

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y
AMBIENTAL**

CARRERA PROFESIONAL INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN
TRUJILLO SUR 138KV EN LA CIUDAD DE TRUJILLO, REGIÓN
LA LIBERTAD”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

PEÑA GAMBOA, JIMMY ERIC

**Villa El Salvador
2016**

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres y a mi familia, que han sido parte fundamental para el desarrollo de mis estudios, a mis profesores que me han formado a lo largo de mi carrera universitaria, no solo en el aspecto profesional sino también en formar a un buen ser humano.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a mis padres que con sus gran esfuerzo, apoyo, enseñanzas y ejemplos de superación han sido el eje fundamental de todo el éxito obtenido, cultivando en mi sus principios y ética para ser un gran profesional. A mis hermanos y familiares que siempre me apoyaron gracias a todos ustedes. A mis profesores que fueron los que me dotaron de todo el conocimiento y me dieron una sólida base para estar a la par en el mercado laboral, a mis compañeros con los que viví muchas experiencias, y a todas esas personas que siempre confiaron en mí.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la realidad Problemática.....	9
1.2. Justificación del Problema.....	10
1.3. Delimitación del Proyecto.....	10
1.4. Formulación del Problema.....	12
1.5. Objetivos.....	12
1.5.1. Objetivo General.....	12
1.5.2. Objetivos Específicos.....	13
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	15
2.2. Bases Teóricas.....	18
2.3. Marco Conceptual.....	23
CAPITULO III: DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA	
3.1. Análisis del Modelo.....	30
3.1.1. Metodología y Equipo.....	30
3.1.2. Análisis de la Medida.....	31
3.2. Diseño del Sistema.....	37
3.2.1. Corrientes de Corto Circuito.....	37
3.2.2. Procesamiento de Datos.....	38
3.3. Revisión y Consolidación de Resultado.....	49
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional -SEIN DIC-2013.	11
Figura 1.2.	Área de Ampliación S.E Trujillo Sur.....	11
Figura 2.1.	Diagrama de flujo para el diseño de una Malla de Puesta a Tierra.....	19
Figura 2.2.	Método de Wenner.....	21
Figura 2.3.	Distribución de los Puntos de Medición en los cuatro ejes...	21
Figura 2.4.	Diagrama que ilustra el concepto físico de la resistividad....	24
Figura 2.5.	Tensión de paso experimentada por una persona ubicada dentro de la subestación.....	26
Figura 2.6.	Tensión de toque experimentada por una persona en contacto con un elemento activo de la subestación.....	27
Figura 3.1.	Distribución de los electrodos de forma puntual Según el Método Werner.....	30
Figura 3.2.	Calicata N°2 Realizada el 16 de Abril del 2013 ubicada en la S.E. Trujillo Sur.....	32
Figura 3.3.	Medición de la Resistividad - S.E. Trujillo Sur.....	32
Figura 3.4.	Perfiles de la resistividad Media.....	34
Figura 3.5.	Curva $\rho(a) \times a$ en escala logarítmica.....	35
Figura 3.6.	Curva patrón del método de YOKOGAMA.....	36

CUADRO

Cuadro 1	Presupuesto final del proyecto	49
----------	--------------------------------	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Resistencia mutua medida (Ω).....	33
Tabla 2	Resistividad Media calculada ($\Omega.m$).....	33
Tabla 3	Niveles de corto circuito (Dato Proporcionado por la empresa HIDRANDINA).....	38

INTRODUCCIÓN

La empresa HIDRANDINA S.A., que ha encargado a la empresas, Promotora de Proyectos S.A.C. la elaboración del Estudio Definitivo del Proyecto “Línea de Transmisión 138 kV SE Trujillo Nor Oeste – SE Trujillo Sur”. La Línea de Transmisión se encuentra ubicada en el Departamento de La Libertad, Provincia de Trujillo, en la ciudad de Trujillo y tiene una longitud de 12.8 Km. Esta línea de transmisión cerrara el sistema eléctrico en anillo en 138kV en la ciudad de Trujillo, aliviando las líneas de transmisión congestionadas.

En el diseño se consideró la infraestructura existente en las subestaciones en operación mencionadas generando en particular el estudio del diseño de la malla de puesta a tierra necesaria para el nuevo dimensionamiento de las subestaciones mencionadas, basado en las recomendaciones de las normativas peruanas de electricidad y en muy particular en la norma **ANSI / IEEE std 80-2000**

1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALDAD PROBLEMÁTICA

La creciente demanda de suministro eléctrico en el distrito de Trujillo, está obligando a proyectar nuevas instalaciones eléctricas, como lo considera el Estudio para la Determinación del Plan de Inversiones en Transmisión para el Área de Demanda 3 – Regulación para el Periodo 2013 – 2017 publicado por Osinergmin mediante informe N° 0276-2012-GART de julio del 2012, además de los últimos informes del Osinergmin: Informe N° 0460-2012-GART y resolución N° 217-2012-OS/CD para la mejora de su sistema de distribución eléctrica en la ciudad y su atención a la creciente demanda eléctrica de las subestaciones eléctricas asociadas

A todo esto la empresa HIDRANDINA S.A. en un tiempo prolongado a las recomendaciones brindadas por Osinergmin, proyecta en su plan de operativo y presupuesto 2015, la reconfiguración de las redes de MT, con transferencia de cargas entre SET, que busca el radio óptimo (centro de carga) de sus centros de transformación en la unidad de negocio La Libertad, SET Trujillo Sur, Trujillo Noroeste, Trujillo Norte y Porvenir.

En consecuencia la empresa HIDRANDINA S.A., elaborar un estudio para satisfacer la nueva demanda de energía, con un proyecto “Línea de Transmisión 138 kV SE Trujillo Nor Oeste – SE Trujillo Sur”. La Línea de Transmisión se encuentra ubicada en el Departamento de La Libertad, Provincia de Trujillo, en la ciudad de Trujillo y tiene una longitud de 12.8 Km. Esta línea de transmisión cerrara el sistema eléctrico en anillo en 138kV en la ciudad de Trujillo, aliviando en forma parcial las líneas de transmisión congestionadas.

Finalmente se debe desarrollar la ampliación de las subestación Trujillo Nor Oeste y Trujillo Sur en equipamiento que permita adecuar a las nueva demanda de energía en la ciudad de Trujillo y adicionalmente en tema de seguridad el proyecto debe contener un nuevo diseño de la malla de puesta a tierra que contemple la existente malla de puesta a tierra y como caso particular la subestación Trujillo Sur siendo de alto

riesgo para personas que interactúan en forma directa o indirecta con la subestación en mención.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo busca difundir la norma ANSI/IEEE Standard 80 a los profesionales de ingeniería mecánica eléctrica, donde se muestra en forma esencial, la construcción de sistemas de puesta a tierra en las subestaciones para brindar la seguridad del personal que ahí labora y del público en general en cuanto a los residentes de la zona en donde la subestación este ubicada y a su vez proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, contribuyendo a un buen desempeño de los sistemas de protección y su correcta operación.

El sistema de puesta a tierra basado en esta norma técnica brinda un diseño apropiado nos brindando:

- Protección contra las descargas atmosféricas en lugares que puedan ocasionar algún accidente.
- Protección de sobretensiones contra los equipos eléctricos.

1.3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto tiene como delimitación brindar los resultado del diseño de la nueva malla de puesta a tierra que se empalmará con la malla existente, como parte de los diseños de ingeniería de obras civiles y electromecánicas para la SE Trujillo Sur 138kV, perteneciente a la empresa HIDRANDINA.

1.3.1. Espacial

La subestación Trujillo SUR se encuentra ubicada en la ciudad de Trujillo, provincia de Trujillo de la región La Libertad, como se muestra en la figura 1.1.

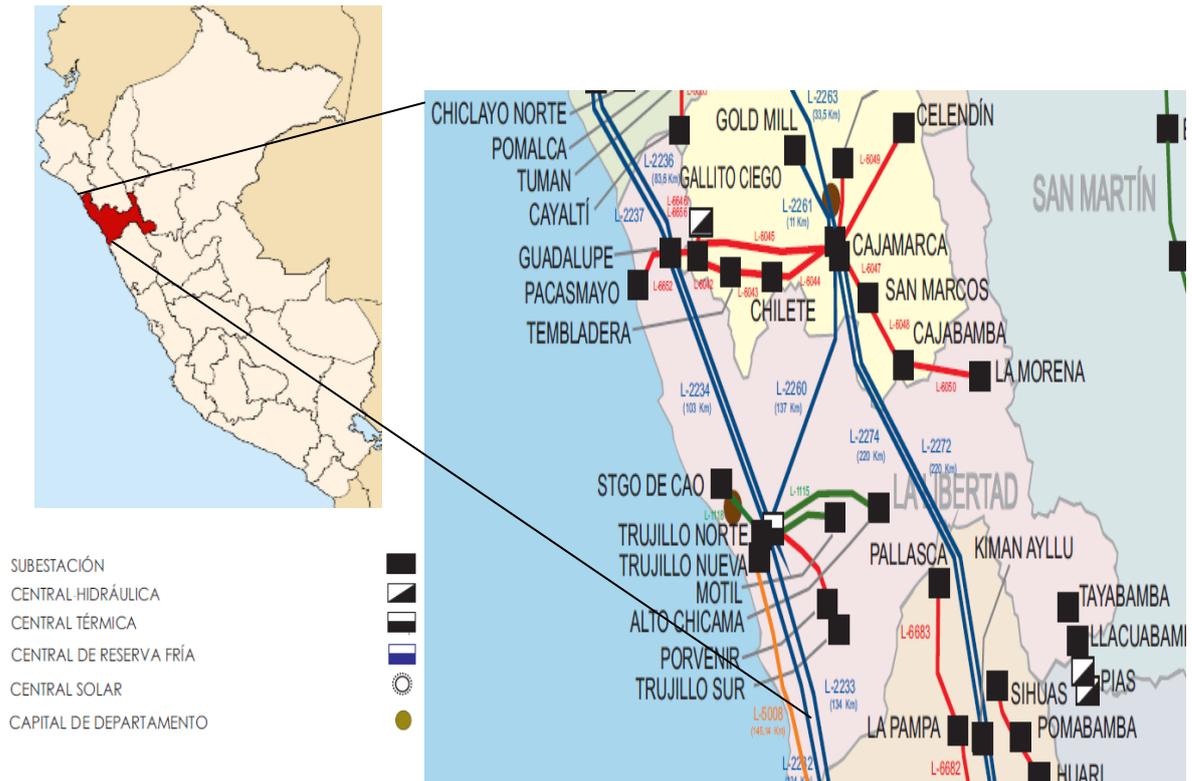


Figura 1.1. Sistema Eléctrico Interconectado Nacional – SEIN (DIC-2013) Anexo B



Figura 1.2. Área de ampliación S.E. Trujillo Sur.

1.3.2. Temporal

El diseño de la malla de puesta a tierra para la subestación Trujillo Sur, se desarrolló con el estudio realizado durante el periodo del 2013, como se observa en la figura 1.2.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. Problema Principal

¿Cómo se desarrolla el diseño de la malla de puesta a tierra de la subestación Trujillo sur 138 kV en la ciudad de Trujillo, región La Libertad?

1.4.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se obtiene el modelado del terreno para el diseño de la malla de puesta a tierra de la subestación Trujillo sur 138 kV en la ciudad de Trujillo, región La Libertad?
- ¿Cómo verificar la distribución de corrientes de falla a tierra para el diseño de la malla de puesta a tierra de la subestación Trujillo sur 138 kV en la ciudad de Trujillo, región La Libertad?
- ¿Cómo se desarrolla el análisis de tensiones de toque y paso en diseño de la malla de puesta a tierra de la subestación Trujillo sur 138 kV en la ciudad de Trujillo, región La Libertad?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

- Desarrollar el diseño de la malla de puesta a tierra de la subestación Trujillo sur 138 kV en la ciudad de Trujillo, región La Libertad.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Obtener el modelado del terreno para el diseño de la malla de puesta a tierra de la subestación Trujillo sur 138 kV en la ciudad de Trujillo, región La Libertad.
- Verificar la distribución de corrientes de falla a tierra para el diseño de la malla de puesta a tierra de la subestación Trujillo sur 138 kV en la ciudad de Trujillo, región La Libertad
- Desarrollar el análisis de tensiones de toque y paso en diseño de la malla de puesta a tierra de la subestación Trujillo sur 138 kV en la ciudad de Trujillo, región La Libertad.

2. CAPITULO II:

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se presentan estudios previos al desarrollo del presente proyecto, así también las principales investigaciones, estudios y propuestas a nivel nacional como internacional.

INTERNACIONAL

- **Caneva Rodríguez, Oswaldo Sergei (2010), con el informe de pasantía: Metodología básica para el diseño de subestaciones eléctricas, Sartenejas Universidad Simón Bolívar.** Se describe a la empresa PDVSA está trabajando en el desarrollo de un nuevo proyecto denominado Plan de siembra Petrolera, que implica tanto la implantación de nuevas subestaciones eléctricas en el país, así como la ampliación de ciertas subestaciones ya existentes. Por ello se contrato los servicios de la empresa de ingeniería Bucros C.A. Para la elaboración de la ingeniería conceptual, básica y de detalle de la implantación de una nueva subestación eléctrica en la región de san tomé denominada S/E Pto 115 Kv y correspondiente a la nueva infraestructura de transmisión contemplada para los años 2007 – 2013. El siguiente informe de pasantía tiene como objetivo describir una base metodológica dl trabajo de diseño de subestaciones eléctricas, donde se descrina la ingeniería básica correspondiente a la capacidad térmica en barras, esfuerzos electromecánicos, distancias mínimas de seguridad y aislamiento, malla de puesta a tierra y apantallamiento de patios y estructuras contra descargas atmosféricas. En la medida de lo posible se describirá por tópico en particular, varias metodologías propuestas por diversas normas con la finalidad de realizar una comparación de sus procedimientos y observar así las diferencias derivadas de su aplicación en el diseño de la nueva subestación PTo 115 KV.
- **Fierro Romero Richard; Flores Hinostrza Mario (2010), con el proyecto final de graduación: Diseño del sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica del nuevo campus de la**

Universidad Politécnica Salesiana- sede Guayaquil, Ecuador. En el presente trabajo se presenta como introducción el trabajo desarrollado a través de objetivos y alcances del proyecto. Se detalla en general los sistemas de puesta a tierra, analizarlos y tener la certeza de cómo se comportan, para asegurar a todos los equipos involucrados y por supuesto a los seres humanos. En la subestación eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil se presente el diseño la malla puesta a tierra.

- **Astudillo Ochoa Cristhian Rodrigo; Cajamarca Curillo Marco Vinicio (2012), con la tesis: cálculo de sistemas de puesta a tierra aplicación de la norma IEEE 80-2000, Universidad de Cuenca, Ecuador.** El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un software que nos permita encontrar los parámetros eléctricos como lo son, tensiones de toque y de paso admisibles, resistencia de puesta a tierra, elevación del gradiente de potencial de tierra, entre otros, que conforman un sistema de puesta a tierra, aplicando la norma IEEE 80-2000, la cual nos permite obtener parámetros que sean seguros para las personas.

La norma particularmente es utilizada para el diseño de mallas de puesta a tierra de subestaciones eléctricas, por tal motivo es necesario realizar estudios de cortocircuitos y de protecciones eléctricas. Con el fin de obtener los datos necesarios de corriente de falla simétrica, tiempo de actuación de los relés de protección contra fallas, la impedancia subtransitoria que ingresará a la subestación eléctrica; cuya información es necesaria para el funcionamiento del software desarrollado en la presente tesis.

Estudios de resistividad de terreno, geometría de la malla que desee realizar son otros factores importantes para el cálculo de los parámetros antes mencionados.

El software también nos permite encontrar los parámetros eléctricos de sistemas de puesta a tierra, no solo para subestaciones

eléctricas, también para otro tipo aplicación como podría ser edificios, industrias, etc.

NACIONAL

- **Fernández Quiñónez Ever Ronald (2007), con la tesis: Supervisión, monitoreo y control de la subestación Trujillo Sur, UNI, Lima - Peru.** Con la finalidad de evolucionar en la mejora permanente de la calidad de servicio eléctrico y dar cumplimiento a las exigencias que la ley manda en la Norma Técnica de Operación en Tiempo Real de los Sistemas Interconectados (NTOTRSI), el grupo Distriluz tomó la decisión de implementar, los Centros de Control de Operaciones que comprenden el suministro de Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición Datos (SCADA) y un Sistema de Comunicaciones para sus Empresas Distribuidoras.

La implementación del sistema SCADA en HIDRANDINA abarca a la subestación Trujillo Sur, permitiendo mejorar la performance de la operación y gestión del sistema eléctrico disponiendo de información en tiempo real, confiable y seguro. Almacena la información en su sistema histórico de datos y se comunica con los centros de control a través del protocolo ICCP, transmitiendo y recibiendo las señales requeridas del SEIN.

Al final del presente proyecto tendremos un sistema que maneje el reporte de alarmas, telecomandos, mediciones, reporte de perturbaciones y eventos en tiempo real, permitiendo al operador de la subestación Trujillo Sur, contar con todas las herramientas necesarias para realizar una eficiente operación del sistema eléctrico.

- **Moreno Orihuela Denis Nisaes (2010), con la tesis: Implementación de ejecutables java para el análisis de potenciales eléctricos y resistencia de dispersión en suelos de subestaciones AC. de alta tensión, UNI, Lima-Peru.** Donde se concluye que con el apoyo de la implementación de ejecutables java

se estableció los límites seguros de las diferencias de potencial que puedan existir en una subestación y sistemas eléctricos. Así las personas y sistemas eléctricos no estarán expuestos al peligro bajo condiciones de falla.

Se revisó las normas internacionales de sistemas puesta a tierra de subestaciones y sistemas eléctricos con referencia especial a la seguridad y criterios para el diseño, estas revisiones originó más de una conclusión y que se mencionan a partir del inciso f) hasta el inciso j).

Se construyó el procedimiento técnico que consta de 12 etapas ó pasos muy bien detallados mediante el diagrama de bloques para el diseño seguro del sistema puesta a tierra en base a los criterios de diseño descritos en el capítulo 3. El diagrama de bloques del procedimiento técnico se ilustra en el capítulo 9.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Generalidades

La implementación de un sistema de puesta a tierra adecuado está dirigida a lograr la eficiente coordinación con el sistema de potencia, protecciones así como a garantizar la seguridad del personal y de los equipos dentro del área de influencia de la instalación de la malla, donde puedan quedar expuestos a tensiones peligrosas en el caso de fallas a tierra, cumpliendo con los criterios de seguridad (requerimientos de potenciales de toque y de paso) establecidos en la norma ANSI/IEEE Std. 80 “IEEE Guide for Safety in A.C. Substation Grounding”.

Se verifica que el valor de resistencia de puesta a tierra esté dentro de los rangos aceptados por la norma ANSI/IEEE Std. 80 “IEEE Guide for Safety in A.C. Substation Grounding” y que se garantice una referencia de tensión cero aceptable y un adecuado retorno de corrientes de falla a tierra.

En el informe se presenta la metodología utilizada en el diseño de la malla de puesta a tierra, se analizan los resultados de la resistividad del terreno y se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio realizado.

2.2.2. Procedimiento de diseño

La normativa vigente ANSI/IEEE Std. 80 "IEEE Guide for safety in A.C. Substation Grounding" [1]. establece los pasos a seguir para el diseño de las instalaciones de puesta a tierra en subestaciones estas a continuación. se detallan en función a un diagrama de flujo como se muestra en la figura 2.1.

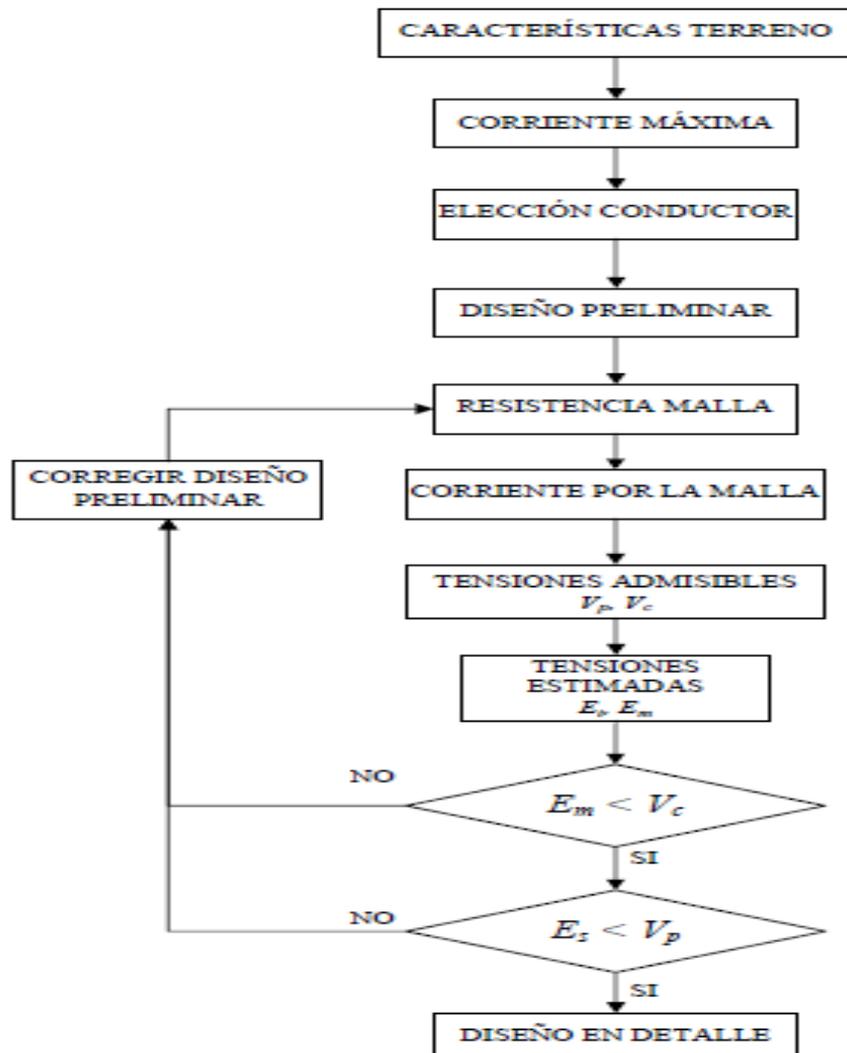


Figura 2.1. Diagrama de flujo para el diseño de una malla de puesta a tierra [1].

Del diagrama de flujos de la figura 2.1. se observa los siguientes pasos a desarrollar:

- a. Investigación de las características del suelo.
- b. Determinación de corriente máxima de puesta a tierra y tiempo de despeje.
- c. Diseño preliminar de puesta a tierra.
- d. Calculo de la resistencia de sistema de tierra.
- e. Calculo de tensiones de paso en el exterior de la instalación.
- f. Calculo de tensiones aplicadas.
- g. Investigar tensiones transferibles al exterior (Tuberías, rieles, vallas, cables de neutro, etc.)
- h. Ajuste de diseño preliminar.

A. EL MODELO DE LAS DOS CAPAS

El método de las dos capas consiste básicamente en la modelación del suelo en dos capas de resistividad uniforme con base en los valores de resistividad tomados en el terreno. Este modelo sirve para estudiar el comportamiento del sistema de puesta a tierra frente a fallas en el sistema de potencia.

B. MEDICIONES DE RESISTIVIDAD

Para realizar las mediciones de resistividad del terreno, se siguió el método de Wenner o de los cuatro terminales, recomendado por la Norma ANSI/IEEE Std 81 "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface potentials of a Ground System". El modelo de suelo así caracterizado permite realizar las simulaciones necesarias para el óptimo diseño de las puestas a tierra.

- Método de Wenner o de los cuatro puntos

En el método de Wenner o de los cuatro terminales, los electrodos se disponen en línea recta espaciados uniformemente, tal como se muestra en la figura 2.2.

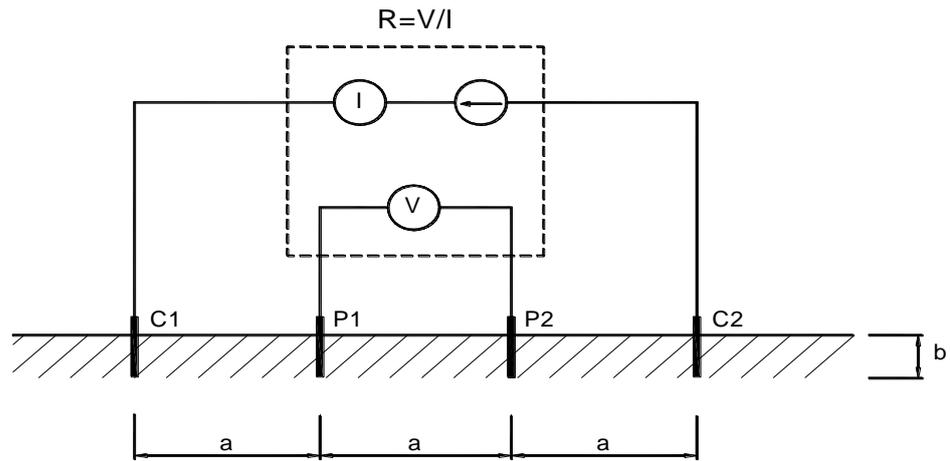


Figura 2.2. Método de Wenner

La medida de la resistividad del suelo se hace inyectando corriente a través de dos electrodos dispuestos en línea recta y midiendo la tensión que aparece entre otros dos electrodos intermedios. La relación entre la tensión y la corriente proporciona el valor de resistencia medida.

El espaciamiento entre electrodos es uniforme así como la profundidad de enterramiento de los electrodos, que debe ser menor al 5% de la separación entre electrodos para que puedan ser considerados electrodos puntuales.

Las medidas se realizaron en varios puntos a fin de cubrir toda el área de la malla, los datos tomados en campo fueron en cuatro ejes según lo recomendado como se muestra en la figura 2.3.

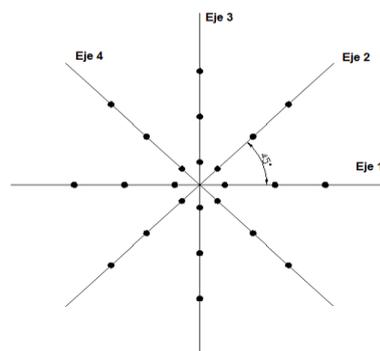


Figura 2.3. Distribución de los puntos de medición en los cuatro ejes.

La resistividad aparente del suelo a una profundidad dada es la resistividad medida para un espaciamiento entre electrodos igual a dicha profundidad y está dada por la siguiente ecuación:

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

Donde,

ρ : Resistividad del suelo [$\Omega \cdot m$]

R: Resistencia mutua medida [Ω]

a: Separación entre electrodos [m]

b: Profundidad de enterramiento de los electrodos [m]

Consideraciones para electrodos puntuales ($a > 20b$)

De debe aplicar la formula simplificada:

$$\rho = 2\pi R a$$

Obtenidas las características del lugar de asentamiento hay que definir a qué tipo de faltas puede estar sometida la subestación siendo estas:

- La corriente de cortocircuito simétrica a tierra en el punto de interés.
- El factor de asimetría de la falta.
- La arquitectura de la red eléctrica, incluyendo aspectos como el régimen de neutro, y el modo de interconexión de los circuitos de tierra de las diferentes instalaciones de la red.
- Las posibles ampliaciones de la red eléctrica.

Detallamos a continuación.

C. CORRIENTE MÁXIMA DE CORTOCIRCUITO

A los efectos de determinar la corriente de cortocircuito a utilizar para el cálculo de la malla de tierra, se deben considerar los cortocircuitos a tierra en los diferentes niveles de tensión que involucran la instalación a diseñar, prestando atención al sistema de aterramiento de neutro tanto de la fuente (o las fuentes) y el sistema de aterramiento de la propia instalación cuya malla se diseñara.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

En este apartado se incluyen las definiciones de términos y expresiones que son esenciales para la comprensión del presente proyecto de ingeniería caso el cual se detallan a continuación Para definiciones adicionales refiérase al IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms [B21]:

- Puesta a tierra: Conjunto constituido por una o más tomas de tierras interconectadas y sus conductores de tierra correspondientes, conectados al borne principal de tierra.
 - a. Toma de tierra: Se entiende por toma a tierra la parte de la instalación encargada de canalizar, absorber y disipar las corrientes de falla o de origen atmosférico que son conducidas a través de las líneas principales de tierra.
 - b. Electrodo de tierra: Parte conductora que puede estar embutida en el suelo o en un medio conductor particular, por ejemplo cemento, en contacto eléctrico con la Tierra.
 - c. Conductor de tierra: Conductor de protección que une el borne principal de tierra con la toma de tierra.
 - d. Borne principal de tierra: Borne o barra que forma parte de la puesta a tierra de protección de una instalación, previsto para la conexión a tierra de los conductores de protección, incluidos los conductores de conexión equipotencial.
- Masa: Parte conductora de un equipamiento eléctrico que puede ser tocada y que normalmente no está bajo tensión pero que puede ser

puesta bajo tensión en caso de falla del aislamiento principal. No se considera masa una parte conductora de un equipamiento eléctrico que solo puede ser puesta bajo tensión a través de otra masa.

- Tierra local: Parte de la Tierra en contacto eléctrico con una toma de tierra, y cuyo potencial eléctrico no es necesariamente igual a cero.
- Tierra de referencia (Tierra): Parte de la tierra considerada como conductora cuyo potencial eléctrico es considerado, por convención, igual a cero, estando fuera de la zona de influencia de toda instalación de puesta a tierra. La tierra de referencia también es denominada “tierra lejana”.
- Resistencia de puesta a tierra: Resistencia entre el borne principal de tierra y la tierra de referencia.
- Resistividad específica de tierra: es la resistencia eléctrica específica del suelo en consideración; usualmente se representa como la resistencia de un cubo de arista unitaria, medida entre dos caras opuestas de él como observamos en la figura 2.4. En el sistema internación de unidades su unidad será $\text{ohm}\cdot\text{m}$.

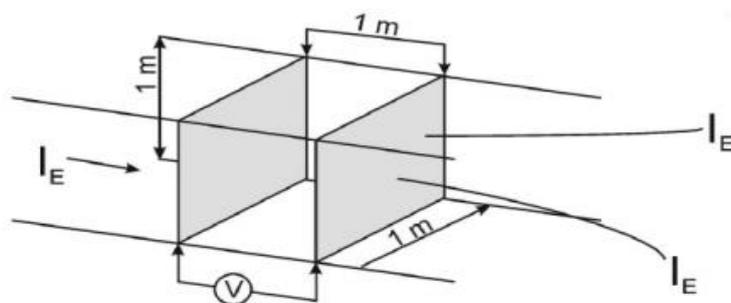


Figura 2.4. Diagrama que ilustra el concepto físico de la resistividad ρ [2].

- Tierra de referencia: Es la parte del terreno, en especial sobre la superficie, situado fuera del área de influencia del electrodo de tierra considerado, es decir, entre dos puntos cualesquiera entre los que no existe una tensión perceptible, como resultado del flujo de corriente de puesta a tierra a través de este electrodo. Se considera que el potencial de la tierra de referencia es cero.

- Tensión de puesta a tierra (VE): Es la tensión que aparece entre el sistema de puesta a tierra y la tierra de referencia, cuando un determinado valor de la corriente de tierra fluye a través del sistema de puesta a tierra.
- Potencial superficial de tierra V_x : Es la diferencia de tensión entre un punto x sobre la superficie del terreno y a la tierra de referencia.
- Encerramiento continuo: es el encerramiento de barra en la cual las secciones continuas de la cubierta, a lo largo del mismo conductor de fase están empalmadas para dar una trayectoria eléctricamente continua a la corriente, en toda la longitud del encerramiento. Los empalmes cruzados, que conectan los encerramientos de las otras fases, se hacen sólo en los extremos de la instalación y en algunos pocos puntos intermedios seleccionados.
- Compensación de corriente continua (DC Offset): es la diferencia entre la onda simétrica de corriente y la onda real de corriente durante una condición transitoria del sistema de potencia. Matemáticamente, la corriente real de falla se puede separar en dos partes, una componente alterna simétrica y una componente unidireccional (DC). La componente unidireccional puede ser de cualquier polaridad, pero no cambia de polaridad y decrecerá a alguna velocidad predeterminada.
- Factor de decremento: es un factor de ajuste que se usa conjuntamente con los parámetros de la corriente simétrica de falla a tierra en los cálculos de SPT orientados con seguridad. Determina el equivalente de la onda de corriente asimétrica para una duración de falla dada (t_f), tomado en cuenta para el efecto del "DC offset" inicial y su atenuación durante la falla.
- Malla a tierra: Una placa sólida metálica ó un sistema de conductores desnudos con espacios estrechos que son conectados y con frecuencia colocados a pocas profundidades sobre una rejilla a tierra ó en otros sitios de la superficie de la tierra. Tratando de obtener una extra medida de protección minimizando el peligro a la exposición de altos voltajes de paso ó toque en lugares de

operaciones críticas que frecuentemente usan las personas. Así como el enrejado metálico colocado por debajo ó sobre la superficie del suelo ó una red de alambre colocado directamente bajo el material superficial, son formas comunes de una malla a tierra.

- Circuito de retorno a tierra: es un circuito en el cual la tierra ó un cuerpo conductor equivalente, se utiliza para completar el circuito y permitir la circulación de corriente desde ó hacia la fuente de corriente.
- Tensión de Paso (V_p): Es la diferencia de potencial en la superficie terrestre que experimenta una persona a una distancia de un metro con el pié sin tener contacto con cualquier objeto conectado al SPT. Como se muestra en la figura 2.5.

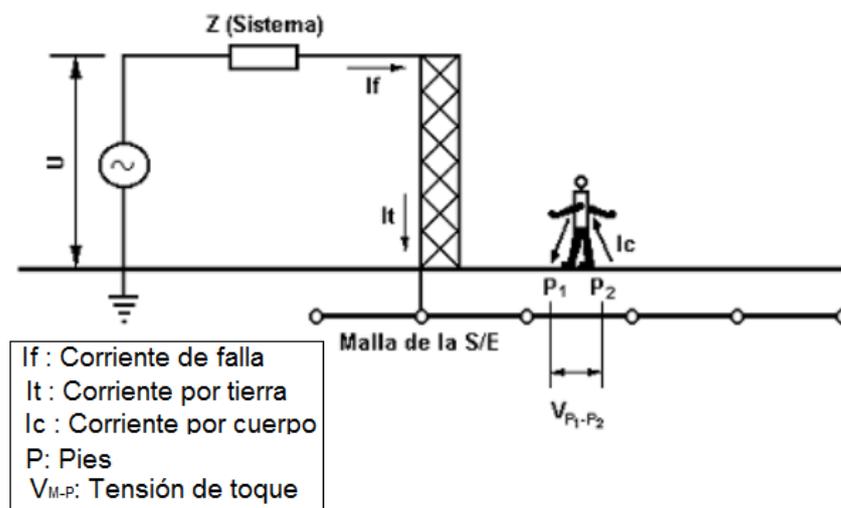


Figura 2.5. Tensión de paso experimentada por una persona ubicada dentro de la subestación [1].

- Tensión de toque o contacto (V_c): es la diferencia de potencial entre la elevación del potencial de tierra (GPR) y el potencial superficial en el punto en donde una persona esta parada mientras al mismo tiempo tiene una mano en contacto con una estructura metálica aterrizada. Como se muestra en la figura 2.6.

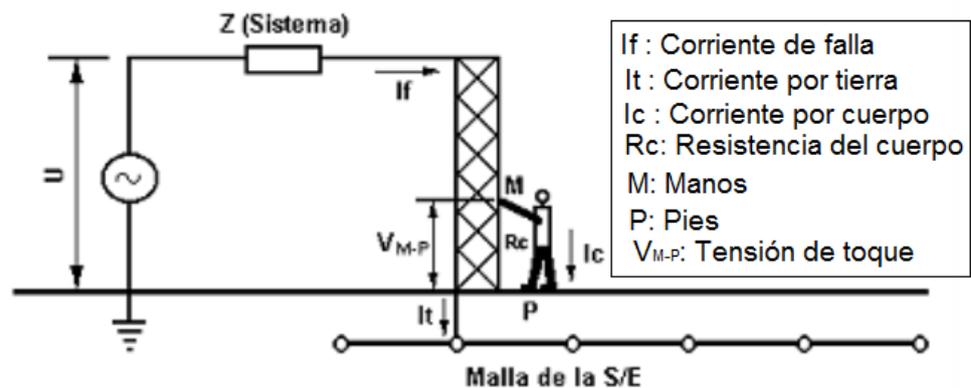


Figura 2.6. Tensión de toque experimentada por una persona en contacto con un elemento activo de la subestación [1].

- Tensión de Malla (V_m): es la máxima tensión de contacto dentro de una malla en una rejilla de tierra.
- Concesionario.- Es el titular de una concesión definitiva de distribución, otorgada al amparo de la ley de Concesiones Eléctricas.
- Contratista.- Como la persona jurídica a la cual el Propietario otorgará el contrato de construcción del Edificio en lo relativo a éste proyecto.
- OSINERGMIN.- Organismo de Supervisión de Inversión de la Energía y Minas.
- Usuario.- Persona natural o Jurídica que hace uso legal del suministro eléctrico correspondiente y, es responsable.
- CNE-Suministro.- Código Nacional de Electricidad Suministro.
- CNE-Utilización.- Código Nacional de Electricidad Utilización.
- NTCSE.- Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos.
- Norma de procedimientos para la elaboración de proyectos y ejecución de obras en sistemas de distribución y sistemas de utilización en media tensión en zonas de distribución Resolución Directoral N° 018-2002-EM/DGE.
- Opciones tarifarias N° 236-2005-OS-CD.

- Norma Técnica Peruana NTP 370.304.2002.
- Reglamento de “Estándares Nacionales de Calidad para Ruido”. DS. N° 085-2003-PCM.

3. CAPÍTULO III:

DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA

3.1. ANÁLISIS DEL MODELO

3.1.1. Metodología y equipo

Para las mediciones de la resistividad del terreno se utilizó un telurómetro digital de cuatro terminales, debidamente calibrado y certificado, el cual entrega un valor medido de alta confiabilidad.

El equipo

- Telurómetro digital Herat tester mTD 20KWe – MEGABRAS.
- Cuatro jabalinas.
- Cables.

Para este fin se emplea el método del **Dr. Frank Wenner**, “**El método de cuatro Terminales**”, el cual describiremos a continuación.

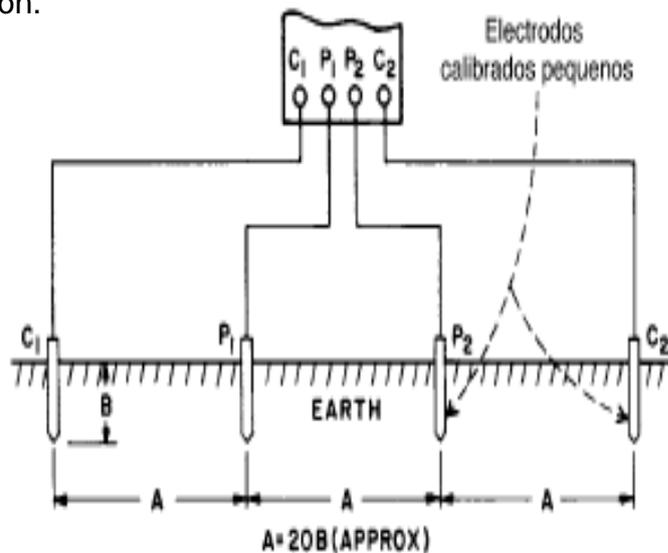


Figura 3.1. Distribución de los electrodos de forma puntual según el método de Wenner.

Las mediciones se efectuarán utilizando el método de Wenner que consiste en clavar cuatro electrodos de exploración, a una profundidad ($A/20$), debiendo estar igualmente espaciados y en línea recta a una distancia (A) como se indica en la figura 3.1.; por los electrodos de los extremos se hace circular una corriente, mientras que en los electrodos intermedios se mide la diferencia de potencial, originada por la resistividad aparente del suelo. Este

método es internacionalmente aceptado en los diseños de los aterramientos de los electroductos aéreos.

Para el diseño de la malla de puesta a tierra se emplea los conceptos y definiciones fundamentales del método especificado en la norma IEEE Std-80; mientras que para el cálculo de la resistividad del terreno se emplea el método de Wenner.

3.1.2. Análisis de las medidas

Las medidas de resistividad del suelo se tomaron en cuatro ejes en el terreno correspondiente al área de la malla donde estará ubicada la nueva bahía en 138kV de la SE. Trujillo Sur – SE como se observa en la figura 2.3.

La figura 3.2. y la figura 3.3. muestran respectivamente los valores de resistencia mutua medida y resistividad media calculada para los diferentes espaciamientos. Se utilizó el método de Wenner para Las medidas tomadas a un espaciamiento de 1, 2, 4 y 8m.

Se calcula la media aritmética de los valores de resistividad eléctrica para cada espaciamiento dado; se procede al cálculo de la desviación de cada medida en relación al valor medio, se debe desplazar todos los valores de la resistividad que tengan un desvío mayor que el 50% en relación a la media; por la media aritmética, hasta llegar a una convergencia del valor medio.



Figura 3.2. Calicata N° 2: Ubicación S.E. Trujillo Sur.



Figura 3.3. Medición de Resistividad - S.E. Trujillo Sur.

Tabla 1. Resistencia mutua medida [Ω].

Espaciamiento (m)	Resistencia eléctrica medida (Ω)			
	eje 1	eje 2	eje 3	eje 4
1	90.30	70.50	81.30	99.70
2	31.40	22.10	21.39	35.30
4	1.25	1.39	1.69	1.48
8	0.19	0.15	0.22	0.17

Tabla 2. Resistencia medida calculada [$\Omega \cdot m$].

Espaciamiento (m)	Calculado ρ ($\Omega \cdot m$)				Desvíos relativos (%)				Resistividad Media	Resistividad Media Recalculada ($\Omega \cdot m$)
	eje1	eje 2	eje 3	eje 4	eje 1	eje 2	eje 3	eje 4		
1	567.4	443.0	510.8	626.4	5.68	17.50	4.86	16.68	536.90	536.90
2	394.6	277.7	268.8	443.6	13.98	9.77	22.35	28.14	346.17	346.17
4	31.4	34.9	42.5	37.2	13.94	4.30	16.35	1.89	36.51	36.51
8	9.6	7.5	11.1	8.5	4.11	17.81	20.55	6.85	9.17	9.17

La resistividad media presenta valores relativamente altos, esto debido a que el lugar de donde se tomaron los datos presentó un tipo de terreno seco.

Con la resistividad media para cada espaciamiento se tendrá los valores definitivos para graficar la curva ρ x a , necesaria para aplicar los métodos de estratificación del suelo.

En la 3.4. Se presenta la gráfica de resistividad media medida para los diferentes espaciamientos del terreno.

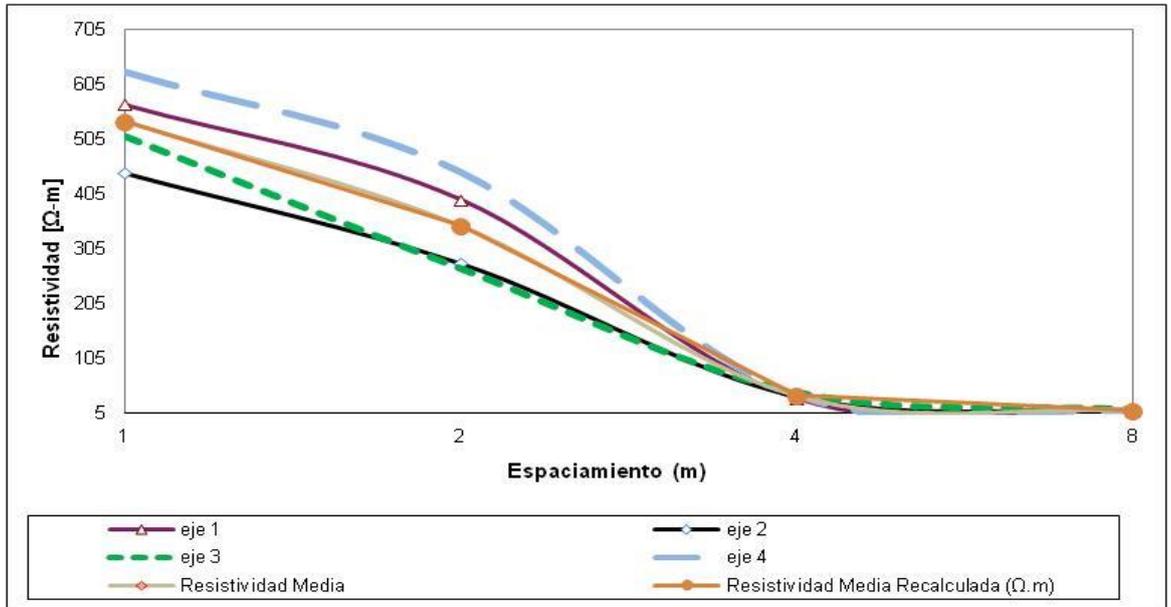


Figura 3.4. Perfiles de resistividad Media

La resistividad media presenta variaciones con el espaciamiento, por lo cual se considera la aplicación del modelo de dos capas.

3.1.3. Obtención del modelo de dos capas

Para efectos de la modelación del suelo en dos capas se emplea el método gráfico de YOKOGAWA, el cual se basa en curvas paramétricas de la relación:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Donde:

ρ_1 : Resistividad de la primera capa

ρ_2 : Resistividad de la segunda capa

Con este método se determina la profundidad de la primera capa (h) y la segunda capa se considera de profundidad infinita esto utilizando la curva patrón.

Inicialmente se calculó la curva de valores de resistividad vs espaciamiento, $\rho(a) \times a$ en escala logarítmica como se observa en la figura 3.5.

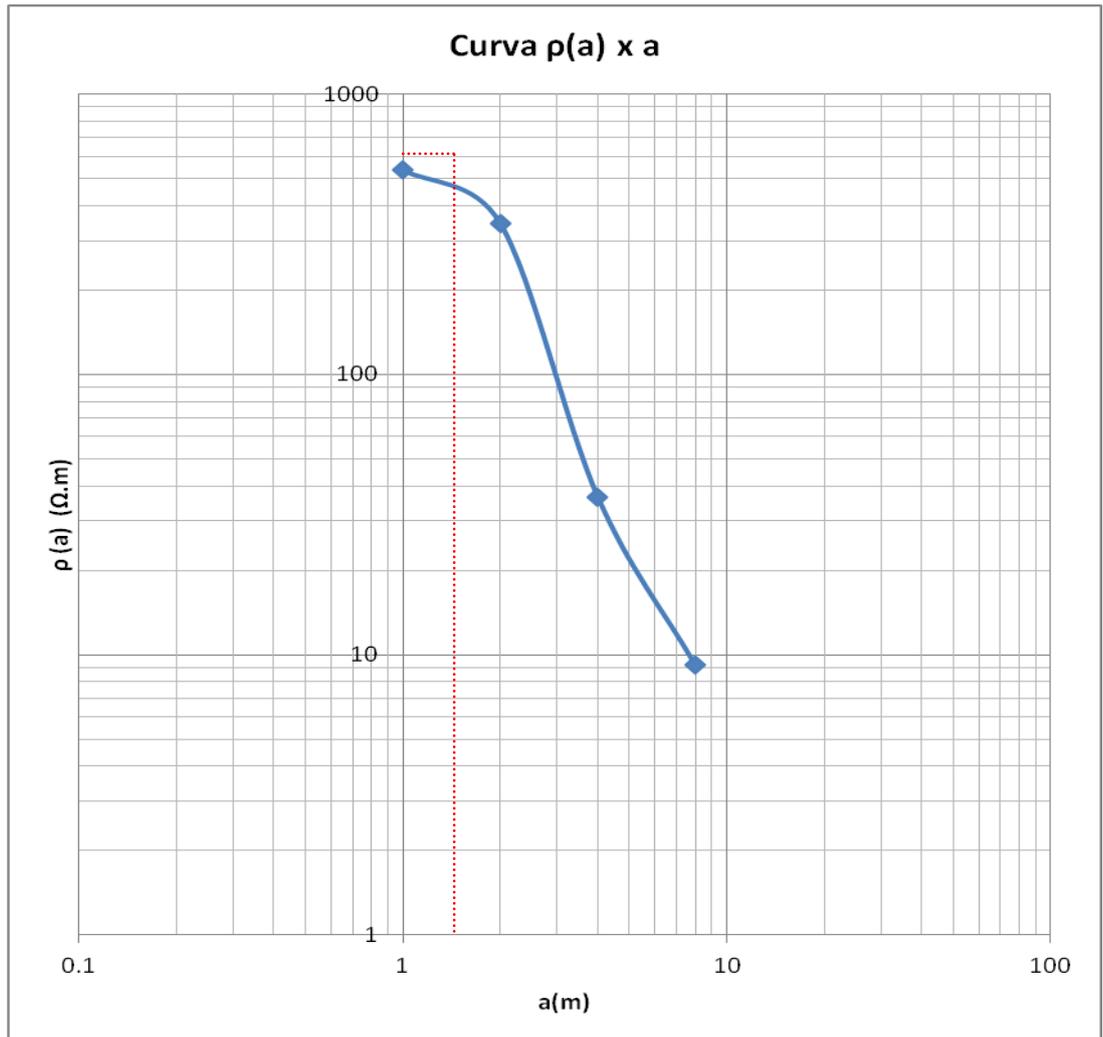


Figura 3.5. Curva $\rho(a)$ x a en escala logarítmica

El método estima la profundidad de la primera capa, mientras que los valores de resistividad son seleccionados mediante inspección. A continuación se muestra el procedimiento seguido paso a paso:

- Trazada la Curva $\rho(a)$ x a en escala logarítmica se divide en tramos ascendente y descendente.
- Desplazar el primer tramos de la curva $\rho(a)$ x a sobre la curva PATRON hasta obtener el mejor encaje posible, lo cual nos da la relación $\rho_2/\rho_1=1/20$ como se observa en la figura 3.6.
- Marcar en la grafica de la curva $\rho(a)$ x a , el punto de origen ($\rho_2/\rho_1=1$ y $h/a=1$) de la curva PATRON, obteniéndose el polo O1.

- Leer en el punto del Polo O1, los valores de ρ_1 y h_1 . En la figura 3.5. con lo cual se obtiene un valor $\rho_1=547\Omega\cdot m$, $h_1=1.5$.
- Finalmente calcular ρ_2 de la relación ρ_2/ρ_1 obtenida en el paso anterior; $\rho_2=547*(1/20)=27.4 \Omega\cdot m$.

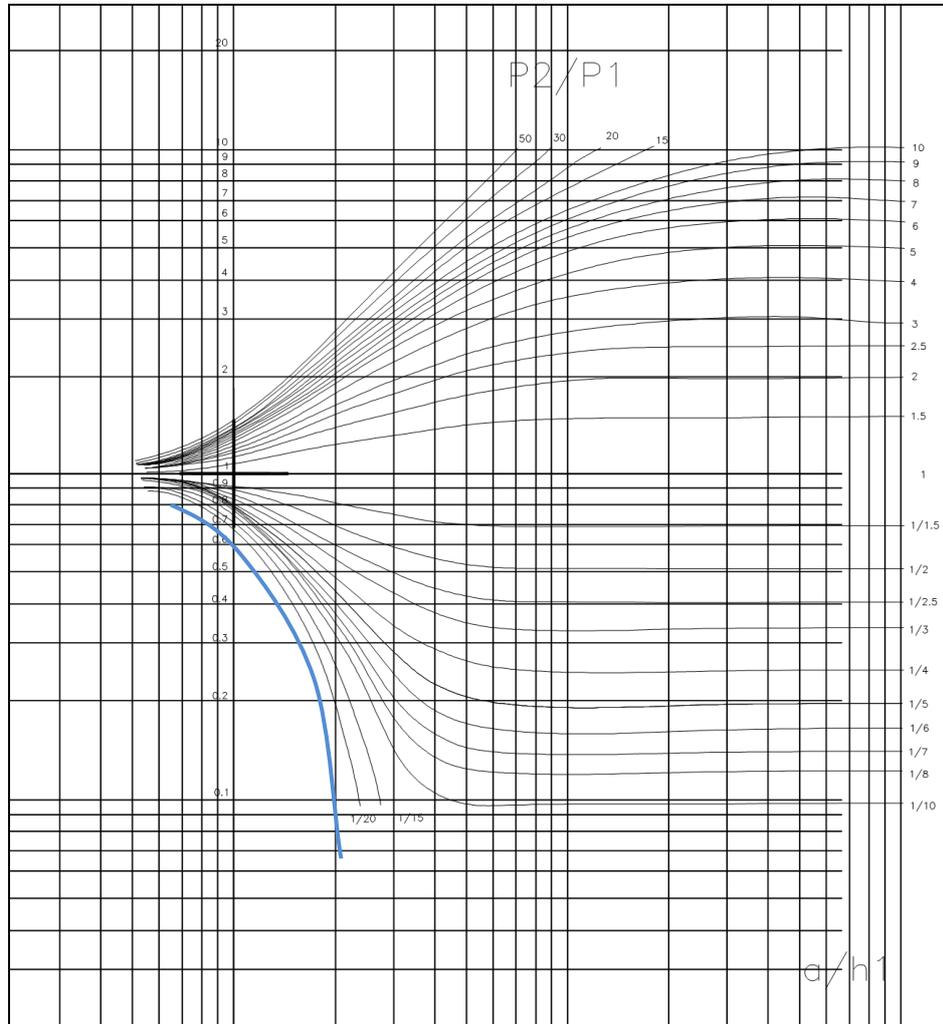


Figura 3.6. Curvas patrón del método de YOKOGAWA.

Para el diseño se utilizará un modelo de dos capas con los siguientes parámetros:

- Resistividad de la primera capa ρ_1 = 547 $\Omega\cdot m$
- Relación de Resistividades ρ_2/ρ_1 = 1/20
- Resistividad de la segunda capa ρ_2 = 27.4 $\Omega\cdot m$
- Espesor de la capa superior h_1 = 1.5 m

3.2. DISEÑO DEL SISTEMA.

El diseño de la malla de puesta a tierra contempla la verificación de la distribución de corrientes a tierra, el cálculo de la resistencia de puesta a tierra de la malla y el análisis de las tensiones de toque y de paso producidas durante fallas a tierra, de tal forma que se garantice la seguridad de las personas dentro del área de instalación de la malla. Para el diseño se partió de la malla de tierra existente, la cual fue complementada para cumplir con los criterios de seguridad y facilitar la derivación de colas para las estructuras y equipos.

Estos cálculos se realizan de acuerdo al Standard 80 de la IEEE [1].

3.2.1. Corriente de corto circuito

Cuando se presenta una falla a tierra en una subestación, una parte de la corriente retorna a las fuentes generadoras a través de la malla de tierra de la subestación, y una porción importante de la misma retorna por los conductores de guarda y neutros que entran y salen de la subestación y las puestas a tierra de las torres o postes. Estas corrientes son generalmente apreciables, por lo cual, suponer que toda la corriente de falla retorna a tierra a través de la malla conduce a diseños excesivamente conservativos.

De acuerdo con los estudios de corto circuito realizados por Promotora de Proyectos SAC con el programa DigSilent (*Es un Software para sistemas eléctricos de potencia, relés de protección a máxima corriente, simulación y Modelado*), se obtuvieron los niveles de cortocircuito en barras de la Subestación Trujillo Sur 138 kV y subestaciones aledañas que aportarán corriente de cortocircuito. Estos datos fueron proporcionados por la empresa HIDRANDINA S.A. Para el diseño, y con el propósito de ser conservativos se tomaron los máximos niveles de cortocircuito esperados para el año 2016.

Tabla 3. Niveles de corto circuito

SUBESTACIÓN	Bifásico aterrado I _{CC} Simétrico (kA)	Monofásico I _{CC} Simétrico (kA)
Trujillo Sur 138 kV	6.2	6.4

3.2.2. Procesamiento de datos

Para este cálculo se consideran los siguientes datos:

ρ : Resistividad de diseño para la malla.

ρ_e : Resistividad de diseño para los electrodos verticales.

F_d : Factor de dispersión.

m : Factor de tratamiento.

$F_d = 1$ (Subestación con 1 línea).

$m = 6$ (Tierra de sitio con bentonita).

Electrodos Horizontales

Resistividad de Diseño:

$$\rho_1 = \rho = 547 \Omega\cdot m$$

Electrodos Verticales

Dimensión de Varillas de cobre:

$$l = 2.45 \text{ m}$$

$$d = 0.016 \text{ m}$$

Resistividad de la segunda capa

$$\rho_2 = 27.4 \Omega\cdot m$$

$$H_1 = 1.5 \text{ m}$$

Resistividad de Diseño para los electrodos verticales:

$$\rho_e = \frac{l \cdot \rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_2 \cdot h_1 + \rho_1 \cdot (l - h_1)}$$

$$\rho_{(equivalente)} = \rho_e = 65.4 \Omega\cdot m$$

3.2.3. Calculo del coeficiente de contacto con el suelo (Cs).

Este coeficiente puede ser considerado como un factor correctivo para calcular la resistencia efectiva de los pies en presencia de un espesor finito de material superficial tal como el ripio regado en toda la subestación. Para el caso que no exista material superficial (ripio) $C_s = 1$.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09}$$

ρ_s : Resistividad de la grava

h_s : Espesor de la grava

$$\rho_s = 3000 \Omega\text{-m}$$

$$h_s = 0.1 \text{ m}$$

$$\underline{C_s = 0.699}$$

3.2.4. Calculo del potencial permisible por personas en caso de fallas.

La seguridad de una persona está en prevenir que durante una falla ocurra una diferencia de potencial superior a la admisible, sin peligro para la salud o la vida, por el cuerpo humano.

Los máximos voltajes de cualquier falla no deberán exceder los límites siguientes:

Máxima Tensión de Toque (V)

$$E_t = (R_k + 1.5 \times C_s \rho_s) \times \frac{0.157}{\sqrt{t}} \quad \text{Para persona de 70 kg}$$

$$E_t = (R_k + 1.5 \times C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad \text{Para personas de 50 kg}$$

Máxima Tensión de Paso (V)

$$E_p = (R_k + 6 \times C_s \rho_s) \times \frac{0.157}{\sqrt{t}} \quad \text{Para persona de 70 kg}$$

$$E_p = (R_k + 6 \times C_s \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad \text{Para persona de 50 kg}$$

R_k : Resistividad del cuerpo humano

t : Tiempo de despeje de la falla

$$R_k = 1000 \Omega\text{-m}$$

$$t = 0.5 \text{ s}$$

<i>Potenciales (V)</i>	<i>Peso de personas (kg)</i>	
	<i>70</i>	<i>50</i>
E_t	920.518	680.128
E_p	3015.977	2228.365

3.2.5. Calculo de la sección de conductor de cobre "S" (mm2).

La elevación de temperatura temporal que puede soportar un conductor o la sección requerida como una función de la corriente en el conductor pueden ser calculadas a partir de la formula de Severak. Esta ecuación evalúa la capacidad de conducción de cualquier conductor cuyas constantes de su material son conocidas.

$$s = \frac{I_{cc \max}}{\sqrt{\frac{T_c \times 10^{-4}}{t \rho_t \rho_r} \ln \frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}}}$$

Esta ecuación asume que el sistema de puesta a tierra se comporta como un sistema adiabático, es decir que el conductor

retiene todo el calor producido por la corriente de falla. Además se considera que el producto del calor específico (CE) y del peso específico (PE) es aproximadamente constante debido a que el CE aumenta y PE disminuye en la misma proporción. Para la mayoría de los metales esta premisa se cumple para un amplio rango de temperaturas, mientras la duración de la falla sea solo de unos cuantos segundos.

I_{cc} : Corriente de corto circuito máxima.

T_m : Máxima Temperatura permisible.

T_a : Temperatura ambiente.

T_c : Capacidad térmica por unidad de volumen.

K_o : Coeficiente térmico de resistividad inverso.

ρ_t : Coeficiente térmico de resistividad.

ρ_r : Resistividad del conductor.

Datos:

$$I_{cc} = 6.4 \text{ kA}$$

$$T_m = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_c = 3.422 \text{ J/cm}^3/\text{ }^\circ\text{C}$$

$$K_o = 242 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_t = 0.00381 \text{ (1/}^\circ\text{C)}$$

$$\rho_r = 1.7774 \text{ m}\Omega\text{-cm}$$

La constantes consideradas corresponden a conductor de cobre estirados en frío.

Calculando:

$$\underline{S = 28.89 \text{ mm}^2}$$

Por consideraciones de esfuerzos mecánicas (sismo, tráfico pesado, etc.), electrodinámicos (falla eléctrica) se usará conductor de cobre de 120mm², con esta sección se logra homogeniza la malla de tierra profunda con la existente.

3.2.6. Calculo de la longitud del contrapeso "Lc" (m).

Considerando un espaciamiento de 6 m entre conductores para el área rectangular total de 62 x 57 m, por lo tanto la longitud de conductor existente y nuevo será de:

$$L_c = (62/6 + 1) \times 57 + (57/6 + 1) \times 62$$

$$\underline{L_c = 1297 \text{ m}}$$

La longitud de conductor nuevo será de 540m, cubriendo un área de 1131m², consiguiendo de esta manera, ampliar el alcance de la malla existente hasta la zona de la nueva bahía de Llegada de la SE Porvenir.

Y asumiendo el uso de 3 electrodos nuevos y 17 existentes de 2.4 m de longitud y 0.016 m de diámetro.

3.2.7. Calculo de la resistencia de dispersión "Rp" (Ω).

$$R_p = \rho \left[\frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20S}} \times \left(1 + \frac{1}{1 + H\sqrt{20/S}} \right) \right]$$

Donde:

L_t: Longitud total de conductor enterrado (m).

H: Profundidad de enterramiento de la malla (m).

S: Área total cubierta por la malla (m²).

$$L_t = L_c + L_R$$

$$S = A \times B$$

- L_c: Longitud teórica de la malla (m).
L_R: Longitud de electrodos de puesta a tierra (m).
A : Largo de la subestación.
B: Ancho de la subestación.

Datos:

$$L_t = 1346 \text{ m}$$

$$H = 0.8 \text{ m}$$

$$A = 62 \text{ m}$$

$$B = 57 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$\underline{R_p = 0.73 \Omega}$$

Luego se calcula el Potencial Máximo de Dispersión, el cual según la norma [1] debe ser menor de 5000 V.

$$PMD = I_f \times R_p$$

$$I_f = I_{cc} \times F_d$$

$$I_{cc} = 6.4 \text{ kA}$$

$$F_d = 1.0$$

$$\underline{PMD = 4698.22 \text{ V}}$$

Este PMD calculado es menor que 5000 V.

3.2.8. Determinación de los potenciales de la red de puesta a tierra

a) Tensión de Toque de la red "E_t" (V)

La tensión de toque es calculada considerando el factor geométrico K_m , el factor correctivo K_i , el cual considera los errores que se producen en la derivación de K_m .

$$E_t = \frac{\rho \times I_f \times K_m \times K_i}{L_c + \left[1.55 + 1.22 \times \left(\frac{l}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \times L_R}$$

K_m : Coeficiente geométrico.

K_i : Coeficiente de irregularidades.

l : Longitud del electrodo vertical (m).

L_x : Longitud de la red en el eje de las abscisas (m).

L_y : Longitud de la red en el eje de las ordenadas (m).

El factor geométrico de acuerdo a "Severak" se calcula de la siguiente manera:

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16Hd} + \frac{(D+2H)^2}{8Dd} - \frac{H}{4d} \right) + \frac{K_r}{K_h} \times \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right]$$

D : Distancia máxima entre hileras (m).

H : Profundidad de enterramiento (m).

d : Diámetro del conductor horizontal (m).

$$K_r = \frac{1}{(2n)^{2/n}}$$

$K_r = 1$, para redes con electrodos a lo largo del perímetro de la malla.

$$K_h = \sqrt{1 + H / H_0}$$

H_0 : Profundidad de referencia de la malla.

$$H_0 = 1 \text{ m}$$

$$H = 0.8 \text{ m}$$

$$K_h = 1.34$$

Usando cuatro componentes de forma de la malla, se calcula n , que representa el número efectivo de conductores paralelos en una determinada malla.

$$n = n_a \times n_b \times n_c \times n_d$$

$$n_a = \frac{2 \times L_c}{L_p}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \times \sqrt{S}}}$$

L_p : Perímetro de la malla.

$$L_c = 1297 \text{ m}$$

$$L_p = 238 \text{ m}$$

$$S = 3534 \text{ m}^2$$

$$n_a = 10.9$$

$$n_b = 1.000$$

$n_c = 1$, para mallas rectangulares.

$n_d = 1$, para mallas rectangulares.

$$n = 10.9$$

$$d = 0.01236 \text{ m}$$

$$K_m = 0.66$$

$$k_i = 0.644 + 0.148n$$

$$K_i = 2.26$$

Reemplazando:

$$\underline{E_t = 635.50 \text{ V}}$$

Este valor es menor que el máximo permisible calculado en el ítem 3.2.4

b) Tensión de Paso de la red "Ep" (V)

$$E_p = k_s \times k_i \times \frac{\rho}{0.75 \times L_c + 0.85 \times L_R} \times I_f$$

K_s : Coeficiente de geométrico.

El factor geométrico de acuerdo a "Severak" se calcula de la siguiente manera:

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2H} + \frac{1}{D+H} + \frac{1}{D} \times (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$K_s = 0.30$$

Reemplazando:

$$\underline{E_p = 387.91 \text{ V}}$$

Este valor es menor que el máximo permisible calculado en el ítem 3.2.4.

3.2.9. Calculo de la resistencia de puesta a tierra teórica "Rt" (Ω)

$$R_t = \frac{R_{11}R_{22} - R_{12}^2}{R_{11} + R_{22} - 2R_{12}}$$

R_{11} : Resistencia de la malla.

R_{22} : Resistencia de los electrodos.

R_{12} : Resistencia mutua entre la malla y los electrodos.

$$R_{11} = \frac{\rho}{\pi \times L_c} \left[\ln \frac{2Lc}{\sqrt{Hd}} + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{S}} - K_2 \right]$$

K_1 : Coeficiente de forma lado mayor de la malla.

K_2 : Coeficiente de forma del lado menor de la malla.

b : Diámetro del conductor Horizontal (m).

$$K_1 = 1.43 - \frac{2.3H}{\sqrt{S}} - 0.044 \frac{A}{B}$$

$$K_2 = 5.50 - \frac{8H}{\sqrt{S}} - \left(0.15 - \frac{H}{\sqrt{S}} \right) \frac{A}{B}$$

Datos:

$$A = 62 \text{ m}$$

$$B = 57 \text{ m}$$

$$d = 0.01236 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$K_1 = 1.35$$

$$K_2 = 5.24$$

$$\underline{\underline{R_{11} = 0.77 \Omega}}$$

$$R_{22} = \frac{\rho}{2\pi Nl} \left[Ln \frac{8l}{a} - 1 + \frac{2K_1 l}{\sqrt{S}} \times (\sqrt{N} - 1)^2 \right]$$

N : Numero de electrodos enterrados.

l : Longitud de un electrodo vertical.

a : Radio del electrodo vertical.

Datos:

$$N = 3 + 17 = 20$$

$$l = 2.4 \text{ m}$$

$$a = 0.008 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$\underline{\underline{R_{22} = 0.29 \Omega}}$$

$$R_{12} = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[Ln \frac{2L_c}{l} + \frac{K_1 l}{\sqrt{S}} - K_2 + 1 \right]$$

$$\underline{\underline{R_{12} = 0.062 \Omega}}$$

Reemplazando:

$$\underline{\underline{R_t = 0.234 \Omega}}$$

3.3. REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

Con los resultados obtenidos en el apartado anterior, los parámetros de diseño para obtener los metrados correspondientes de suministro y montaje de materiales utilizados en la construcción de la malla a tierra en la subestación Trujillo sur, como se muestra en el anexo 2. Y el diseño de los palos correspondientes como se muestra en los anexos 1.A y 1.B.

El presupuesto del proyecto a costos directos se presenta a continuación en el cuadro 3.7.

PRESUPUESTO

PROYECTO : DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACION TRUJILLO SUR 138KV EN LA CIUDAD DE TRUJILLO, REGIÓN LA LIBERTAD

DEPARTAMENTO : LA LIBERTAD

ITEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL
I	SUMINISTRO DE MATERIALES	S/. 21,895.73
II	MONTAJE ELECTROMECANICO	S/. 26,686.85
D	COSTO DIRECTO (C.D.)	S/. 48,582.58

Cuadro 1. Presupuesto final del proyecto (fuente propia).

Este presupuesto ha sido desarrollado con el análisis de precios unitarios (Anexo 3), metrado de excavación (Anexo 4).

CONCLUSIONES

- El conductor para la malla de tierra será de cobre y de 120 mm² de sección.
- La longitud del conductor para la ampliación de la malla de tierra será de 540 m.
- Los potenciales de toque y paso calculados son menores que los máximos permisibles.

$$E_t = 635.50 < 680.128 \text{ V}$$

$$E_p = 387.91 < 2228.365 \text{ V}$$

- La distancia entre conductores paralelos "D" de la malla será de 6 m
- Se utilizaran 3 electrodos de puesta a tierra de 2.4 m de longitud y 0.016 m de diámetro, las cuales Irán instaladas cerca a los pararrayos.
- Teniendo en cuenta el valor de resistividad aparente del terreno y la configuración de la malla de tierra, se calculó la resistencia de puesta a tierra, obteniendo un valor cercano a 0,234 Ω para la malla, Este valor se considera adecuado teniendo en consideración los criterios de la norma ANSI/IEEE Std. 80 "IEEE Guide for Safety in A.C. Substation Grounding [1]".
- Se verificó que las tensiones de toque al igual que las tensiones de paso producidas durante fallas a tierra, pudieran ser controladas en el interior de la superficie de instalación de la malla, de tal manera que no se ponga en riesgo al personal operativo.

RECOMENDACIONES

- En la práctica, la medición de resistividad es realizada primero para identificar una buena zona para la puesta a tierra, y así proceder con el modelamiento del terreno para su diseño óptimo.
- Para la ingeniería, la velocidad de corrosión está ligada a la resistividad del terreno de la forma que se señala en el cuadro 1.

CUADRO 1

Grado de agresividad del suelo en función de la resistividad

<i>Resistividad (Ω-m)</i>	<i>Grado de agresividad</i>
< 10	Severo
10 - 100	Discreto
100 - 1000	Escaso
> 1000	Nulo

- La resistividad de un terreno depende, en particular, de su estructura, de las dimensiones de sus partículas constituyentes, de su porosidad y permeabilidad, del contenido de agua (humedad) y de su contenido de iones.
- Por ejemplo, en lo que se refiere a un suelo arcilloso, con un 5% de humedad, dicho suelo puede presentar una resistividad de 10 000 ohm-m, en cambio, con un 20% de humedad, la resistividad disminuye hasta 100 ohm-m.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEEE GUIDE FOR SAFETY IN A.C. SUBSTATION GROUNDING. ANSI/IEEE Std 80-2000.
- [2] IEEE GUIDE MEASURING EARTH RESISTIVITY, GROUND IMPEDANCE AND EARTH SURFACE POTENTIALS OF A GROUND SYSTEM. ANSI/IEEE Std 81-1983.
- TÉCNICAS DE ATERRAMIENTO ELÉCTRICO, Justo Yanque M.
- ATERRAMIENTO ELÉCTRICO, Geraldo Kindermann, Jorge Mário Campagnolo
- NATIONAL ELECTRICAL CODE ANSI/NFPA 70 NEC 2002

ANEXOS

ANEXOS 1

Planos de la malla de puesta a tierra subestación Trujillo sur.

- ANEXO 1A: SE-TSUR114 (1-2) Red de Tierra profunda-Planta.
- ANEXO 1B: SE-TSUR114 (2-2) Red de Tierra Profunda-Detalle.

ANEXO 2

- Presupuesto de SUMINISTRO y MONTAJE.

ANEXO 3

- Análisis de precio unitario para el tendido de conductores para la malla a tierra profunda
- Análisis de precio unitario para la excavación e instalación de varilla de pozo de tierra.

ANEXO 4

Diseño típico y metrado de red de tierra profunda y pozo de tierra sin registro.

ANEXO B

Mapa del sistema eléctrico interconectado nacional – SEIN.

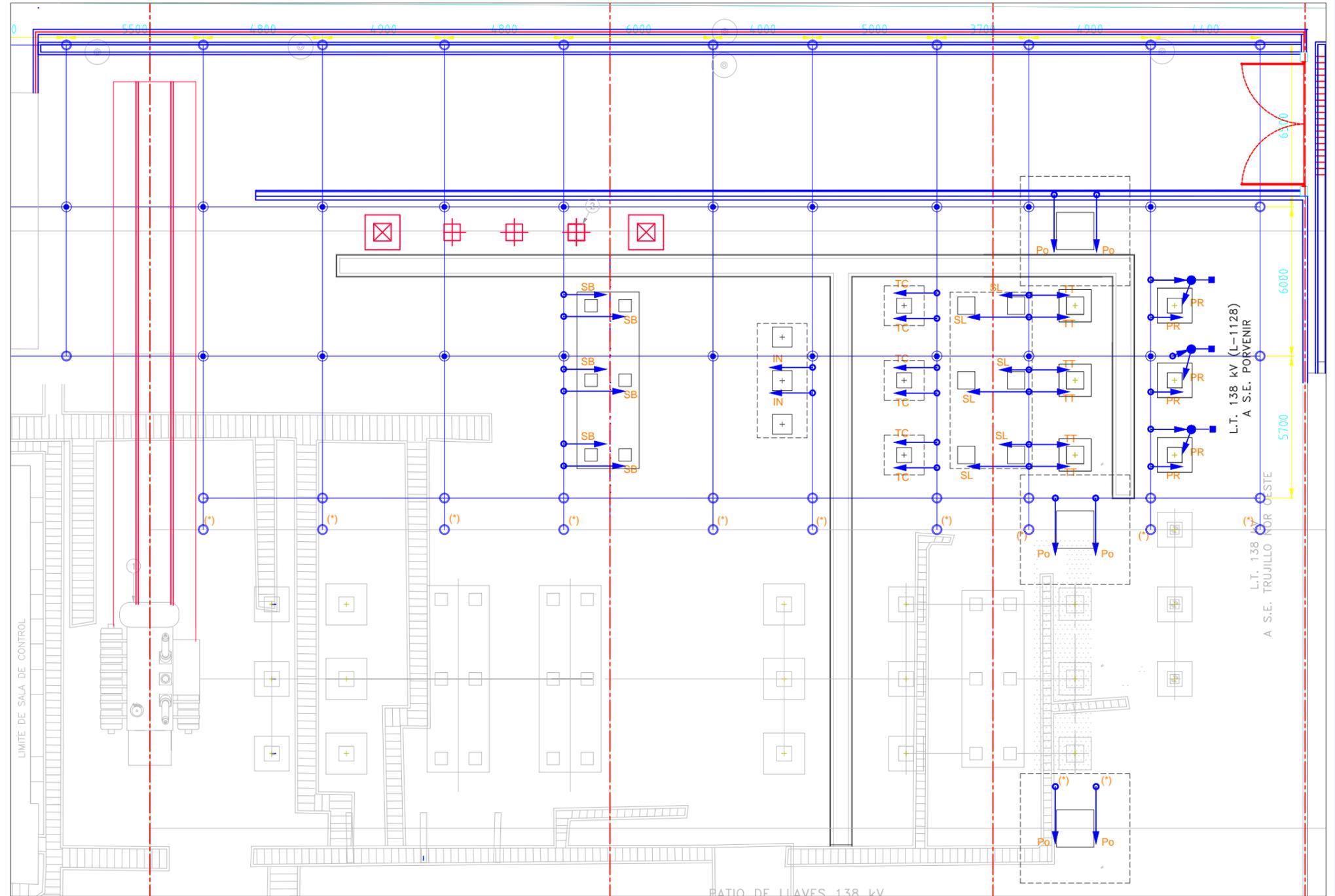
ANEXO 1

LISTA DE MATERIALES MALLA DE TIERRA PROFUNDA

Item	DESCRIPCIÓN	Unidad	Metrado
1	Conductor de Cu desnudo 120 mm ² , Temple blando Malla de tierra a profundidad 0.8 m	m.	540
2	Conductor de Cu desnudo 70 mm ² , Temple blando Malla de tierra a profundidad 0.8 m	m.	(**)
3	Conexión en Cruz 120 mm ² x 120 mm ² (Conductor-Conductor) Malla de tierra a profundidad 0.8 m con soldadura exotermica	U.	35
4	Conexión en "T" 120 mm ² x 120 mm ² (Conductor-Conductor) Malla de tierra a profundidad 0.8 m con soldadura exotermica	U.	35
5	Conexión en "T" 120 mm ² x 70 mm ² (Conductor-Conductor) Conexión de Equipo a malla de Tierra con soldadura exotermica	U.	55
6	Conector doble a tierra GTDU2C 1/2" - 5/8" IPS 2/0-250	U.	(**)
7	Molde "+" 250 - 250 (120mm ² -120mm ²)	U.	1
8	Molde "T" 250 - 250 (120mm ² -120mm ²)	U.	1
9	Molde "T" 2/0 - 250 (70mm ² -120mm ²)	U.	3
10	Bentonita (bolsa de 30 kg)	BI	45
11	Jabalina Cooperweild 5/8" Ø x 2.40 m	U.	3

LEYENDA

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	LÍNEA DE TIERRA PROFUNDA CABLE Cu RECOCIDO 120 mm ²
	EMPALME "X" 120mm ² -120mm ² , DE LINEAS DE TIERRA PROFUNDA
	EMPALME "T" 120mm ² -120mm ² , DE LINEAS DE TIERRA PROFUNDA
	ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA COMPLETAMENTE ENTERRADO
	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A PORTICO
	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A SECCIONADOR DE LINEA
	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A TRANSFORMADOR DE TENSION CAPACITIVO
	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A INTERRUPTOR DE POTENCIA
	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A PARARRAYOS
	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A SECCIONADOR DE BARRA
	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A TRANSFORMADOR DE CORRIENTE



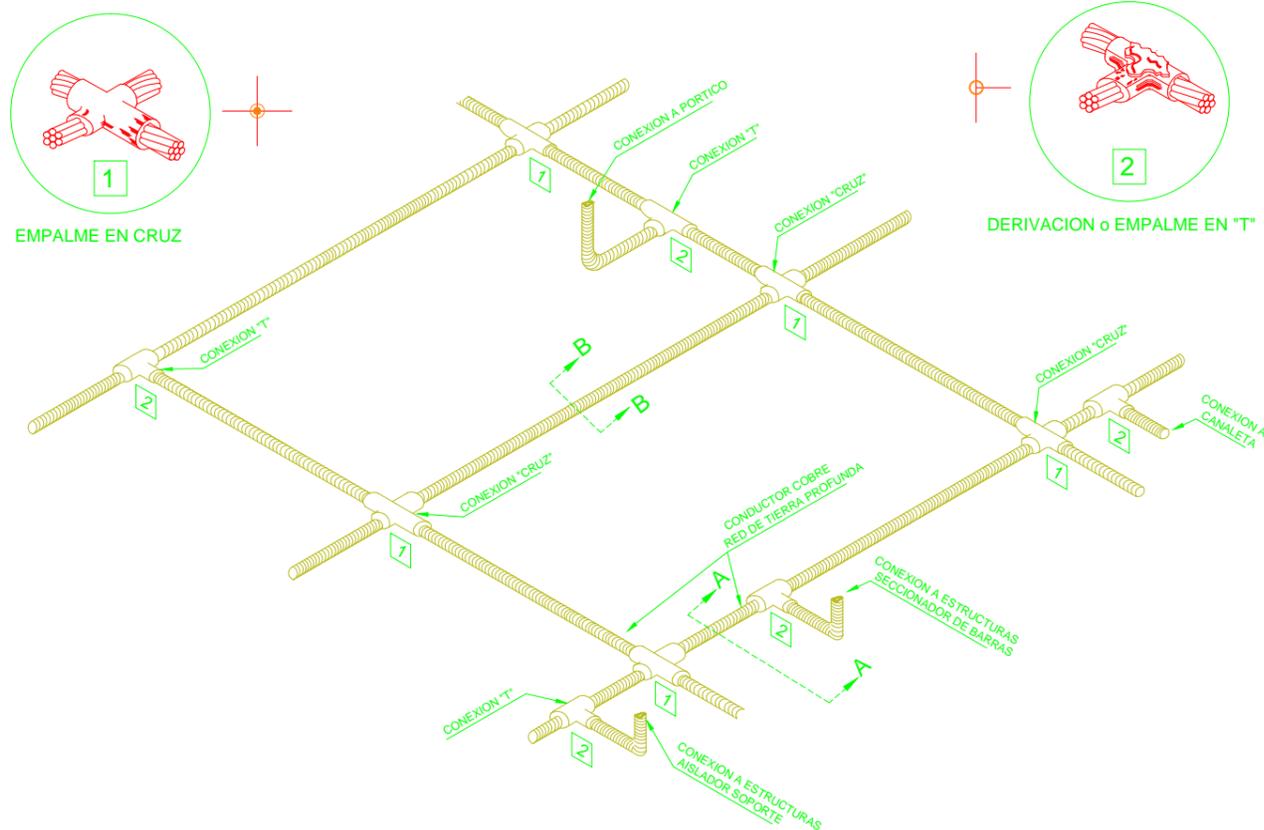
NOTA: Considerar perdida y/o repuesto 5% del metrado propuesto

Profundidad de enterramiento	(m)H = 0,8
Distancia máxima entre hileras	(m) D = 6.5
Numero de electrodos verticales enterrados	N = 3
Longitud del electrodo vertical	(m) l = 2,4
Radio del electrodo vertical	(m)a = 0,008
Espesor de la grava	(m)hs = 0,1
Area Total	(m ²)A = 58x19.5 = 1131
Seccion del Conductor	(mm ²)S = 120
Tipo de Empalmes	Soldadurae Exotermica

NOTA:
 (*) PUNTO DE CONEXIÓN,
 VERIFICAR EN CAMPO
 (**) ESTÁN CONSIDERADOS EN LA
 RED DE TIERRA SUPERFICIAL

REV.	DESCRIPCIÓN	DIS.	DIB.	REV.	APR.	FECHA
LT 138kV SE TRUJILLO NOROESTE – TRUJILLO SUR						
DIS:	J.P.G.	PLANO:	RED DE TIERRA PROFUNDA - PLANTA SE TRUJILLO SUR		N° PLANO:	SE-TSUR-114
REV:	J.M.A.	CONTRATISTA:	Obrifec S.A.C. Ingeniería y Construcción		FECHA:	NOV 2015
APR:	M.V.M.	ESCALA:	1/2		HOJA:	1/2
DIB:	J.P.G.	INDICADA:	01		REV:	01

**DETALLE DE CONEXIONES PARA RED DE TIERRA PROFUNDA
Y TIPOS DE SOLDADURA EXOTERMICA**



LISTA DE MATERIALES MALLA DE TIERRA PROFUNDA

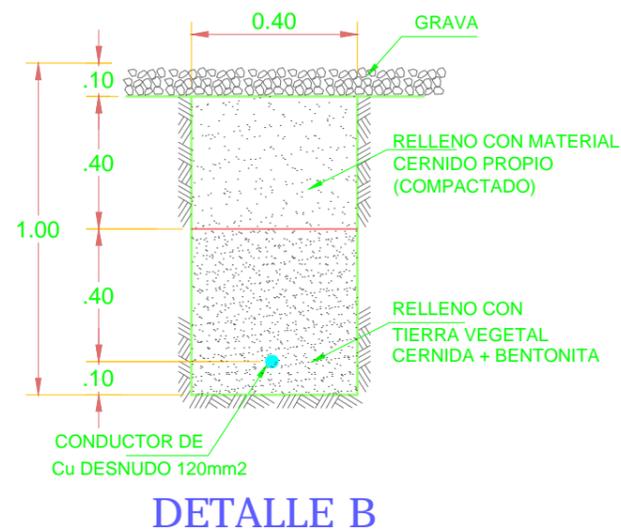
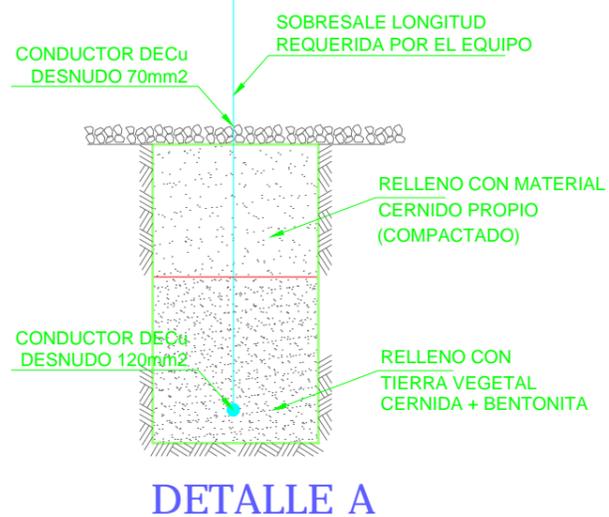
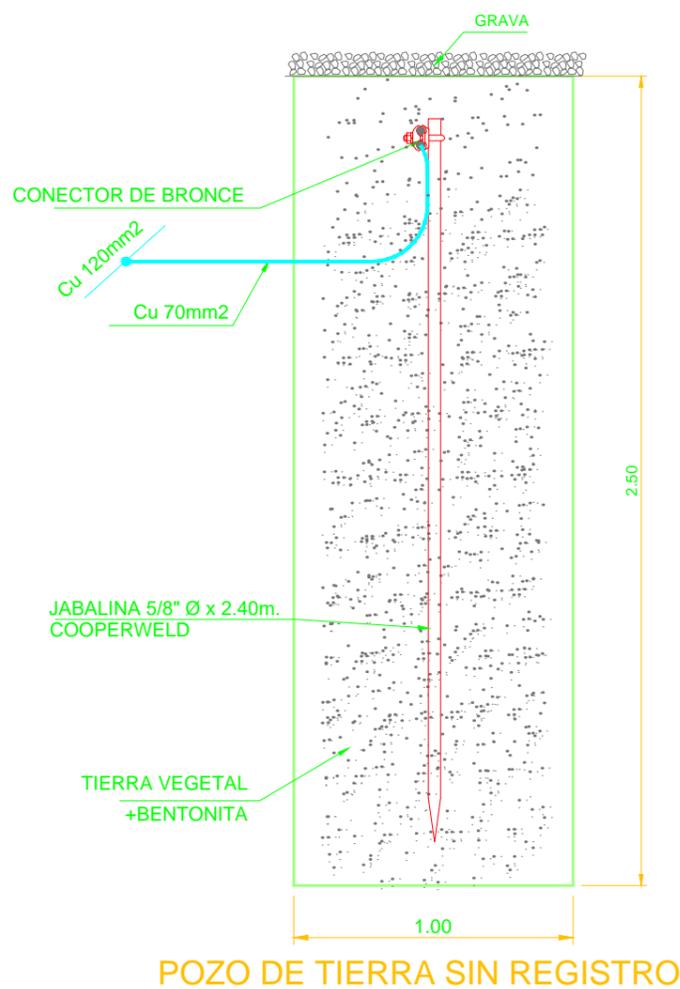
Item	DESCRIPCIÓN	Unidad	Metrado
1	Conductor de Cu desnudo 120 mm ² , Temple blando Malla de tierra a profundidad 0.8 m	m.	540
2	Conductor de Cu desnudo 70 mm ² , Temple blando Malla de tierra a profundidad 0.8 m	m.	(**)
3	Conexión en Cruz 120 mm ² x 120 mm ² (Conductor-Conductor) Malla de tierra a profundidad 0.8 m con soldadura exotermica	U.	35
4	Conexión en "TT" 120 mm ² x 120 mm ² (Conductor-Conductor) Malla de tierra a profundidad 0.8 m con soldadura exotermica	U.	35
5	Conexión en "TT" 120 mm ² x 70 mm ² (Conductor-Conductor) Conexión de Equipo a malla de Tierra con soldadura exotermica	U	55
6	Conector doble a tierra GTDU2C 1/2" - 5/8" IPS 2/0-250	U	(**)
7	Molde "+" 250 - 250 (120mm ² -120mm ²)	U	1
8	Molde "T" 250 - 250 (120mm ² -120mm ²)	U	1
9	Molde "T" 2/0 - 250 (70mm ² -120mm ²)	U	3
10	Bentonita (bolsa de 30 kg)	Bl	45
11	Jabalina Cooperweld 5/8" Ø x 2.40 m	U	3

NOTA: Considerar perdida y/o repuesto 5% del metrado propuesto

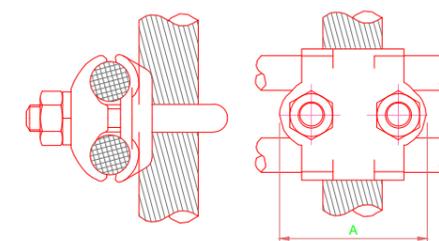
Profundidad de enterramiento	(m)H = 0,8
Distancia máxima entre hileras	(m) D = 8
Numero de electrodos verticales enterrados	N = 3
Longitud del electrodo vertical	(m) l = 2,4
Radio del electrodo vertical	(m)a = 0,008
Espesor de la grava	(m)hs = 0,1
Area Total	(m ²)A = 28x27 = 756
Seccion del Conductor	(mm ²)S = 120
Tipo de Empalmes	Soldadura Exotermica

LEYENDA

SIMBOLO	DESCRIPCION
○	LINEA DE TIERRA PROFUNDA CABLE Cu RECOCIDO 95 mm ²
○	EMPALME "X" 120mm ² -120mm ² , DE LINEAS DE TIERRA PROFUNDA
○	EMPALME "T" 120mm ² -120mm ² , DE LINEAS DE TIERRA PROFUNDA
○	ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA COMPLETAMENTE ENTERRADO
○ → Po	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A PORTICO
○ → SL	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A SECCIONADOR DE LINEA
○ → TT	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A TRANSFORMADOR DE TENSION CAPACITIVO
○ → IN	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A INTERRUPTOR DE POTENCIA
○ → PR	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A PARARRAYOS
○ → SB	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A SECCIONADOR DE BARRA
○ → TC	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
○ → AP	EMPALME "T" 120mm ² -70mm ² , A AISLADOR PORTABARRA



CONECTOR DOBLE A TIERRA PARA CONDUCTOR Y VARILLA DE COOPERWELD



CÓDIGO INTELLI	Ø ROD	IPS PIPE	CONDUCTOR AWG/MCM	A mm	PERNO
GTDU2C 3/8" IPS 2/0-250	5/8" - 3/4"	3/8"	2/0 - 250	54	M10

DETALLE CONECTOR

REV.	DESCRIPCION	DIS.	DIB.	REV.	APR.	FECHA
HIDRANDINA						
LT 138kV SE TRUJILLO NOROESTE - TRUJILLO SUR						
DIS:	J.P.G	PLANO:	RED DE TIERRA PROFUNDA - DETALLE SE TRUJILLO SUR	N° PLANO:	SE-TSUR-114	
REV:	J.M.A.			FECHA:	NOV 2015	HOJA: 2/2
APR:	M.V.M	CONTRATISTA:	Obrifec S.A.C. Ingenieros y Construcción	ESC:	S/E	REV: 01
DIB:	J.P.G.					

ANEXO 2

ANEXO 2

SUMINISTRO MALLA A TIERRA SUBESTACIÓN TRUJILLO SUR 138 KV

ITEM	DESCRIPCIÓN	Unid.	COTIZACION		
			Cant.	P.U \$/.	TOTAL \$/.
A	SUMINISTRO				
14.00	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA MALLA PROFUNDA				
	Conductor de cobre desnudo recocido 120 mm ²	m	540.00	29.8	16,092.00
	Varilla de cobre de 5/8 " diámetro y 2.4 m. longitud	u	3.00	166.88	500.64
	Conexión con soldadura exotérmica en Cruz 120 mm ² x 120 mm ² (Conductor - Conductor)	u	35.00	25.33	886.55
	Conexión con soldadura exotérmica en T 120 mm ² x 120 mm ² (Conductor - Conductor)	u	35.00	25.33	886.55
	Conexión con soldadura exotérmica en T 70 mm ² x 120 mm ² (Conductor - Conductor)	u	55.00	25.33	1,393.15
	Molde "+" 250 - 250(120mm ² - 120 mm ²)	u	1.00	455.94	455.94
	Molde "T" 250 - 250(120mm ² - 120 mm ²)	u	1.00	223.5	223.50
	Molde "T" 210 - 250(70mm ² - 120 mm ²)	u	3.00	208.6	625.80
	Bentonita (30kg)	Bls	45.00	18.48	831.60
	SUMINISTRO I				21,895.73

ANEXO 2

MONTAJE MALLA A TIERRA SUBESTACIÓN TRUJILLO SUR 138 KV

ITEM	DESCRIPCIÓN	Unid.	COTIZACIÓN		
			Cant.	P.U S/.	TOTAL S/.
II	MONTAJE				
	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA				
8.1	Tendido de conductor para malla de tierra profunda que incluye : - Excavación de zanja de 0,4m de ancho y 0,9m de profundidad - Tendido de cable de cu desnudo de 120mm - Soldaduras exotérmicas para uniones y conexiones - Compactación, relleno y nivelación de zanja 0,4x0,5 m con tierra vegetal + bentonita - Compactación, relleno y nivelación de zanja 0,4x0,4 m con material cernido propio	m	540.00 0.00 0.00 0.00 0.00	45.97	24,824.45
8.2	- Eliminación de material excedente Excavación e instalación de varilla para pozo de tierra que incluye : - Excavación del pozo 1.0m de diametro y 2.5m de profundidad - Instalación de varilla cooperweld 5/8"x2.4m - Instalación de conectores de puesta a tierra - Relleno con tierra vegetal + bentonita - Compactación y nivelación - Eliminación de material excedente - Excavación de zanja de 0,4m de ancho y 0,9m de profundidad - Soldaduras exotérmicas para uniones y conexiones - Compactación, relleno y nivelación de zanja 0,4x0,5 m con tierra vegetal + bentonita - Compactación, relleno y nivelación de zanja 0,4x0,4 m con material cernido propio - Eliminación de material excedente	Cjto	3.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	620.80	1,862.40
	MONTAJE II				26,686.85

ANEXO 3

ANEXO 3

REF	ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS						Dólar/Sol	
8.1								
OBRA		LT 138 kV S.E. Trujillo Nor Oeste - S.E. Trujillo Sur			FECHA :	08/11/16		
					COSTO POR :	ml	LUGAR Trujillo	
PARTIDA		Tendido de conductor para malla de tierra profunda incluye: tendido de cable de cu desnudo de 120mm montaje de soldadura cadweld - Excavación de zanja de 0,4m de ancho y 0,9m de profundidad - compactación, relleno y nivelación de zanja 0,4x0,9 m con terreno natural prestamo, eliminación de exedentes			45.97			
ESPECIFICACIÓN		CANTID.	HORAS		TABLA DE RENDIMIENTOS (En 8 horas) en			
Herramientas Manuales		1.00	8.0		REN.CUADRILLA 40.00			
Grua Hidraulica 6 t		0.10	0.8		FACTOR REND. 1.00			
Camioneta doble tracción, doble cabina		0.50	4.0		REN.EQUIPOS 40.00			
Portabobina		0.50	4.0		PERSONAL BASE : Principal			
Cortadora de cable de aluminio		0.50	4.0		CAPATAZ A : 0.50 = 4.0			
Volquetes de 10m3		0.10	0.8		OPERARIO : 1.00 = 8.0			
Equipo de Compactación		0.50	4.0		OFICIAL : 1.00 = 8.0			
					PEÓN : 4.00 = 32.0			
HECHO POR :								
COD	DESCRIPCIÓN	METRADO		C O S T O S			ÍNDICE CREPCO	
		UNID.	CANTID.	UNITARIO	PARCIAL	SUB-TOTAL	Nro	%
	MATERIALES :							
	Materiales consumibles	%	0.0500	22.63	1.13			
	Tierra vegetal cernida	m3	0.2000	42.00	8.40			
						9.53		
	MANO DE OBRA :							
	Capataz de trabajos eléctricos	H.H.	0.10	23.12	2.31			
	Operario de trabajos eléctricos	H.H.	0.20	21.00	4.20			
	Oficial de trabajos eléctricos	H.H.	0.20	17.29	3.46			
	Peón de trabajos eléctricos	H.H.	0.80	15.83	12.66			
						22.63		
	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS :							
	Herramientas manuales	%	0.05	22.63	1.13			
	Equipos Seguridad	EST.	5%		0.48			
	Grua Hidraulica 6 t	H.M.	0.02	65.50	1.31			
	Camioneta doble tracción, doble cabina	H.M.	0.10	55.89	5.59			
	Portabobina	H.M.	0.10	6.00	0.60			
	Cortadora de cable de aluminio	H.M.	0.10	3.00	0.30			
	Volquetes de 10m3	H.M.	0.02	120.00	2.40			
	Equipo de Compactación	H.M.	0.10	20.00	2.00			
						13.81		
COSTO DIRECTO					S/.	45.97		
G.G., D.T. Y UTILIDADES					S/.			
TOTAL					S/.	45.97		

ANEXO 3

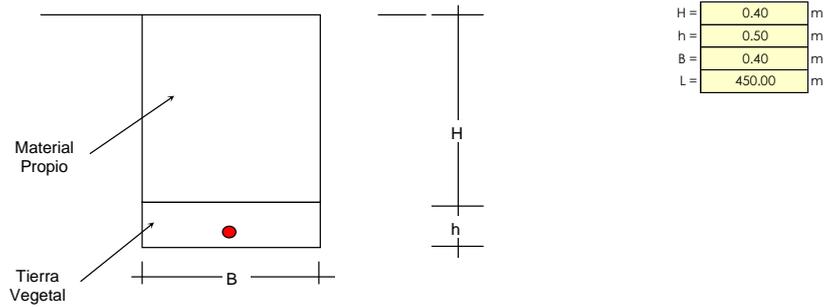
REF	ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS							Dólar/Sol	
8.2									
OBRA : LT 138 kV S.E. Trujillo Nor Oeste - S.E. Trujillo Sur							FECHA : 17/01/16		
PARTIDA : Excavación de 1,0x1,0x2,95m, e instalación de varilla para pozo de tierra incluye: relleno con material de préstamo, compactación nivelación y eliminación de excedentes							COSTO POR : und	LUGAR : Trujillo	
ESPECIFICACIÓN							TABLA DE RENDIMIENTOS (En 8 horas) en		
	CANTID.	HORAS						REN.CUADRILLA	2.00
Herramientas Manuales	1.00	8.0						FACTOR REND.	1.00
Camioneta doble tracción, doble cabina	0.50	4.0						REN.EQUIPOS	2.00
Volquetes de 10m3	0.10	0.8						PERSONAL BASE :	Principal
Equipo de Compactación	0.50	4.0						CAPATAZ A :	0.50 = 4.0
HECHO POR :							OPERARIO :	1.00 = 8.0	
							OFICIAL :	= 0.0	
							PEÓN :	2.00 = 16.0	
COD	DESCRIPCIÓN	METRADO		C O S T O S			ÍNDICE CREPCO		
		UNID.	CANTID.	UNITARIO	PARCIAL	SUB-TOTAL	Nro	%	
	MATERIALES :								
	Materiales consumibles	%	0.0500	256.88	12.84				
	Tierra vegetal cernida	m3	3.1250	42.00	131.25				
						144.09			
	MANO DE OBRA :								
	Capataz de trabajos eléctricos	H.H.	2.00	23.12	46.24				
	Operario de trabajos eléctricos	H.H.	4.00	21.00	84.00				
	Oficial de trabajos eléctricos	H.H.	0.00	17.29	0.00				
	Peón de trabajos eléctricos	H.H.	8.00	15.83	126.64				
						256.88			
	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS :								
	Herramientas manuales	%	0.05	256.88	12.84				
	Equipos Seguridad	EST.	5%		7.20				
	Camioneta doble tracción, doble cabina	H.M.	2.00	55.89	111.78				
	Volquetes de 10m3	H.M.	0.40	120.00	48.00				
	Equipo de Compactación	H.M.	2.00	20.00	40.00				
						219.83			
COSTO DIRECTO					S/.	620.80			
G.G., D.T. Y UTILIDADES					S/.				
TOTAL					S/.	620.80			

ANEXO 4

CUENTE:
 PROYECTO:

ANEXO 4

DISEÑO TJPJCO Y METRADO RED DE TIERRA PROFUNDA (m)



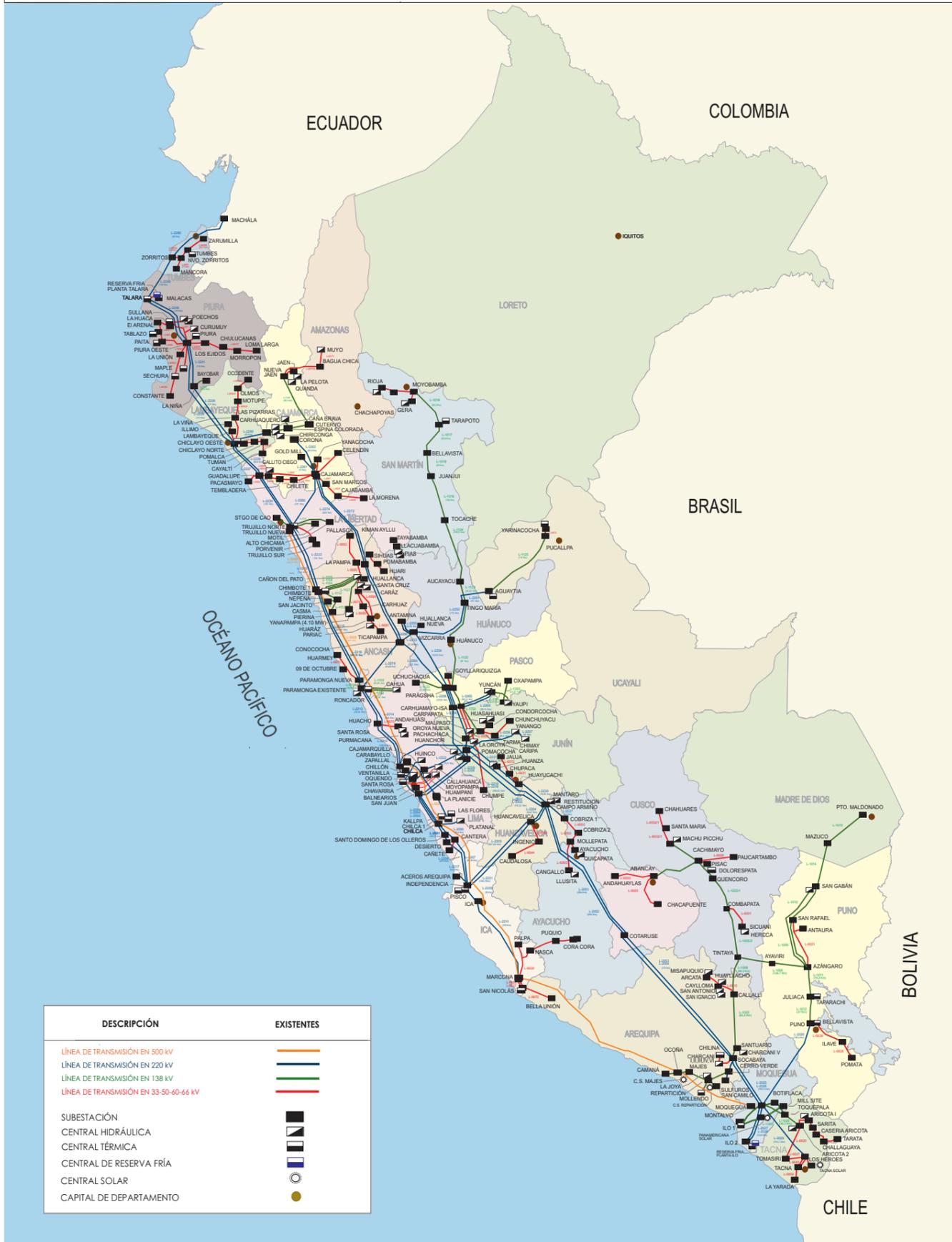
CODIGO	PARTIDA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTA		SIERRA		SELVA	
				P.U. (U.S.\$)	PARCIAL (U.S.\$)	P.U. (U.S.\$)	PARCIAL (U.S.\$)	P.U. (U.S.\$)	PARCIAL (U.S.\$)
OCMT2	Excavación manual en material suelto	m ³	162.00		0.00		0.00		0.00
OCMT4	Relleno con material propio	m ³	72.00		0.00		0.00		0.00
OCMT3	Relleno con material de prestamo	m ³	90.00		0.00		0.00		0.00
OCMT5	Eliminación de material excedente, D<= 1 km	m ³	117.00		0.00		0.00		0.00
TOTAL					0.00	TOTAL	0.00	TOTAL	0.00

POZO DE TIERRA SIN REGISTRO

H = 0.00 m A = 1.00 m # Pozos = 3.00
 h = 2.50 m L = 1.00 m

CODIGO	PARTIDA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTA		SIERRA		SELVA	
				P.U. (U.S.\$)	PARCIAL (U.S.\$)	P.U. (U.S.\$)	PARCIAL (U.S.\$)	P.U. (U.S.\$)	PARCIAL (U.S.\$)
	Excavación manual en material suelto	m ³	7.50		0.00		0.00		0.00
	Relleno con material propio	m ³	0.00		0.00		0.00		0.00
	Relleno con material de prestamo	m ³	7.50		0.00		0.00		0.00
	Eliminación de material excedente, D<= 1 km	m ³	9.75		0.00		0.00		0.00
TOTAL					0.00	TOTAL	0.00	TOTAL	0.00

ANEXO B



DESCRIPCIÓN	EXISTENTES
LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 500 kV	
LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 220 kV	
LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 138 kV	
LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 33-50-60-66 kV	
SUBESTACIÓN	
CENTRAL HIDRÁULICA	
CENTRAL TÉRMICA	
CENTRAL DE RESERVA FRÍA	
CENTRAL SOLAR	
CAPITAL DE DEPARTAMENTO	



DESCRIPCIÓN	EXISTENTES	PROYECTADAS
LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 500 kV		
LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 220 kV		
SUB ESTACIÓN		
CENTRAL HIDRÁULICA		
CENTRAL TÉRMICA		
CENTRAL EÓLICA		
CENTRAL SOLAR		
RESERVA FRÍA DE GENERACIÓN		
CAPITAL DE DEPARTAMENTO		
MINERA		
CEMENTERA		