

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS"
FACULTAD TECNOLÓGICA – INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO FINAL

ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE LOS POSTES DE CONCRETO DURANTE LAS FALLAS GENERADAS EN EL MANTENIMIENTO DE LAS REDES DE DISTRIBUCION.

MODALIDAD:
INNOVACIÓN

ESTUDIANTES:

EDGAR ANDRES GARCIA TORREJANO
CAMILO ANDRES SUAREZ CASALLAS

TUTOR ACADÉMICO
ING. CARLOS ALBERTO AVENDAÑO AVENDAÑO

Ing. CARLOS ALBERTO AVENDAÑO AVENDAÑO

Bogotá D.C., abril del 2021

TABLA DE CONTENIDO

TURULOS: Estudio de la incidencia de los postes de concreto durante las fallas generadas en el mantenimiento de las redes de distribución. 5

RESUMEN 6

ABSTRACT 6

1. INTRODUCCION 7

1.1 Planteamiento del problema 8

1.2 Antecedentes 8

1.3 Marco conceptual 9

1.3.1 Trabajos en líneas des energizadas de media tensión 9

1.3.1.1 Personal de trabajo 10

1.3.1.2 Procedimientos de trabajo. 10

1.3.2 Puesta a tierra temporal 12

1.3.3 Estructura la 202 14

1.3.4 Poste de concreto 15

1.3.5 Tensión de paso 16

1.3.6 Tensión de contacto 16

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO 17

2.1 Objetivo general 17

2.2 Objetivos específicos. 17

3. METODO PARA OBTENER LAS VARIABLES ELECTRICAS 18

3.1 Aterrizaje de redes de media tensión 18

3.2 Elementos utilizados en el estudio 19

3.3 Montaje 20

4. DESCRIPCION DE LOS RESUSTADOS ALCANZADOS 25

4.1 Adquisición de datos 25

4.2 Resultados de las mediciones. 26

4.2.1 Primera prueba electrodo enterrado 0.6m a una distancia de 1m 26

4.2.2 Segunda prueba electrodo enterrado 0.3m a una distancia de 0.5m 29

4.2.3 Tercera prueba electrodo enterrado 0.8m a una distancia de 1m 32

4.2.4 Cuarta prueba electrodo enterrado 1,1m a una distancia de 1.5m 35

4.2.5 Quinta prueba electrodo enterrado 0.3m a una distancia de 1m 38

4.2.6 Sexta prueba conexión del sistema de puesta a tierra temporal a la estructura metálica interna del poste de concreto 41

4.2.7 Séptima prueba verificación de tensión del técnico. 45

4.2.8 Análisis de resultados 46

5. CONCLUCIONES 51

6. BIBLIOGRAFÍA 52

TITULO: Estudio de la incidencia de los postes de concreto durante las fallas generadas en el mantenimiento de las redes de distribución.

Title: Study of the incidence of concrete posts during failures generated in the maintenance of distribution networks.

EDGAR ANDRES GARCIA TORREJANO[1]

CAMILO ANDRES SUAREZ CASALLAS[2]

ING. CARLOS ALBERTO AVENDAÑO AVENDAÑO[3]

[1] Investigador, FACULTAD TECNOLÓGICA, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, suarezcasallas@gmail.com

[2] Investigador, FACULTAD TECNOLÓGICA, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, eagt0388@gmail.com

[3] Director grupo de investigación GIPUD, FACULTAD TECNOLÓGICA, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, caavendanoa@udistrital.edu.co

RESUMEN

Este proyecto se enfocará en la adquisición de datos de forma real donde se emula una maniobra de mantenimiento de redes des energizadas de media tensión cuando ocurre una falla eléctrica mediante la inyección de una corriente, a un sistema de puesta a tierra temporal instalados en una estructura LA 204, la cual consta de un a un poste de concreto de 12m hincado y un sistema de puesta a tierra temporal, realizando la medición de las variables eléctricas como tensión y resistencia en los elementos del sistema, con estos valores determinar las tensiones de paso y de contacto que experimentan los operarios y determinará si el poste de concreto utilizados permiten minimizar los efectos presentes en una falla de media tensión.

Palabras clave: manteniendo, distribución, tensión de paso tensión, de contacto, poste de concretos sistemas de puesta a tierra.

ABSTRACT

This project will focus on the acquisition of data in a real way where a maintenance maneuver of desenegized medium voltage networks is emulated, when an electrical failure occurs. By injecting a current into a temporary grounding system, install them in a LA 203 structure. It consists of a 10m driven concrete pole and a temporary grounding system, measuring electrical variables. As voltage and resistance in the elements of the system, with these values determine the step and contact voltages experienced by the operators and determine if the concrete post used allow minimizing the effects present in a medium voltage fault.

Key words: maintaining, distribution, step voltage, contact voltage, concrete post grounding systems.

1. INTRODUCCION

Es importante mencionar que las redes de distribución permiten el trasporte de energía eléctrica a los usuarios de una vivienda, barrio, localidad, etc. Por esta razón, juegan un papel fundamental dentro del sistema eléctrico, ya que al ser un servicio básico para cualquier persona o familia, una avería o eventualidad en dichas redes, podría alterar su buen funcionamiento, provocando así el corte de suministro.[1]

Adicionalmente, las redes de distribución deben tener la capacidad para adaptarse a las condiciones que se puedan presentar (mantenimiento, cambios en el sistema o fallas en el mismo). Estas deben ser confiables, garantizando el suministro de energía bajo la reparación de algún elemento principal; deben ser seguras y operar adecuadamente bajo condiciones normales o anormales. Para garantizar todas estas características de operación de la red de distribución se deben realizar mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos, brindando así un servicio continuo y conservando los elementos principales de la red.

En ese sentido, un buen mantenimiento debe estar regido por una planificación previa de actividades o tareas a realizar conforme con los procedimientos previstos, las responsabilidades asignadas y las técnicas de intervención, ya sean en línea energizada o des energizada - para realizar cambios en equipos, repotencialr el conductor y realizar pruebas de los elementos principales que conforman la red de distribución.

Basándose en lo anteriormente expuesto, es de vital importancia garantizar que, al realizar algún tipo de maniobra de mantenimiento sobre la red de media tensión para prevenir posibles fallas que se puedan generar durante una maniobra protegiendo así la vida de los operarios y de los equipos [2].

1.1 Planteamiento del problema

Este proyecto tiene como finalidad analizar el comportamiento de las fallas que se generan en las líneas de media tensión durante las maniobras de mantenimiento en los trabajos programados, esto debido a que la mayoría de dichas fallas resultan fatales para los operarios que se encuentran en las redes; incluso en casos en los que se aplican correctamente las cinco reglas de oro, aun cuando se utilizan todos los elementos de protección personal, para el nivel de aislamiento requerido.

Este conjunto de acciones establecidas en la maniobra no garantizan que el operario que está realizando el mantenimiento en la red pueda ser alcanzado por una corriente de falla, la cual le puede causar la muerte por electrocución, ya sea por una tensión de paso o de contacto que lo alcance, así este instalado el sistema de puesta a tierra temporal de forma correcta, para que despeje de forma segura la corriente de falla a tierra, pero, hay que tener en cuenta el poste de concreto utilizado en la red eléctrica, si cuentan con el aislamiento requerido para la dispersión de las fallas, generadas durante el mantenimiento de las redes de distribución.

Estudiando el comportamiento del poste de concreto al presentarse una falla en una red de media tensión, al momento que se está ejecutando una maniobra en una red des energizada, se evaluará lo perjudicial o catastrófico que resulta para el trabajador y para los elementos principales; un mal aislamiento en los postes de concreto en las redes de distribución.

1.2 Antecedentes

La mayor dificultad para desarrollar un método seguro y funcional de puesta a tierra temporal es la gran variedad de instalaciones en las líneas aéreas. Los operarios de las empresas eléctricas están expuestos a circuitos aéreos

simples y dobles, con y sin conductor neutro, líneas paralelas y/o cruces de líneas, configuraciones en ángulos, estructuras de madera, concreto o metal, entre otras. Todas estas diferentes situaciones demandan técnicas o protocolos diferentes, pero respetando los lineamientos establecidos por el RETIE [2].

Preservar la operación y vida útil de los equipos es el objetivo general de los mantenimientos, asegurar su correcto desempeño en función de los procesos que dependen de cada equipo, en condiciones seguras, confiables y eficientes [3]. Pero en ocasiones estos mantenimientos en las redes aéreas de M.T., pueden llevar a accidentes a los operarios que realizan estas labores por lo tanto se quiere determinar la incidencia que tiene los postes de concreto en las fallas a tierra, no obstante, no se encontró literatura que estudie la incidencia de un poste en una falla o que el concreto se pueda comportar como una materia que pueda conducir corriente eléctrica.

1.3 Marco conceptual

1.3.1 Trabajos en líneas des energizadas de media tensión

Para realizar los trabajos de mantenimiento en redes de media tensión, ya sean correctivos o preventivos, se han generado procedimientos para que sean efectuados con el menor riesgo posible a los técnicos, equipos de la red, al medio ambiente y terceros. Para realizar estas maniobras, existen dos formas de plantearlas; 1. En líneas energizadas y 2. En líneas des energizadas.

Las maniobras en línea des energizada son las más utilizadas, ya que representa mayor seguridad, además, reduce los costos y aumenta el alcance de los trabajos a ejecutar.

Las maniobras en líneas des energizadas, aunque sean las más seguras en ejecución, no están exentas en presentar fallas que pueden poner en riesgo a los técnicos y los trabajos en sí. Estos pueden ser causados por los operarios, terceros (personas, animales o cosas que pueden afectar las maniobras), o por descargas atmosféricas; aún, si se cuenta con equipos específicos para protección de los operativos y la red.

1.3.1.1 Personal de trabajo

Detrás de las maniobras en líneas des energizadas, preventivas o correctivas, se requiere la coordinación de un grupo de personas, las cuales deben evaluar los riesgos que puedan existir para los equipos, los técnicos y todo lo que conlleve para dar ejecución a estos trabajos de forma segura y efectiva. La logística inicia con el ingeniero, quien es el encargado del trabajo y del personal. Los supervisores técnicos quienes realizan la verificación previa de los trabajos en terreno, evalúan los posibles riesgos, el recurso humano y material necesario junto con un presupuesto en donde se representa los trabajos (actividades, materiales, equipos, etc.) de la maniobra. Los técnicos, quienes ejecutan las labores, deben estar siempre en contacto vía telefónica con los ingenieros de centro de control los cuales verifican y confirman los pasos de la maniobra y garantizan que la zona se encuentre segura para realización de las actividades.

1.3.1.2 Procedimientos de trabajo.

Los trabajos de mantenimiento en redes eléctricas son considerados de alto riesgo, por esto se cuenta con procedimientos y herramientas específicas, los cuales garantizan la seguridad de los técnicos; El primer procedimiento que se debe aplicar en todo tipo de trabajo eléctrico son las 5 reglas de oro, estipuladas en el RETIE [2], las cuales son:

- Efectuar corte visible de todas las fuentes de tensión.
- Condenación y bloqueo.
- Verificar ausencia de tensión.
- Puesta a tierra y en cortocircuito.
- Señalizar y delimitar la zona de trabajo.

Para las maniobras de mantenimiento de red, se debe garantizar el corte visible de los equipos eléctricos que se encuentran en ella (Seccionadores de cuchilla, cortacircuitos, etc.), este corte visible se debe garantizar aguas arriba y agua debajo de la zona de trabajo.

Para realizar la condenación y bloqueo de los equipos de red, se deben retirar por completo los portafusiles y cañuelas. Adicionalmente se deben colocar carteles de no operar, para garantizar que personas externas a la maniobra manipulen estos equipos.

En la verificación de ausencia de tensión se utilizan equipos (probador te tensión o tester) con la potencial nominal de la red, los cuales emiten una alarma sonora y visual cuando la línea de red se encuentra energizada.

Para realizar la conexión del sistema de puesta a tierra, se utiliza una herramienta especial (puesta a tierra temporal) la cual se instala desde el suelo utilizando la pértica; este equipo pone en corto las fases de la red. Su objetivo es garantizar la protección de los técnicos y equipos de la red encaminando las posibles corrientes de falla que se puedan generar a tierra.

El técnico líder en terreno es el encargado de garantizar la correcta apertura de la maniobra, es el único autorizado de ponerse en contacto con los ingenieros de centro de control, este paso lo realizan vía telefónica e indicar los equipos y pasos de maniobra que se deben realizar.

El técnico líder en terreno, se encarga de trasmitir esta información al resto del personal técnico hasta culminar la maniobra. Al finalizar este procedimiento y se haya garantizado la zona protegida se procede a empezar las labores programadas.

Con la implementación de estas normas y procedimientos básicos, se garantizar la protección de la vida de los trabajadores [1].

1.3.2 Puesta a tierra temporal

La función principal del sistema de puesta a tierra temporal, consiste en limitar el paso de corriente que puede pasar por el cuerpo humano en la presencia de una falla o una descarga eléctrica o atmosférica mientras se realizasen las labores de mantenimiento, así sean predictivo, preventivo o correctivo [4].

El sistema de puesta a tierra es instalado de forma provincial. Para colocar a tierra los elementos con tensión de la red eléctrica, en los cuales se va a realizar los trabajos de mantenimiento, en la Ilustración 1.**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa las configuraciones de la instalación de puesta a tierra recomendadas por el RETIE para el mantenimiento en redes eléctricas áreas des energizadas[1].

Es sistema de puesta a tierra debe contar con mínimo estos elementos:

- Grapas: se utilizan para sujetar el cable de corto circuito, a las líneas o fases de la red
- Prensas o mordaza: para la conexión ente si de los cables de puesta a tierra.
- Cable de puesta a tierra: cable que conecta el cable de cortocircuito a la barrilla helicoidal,

- Cable de cortocircuito este cable es el conecta las grapas y el cable se puesta a tierra
- Silleta equipotencial: es un elemento que funciona como soporte, la cual va instalada en el poste de concreto. para sujetar las presas e interconecta el cable de puesta a tierra y la varilla helicoidal y permite conectar los cables de puesta a tierra
- Varilla helicoidal – es una varilla de 1.5m, con barreno que facilita su instalación en terreno



Ilustración 1. Sistema de puesta a tierra temporal.

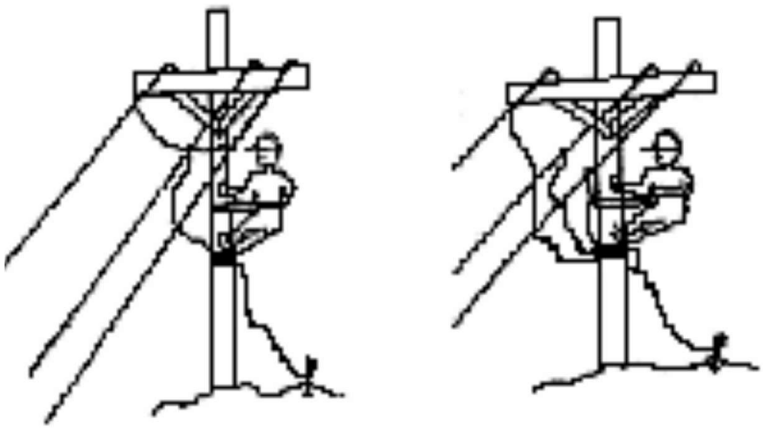


Ilustración 2.Montajes típicos de puestas a tierra temporales [1].

1.3.3 Estructura la 202

La norma de construcción LA 202, circuito primario sencillo, construcción tangencial, es una estructura normalizada por el operador de red ENEL-CODENSA para circuitos urbanos aéreos de media tensión, se utilizan como estructura de paso para la sujeción de los conductores, el cual consta de una cruceta de madera de 2.5 m un poste de concreto de 12 m 510 kg tres aisladores cerámicos tipo pin y sus respectivos herrajes para su sujeción, en la Tabla 1. se presenta los elementos que la componen [5].

DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES	CANTIDAD
Aislador cerámico tipo pin	3
Cruceta madera de 2,5 m	1
Diagonal metálica en varilla tipo 1	2
Poste de concreto de 12 m 510 kg (2)	1
Tornillo de carruaje 5/8" x 1 1/2"	1
Tornillo de acero galvanizado 5/8" x 2"	2
Abrazadera de una salida tipo 2, 140 mm (3)	1
Abrazadera en U tipo 1, 150 mm (4)	1

Tabla 1 Elementos de estructura LA 204 [5].

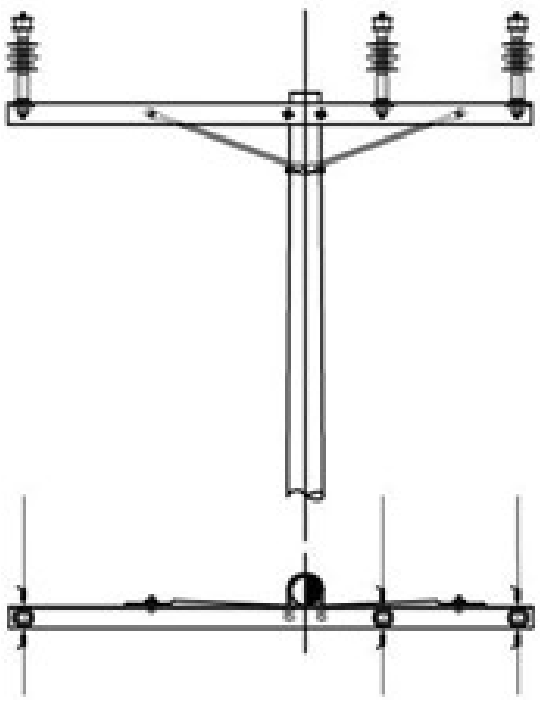


Ilustración 3.de estructura LA 202 [5].

1.3.4 Poste

Es un elemento construido en diferentes tipos de material como madera, metal fibra de vidrio y concreto, los más utilizado en el tendido de redes eléctricas, son los postes de concreto; por su resistencia a la rotura y durabilidad. Su función es realizar el soporte mecánico de los elementos de la red área como crucetas y conductores entre otros. Para la redes de M.T. se utilizan postes de concreto de 14 y 12 metros con resistencia de rotura de 1350, 1050, 750 y 510 kg, dependiendo las característica de construcción de la red [2].

Las características de construcción de los apoyos de concreto se encuentran establecidas en la norma NTC 1329 [6] y ET201 de ENEL –CODENSA.

1.3.5 Tensión de paso

Es la diferencia de potencial que se produce entre los pies de una persona que se encuentre parada en el terreno, con una distancia entre sus pies de un metro, producida por una corriente de falla [7].(ver Ilustración 4)

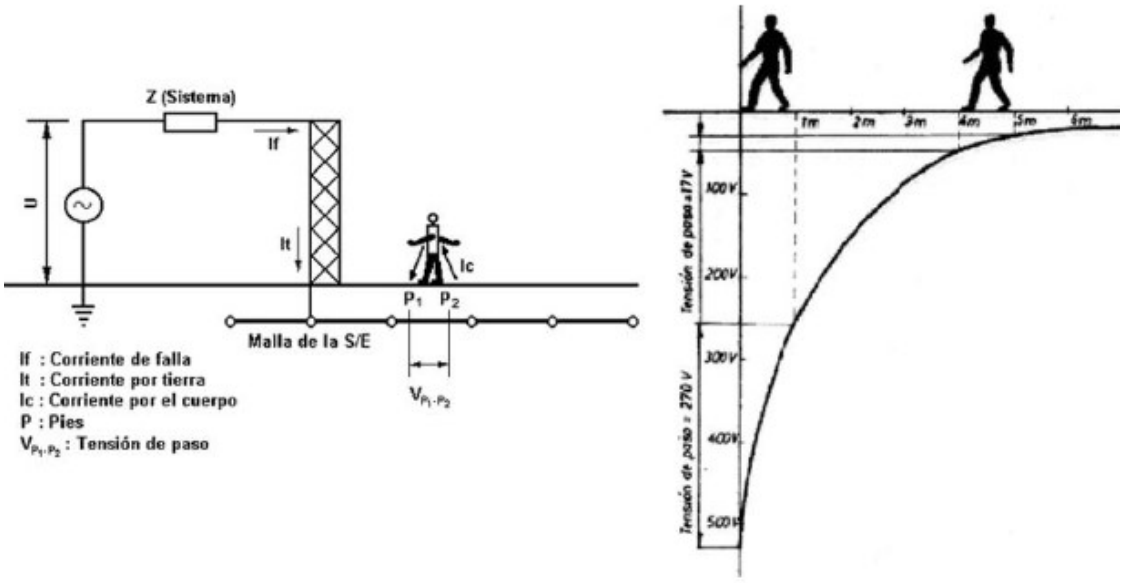


Ilustración 4.Tensión de contacto [7].

1.3.6 Tensión de contacto

Es la diferencia de potencial que se produce cuando una persona toca un elemento energizado, puesto a tierra, con una distancia mayor a un metro cuando se produce una corriente de falla, Esta distancia horizontal es máxima cuando puede alcanzar al extender un brazo [7],(ver Ilustración 5).

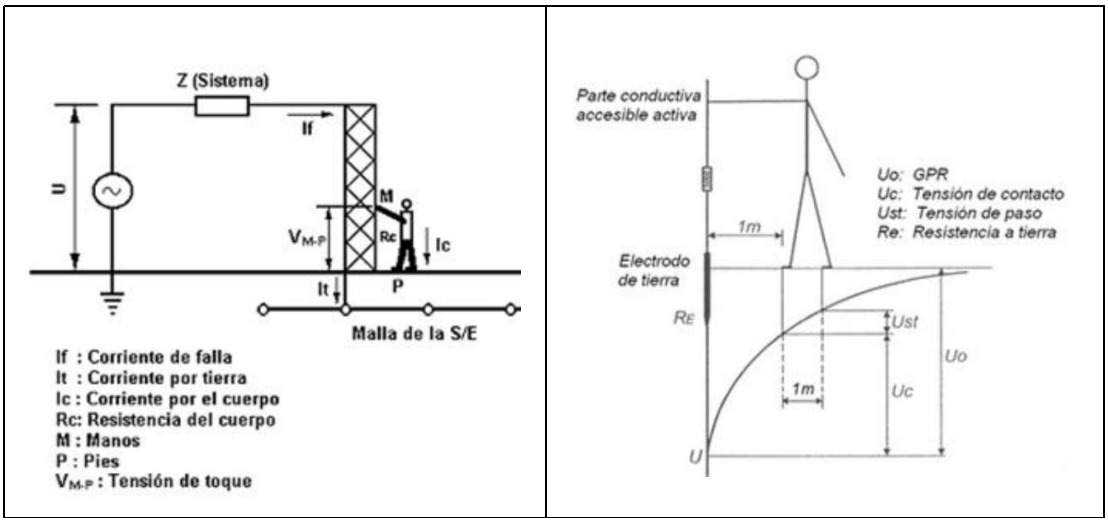


Ilustración 5.Tensión de paso [7].

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 Objetivo general

Analizar la incidencia que tienen los postes de concreto en las fallas generadas mediante el mantenimiento de las redes de distribución.

2.2 Objetivos específicos.

- Estudiar el método con el cual se realiza el aterrizaje de redes de media tensión cuando se requieren maniobras de mantenimiento sobre redes des energizadas.
- Realizar las pruebas al poste de concreto para así obtener datos a los que se requiere analizar y comparar mediante las normas establecidas.
- Analizar los niveles de tensión de paso y de contacto, obtenidos en las simulaciones con tensión, y así compararlos con lo especificados en las normas consultadas.

- Establecer si los postes de concreto utilizados en las redes de distribución cumplen con las especificaciones necesarias para esta actividad.

3. METODO PARA OBTENER LAS VARIABLES ELECTRICAS

Para realizar las mediciones de las variables eléctricas que se presentan cuando ocurre una falla a tierra de media tensión al momento que se realizan las maniobras de mantenimientos en redes des energizadas, se generó un entorno similar en el cual trabajan los operarios en terreno, realizando la instalación de un poste de concreto con su respectiva cruceta y aisladores, la instalación de un sistema de puesta a tierra temporal, en las instalaciones de la sede de la FACULTAD TECNOÓGICA , de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, al costado del laboratorio de pruebas de alta tensión, donde se encuentra los equipos para efectuar la inyección de tensión o corriente para generar la descarga en las estructura.

3.1 Aterrizaje de redes de media tensión

El RETIE en el capítulo 15 parágrafo 15.7.2 requisitos de instalación establece las siguientes medidas para la instalación de la puesta a tierra temporales.

"a. El montaje debe hacerse de tal manera que los pies del liniero queden al potencial de tierra y que los conductores que se conectan a las líneas tengan la menor longitud e impedancia posible, tal como se muestra en la Ilustración 2*, adoptada de la guía IEEE 1048.*

b. La secuencia de montaje debe ser desde la tierra hasta la última fase y para desmontarlo debe hacerse desde las fases hasta la tierra.

c. En el evento que la línea esté o sea susceptible de interrumpirse en la estructura, se debe conectar a tierra en ambos lados de la estructura"[1].

Estas medidas tienen que ser implementadas conjuntamente con las cinco reglas de oro, y así minimizar los riegos de accidentes que se presenten en las maniobras de mantenimiento de redes de media tensión [4]

Para la instalación del sistema de puesta tierra temporal debe reanalizar la instalación de la varilla helicoidal (electrodo de puesta a tierra) a la cual se conecta el cable de puesta a tierra y este a la silleta equipotencial que a la vez se encuentran conectadas a las grapas o pinzas las cuales se ubican en cada una de las fases de la red, haciendo una conexión solida entre estas, conectando de la fase que se encuentra más lejos del operario hasta la más próxima, el cable de puesta a tierra debe quedar por debajo de los pies del operario como se muestra en la Ilustración 2, su desconexión se hace de forma inversa, desconectando primero las prensas de cada una las fases, luego la silleta y por último el barreno [2].

3.2 Elementos utilizados en el estudio

Los elementos demandados para la realización del respectivo estudio son los siguientes:

- Poste de Concreto 12m 510 Kg
- Cruceta de madera de 2,5 metros.
- Porta-aisladores de porcelana de 15 kv.
- Aisladores de porcelana de 15 kv.
- Cable 2/0 ACSR desnudo.
- Sistema de puesta a tierra temporal de M.T.
- Transformador monofásico

- Tablero de pruebas.
- Multímetros Fluke 179.
- Cable numero 12 AWG.
- Cinta bandit.
- Varillas de puesta a tierra.

3.3 Montaje

Para realizar el respectivo estudio de la incidencia de los postes de concreto durante las fallas generadas en el mantenimiento de las redes de distribución, se implementó el montaje de una estructura típica en redes áreas de M.T., normalizada por el operador de red Enel-Codensa.

Se escogió la estructura, LA 202 circuito primario sencillo construcción tangencial, para cual se efectuó la instalación de un poste de concreto de 12m y los elementos que la componen y se especifican en la

Tabla 1.

Previamente al poste de concreto antes de ser hincado, se instalan unos cables que están conectados directamente a su estructura de acero, la cual le da la rigidez mecánica y atraviesan el poste de extremo a extremo, uno a la parte superior del poste y otro en su base, se instala una caja de conexiones en la parte inferior del poste, donde están conectados el otro extremo de los cables que peritan medir el comportamiento del poste cuando experimenta un corriente de falla, como se puede observar en la Ilustración 6.



Ilustración 6. caja de conexiones para realizar las pruebas (Por los autores).

Para simular al operario que está realizando la maniobra en el poste, se instalaron tres cintas bandit alrededor de este, a una distancia de 0.9m a 1.5m cada una aproximadamente y se conectaron de forma individual, con cable aislado que bajan hasta las cajas de conexiones, el montaje completo para realizar las pruebas, se puede observar en la Ilustración 7.

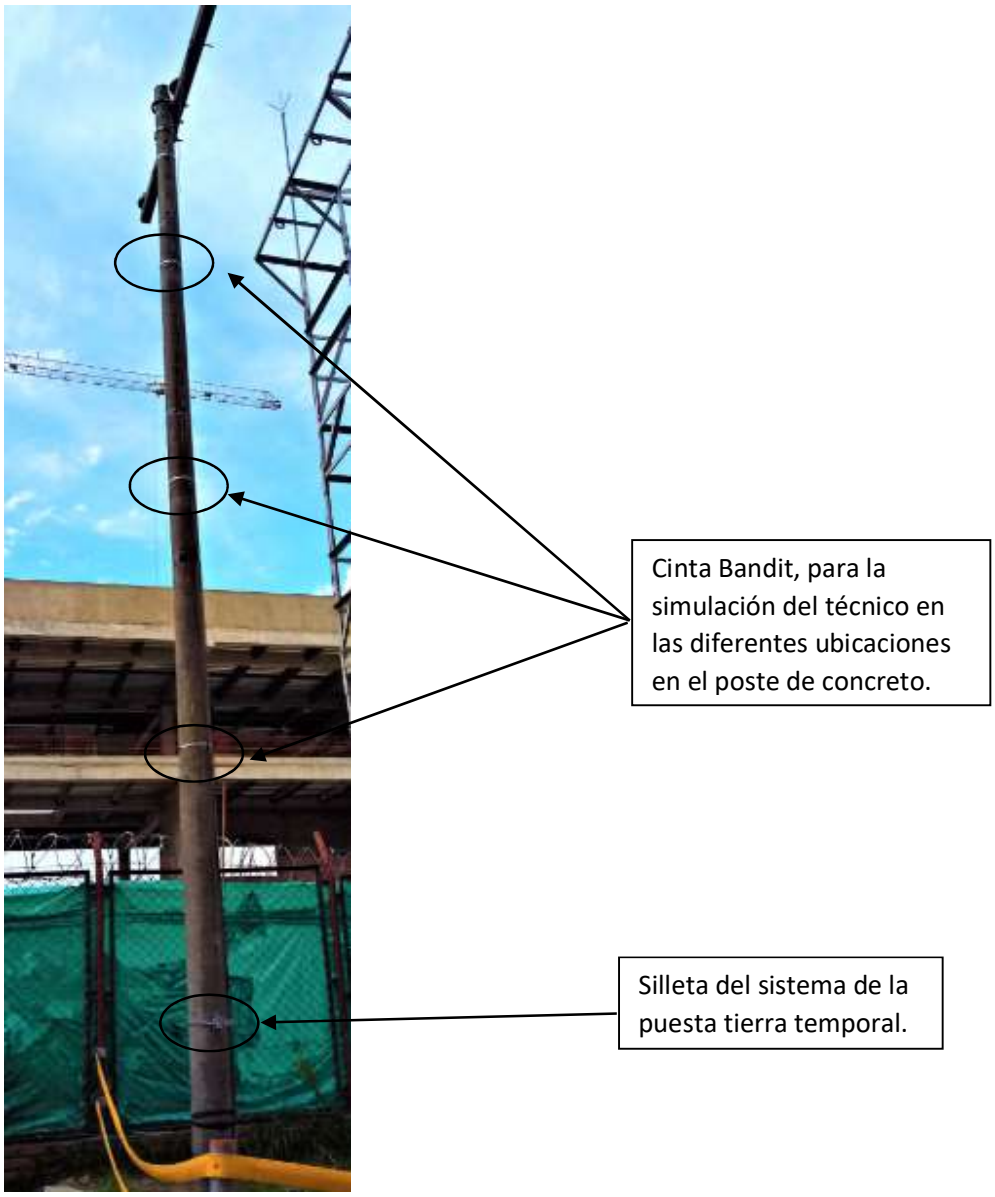


Ilustración 7. Montaje para realizar las pruebas (Por los autores).

Para realizar las simulaciones de la falla, se utiliza el tablero de pruebas del laboratorio de alta tensión, el cual alimenta un trasformador monofásico de 4162 V en el primario y con 240 V en el secundario, las pruebas y medidas obtenidas se realizan en B.T., por seguridad al no contar con las instalaciones y elementos necesarios no es posible recolectar esta información con tensiones elevadas.

Se conecta la salida de B.T. del trasformador monofásico, por medio de un conductor a una fase del montaje, el cual se conecta de forma directa al conductor de la red sujeto en el aislador en la estructura LA202, con esto queda conectado el poste a la misma diferencia de potencial que la línea simulando una falla a tierra que energiza el poste.

La otra fase del trasformador se instala en un barreno y se envía a tierra para cerrar el circuito el cual se encuentra a unos 20 metros de distancia de la zona de pruebas para evitar interferencia en las medidas, con las fases del trasformador conectadas se realiza la instalación del sistema de puesta a tierra temporal y se encuentran todos los elementos conectados en la caja de conexiones para energizar y realizar las empezar a realizar las mediciones correspondientes.

Las mediciones se van a realizar de dos formas la primera en el poste y es medir la diferencia de potencial entre la silleta de puesta a tierra y las tres cintas bandit que simulan la posición del operario en este.

La segunda medición que se va a realizar es medir la diferencia de potencial entre la base del poste y el terreno utilizando dos electrodos variando la distancian entre estos y la profundidad de enterramiento, para esto se tomara un electrodo el cual se ira desplazando cada 0,1 m, de forma radial para determinar el comportamiento del potencial en el terreno.

Para tal fin se toman cuatro puntos, para realizar la ubicación del barreno de puesta a tierra temporal y así realizar, varias tomas de mediadas occidente, oriente, norte y sur, los cuales corresponden al nuevo edificio de laboratorios en construcción de la Universidad Distrital, estatua del sabio Caldas, avenida Villavicencio y parqueadero de la Universidad Distrital correspondientemente y de esta forma, determinar la tensión de paso y de contacto, que pueden quedar expuestos el personal, cuando se realiza una maniobra de media tensión y ocurre una falla a tierra.

En la Ilustración 8, se observa el planteamiento utilizado para el desarrollo de las mediciones, el tipo de estructura y las conexiones necesaria para la energización del sistema, aclarando cada una de las variables en el montaje.

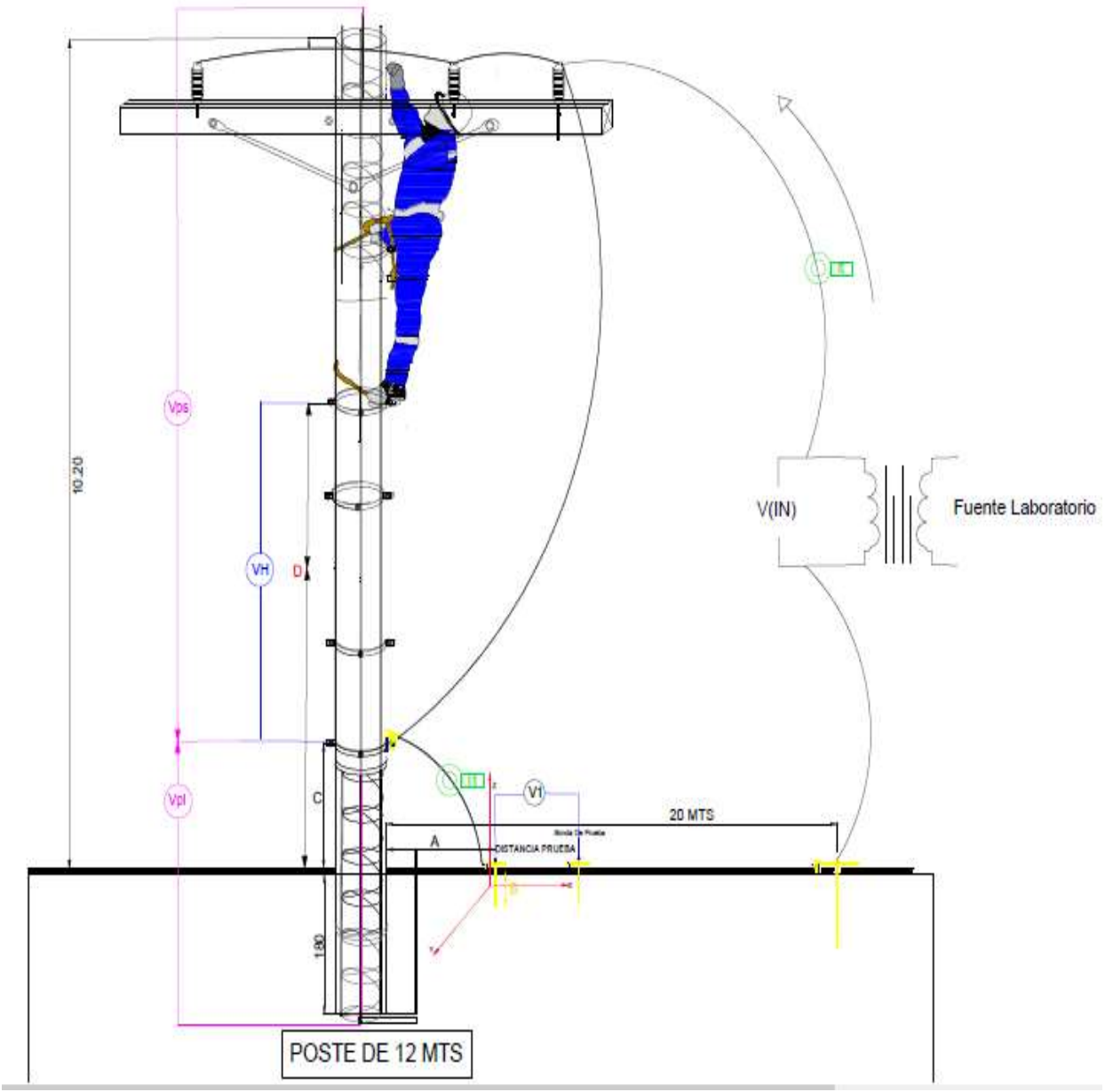


Ilustración 8. Plano de montaje para mediciones (Por los autores).

A continuación, se especifica el nombre de cada una de las variables:

IT: Corriente total a la salida del transformador.
I1: Corriente por el sistema de puesta a tierra.
V1: Tensión entre el electrodo de tierra y el electrodo de prueba.
VH: Tensión entre el electrodo de tierra y el técnico.
Vps: Tensión del torón superior del poste y el electrodo del SPT temporal.
Vpi: Tensión del torón inferior del poste y el electrodo del SPT temporal.
A: Distancia entre el poste de concreto y el electrodo del SPT temporal.
B: Distancia de enterramiento del electrodo del SPT temporal.
C: Altura de la silleta con respecto al suelo.
D: Ubicación del técnico en el poste con respecto al suelo.

4. DESCRIPCION DE LOS RESUSTADOS ALCANZADOS

A continuación, se procede a describir los resultados obtenidos con el desarrollo del presente estudio.

4.1 Adquisición de datos

Teniendo los elementos conectados según la Ilustración 8. se procede a energizar el montaje por medio del banco de pruebas del laboratorio de alta tensión, al cual se conecta a un transformador monofásico que se utiliza como elevador de tensión, de esta manera se inyecta una corriente al sistema el cual está conectado a la parte superior del poste de concreto y se encuentra aterrizado con el fin de simular la falla del sistema (ver Ilustración 8.), para la obtención de datos de tensión se utilizaron 3 multímetros y dos pinzas amperimétricas para la toma de corriente. Las mediciones de tensión y corriente, se tomaron a la entrada y salida del sistema propuesto, para recolectar los datos de las variables eléctricas y así poder realizar un análisis apropiado sobre la incidencia de los postes de concreto durante las fallas

generadas en los mantenimientos de las redes de distribución (ver Ilustración 8).

4.2 Resultados de las mediciones.

Para realizar el análisis correspondiente a la incidencia de los postes de concreto durante la falla, se realiza la toma de medidas de tensión y corriente en diferentes escenarios. Los diferentes escenarios consisten en modificar la ubicación y/o enterramiento de las diferentes partes del sistema, tales como electrodo de sistema de puesta a tierra (STP) temporal, electrodo de medida, ubicación del operario en el poste y ubicación de la silleta del sistema de puesta a tierra.

Los datos que se recopilan en las diferentes pruebas son con valores en baja tensión, se realiza de este modo para así tener control sobre la falla y la facilidad de obtener los datos, ya con los datos obtenidos se procede a realizar la extrapolación de estos para así obtener valor en media tensión y realizar el análisis lo más real posible.

A continuación, se describe cada uno de los experimentos realizados:

4.2.1 Primera prueba electrodo enterrado 0.6m a una distancia de 1m

Para la realización de esta primera prueba el electrodo del sistema a tierra temporal se ubica a 1 metro de distancia del poste de concreto y con una distancia de enterramiento a 0,6 metros. Para esta primera prueba se recopilan 404 datos. La tensión y corriente aplicadas al sistema son en baja tensión para así tener control sobre la falla y evitar algún tipo de accidente.

En la Tabla 2. se muestran los datos nominales y las características de la prueba, para realizar un mejor análisis estos datos son extrapolados utilizando un factor de escala para tensión de 11,4 Kv.

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA	
FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	50,74628426
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6581,793069
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	37,80598178
PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	0,600
DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	1,000
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Distancia "D" [m])	8,000

Tabla 2 Datos de la prueba (Por los autores).

Al realizar la toma de medida de corriente en el sistema de puesta a tierra temporal (I1) se evidencia que la corriente total que fluye por el sistema es dirigida a través de este (IT=I1), por lo tanto, no existe una corriente de fuga a través del poste de concreto.

Como se observar en la Ilustración 9, se presenta una diferencia de potencial entre la silleta instalada en el poste y el electrodo de prueba con un valor aproximado de 5.8 kV, el pico decreciente se presenta una distancia entre 1m y 1.10m donde está enterrado el electrodo del sistema de puesta tierra temporal y se descarga la falla, pero esta continua por el terreno y vuelve a su valor cercano. Los datos obtenidos de la prueba se encuentran en el anexo 1.

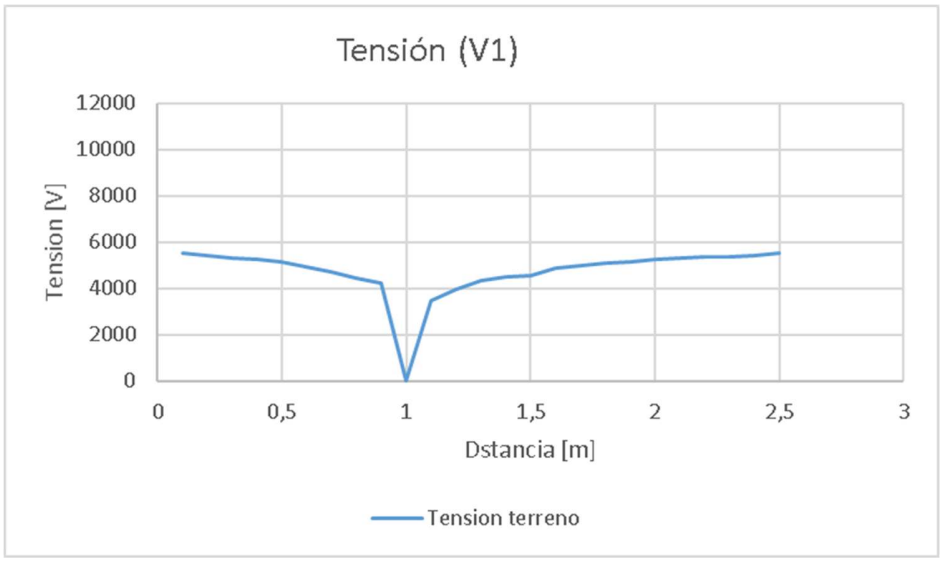


Ilustración 9. Diferencia de potencial en el terreno (Por los autores).

En la Ilustración 10, se observa la diferencia de potencial medidos en el poste, la línea de color naranja representa la diferencia de potencial, medido de la base del poste hasta la silleta equipotencial, con un valor promedio de 5,6 kv, la línea azul representa la diferencia de potencial, que experimenta el técnico que se encuentra ubicado en la cima del poste, cuando se presenta la falla a tierra, con un valor promedio de 4,3 kv.

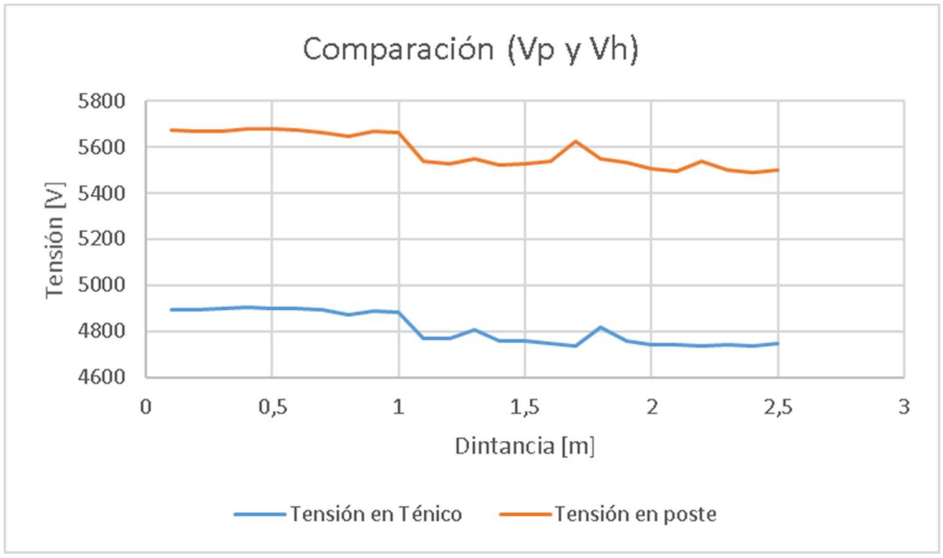


Ilustración 10. Diferencia de potencial en el poste (Por los autores).

En la Ilustración 11 se observa, el comportamiento de la tensión radial en el terreno, donde la tensión con un el valor más bajo se encuentra cerca al electrodo del sistema de puesta a tierra temporal y la tensión en el terreno tiene un valor aproximado de 5,7 kv.

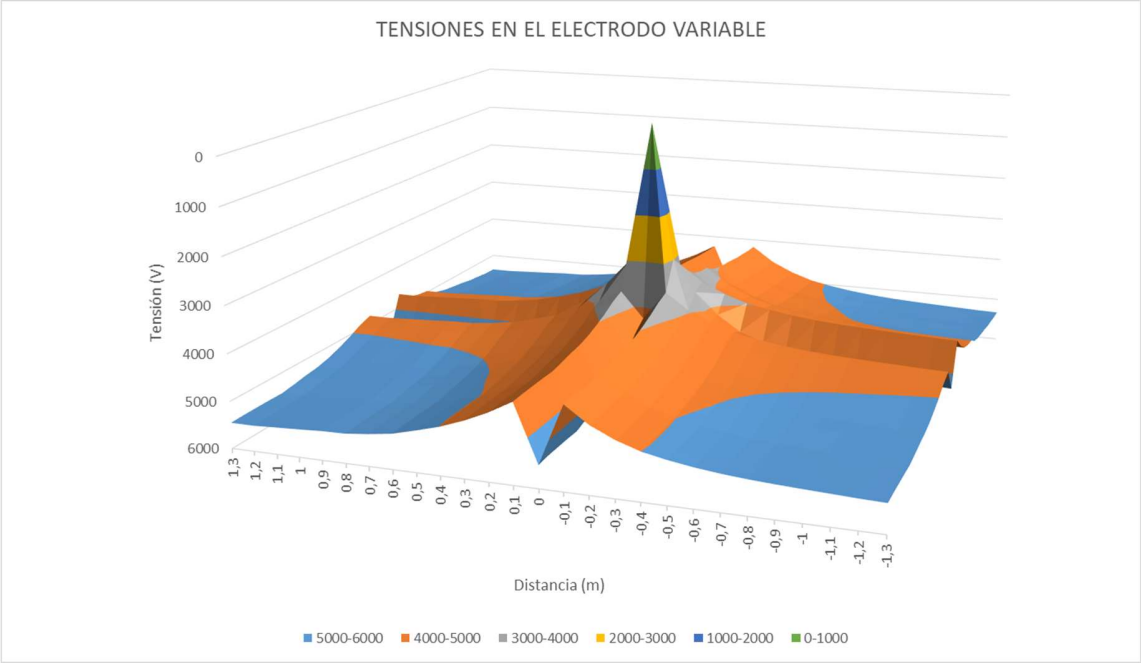


Ilustración 11. Potencial en el terreno (Por los autores).

4.2.2 Segunda prueba electrodo enterrado 0.3m a una distancia de 0.5m

Para la realización de esta segunda prueba, el electrodo del sistema a tierra temporal se ubica a 0,5 metros de distancia del poste de concreto y con una distancia de enterramiento a 0,3 metros. Para esta prueba se recopilan 380 datos.

En la

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA	
FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	52,2157324
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6.581,793
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	23,34043238
PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	0,300

DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	0,500
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Altura "D" [m])	8,000

Tabla 3. se muestran los datos nominales y las características de la prueba, para realizar un mejor análisis estos datos son extrapolados utilizando un factor de escala para tensión de 11,4 Kv.

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA	
FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	52,2157324
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6.581,793
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	23,34043238
PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	0,300
DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	0,500
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Altura "D" [m])	8,000

Tabla 3 Datos de la prueba (Por los autores).

Al realizar la toma de medida de corriente en el sistema de puesta a tierra temporal (I1) se evidencia que la corriente total que fluye por el sistema es dirigida a través de este (IT=I1), por lo tanto, no existe una corriente de fuga a través del poste de concreto.

Como se observa en la Ilustración 12, se presenta una diferencia de potencial entre la silleta instalada en el poste y el electrodo de prueba, con un valor aproximado de 6 kv, el pico decreciente se presenta una distancia entre 0,40m y 0.6m, donde está enterrado el electrodo del sistema de puesta a tierra temporal y se descarga la falla, pero esta continua por el terreno y se incrementa a un valor aproximado de 6 kv. Los datos obtenidos de la prueba se encuentran en el anexo 2.

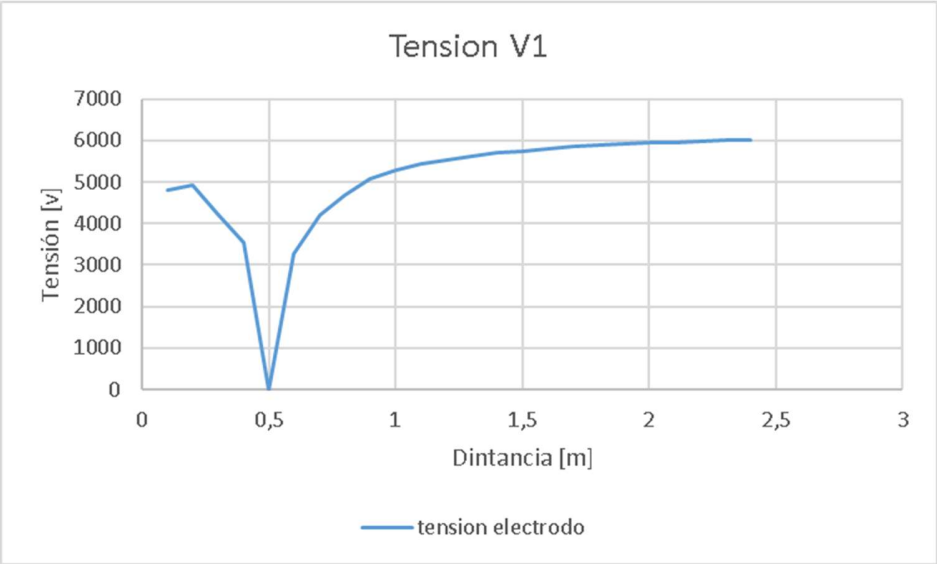


Ilustración 12. Tensión en el electrodo (Por los autores).

En la Ilustración 13, se observa las diferencias de potencial medidos en el poste, la línea de color naranja representa la diferencia de potencial, medido de la base del poste hasta la silleta equipotencial, con un valor promedio de 5,8 kv, la línea azul representa la diferencia de potencial, que experimenta el operario que se encuentra trabajando en la punta del poste, cuando se presenta la falla a tierra, con un valor promedio de 5,1 kv.

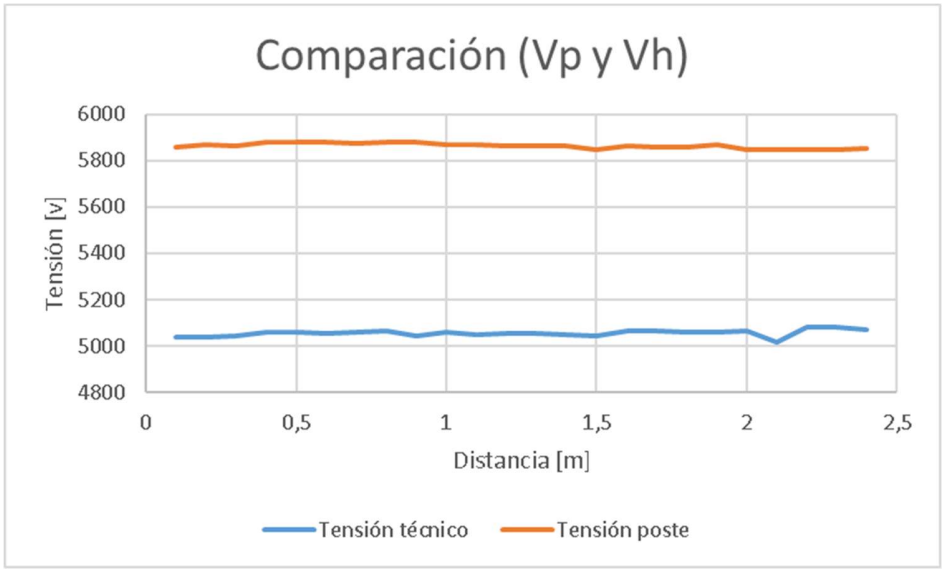


Ilustración 13. Diferencia de potencial en el poste (Por los autores).

En la Ilustración 14, se observa el comportamiento de la tensión radial en el terreno, donde la tensión con el valor más bajo, se encuentra cerca al electrodo de prueba y la tensión de en el terreno tiene un valor aproximado de 6 kv.

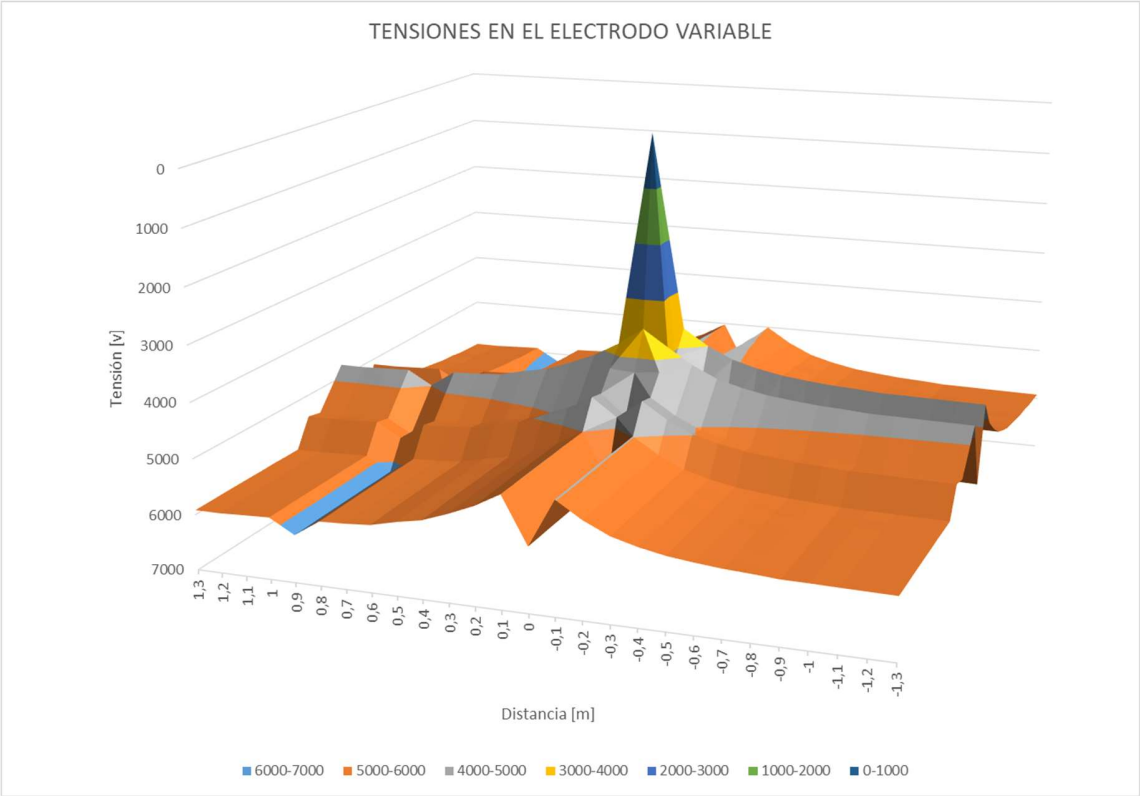


Ilustración 14. Potencial en el terreno (Por los autores).

4.2.3 Tercera prueba electrodo enterrado 0.8m a una distancia de 1m

Para la realización de esta tercera prueba el electrodo del sistema a tierra temporal se ubica a 1 metro de distancia del poste de concreto y con una distancia de enterramiento a 0,8 metros. Para esta prueba se recopilan 419 datos.

En la

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA	
FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	55,54255754
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6.581,793
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	48,655
PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	0,800
DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	1,000
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Altura "D" [m])	8,000

Tabla 4. se muestran los datos nominales y las características de la prueba, para realizar un mejor análisis estos datos son extrapolados utilizando un factor de escala para tensión de 11,4 Kv.

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA	
FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	55,54255754
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6.581,793
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	48,655
PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	0,800
DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	1,000
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Altura "D" [m])	8,000

Tabla 4 Datos de la prueba (Por los autores).

Al realizar la toma de medida de corriente en el sistema de puesta a tierra temporal (I1) se evidencia que la corriente total que fluye por el sistema es dirigida a través de este (IT=I1), por lo tanto, no existe una corriente de fuga a través del poste de concreto.

En la Ilustración 15, se presenta una diferencia de potencial entre la silleta instalada en el poste y el electrodo del sistema de puesta a tierra, con un valor inicial de 3,6 kv V, pero esta continua por el terreno y se incrementa a un valor aproximado de 5,2 kV. Los datos obtenidos de la prueba se encuentran en el anexo 3.

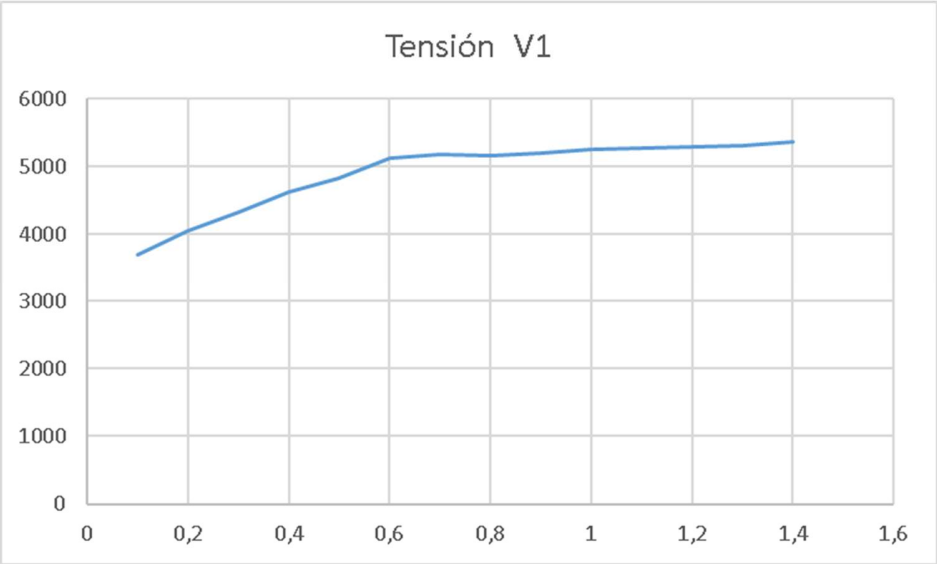


Ilustración 15. Tensión en el electrodo (Por los autores).

En la Ilustración 16, se observa la diferencia de potencial medidos en el poste, la línea de color naranja representa la diferencia de potencial, medido de la base del poste hasta la silleta equipotencial, con un valor promedio de 5,4 kv, la línea azul representa la diferencia de potencial, que experimenta el operario que se encuentra trabajando en la punta del poste, cuando se presenta la falla a tierra, con un valor promedio de 4,4 kv.

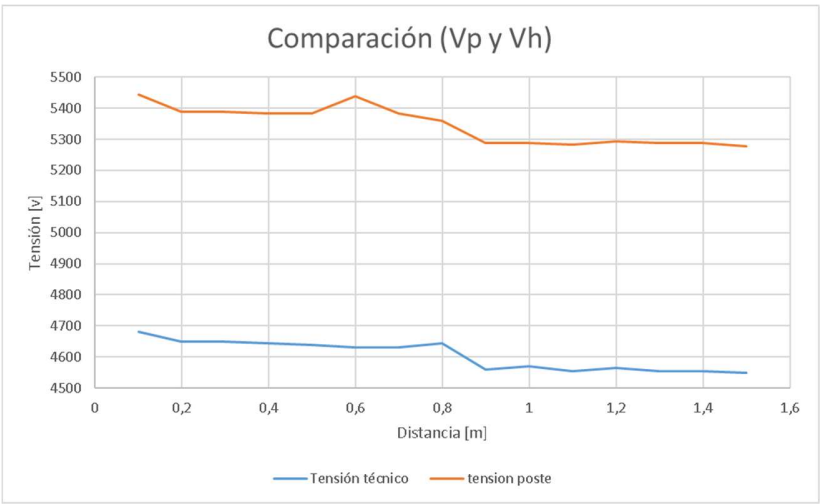


Ilustración 16. Diferencia de potencial en el poste (Por los autores).

En la Ilustración 17, se observa el comportamiento de la tensión radial en el terreno, donde la tensión con el valor más bajo se encuentra cerca al electrodo de prueba y la tensión en el terreno tiene un valor aproximado de 5.2 kv.

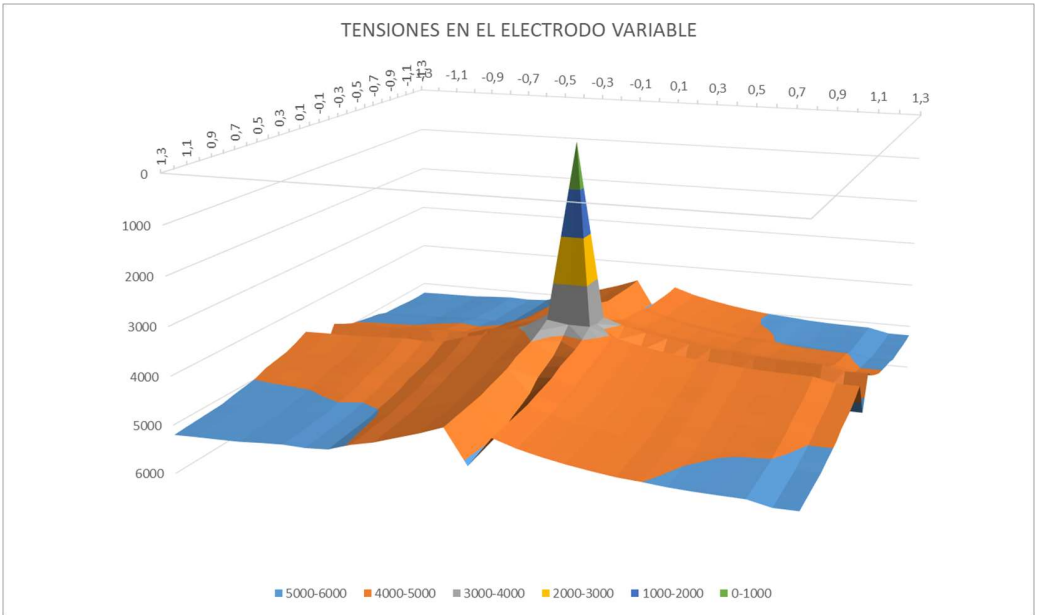


Ilustración 17. Potencial en el terreno (Por los autores).

4.2.4 Cuarta prueba electrodo enterrado 1,1m a una distancia de 1.5m

Para la realización de esta cuarta prueba el electrodo del sistema a tierra temporal se ubica a 1,5 metro de distancia del poste de concreto y con una distancia de enterramiento a 1,1 metros. Para esta prueba se recopilan 208 datos no es posible obtener la misma cantidad de datos que en las pruebas anteriores por la limitad de espacio que se tiene.

En la

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA	
FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	69,2820323
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6.581,793
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	62,146

PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	1.10
DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	1,500
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Altura "D" [m])	0,890

Tabla 5. se muestran los datos nominales y las características de la prueba, para realizar un mejor análisis estos datos son extrapolados utilizando un factor de escala para tensión de 11,4 Kv.

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA	
FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	69,2820323
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6.581,793
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	62,146
PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	1.10
DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	1,500
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Altura "D" [m])	0,890

Tabla 5 Datos de la prueba (Por los autores).

Al realizar la toma de medida de corriente en el sistema de puesta a tierra temporal (I1) se evidencia que la corriente total que fluye por el sistema es dirigida a través de este (IT=I1), por lo tanto, no existe una corriente de fuga a través del poste de concreto.

En la Ilustración 18, se presenta una diferencia de potencial entre la silleta instalada en el poste y el electrodo del sistema de puesta a tierra temporal, con un valor inicial de 3,1 kV, pero esta continua por el terreno y se incrementa a un valor aproximado de 4,7 kV. Los datos obtenidos de la prueba se encuentran en el anexo 4.

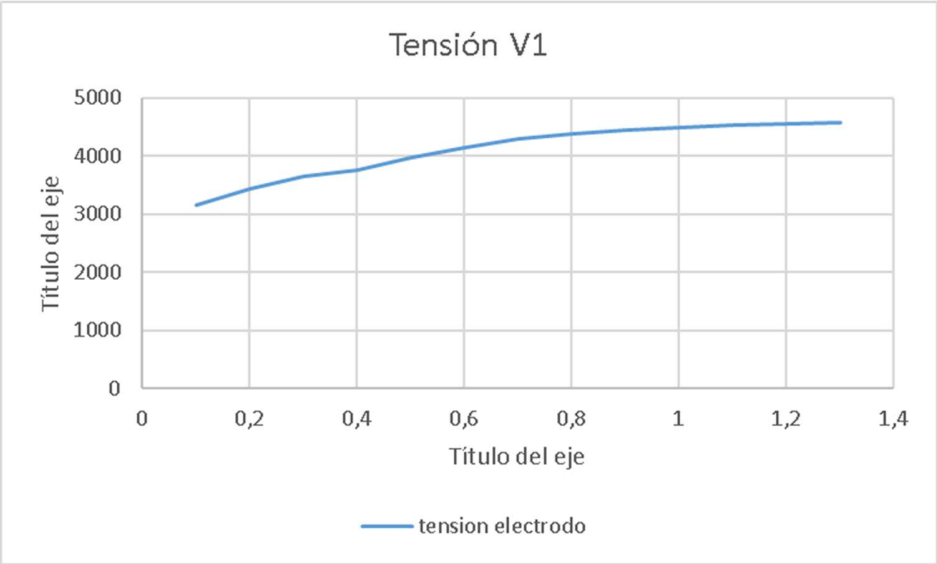


Ilustración 18. Tensión en el electrodo (Por los autores).

En la Ilustración 19, se observan la diferencia de potencial medidos en el poste, la línea de color naranja representa la diferencia de potencial, medido de la base del poste hasta la silleta equipotencial, con un valor promedio de 4,7 kV, la línea azul representa la diferencia de potencial, que experimenta el operario que se encuentra trabajando en la punta del poste, cuando se presenta la falla a tierra, con un valor promedio de 3,9 kV.

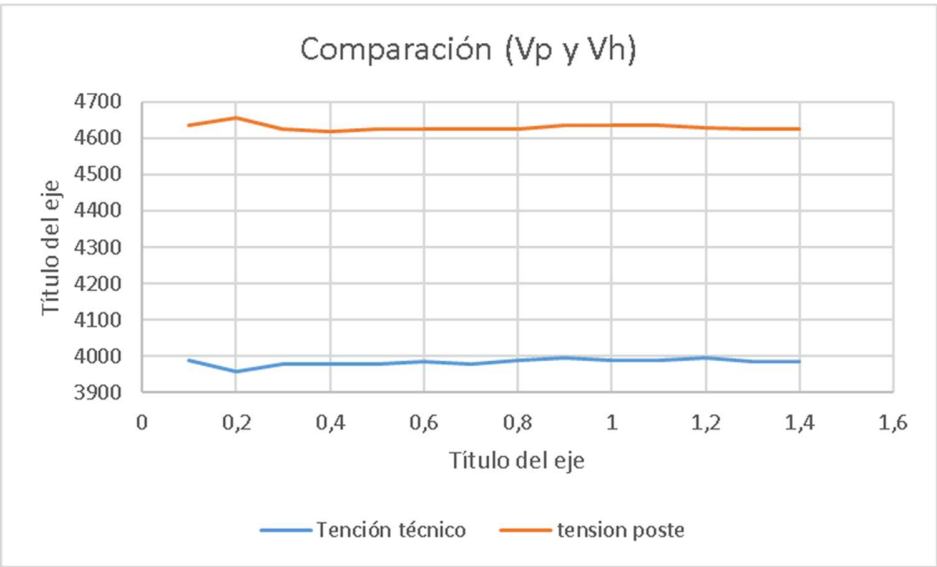


Ilustración 19. Diferencia de potencial en el poste (Por los autores).

En la Ilustración 20, se observa el comportamiento de la tensión radial en el terreno, donde la tensión con el valor más bajo se encuentra cerca al electrodo de prueba y la tensión de en el terreno tiene un valor aproximado de 6,1 kV.

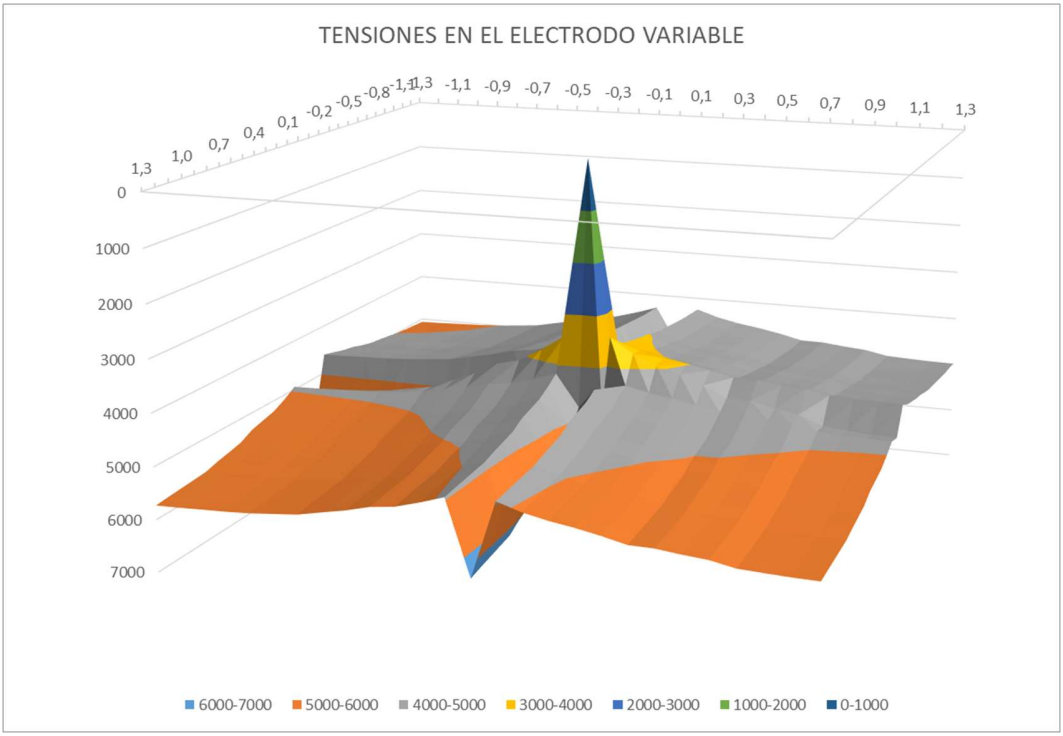


Ilustración 20. Potencial en el terreno (Por los autores).

4.2.5 Quinta prueba electrodo enterrado 0.3m a una distancia de 1m

Para la realización de esta quinta prueba el electrodo del sistema a tierra temporal se ubica a 1 metro de distancia del poste de concreto y con una distancia de enterramiento a 0,3 metros. Para esta prueba se recopilan 208 datos, no es posible obtener la misma cantidad de datos que en las pruebas anteriores por la limitad de espacio que se tiene.

En la

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA

FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	53,42364504
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6.581,793
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	17,630
PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	0,300
DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	1,000
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Altura "D" [m])	0,890

Tabla 6. se muestran los datos nominales y las características de la prueba, para realizar un mejor análisis estos datos son extrapolados utilizando un factor de escala para tensión de 11,4 Kv.

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA	
FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	53,42364504
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6.581,793
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	17,630
PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	0,300
DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	1,000
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Altura "D" [m])	0,890

Tabla 6 Datos de la prueba (Por los autores).

Al realizar la toma de medida de corriente en el sistema de puesta a tierra temporal (I1) se evidencia que la corriente total que fluye por el sistema es dirigida a través de este (IT=I1), por lo tanto, no existe una corriente de fuga a través del poste de concreto.

Como se observar en la Ilustración 21, se presenta una diferencia de potencial entre la silleta instalada en el poste y el electrodo de prueba, con un valor aproximado de 6 kv, el pico decreciente se presenta una distancia entre 0,90m y 1,1m, donde está enterrado el electrodo del sistema de puesta a tierra temporal y se descarga la falla, pero esta continua por el terreno y se incrementa a un valor aproximado de 6 kv. Los datos obtenidos de la prueba se encuentran en el anexo 5.

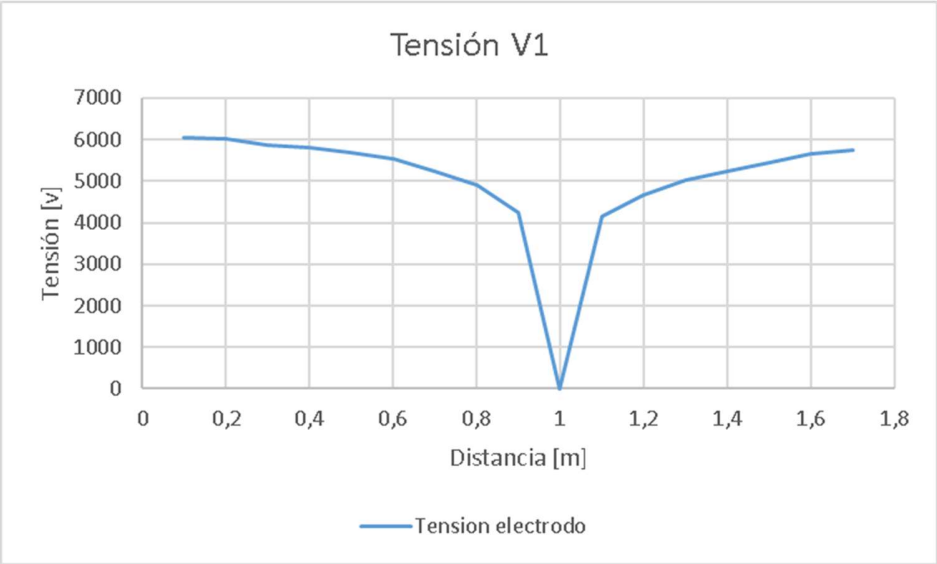


Ilustración 21. Tensión en el electrodo (Por los autores).

En la Ilustración 22, se observa la diferencia de potencial medidos en el poste, la línea de color naranja representa la diferencia de potencial, medido de la base del poste hasta la silleta equipotencial, con un valor promedio de 6,1 kV, la línea azul representa la diferencia de potencial, que experimenta el operario que se encuentra trabajando en la punta del poste, cuando se presenta la falla a tierra, con un valor promedio de 5,2 kV.

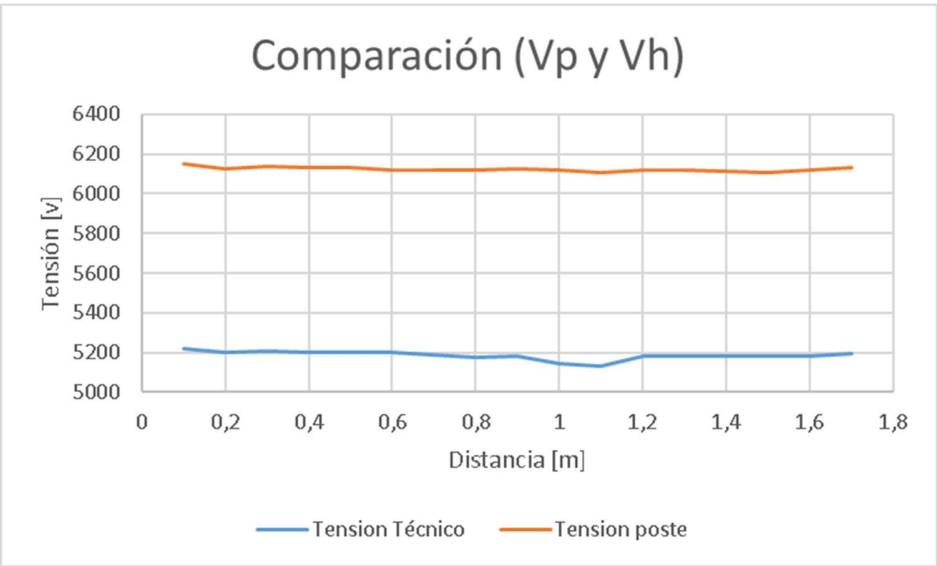


Ilustración 22. Diferencia de potencial en el poste (Por los autores).

En la se Ilustración 23 observa el comportamiento de la tensión radial en el terreno, donde la tensión con un el valor más bajo se encuentra cerca al electrodo de prueba y la tensión de en el terreno tiene un valor aproximado de 6,1 kV.

.

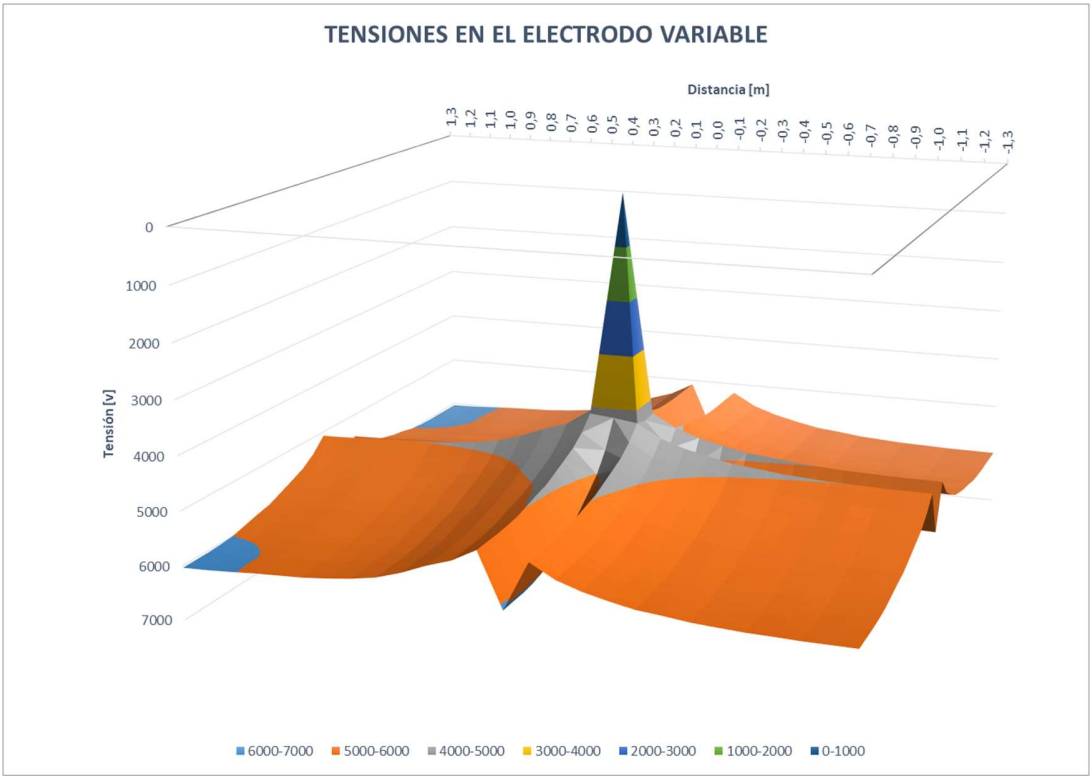


Ilustración 23. Potencial en el terreno (Por los autores).

4.2.6 Sexta prueba conexión del sistema de puesta a tierra temporal a la estructura metálica interna del poste de concreto

Para esta prueba, se realiza la conexión de la silleta a la estructura metálica interna del poste de concreto, por lo tanto, el poste queda conectado al sistema de puesta a tierra, para observar el comportamiento del poste al momento de presentarse una falla a tierra como se muestra en la siguiente Imagen, (ver Ilustración 24).

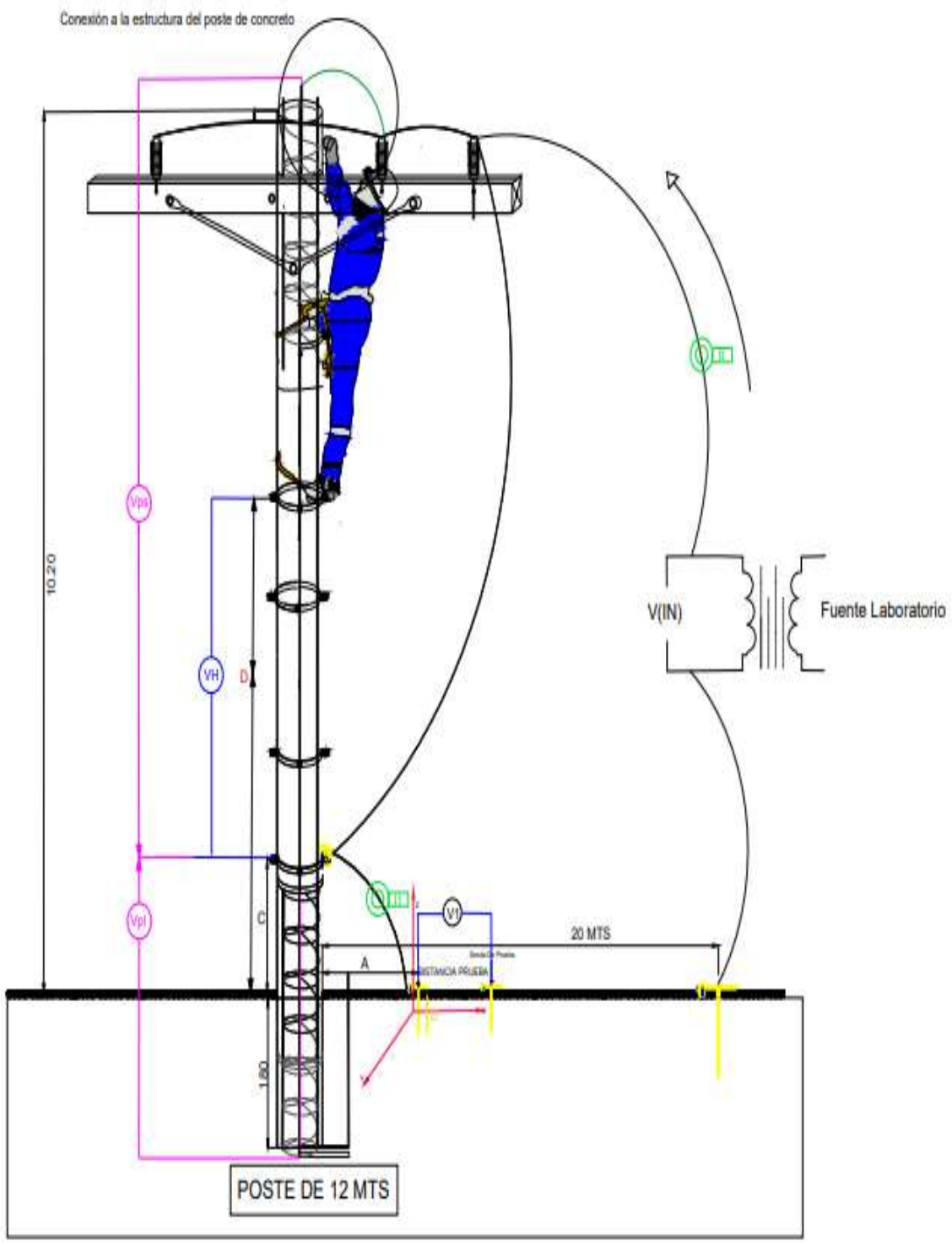


Ilustración 24. Plano de montaje para mediciones aterrizando estructura del poste de concreto (Por los autores).

En la

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA	
FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	53,42364504
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6.581,793
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	17,630
PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	0,300
DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	1,000
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Altura "D" [m])	0,890

Tabla 6. se muestran los datos nominales y las características de la prueba, para realizar un mejor análisis estos datos son extrapolados utilizando un factor de escala para tensión de 11,4 Kv.

DATOS GENERALES DE LA PRUEBA	
FACTOR DE ESCALA PARA TENSIÓN 11.4 Kv	84,92636218
TENSION DE ENTRADA AL SISTEMA (VIN [V])	6.581,793
CORREINETE DEL SISTEMA (IT [A])	68,366
PROFUNDIDAD DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "B" [m])	0,600
DISTANCIA DE ELECTRODO DEL SPT (Distancia "A" [m])	1,000
ALTURA DE LA SILLETA (Distancia "C" [m])	1,200
UBICACIÓN DEL TECNICO(Altura "D" [m])	8,000

Tabla 7.Datos de la prueba (Por los autores).

Al realizar la toma de medida de corriente en el sistema de puesta a tierra temporal (I1) se evidencia que la corriente total que fluye por el sistema es dirigida a través de este (IT=I1), por lo tanto, no existe una corriente de fuga a través del poste de concreto.

Al obtener los datos de tensión medidos con el electrodo móvil, se puede observar en la Ilustración 25, se presenta una diferencia de potencial entre la silleta instalada en el poste y el electrodo de prueba, con un valor aproximado de 5 kV, el pico decreciente se presenta una distancia de 0,5m donde está enterrado el electrodo y se descarga parte de la falla, pero esta continua por el terreno y vuelve a tomar un valor de 5 kV. Los datos obtenidos de la prueba se encuentran en el anexo 6.

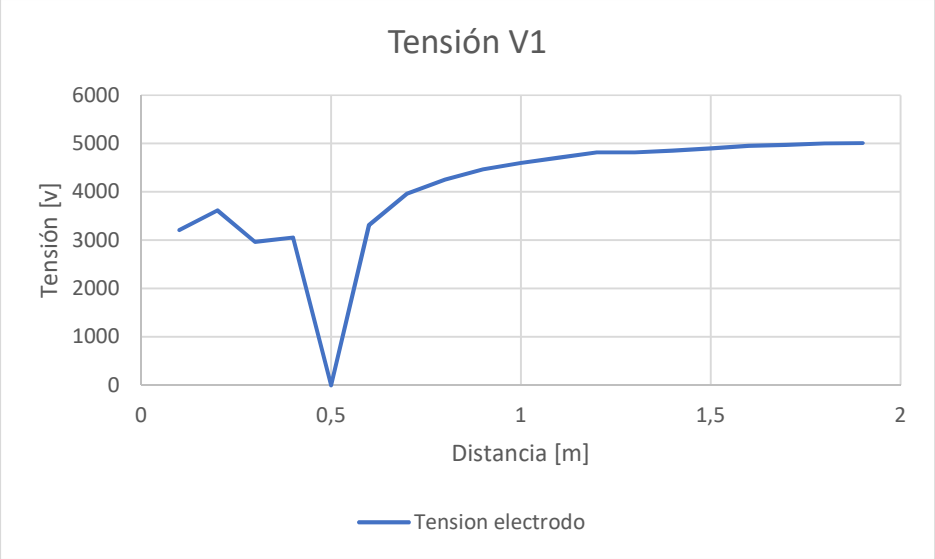


Ilustración 25. Tensión en el electrodo (Por los autores).

En la Ilustración 26, se presenta una diferencia de potencial que experimenta el operario que se encuentra en la punta del poste, el cual queda expuesto a una deferencia máxima de potencial de 930 V, con una reducción aproximada mente de un 82% con respeto a las pruebas realizadas

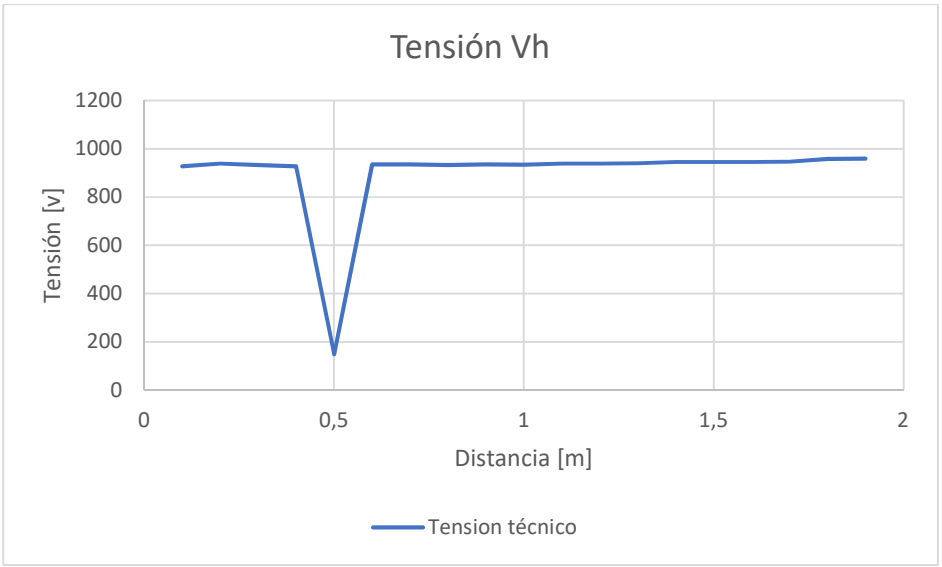


Ilustración 26. Diferencia de potencial en el poste (Por los autores).

En la Ilustración 27. se observa el comportamiento de la tensión radial en el terreno, donde la tensión con el valor más bajo se encuentra cerca al electrodo de prueba, y la tensión del terreno tiene un valor aproximado de 5,1 kV, siendo el valor de tensión más bajo con respecto a las pruebas anteriores, con una reducción aproximada del 50%.

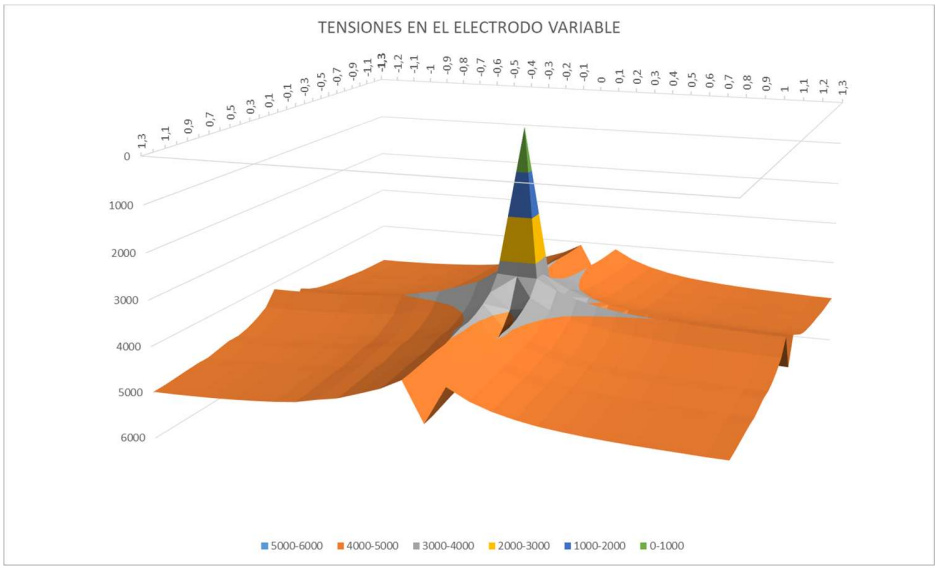


Ilustración 27. Potencial en el terreno (Por los autores).

4.2.7 Séptima prueba verificación de tensión del técnico.

Para realizar esta prueba se ubicaron cintas bandit distribuidas en el poste de concreto con el objetico de verificar la diferencia de tensión en el técnico mientras realiza el ascenso o el descenso del poste (ver Ilustración 7.). Cada cinta bandit tiene un cable conectado que va directo a la caja de conexión ubicada en la parte inferior del poste para así facilitar la toma de medidas.

En la Tabla 8 se relacionan los datos de tensión obtenidos de cada una de la ubicación del técnico en el poste y de cada una de las pruebas anteriores.

Ubicación técnico	Tensión del Técnico					
	Primera prueba	Segunda prueba	Tercera prueba	Cuarta prueba	Quinta prueba	Sexta prueba
1,2	5186	4831	4806	4816	4775	928
1,25	5176	4832	4832	4647	4781	929
1,3	5195	4870	4852	4736	4781	925
1,35	5172	4843	4804	4723	4791	929
1,4	5165	4837	4850	4645	4741	927
1,45	5184	4824	4802	4662	4794	932
1,5	5165	4834	4815	4653	4786	932
2	5185	4918	4817	4648	4718	933
2	5195	4892	4846	4877	4822	938
6	5153	4923	4841	4760	4760	938

Tabla 8. Tensión sobre el técnico (Por los autores).

4.2.8 Análisis de resultados

En la

Prueba	Profundidad del electrodo (m)	Distancia del electrodo (m)	Operario		Poste		Terreno	
			Tensión inicial (v)	Tensión final (v)	Tensión Inicial (v)	Tensión final (v)	Tensión inicial (v)	Tensión final (v)
1	0.6	1	4892	4745	5673	5496	5511	5506
2	0,3	0,5	5039	5070	5859	5853	4814	6000
3	0,8	1	4616	4477	5365	5204	3844	5104
4	1	1,5	4392	4420	5113	5134	3465	4656
5	0,3	1	5219	5193	6149	6133	6058	5754
6	0,3	0,5	927	959	0	0	3212	5011

Tabla 9 se presenta los resultados obtenidos, en las seis pruebas realizadas y expuestas anteriormente donde se evidencia, que la prueba con conexión del sistema de puesta a tierra temporal a la estructura metálica interna del poste de concreto presenta una reducción significativa en el sistema, con una tensión en el operario de 8 kV aproximados y en el terreno de 2,5 kV aproximadamente.

Prueba	Profundidad del electrodo (m)	Distancia del electrodo (m)	Operario		Poste		Terreno	
			Tensión inicial (v)	Tensión final (v)	Tensión Inicial (v)	Tensión final (v)	Tensión inicial (v)	Tensión final (v)
1	0.6	1	4892	4745	5673	5496	5511	5506
2	0,3	0,5	5039	5070	5859	5853	4814	6000
3	0,8	1	4616	4477	5365	5204	3844	5104
4	1	1,5	4392	4420	5113	5134	3465	4656
5	0,3	1	5219	5193	6149	6133	6058	5754
6	0,3	0,5	927	959	0	0	3212	5011

Tabla 9.Tensión inicial y final registrado en cada prueba (Por los autores).

En la

prueba	Tensión en el operario (v)	Reducción de tensión %	Tensión en el Poste (v)	Reducción de tensión %	Tensión en el Terreno (v)	Reducción de tensión %
1	4891,9	90,29	5673,4	100%	5511,0	66,3
2	5038,8	89,38	5858,6	100%	4814,3	63,2
3	4616,1	88,41	5365,4	100%	3843,5	59,8
4	4392,5	86,42	5113,0	100%	3464,8	52,9
5	5219,5	89,75	6149,1	100%	6058,2	64,5

Tabla 10, se muestran los valores promedio de cada prueba, se comparan con el valor obtenido en la ensayo número nueve, donde se observa que la tensión en el operario se redujo un promedio de 87%, los niveles de tensión en el poste se redujo en un 89% y la tensión en el terreno un 45%, demostrando que al realizar el arreglo de interconectar, el poste con la silleta del sistema de puesta a tierra temporal los niveles de tensión de la falla disminuyen como se puede observar en la Ilustración 28.

prueba	Tensión en el operario (v)	Reducción de tensión %	Tensión en el Poste (v)	Reducción de tensión %	Tensión en el Terreno (v)	Reducción de tensión %
1	4891,9	90,29	5673,4	100%	5511,0	66,3
2	5038,8	89,38	5858,6	100%	4814,3	63,2
3	4616,1	88,41	5365,4	100%	3843,5	59,8
4	4392,5	86,42	5113,0	100%	3464,8	52,9
5	5219,5	89,75	6149,1	100%	6058,2	64,5

Tabla 10. Valores premio de las pruebas (Por los autores).

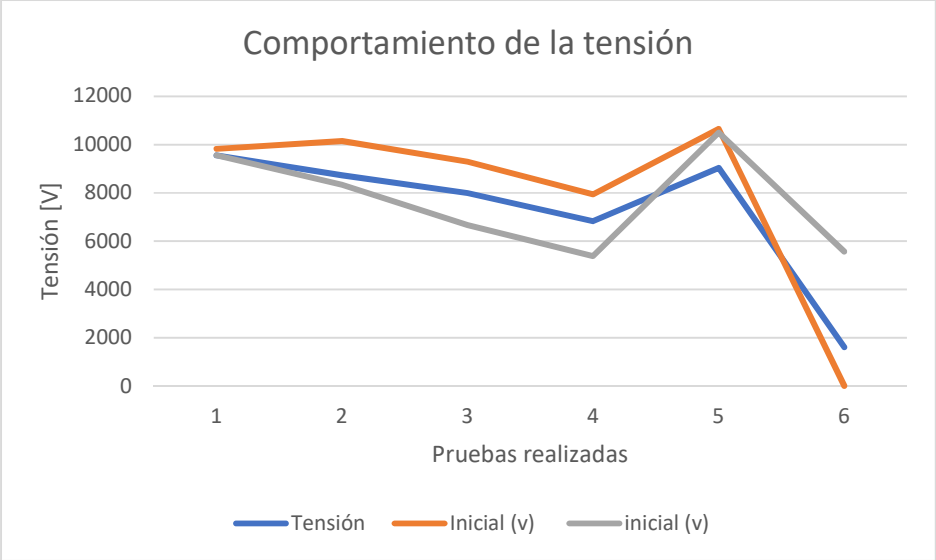


Ilustración 28 Comportamiento de la tensión en cada prueba (Por los autores).

En la Ilustración 29 se observa, que la tensión de la falla tiene una gran variación en la diferencia de potencial en aproximadamente 1 metro radial en donde se encuentra ubicado el electrodo del sistema a puesta tierra temporal, después esta ya se nivela a un valor constante.

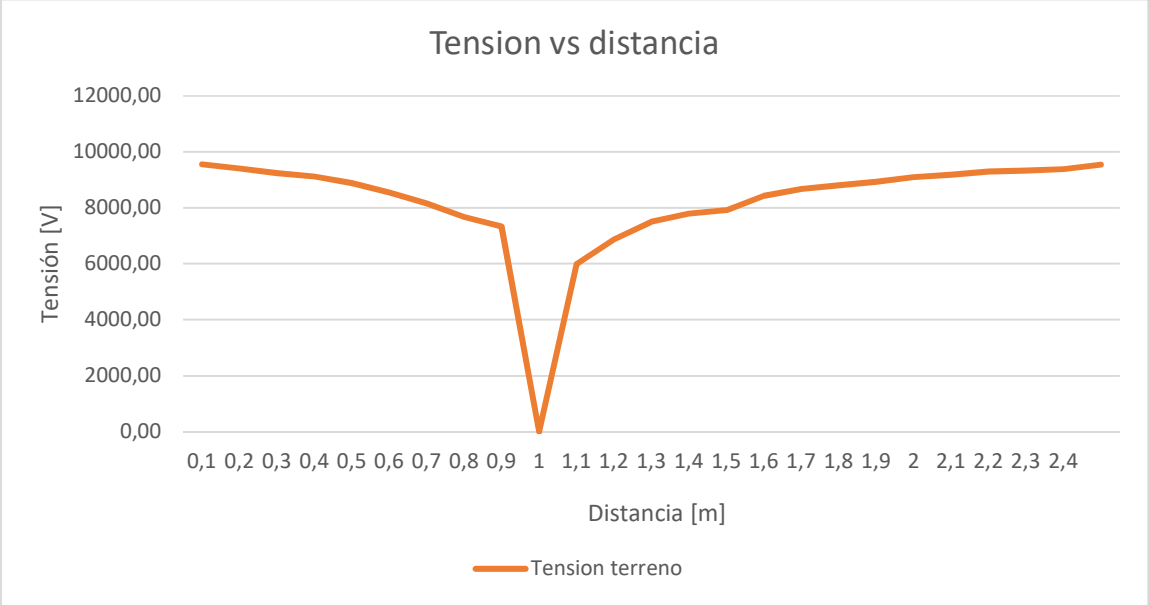


Ilustración 29. Comportamiento de la tensión Vs distancia (Por los autores).

En la Tabla 11.Tensiones de paso y contactoTabla 11, se puede observar los valores de tensión en el poste y en el terreno, que para el caso serán las corrientes de contacto y de paso respectivamente, que están experimentando los operarios que se encuentran realizando los trabajos de mantenimiento de redes des energizadas al momento de presentarse la falla.

Prueba	Tensión de contacto	Tensión de paso
1	5673,4	5511,0
2	5858,6	4814,3
3	5365,4	3843,5
4	5113,0	3464,8
5	6149,1	6058,2
6	0,0	3211,9

Tabla 11.Tensiones de paso y contacto (Por los autores).

Al verificar lo resultado de las tensiones de paso y contacto con la Tabla 12, se encuentran los valores admisibles para las pruebas realizadas, pero para los

cálculos la corriente en una falla real de media tensión, se toma valores superiores a 1.5KA [8], por lo cual la tensión de paso y de contacto no estarían en los valores permisible si fuera una falla real.

Duración de la corriente de falta t = (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, Uca (V)	Tensión de paso aplicada admisible. Upa (V)
0,05	735	7350
0,10	633	6330
0,20	528	5280
0,30	420	4200
0,40	310	3100
0,50	204	2040
1,00	107	1070
2,00	90	900
5,00	81	810
10,00	80	800
> 10,00	50	500

Tabla 12 valores de tensión de paso y contacto admisibles (retie[1]).

5. CONCLUCIONES

- Con la incorporación del poste de concreto al sistema de puesta a tierra temporal, las tensiones que presenta en el poste y en el terreno, disminuyeron notablemente, demostrando que el poste se convierte en un elemento activo del sistema de puesta a tierra temporal, que permite despejar la falla de una forma eficiente por lo que mejora la confiabilidad del sistema y la protección de la vida de los operarios, mientras realizan los mantenimientos en las redes de distribución.

- La tensión presentada en el poste de concreto, están alrededor de 7,9 kV a 10,6 kV y en el terreno, entre 6,6 kV a 10,4 kV aproximadamente, para este caso, serán las tensiones de contacto y de paso respectivamente, las cuales son unas tensiones muy altas, ya que el sistema se simulo con un voltaje máximo de 128V, por lo cual el sistema de puesta a tierra temporal instalado no es confiable a valores reales de una falla que se presente en una red de madia tensión

- El personal que se encuentran en piso, no debe romper la distancia mínima de 1 metros del electrodo de puesta a tierra, el cual debe estar debidamente señalizado y demarcado, por recomendación de seguridad se debe usar un tapete dieléctrico o botas dieléctricas al estar cerca de esta zona.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] RETIE, “RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes,” *Resoluc. 90708*, p. 127, 2013.

[2] F. Marin Vasquez, B. Herrera Gomez, and R. Alirio Tintinago, “Mantenimiento de Líneas Aéreas Desenergizadas con Operacion normal a 13,2 kV,” p. 90, 2017, [Online]. Available: http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7756/6200046M337.pdf?sequence=1.

[3] S. Ramírez, *Redes de distribución de energía*. 2009.

[4] H. G. V. O. E. S. SÁNCHEZ, “GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES LABORALES EN REDES DE MEDIA TENSIÓN HASTA 13,2 kV,” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2013.

[5] CODENSA, “LA202 Circuito primario sencillo construcción tangencial,” *I*, pp. 1–3, 2003, [Online]. Available: http://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas_aereas_urbanas_distribucion/lineas_aereas_11_4_13_2_kv/la202_circuito_primario_sencillo_construccion_tangencial.

[6] INCONTEC, “NTC 1329.pdf.” p. 20, 2013, [Online]. Available: https://tienda.icontec.org/gp-prefabricados-en-concreto-postes-de-concreto-para-lineas-de-energia-y-telecomunicaciones-ntc1329-2013.html.

[7] E. M. Reyes González, Carla Marisol; Cruz Granda, “Análisis de técnicas para medición de la resistividad de terreno mediante modelado,” INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, MEXICO, 2016.

[8] N. Técnica, “kV . Malla de puesta a tierra,” pp. 1–3, 2014.