



Metodología para el Diseño de Proyecto de Sistemas de Puesta a Tierra para Subestaciones

Irene María Alvarez Ayala - Carlos Daniel Benítez Rivas

Facultad Politécnica – Universidad Nacional de Asunción

Paraguay

RESUMEN

El sistema de puesta a tierra es la base fundamental del sistema eléctrico de una subestación y su correcto dimensionamiento es imprescindible para garantizar la seguridad de las personas y el adecuado funcionamiento de equipos. Por lo tanto antes de realizar el diseño de proyectos de los mismos es conveniente la utilización de prácticas con bases normativas. Este trabajo presenta la metodología utilizada en el diseño, construcción, montaje y mantenimiento de sistemas de puesta a tierra para Subestaciones, conforme a las normas técnicas internacionales IEEE 80, 81. La IEEE 80, es la base del software utilizado para el modelamiento de sistemas de puesta a tierra, que también permite realizar simulaciones del comportamiento de los potenciales de toque y paso en la subestación, así como los potenciales de malla y superficie. Se describen algunas técnicas de medición de resistividad del terreno y resistencia de puesta a tierra, conforme a la IEEE 81. Con este trabajo se consiguió un ahorro económico muy importante, gracias a que se siguió en forma las exigencias de las normas internacionales

PALABRAS CLAVES

1. Puesta a tierra,
2. Conductividad,
3. Telurómetro,
4. Software TecAt

1. Introducción

Es sabido que la mayoría de los sistemas eléctricos necesitan ser aterrados, de modo que las conexiones a tierra se encuentran en casi todos los puntos del sistema eléctrico. Esto incluye la estación generadora, transformadora, las líneas y los cables que distribuyen la energía eléctrica y los locales en los cuales se utiliza.

En los años recientes ha habido rápidos desarrollos en el modelamiento de sistemas de puesta a tierra, principalmente facilitados por los nuevos recursos y procedimientos computacionales. Esto ha incrementado nuestra curiosidad sobre el tema y al mismo tiempo, el diseño ha llegado a ser más difícil ya que las normas están requiriendo que sea seguro y más detallado.

Surge así, una oportunidad para explicar claramente los conceptos de puesta a tierra y que esto se transmita a los diseñadores de sistemas de puesta a tierra y a los instaladores, de modo que pueda lograrse una mayor comprensión del tema

2. Aspectos generales de un sistema de puesta a tierra

2.1 Componentes Básicos¹

En la Figura 1 se esquematizan las partes básicas que comprenden un sistema de puesta a tierra (SPT), entre las cuales se pueden apreciar dos grandes bloques: la puesta a tierra (PAT) (bajo el nivel del terreno) y los cableados o red equipotencial (sobre el nivel del terreno)

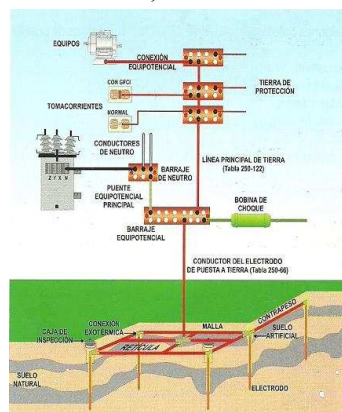


Figura 1: Componentes básicos de un sistema de puesta a tierra

¹ Casas -Ospina, Favio. TIERRAS Soporte de la Seguridad Eléctrica p.18.3^a ed

3- Tensiones de seguridad²

3.1 Tensión de contacto (Touch voltage):

Diferencia de potencial que, durante una falla, se presenta entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro. Esta distancia horizontal es equivalente a la máxima que se puede alcanzar al extender un brazo.



Figura 2: Tensiones de contacto

3.2 Tensión de paso (Step voltaje):

Diferencia de potencial que durante una falla, se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por un paso (aproximadamente un metro), en la dirección del gradiente de tensión máximo.

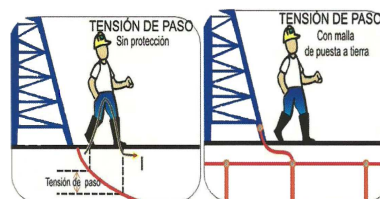


Figura 3: Tensiones de paso

4- MEDICIONES

4.1 Resistividad³

Se define como la resistencia expresada en ohmios entre dos caras opuestas de un cubo de lado unitario, de un material específico. La resistividad se expresa en ohmios por metro ($\Omega \cdot m$)

² Ibid.p.18.

³ Norma ANSI/IEEE 81-1983. Earth Resistivity.p. 12

Como el suelo es otro de los componentes involucrados en la puesta a tierra, su medición se vuelve determinante para un diseño correcto

4.2 Métodos de medición de resistividad⁴

Algunas de las técnicas o métodos de medición de resistividad del suelo son: Arreglo tetraelectrónico no rectilíneo, Arreglo rectilíneo trielectrónico, De A.L. Kinyon, De Lee De Palmer, De Schlumberger modificado, De Schlumberger o de gradiente, De Wenner o de potencial Dipolares (6), Por medida de resistencia, Por tomas de muestras

4.3 Método de Wenner

En este método todos los electrodos están espaciados uniformemente. Los cuatro electrodos, se disponen en línea recta y equidistante una distancia “a”, simétricamente respecto al punto en el que se desea medir la resistividad. El equipo de medida es un telurómetro clásico con cuatro terminales: Los dos electrodos extremos son de inyección de la corriente de medida (I) y los dos centrales son los electrodos de medida del potencial (P). La tensión (V) entre los dos electrodos más cercanos se dividen por la corriente (I) que circulan entre los dos electrodos más lejanos para obtener un valor de resistencia (R).

En la práctica (ver Figura 4) se puede admitir que la resistividad aparente es básicamente, la de las capas comprendidas entre el nivel del suelo y la profundidad a la cual la densidad de corriente se ha reducido a la mitad del valor en superficie, es decir, la profundidad de investigación es “**0,75a**”.



Figura 4: Medición según método de Wenner en el terreno

5. Diseño

Todo diseño de PAT debe asegurar, la reducción de probabilidades de lesiones o daños

⁴ Opcit.p.221

5.1 Cortocircuito y falla a tierra⁵

El cortocircuito (ver Figura 5) es un contacto eléctrico de forma intencional o accidental de dos o más conductores activos de un mismo circuito en un sistema de potencia.

La falla a tierra (ver Figura 6) es una conexión intencional o no, entre partes energizadas del sistema y el suelo o terreno. Siendo la falla monofásica a tierra la más importante y frecuente; permitir que se prolongue o que se torne intermitente, expone el sistema a severas sobretensiones



Figura 5: Cortocircuito

Figura 6: Falla a tierra

5.2 Diseño del SPT de la Subestación Villa Hayes de 500 kV

5.2.1 Datos de mediciones de campo

Los valores de la medición de la resistividad del terreno fueron obtenidos con el telurómetro de la marca MEGABRAS, modelo MTD-20KWe, frecuencia 1470Hz, precisión 0,10%. Dichos valores dieron una Resistividad Promedio de 9,07291958 ($\Omega.m$), que corresponde a un Suelo clase A: suelos blandos ácidos. En la siguiente figura tenemos la vista aérea del lugar de dichas mediciones.



Figura 7: Vista espacial del lugar de las mediciones

⁵ Casas-Ospina, Favio. TIERRAS Soporte de la Seguridad Eléctrica.p.113.5ª ed.

5.3 Diseño de la malla según la norma IEEE 80 – 2000⁶

Basándonos en los rangos del capítulo 5 sección 5.6. "Construcción de un sistema de puesta a tierra" y el Capítulo 7 sección 7.7. "Disposición de electrodos" Diseñamos la malla de la siguiente manera:

- Separación entre conductores: 10 m.
- Profundidad de enterramiento: 0,5 m.
- Longitud de la jabalina: 2,4 m.
- Sección transversal nominal del Conductor a utilizar: 70 mm²
- Separación de jabalinas: 30 m.

5.3.1 Datos

- Perímetro del patio de la subestación

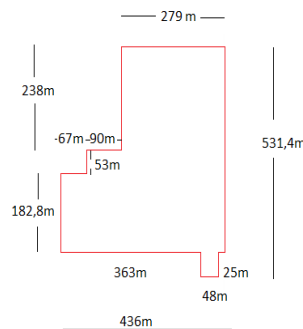


Figura 8: Perímetro de la subestación

-Perímetro total= 1992,4 m.

-Área total= 168.424, 6 m².

- Diámetro del conductor de 70 mm² = 10,6 mm – 0,0106 m
- Tiempo de despeje considerado(fuente ANDE): 500 ms – 0,5 s

5.3.2 Corriente de falla

Considerando las tres líneas de 500kV (dos futuras), el valor de corriente de falla a tierra es de: 10kA

⁶ NORMA IEEE 80-2000. Guide for Safety in AC Substation Grounding.
192p.

5.3.3 Disposición del SPT

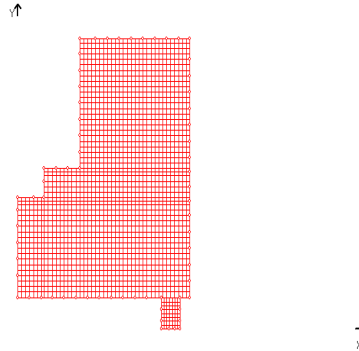


Figura 9: Disposición del SPT

-Longitud del conductor de la malla: 36.360,2 metros

-Cantidad de jabalinas: 68 unidades

5.4 Programa de software utilizado

TecAt Plus 5.0

5.4.1 Datos obtenidos mediante el programa TecAt Plus 5.0

Projeto: SE VH 500

Cliente: FP-UNA

Local: Villa Hayes

Data: 12/07/2011

Corrente de falta [kA]: 10

Duração da falta [s]: 0,5

Resistência da malha [Ohm]: 0,01

Corrente de falta [kA]: 10

Máximo potencial da malha [V]: 129,09

Potenciais admissíveis [V]:

Toque: 658,73

Passo: 2142,76

Resistividade: 1,7774

Seção mínima do condutor na conexão: 26,3823807067547

En las siguientes figura veremos el comportamiento, por medio del software, de las tensiones de malla, de superficie, de toque y de contacto, respectivamente, que se encuentran en el patio de maniobras con el diseño del SPT ya instalado

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

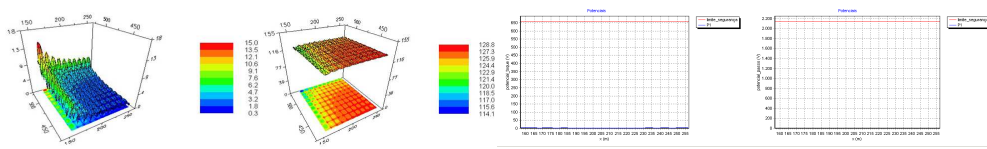


Figura 10: Distribución de los potenciales con el software TecAt 5.0

Los resultados obtenidos en la simulación fueron muy satisfactorios, por que se dieron un gran margen de seguridad, el potencial máximo de malla es de 129,1 voltios, los potenciales de paso y toque máximo admisible son de 2142,8 y 658,7 voltios respectivamente siendo que los rangos de potencial de malla varían de 0,23 a 15,4 voltios muy por debajo de los máximos admisibles, lo cual justifica la implementación de un conductor de menor sección al establecido en los pliegos, logrando un excelente ahorro.

En donde el ahorro más significativo se puede apreciar en el cambio directo de conductores de 240 mm² por el recomendado de 70 mm².



BIBLIOGRAFIA

- [1] CASAS-OSPINA, FAVIO. 2006. TIERRAS. Soporte de la Seguridad Eléctrica. Tercera Edición. Colombia. ICONTEC. 234p
- [2] NORMA IEEE 81-1983. Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potential of a Ground System. 42p.
- CASAS-OSPINA, FAVIO. 2010. TIERRAS. Soporte de la Seguridad Eléctrica. Quinta Edición. Colombia. ICONTEC. 296p
- NORMA IEEE 80-2000. Guide for Safety in AC Substation Grounding. 192p.