noemi Ruth Quispe C. por la amistad y por haberme acompañado y apoyado en todo momento de mi vida y estudio, y al Ing. Félix Mendoza P. Por su amistad y por su ayuda en mi proyecto, gracias por todo su apoyo incondicional. Por último, a todos que de una u otra forma me ofrecieron sus conocimientos y profesionalismo sin pedirme nada a cambio.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1 – MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
1.1.1. ANTECEDENTES INSTITUCIONALES .....	3
1.1.2. PROYECTOS SIMILARES .....	7
<b>1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>8</b>
<b>1.3. OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>10</b>
1.4.1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	10
1.4.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL .....	10
1.4.3. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA.....	11
1.4.4. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.....	11
1.4.5. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL .....	11
<b>1.5. DELIMITACIÓN</b> .....	<b>12</b>
1.5.1. DELIMITACIÓN TEMÁTICA.....	12
1.5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL .....	12
1.5.3. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA .....	12
1.5.4. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	13
<b>1.6. METODOLOGÍA</b> .....	<b>13</b>
1.6.1. MÉTODO DEDUCTIVO .....	13
<b>CAPITULO 2 – DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1. CONDICIONES ACTUALES DE LA INSTALACIÓN</b> .....	<b>14</b>

<b>2.2 MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE TIERRA .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPITULO 3 – MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. PUESTA A TIERRA .....</b>	<b>22</b>
3.1.1. FACTORES DEL TERRENO.....	22
3.1.2. TIPOS DE TERRENO.....	23
3.1.3. HUMEDAD DEL TERRENO.....	24
3.1.4. SALINIDAD DEL TERRENO .....	25
3.1.5. TEMPERATURA DEL TERRENO.....	26
3.1.6. GRANULOMETRÍA DEL TERRENO.....	27
3.1.7. COMPACTICIDAD DEL TERRENO .....	28
3.1.8. ESTRATIGRAFÍA .....	28
3.1.9. OTROS FACTORES .....	29
<b>3.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO .....</b>	<b>30</b>
3.2.1. MÉTODO DE WENNER .....	31
3.2.2. MÉTODO DE SCHLUMBERGER.....	33
<b>3.3. ELECCIÓN Y TIPOS DE CONFIGURACIÓN DE PUESTA A TIERRA .....</b>	<b>34</b>
3.3.1. SISTEMA ANILLO.....	34
3.3.2. SISTEMA DE RED O MALLA.....	35
3.3.2.1. REQUISITOS DE UNA MALLA DE TIERRA.....	36
3.3.3. SISTEMA RADIAL .....	37
<b>3.4. MATERIALES DE PUESTA A TIERRA .....</b>	<b>38</b>
3.4.1. ELECTRODO .....	38
3.4.2. PLACAS.....	38
3.4.3. VARILLAS .....	39
3.4.4. BARRA EQUIPOTENCIAL.....	40

<b>3.5. CÁLCULOS DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA .....</b>	<b>41</b>
3.5.1. TENSIÓN DE PASO .....	41
3.5.2. TENSIÓN DE CONTACTO .....	41
3.5.3. TENSIONES REAL DE PASO .....	42
3.5.4. TENSIONES REAL DE CONTACTO .....	43
3.5.4.1. DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES <i>KM, KI, KS</i> .....	43
3.5.4.2. DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES <i>KM, KI, KS</i> .....	44
<b>3.6. MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA ..</b>	<b>44</b>
3.6.1. MÉTODO DE LAURENT NIUMAN .....	44
3.6.2. MÉTODO DE SCHWARZ .....	45
<b>3.7. CALCULO DE LA SECCIÓN DEL CONDUCTOR DE MALLA .....</b>	<b>46</b>
<b>3.8. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>47</b>
3.8.1. MÉTODO DE MEDICIÓN TRES PUNTOS .....	48
3.8.2. MÉTODO DE MEDICIÓN CUATRO TERMINALES.....	48
3.8.3. MÉTODO DE MEDICIÓN DOS PUNTOS .....	51
<b>3.9. COMPONENTES PARA REDUCIR LA RESISTIDAD DEL TERRENO .....</b>	<b>52</b>
3.9.1. BENTONITA .....	52
3.9.2. THOR GEL .....	53
3.9.3. GEO GEL 8+M.R. ....	54
3.9.3.1. APLICACIONES MÁS COMUNES DE GEO GEL 8+M.R. ....	55
<b>CAPITULO 4 – INGENIERÍA DE PROYECTO .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1. ESTUDIO DEL SUELO.....</b>	<b>56</b>
4.1.1. RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	56
4.1.2. NORMAS APLICABLES.....	56
4.1.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN .....	57



4.1.4. TRAYECTORIAS DE MEDICIÓN.....	58
4.1.5. DATOS OBTENIDOS EN LA MEDICIÓN .....	58
4.1.6. PROCESAMIENTO DE DATOS DE LAS MEDICIONES CON PROGRAMA DE CÁLCULO UTILIZADO .....	62
4.1.7. RESULTADOS OBTENIDOS.....	63
<b>4.2. CÁLCULO DE RESISTENCIA Y DISEÑO DE MALLA A TIERRA.....</b>	<b>65</b>
4.2.1. DATOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO.....	65
4.2.2. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL CONDUCTOR .....	66
4.2.3. CALCULO DE TENSIÓN DE PASO Y TOQUE <i>EpyEt</i> .....	67
4.2.4. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES <i>Km, KiyKs</i> .....	68
4.2.5. DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES DE PASO Y TOQUE <i>EpyEt</i> REALES .....	69
4.2.6. CALCULO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA .....	70
<b>4.3. CALCULO DE RESISTENCIA DE MALLA (ETAP 19.0.1).....</b>	<b>71</b>
4.3.1. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN.....	71
4.3.2. DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA .....	77
<b>CAPITULO 5 – COSTOS Y PRESUPUESTOS .....</b>	<b>78</b>
5.1. ANÁLISIS DE CALCULO DE COSTOS.....	78
5.1.1. CREACIÓN DE LISTA DE ACCIONES Y TAREAS .....	80
5.2. PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO .....	80
5.3. REALIZACIÓN ESTIMACIÓN TEMPORAL .....	81
<b>CAPITULO 6 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
6.1. CONCLUSIONES .....	82
6.2. RECOMENDACIONES .....	83
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>84</b>
ANEXO 1. REPORTE DE RESULTADOS DE ETAP 19.0.1. ....	86

ANEXO 2. REPORTE FOTOGRÁFICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y DE LAS MEDICIONES REALIZADAS .....	90
ANEXO 3. DIBUJO DE PLANOS DE MALLA DE TIERRA .....	92
ANEXO 4. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	95
ANEXO 5. DATOS DE RECURSOS DE LA ACTIVIDAD .....	101
ANEXO 6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CADA ITEM .....	105
ANEXO 7. AVANCE DE LA OBRA EN CONSTRUCCION SEGÚN LOS AÑOS ..	109

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Proyectos similares Extranjeras .....	7
<b>Tabla 2.</b> Proyectos Similares Nacionales.....	7
<b>Tabla 3.</b> Valores de resistividad de diferentes suelos.....	22
<b>Tabla 4.</b> Resistividad según la naturaleza del terreno .....	23
<b>Tabla 5.</b> Valores medidos de la resistividad .....	24
<b>Tabla 6.</b> Valores de resistividad .....	25
<b>Tabla 7.</b> Efecto de contenido de sal sobre resistividad del suelo .....	25
<b>Tabla 8.</b> Efectos de la temperatura. ....	27
<b>Tabla 9.</b> Sección nominal para conductores de protección.....	41
<b>Tabla 10.</b> RESISTIVIDAD APARENTE PARA LA TRAYECTORIA 1.....	59
<b>Tabla 11.</b> RESISTIVIDAD APARENTE PARA LA TRAYECTORIA 2.....	60
<b>Tabla 12.</b> RESISTIVIDAD APARENTE PARA LA TRAYECTORIA 3.....	61

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Logo de La Empresas constructoras Rubau y Constec.....	4
<b>Figura 2.</b> Maqueta del Condominio Torres del Poeta .....	5
<b>Figura 3.</b> Mapa Geográfico (Torres del Poeta) .....	12
<b>Figura 4.</b> Esquema del Método Deductivo .....	13
<b>Figura 5.</b> Diagrama de malla general .....	14
<b>Figura 6.</b> Curva de resistencia aparente para las diferentes posiciones del electrodo de potencia.....	16
<b>Figura 7.</b> Conexión del equipo Fluke 1625 .....	16
<b>Figura 8.</b> Método de 63% .....	17
<b>Figura 9.</b> Resistencia de la malla 1 .....	18
<b>Figura 10.</b> Resistencia de la malla 2.....	19
<b>Figura 11.</b> Fotografía del conductor .....	20
<b>Figura 12.</b> Conductor desnudo sin unión.....	21
<b>Figura 13.</b> Conductor de tierra con unión no adecuado.....	21
<b>Figura 14.</b> Textura del terreno.....	28
<b>Figura 15.</b> Configuración estratificada básica de los suelos.....	29
<b>Figura 16.</b> Efecto de sal, humedad y temperatura en la resistividad del suelo .....	30
<b>Figura 17.</b> Medición de resistividad del terreno - Método Wenner .....	32
<b>Figura 18.</b> Método de SCHLUMBERGER .....	33
<b>Figura 19.</b> Configuración de tipo anillo .....	34
<b>Figura 20.</b> Malla de tierra GEDIWELD .....	35
<b>Figura 21.</b> Configuración Red o Malla.....	36
<b>Figura 22.</b> Configuración en Estrella o Radial.....	37

<b>Figura 23.</b> Placas de tierra .....	38
<b>Figura 24.</b> Varilla Tipo Jabalina de puesta a Tierra .....	39
<b>Figura 25.</b> Barra equipotencial.....	40
<b>Figura 26.</b> Tensión de Paso Ep y de contacto Et.....	42
<b>Figura 27.</b> Método de tres puntas.....	48
<b>Figura 28.</b> Método de medición de la resistencia de tierra cuatro terminales .....	49
<b>Figura 29.</b> Prueba de resistencia de Tierra Método Directo o Dos Terminales .....	52
<b>Figura 30.</b> Estabilidad de THOR GEL .....	54
<b>Figura 31.</b> Método de Wenner .....	57
<b>Figura 32.</b> Trayectorias de medición.....	58
<b>Figura 33.</b> Condición visual del terreno, el terreno es propio del altiplano CV-1 .....	62
<b>Figura 34.</b> Área de la malla de tierra .....	65
<b>Figura 35.</b> Esquema topológico .....	66
<b>Figura 36.</b> Malla de puesta a tierra a instalarse.....	77

## RESUMEN

Este proyecto está predispuesto a dar solución alternativa a problemas encontrados en el Sistema de Puesta a Tierra del proyecto inmobiliario Torres Del Poeta, ubicado en la avenida Arce, frente a la Plaza Isabela la Católica en el centro de la ciudad de La Paz. El inmobiliario consta de cuatro torres A, B, C y D, en las torres A y B, se construyeron oficinas y las otras dos torres C y D, se construyeron departamentos, las mismas están ya concluidos en un 95%.

En una inspección realizada con la supervisión del área Eléctrica del condominio, se verificó la instalación eléctrica del Sistema de Puesta a Tierra, en la cual se observó la situación actual en que se encontraba la instalación el estado de diseño, el estado de físico del proyecto haciendo una verificación con las normas que rigen sobre la instalación de Puesta a Tierra, se tomó nota a problemas que se observó en el diseño eléctrico y en la ejecución del proyecto, sacando una conclusión de que el proyecto no era verídico o completo en la parte de los trabajos, verificando los planos eléctricos de diseño y haciendo una serie de comparaciones con el trabajo técnico en el terreno se pudo verificar que los planos eléctricos de diseño y el terreno no son similares ambas, tenía alteraciones y se vio a simple vista en el terreno donde se encuentran emplazados los materiales eléctricos de puesta a tierra. Por lo cual se hizo el rediseño del Sistema de Puesta a Tierra.

Se realizó el rediseño de este proyecto por medio de un estudio sobre conceptos, básicos y normas sobre Puesta a Tierra haciendo un diagnóstico de la situación actual, para realizar los cálculos mismas se muestra en el desarrollo de este proyecto. Este documento también servirá para una ayuda académica para los estudiantes que deseen ampliar sus conocimientos en esta área.

## **ABSTRACT**

This project is predisposed to provide an alternative solution to problems found in the Grounding System of the Torres Del Poeta real estate project, located on Arce Avenue, in front of Isabela la Católica Square in the center of the city of La Paz. The real estate consists of four towers A, B, C and D, in towers A and B, offices were built and the other two towers C and D, apartments were built, they are already 95% completed.

In an inspection carried out with the supervision of the Electrical area of the condominium, the electrical installation of the Grounding System was verified, in which the current situation in which the installation was found, the state of design, the physical state of the project making a verification with the regulations that govern the installation of Grounding, note was taken of problems that were observed in the electrical design and in the execution of the project, drawing a conclusion that the project was not true or complete in the part of the works, verifying the electrical design plans and making a series of comparisons with the technical work in the field, it was possible to verify that the electrical design plans and the terrain are not similar both, it had alterations and it was seen with the naked eye in the land where the electrical grounding materials are located. Therefore, the redesign of the Grounding System was carried out.

The redesign of this project was carried out through a study on concepts, basics and rules on Grounding, making a diagnosis of the current situation, to carry out the same calculations shown in the development of this project. This document will also serve as an academic aid for students who wish to expand their knowledge in this area.

---

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO REFERENCIAL**

---



## **CAPÍTULO 1 – MARCO REFERENCIAL**

### **1. INTRODUCCIÓN**

La energía eléctrica es fundamental para el desarrollo de la humanidad, es por eso que durante sus generación, transmisión, distribución y consumo es necesario garantizar operación normal de los equipos y la seguridad de las personas ante corrientes anormales. El Sistema de Puesta a Tierra es una parte básica de cualquier tipo de instalación eléctrica, su objetivo principal es: - Limitar la tensión que presentan las masas metálicas respecto a tierra. - Asegurar actuación de las protecciones. - Eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material eléctrico utilizado.

La finalidad de este proyecto es realizar el rediseño del Sistema de Puesta a Tierra del Condominio Torres del Poeta, para dar una alternativa de diseño, mediante un análisis metodológico deductivo partiendo desde un diagnóstico general y realizando los estudios necesarios, sobre conceptos básicos teóricos, prácticos y las normas que rigen sobre Sistemas de Puestas a Tierra, primeramente analizando estado de la malla de Puesta a Tierra instalado, verificando los problemas que tiene, para poder plantear una solución, realizando el diseño de la nueva malla y encontrar los parámetro de resistividad, resistencia de Puesta a Tierra las tensiones de paso y toque, dibujando los planos necesarios, y realizado el cálculo de costos con diferentes software que hay en nuestro medio esto para garantizar un trabajo correcto y eficaz, basándose en las normas establecidas sobre Sistemas de Puesta a Tierra.

En el presente trabajo de Grado se da a conocer varios aspectos técnicos que deben ser considerados en un sistema de Puesta a Tierra aplicado a edificios. Las cuales podemos mencionar:

- ✚ En los documentos proporcionados por la supervisión se muestra el diseño de la malla general completo, en la actualidad no está ejecutado toda la malla solo una parte de ese diseño fue ejecutado.

- ✚ El sistema de Puesta a Tierra, no cuenta con cámaras de inspección o de registro.
- ✚ Se observó el conductor desnudo de Tierra con una unión no adecuado en la superficie del terreno.
- ✚ El Sistema de malla de Tierra no cuenta con una caja de equipotenciación para luego su distribución hacia los sistemas.

De todas estas actividades mencionadas se realizó el Rediseño del Sistema de Puesta a Tierra y los cálculos correspondientes, según los objetivos planteados.

- ❖ Se realizó el calculado de la resistencia de Puesta a Tierra la cual cumple con las normas nacionales e internacionales y está dentro de lo establecido bajo la norma, la instalación eléctrica funcionara con adecuada continuidad de servicio, y con un desempeño seguro del sistema de protección.
- ❖ A si mismo se elaboró los dibujos del diseño de la malla con programa AutoCAD, para la instalación de puesta a tierra, indicando los detalles de cómo forma cada parte del de la malla de tierra, esto para cuando se ejecute el proyecto los que se encarguen de realizar el trabajo no tengan problemas que tuvo esta instalación y que se realice de lo más eficiente posible.
- ❖ También se realizó el cálculo del presupuesto general del proyecto, donde se determinaron los costos y presupuestos de mano de obra, materiales, y equipos, se analizó los precios unitarios de cada ítem que se ha planteado, también se realizo el cronograma de actividades y el tiempo necesario para realizar el proyecto.

## **1.1. ANTECEDENTES**

### **1.1.1. ANTECEDENTES INSTITUCIONALES**

Según los documentos del proyecto Condominio Torres del Poeta se impulsó desde 2012 hasta este año 2022, que ya está en etapa final, el proyecto está ubicado en la avenida Arce, al frente de la plaza Isabel la Católica en la ciudad de La Paz Bolivia. El ejecutivo del proyecto Jordi Chaparro precisó que las cuatro torres se están construyendo encima de los niveles de los estacionamientos y el área comercial, cada planta consta de una superficie de 500 metros cuadrados dos torres de oficinas y las otras dos Departamentos, el proyecto está desarrollada sobre un terreno de 11.300 metros cuadrados, la inversión alcanza los \$us, 35 millones. (CITY SKYSCRAPER, 2012-2014).

#### **a) Detalles**

TORRE A: Cuenta con 10 pisos de oficinas, diseñados en planta libre, está cerca de la avenida Arce.

TORRE B: Cuenta con 19 pisos, diseñados en plantas con mayor superficie, accesibles desde la avenida Arce, los parqueos y el centro comercial, estará localizada al centro del complejo.

TORRE C (norte) Suma 33 pisos (25 niveles torre + 8 niveles parqueos), destinada a uso residencial, estará ubicada del lado de la avenida del Poeta.

TORRE D (sur) Suma 31 pisos (23 niveles torre + 8 niveles parqueos), destinada a uso residencial, estará ubicada del lado de la avenida del Poeta.

CENTRO COMERCIAL: Locales comerciales, supermercado, tiendas especializadas, un gimnasio y una sala de juegos electrónicos.

ESTACIONAMIENTOS: Accesibles desde la avenida Arce y la avenida del Poeta, capacidad para 1000 vehículos repartidos sobre 8 plantas.

El proyecto se comenzó a construirse en enero 2013 con una fecha de culminación en el 2016.

El ejecutivo del proyecto mencionó que las torres C y D albergarán 200 departamentos. La torre C tendrá 25 niveles de apartamentos y la D 23 pisos. Chaparro proyectó que la obra gruesa de ambas estructuras se terminará a inicios de 2016. (RAZON, 2015)

La Organización No Gubernamental Fe y Alegría, Compañía de Jesús, “Acción Cultural Loyola (ACLO) y Defensa de Niños y Niñas Internacional y el grupo GSA Bolivia se asociaron para construir el mega complejo. El proyecto condominio Torres del Poeta, está diseñado por el Arquitecto Ramiro Muñoz Moyano y Asociados, como parte de ejecución del proyecto está encargado la Sociedad Constructora Constec S.R.L. (BOLIVIA) y la empresa española Construcciones RUBAU .S.A. y esta supervisada por la constructora Torres del Poeta (Antoine de Saint, 2015).



**Figura 1.** Logo de La Empresas constructoras Rubau y Constec



**Figura 2.** *Maqueta del Condominio Torres del Poeta*

Exponieron en el programa "POSDATA" en cadena A televisiva, donde le entrevistaron a Jordi Chaparro ejecutivo del proyecto y al Arq. Ramiro Muñoz Moyano, en la cual destacaron los siguientes puntos:

1. La construcción se inició pronto y se contrató los servicios de empresas extranjeras, se contara con maquinaria de primera (orugas enormes que no hay en Bolivia y grúas de construcción con alturas que superan los 100 metros) y materiales importados de igual forma que no hay en el mercado local.

2. En dos años se culminaran los parqueos (1000) y el centro comercial (ya se tiene el 80 % alquilado).
3. En otros dos años se culminaran las cuatro torres, con tecnologías de última generación en sistemas de energía, materiales de primera y comodidades para los copropietarios. Los ingresos a las torres y centro comercial estarán bien diferenciados.
4. Se generara encima del centro comercial una plaza muy interesante.
5. En un día ya existen reservas de 90 personas para oficinas y departamentos, prácticamente se venderá todo este año.
6. Se dejó claro que es el proyecto inmobiliario más grande de Bolivia en m2 construidos y obviamente en presupuesto.
7. La casa Goitia será parte del Centro Comercial y dedicada a tiendas de lujo.
8. Supermercado Ketal está confirmado e incluso dio a entender que las negociaciones van más allá del Supermercado, yo me atrevo a decir que después de la experiencia de Casa Ideas nada raro que se piense en Falabela.

Más imágenes se presenciaron en el anexo 7, sobre el desarrollo del proyecto a lo largo de los años de ejecución del proyecto.

## 1.1.2. PROYECTOS SIMILARES

**Tabla 1.** *Proyectos similares Extranjeras*

<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>PROBLEMA</b>
<p>“Protección contra descargas atmosféricas y sistemas de puesta a tierra de protección” AUTOR: Juan José Capi PUBLICADO: 2005</p>	<p>Presentar informe con propuesta de mejora/adecuaciones de las instalaciones de P.A.T. y protección contra descargas atmosféricas para garantizar el cumplimiento de la normativa vigente.</p>	<p>Es una instalación que perdió resistividad del suelo.</p>
<p>“Diseño de un Sistema de protección de descarga atmosférica y sobre tensiones para un edificio de apartamentos”. AUTOR: María Gago PUBLICADO: 2018</p>	<p>Elaborar el diseño de un sistema de protección de descarga atmosférica (SPDA) y sobre tensiones para edificio de apartamentos de 5 niveles.</p>	<p>Este edificio no cuenta con un Diseño de un sistema de protección de descarga atmosférica (SPDA).</p>

**Tabla 2.** *Proyectos Similares Nacionales*

<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>PROBLEMA</b>
<p>“Rediseño del sistema de puesta a tierra y sistema de protección contra tormentas eléctricas SOBOCE S.A.” AUTOR: Santiago Siñani PUBLICADO: 2010</p>	<p>Desarrollar el sistema de puesta a tierra y protección contra tormentas eléctricas correspondiente a la planta de cemento SOBOCE S.A.</p>	<p>El incremento de la resistividad de tierra.</p>
<p>Mejora del mantenimiento de sistemas de puesta a tierra en redes de terminal de apertura muy pequeña utilizadas en comunicación de telefonía rural satelital. AUTOR: Javier N.Yujra Tarqui PUBLICADO: 2018</p>	<p>Analizar los valores de la resistencia de puesta a tierra, en base a mediciones con el fin de determinar niveles de corrosión subterránea y de pérdida de peso de las varillas de cobre en las redes VSAT.</p>	<p>El desgaste por la corrosión subterránea de la varilla de cobre da lugar a una pérdida de resistividad del (S.P.T).</p>

## 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En una inspección realizada, con el personal de la supervisión, del Condominio Torres del Poeta, se verifico la instalación eléctrica del Sistema de Puesta a Tierra, donde observo la situación actual de las mallas de tierra, la cual tuvo una incompleta ejecución del proyecto y no se realizó algunas actividades, que se muestra en la parte de diagnóstico de la situación actual, las cuales deberían ser tomados en cuenta, según a las normas que indica sobre instalaciones eléctricas de Puesta a Tierra:

- NB 148004:2009 - Sistema de Puesta a tierra (PaT) - Glosario de términos.
- NB 148005:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Conductores para puesta a tierra.
- NB 148006:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Electrodo para puesta a tierra
- NB 148007:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra.
- NB 148008:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) – Medición de la resistividad de puesta a tierra.
- NB 148009:2015 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Criterios de diseño y ejecución.
- NB 148010-1:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) – Parte 1: principios generales
- NB 148010-2:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) – Parte 2: Evaluación del riesgo.

El principal problema que se pudo observar en la inspección técnica realizada, con supervisión de área eléctrica del condominio Torres del Poeta.

La conexión final del Sistema de Puesta a Tierra, no cuenta con un equipotenciado de los cables de Tierra las cuales se encuentran sueltos y no



están unidos correctamente, y también se observó pequeños problemas como las más críticas podemos mencionar:

- a. En los documentos del diseño inicialmente nos indica que hay u diseño de mallas pero se observó en el terreno solo conductores desnudos sueltos sin una equipotenciacion o unión.
- b. El sistema de Puesta a Tierra, no cuenta con cámaras de inspección o de registro.
- c. Se observaron cables de tierra desnudos con uniones no adecuados en el exterior de la Tierra.
- d. No cuenta con una caja de equipotenciacion para luego su distribución hacia los sistemas.

En este tipo de proyectos de Puesta a Tierra no se manifiestan notoriamente las fallas cuando entran en funcionamiento, pero con el pasar del tiempo podrían tender a existir fallas como ser pérdida de resistividad del suelo entre otras, esto puede causar daño físico a las personas, equipos y bienes en general.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Rediseñar el Sistema de Puesta a Tierra mediante el programa ETAP 19.0.1.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Diagnosticar la situación actual del sistema de Puesta a Tierra.
- ❖ Calcular la resistencia de Puesta a Tierra.
- ❖ Dibujar los planos de la instalación de la malla de Puesta a Tierra.
- ❖ Determinar el presupuesto del proyecto de Puesta a Tierra.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

La inversión económica de un buen proyecto, bien planificado y diseñado nos garantizaría un gran éxito en el proyecto, mientras lo caro de hacer mal un proyecto nos causaría gastos innecesarios fuera de lo planificado. El proyecto cuenta con defectos técnicos de culminación del Sistema de Puesta a Tierra, la cual es un gasto innecesario económicamente, porque se gasta al material, servicios eléctricos de instalación, y otros.

### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

Los daños a personas, se minimizaran, porque sabemos que una falla en el circuito eléctrico podría causar graves lesiones y hasta pérdidas de vidas humanas y realizar un proyecto, de manera eficiente nos evitara de estos problemas, sabemos que en este lugar habitaran ciertos grupos sociales las cuales son:

- ✓ Departamentos que albergaran familias
- ✓ Centro comercial
- ✓ Banco
- ✓ Oficinas
- ✓ Áreas de parqueo
- ✓ Patio de comidas
- ✓ Entre otras

Todos los grupos sociales mencionados están ligados mediante el consumo de electricidad y tienen equipos y bienes en general que es necesario asegurarlo y protegerlo ante una falla eléctrica ya sea de tipo atmosférica o sobre carga.

### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA**

Los materiales eléctricos utilizados, para este proyecto de Puesta a Tierra son de mejor calidad que existe en el mercado eléctrico, esto para que no tenga fallas de funcionamiento y así evitarnos de accidentes o riesgos eléctricos, porque actualmente en el mundo la tecnología avanza a pasos gigantescos, y cada vez hay equipos modernos y costosos, como equipos eléctricos y electrónicos desde los más sencillos hasta los más sofisticados.

Es por ello que la protección de los equipos es prioritaria, por lo que se realizaron, las instalaciones de los circuitos de tomacorrientes y fuerzas con una conexión a tierra en cada placa o punto, para la protección de cualquier equipo que se conecte a la misma, los equipos eléctricos y electrónicos deben contar con el conector a tierra en el enchufe, este deberá tener tres espigas dos de alimentación y una de Tierra.

### **1.4.4. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA**

En el rediseño del proyecto, se aplicaron los conceptos básicos teóricos y prácticos, sobre Puestas a Tierra, mediante estudios y diagnósticos de la situación que estaba en ese momento el proyecto y se llegó a plantear una propuesta de mejoramiento integral del proyecto enmarcado en la nueva instalación.

### **1.4.5. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL**

Todos los materiales utilizados para el aterramiento de Puesta a Tierra, no contaminan al medio ambiente, porque su función principal es proteger a los equipos y personas sobre voltajes o descargas atmosféricas, de corrientes anormales y otros.

## 1.5. DELIMITACIÓN

### 1.5.1. DELIMITACIÓN TEMÁTICA

El proyecto del Sistema de Puesta a Tierra, del Condominio Torres del Poeta se rediseño para dar una propuesta de diseño altero en la nueva instalación. Para poder producir un servicio eficiente se debe cumplir con las normas básicas de instalaciones en los Sistemas de Puesta a Tierra.

### 1.5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El proyecto, Rediseño del Sistema de Puesta a Tierra, se realizará, en el tercer trimestre del año en que se realizara el proyecto.

### 1.5.3. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA

El proyecto Puesta a Tierra, se realizó en la ciudad de La Paz, en la zona de San Jorge, Av. Arce 2519, al frente de la plaza Isabela la Católica con acceso por la Av. Del Poeta.

Esta ciudad tiene a una altitud de 3640 m.s.n.m. con una superficie terrestre de 472 km<sup>2</sup> y un área urbana de 3,340 km<sup>2</sup>.



**Figura 3.** Mapa Geográfico (Torres del Poeta)

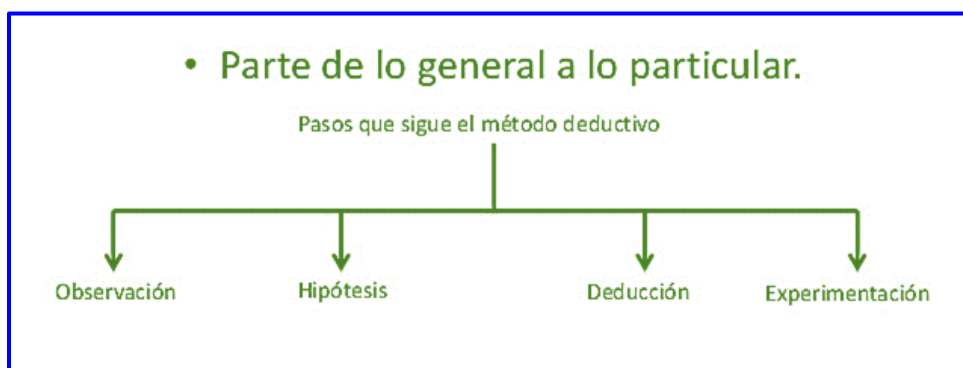
#### 1.5.4. DELIMITACIÓN ESPACIAL

La información y el estudio de este proyecto se recopiló del Condominio Torres del Poeta, La cual cuenta con 4 torres, 2 de oficinas y 2 de departamentos, entre las cuales se encuentra la torre más alta de Bolivia, está ubicada en: la ciudad de la Paz Bolivia.

#### 1.6. METODOLOGÍA

##### 1.6.1. MÉTODO DEDUCTIVO

El método deductivo es un procedimiento que parte de la conclusión de datos generales aceptados como verdaderos, para deducir por medio del razonamiento lógico, varias suposiciones, para realizar el rediseño de este proyecto utilizaremos el método deductivo la cual consiste en, primero realizaremos un levantamiento de información y luego un estudio sobre esto, seguidamente ya se procederá a los cálculos y conclusiones.



**Figura 4.** Esquema del Método Deductivo

---

# **CAPÍTULO 2**

## **DIAGNOSTICO**

### **DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

---

## CAPITULO 2 – DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El condominio Torres del Poeta, en la actualidad cuenta con un sistema de Puesta a Tierra, no finalizado en su totalidad.

### 2.1. CONDICIONES ACTUALES DE LA INSTALACIÓN

La instalación eléctrica del sistema de Puesta a Tierra, se encuentra en un estado inconcluso, el diseño de la malla de Tierra se puede apreciar en la figura 5, donde la parte de color fucsia es la que se ejecutó, y las otras no se ejecutaron, se realizaron excavaciones correspondientes para su respectiva verificación de los puntos de conexión.



Figura 5. Diagrama de malla general

### 2.2 MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE TIERRA

#### 2.1 ANTECEDENTES

PROYECTO: Medida de la resistencia de la malla de puesta

DIRECCION: Zona Sopocachi Av. Arce N°. 2519

El objetivo es dar a conocer el resultado de la medición de la resistencia de las mallas a tierra existentes en la instalación eléctrica de baja tensión “TORRES DEL POETA”.

### **2.3 DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO UTILIZADO**

El Instrumento utilizado es el FLUKE 1625, que nos permite realizar la medición de resistencia de Puesta a Tierra.

### **2.4 RESULTADO DE LA MEDICIÓN**

#### **MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL**

El método de la caída de potencial se emplea para medir la capacidad que tiene un Sistema de conexión a Tierra o un electrodo individual de dispersar energía de una instalación.

Medidor universal de resistencias de tierra controlado por microprocesador con proceso de selección de medición de frecuencia completamente automatizada así como comprobación automática de sonda y resistencias de electrodo de masa auxiliares y posibles voltajes de interferencias según las normas (DIN IEC61557-5/EN61557-5.

IEC61557 Ed. 20 Versión Oficial En español).

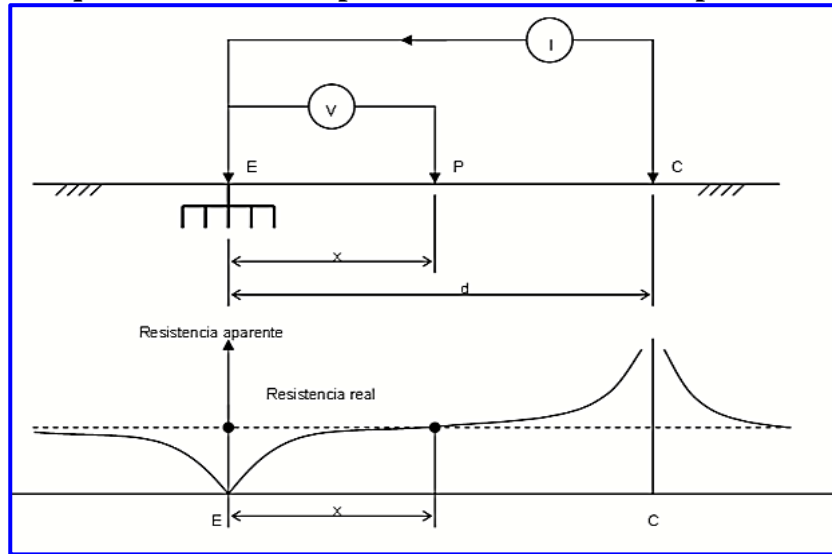
Donde indica: Seguridad eléctrica en redes de distribución de baja tensión hasta 1000 v c.a. y 1500 V c.c. equipos para ensayo, medida de vigilancia de las medidas de protección.

El fluke genera una corriente conocida entre la pica exterior (pica auxiliar) y electrodo de tierra y, mide, de forma simultánea, la caída de potencial entre la pica interior y el electrodo de tierra.

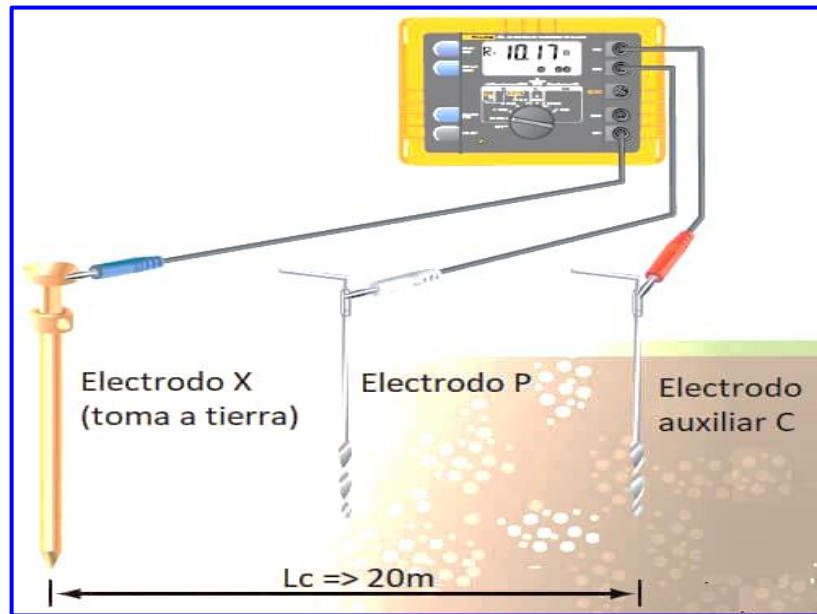
A continuación se muestra un gráfico de conexión del método mencionado.



### Esquema de medición por el método de caída de potencial



**Figura 6.** Curva de resistencia aparente para las diferentes posiciones del electrodo de potencia



**Figura 7.** Conexión del equipo Fluke 1625

## 2.5 MEDICIÓN DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA

La medición de un sistema de Puesta a Tierra se realiza haciendo circular corriente alterna en el circuito formado por la Puesta a Tierra G, un electrodo

auxiliar H y el suelo entre las dos. Se mide la corriente y la caída de tensión entre G y una sonda S ubicada en un punto intermedio entre G y H.

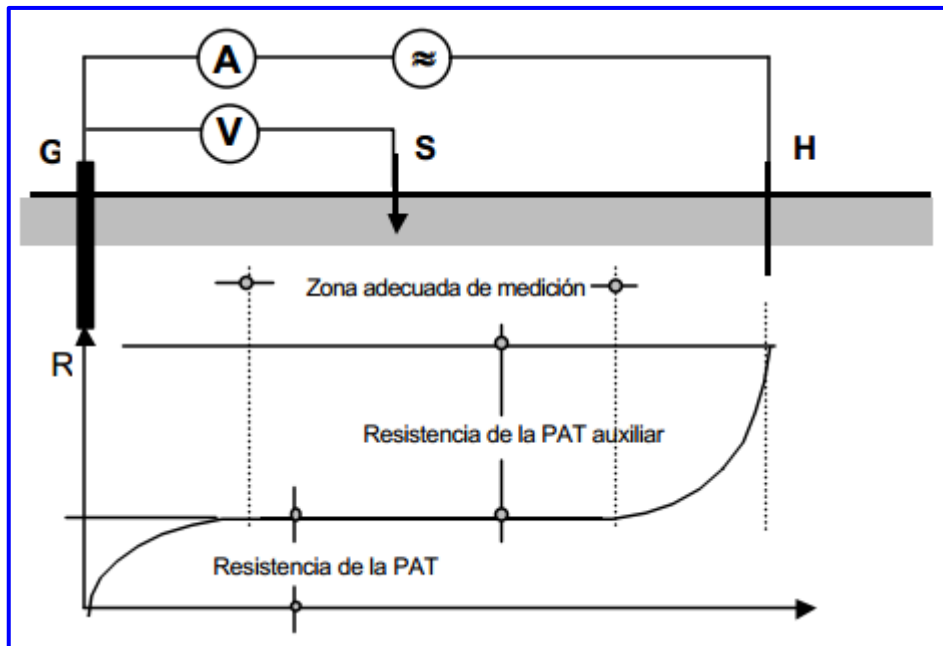


Figura 8. Método de 63%

## DATOS Y RESULTADOS

Malla 1	
Distancia (m)	RE ohmios
4	1,77
7	2
10	2,1
13	2,6
14	2,8
15	3
16	3,2
17	3,5
20	4,4
23	10,32

Resistencia de malla	RE=3,2 $\Omega$
----------------------	-----------------

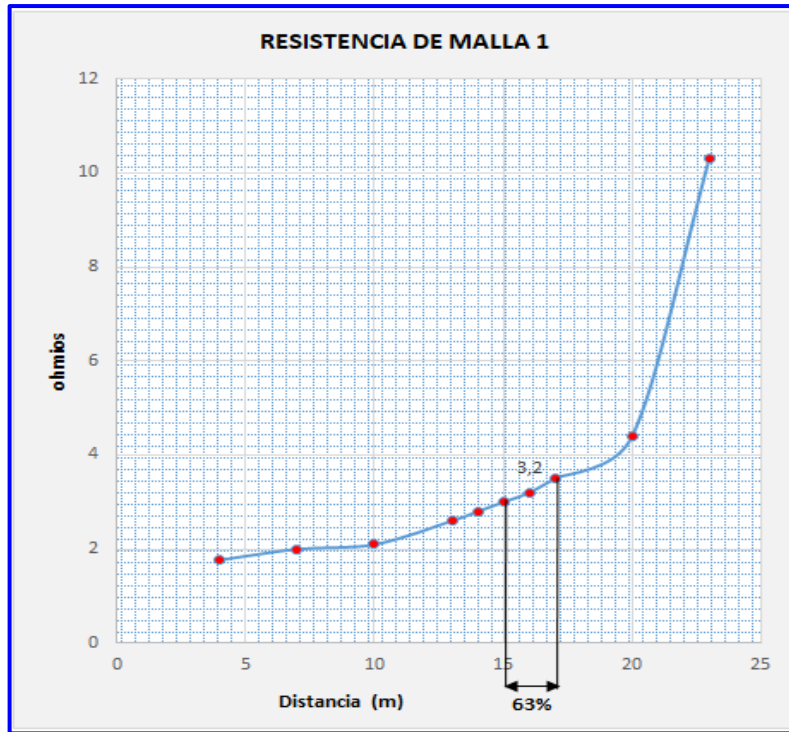
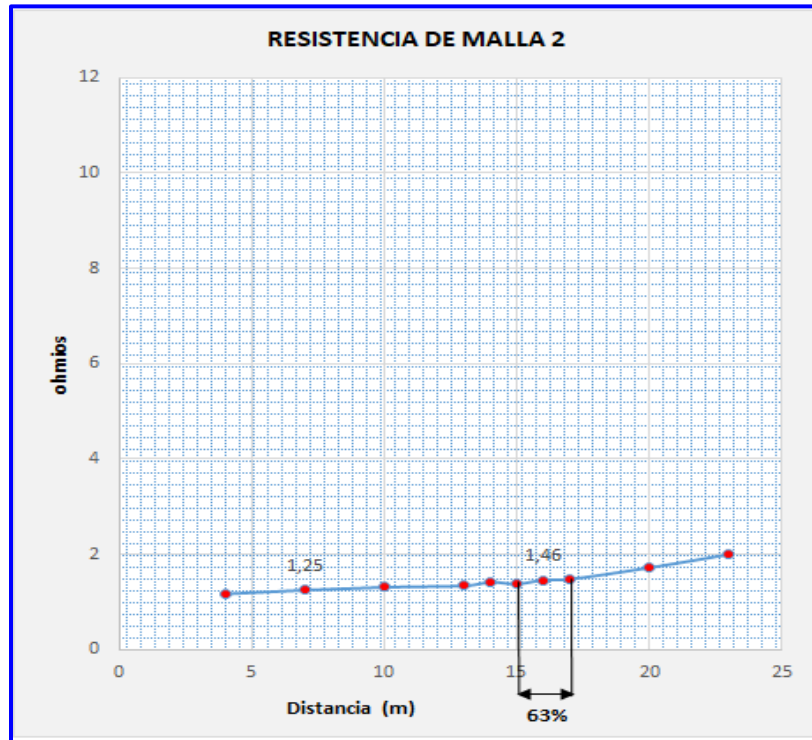


Figura 9. Resistencia de la malla 1

## DATOS Y RESULTADOS

Malla 2	
Distancia (m)	RE ohmios
4	1,17
7	1,25
10	1,31
13	1,34
14	1,42
15	1,38
16	1,46
17	1,48
20	1,72
23	2

Resistencia de malla	RE=1,4 Ω
----------------------	----------



**Figura 10.** Resistencia de la malla 2

Los valores de resistencia de Puesta a Tierra registrada en:

MALLA 1 que se encuentra ubicada al ingreso de la Av. Arce nos da un valor de  $3,2 \Omega$  lo cual es aceptable.

MALLA 2 que se encuentra ubicada al ingreso de la Av. Del Poeta nos da un valor de  $1,4 \Omega$  lo cual está dentro de lo establecido.

La norma NEC indica que es necesario asegurarse de que la impedancia del sistema a tierra sea menor a 25 Ohmios, tal y como de especifica en la norma **NEC 250, 56**. En instalaciones con equipos sensibles, debería ser 5,0 Ohmio o menos.

Según los documentos proporcionados por los encargados de la supervisión del área eléctrica, nos indicaron que existen dos mallas y el resto de la malla o ha sido contemplado.

En la figura 11, se muestra una mancha de algún líquido que por encima pasa el conductor desnudo de Tierra que no está enterrado ni tiene protección.



**Figura 11.** *Fotografía del conductor*

En la norma NB148005 indica los conductores de protección desnudos no estarán en contacto con elementos combustibles. En los pasos a través de paredes o techo, estarán protegidos por un tubo de adecuado resistencia, que será además, no conductor y difícilmente combustible cuando atravesase partes combustibles del edificio.

Los conductores de protección estarán convenientemente protegidos contra el deterioro mecánico y químico, especialmente en los pasos a través de los elementos de la construcción.

También se realizó la excavación de terreno donde se encontró los conductores de tierra y se observó que la unión entre los conductores no eran adecuados mismas se muestran en las figuras 12 y 13:



**Figura 12.** *Conductor desnudo sin unión*



**Figura 13.** *Conductor de tierra con unión no adecuado*

En la norma NB148005, dice que las conexiones en los conductores se realizaran por medio de empalmes soldados sin empleo de ácido o por piezas de conexión de sujeción por rosca. Estas piezas serán de un material inoxidable y los tornillos de sujeción, si se usan, estarán provistos de un dispositivo que evite de su desconexión.

No cuenta con ninguna cámara de inspección, y en los planos tampoco muestra, también no cuenta con conexión equipotencial del sistema de Puesta a Tierra.

---

# **CAPÍTULO 3**

## **MARCO TEÓRICO**

---

## CAPITULO 3 – MARCO TEÓRICO

### 3.1. PUESTA A TIERRA

Puesta a Tierra es toda aquella conexión intencional del sistema eléctrico con un elemento considerado tierra. Es aplicada a todo equipo o parte de una instalación eléctrica (neutro, centro estrella de transformadores o generadores, carcasas, y otros).

#### 3.1.1. FACTORES DEL TERRENO

El factor restante de mayor importancia que afecta a la impedancia del sistema de tierra es la impedancia del medio en el cual está situado el electrodo, es decir, el terreno. El valor de la resistividad del terreno es un factor de suma importancia en el compartimiento de electrodos de tierra, la resistividad del terreno se expresa en ( $\Omega.m$ ), en la tabla 3, se muestra los valores de resistividad para diferentes suelos.

**Tabla 3.** *Valores de resistividad de diferentes suelos.*

TIPO	RESISTIVIDAD (Ohm-metro)		
Agua de mar	0,1	-	1
Tierra vegetal/arcilla humedad	5	-	50
Arcilla, arena y grava	40	-	250
Creta (tiza) porosa	30	-	100
Piedra caliza cristalina	300	+	
Roca	1.000	-	10.000
Roca ígnea	2.000	+	
Concreto seco	2.000	-	10.000
Concreto húmedo	30	-	100
Hielo	10.000	-	100.000

La resistividad del terreno es el factor determinante en la magnitud de la resistencia de una puesta a tierra y la misma depende de:

- Tipos de terreno
- Humedad del terreno
- Salinidad del terreno



- Temperatura del terreno
- Granulometría del terreno
- Compacticidad del terreno
- Estratigrafía y otros factores

### 3.1.2. TIPOS DE TERRENO

Los terrenos son buenos, regulares o malos conductores en función de su naturaleza. El conocimiento de su naturaleza es el primer paso para la implantación de una adecuada toma de tierra. La tabla 4, describe valores de resistividad para terrenos de diferente naturaleza.

**Tabla 4.** Resistividad según la naturaleza del terreno

NATURALEZA DEL TERRENO	Resistividad en $\Omega \cdot m$ .
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humos	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla Plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierta de césped	300 a 500
Suelo Pedregoso desnudo	1.500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos de gres procedentes de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Para cálculos aproximados de la resistencia de tierra pueden utilizarse los valores medios recogidos en la tabla 5.

**Tabla 5.** Valores medidos de la resistividad

NATURALEZA DEL TERRENO	Valor medio de la resistividad $\Omega$ . m.
Terrenos cultivos fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terrenos cultivos poco fértiles, terraplenes	500
Suelos y pedregosos desnudos, arenas secas permeables.	3000

### 3.1.3. HUMEDAD DEL TERRENO

El agua que contiene el terreno, su estado higrométrico, influye de forma apreciable sobre la resistividad al aumentar la humedad disminuye la resistividad y al disminuir la humedad aumenta la resistividad. En cualquier caso, siempre que se añada agua a un terreno disminuye su resistividad respecto, a la que tendría en seco.

Se dice que un terreno está saturado de agua cuando todos sus intersticios están llenos de agua. Una vez pasada la causa de la saturación el agua contenida en los espacios entre los diferentes agregados, debido a la gravedad se dirigirá hacia abajo quedando estos inter espacios ocupados por el aire en el interior de los agregados, al ser superior de capilaridad que la gravedad. El agua contenida en ellos no se mueve y en estas circunstancias, se dice que el terreno está saturado de humedad.

En el terreno, la conducción de corriente es principalmente electrolítica. Por tanto, la cantidad de humedad y el contenido de sales del terreno afectan radicalmente su resistividad. La cantidad de agua en el terreno varía, por supuesto, con el clima, época del año, la naturaleza del subsuelo y la profundidad del manto freático permanente. (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007, pág. 5)

**Tabla 6.** *Valores de resistividad*

CONTENIDO DE HUMEDAD % POR PESO RESISTIVIDAD OHM - CM	TERRENO SUPERFICIAL	ARCILLA ARENOSA
2.5	250.000	150.000.0
5	165.000	43.000
10	53.000	22.000
15	21.000	13.000
20	12.000	10.000
30	10.000	8.000

### 3.1.4. SALINIDAD DEL TERRENO

La salinidad de un suelo se define como la concentración de sales solubles que existe en la solución del suelo. Las sales que entran en el suelo (por riego y/o otro origen) se concentran como resultado de la evaporación y transpiración de la planta. Esta concentración de sales en la solución del suelo produce un aumento del potencial osmótico del agua del suelo. Este incremento afecta a la absorción del agua por las plantas de forma que las plantas y los cultivos deben consumir una energía extra para poder extraer el agua de la solución del suelo en el que se concentran las sales.

En la tabla 7, se puede observar como del 0.0% al 20.0% de Contenido de sal en el suelo, podemos disminuir la resistividad por un cien por Ciento (100%), la resistividad baja de 107 ( $\Omega$ .m) a 1 ( $\Omega$ .m).

**Tabla 7.** *Efecto de contenido de sal sobre resistividad del suelo*

porcentaje (%) de sales disueltas en peso	Resistividad ( $\Omega$ . m.)
0.0	107
0.1	18
1.0	4.6
5.0	19
10.0	1.3
20.0	1

### 3.1.5. TEMPERATURA DEL TERRENO

Las características térmicas del terreno dependen de su composición, de su grado de compactación y del grado de humedad. La resistividad del terreno aumenta al disminuir la temperatura, pero cuando el terreno se enfría por debajo de 0° centígrados, la resistividad aumenta muy rápidamente.

Cuando un terreno está a una temperatura inferior a 0° el agua que contiene se congela. El hielo es aislante desde el punto de vista eléctrico pues la movilidad de los iones del terreno a través del agua se ve detenida al congelarse esta.

Dos hechos conducen a la conclusión lógica de que un incremento en la temperatura disminuirá la resistividad:

- (1) El agua presente en el terreno principalmente determina la resistividad
- (2) Un incremento en la temperatura disminuye notoriamente la resistividad del agua.

Los resultados que se muestran en la tabla 8. Efecto de la Temperatura en la Resistividad del Terreno confirman estos hechos. Note que cuando se congela el agua en el terreno, la resistividad salta en forma apreciable; el hielo tiene una resistividad alta. Note también que la resistividad continúa aumentando conforme baja la temperatura por debajo del punto de congelación. Se podría tener un valor realmente alto en los polos terrestres. En la tabla 8, note que una caída de temperatura de 54 grados (de 68°F a 14°F) ocasiona un aumento de 50 veces en resistividad.

**Tabla 8.** *Efectos de la temperatura.*

Temperatura		Resistividad ohm-cm
C	F	
20	68	7200
10	50	9900
0-5	32 (Agua) 32 (Hielo) 23	13800 30000 79000
-15	14	330000

La evaluación de la temperatura del terreno a las profundidades normales de colocación de las picas de tierra a lo largo del año nos indican que durante los meses de invierno, si la temperatura de la superficie es de -10°C, a 90 cm de profundidad será de -4°C y a 2m de profundidad tendremos una temperatura de 1,5°C.

Por este motivo sobre todo en las zonas con clima continental (inviernos fríos y veranos calurosos) deberán implantarse los electrodos de tierra a mayor profundidad con el fin de apilar al máximo el riesgo de alcanzar temperaturas por debajo de 0°C.

### **3.1.6. GRANULOMETRÍA DEL TERRENO**

Es un elemento importante que influye, a la vez, sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y también sobre la calidad del contacto con los electrodos, incrementándose la resistividad con el mayor tamaño de los granos. Esta es la razón de que el valor de la resistividad de la grava sea superior al correspondiente a la arena y que el de ésta supere al de la arcilla. Los suelos de granos gruesos se prestan mal al establecimiento de buenas redes de tierra, circunstancia que se puede remediar rodeando la superficie de los electrodos de un cierto espesor de tierra fina o de otro material relativamente conductor.

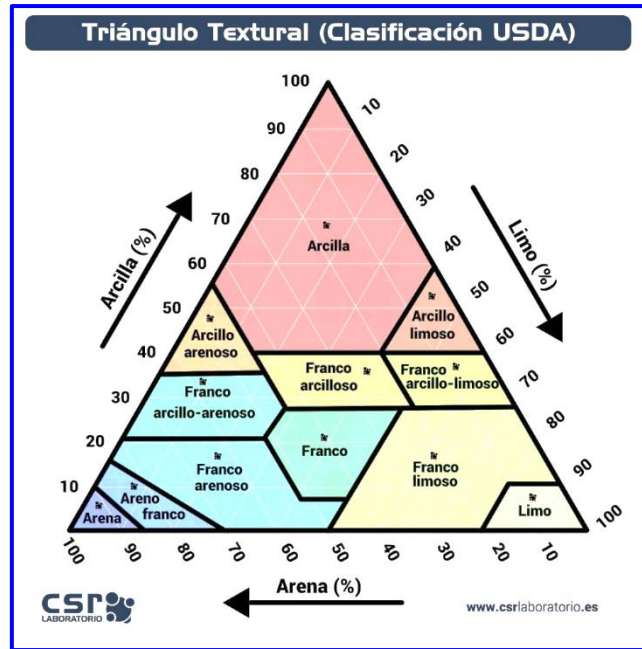


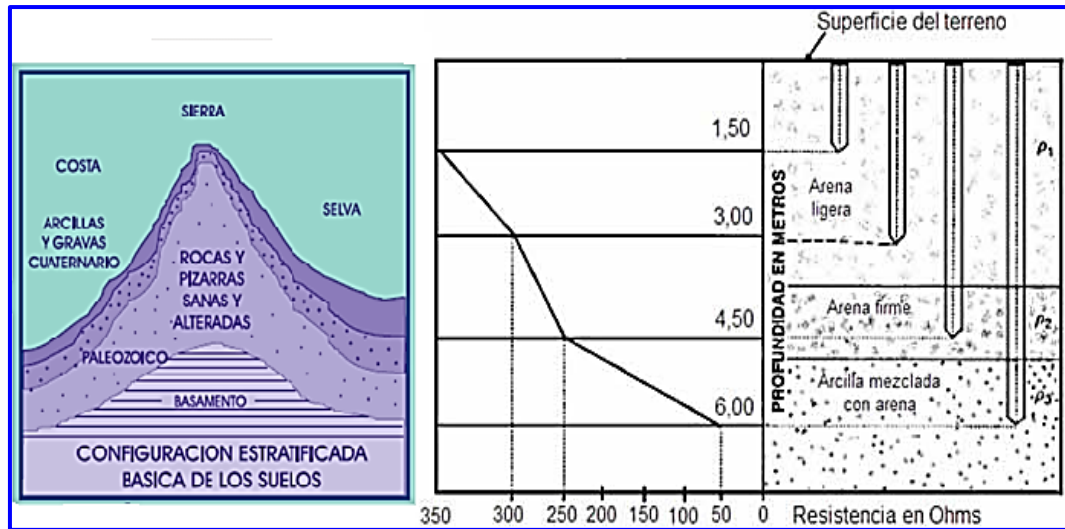
Figura 14. Textura del terreno

### 3.1.7. COMPACTICIDAD DEL TERRENO

Cuando la compactación del terreno es grande disminuye la resistividad. Siempre que se coloquen electrodos de pica, la vibración de la máquina de penetración dejara una separación entre la pica y el terreno por lo que habrá que compactar para que se produzca un buen contacto pica-terreno.

### 3.1.8. ESTRATIGRAFÍA

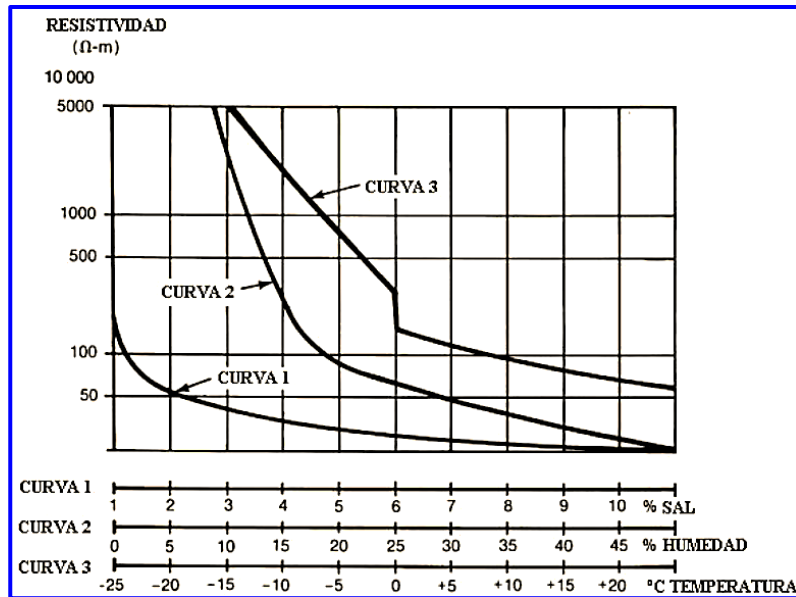
La estratigrafía es la rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal; cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas.



**Figura 15.** Configuración estratificada básica de los suelos

### 3.1.9. OTROS FACTORES

- El efecto de los gradientes de potencial elevados
- El calentamiento del suelo a consecuencia de la circulación de corrientes de puesta a tierra elevadas o de forma prolongada.
- El PH del agua influye significativamente en la vida útil de un sistema de puesta a tierra por tratarse de niveles de acides que contiene el agua.
- Por las variaciones estacionales que tiene cada año la cual influye o podría variar de gran manera la resistividad del terreno.



**Figura 16.** Efecto de sal, humedad y temperatura en la resistividad del suelo

### 3.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La medida de resistividad permitirá:

- elegir la ubicación y la forma de las tomas de tierra y de las redes de tierra antes de construirlas.
- prever las características eléctricas de las tomas de tierra y de las redes de tierra.
- reducir los costes de construcción de las tomas de tierra y de las redes de tierra (ahorro de tiempo para conseguir la resistencia de tierra deseada).

“Se utiliza por lo tanto en un terreno en construcción o para los edificios del sector terciario de grandes dimensiones (o subestaciones de distribución de energía) para los que resulta importante elegir con exactitud la mejor ubicación para las tomas de tierra.” (Arnoux Group, 2015, pág. 4)

Se utilizan varios procedimientos para determinar la resistividad de los terrenos. El más usado es el de los “cuatro electrodos” que presenta dos métodos:



- ✓ Método de WENNER
- ✓ Método de Schlumberger
- ✓ Método de cuatro terminales.
- ✓ Método de dos puntos.
- ✓ Métodos involucrados en la prueba de resistencia de tierra.

### 3.2.1. MÉTODO DE WENNER

El Método Wenner es conocido también conocida como el “método de (4) varillas”, el mismo se encuentra ilustrado en la figura 17.

El valor de la resistividad, en  $\Omega \cdot m$ , está dado por la fórmula:

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4h^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + h^2}}}$$

Donde:

$\rho$  = resistividad del terreno, en  $\Omega \cdot m$

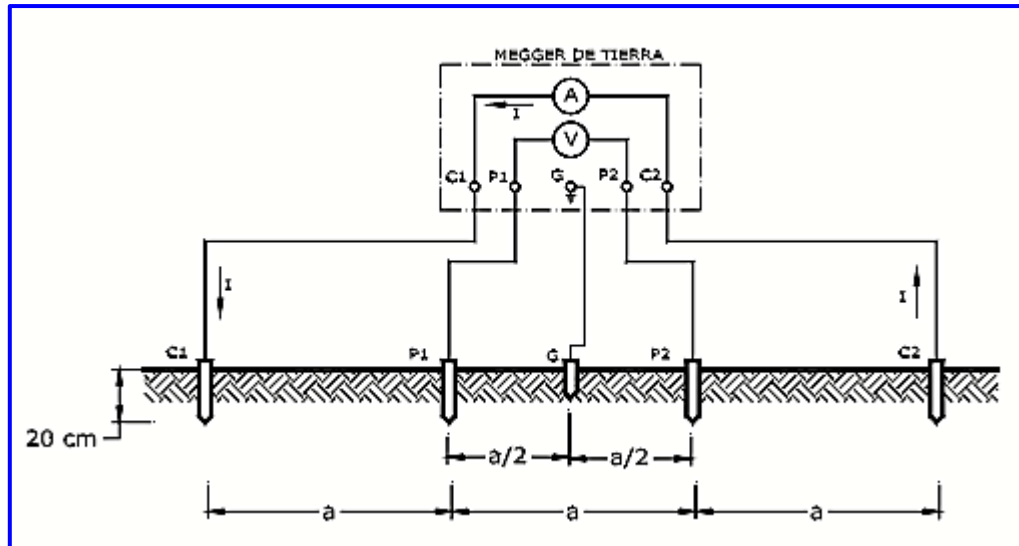
$a$  = separación entre electrodos de medición, en m

$h$  = profundidad del electrodo de medición, en m

$R$  = resistencia promedio, en  $\Omega$

Si la profundidad del electrodo es muy pequeña comparada con la distancia entre electrodos ( $h \leq a/20$ ), la ecuación se puede reducir a:

$$\rho = 4 \cdot \pi \cdot a \cdot R$$



**Figura 17.** Medición de resistividad del terreno - Método Wenner

#### Principio de medida

Se insertan cuatro electrodos en línea recta en el suelo y a igual distancia  $a$  entre ellos. Entre los dos electrodos exteriores ( $c_1$  y  $c_2$ ), se inyecta una corriente de medida  $I$  mediante un generador. Entre los dos electrodos centrales ( $p_2$  y  $p_1$ ), se mide el potencial  $\Delta V$  gracias a un voltímetro.

El instrumento de medida utilizado es un ohmímetro de tierra clásico que permite la inyección de una corriente y la medida de  $\Delta V$ .

El valor de la resistencia  $R$  leída en el ohmímetro permite calcular la resistividad mediante la siguiente fórmula de cálculo simplificada:

$$\rho = 4. \pi. a. R$$

Con:

$\rho$ : resistividad en  $\Omega \cdot m$  en el punto situado debajo del punto  $O$ , a una profundidad de  $h = 3a/4$

$a$ : base de medida en  $m$

$R$ : valor (en  $\Omega$ ) de la resistencia leída en el ohmímetro de tierra

Recomendamos una medida con  $a = 4 m$  como mínimo.

### 3.2.2. MÉTODO DE SCHLUMBERGER

El método de Schlumberger está basado en el mismo principio de medida. La única diferencia se sitúa a nivel del posicionamiento de los electrodos:

- la distancia entre las 2 picas exteriores es  $2d$
- la distancia entre las 2 picas interiores es  $A$

Y el valor de la resistencia  $R$  visualizado en el ohmímetro permite calcular la resistividad mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_S = (\pi(d^2 - A^2/4) \cdot R_{S-ES})/4$$

Este método permite ahorrar bastante tiempo, especialmente si se quiere realizar varias medidas de resistividad y por consiguiente crear un perfil del terreno. En efecto, sólo deben moverse los 2 electrodos exteriores a diferencia del método de WENNER que necesita desplazar los 4 electrodos a la vez.

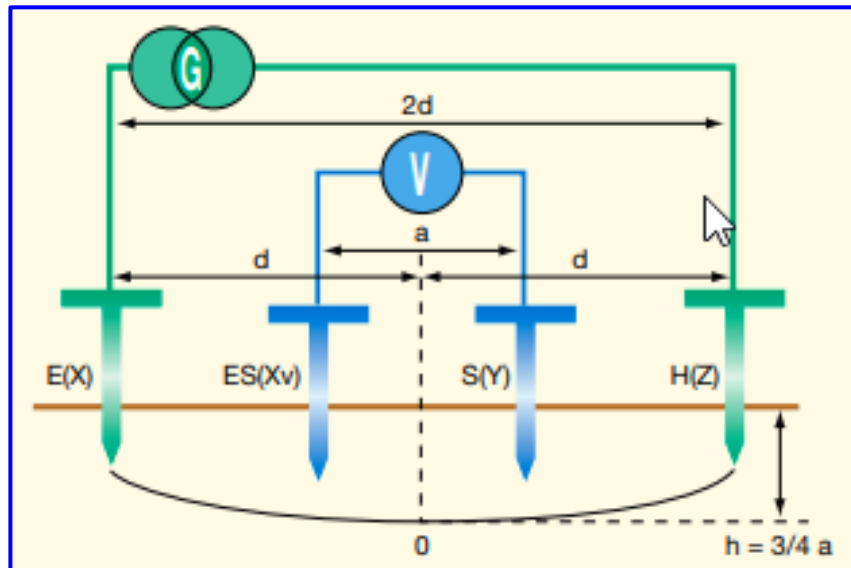


Figura 18. Método de SCHLUMBERGER

### 3.3. ELECCIÓN Y TIPOS DE CONFIGURACIÓN DE PUESTA A TIERRA

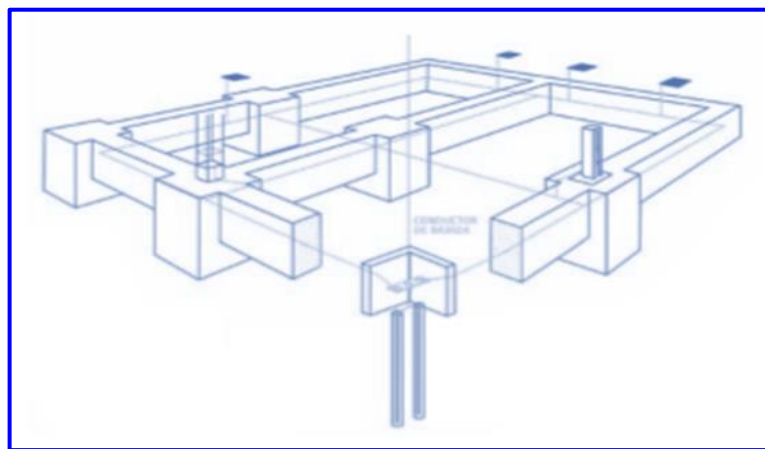
Las configuraciones del sistema de puesta a tierra son empleadas para establecer un potencial uniforme en la estructura. Las configuraciones del sistema de puesta a tierra más utilizadas son:

- SISTEMA EN ANILLO.
- SISTEMA RADIAL.
- SISTEMA DE RED O MALLA.

#### 3.3.1. SISTEMA ANILLO

Un anillo de puesta a tierra que rodea a la edificación o construcción que está en contacto directo con la tierra a una profundidad no menor de 75 cm, consiste de un conductor de cobre desnudo de no menos de 6 m de longitud y de una sección no menor de 35 mm<sup>2</sup>. (Huayllascu Montalva, 1999, pág. 12)

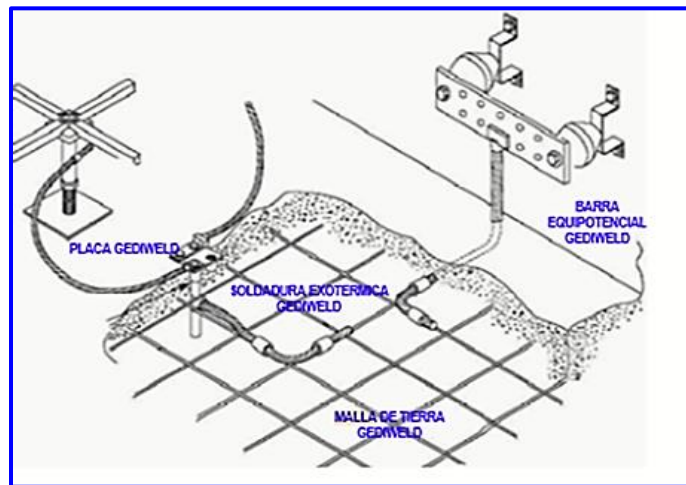
Electrodo en anillo, esta disposición es un anillo conductor en contacto con el suelo en un 80% de su longitud, puede ser exterior a la estructura o electrodo de cimentación. Cada conductor de bajada, además de estar conectado al anillo, debe conectarse adicionalmente a un electrodo horizontal de un mínimo de 4m o bien a un electrodo vertical de una longitud mínima de 2m, (Ver Figura. 19).



**Figura 19.** Configuración de tipo anillo

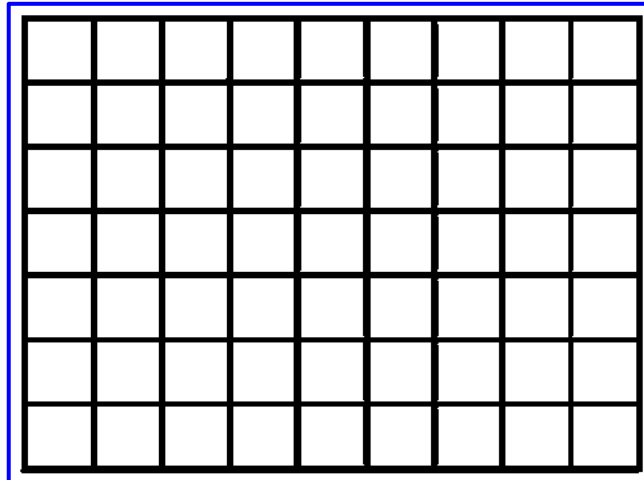
### 3.3.2. SISTEMA DE RED O MALLA

La malla prefabricada de alambre GEDIWELD es el método más eficaz y simple de mejorar los sistemas de puesta a tierra en plantas donde grandes extensiones requieran puesta a tierra. Se emplean específicamente cuando el objetivo principal de la puesta a tierra es mantener un control de potenciales en la superficie del terreno, con un bajo valor de resistencia. Es decir, se usan para graduar potenciales y para no permitir el paso de niveles de corriente de falla significativos.



**Figura 20.** Malla de tierra GEDIWELD

La malla de puesta a tierra de los sistemas para aterramiento GEDIWELD es un reticulado formado por conductores horizontales y perpendiculares espaciados de manera uniforme, son confeccionadas bien sea con alambre de cobre sólido o con alambre de acero revestido con una capa de cobre. Por su composición, estas mallas aseguran un buen desempeño contra la corrosión y poseen una excelente rigidez. Cuando son fabricadas de alambre de cobre, todos los empalmes son soldados y plateados para asegurar una excelente continuidad eléctrica. El calibre de los conductores empleados en su confección van desde el calibre # 6 AWG hasta el # 10 AWG y la trama o espacio normal entre conductores es 100 mm, 150 mm, 200 mm, 300 mm y 600 mm.



**Figura 21.** *Configuración Red o Malla*

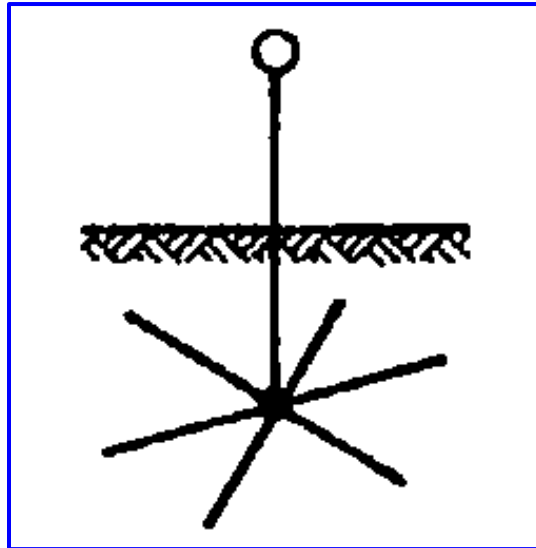
### **3.3.2.1. REQUISITOS DE UNA MALLA DE TIERRA**

Los requisitos que debe cumplir una malla de puesta a tierra son los siguientes:

- Debe tener una resistencia tal, que el sistema se considere sólidamente puesto a tierra.
- La variación de la resistencia, debido a cambios ambientales, debe ser despreciable de manera que la corriente de falla a tierra, en cualquier momento, sea capaz de producir el disparo de las protecciones.
- Impedancia de onda de valor bajo para fácil paso de las descargas atmosféricas.
- Debe conducir las corrientes de falla sin provocar gradientes de potencial peligrosos entre sus puntos vecinos.
- Al pasar la corriente de falla durante el tiempo máximo establecido de falla, (es decir disparo de respaldo), no debe haber calentamientos excesivos.
- Debe ser resistente a la corrosión.

### 3.3.3. SISTEMA RADIAL

El sistema radial consiste en uno o varios electrodos a los cuales se conectan las derivaciones a cada aparato, es más barato pero menos satisfactorio ya que al producir una falla en un aparato se producen grandes gradientes de potencial. (Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2020).



**Figura 22.** Configuración en Estrella o Radial

En el caso de torres de radio difusión, se emplean cables en configuración de estrella (radiales) para su puesta a tierra. Se ha encontrado más efectivo tener conectados los cables en un punto que tener múltiples anillos rodeando el sitio. Esos cables radiales pueden ser menores a 30 m de largo si el suelo es adecuado.

Los cables dispersan la energía de las descargas muy eficientemente. Como la corriente se divide en proporciones iguales en los cables radiales, entre más cables, menor corriente los circula. Una baja corriente es más fácil de disipar y tendrá menor impacto en la elevación del potencial de tierra del sistema.

### 3.4. MATERIALES DE PUESTA A TIERRA

Los materiales que se utilizan para realizar un proyecto de puesta a tierra son los siguientes:

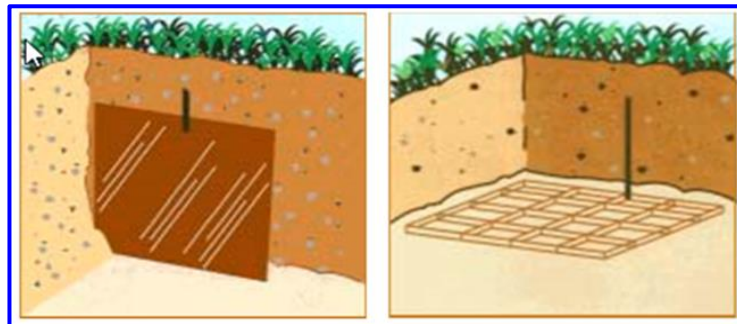
- Electrodo
- Placas
- Varillas
- Barra equipotencial
- Conductor de tierra
- Y otros

#### 3.4.1. ELECTRODO

“Conductor terminal de un circuito, en contacto con un medio de distinta naturaleza. Elemento conductor usado para transferir la corriente a otro medio” (Huayllascu Montalva, 1999, pág. 3).

#### 3.4.2. PLACAS

Se usa varios tipos de placas para propósitos de puesta a tierra, pero el único tipo que se considera generalmente como electrodo debe ser sólido y de tamaño sustancial. Las placas tipo enrejado, como se ilustra en la Figura 23, se usan para graduar potenciales y no se espera que permitan el paso de niveles de corriente de falla significativos. Se hacen normalmente de una malla de cobre o de acero.



**Figura 23.** *Placas de tierra*



Los electrodos de placa son de cobre o de fierro fundido. Las planchas de fierro fundido tienen un mínimo de 12mm de espesor y son cuadradas de 915 o 1220 mm por lado. Las planchas de cobre son típicamente cuadradas de 600 mm o 900 mm de lado y entre 1,6 mm y 3 mm de espesor.

Cuando se usan varias planchas, deben instalarse a cierta distancia para prevenir una interacción. Esta distancia es mínimo de 2 m extendiéndose hasta 9 m. (Huayllascu Montalva, 1999, págs. 16-17).

### 3.4.3. VARILLAS

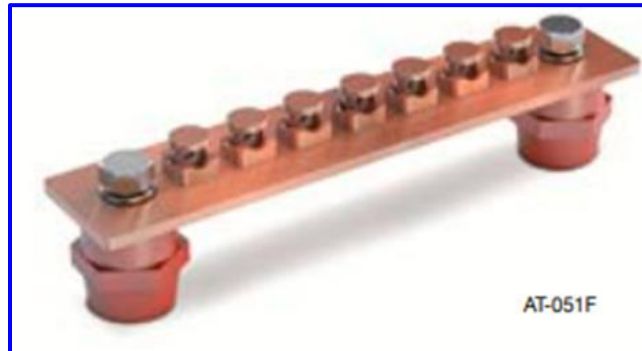
Estas varillas combinan las ventajas de cobre con alta resistencia mecánica del fierro; poseen una buena conductividad eléctrica, excelente resistencia a la corrosión y buena resistencia mecánica para ser clavadas en el terreno. Parte conductora que puede estar embutida en el suelo o en un medio conductor particular, por ejemplo cemento, en contacto eléctrico con tierra.



**Figura 24.** *Varilla Tipo Jabalina de puesta a Tierra*

#### 3.4.4. BARRA EQUIPOTENCIAL

La barra equipotencial (Barra BEP) es la solución ideal para derivaciones o conexiones múltiples a diferentes equipos en la instalación de una red de puesta a tierra.



**Figura 25.** *Barra equipotencial*

#### 3.4.5. CONDUCTOR DE TIERRA

El conductor de puesta a tierra debe ser de cobre u otro material resistente a la corrosión, puede ser macizo o prensado, aislado o desnudo, no debe tener en toda su longitud ningún empalme o unión excepto si se trata de barra de equipotenciación. Si el conductor no es de cobre la resistencia mecánica y la resistencia óhmica por unidad de longitud deben ser equitativamente a la de este.

Para secciones iguales o superiores al número 4 AWG se puede fijar el conductor de tierra directamente sobre la superficie en la cual va colocada, sin utilizar aisladores. No necesita tener protecciones a menos que esté expuesto a fuertes daños mecánicos. Los conductores número 6 AWG, pueden tenderse sin daños mecánicos. Para todas las secciones inferiores al número 6 AWG, los conductores deben ir protegidos por conductos. Se podrá emplear la misma canalización de los conductores de alimentación del circuito para llevar el conductor de tierra. La sección para los conductores de tierra de servicio o conductores de tierra común en instalaciones inferiores, no debe ser inferior al valor dado en la tabla 9. (Rojas, Manual del Sistema de Puesta a Tierra, 2007, pág. 13).

**Tabla 9.** Sección nominal para conductores de protección

Sección nominal de los conductores activos m/m <sup>2</sup>	Sección nominal de los conductores de protección. m/m <sup>2</sup>
1,5	1,5
2,54	1,5
4	2,5
6	4
10	66
16	6
25	10
35	10
50	16
70	16
95 hasta 185	25
240 hasta 300	35
400 o más.	50

### 3.5. CÁLCULOS DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

#### 3.5.1. TENSIÓN DE PASO

Es la diferencia de potencial entre dos puntos de un terreno que pueden ser tocados simultáneamente por una persona; su valor permisible está dado por:

$$E_p = \frac{165 + \rho_s}{\sqrt{t}}$$

Donde:

$E_p$  = Tensión de Paso Permisible en voltios.

$\rho_s$  = Resistividad de la superficie del terreno en ( $\Omega$ -m)

$t$  = Duración máxima de falla en segundos.

#### 3.5.2. TENSIÓN DE CONTACTO

Es la diferencia de potencial entre un punto en la superficie del terreno y cualquier otro punto que se pueda ser tocado simultáneamente por una persona; su valor permisible está dado por:

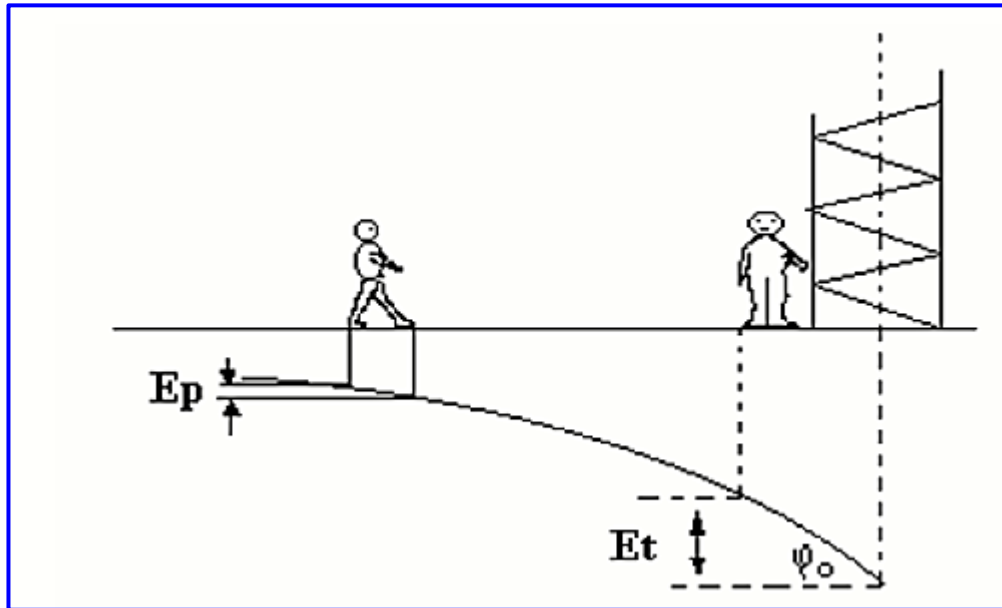
$$E_t = \frac{165 + 0.25\rho_s}{\sqrt{t}}$$

Donde:

$E_t$  = Tensión de Contacto Permisible en voltios.

$\rho_s$  = Resistividad de la superficie del terreno en ( $\Omega$ -m)

$t$  = Duración máxima de falla en segundos.



**Figura 26.** Tensión de Paso  $E_p$  y de contacto  $E_t$

### 3.5.3. TENSIONES REAL DE PASO

La tensión de paso real en una subestación está dada por:

$$E_p = K_s K_i \frac{\rho I}{L}$$

Donde:

$E_p$  = Tensión de Paso Permisible en voltios.

$K_s$  = (factor de espaciamento para tensión de paso)

$K_i$  = Coeficiente de irregularidad del terreno.

$\rho$  = Resistividad del suelo ( $\Omega$ -m)

$I$  = Corriente máxima de falla (Amp)

$L$  = Longitud total del conductor (m)

### 3.5.4. TENSIONES REAL DE CONTACTO

La tensión de paso real en una subestación está dada por:

$$E_t = K_m K_i \frac{\rho I}{L}$$

Donde:

$E_t$  = Tensión de Paso Permisible en voltios.

$K_m$  = (factor de espaciamento para tensión de contacto)

$K_i$  = (factor de corrección por geometría de malla)

$\rho$  = Resistividad del suelo ( $\Omega$ -m)

$I$  = Corriente máxima de falla (Amp.)

$L$  = Longitud total del conductor (m)

#### 3.5.4.1. DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES $K_M, K_I, K_S$ .

Donde:

$A$  = Longitud de la malla (m).

$B$  = Ancho de la malla (m).

$L$  = Longitud total del conductor (m).

$n$  = Número de conductores en paralelo de longitud  $A$

$m$  = Número de conductores en paralelo de longitud  $B$ .

$D$  = Espaciamento entre conductores (m).

$h$  = Profundidad de enterramiento (m).

$d$  = Diámetro del conductor (m).

La longitud total del conductor está dada por

$$L = n \cdot A + m \cdot B$$

$K_m$  es:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{D^2}{16hd}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{7}{8} \dots\right)$$

n-2 términos

### 3.5.4.2. DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES $K_M, K_L, K_S$ .

$K_i$  es:

$$K_i = 0.65 + 0.172n \quad n \leq 7$$

$$K_i = 2.0 \quad n > 7 \quad (11)$$

$K_S$  es:

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots \right)$$

## 3.6. MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra se puede hacer por el método de Laurent y Nieman por método de Dwinght.

### 3.6.1. MÉTODO DE LAURENT NIUMAN

Este método es bastante aproximado y la expresión para el cálculo es:

$$R_g = \frac{\rho_2}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho_1}{l_1 + nl_2}$$

Donde:

$R_g$  = Resistencia de puesta a tierra en ohmios.

$l_1$  = Longitud total de conductores de malla, m.

$l_2$  = Longitud de cada jabalina, m.

n = número de jabinas

A = Área de la malla en m<sup>2</sup>

La ecuación anterior es una aproximación y su resultado siempre es mayor que el Valor real.

### 3.6.2. MÉTODO DE SCHWARZ

Este consiste en combinar la resistencia de los conductores de la malla y las varillas verticales, para posteriormente tener un valor de malla bastante aproximado, ya que la resistencia del conjunto es menor que la resistencia de cada componente individual.

$$R_T = \frac{R_1 * R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

Donde:

R1 = resistencia de los conductores de malla, en ( $\Omega$ ).

R2 = resistencia de las varillas de tierra, en ( $\Omega$ ).

Rm = resistencia mutua, entre el grupo de conductores de la malla y el grupo de las varillas verticales, en ( $\Omega$ ).

$$R_1 = R_1 = \frac{\rho_m}{\pi * L_t} \left( \ln \left( \frac{2 * L_t}{\sqrt{2} * r_1 * s} \right) + \frac{k_1 * L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right)$$

$$R_2 = \frac{\rho_m}{2 * \pi * n * L_j} \left( \ln \left( \frac{8 * L_t}{r_2} \right) + \frac{2 * k_1 * L_j}{\sqrt{A}} (\sqrt{n} - 1)^2 \right)$$

$$R_m = R_1 = \frac{\rho_j}{\pi * L_t} \left( \ln \left( \frac{2 * L_t}{L_j} \right) + \frac{k_1 * L_t}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right)$$

Donde:

R1 = resistencia de los conductores de malla, en ( $\Omega$ ).

R2 = resistencia de las varillas de tierra, en ( $\Omega$ ).

Rm = resistencia mutua, entre el grupo de conductores de la malla y el grupo de las varillas verticales, en ( $\Omega$ ).

$\rho_1$ : Resistividad de la capa superior.  $\Omega.m$

$\rho_2$ : Resistividad de la capa inferior.  $\Omega.m$

$\rho_j$ : Resistividad aparente reflejada por las varillas  $\Omega.m$ )

$\rho_m$ : Resistividad aparente reflejada por la malla  $\Omega.m$ )

H: Espesor de la capa superior (m)  
 $L_j$ : Longitud promedio de las varillas (m)  
S: Profundidad de enterramiento del reticulado. (m)  
A: Área ocupada por la malla. (m<sup>2</sup>)  
 $L_t$ : Longitud total del conductor de malla. (m)  
r1: Radio del conductor de malla. (m)  
r2: Radio de la varilla. (m)  
n: Número de varillas (unidades)  
K1: Constante geométrica (a dimensional)  
K2: Constante geométrica (a dimensional)

### 3.7. CALCULO DE LA SECCIÓN DEL CONDUCTOR DE MALLA

Geraldo Kindermann y Jorge Mario Campagnolo. En su libro aterramiento eléctrico expresan lo siguiente “el conductor de la malla debe ser dimensionado considerando los esfuerzos mecánicos y térmicos a los que pueden ser sometidos dichos conductores, en la práctica se utiliza la sección mínima de 35 mm<sup>2</sup> , para el dimensionamiento térmico se recomienda la fórmula de Onderdok. Para las uniones en los nodos de la malla con conectores de bronce y una conexión tradicional o por compresión se debe asumir una temperatura máxima de soporte de 250°C, para uniones con electrodo revestido cuya fusión es a través de arco eléctrico producido por la máquina de soldar la temperatura máxima es de 450°C, con soldadura de oxi-acetileno se considera como temperatura máxima de 550°C y para uniones con soldadura exotérmica se asumirá una temperatura máxima de 850°C” Los conductores de la malla de tierra deben diseñarse de manera que:

- Resistan la fusión y el deterioro de las juntas eléctricas bajo las más adversas combinaciones de magnitud y duración de las corrientes de falla.
- Sean mecánicamente resistentes, especialmente en aquellos sitios expuestos a grandes esfuerzos físicos.



- Tengan suficiente conductividad, de manera que no contribuyan substancialmente a diferencias locales de potenciales peligrosos.
- El conductor de cobre adecuado para la malla de tierra, puede ser obtenido de la siguiente ecuación desarrollada.

$$A_s = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{1}{33S}\right) \log\left(1 + \frac{T_m - T_a}{234 + T}\right)}}$$

$$S = T_{or} + T_{oi}$$

**Donde:**

As: Sección del conductor en (circular mil)

I: Corriente máxima de cortocircuito, en (A)

S: Tiempo en (Seg.) durante el cual la corriente I es aplicada.

Es el

Mismo tiempo de despeje de la falla.

Ta: Temperatura ambiente, en (°C)

Tm: Temperatura máxima permisible en nodo de malla, en (°C)

T or: Tiempo de operación del relé de tierra, en (seg)

T oi: Tiempo de operación del interruptor en (seg)

### 3.8. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE PUESTA A TIERRA

Hay varios métodos para medir la resistividad de las conexiones a tierra, pero todos ellos se asemejan porque en todos se necesitan dos conexiones de tierra auxiliares y de referencia, precisándose además una fuente adecuada de corriente y la exactitud del resultado es una función de la ubicación de las tierras auxiliares o de referencia con respecto a la tierra que se dé sea medir. Los diferentes métodos pueden clasificarse como sigue:

- ✓ Método de tres puntos.
- ✓ Método de caída de potencia.

- ✓ Método de cuatro terminales.
- ✓ Método de dos puntos.
- ✓ Métodos involucrados en la prueba de resistencia de tierra.

### 3.8.1. MÉTODO DE MEDICIÓN TRES PUNTOS

Esta prueba de tres terminales es el método que se describe previamente con referencia a la Figura 27. Con un probador de cuatro terminales, las terminales P1 y C1 en el instrumento son puenteadas y al electrodo de tierra del electrodo bajo prueba. Con un instrumento de tres terminales, conecte X al electrodo a tierra.

- Usando un amperímetro y un solo voltímetro con C.A.
- Usando un amperímetro y un solo voltímetro con C.C.
- Usando distintos dispositivos de puente y de equilibrio con C.A. o pulsante.

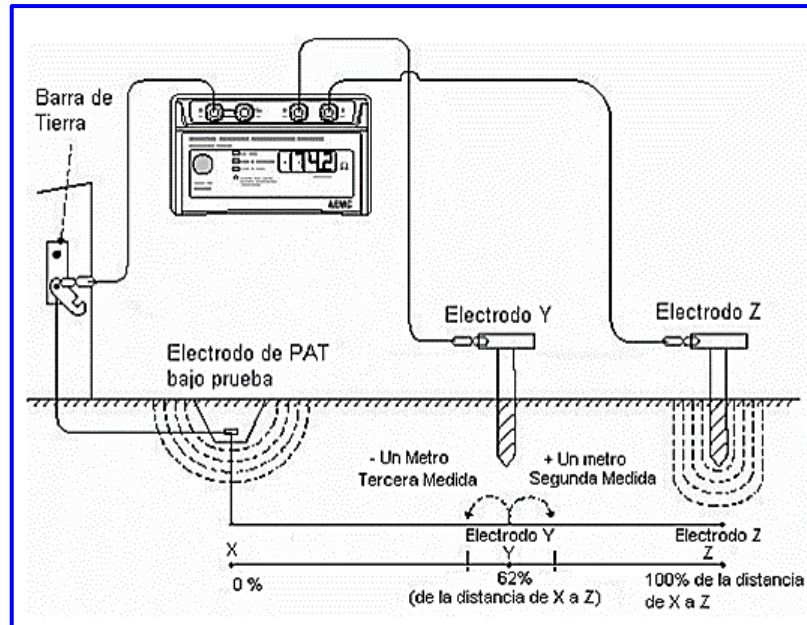


Figura 27. Método de tres puntas

### 3.8.2. MÉTODO DE MEDICIÓN CUATRO TERMINALES

Un Instrumento de cuatro terminales es empleado para la resistividad de la tierra, sin embargo este utiliza cuatro electrodos de tamaño pequeño

enterrándolos en la mínima cantidad y a distancias iguales entre ellos en una línea recta. Cuatro puntas de pruebas separadas se conectan los electrodos a las cuatro terminales del instrumento, como se muestra. De aquí que el nombre de esta prueba sea llamado: “Método de Cuatro Terminales”.

$$\rho = 2\pi AR$$

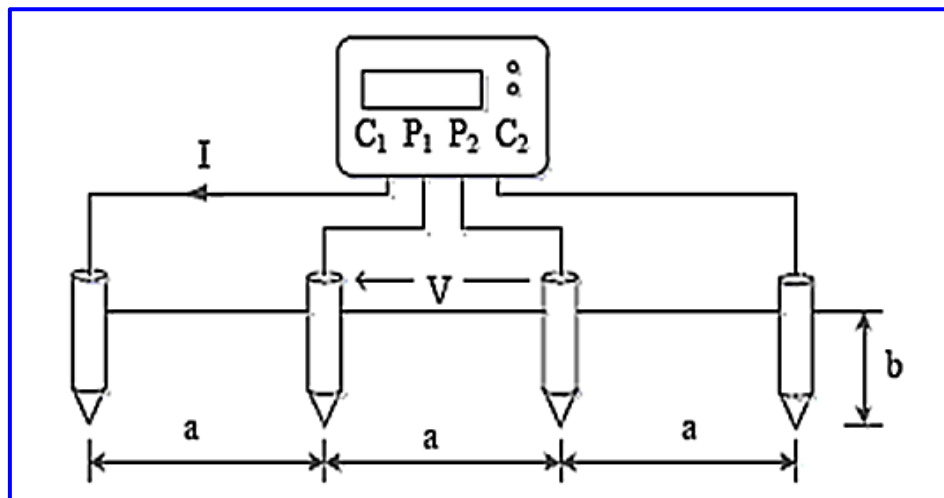
A: es la distancia entre electrodos en cm,

R: es la lectura del instrumento MEGGER en ohm.

En otras palabras si la distancia A entre electrodos es 4', usted obtendrá la resistividad de la tierra a una profundidad de 4' como sigue:

1. Convertir los 4' en centímetros para obtener A en la fórmula:  
 $4 \times 12 \times 2.54 \text{ cm.} = 122 \text{ cm.}$
2. Multiplique  $2 \pi A$  para obtener la constante para una preparación de prueba dada:  $2 \times 3.1416 \times 122 = 766$

Ahora, por ejemplo si la lectura de su instrumento es de 60 ohms, la resistencia de la tierra sería de  $60 \times 766$ , o sea 45,960 ohm – cm.



**Figura 28.** Método de medición de la resistencia de tierra cuatro terminales

Esta prueba de tres terminales es el método que se describe previamente con referencia a la Figura 27. Con un probador de cuatro terminales, las terminales P1 y C1 en el instrumento son puenteadas y al electrodo de tierra del electrodo bajo prueba. Con un instrumento de tres terminales, conecte X al electrodo a tierra.

El uso de tres terminales es más conveniente debido a que requiere que un solo conductor sea conectado. Su aceptación considera que la resistencia del conductor común está incluida en la medición. Normalmente, este efecto puede ser el uso de tres terminales es más conveniente debido a que requiere que un solo conductor sea conectado. Su aceptación considera que la resistencia del conductor común está incluida en la medición. Normalmente, este efecto puede ser minimizado si los requerimientos de las pruebas no son mayores, ya que la pequeña resistencia adicional introducida es casi nula. Sin embargo, cuando se realizan pruebas más complejas o se impongan requerimientos más rígidos, puede ser más aconsejable utilizar todos los cuatro terminales, conectando el terminal P1 con el electrodo a ser probado (conectarlo en la varilla después de C1). Esta es una verdadera configuración de prueba de cuatro hilos, la cual elimina todas las resistencias de los cables de conexión desde el equipo.

La precisión que se ha aumentado en las mediciones, pueden resultar significantes cuando se tienen especificadas resistencias muy bajas o se usan métodos que requieren de un dígito adicional para cumplir con requerimientos matemáticos. La decisión sin embargo es opcional, y se basa en los objetivos que se persigan al realizar las pruebas y en los métodos que se utilicen. La varilla hincada C de referencia debe colocarse tan lejos del electrodo a tierra como sea practico; esta distancia puede estar limitada por la longitud de cable de estén sifón disponible, o la geografía de los alrededores.

La varilla P de referencia de potencial es enterrada en un número de puntos aproximadamente en línea recta entre el estrado a tierra y C. Las lecturas de resistencia son registradas para cada uno de los puntos. Minimizado si los requerimientos de las pruebas no son mayores, ya que la pequeña resistencia adicional introducida es casi nula. Sin embargo, cuando se realizan pruebas más complejas o se impongan requerimientos más rígidos, puede ser más aconsejable utilizar todos los cuatro terminales, conectando el terminal P1 con el electrodo a ser probado (conectarlo en la varilla después de C1). Esta es una verdadera configuración de prueba de cuatro hilos, la cual elimina todas las resistencias de los cables de conexión desde el equipo.

La precisión que se ha aumentado en las mediciones, pueden resultar significantes cuando se tienen especificadas resistencias muy bajas o se usan métodos que requieren de un dígito adicional para cumplir con requerimientos matemáticos. La decisión sin embargo es opcional, y se basa en los objetivos que se persigan al realizar las pruebas y en los métodos que se utilicen. La varilla hincada C de referencia debe colocarse tan lejos del electrodo a tierra.

Sera práctico; esta distancia puede estar limitada por la longitud de cable de extensión disponible, o la geografía de los alrededores.

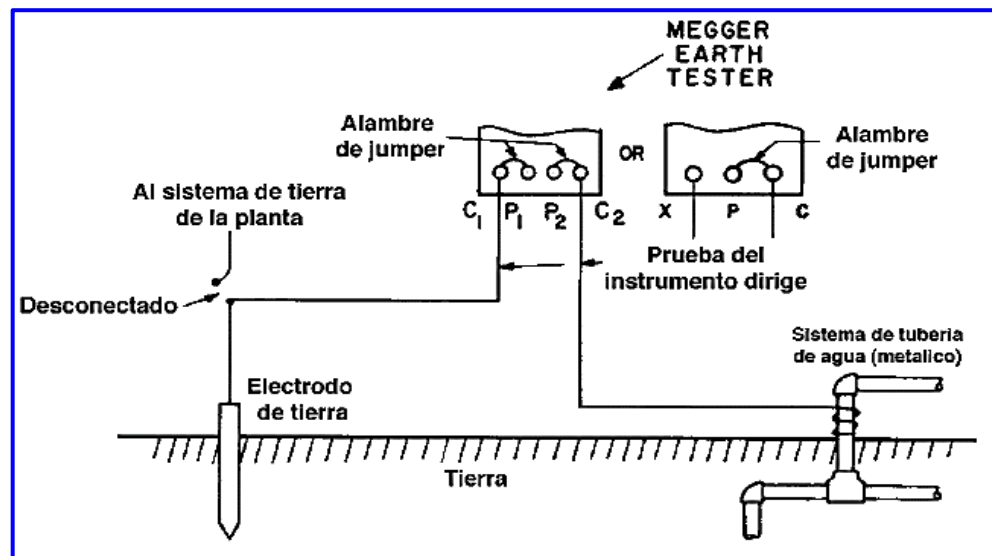
La varilla P de referencia de potencial es enterrada en un número de puntos aproximadamente en línea recta entre el electrodo a tierra y C. Las lecturas de resistencia son registradas para cada uno de los puntos.

### **3.8.3. MÉTODO DE MEDICIÓN DOS PUNTOS**

Método directo: Cuando se emplea un instrumento de cuatro terminales, las terminales P1 y C1 se conectan al electrodo a tierra bajo prueba; las terminales P2 y C2 se conectan a un sistema de tubos de agua completamente metálico.

Con un instrumento de tres terminales, conecte X al electrodo a tierra, P y C al sistema de tubería de aguas tal como se aprecia en la figura 29, Prueba de Resistencia de Tierra Método Directo o Dos Terminales. Si el sistema de agua es extenso, es decir, se extiende a un área muy grande, su resistencia sola debe ser una fracción de un ohm. Después puede tomar la lectura del instrumento como la resistencia del electrodo bajo prueba.

El método directo es la forma más simple de hacer una prueba de resistencia a tierra. Con este método, la resistencia de dos electrodos en serie se mide la varilla enterrada y el sistema de agua. Pero existen tres limitaciones importantes: (Rojas, Manual del Sistema de Puesta a Tierra, 2007, pág. 7)



**Figura 29.** Prueba de resistencia de Tierra Método Directo o Dos Terminales

### 3.9. COMPONENTES PARA REDUCIR LA RESISTIDAD DEL TERRENO

#### 3.9.1. BENTONITA

Las bentonitas constituyen un grupo de sustancias minerales arcillosas que no tienen composición mineralógica definida y deben su nombre al hecho de haberse descubierto el primer yacimiento cerca de Fort Benton, en los estratos cretáceos de Wyoming en 1848; Aun cuando las distintas variedades de

bentonitas difieren mucho entre sí en lo que respecta a sus propiedades respectivas, es posible clasificarlas en dos grandes grupos:

- Bentonita Sódica.- En las que el ion sodio es permutable y cuya característica más importante es una marcada tumefacción o hinchamiento que puede alcanzar en algunas variedades hasta 15 veces su volumen y 5 veces su peso.
- Bentonita Cálcica.- En las que el ion calcio es permutable, tiene menor capacidad para absorber agua y por consiguiente solo se hinchan en la misma proporción que las demás arcillas. Las bentonitas molidas retienen las moléculas del agua, pero la pierden con mayor velocidad con la que la absorben debido a la sinéresis provocada por un exiguo aumento en la temperatura ambiente, al perder el agua pierden conductividad y restan toda compactación lo que deriva en la pérdida de contacto entre el electrodo y el medio, elevándose la resistencia del pozo ostensiblemente, una vez que la Bentonita se ha armado, su capacidad de absorber nuevamente agua es casi nula.

### **3.9.2. THOR GEL**

Es un compuesto químico complejo que se forma cuando se mezclan en el terreno las soluciones acuosas de sus dos componentes. El compuesto químico resultante tiene naturaleza coloidal, formando una malla tridimensional, que facilita el movimiento de ciertos iones dentro de la malla, de modo que pueden cruzarlo en uno u en otro sentido; convirtiéndose en un excelente conductor eléctrico. Tiene una gran atracción por el agua, de modo que puede aprisionarla manteniendo un equilibrio con el agua superficial que la rodea; esto lo convierte en una especie de reservorio acuífero. Rellena los espacios o hendiduras más pequeños dentro del pozo, constituyendo una excelente conexión eléctrica entre el terreno (reemplazado) y el electrodo, asegurando una conductividad permanente.

- THOR-GEL tiene el Ph ligeramente básico y no es corrosivo con el cobre, por lo que la vida media de la puesta a tierra con el producto THOR-GEL, será de 20 a 25 años, manteniéndola de vez en cuando si la pérdida de humedad es mayúscula y hay elevación de la resistencia eléctrica.
- Método de aplicación del THOR-GEL El tratamiento consiste en incorporar al pozo los electrolitos que aglutinados bajo la forma de un Gel mejore la conductividad de la tierra y retenga la humedad en el pozo por un periodo prolongado de manera que se garantice una efectiva reducción de la resistencia eléctrica y una estabilidad que no se vea afectada por las variaciones del clima.

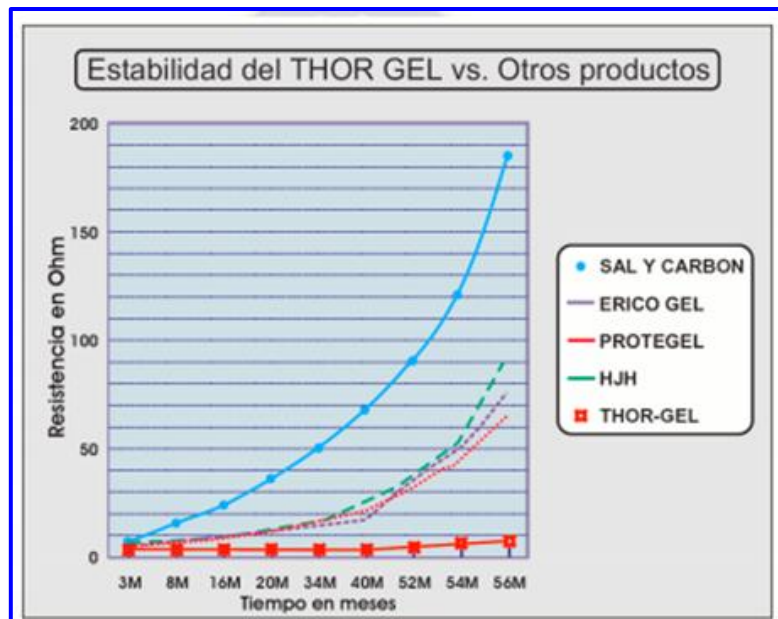


Figura 30. Estabilidad de THOR GEL

### 3.9.3. GEO GEL 8+M.R.

Aditivo de tierra natural higroscópica no corrosivo que permite modificar el comportamiento eléctrico de los suelos. Esto lo consigue bajando los niveles de resistividad de las capas componentes de terrenos tratados.



GEO GEL8+ drena hacia la tierra las corrientes eléctricas de efectos peligrosos para la integridad física de las personas, así como las instalaciones de aparato y maquinarias conectadas a cualquier vínculo de transmisión eléctrica.

GEO GEL8+ es elaborado pensando en ser la alternativa de solución para los problemas de alta resistividad en: -Suelos rocosos -Suelos arenosos -En general terrenos que presentan alta resistividad, GEO GEL 8+, tiene un vasto campo de aplicación debido a sus excepcionales características técnicas, así como su bajo costo y facilidad de aplicación.

### **3.9.3.1. APLICACIONES MÁS COMUNES DE GEO GEL 8+M.R.**

- Mallas de Subestaciones
- Patas de torres de línea de transmisión
- Contrapeso de líneas de transmisión
- Instalaciones Industriales
- Puesta a tierra de redes de comunicaciones
- Estaciones de radio o telecomunicaciones
- Puesta a tierra de redes de distribución
- Puesta a tierra de sistemas de protección contra descargas atmosféricas.
- Puesta a tierra de equipamientos electrónicos
- Puesta a tierra de instalaciones hospitalarias
- Sistemas de protección catódica
- Puesta a tierra de instalaciones

---

# **CAPÍTULO 4**

## **INGENIERÍA DE PROYECTO**

---

## **CAPITULO 4 – INGENIERÍA DE PROYECTO**

### **4.1. ESTUDIO DEL SUELO**

#### **4.1.1. RESISTIVIDAD DEL TERRENO**

La resistividad del suelo es la propiedad para conducir la electricidad, es conocida como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que estos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina “Resistividad Aparente” que para el interés de este trabajo, será conocida como la “Resistividad del Terreno”.

Con las mediciones vamos a poder establecer un modelo de resistividad del terreno, la resistividad del terreno se mide fundamentalmente para poder encontrar la profundidad y grueso de la roca en estudios geofísicos, así como para encontrar los puntos óptimos para localizar la red de tierras de una subestación, sistema electrónico, planta generadora o transmisora de radiofrecuencia.

#### **4.1.2. NORMAS APLICABLES**

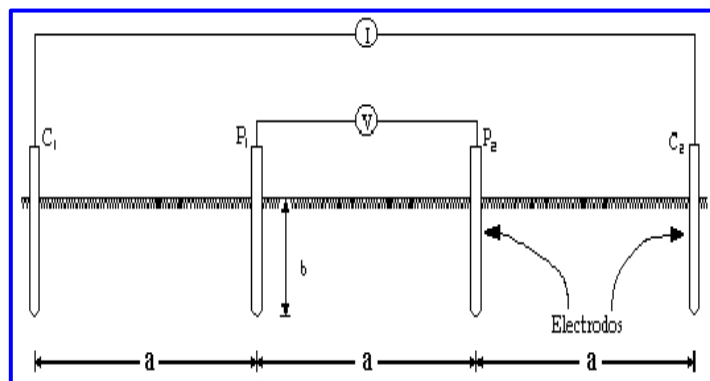
Las normas aplicadas por el estudio de la resistividad del terreno son:

- NB 148004:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Glosario de términos
- NB 148005:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Conductores para puesta a tierra
- NB 148006:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Electrodo para puesta a tierra
- NB 148007:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra.
- NB 148008:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) – Medición de la resistividad de puesta a tierra.
- NB 148009:2015 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Criterios de diseño y ejecución.

- NB 148010-1:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) – Parte 1: principios generales
- NB 148010-2:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) – Parte 2: Evaluación del riesgo.
- NORMA IEEE 80-2013.

#### 4.1.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN

El método es práctico y fue utilizado durante muchos años en la práctica de Puesta a Tierra de subestaciones. El método es el de Wenner, según el cual la distancia (a) entre cada par de electrodos es igual, figura 31.



**Figura 31.** Método de Wenner

Se inyecta una corriente  $I$  y la tensión resultante  $V$  es medida con un voltímetro.

La resistividad (medida) se describe como:

$$\rho = \frac{4\pi(V/I)}{\left[1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2+4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}\right]} \quad \text{O} \quad \rho = 2\pi(V/I) \quad \text{si } a \gg b$$

Donde  $b$  corresponde a la longitud del electrodo.

#### 4.1.4. TRAYECTORIAS DE MEDICIÓN

El método de Wenner se aplicó sobre tres trayectorias, usando un punto de eje, como se muestra en la figura 32:

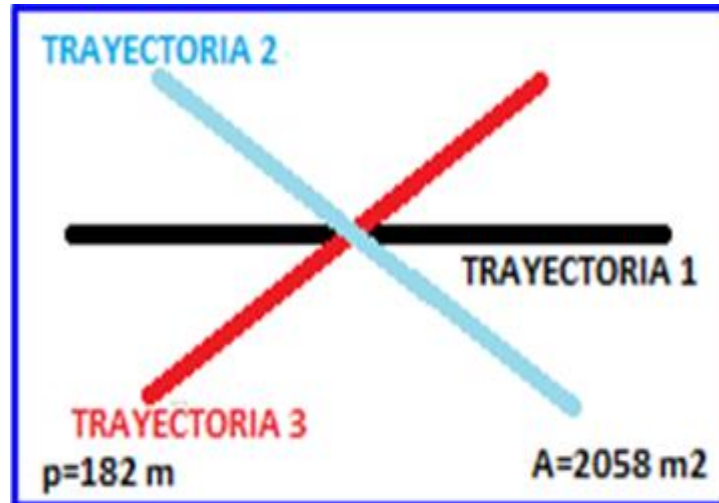


Figura 32. Trayectorias de medición

#### 4.1.5. DATOS OBTENIDOS EN LA MEDICIÓN

Modelo y características del equipo de medición utilizado con certificado de calibración vigente.

MODELO: FLUKE modelo 1625

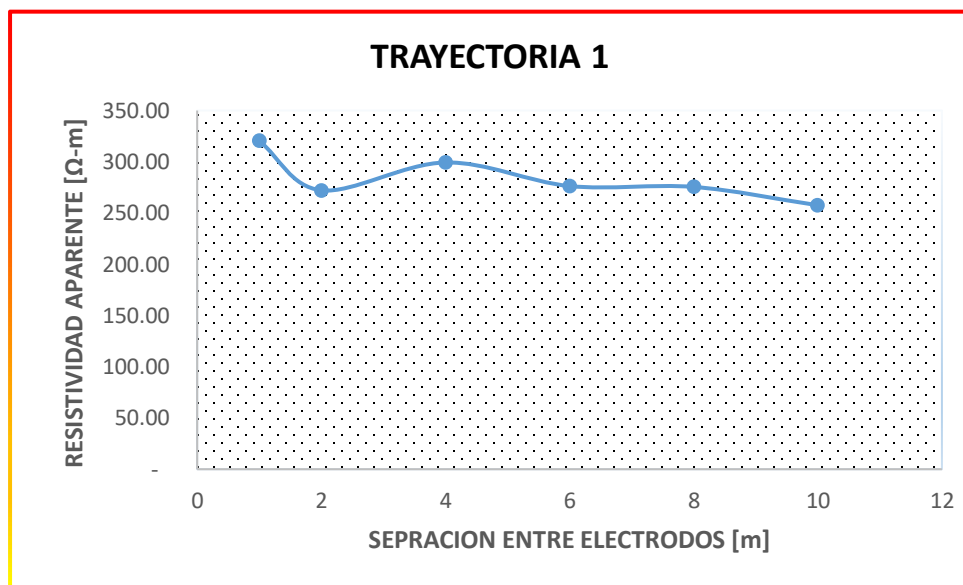
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tabla resumen con las lecturas en campo

### TRAYECTORIA 1

*Tabla 10. RESISTIVIDAD APARENTE PARA LA TRAYECTORIA 1*

MEDICIÓN N°	DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS (m)	ELECTRODO PROFUNDIDAD (cm)	RESISTENCIA ( $\Omega$ )	SUELO RESISTIVIDAD ( $\Omega$ -m)
1	1	15	58,00	363,43
2	2	15	25,00	314,16
3	4	15	13,40	336,78
4	6	15	7,42	279,73
5	8	15	5,33	267,92
6	10	15	4,23	265,78

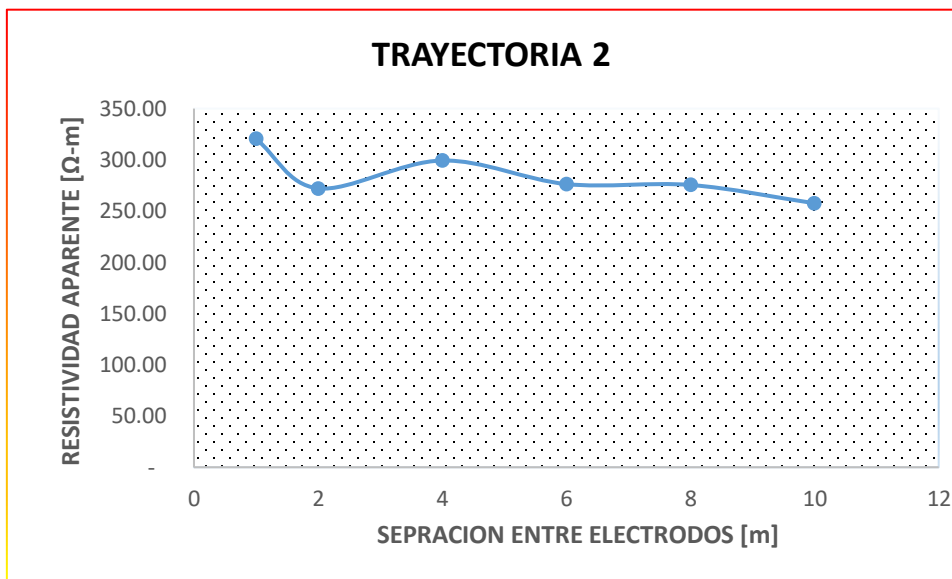


*CURVA CARACTERÍSTICA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO PARA TRAYECTORIA 1*

## TRAYECTORIA 2

Tabla 11. RESISTIVIDAD APARENTE PARA LA TRAYECTORIA 2

MEDICIÓN N°	DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS m	ELECTRODO PROFUNDIDAD (cm)	RESISTENCIA ( $\Omega$ )	SUELO RESISTIVIDAD ( $\Omega$ -m)
1	1	15	52,70	331,12
2	2	15	23,34	293,30
3	4	15	10,82	271,94
4	6	15	7,16	269,93
5	8	15	5,12	257,36

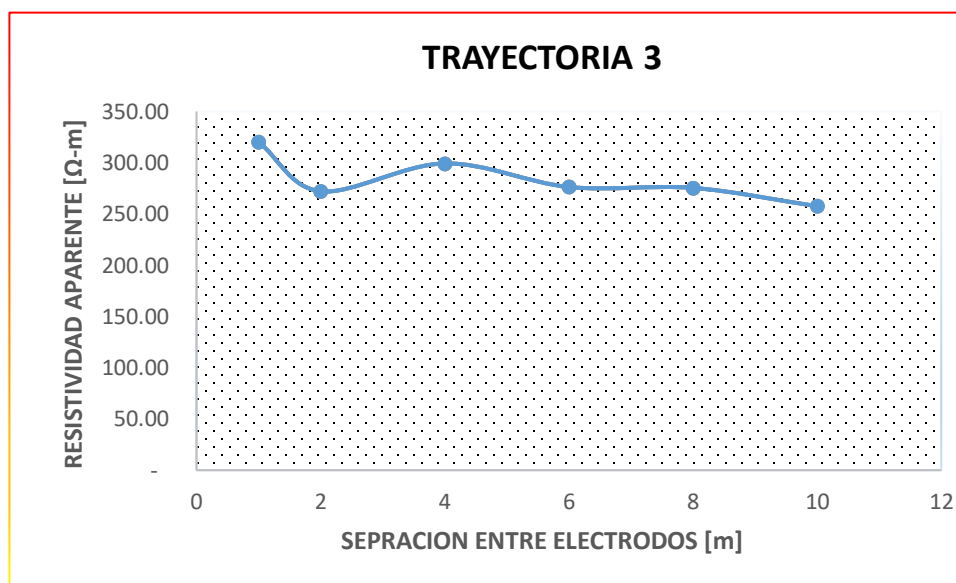


CURVA CARACTERÍSTICA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO PARA TRAYECTORIA 2

### TRAYECTORIA 3

Tabla 12. RESISTIVIDAD APARENTE PARA LA TRAYECTORIA 3

MEDICIÓN N°	DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS m	ELECTRODO PROFUNDIDAD (cm)	RESISTENCIA ( $\Omega$ )	SUELO RESISTIVIDAD ( $\Omega$ -m)
1	1	15	51,00	320,44
2	2	15	21,66	272,19
3	4	15	11,91	299,33
4	6	15	7,33	276,34
5	8	15	5,48	275,46
6	10	15	4,10	257,61



*CURVA CARACTERÍSTICA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO  
PARA TRAYECTORIA 3*

La evaluación de la estructura del suelo se basa en el tamaño, forma, porosidad y abundancia relativa de los agregados del suelo y de los terrones.





**Figura 33.** Condición visual del terreno, el terreno es propio del altiplano CV-1

La condición visual del terreno se observa, que el terreno es propio del altiplano. Y clasificamos CV-1.

#### 4.1.6. PROCESAMIENTO DE DATOS DE LAS MEDICIONES CON PROGRAMA DE CÁLCULO UTILIZADO

De acuerdo con gráficas obtenidas en el estudio de suelo se comprobó que las curvas son uniforme realizará el estudio de modelación aplicando el modelo de dos capas (biestratificado).

En la modelación de suelos de dos capas (biestratificado) se empleó el programa:

##### **ETAP 19.0.1**

Operación colaborativa  
Inteligente y en equipo

**ETAP 19.0.1** incluye varias optimizaciones y mejoras, así como idiomas. Diseño de mallas de tierra con base en pruebas de resistividad del suelo.

#### 4.1.7. RESULTADOS OBTENIDOS

El análisis realizado con el programa **ETAP 19.0.1** y el modelo del terreno resultante se puede apreciar un modelo bi-estratificado que se muestra en la siguiente tabla de resultado.

**TABLA DE RESULTADO DE MODELACIÓN DE SUELO**

The screenshot shows the 'Analysis' window of the ETAP 19.0.1 software. It features a table with 5 columns: 'Active', 'Probe Distance (m)', 'Measured Resistivity (ohm-m)', 'Calculated Resistivity (ohm-m)', and 'Error %'. The table contains 7 rows of data for probe distances of 6, 8, 8, 8, 10, 10, and 10 meters. To the right of the table are input fields for 'Max Iteration' (999), 'Precision' (0,0001), 'Top Layer' (Depth: 4,389 m, Resistivity: 310,422 ohm-m), and 'Lower Layer' (Resistivity: 223,866 ohm-m). Below the table are buttons for 'Add', 'Insert', 'Delete', 'Copy', and 'Calculate'. At the bottom, there are sections for 'Unit' (Resistance in ohms or Resistivity in ohm-m), 'Update' (Resistivity Tolerance: 5%), and 'Export' buttons. Standard 'Help', 'OK', and 'Cancel' buttons are at the very bottom.

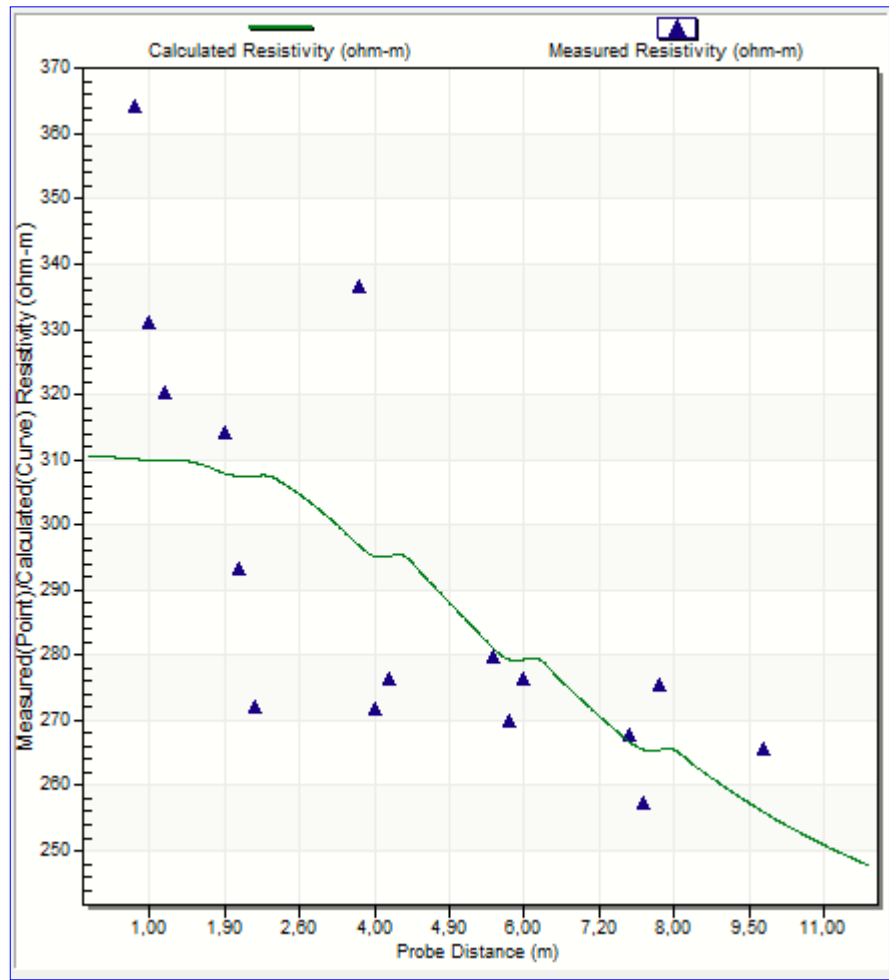
	Active	Probe Distance (m)	Measured Resistivity (ohm-m)	Calculated Resistivity (ohm-m)	Error %
12	<input checked="" type="checkbox"/>	6	276,34	279,357	-1,09
13	<input checked="" type="checkbox"/>	8	267,92	265,487	0,91
14	<input checked="" type="checkbox"/>	8	257,36	265,487	-3,16
15	<input checked="" type="checkbox"/>	8	275,46	265,487	3,62
16	<input checked="" type="checkbox"/>	10	265,78	254,969	4,07
▶ 17	<input checked="" type="checkbox"/>	10	262,11	254,969	2,72
18	<input checked="" type="checkbox"/>	10	257,61	254,969	1,03

En la tabla de resultados de modelación se cargó todos los datos de medición de las tres trayectorias con sus distancias de separación entre electrodos y de esta salieron los resultados que se muestran en la figura.

Basado en la norma IEEE Std. 80-2013. Por el método de elementos finitos se logró calcular la resistividad de capa superior de  $\rho_1=310,422$  ( $\Omega$ -m) y la profundidad de la misma de  $\rho_2=4,389$  (m) al mismo tiempo se calculó la resistividad de la capa inferior  $\rho_1=223,866$  ( $\Omega$ -m)

Profundidad	4,33 [m]
Resistividad de la capa superior	310,422 ( $\Omega$ -m)
Resistividad de capa inferior	223,866 ( $\Omega$ -m)

### GRAFICA DE MODELACIÓN DEL SUELO



En la gráfica del suelo modelo se puede apreciar que la curva resultante es uniforme con una tendencia que disminuye relativamente y no así continua porque varía según a la separación de electrodos por lo que se puede decir que es una modelación de suelos de dos capas (biestratificado).

## 4.2. CÁLCULO DE RESISTENCIA Y DISEÑO DE MALLA A TIERRA

Basado en la norma IEEE 80-2013 de elemento finito, se realizara un diseño cuidadoso de la malla de tierra para garantizar que la instalación eléctrica funcione correctamente, con una adecuada continuidad de servicio y con un desempeño seguro del sistema de protección.

A la malla de tierra se conectaran los neutros de los equipos, las estructuras metálicas y todas aquellas partes metálicas de tal modo que se encuentren al potencial de tierra.

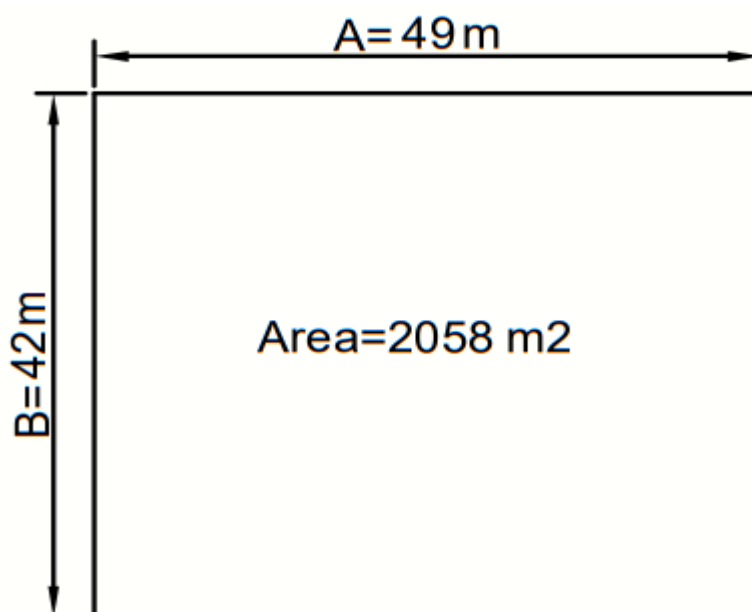
<b>Profundidad [m]</b>	4,33
<b>Resistividad del suelo la capa superior [Ω-m]</b>	310,422
<b>Resistividad de la capa superior [Ω-m]</b>	223,866

### 4.2.1. DATOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO

Tenemos una superficie de:  $(42 \times 49) = 2058 \text{ m}^2$

Norte a sur  $A=49 \text{ m}$ .

Este a oeste  $B=42 \text{ m}$ .



**Figura 34.** Área de la malla de tierra

#### 4.2.2. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL CONDUCTOR

##### Reporte de contorno de potencial

Nombre de la subestación TORRES DEL POETA  
Proyecto Torres del Poeta

##### Parámetros

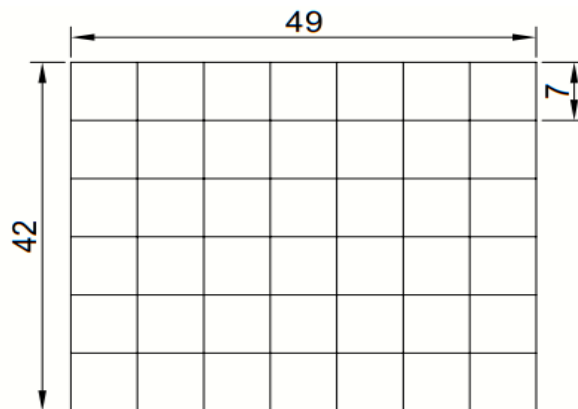
Nombre de la barra:

##### PUESTO DE TRANSFORMACIÓN TORRES DEL POETA

Spec. Z paralelo equivalente Z infinito  
Corriente de falla LG 1000 Amps.  
Resistividad de la capa superior 310,422 ohm-m  
Resistividad de la capa inferior 223,866 ohm-m

##### Datos de referencia para los cálculos:

Dimensiones de la malla (42x49) m<sup>2</sup>  
Resistividad del material de superficie 2500 Ω.m (Dato proporcionado de la supervisión)  
Tempera ambiente 25 °C  
Temperatura máxima 450 °C (temperatura. Máxima unión soldadura)  
Tiempo máxima de falla: 0.50 Seg.



**Figura 35.** Esquema topológico de la malla

Para su respectivo cálculo utilizaremos la ecuación correspondiente.

$$A_s = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{1}{33S}\right) \log\left(1 + \frac{Tm - Ta}{234 + Ta}\right)}}$$

$$A_s = \frac{1000 \text{ A}}{\sqrt{\left(\frac{1}{33(1)}\right) \log\left(1 + \frac{450 - 15}{234 + 15}\right)}}$$

$$A_s = 8671,53 \text{ CM}$$

Realizando una conversión de CM a mm<sup>2</sup>

$$A_s = 8671,53 \text{ (CM)} \times 5 \times 10^{-4} \text{ (mm}^2\text{)} = 4,336 \text{ mm}^2$$

EL diámetro del conductor es=2.34963 mm

Aproximadamente al calibre mínimo permitido por Norma es de 2/0 AWG que tiene un diámetro igual a 10,52 mm.

#### 4.2.3. CALCULO DE TENSIÓN DE PASO Y TOQUE ( $E_p$ y $E_t$ )

##### Calculo de tensión de paso ( $E_p$ )

Utilizaremos la ecuación correspondiente:

##### Datos:

Resistividad de la superficie del suelo  $\rho_s = 2500 \Omega.m$

Tiempo máxima de falla: 0,5 seg.

$$E_p = \frac{165 + \rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$E_p = \frac{165 + 2500}{\sqrt{0,5}}$$

$$E_p = 3768,88 \text{ V}$$

### Calculo de tensión de Toque ( $E_t$ )

Utilizaremos la ecuación correspondiente:

#### Datos:

Resistividad de la superficie del suelo  $\rho_s = 2500 \Omega.m$

Tiempo máxima de falla: 0,5 seg.

$$E_t = \frac{165 + 0.25\rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$E_t = \frac{165 + (0,25)2500}{\sqrt{0,5}}$$

$$E_t = 1117,23 V$$

### 4.2.4. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES ( $K_m, K_i, y K_s$ )

#### Datos:

A=49 m

B=42 m

n=7

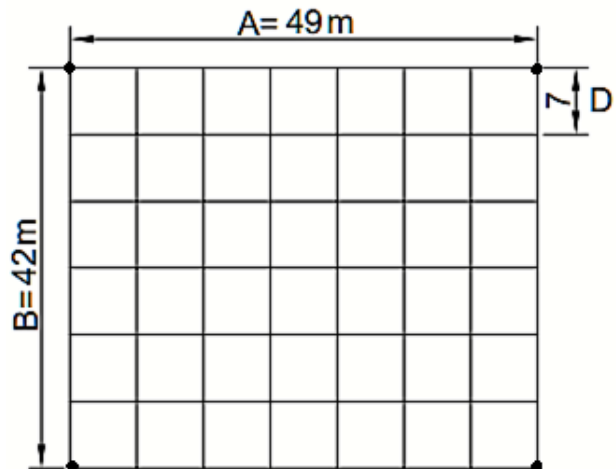
m=8

D= 7 m

h= 0,80 m

d=0.01052 m

L= (7x49) + (8x42)= 679 m



#### Calculo del coeficiente $K_m$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{D^2}{16(h)(d)} \right) + \frac{1}{\pi} \left( \frac{3}{4} * \frac{5}{6} * \frac{7}{8} * \frac{9}{10} * \frac{11}{12} * \frac{13}{15} * \frac{15}{16} \right)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{7^2}{16(0,80)(0,01052)} \right) + \frac{1}{\pi} \left( \frac{3}{4} * \frac{5}{6} * \frac{7}{8} * \frac{9}{10} * \frac{11}{12} * \frac{13}{15} * \frac{15}{16} \right)$$

$$K_m = 0,712$$

#### Calculo del coeficiente $K_i$

$$K_i = 0,656 + 0,172(n) \quad ; n \leq 7$$

$$K_i = 0,656 + 0,172(7)$$

$$K_i = 1,854$$

$$K_i = 2,0 \quad ; n \geq 7$$

#### Calculo del coeficiente $K_s$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2(h)} * \frac{1}{D+h} * \frac{1}{2(D)} * \frac{1}{3(D)} * \frac{1}{4(D)} * \frac{1}{5(D)} * \frac{1}{6(D)} * \frac{1}{7(D)} * \frac{1}{8(D)} \right)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2(0,80)} * \frac{1}{7+0,80} * \frac{1}{2(7)} * \frac{1}{3(7)} * \frac{1}{4(7)} * \frac{1}{5(7)} * \frac{1}{6(7)} * \frac{1}{7(7)} * \frac{1}{8(7)} \right)$$

$$K_s = 0,298$$

#### 4.2.5. DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES DE PASO Y TOQUE ( $E_p$ y $E_t$ )

##### REALES

#### Calculo de tensión de paso $E_p$ real

$$E_p = k_s k_i \frac{\rho I}{L}$$

$$E_p = (0,298)(1,854) \frac{(223,87)(1000)}{679}$$

$$E_p = 182,16 V$$

$$E_p = 182,16 V < 3768,88 V; \text{SI Cumple!!}$$



### Calculo de tensión de toque de paso $E_t$ real

$$E_t = k_m k_i \frac{\rho I}{L}$$

$$E_t = (0,712)(1,854) \frac{(223,87)(1000)}{679}$$

$$E_t = 435,23 \text{ V}$$

$$E_t = 435,23 \text{ V} < 1117,23 \text{ V}; \text{SI Cumple!}$$

#### 4.2.6. CALCULO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

$$l_1 = 679 \text{ m.}$$

$$l_2 = 4.5 \text{ m.}$$

$$n = 4 \text{ un}$$

$$A = 2058 \text{ m}^2$$

$$R_g = \frac{\rho_2}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho_1}{l_1 + n l_2}$$

$$R_g = \frac{223,87}{4} \sqrt{\frac{\pi}{2058}} + \frac{310,43}{679 + 4(4,5)}$$

$$R_g = 2,63 \Omega$$

$$R_g = 2,63 \Omega < 5\Omega$$

Por lo tanto la disposición asumida da garantía tanto de tener los voltajes de paso y contacto dentro de los valores permisibles también la resistencia es menor que el máximo aceptado.

Se recomienda o usar jabalinas si  $\rho_2 > \rho_1$ , debido a que la jabalina debe alcanzar profundidades de baja resistividades para que sea más efectivo.

### 4.3. CALCULO DE RESISTENCIA DE MALLA (ETAP 19.0.1)

#### 4.3.1. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN

Tabla resumen de resultados de la trayectoria 1

	Active	Probe Distance (m)	Measured Resistance (ohms)	Calculated Resistance (ohms)	Error %
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,000	58	53,334	8,04
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2,000	25	26,415	-5,66
3	<input checked="" type="checkbox"/>	4,000	13,4	12,588	6,06
4	<input checked="" type="checkbox"/>	6,000	7,42	7,859	-5,91
5	<input checked="" type="checkbox"/>	8,000	5,33	5,545	-4,03
▶ 6	<input checked="" type="checkbox"/>	10	4,23	4,225	0,12

Max Iteration

Precision

Top Layer

Depth  m

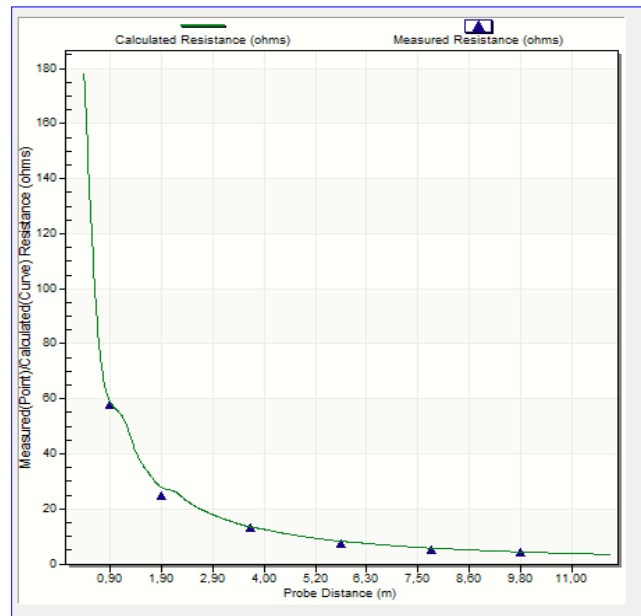
Resistivity  ohm-m

Lower Layer

Resistivity  ohm-m

RMS Error  %

Gráfico de Resistencia (ohm) vs Distancia (m)



Nota: la resistividad del suelo se modifica según estratificación como se muestra en la gráfica y la tendencia suele a decaer relativamente donde la humedad no cambia mucho disminuye lentamente, podemos decir que el terreno del lugar está bastante compactado.

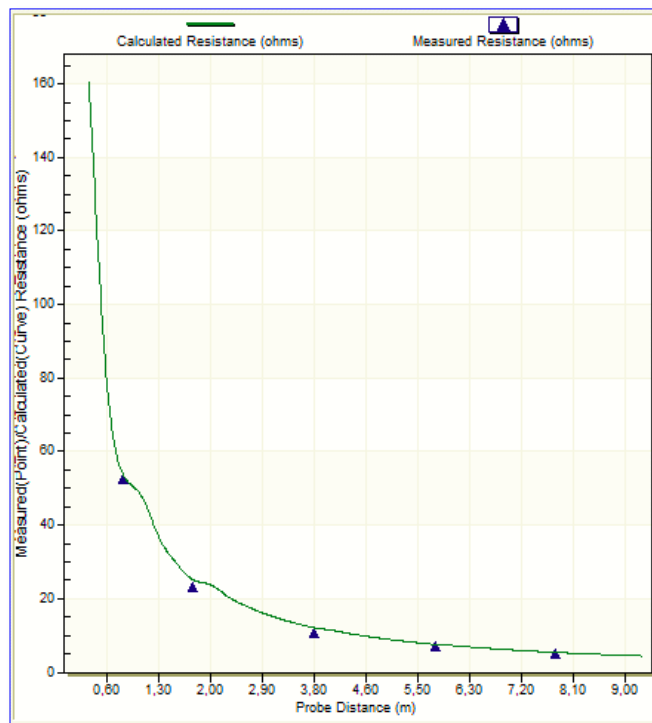
## Tabla resumen de resultados de la trayectoria 2

	Active	Probe Distance (m)	Measured Resistance (ohms)	Calculated Resistance (ohms)	Error %
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	52,7	47,158	10,52
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2	23,34	23,458	-0,51
3	<input checked="" type="checkbox"/>	4	10,82	11,421	-5,56
4	<input checked="" type="checkbox"/>	6	7,16	7,336	-2,46
5	<input checked="" type="checkbox"/>	8	5,12	5,311	-3,73
▶ 6	<input checked="" type="checkbox"/>	10	4,17	4,128	1,00

Max Iteration	999
Precision	0,0001
Top Layer	
Depth	4,614 m
Resistivity	296,55 ohm-m
Lower Layer	
Resistivity	234,652 ohm-m
RMS Error	5,21 %

## Gráfico de Resistencia (ohm) vs Distancia (m)



Nota: la resistividad del suelo se modifica según estratificación como se muestra en la gráfica y la tendencia suele a decaer relativamente donde la humedad no cambia mucho disminuye lentamente, podemos decir que el terreno del lugar está bastante compactado.

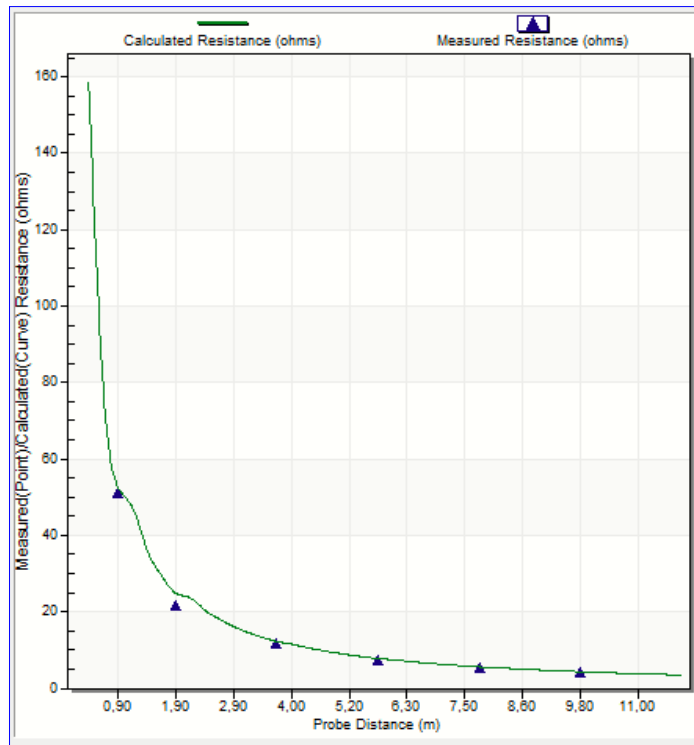
### Tabla resumen de resultados de la trayectoria 3

	Active	Probe Distance (m)	Measured Resistance (ohms)	Calculated Resistance (ohms)	Error %
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	51	47,511	6,84
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2	21,66	23,653	-9,20
3	<input checked="" type="checkbox"/>	4	11,91	11,559	2,94
4	<input checked="" type="checkbox"/>	6	7,33	7,456	-1,71
5	<input checked="" type="checkbox"/>	8	5,48	5,414	1,20
▶ 6	<input checked="" type="checkbox"/>	10	4,1	4,217	-2,85

Max Iteration	<input type="text" value="999"/>
Precision	<input type="text" value="0,0001"/>
Top Layer	
Depth	<input type="text" value="4,803"/> m
Resistivity	<input type="text" value="298,726"/> ohm-m
Lower Layer	
Resistivity	<input type="text" value="240,152"/> ohm-m
RMS Error	<input type="text" value="5,04"/> %

### Gráfico de Resistencia (ohm) vs Distancia (m)



Nota: la resistividad del suelo se modifica según estratificación como se muestra en la gráfica y la tendencia suele a decaer relativamente donde la humedad no cambia mucho disminuye lentamente, podemos decir que el terreno del lugar está bastante compactado.

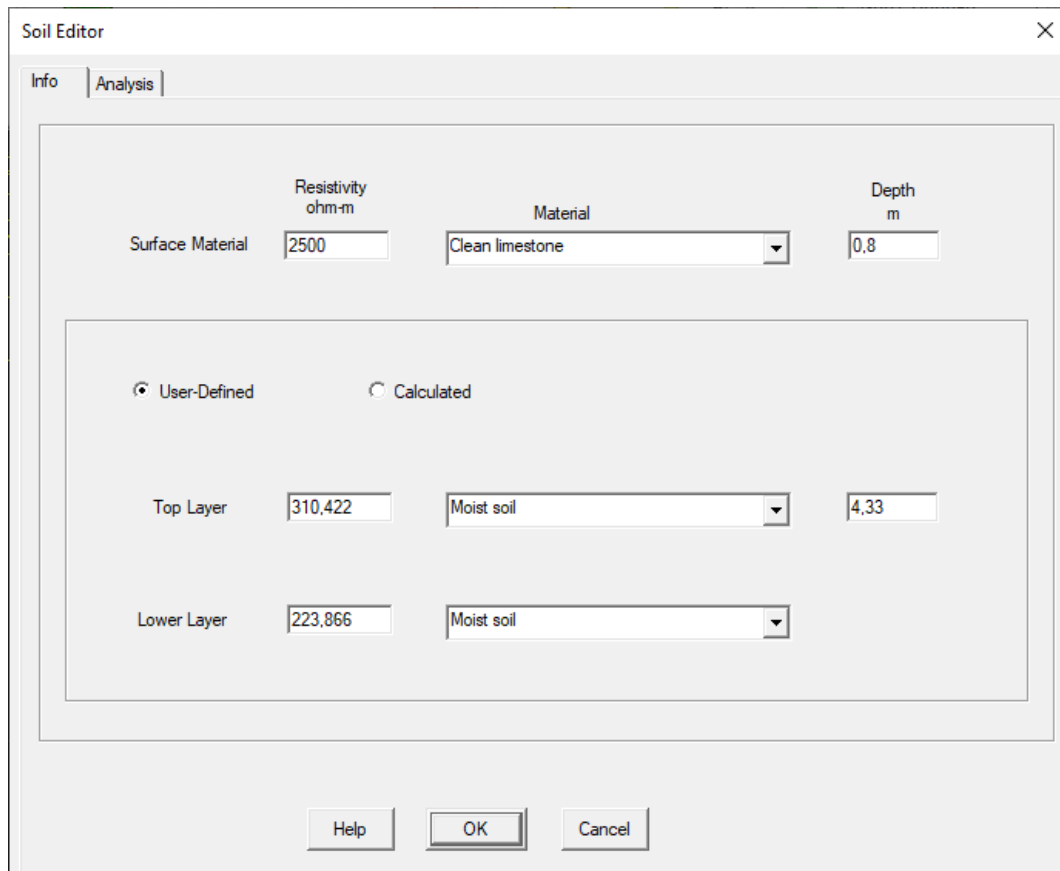
### Tabla de resultados obtenidos en la modelación de resistividad del terreno

El suelo modelado tendrá las siguientes características: un primer estrato con un espesor de 1m y una profundidad de 4,608 [m] y resistividad de la capa superior del terreno promedio de 310,30 [m] y una resistividad de capa inferior de 234,04 [m].

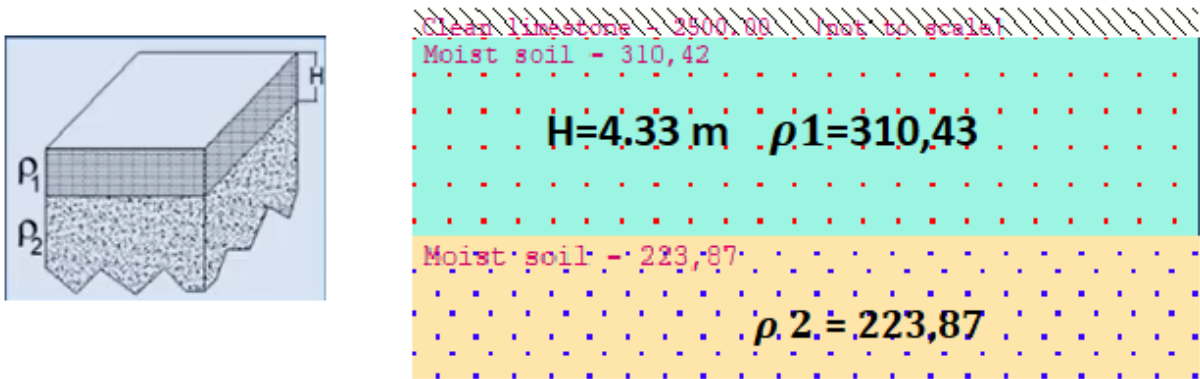
PUNTO DE ESTUDIO	TRAYECTORIA 1	TRAYECTORIA 2	TRAYECTORIA 3
profundidad [m]	4,407	4,614	4,803
resistividad de la capa superior [ $\Omega$ -m]	335,63	296,55	298,73
resistividad de la capa inferior [ $\Omega$ -m]	227,32	234,65	240,15

Profundidad 4,608 [m]  
 Resistividad de la capa superior 310,30 [m]  
 Resistividad de capa inferior 234,04 [m]

### Grafica Donde se cargan los datos calculados mediante programa ETAP 19.0.1

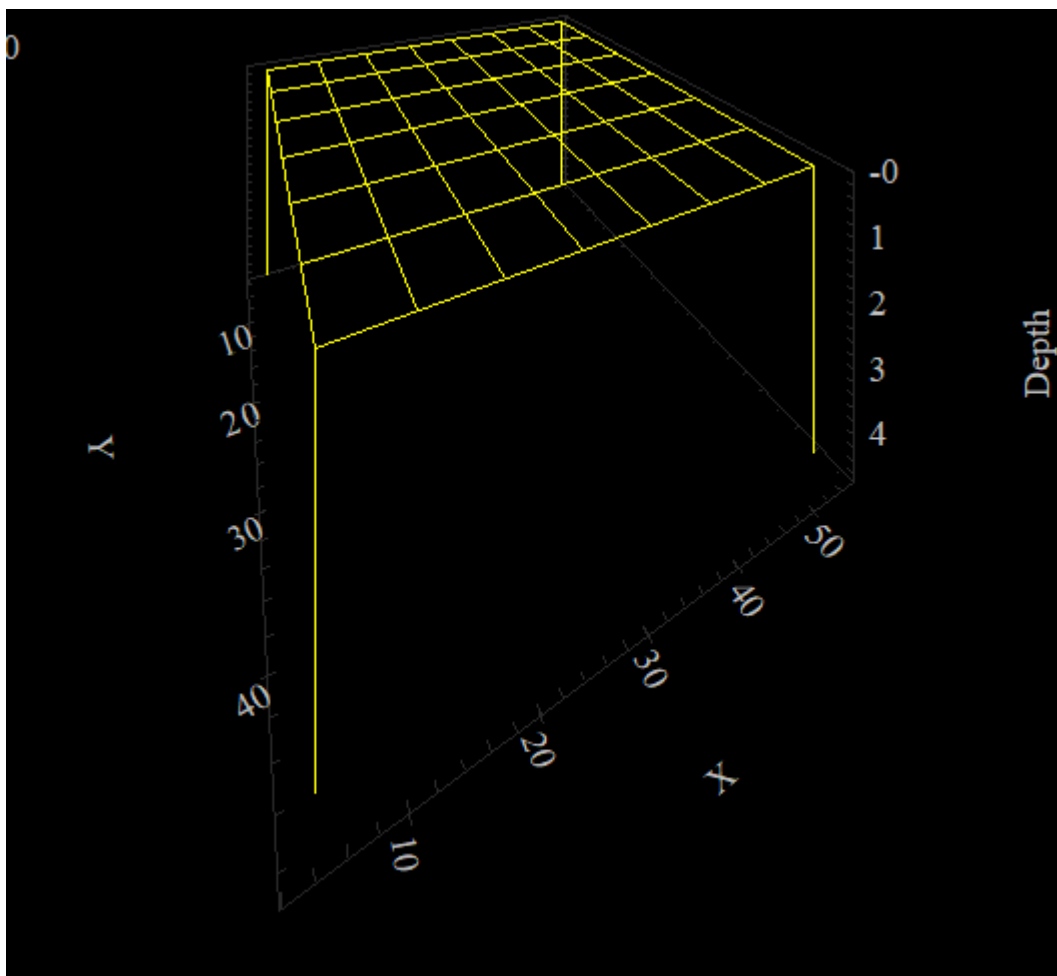


### Grafica representativa de modelo de suelo de dos capas



El suelo modelado en ETAP 19.0.1 donde se muestra la parte de color blanca es la piedra caliza limpia, la parte de color celeste es la resistividad de capa superior del suelo y la parte de color naranja es la representación de la capa inferior del suelo estas no están a escala.

### Grafica 3D del modelo de malla a tierra desde AUTOCAD 2017



## Grafica Editor de casos de Estudio GRD

GRD Study Case Editor

Study Case ID: GRD1

Options: Weight: 70 kg, Ambient Temperature: 25 °C

Method: Finite Element

Reports & Plots: Auto Display Summary & Alert:  Report Details:  Plot Step: 1 Boundary Extension: 0

Fault Durations: tf: 0.5 Sec, tc: 0.5 Sec, ts: 0.5 Sec

Ground Short-Circuit Current: User Specified:  Short-Circuit Study:  Ifg: 1 kA X/R: 1

Grid Current Factors: Sf: 10 %, Cp: 100 %

Remarks 2nd line:

Buttons: < GRD1 > Help OK Cancel

## Grafica de resultados obtenido del programa ETAP 19.01

GRD Analysis Alert View for GRD1

Summary and Alert

	Calculated Volts	Tolerable Volts	X	Y	Location
Touch	90,5	1015,8	7,4	44,1	m
Step	97,4	3397,2	4,3	47	m

GPR: 286,5 Volts Rg: 2,856 Ohm

Alarm & Warnings

Buttons: Close Help

Donde tenemos los resultados del cálculo de malla a tierra con una RGB: 2,856  $\approx$  3.0 Ohm y una tensión de toque de 90,5 Voltios calculado y con una tolerancia de hasta 1015,8 Voltios una tensión de paso de 97,5 Voltios calculado y con una tolerancia de hasta 3397,2 Voltios.

#### 4.3.2. DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA

- Profundidad de la malla  
0,8 metros
- Superficie utilizada  
Área: 49x42 m<sup>2</sup>

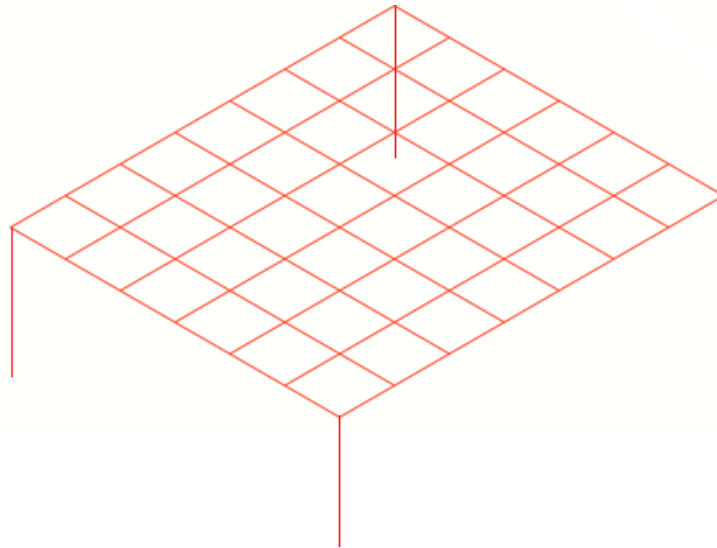


Figura 36. Malla de puesta a tierra a instalarse

#### COMPUTO DE MATERIALES

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Conductor desnudo de cobre, 2/0 AWG	Mt.	679
2	soldadura exotérmica, tipo x	Pza.	30
3	soldadura exotérmica, tipo T	Pza.	22
4	soldadura exotérmica, tipo L	Pza.	4
5	Caja metálica	Pza.	1
6	Barra de cobre	Pza.	4
7	tapas de registro	Pza.	4
8	Geo Gel8+	Bolsa	97

El valor de la resistencia de Puesta a Tierra se mejorado con el uso de compuestos químicos como ser Geo Gel8+, para mantener y garantizar la resistencia de Puesta a Tierra en un valor constante durante muchos.



---

# **CAPÍTULO 5**

## **COSTOS Y PRESUPUESTOS**

---

## **CAPITULO 5 – COSTOS Y PRESUPUESTOS**

### **5.1. ANÁLISIS DE CALCULO DE COSTOS**

Los costos básicos de una obra eléctrica está conformado por: materiales, mano de obra, equipos y herramientas, gastos generales e impuestos. Para calcular los costos de un rediseño, se debe seguir algunos pasos indispensables para garantizar que éstos sean los correctos.

Para determinar los costos de una obra se debe revisar los planos y especificaciones, con el objetivo de determinar qué tipo de servicios se van a necesitar para realizar cada actividad. Es importante que en el presupuesto se consideren los costos directos e indirectos:

#### **COSTOS DIRECTOS:**

Se consideran los recursos necesarios para cada actividad, que tienen una relación directa con la construcción de la obra, cómo: mano de obra, materiales que se utilizarán y serán parte del proyecto, servicios adicionales a contratar para alguna actividad, herramientas y equipos, etc.

#### **COSTOS INDIRECTOS:**

Son los recursos que participan en las actividades de la obra pero no de forma directa. Pueden ser de carácter administrativo como salarios del personal técnico o gastos generales como arriendos, servicios, mantenimiento de vehículos, papelería, pruebas de laboratorio, etc.

#### **COSTOS DE MATERIALES:**

Se analizan las cantidades, rendimiento y desperdicio, además se determinan los precios de compra en el mercado. Se llevan a cabo las conversiones de unidades necesarias para expresar el costo en la unidad de medida determinada.

### **COSTOS DE EQUIPOS:**

Se considera si se cuenta con éstos, caso contrario tendrán que ser alquilados. Se debe investigar: los precios de compra, los tiempos de uso y los precios de alquiler, para calcular el precio diario o por hora del total de equipos necesarios, ésta cifra es transformada en costo por unidad dividido entre el rendimiento.

### **COSTOS DE MANO DE OBRA:**

Se define el costo diario o por hora determinando el número de personal necesario para realizar una actividad; salario y costos de beneficios sociales. El costo por unidad se obtiene dividiendo el costo entre el rendimiento estimado. “determinar la tabla de cantidades de una obra” Para realizar el cálculo de las cantidades de una obra por cada actividad se requiere de una metodología que no solo nos permita tener una información ágil y ordenada, también que pueda ser revisada y modificada si el caso lo requiere.

Para llevar a cabo el proceso es necesario recurrir a todos los planos, especificaciones técnicas y listado de las actividades a realizar en obra. Las cantidades estimadas de obra se obtienen de las mediciones que se hagan en los planos, verificando la escala de cada uno de ellos. Para algunas medidas también puede ser necesario ir al sitio de obra y confirmarlas.

Cuando tengamos calculadas todas las actividades de la obra, podemos realizar una tabla con cada actividad; también colocar el costo de cada una, que ya se ha determinado en nuestro análisis de precios unitarios. Posteriormente, se procederá a multiplicar cada cantidad por el costo de la actividad, dándonos como resultado el coste de toda la actividad de la obra y finalmente sumaremos todos los costos de cada actividad, obteniendo el coste final de la obra.

Los análisis de precios unitarios y las especificaciones técnicas de los costos directos y presupuesto general elaborado para todos los ítems a ejecutarse durante el proceso de la Instalación del Re- diseño del sistema de puesta a tierra para el “**CONDOMINIO TORRES DEL POETA**” se adjuntan en anexo los de Precios unitarios.

Para hacer el cálculo de los costos se debe seguir los siguientes pasos:

### 5.1.1. CREACIÓN DE LISTA DE ACCIONES Y TAREAS

Se tomaran en cuenta las siguientes actividades según el diseño del proyecto.

1. Excavación de zanjas terreno semiduro (manual)
2. Provisión e instalación de malla de tierra.
3. Provisión y tratamiento con Geo Gel8+ la malla de tierra.
4. Provisión y construcción de cámaras de inspección
5. Provisión e instalación de tablero metálico y barra de cobre.
6. Relleno y compactado de zanjas

### 5.2. PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO

Para la obtención del presupuesto general del proyecto, se trabajo en el programa **QUARK 7.00**.

## PRESUPUESTO GENERAL

### REDISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA TORRES DEL POETA

Bolivianos					
Ítem	Descripción	Unid.	Cantidad	Unitario	Precio Total
1	EXCAVACIÓN DE ZANJAS TERRENO SEMIDURO (MANUAL) Ciento cuarenta y tres 97/100 bolivianos	M3	162.96	143.97	23,460.70
2	PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE MALLA DE TIERRA Noventa y cuatro 40/100 bolivianos	ML	679.00	94.40	64,100.32
3	PROVISIÓN Y TRATAMIENTO CON GEO GEL8+ LA MALLA DE TIERRA Veinte y tres 79/100 bolivianos	ML	679.00	23.79	16,151.37
4	PROVISIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE CÁMARAS DE INSPECCIÓN Seiscientos cuarenta y dos 44/100 bolivianos	PZA	4.00	642.44	2,569.76
5	PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE TABLERO METÁLICO Y BARRA DE COBRE.PZA Un mil quinientos ochenta 99/100 bolivianos		1.00	1,580.99	1,580.99
6	RELLENO Y COMPACTADO DE ZANJAS Ochenta y dos 27/100 bolivianos	M3	162.96	82.27	13,406.07
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>121,269.21</b>

Son: Ciento veinte un mil doscientos sesenta y nueve 21/100 bolivianos

### 5.3. REALIZACIÓN ESTIMACIÓN TEMPORAL

El cronograma de actividades y estimación temporal se realizó en el programa **Quark 7.00** con un total días trabajado de 32 días hábiles.

#### CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

EQR0001 - REDISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA TORRES DEL POETA																																																
Ítem	Actividad	Días	4/Jul/2022							11/Jul/2022							18/Jul/2022							25/Jul/2022							1/Ago./2022							8/Ago./2022										
			L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J
1	EXCAVACION DE ZANJAS TERRENO SEMIDURO (MANUAL)	17.56	[Barra de actividad crítica]																																													
2	PROVISION E INSTALACION DE MALLA DE TIERRA	12.74	[Barra de actividad flotante]																																													
3	PROVISION Y TRATAMIENTO CON GEO GEL8+ LA MALLA DE	12.74	[Barra de actividad flotante]																																													
4	PROVISION Y CONSTRUCCION DE CAMARAS DE INSPECCION	2.00	[Barra de actividad flotante]																																													
5	PROVISION Y INSTALACION DE TABLERO METALICO Y BARR	1.00	[Barra de actividad flotante]																																													
6	RELLENO Y COMPACTADO DE ZANJAS	13.58	[Barra de actividad flotante]																																													
<b>Proyecto:</b> REDISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA TORRES DEL POETA			<b>Fecha de Inicio:</b> 05/07/2022			<b>Simbología:</b>																																										
<b>Ubicación:</b> LA PAZ - BOLIVIA			<b>Fecha Conclusión:</b> 10/08/2022			Actividad Crítica: [Barra roja]																																										
<b>Cliente:</b> CONDOMINIO TORRES DEL POETA			<b>Total Días Hábiles:</b> 32.00			Actividad Flotante: [Barra verde]																																										

---

# **CAPÍTULO 6**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

## **CAPITULO 6 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

- Para realizar el rediseño del Sistema de Puesta a Tierra es importante saber la normativa, conceptos básicos, importancia de usos, procedimiento básico y otros, y la metodología para el cálculo manual y con software, para obtener un buen resultado.
- En el diagnóstico de la situación actual nos sirvió para conocer la realidad objetiva, del Sistema de Puesta a Tierra, donde se identificó, análisis, estudio y posteriormente se planificó las acciones necesarias y concretas, para realizar el rediseño.
- Se realizó el dimensionamiento y cálculo de resistencia de Puesta a Tierra, para calcular es imprescindible tener los datos de resistividad del suelo, tomados las mediciones a varias direcciones en diferentes distancias entre electrodos mientras se realice más mediciones más preciso va ser nuestro resultado de la resistividad de terreno y por ende la resistencia de Puesta a Tierra.
- Es muy importante tener los dibujos de la malla de Puesta a Tierra, con detalles constructivos y especificaciones técnicas, esto permitirá tener una visión clara de cómo será el resultado final de la misma.
- Se realizó el análisis de costos y presupuestos para poder determinar las viabilidades del proyecto esto con el fin de que la empresa conozca la posibilidad de superar el presupuesto inicial.
- Se estableció las actividades y del tiempo que se va emplear para la ejecución del proyecto. Con fechas probables, para saber cuánto tiempo requerirá elaborar el trabajo requerido

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Para comprobar los resultados calculados de forma manual, se debe utilizar software de sistema de Puesta a Tierra.
- Con el afán de disminuir la resistencia de Puesta a Tierra, se recomienda realizar un tratamiento químico al terreno con sales minerales o la adición de gel, esto ayuda a mejorar la conductividad del terreno de manera notable.
- Para tener un valor de resistencia estable que dure muchos años es importante realizar un tratamiento químico al hacer el proyecto.
- Es de mucha importancia el manejo del software ETAP 19.0.1, para este tipo de proyecto, porque prácticamente te pone el trabajo de una manera más eficiente y que lo puedes realizar el cálculo en un menor tiempo.
- Siempre compactar el terreno que ocupa la Puesta a Tierra, con el fin de mejorar el contacto entre el conductor y el terreno propiamente dicho.
- Mantener siempre con humedad el terreno que conforma el Sistema de Puesta a Tierra, de esta manera se evitara incrementos de la resistencia de Puesta a Tierra.
- Se recomienda elaborar el diseño en cada esquina de la malla de Tierra, un pozo de revisión, el cual permite la verificación y mantenimiento de Puesta a Tierra ubicada en el terreno, debiendo construirse con hormigón dotado de una tapa y su respectiva señalización.



## BIBLIOGRAFÍA

Antoine de Saint. (1 de 7 de 2015). *La Razon*. Obtenido de Bolivia Emprende:

<https://boliviaemprende.com/noticias/torre-del-poeta-ya-vendio-departamentos-alquilo-espacios-empresas-antes-de-su-apertura-2017>

Arnoux Group, C. (2015). *Guia de la medicion de tierra*. España: Iberica S.A.

CITY, S. (4 de 10 de 2012-2014). *La Paz Urbanismo*. Obtenido de SkyscraperCity:

<https://www.skyscrapercity.com/threads/la-paz-torres-del-poeta-39p-37p-20p-10p-e-c.1552091/page-70>

Escuela Superior de Ingenieria Mecanica y Electrica. (2020). *DOCPLAYER*. Obtenido de

Generalidades del Sistema de Tierra y Seguridad del Personal:

<https://docplayer.es/amp/20929251-Capitulo-i-1-2-3-4-generalidades-de-sistemas-de-tierra-y-seguridad-del-personal.html>

Huayllascu Montalva, C. (1999). *Sistema de Puestas a Tierra*. Lima-Peru: PROCOBRE.

RAZON, L. (30 de 7 de 2015). *BOLIVIA EMPRENDE*. Obtenido de BOLIVIA EMPRENDE:

<https://boliviaemprende.com/noticias/torre-del-poeta-ya-vendio-departamentos-alquilo-espacios-empresas-antes-de-su-apertura-2017>

Rojas, G. (2007). *Manual de Sistemas de Puesta a Tierra*. Carracas Venezuela: GedisTRUT.

Rojas, G. (2007). *Manual del Sistema de Puesta a Tierra*. Carracas Venezuela: gedisTRUT.

Yaneth Zenteno. (5 de 11 de 2018). *STUDOCU*. Obtenido de STUDOCU:

<https://www.studocu.com/bo/document/universidad-autonoma-gabriel-rene-moreno/teoria-e-historia-del-arte-y-arquitectura-ii/informe/torres-el-poeta-nota-10/4817262/view>

Antoine de Saint. (1 de 7 de 2015). *La Razon*. Obtenido de Bolivia Emprende:

<https://boliviaemprende.com/noticias/torre-del-poeta-ya-vendio-departamentos-alquilo-espacios-empresas-antes-de-su-apertura-2017>

#### **NORMAS APLICADAS:**

- NB 148004:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Glosario de términos
- NB 148005:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Conductores para puesta a tierra
- NB 148006:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Electrodo para puesta a tierra
- NB 148007:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra.
- NB 148008:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) – Medición de la resistividad de puesta a tierra.
- NB 148009:2015 - Sistema de puesta a tierra (PaT) - Criterios de diseño y ejecución.
- NB 148010-1:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) – Parte 1: principios generales
- NB 148010-2:2009 - Sistema de puesta a tierra (PaT) – Parte 2: Evaluación del riesgo.

---

# ANEXOS

---

## ANEXO 1. REPORTE DE RESULTADOS DE ETAP 19.0.1.

Project:	<b>ETAP</b>	Page:	1
Location:	19.0.1C	Date:	07-09-2022
Contract:	Study Case: GRD1	SN:	
Engineer:		Filename:	TORRES

---

---

### Electrical Transient Analyzer Program

#### Ground Grid Systems

##### Finite Element Method

Number of Ground Conductors: 15  
Number of Ground Rods: 4  
Total Length of Ground Conductors: 679.00 m  
Total Length of Ground Rods: 4,5 m  
Total Computational Time: 0.00 minutes

Frequency: 50,0

Unit System: Metric

Project Filename: TORRES DEL POETA

Output Filename: C:\ETAP 1901\TORRES\Grid1\_Untitled.GR1S

Project: **ETAP**  
 Location: **19.0.1C**  
 Contract:  
 Engineer: Study Case: GRD1

Page: 2  
 Date: 07-09-2022  
 SN:  
 Filename: TORRES

**Ground Grid Input Data**

**System Data**

Freq. Hz	Weight kg	Ambient Temp. °C	Short-Circuit Current				Fault Duration (Seconds)			Plot Step m	Extended Boundary Length m
			Total Fault Current kA	X/R	Sf Division Factor %	Cp Projection Factor %	Tf for Total Fault Duration	Tc for Sizing Ground Conductors	Ts for Available Body Current		
50,0	70	25,00	1,000	1,00	10,0	100,0	0,50	0,50	0,50	1,0	0,00

**Soil Data**

Surface Material			Upper Layer Soil			Lower Layer Soil	
Material Type	Resistivity ohm.m	Depth m	Material Type	Resistivity ohm.m	Depth m	Material Type	Resistivity ohm.m
Clean limestone	2500,0	0,800	Moist soil	310,4	4,33	Moist soil	223,9

**Material Constants**

Conductor/Rod	Type	Conductivity %	r Factor @ 20 °C 1/°C	K0 @ 0 °C	Fusing Temperature °C	Resistivity of Ground Conductor @ 20°C micro ohm.cm	Thermal Capacity Per Unit Volume J/(cm³.°C)
Conductor	Copper, annealed soft-drawn	100,0	0,00393	234,0	1083,0	1,72	3,42

**Conductor Data**

Label	Type	mm²	From			To			Length m	Insulated Yes/No	Cost \$/m
			X	Y	Z	X	Y	Z			
C1	Copper, annealed soft-drawn	70	5,00	40,00	0,00	54,00	40,00	0,00	49,00	NO	10,00
C10	Copper, annealed soft-drawn	70	54,00	5,00	0,00	54,00	47,00	0,00	42,00	NO	10,00
C11	Copper, annealed soft-drawn	70	5,00	33,00	0,00	54,00	33,00	0,00	49,00	NO	10,00
C12	Copper, annealed soft-drawn	70	5,00	26,00	0,00	54,00	26,00	0,00	49,00	NO	10,00
C13	Copper, annealed soft-drawn	70	5,00	19,00	0,00	54,00	19,00	0,00	49,00	NO	10,00
C14	Copper, annealed soft-drawn	70	5,00	12,00	0,00	54,00	12,00	0,00	49,00	NO	10,00
C15	Copper, annealed soft-drawn	70	5,00	5,00	0,00	54,00	5,00	0,00	49,00	NO	10,00
C2	Copper, annealed soft-drawn	70	47,00	47,00	0,00	47,00	5,00	0,00	42,00	NO	10,00
C3	Copper, annealed soft-drawn	70	40,00	47,00	0,00	40,00	5,00	0,00	42,00	NO	10,00
C4	Copper, annealed soft-drawn	70	33,00	47,00	0,00	33,00	5,00	0,00	42,00	NO	10,00
C5	Copper, annealed soft-drawn	70	26,00	47,00	0,00	26,00	5,00	0,00	42,00	NO	10,00
C6	Copper, annealed soft-drawn	70	19,00	47,00	0,00	19,00	5,00	0,00	42,00	NO	10,00
C7	Copper, annealed soft-drawn	70	12,00	47,00	0,00	12,00	5,00	0,00	42,00	NO	10,00
C8	Copper, annealed soft-drawn	70	5,00	47,00	0,00	5,00	5,00	0,00	42,00	NO	10,00
C9	Copper, annealed soft-drawn	70	54,00	47,00	0,00	5,00	47,00	0,00	49,00	NO	10,00

Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:

**ETAP**  
**19.0.1C**  
 Study Case: GRD1

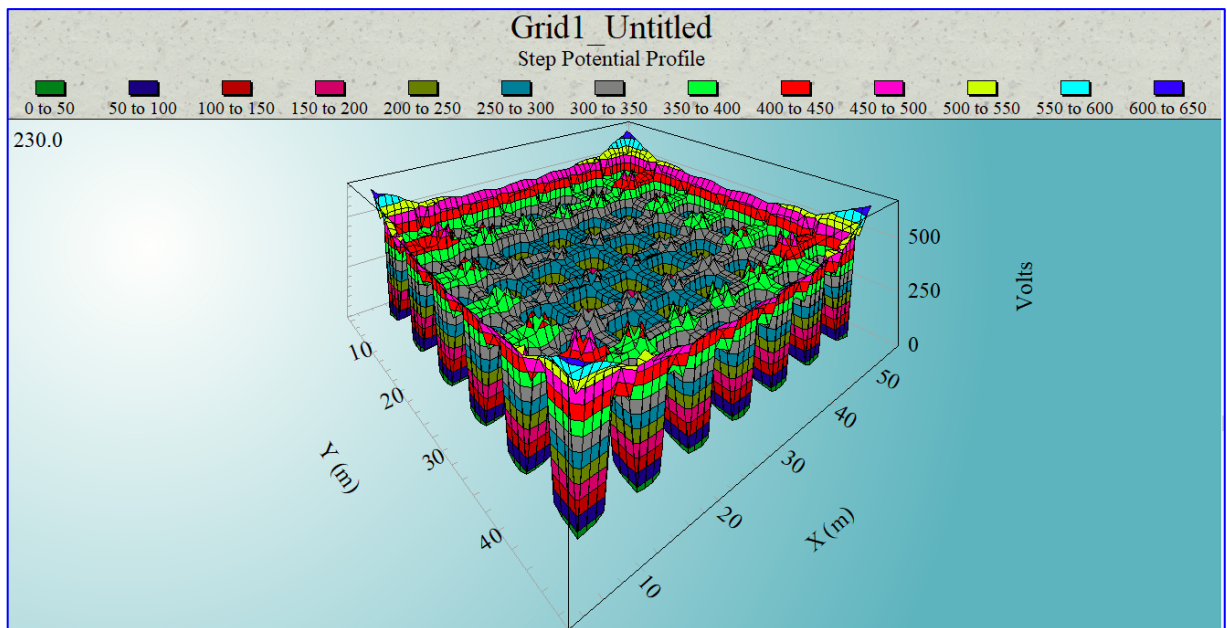
Page: 3  
 Date: 07-09-2022  
 SN:  
 Filename: TORRES

**Ground Grid Summary Report**

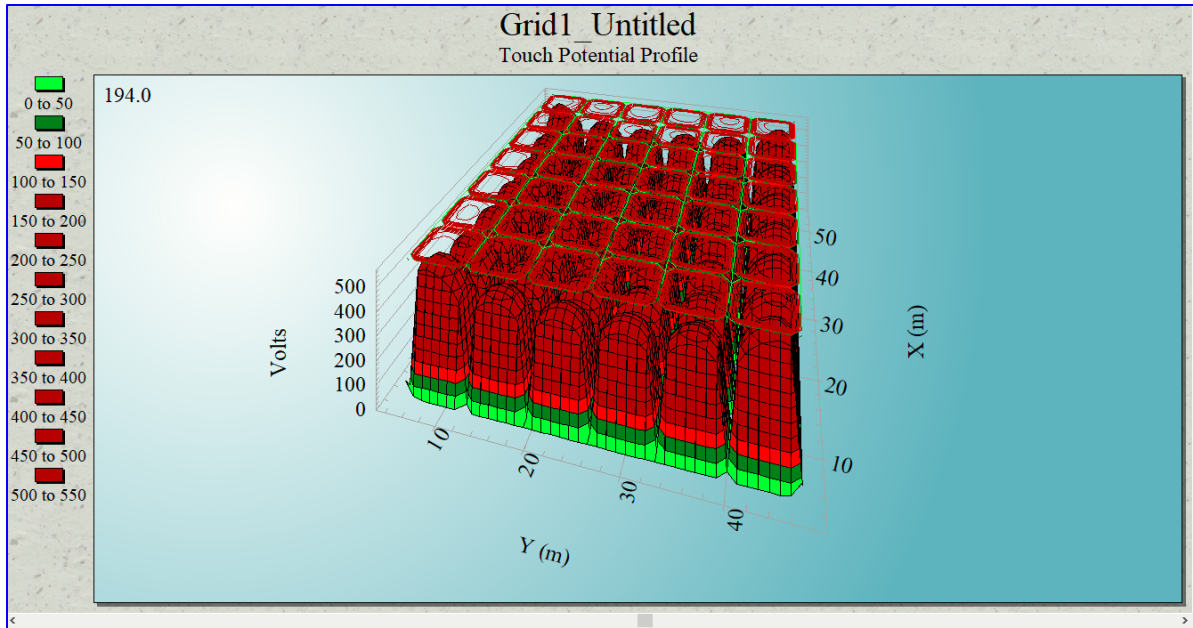
Rg Ground Resistance ohm	GPR Ground Potential Rise Volts	Maximum Touch Potential					Maximum Step Potential				
		Tolerable Volts	Calculated		Coordinates (m)		Tolerable Volts	Calculated		Coordinates (m)	
			Volts	%	X	Y		Volts	%	X	Y
2.86	286.6	1015.8	90.3	54.2	51.7	44.7	3397.2	97.4	19.2	5.00	5.40

Total Fault Current	1.000 kA	Reflection Factor (K):	0.779
Maximum Grid Current:	0.502 kA	Surface Layer Derating Factor (Cs):	0.953
		Decrement Factor (Df):	1.003

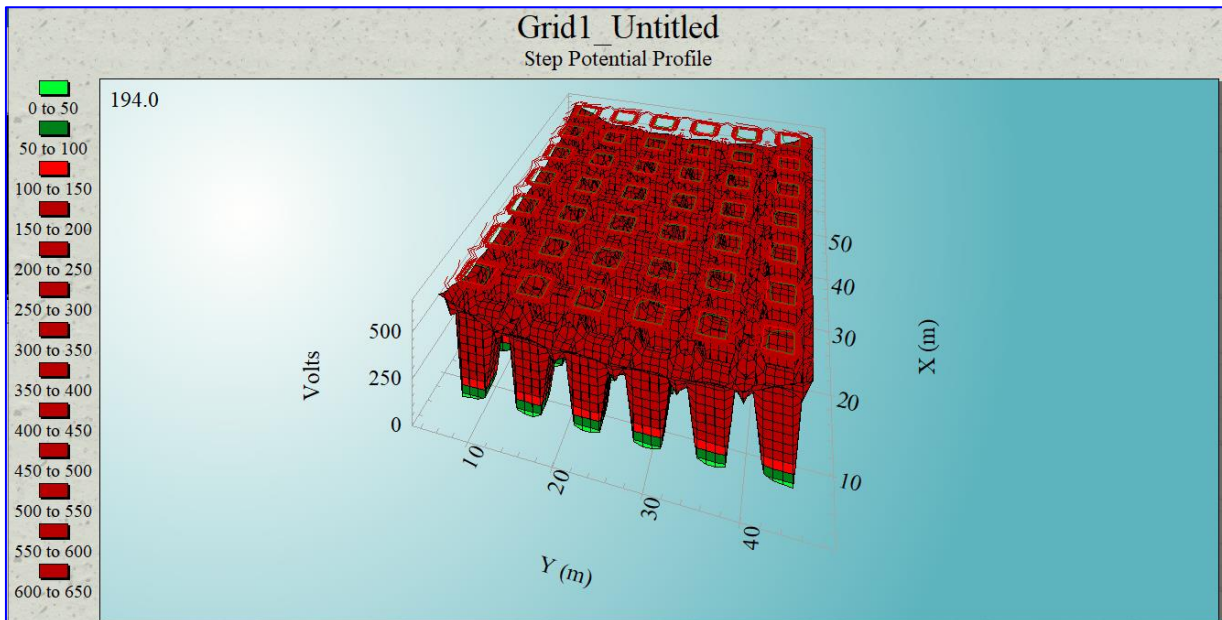
**Perfil de potencial de la malla a tierra**



## Perfil de potencial de voltaje de toque



## Perfil de potencial de voltaje de paso



**ANEXO 2. REPORTE FOTOGRÁFICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y DE LAS MEDICIONES REALIZADAS**

**Uniones de conductores de tierra**

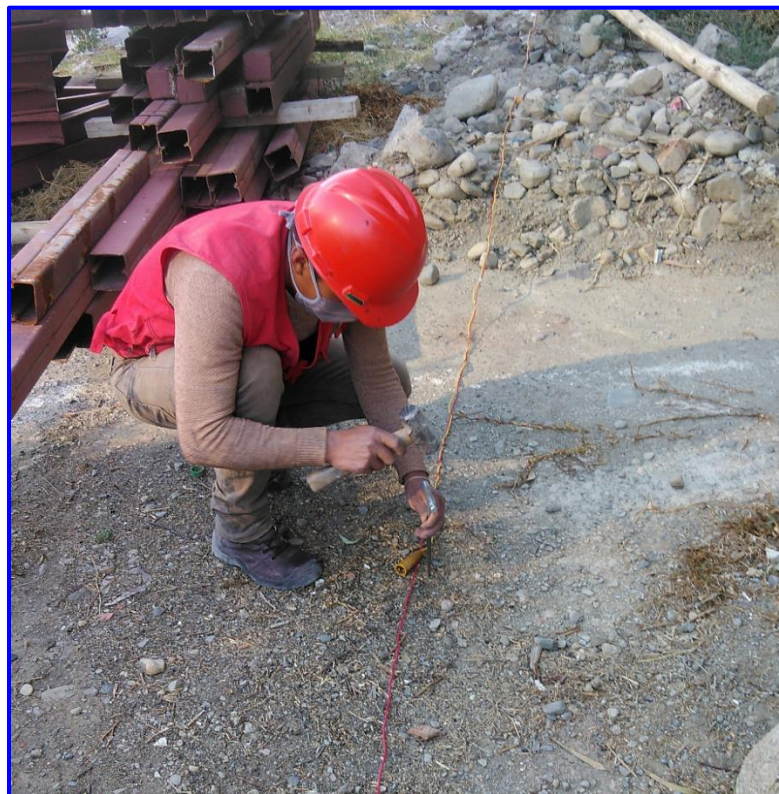


***Pozo de tierra, conductores no están unidos***

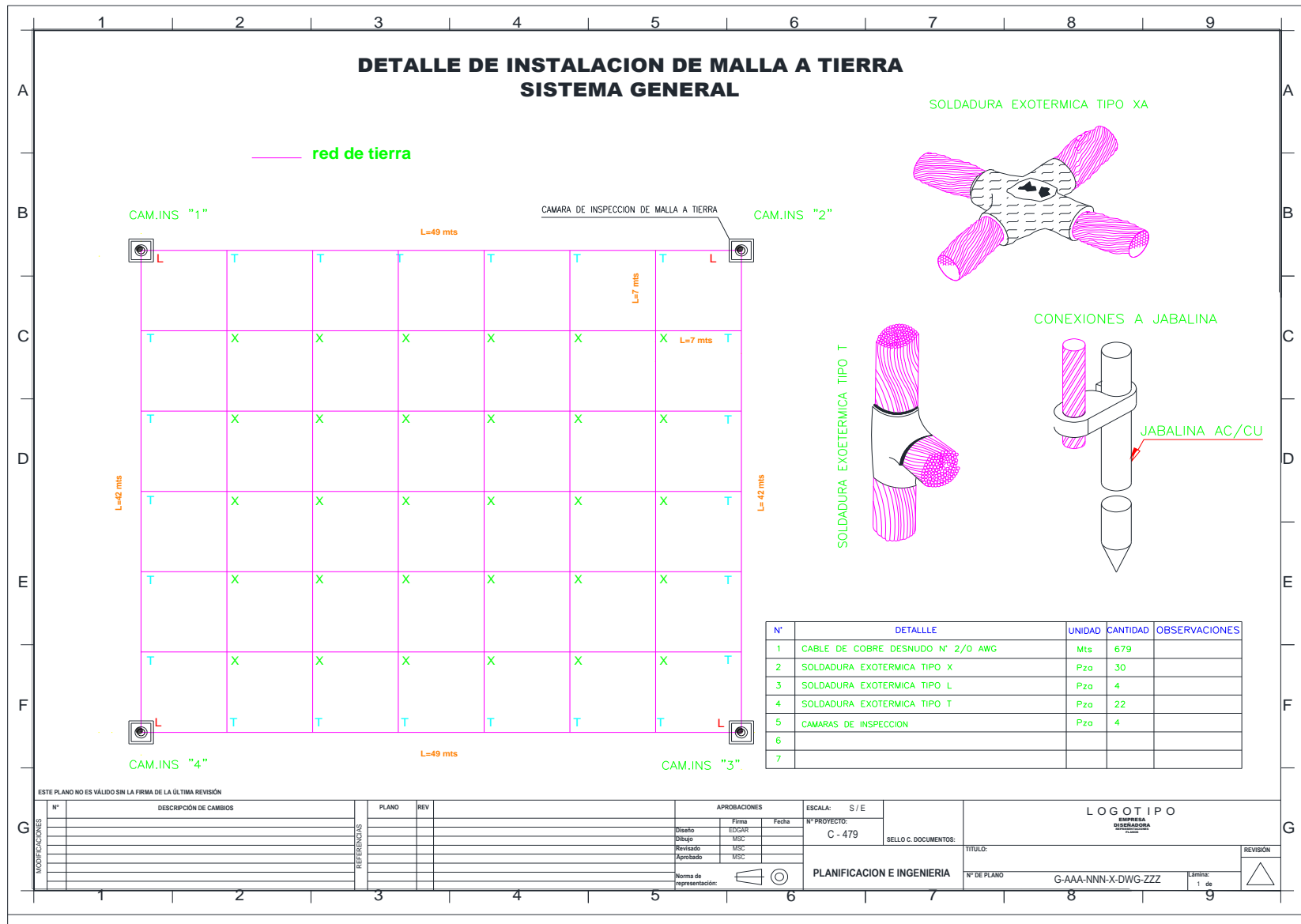




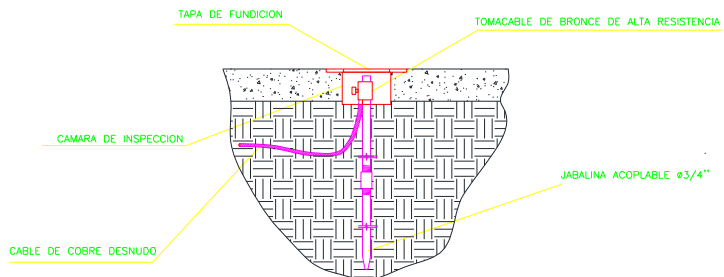
## Medición de resistencia de tierra y verificación técnica



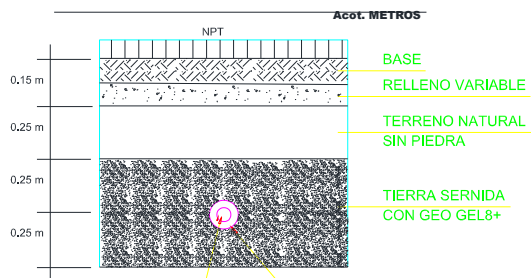
### ANEXO 3. DIBUJO DE PLANOS DE MALLA DE TIERRA



## DETALLE DE INSTALACION CAMARA DE INSPECCION Y CONDUCTOR DE TIERRA

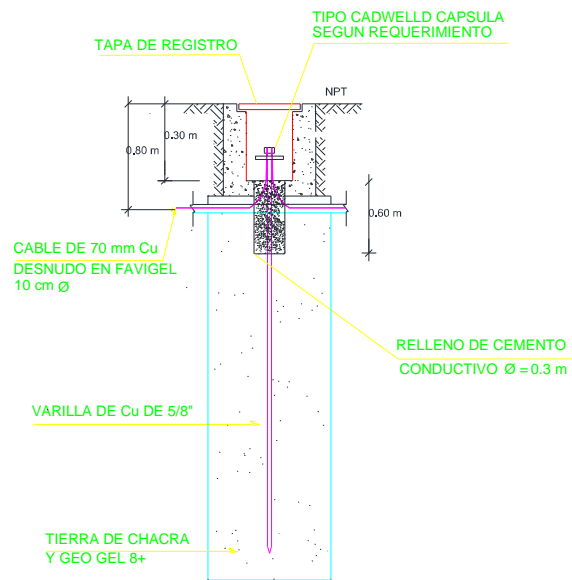


### DETALLE DE POZO DE TIERRA



### DETALLE DE RELLENO Y COMPACTADO

Acot. METROS



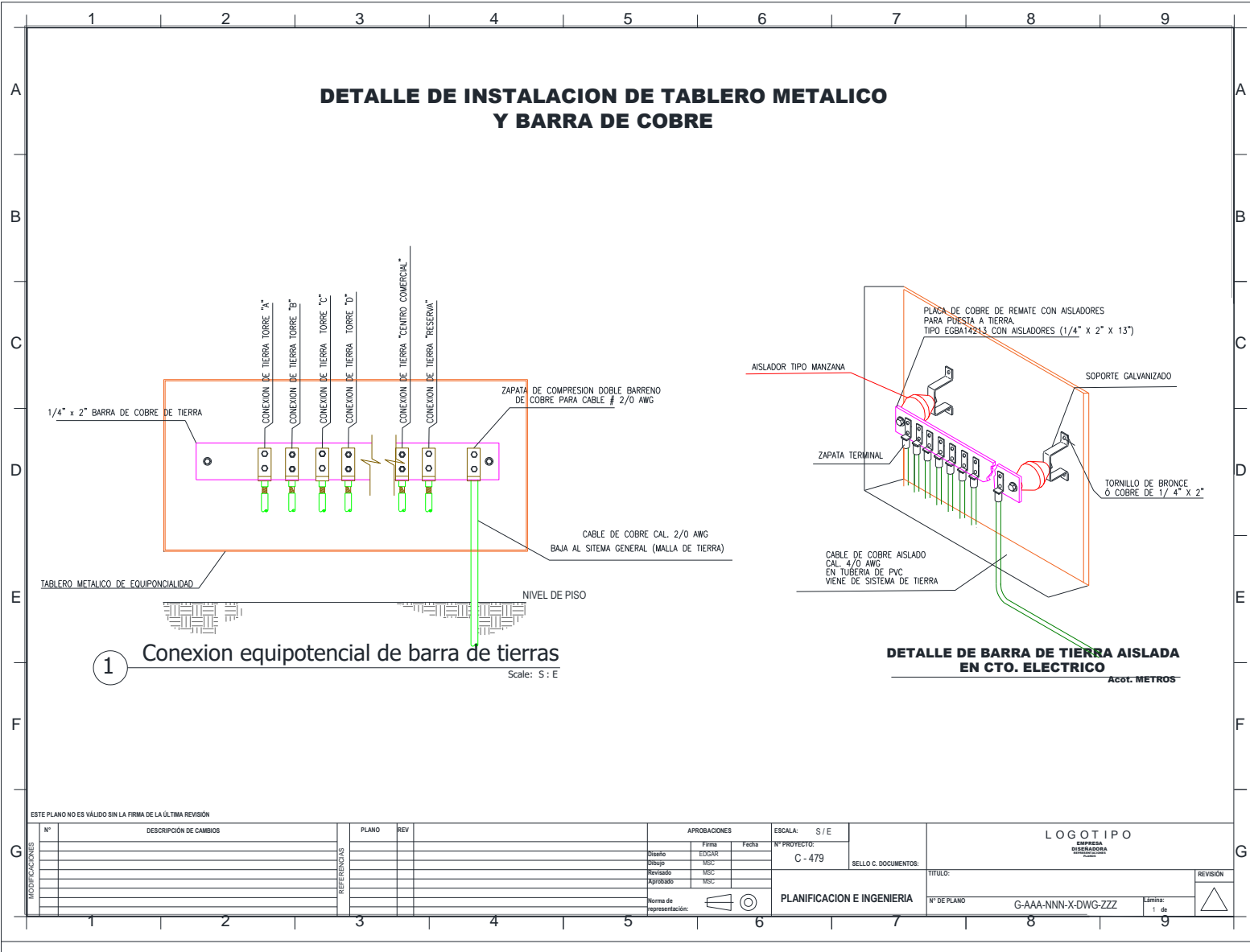
### DETALLE DE BARRA DE TIERRA AISLADA

Acot. METROS

ESTE PLANO NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DE LA ÚLTIMA REVISIÓN

MODIFICACIONES	DESCRIPCIÓN DE CAMBIOS		PLANO	REV	APROBACIONES			ESCALA: S / E	SELLO C. DOCUMENTOS:	LOGOTIPO EMPRESA SISENADORA	REVISIÓN
	N°				Firma	Fecha	N° PROYECTO:				
					Diseño	EDGAR		C - 479	PLANIFICACION E INGENIERIA	TITULO: G-AAA-NNN-X-DWG-ZZZ	1 de
				Dibajo	MSC						
				Revisión	MSC						
				Aprobación	MSC						
					Norma de representación:						

## DETALLE DE INSTALACION DE TABLERO METALICO Y BARRA DE COBRE



1 Conexión equipotencial de barra de tierras  
Scale: S : E

DETALLE DE BARRA DE TIERRA AISLADA EN CTO. ELECTRICO  
A COL. METROS

ESTE PLANO NO ES VÁLIDO SIN LA FIRMA DE LA ÚLTIMA REVISIÓN

N°	DESCRIPCIÓN DE CAMBIOS	PLANO	REV	APROBACIONES	ESCALA: S / E	LOGOTIPO	REVISIÓN												
				<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>Diseño</td><td>EDGAR</td><td>Fecha</td></tr> <tr><td>Dibujo</td><td>MSC</td><td></td></tr> <tr><td>Revisado</td><td>MSC</td><td></td></tr> <tr><td>Aprobado</td><td>MSC</td><td></td></tr> </table>	Diseño	EDGAR	Fecha	Dibujo	MSC		Revisado	MSC		Aprobado	MSC		N° PROYECTO: C - 479		
Diseño	EDGAR	Fecha																	
Dibujo	MSC																		
Revisado	MSC																		
Aprobado	MSC																		
<table border="1" style="font-size: x-small;"> <tr><td>Norma de representación:</td><td></td></tr> </table>					Norma de representación:		SELO C. DOCUMENTOS:	TITULO: PLANIFICACION E INGENIERIA	N° DE PLANO: G-AAA-NNN-X-DWG-ZZZ										
Norma de representación:																			
							<table border="1" style="font-size: x-small;"> <tr><td>Revisión</td><td>1</td><td>de</td><td>1</td></tr> </table>	Revisión	1	de	1								
Revisión	1	de	1																

## ANEXO 4. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

### ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO REDISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA TORRES DEL POETA Bolivianos

Actividad: 1 - EXCAVACIÓN DE ZANJAS TERRENO SEMIDURO (MANUAL)

Unidad: M3

Cantidad: 162.96

Descripción	Unid.	Cantidad	% Productiva	Precio Improductivo	Precio Productivo	Precio Total
<b>1.- MATERIALES</b>						
<b>TOTAL MATERIALES</b>						<b>0.000</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>						
ALBAÑIL	HR.	3.50000			18.750	65.625
AYUDANTE	HR.	3.50000			13.170	46.095
MANO DE OBRA INDIRECTA - 0.00 % DE MANO DE OBRA DIRECTA						0.000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>						<b>111.720</b>
<b>3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						
HERRAMIENTAS - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						5.586
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						<b>5.586</b>
<b>4.- RECARGOS</b>						
BENEFICIOS SOCIALES - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						5.586
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - 14.90 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						16.646
<b>TOTAL RECARGOS</b>						<b>22.232</b>
<b>5.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						
GASTOS GENERALES - 0.00 % De 1+2+3						0.000
GASTOS FINANCIEROS - 0.10 % DE 1+2+3						0.117
TRANSPORTE, MANIPULEO Y ALMAC. - 0.10 % DEL TOTAL DE MATERIALES						0.000
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						<b>0.117</b>
<b>6.- UTILIDAD</b>						
UTILIDAD - 0.10 % DE 1+2+3						0.117
<b>TOTAL UTILIDAD</b>						<b>0.117</b>
<b>7.- IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - 3.00 % DE 1+2+3+4+5+6						4.193
<b>TOTAL IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						<b>4.193</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>						<b>143.966</b>

Son: Ciento cuarenta y tres 97/100 bolivianos

Actividad: 2 - PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE MALLA DE TIERRA

Unidad: ML

Cantidad: 679.00

Descripción	Und.	Cantidad	% productivo	Precio Improductivo	Precio Productivo	Precio Total
<b>1.- MATERIALES</b>						
CABLE DESNUDO 70 MM2 19 HILOS	ML	1.00000			76.880	76.880
<b>TOTAL MATERIALES</b>						<b>76.880</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>						
AYUDANTE ELECTRICISTA	HR.	0.30000			16.250	4.875
ELECTRICISTA ESPECIALISTA	HR.	0.30000			22.500	6.750
MANO DE OBRA INDIRECTA - 0.00 % DE MANO DE OBRA DIRECTA						0.000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>						<b>11.625</b>
<b>3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						
HERRAMIENTAS - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						0.581
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						<b>0.581</b>
<b>4.- RECARGOS</b>						
BENEFICIOS SOCIALES - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						0.581
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - 14.90 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						1.732
<b>TOTAL RECARGOS</b>						<b>2.313</b>
<b>5.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						
GASTOS GENERALES - 0.00 % De 1+2+3						0.000
GASTOS FINANCIEROS - 0.10 % DE 1+2+3						0.089
TRANSPORTE, MANIPULEO Y ALMAC. - 0.10 % DEL TOTAL DE MATERIALES						0.077
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						<b>0.166</b>
<b>6.- UTILIDAD</b>						
UTILIDAD - 0.10 % DE 1+2+3						0.089
<b>TOTAL UTILIDAD</b>						<b>0.089</b>
<b>7.- IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - 3.00 % DE 1+2+3+4+5+6						2.750
<b>TOTAL IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						<b>2.750</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>						<b>94.404</b>

Son: Noventa y cuatro 40/100 bolivianos

Actividad: 3 - PROVISIÓN Y TRATAMIENTO CON GEO GEL8+ LA MALLA DE TIERRA

Unidad: ML

Cantidad: 679.00

Descripción	Und.	Cantidad	% productivo	Precio Improductivo	Precio Productivo	Precio Total
<b>1.- MATERIALES</b>						
GEO GEL 8+7KGRS	BLS	0.33330			47.330	15.775
<b>TOTAL MATERIALES</b>						<b>15.775</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>						
AYUDANTE ELECTRICISTA	HR.	0.15000			16.250	2.438
ELECTRICISTA ESPECIALISTA	HR.	0.15000			22.500	3.375
MANO DE OBRA INDIRECTA - 0.00 % DE MANO DE OBRA DIRECTA						0.000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>						<b>5.813</b>
<b>3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						
HERRAMIENTAS - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						0.291
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						<b>0.291</b>
<b>4.- RECARGOS</b>						
BENEFICIOS SOCIALES - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						0.291
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - 14.90 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						0.866
<b>TOTAL RECARGOS</b>						<b>1.157</b>
<b>5.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						
GASTOS GENERALES - 0.00 % De 1+2+3						0.000
GASTOS FINANCIEROS - 0.10 % DE 1+2+3						0.022
TRANSPORTE, MANIPULEO Y ALMAC. - 0.10 % DEL TOTAL DE MATERIALES						0.016
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						<b>0.038</b>
<b>6.- UTILIDAD</b>						
UTILIDAD - 0.10 % DE 1+2+3						0.022
<b>TOTAL UTILIDAD</b>						<b>0.022</b>
<b>7.- IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - 3.00 % DE 1+2+3+4+5+6						0.693
<b>TOTAL IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						<b>0.693</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>						<b>23.787</b>

Son: Veinte tres 79/100 bolivianos

Actividad: 4 - PROVISIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE CÁMARAS DE INSPECCIÓN  
 Unidad: PZA

Cantidad: 4.00

Descripción	Und.	Cantidad	% productivo	Precio Improductivo	Precio Productivo	Precio Total
<b>1.- MATERIALES</b>						
ARENA COMÚN	M3	0.20000			100.000	20.000
CEMENTO VIACHA	BLS	0.50000			50.000	25.000
TAPA PARA ATERRAMIENTO DE ALUMINIO	PZA	1.00000			417.600	417.600
<b>TOTAL MATERIALES</b>						<b>462.600</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>						
ALBAÑIL	HR.	4.00000			18.750	75.000
AYUDANTE	HR.	4.00000			13.170	52.680
MANO DE OBRA INDIRECTA - 0.00 % DE MANO DE OBRA DIRECTA						0.000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>						<b>127.680</b>
<b>3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						
HERRAMIENTAS - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						6.384
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						<b>6.384</b>
<b>4.- RECARGOS</b>						
BENEFICIOS SOCIALES - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						6.384
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - 14.90 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						19.024
<b>TOTAL RECARGOS</b>						<b>25.408</b>
<b>5.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						
GASTOS GENERALES - 0.00 % De 1+2+3						0.000
GASTOS FINANCIEROS - 0.10 % DE 1+2+3						0.597
TRANSPORTE, MANIPULEO Y ALMAC. - 0.10 % DEL TOTAL DE MATERIALES						0.463
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						<b>1.059</b>
<b>6.- UTILIDAD</b>						
UTILIDAD - 0.10 % DE 1+2+3						0.597
<b>TOTAL UTILIDAD</b>						<b>0.597</b>
<b>7.- IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - 3.00 % DE 1+2+3+4+5+6						18.712
<b>TOTAL IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						<b>18.712</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>						<b>642.440</b>

Son: Seiscientos cuarenta y dos 44/100 bolivianos



Actividad: 5 - PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE TABLERO METÁLICO Y BARRA DE COBRE.

Unidad: PZA

Cantidad: 1.00

Descripción	Unid.	Cantidad	% productivo	Precio Improductivo	Precio Productivo	Precio Total
<b>1.- MATERIALES</b>						
BARRA DE COBRE	ML	1.00000			85.330	85.330
CABLE DESNUDO 70 MM2 19 HILOS	ML	8.00000			76.880	615.040
CAJA METALICA MODULAR IP65 30X30X20	PZA	1.00000			300.820	300.820
TERMINAL CU/SN CAÑO COMUN MM2	PZA	1.00000			14.480	14.480
TUVO CONDUIT PVC 1"	ML	8.00000			16.000	128.000
<b>TOTAL MATERIALES</b>						<b>1,143.670</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>						
AYUDANTE ELECTRICISTA	HR.	8.00000			16.250	130.000
ELECTRICISTA ESPECIALISTA	HR.	8.00000			22.500	180.000
MANO DE OBRA INDIRECTA - 0.00 % DE MANO DE OBRA DIRECTA						0.000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>						<b>310.000</b>
<b>3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						
HERRAMIENTAS - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						15.500
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						<b>15.500</b>
<b>4.- RECARGOS</b>						
BENEFICIOS SOCIALES - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						15.500
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - 14.90 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						46.190
<b>TOTAL RECARGOS</b>						<b>61.690</b>
<b>5.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						
GASTOS GENERALES - 0.00 % De 1+2+3						0.000
GASTOS FINANCIEROS - 0.10 % DE 1+2+3						1.469
TRANSPORTE, MANIPULEO Y ALMAC. - 0.10 % DEL TOTAL DE MATERIALES						1.144
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						<b>2.613</b>
<b>6.- UTILIDAD</b>						
UTILIDAD - 0.10 % DE 1+2+3						1.469
<b>TOTAL UTILIDAD</b>						<b>1.469</b>
<b>7.- IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - 3.00 % DE 1+2+3+4+5+6						46.048
<b>TOTAL IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						<b>46.048</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>						<b>1,580.990</b>

Son: Un mil quinientos ochenta 99/100 bolivianos

Actividad: 6 - RELLENO Y COMPACTADO DE ZANJAS  
 Unidad: M3

Cantidad: 162.96

Descripción	Unid.	Cantidad	% productivo	Precio Improductivo	Precio Productivo	Precio Total
<b>1.- MATERIALES</b>						
<b>TOTAL MATERIALES</b>						<b>0.000</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>						
ALBAÑIL	HR.	2.00000			18.750	37.500
AYUDANTE	HR.	2.00000			13.170	26.340
MANO DE OBRA INDIRECTA - 0.00 % DE MANO DE OBRA DIRECTA						0.000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>						<b>63.840</b>
<b>3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						
HERRAMIENTAS - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						3.192
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>						<b>3.192</b>
<b>4.- RECARGOS</b>						
BENEFICIOS SOCIALES - 5.00 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						3.192
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - 14.90 % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA						9.512
<b>TOTAL RECARGOS</b>						<b>12.704</b>
<b>5.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						
GASTOS GENERALES - 0.00 % De 1+2+3						0.000
GASTOS FINANCIEROS - 0.10 % DE 1+2+3						0.067
TRANSPORTE, MANIPULEO Y ALMAC. - 0.10 % DEL TOTAL DE MATERIALES						0.000
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>						<b>0.067</b>
<b>6.- UTILIDAD</b>						
UTILIDAD - 0.10 % DE 1+2+3						0.067
<b>TOTAL UTILIDAD</b>						<b>0.067</b>
<b>7.- IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - 3.00 % DE 1+2+3+4+5+6						2.396
<b>TOTAL IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES</b>						<b>2.396</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>						<b>82.266</b>

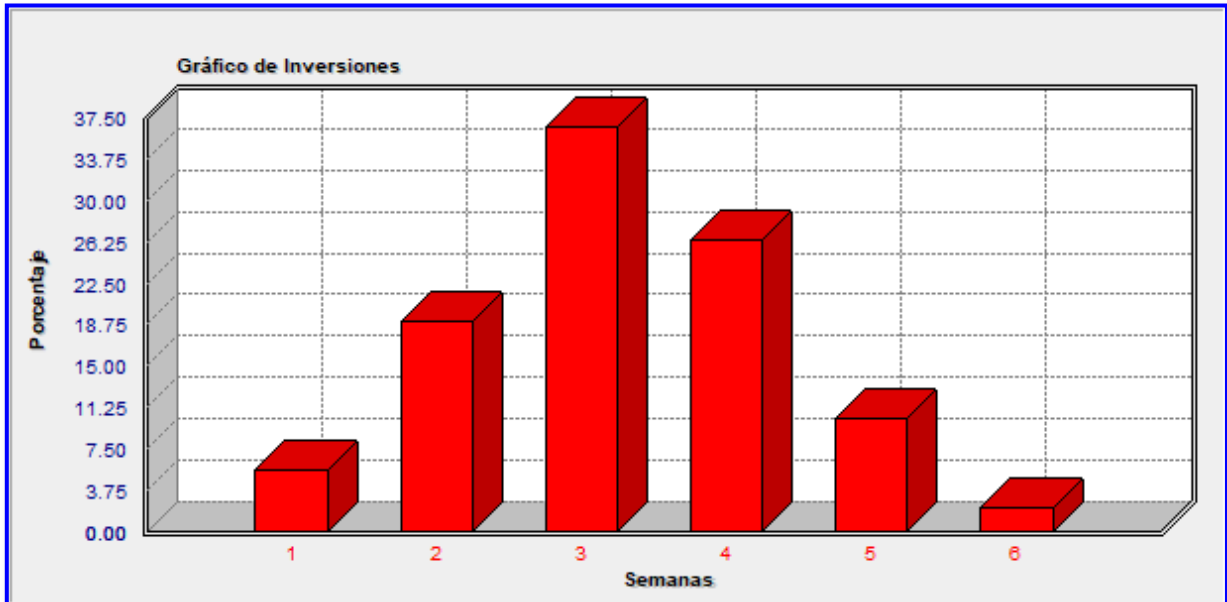
Son: Ochenta y dos 27/100 bolivianos

## ANEXO 5. DATOS DE RECURSOS DE LA ACTIVIDAD

### 5.1. GRAFICO DE INVERSIONES

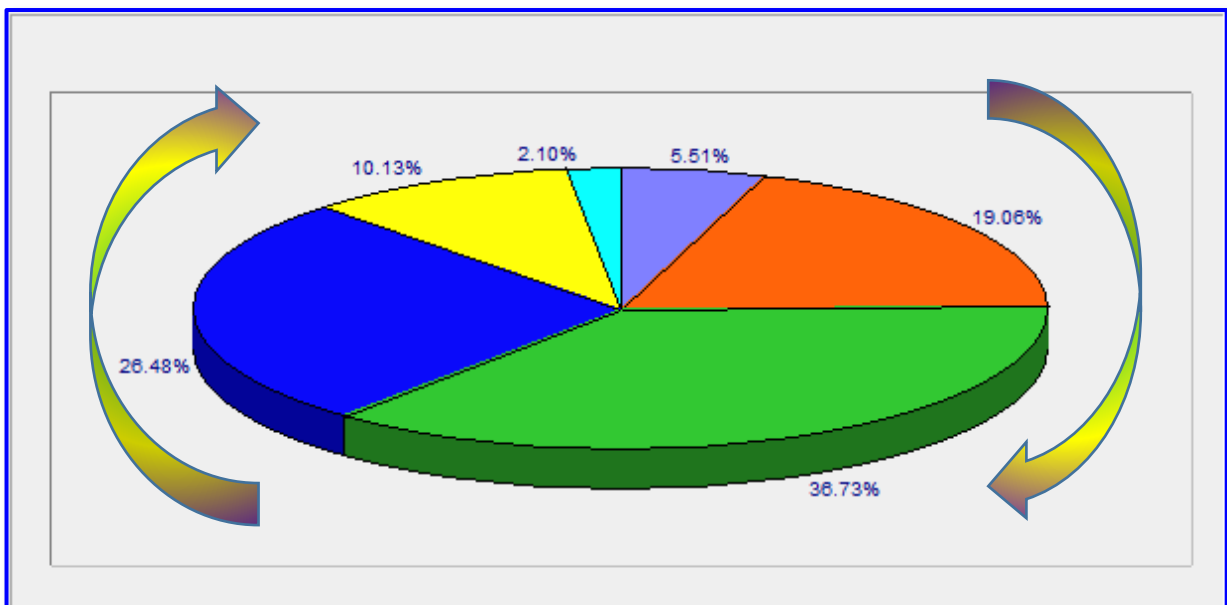
#### GRAFICO DE INVERSIONES DE ACUERDO AL PLAZO ESTABLECIDO

(Expresado en porcentajes)



#### GRAFICO DE INVERSIONES DE ACUERDO AL PLAZO ESTABLECIDO

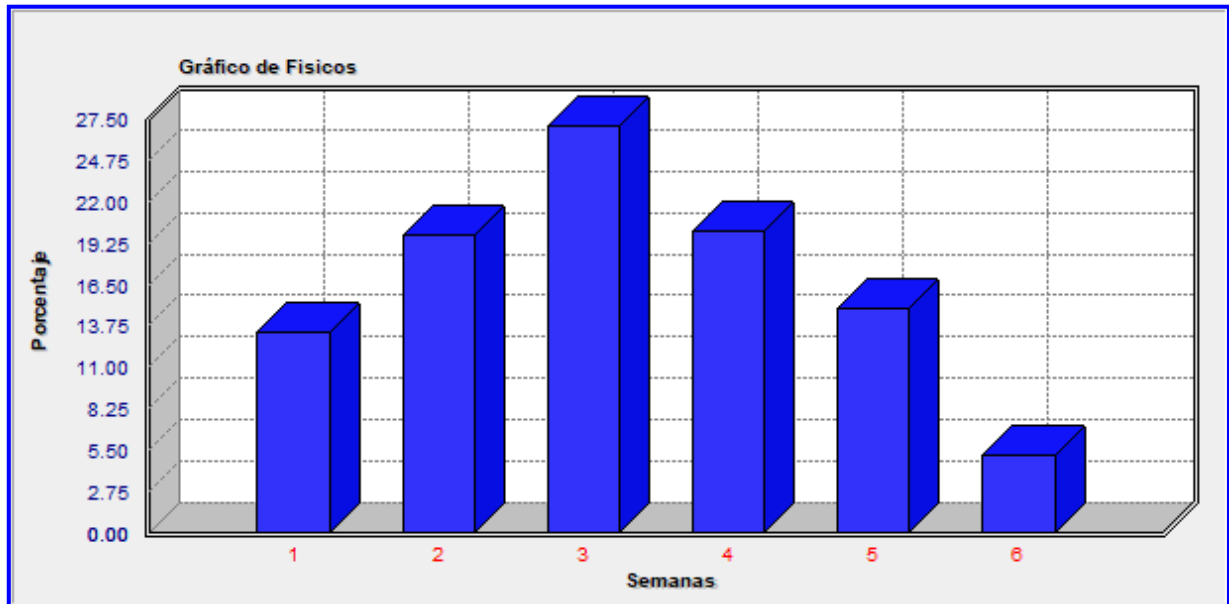
(Expresado en porcentajes)



## 5.2. GRAFICO DE AVANCE FÍSICO

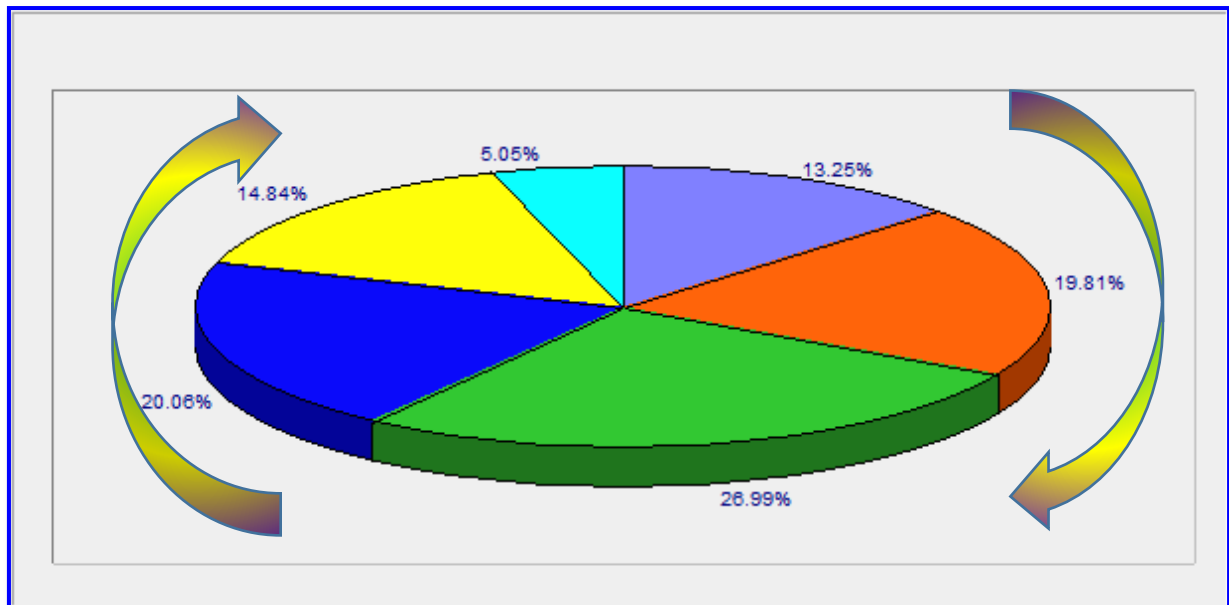
### GRAFICO DE AVANCE FÍSICO AL PLAZO ESTABLECIDO

(Expresado en porcentajes)



### GRAFICO DE AVANCE FÍSICO AL PLAZO ESTABLECIDO

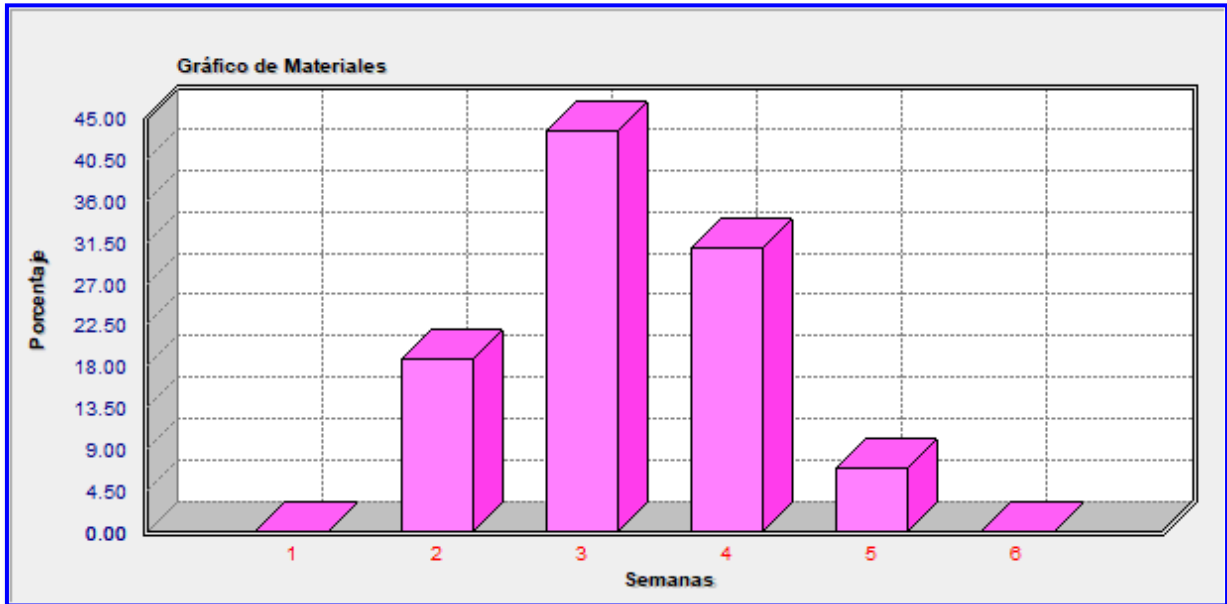
(Expresado en porcentajes)



## 5.2. GRAFICO DE MATERIALES

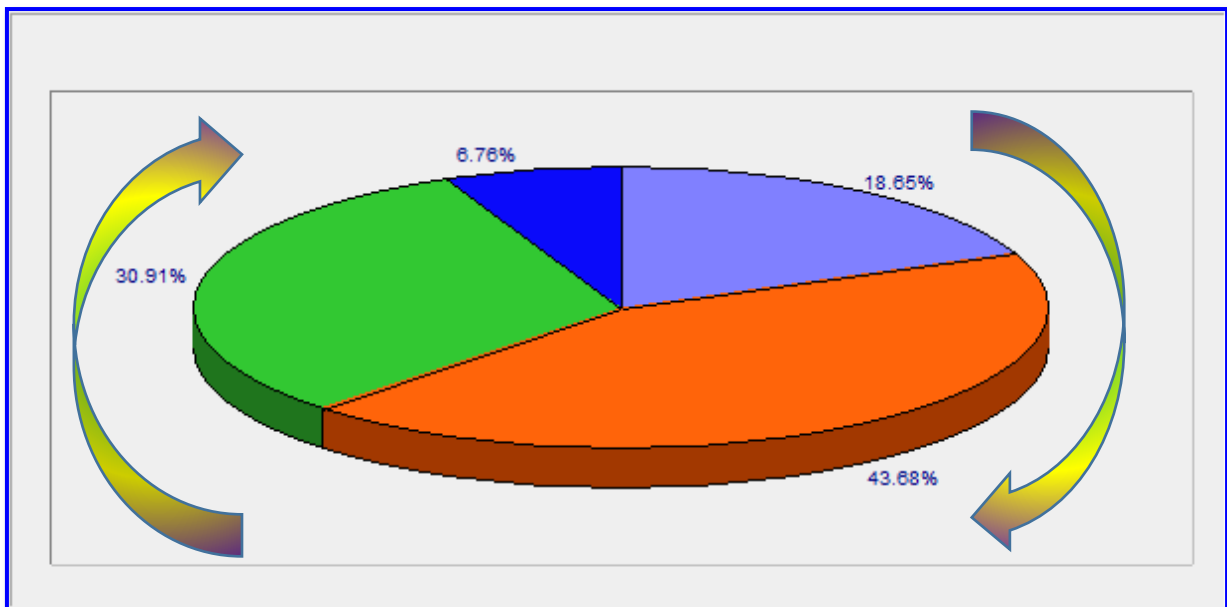
### GRAFICO DE MATERIALES AL PLAZO ESTABLECIDO

(Expresado en porcentajes)



### GRAFICO DE MATERIALES AL PLAZO ESTABLECIDO

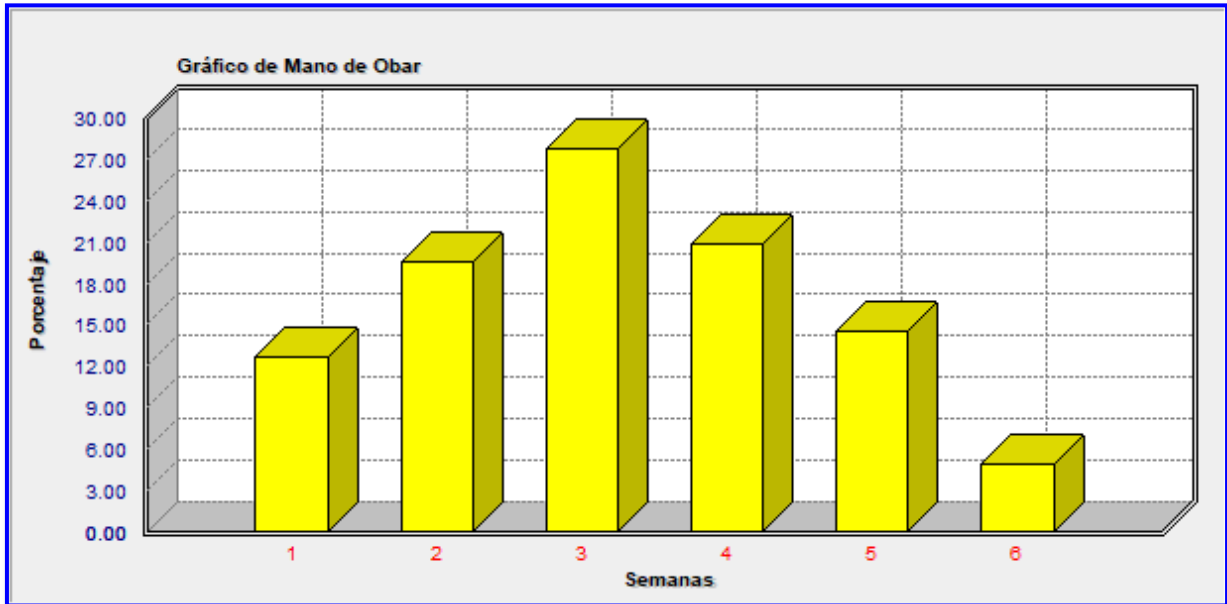
(Expresado en porcentajes)



### 5.3. GRAFICO DE MATERIALES

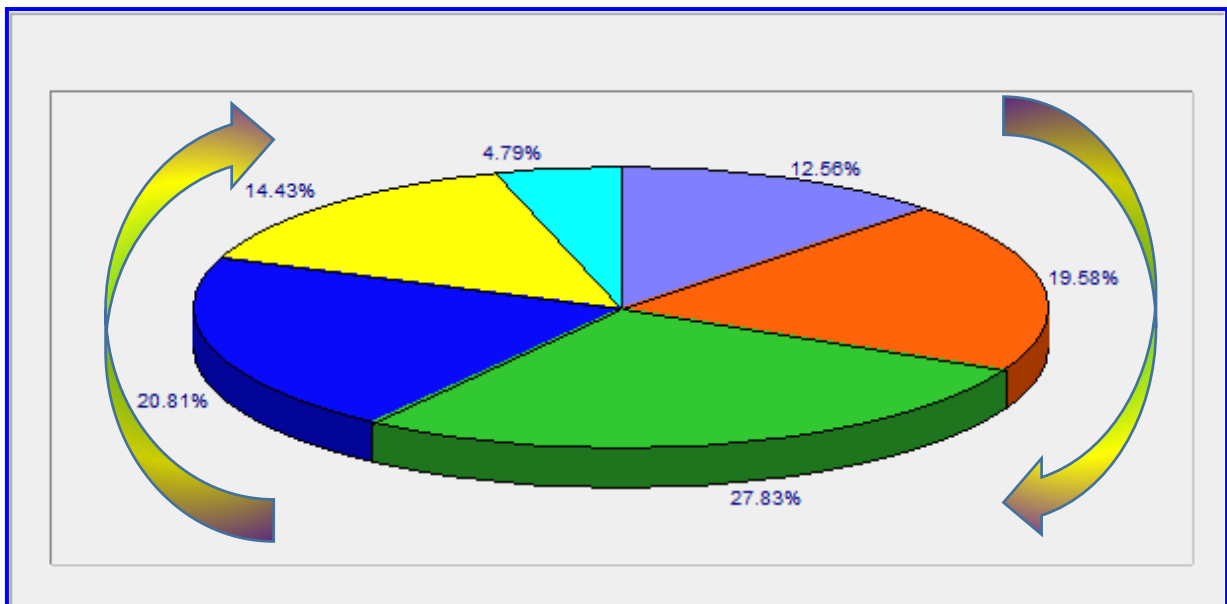
#### GRAFICO DE MANO DE OBRA AL PLAZO ESTABLECIDO

(Expresado en porcentajes)



#### GRAFICO DE MANO DE OBRA AL PLAZO ESTABLECIDO

(Expresado en porcentajes)



## **ANEXO 6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CADA ITEM**

### **ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO REDISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA TORRES DEL POETA**

#### **1. EXCAVACIÓN DE ZANJAS TERRENO SEMIDURO (MANUAL)**

##### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.**

Excavación de zanjas para malla de tierra hasta una profundidad de 0,80 m, en suelo de arcilla semidura, con medios manuales, y acopio en los bordes de la excavación.

##### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO.**

Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros.

##### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LOS ÍTEMS DEL SOPORTE.**

Se comprobará la posible existencia de servidumbres, elementos enterrados, redes de servicio o cualquier tipo de instalaciones que puedan resultar afectadas por las obras a iniciar. Se dispondrá de la información topográfica y geotécnica necesaria, recogida en el correspondiente estudio geotécnico del terreno realizado por un laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, y que incluirá, entre otros datos: tipo, humedad y compacidad o consistencia del terreno. Se dispondrán puntos fijos de referencia en lugares que puedan verse afectados por la excavación, a los cuales se referirán todas las lecturas de cotas de nivel y desplazamientos horizontales y verticales de los puntos del terreno. Se comprobará el estado de conservación de los edificios medianeros y de las construcciones próximas que puedan verse afectadas por las excavaciones.

##### **DEL CONTRATISTA.**

Si existieran instalaciones en servicio que pudieran verse afectadas por los trabajos a realizar, solicitará de las correspondientes compañías suministradoras su situación y, en su caso, la solución a adoptar, así como las distancias de seguridad a tendidos aéreos de conducción de energía eléctrica. Notificará al director de la ejecución de la obra, con la antelación suficiente, el comienzo de las excavaciones. En caso de realizarse cualquier tipo de entibado del terreno, presentará al director de la ejecución de la obra, para su aprobación, los cálculos justificativos de la solución a adoptar.

##### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

##### **FASES DE EJECUCIÓN.**

Replanteo general y fijación de los puntos y niveles de referencia. Colocación de las camillas en las esquinas y extremos de las alineaciones. Excavación en sucesivas franjas horizontales y extracción de tierras. Refinado de fondos y laterales a mano, con extracción de las tierras. Acopio de los materiales excavados en los bordes de la excavación.

##### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

El fondo de la excavación quedará nivelado, limpio y ligeramente apisonado.

### **CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Las excavaciones quedarán protegidas frente a filtraciones y acciones de erosión o desmoronamiento por parte de las aguas de escorrentía. Se tomarán las medidas oportunas para asegurar que sus características geométricas permanecen inamovibles. Mientras se efectúe la consolidación definitiva de las paredes y fondo de las excavaciones se conservarán los entibados realizados, que sólo podrán quitarse, total o parcialmente, previa comprobación del director de la ejecución de la obra, y en la forma y plazos que éste dictamine.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO.**

Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros y sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados, ni el relleno necesario para reconstruir la sección teórica por defectos imputables al Contratista. Se medirá la excavación una vez realizada y antes de que sobre ella se efectúe ningún tipo de relleno. Si el Contratista cerrase la excavación antes de conformada la medición, se entenderá que se aviene a lo que unilateralmente determine el director de la ejecución de la obra.

## **2. PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE MALLA DE TIERRA**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.**

Conductor de tierra formado por cable rígido desnudo de cobre trenzado, de 70 mm<sup>2</sup> de sección. Incluso uniones realizadas con soldadura exotérmica, grapas y bornes de unión. Totalmente montado, conexionado y probado

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO.**

Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.

### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LOS ÍTEMS DEL SOPORTE.**

Se comprobará que su situación y recorrido se corresponden con los de Proyecto, y que hay espacio suficiente para su instalación. Se comprobarán las separaciones mínimas de las conducciones con otras instalaciones.

### **FASES DE EJECUCIÓN.**

Replanteo del recorrido. Tendido del conductor de tierra. Conexionado del conductor de tierra mediante soldadura exotérmica.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO.**

Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto

## **3. PROVISIÓN Y TRATAMIENTO CON GEO GEL8+ LA MALLA DE TIERRA**

### **RENDIMIENTO DE UNA DOSIS DE GEO GEL 8+ DE 7 KILOS.**

La dosificación de GEO GEL8+ es la misma en ambos casos 7 kilos. Por cada 3 metros lineales de conductor de cobre la diferencia en el uso del conductor de este es más económica que la barra. Además, por existir mayor superficie de contacto entre el conductor y GEO GEL 8+, el rendimiento aumenta considerablemente, así como el costo de instalación. No es necesario mano de obra especializada, ni herramientas especiales. En casos excepcionales donde la resistividad del terreno sea muy alta, se pueden usar dosis mayores que las indicadas o mayor número de puestas a tierra, esto dependerá de la resistencia eléctrica que se desea obtener.



**RECOMENDACIÓN.**

Si bien es cierto GEO GEL 8+ produce ahorros significativos, ya que permite economías en la construcción de puestas a tierra sin que esto implique el NO cumplimiento de normas.

**RESISTIVIDAD.**

Cuando menor sea la resistividad del terreno, tanto más fácilmente se pueden alcanzar valores bajos para la resistencia de la instalación de tierra.

**4. PROVISIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE CÁMARAS DE INSPECCIÓN****CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Cámara de inspección de conexión eléctrica, de hormigón, sin fondo, registrable, de 30x30x30 cm de medidas interiores, con paredes rebajadas para la entrada de cables , capaz de soportar una carga de 400 kN, y tapa de aterramiento de aluminio fundido, de 39,5x38,5 cm, para cámara de inspección de conexión eléctrica, capaz de soportar una carga de 125 kN.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO****CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LOS ÍTEMS DEL SOPORTE.**

Se comprobará que la ubicación se corresponde con la de Proyecto.

**PROCESO DE EJECUCIÓN****FASES DE EJECUCIÓN.**

Replanteo. Construcción de la cámara de inspección. Colocación de la tapa y los accesorios.

**CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

Será accesible.

**CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Se protegerá frente a golpes y obturaciones. Se tapanán todas las cámaras de inspección para evitar accidentes.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto

**5. PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE TABLERO METÁLICO Y BARRA DE COBRE.****CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Red de equipotencialidad conductor rígido de cobre de 70 mm<sup>2</sup> de sección, conectando a tierra y a la barra de equiponcialidad. Totalmente montada, conexionada.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.

**CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LOS ÍTEMS DEL SOPORTE.**

Se comprobará que su situación y recorrido se corresponden con los de Proyecto, y que hay espacio suficiente para su instalación.

**PROCESO DE EJECUCIÓN**

**FASES DE EJECUCIÓN.**

Replanteo. Conexión del cable y la línea de enlace. Montaje del punto de puesta a tierra. Trazado de la línea principal de tierra. Sujeción. Trazado de derivaciones de tierra. Conexión a masa de la red.

**CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

Los contactos estarán debidamente protegidos para garantizar una continua y correcta conexión.

**CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Se protegerán todos los elementos frente a golpes, materiales agresivos, humedades y suciedad.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

**6. RELLENO Y COMPACTADO DE ZANJAS**

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Relleno principal de zanjas para instalaciones, con tierra seleccionada procedente de la propia excavación y compactación en capas sucesivas de 20 cm de espesor máximo con bandeja vibrante de guiado manual.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto.

**PROCESO DE EJECUCIÓN**

**FASES DE EJECUCIÓN.**

Extendido del material de relleno en capas de espesor uniforme. Humectación o desecación de cada capa.

**CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

Las tierras o agregados de relleno habrán alcanzado el grado de compactación adecuado.

**CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Las tierras o agregados utilizados como material de relleno quedarán protegidos de la posible contaminación por materiales extraños.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá, en perfil compactado, el volumen realmente ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.

## ANEXO 7. AVANCE DE LA OBRA EN CONSTRUCCION SEGÚN LOS AÑOS



**Figura 7. 1.** *Junio 7 2013*



**Figura 7. 2.** *Enero 2014*



**Figura 7. 3.** *Mayo 2015*



**Figura 7. 4.** *Octubre 2015*



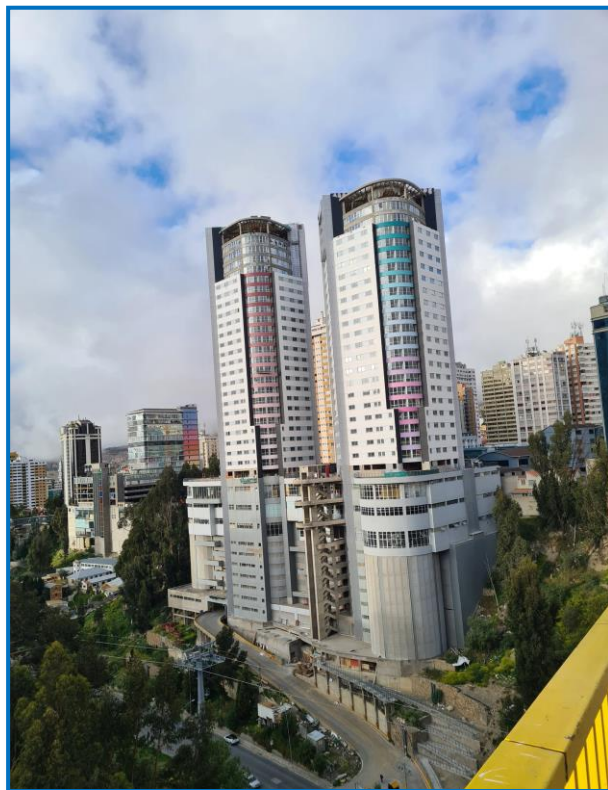
**Figura 7. 5.** *Diciembre 2016*



**Figura 7. 6.** *Mayo 2017*



**Figura 7. 7.** *Junio 2018*



**Figura 7. 8.** *octubre 2022*