

Experimentation with grounding systems using different types of mesh in a bath with electrolyte

Edgar Márquez¹, Victor Pazmiño², Nino Vega³, and Juan Lata-García³

^{1,3}Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, emarquez@est.ups.edu.ec, nvega@ups.edu.ec, jlatag@ups.edu.ec

²Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, vcastillp@est.ups.edu.ec

Abstract– A grounded system constitutes one of the fundamental parts in an electrical power circuit, finding in the literature experiments in which a comparison of the step voltages is made, with the touch voltages, in the different types of meshes, they are scarce. In this work we want to present the effect that they have on the touch and step voltage at the different points of the grounding meshes, following the IEEE-80 standard, for this an electrolyte was used in a rectangular container with the which the real data of a system (SPT) was obtained.

The information of the voltages that are consolidated from the real practice, with those that are acquired with the simulation of the ETAP software, are compared as result of which the behavior characteristics of each one of this type of meshes will be obtained. With the development of this work, it is intended to determine the type of mesh that provides greater security in a grounding circuit as well as to verify if the rectangular-based container is suitable for SPT measurements.

Keywords-- Grounding, Grounding Mesh, DWTP, Container with Electrolyte

I. INTRODUCTION

Encontrar en la literatura procedimientos experimentales de bajo costo, con el cual, se obtengan mediciones de los parámetros eléctricos, típicos de los sistemas de puesta a tierra, tales como: voltaje de paso, voltaje de toque, resistencias, son muy escasos.

El sistema de puesta a tierra es un tema importante, permite brinda seguridad a los circuitos, proteger la integridad de las personas, y garantizar la protección de los equipos eléctricos [1]. Por este motivo, se deben medir sus parámetros [2], se deben tratar métodos de cómo funcionan en caso los fallos [3], el efecto que se tiene por deterioro de estos sistemas, al mismo tiempo, se debe generar propuestas de solución, como las presentadas por [4] ante los fallos.

Si se lograra obtener los datos por fallo de un sistema de puesta a tierra, se puede predecir las características de su comportamiento en un circuito real de trabajo, así mismo, al experimentar con diferentes tipos de esquemas de puesta a tierra, se puede obtener la distribución de su voltaje alrededor de la malla y de su corriente, en [5] [6] presenta una alternativa para obtener la distribución de corriente de puesta a tierra, finamente con estos resultados se obtiene el tipo de malla de puesta a tierra más óptima para determinas aplicaciones,.

Un grupo muy significativo de investigaciones le dedican tiempo a obtener sistemas de puesta a tierra que tengan la menor resistencia del área de terreno, usando la guía IEEE [7] [8], las cuales dependen del electrodo, pero pocos le dedican tiempo al análisis de como funcionarían ante una falla su voltajes, corriente, resistencias, y la forma como se distribuye en el área de la malla, así mismo, son escasos los análisis de los mejores sistemas que permitan bajar los costos en su implementación.

Para validar el comportamiento de los diferentes tipos de mallas de puesta a tierra, se puede construir a escala real un prototipo como el usado por [9], en donde se utiliza una cuba electrolítica para simular el terreno, en este trabajo se generan pruebas con 16 escenario, y usa elementos finitos para obtener el modelo del sistema.

En este proyecto se pretende desarrollar una propuesta, para realizar pruebas de las mallas de puesta a tierra de tipo: triangular, cuadrada y circular, en el que se analice el caso de una falla de este sistema, se verifica su comportamiento, se obtiene la forma como se distribuye los voltajes de cada caso, y en base a las comparaciones de los datos obtenido para cada caso de malla, concluir cual es la mejor que podríamos utilizar en una aplicación práctica.

II. MATERIALES Y METODOS

A. Tina con Electrolítica

En un Tanque de tipo Paralelepípedo se puede tomar datos de los voltajes de toque y voltajes de paso en mallas de tipo puesta a tierra.

En un proceso electrolítico interactúan algunos elementos mediante un proceso electroquímico, el cual se conoce como electrólisis [10], en este sistema se tienen un ánodo, el cual recibe las cargas, y un terminal negativo que es el cátodo que desprende electrones cuando la tina que tienen el electrolito se encuentra en operación .en la figura 1 se aprecia el recipiente a utilizar en el desarrollo del proyecto. El sistema cuenta con una fuente de alimentación con sus equipos para medir parámetros eléctricos como voltaje y corriente, la sonda de terminal positivo, electrodo de retorno electrolito y dentro del recipiente las malla de puesta a tierra.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

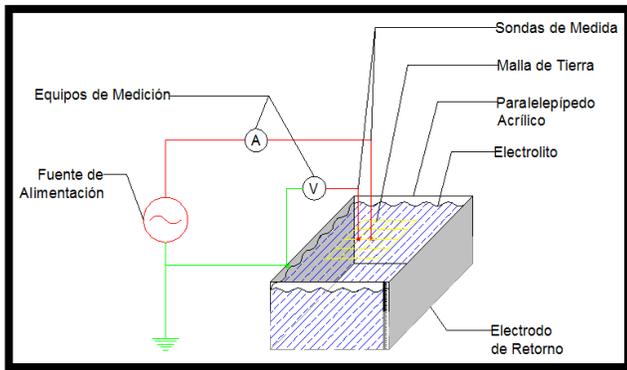


Fig. 1 Recipiente Electrolytico.

B. Recipiente

El recipiente en el cual se alojara el electrolito es de base cuadrada de 0.8 m x 0.8m, su altura es de 0.6m, En el interior de este recipiente se encuentra un paralelepipedo de dimensiones 0.45x 0.45 x 0.25 m, el material en que construyó es de lámina de acrílico transparente de 3mm de espesor, en una de las caras del recipiente exterior se colocó una cinta métrica, con el objetivo de regular el nivel de agua en cada prueba, en la figura 2 se presenta la estructura del recipiente.

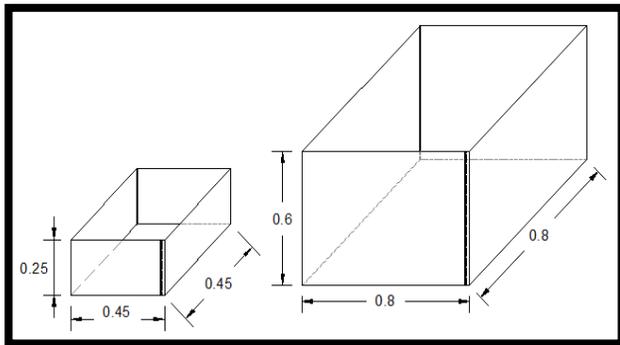


Fig. 2 Tanque electrolytico

Se fabricaron dos recipientes uno más grande que el otro con el propósito de simular pruebas como si se tuvieran terrenos de uno o dos extractos

C. Electrodo de Retorno

El terminal de retorno para el recipiente exterior, está construido por una lámina de aluminio de 2mx0.8m la misma que es doblada y se la adhiere entre las dos caras laterales y la base del recipiente, en la figura 3 se muestra con zona sombreada este electrodo en la Cuba, de la misma manera que se realiza con el recipiente interior, este electrodo al conectarse al negativo de la fuente se generará una reducción con lo que reduce las propiedades del material.

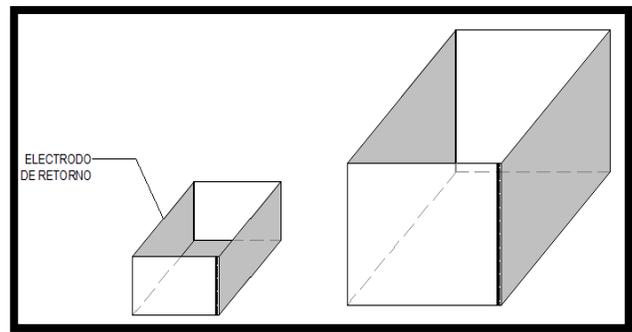


Fig. 3 Adhesion del Terminal del Catodo de la Tina Electrolytica

D. Terminales Para Medida

Los terminales para tomar las medidas eléctricas de voltaje de paso y de toque, lo constituyen los puntales de los terminales del multímetro, en donde uno de los terminales se coloca en el multímetro, y el otro terminal tienen un sostenedor para que el usuario mantenga la punta y así protegerlo de un shock eléctrico en la figura 4 se presentan las sondas.



Fig. 4 Terminales de medida

E. Electrolito

Una de las características de los electrolitos es que pueden conducir la corriente eléctrica debido a que tienen minerales, en este proceso se descompone, Se conoce que el agua es un buen conductor, se puede usar agua dulce o agua de mar con la diferencia que el agua dulce tienen menos minerales, mientras que el agua de mar es mas electrolito porque tiene una mayor cantidad de minerales por lo que en esta prueba se utilizara agua dulce a la cual se le coloca cloruro de sodio para obtener cualidades parecidas al agua de mar, en la figura 5 se muestra la Tina electrolytica de una capa como de dos capas

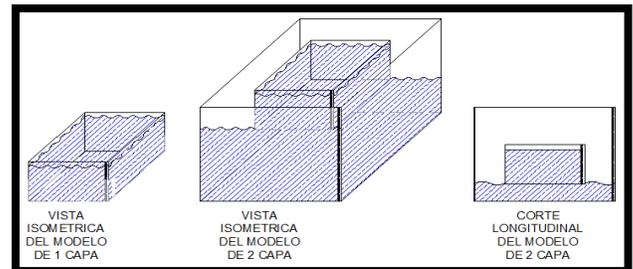


Fig. 5 Tina electrolytica de una y dos capas

F. Fuente de Poder

The energía que se coloca a la tina electrolítica, la constituye un variac trifásico[11], el cual puede realizar la regulación del voltaje OV- 127V 50/60Hz y la capacidad de corriente es de 40 Amperios, en la figura 6 se presenta esta fuente .



Fig. 6 Funete de alimentación

G. Instrumentos de media

Para la toma de datos, tanto de voltaje como de la corriente, se obtienen datos de los parámetros eléctricos en el diferente punto de las mallas de puesta a tierra a través de un multímetro tipo puta amperométrica de tipo FLUKE 373 [12] y la toma de datos de la resistencia del sistema con las diferentes mallas, se escogió un comprobador 165-2GEO de la marca FLUKE [13], en la figura 7 y 8 se muestran estos equipos.



Fig. 7 Fluke 373



Fig. 8 Equipo para medir puesta a Tierra 1625-2GEO

H. Malla de Tierra

En este proyecto se realizan pruebas con las mallas de puesta a tierra tipo: Rejilla, Cuadrada, Triangular y Circular

III. DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

H. Elaboración de la la Malla para el Experimento

Para la construcción de las diferentes mallas de puesta a tierra a utilizar en la tina electrolítica se utilizó hilo de cobre de calibre #10, las medidas para la malla triangula se construyó un triángulo equilátero cuyo lado es de 0,20m, la malla cuadrada tienen una longitud cada lado de 0.2m y en la malla circular su radio es de 0.10cm en la figura 9 se muestra su construcción.

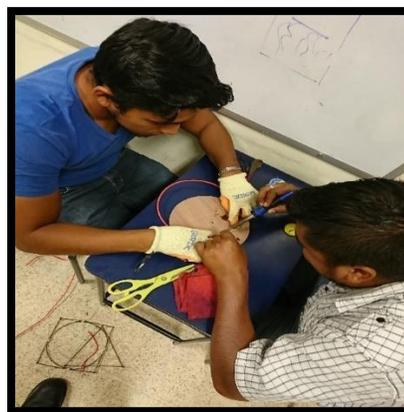


Fig. 9 Armado de las mallas triangulares cuadradas y circulares

H. Aplicación Práctica

En la figura 10 se presenta el tanque electrolítico que se armó en el laboratorio de Sistemas eléctrico de potencia de la Universidad Politécnica Salesiana para el experimento , en la imagen, se observa la conexión de la fuente de alimentación(variac trifásico), las puntas de prueba del instrumento de medida, el electrono de retorno, lamina de aluminio, y la malla con la que está realizando las pruebas, en este caso, es una malla de tipo cuadrada, en la prueba realizada se tomaron datos de voltaje de toque, voltaje de paso , la corriente y la resistencia de puesta a tierra.



Fig. 10 Sistema de puesta a Tierra con tierra sin tratamiento

H. Simulación en ETAP

Para comprobar si los datos experimentales correspondiente del voltaje de toque, voltaje de paso, resistencia y corriente, ante una falla de aislamiento corresponden al sistema, se armó en el software de ETAP [14], la simulación, en el cual , se toman los datos virtuales, los mismos que luego son comparados con los valores reales. Adicionalmente a esto, se observa las formas de onda de las señales eléctricas en cada caso. La figura 11 se presenta la configuración en ETAP del caso de una malla triangular

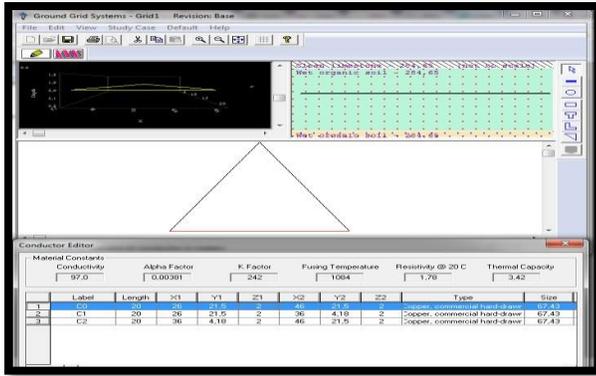


Fig. 11 Configuración en ETAP malla triangular fallo de aislamiento

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tina electrolítica construida se realizó las simulaciones de pruebas experimentales de mallas de puesta a tierra y su relación con el área de terreno de su alrededor, en este sistema se experimentó con las mallas de puesta a tierra de tipo cuadradas, triangulares, y circulares con el propósito de tener las características de funcionamiento. Previo a esta determinación de las cualidades de cada malla se comprueba lo obtenido experimentalmente con las simulaciones a través del software correspondiente y en base a esta comprobación se determina la óptima para la puesta a tierra.

Los datos de voltaje de paso, corriente de fallo y resistencia de la Tabla 1 corresponde a las pruebas realizadas con agua dulce natural, lo cual simula un terreno en condiciones normales, y los que se obtienen en la Tabla 2, es con el agua a la cual se le ha colocado cloruro de sodio, esto permite idear un terreno tratado, si se comparan los valores entre las dos tablas, se puede apreciar que se tienen mejores resultados con las diferentes configuraciones de mallas de puesta a tierra, con un terreno Cparado

TABLA I

Parámetros Eléctricos Obtenido de la Prueba sin Tratamiento del Terreno ante una Falla con los Diferentes Tipos de Mallas de Puesta a Tierra Modelado en una Capa

Configuración de Malla	Voltaje (kV)	Corriente de falla (kA)	Resistencia (Ω)	Resistividad Ω-m		
				IEES 80-2013	IEES 142-2007	IEC 62305-3
Triangular	12.39	0.058	191.40	4375.69		4472.68
Cuadrada	12.40	0.07	155.10	4939.35		5258.67
Circular	12.30	0.09	145.25	4172.49	4789.55	3564.65
Cuadrada - Circular	12.29	0.10	117.38	4532.2		
Rejilla	12.37	0.12	107.79	4512.28		

TABLA II.

Parámetros Eléctricos Obtenido de la Prueba con Tratamiento del Terreno ante una Falla con los Diferentes Tipos de Mallas de Puesta a Tierra Modelado en una Capa

Configuración de Malla	Voltaje (kV)	Corriente de falla (kA)	Resistencia (Ω)	Resistividad Ω-m		
				IEES 80-2013	IEES 142-2007	IEC 62305-3
Triangular	11.65	1.45	7.60	174.90		170.80
Cuadrada	11.42	2.35	4.69	154.89		161.69
Circular	11.67	1.4	7.20	198.30	241.30	179.60
Cuadrada - Circular	10.76	3.15	3.2	127.40		
Rejilla	10.89	3.20	3.19	137.10		

En la figura 12 Se presenta los resultados del voltaje de toque obtenidos al variar la posición del punto de contacto a lo largo de la malla de puesta a tierra triangular, en esta se puede notar que se tiene voltajes elevados al alejarse un poco de los vértice del triángulo y en la parte central de esta malla, lo óptimo es tener voltajes bajos para proteger los equipos y personal de trabajo en la instalación eléctrica

En la figura 13 se presenta los resultados del voltaje de toque obtenidos al variar la posición del punto de contacto a lo largo de la malla de puesta a tierra circular, en esta se puede notar que se tiene voltajes elevados en la parte central mientras que en la cercanías del círculo es bajo.

En la figura 14 se presenta los resultados del voltaje de toque, obtenidos al variar la posición del punto de contacto, a lo largo de la malla de puesta a tierra cuadrada, en esta se puede apreciar que se tiene voltajes elevados en la parte central, mientras que en la cercanías de los vértice es bajo, en comparación con la malla de puesta a tierra triangular que en los vértice es elevado.

También se realizó una prueba en el que se soldaron las mallas cuadradas y circular, con esta última dentro del cuadrado, en la figura 15 se presentan los resultados de los voltaje de toque, en los diferentes puntos de la malla de puesta a tierra, en esta, se puede apreciar que los voltaje disminuyeron en el centro, en comparación con el caso que trabajaron por separado.

Finalmente se realizó una malla de tipo rejilla, a la cual se le realizó las mismas pruebas, midiendo el voltaje de toque en los diferentes puntos de la malla, en esta se obtuvo que el voltaje dentro de la rejilla, son bajos, mientras que en los vértice de la rejilla, se elevan un poco, pero en comparación con las otras mallas en estos puntos son bajo, por lo que se puede concluir que este tipo de malla brinda mejores prestaciones, en la figura 16 se presenta estos resultados.

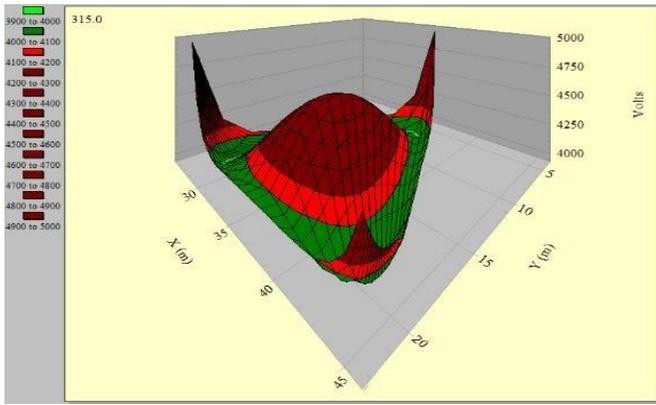


Fig. 12 Voltajes de toque en mallas de puesta a tierra de tipo triangular enterreno no tratado

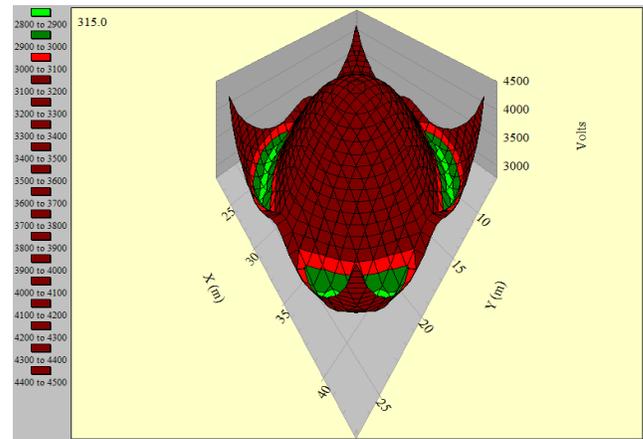


Fig 15. Voltajes de toque en mallas de puesta a tierra de tipo mixta en terreno no tratado.

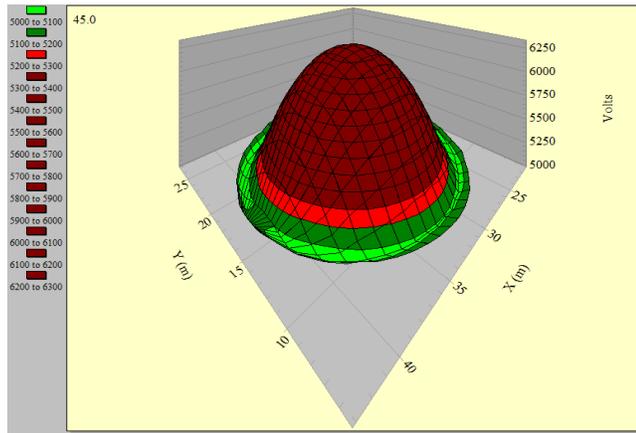


Fig 13. Voltajes de toque en mallas de puesta a tierra de tipo circular enterreno no tratado

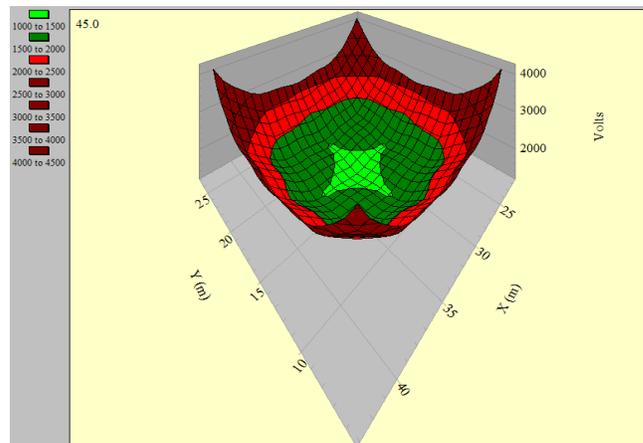


Fig 16. Voltajes de toque en mallas de puesta a tierra de tipo rejilla en terreno no tratado.

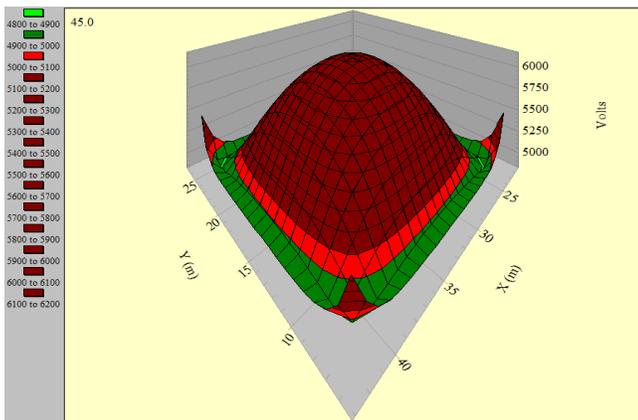


Fig. 14 Voltajes de toque en mallas de puesta a tierra de tipo cuadrada enterreno no tratado.

Al realizar las pruebas con terreno tratado (adición del cloruro de sodio al electrolito) se pudo disminuir la resistencia del sistema de puesta a tierra por lo que los resultados de voltaje toque disminuyeron en todos los tipos de mallas tratadas en este investigación, pero le de tipo rejilla sigue siendo la mejor configuración de malla de puesta a tierra .

IV. CONCLUSIONES

El método implementado con un taque electrolítico para obtener características de los sistemas de puesta a tierra, permite obtener, valores los parámetros eléctricos del comportamiento de los diferentes tipo de mallas que se usan en los sistemas de puesta a tierra, datos que nos indica los puntos en donde se tienen voltaje elevados, y por lo tanto los riegos que tendrían los equipos eléctricos y el personal que trabaja en el área eléctrica ante un fallo del sistema.

Al realizar las pruebas de puesta a tierra con diferentes mallas y sin tratamiento del terreno se obtuvo que en las configuraciones triangulares se elevan los voltajes en los vértices al igual que en las cuadradas con la diferencia que esta última son mas bajas en los vertices,

mientras que en las mallas circulares se elevan los voltajes en el centro del círculo .

La malla circular presenta mejor respuesta que las mallas triangulares y cuadradas, esta no presenta elevaciones de los voltajes de paso, en los terminales de la malla, ya no tiene los vértices que son el problema de los otros dos casos, pero tiene en inconveniente de la elevación del voltaje en el centro.

Con los resultados obtenidos la malla de rejilla tiene mejores prestaciones que los otros tipos de malla, se distribuye de manera más uniforme su voltaje de toque por lo que puede dar mejor servicio de protección a equipos y personal que trabaje en el área de interés .

Al realizarle tratamiento al terreno en donde se coloque la malla, da mejores resultados de protección, como se probó, se disminuyen los parámetros eléctricos de manera considerable.

REFERENCES

- [1]. A. Sandoya *et al.*, «Norma Ecuatoriana de la Construcción», *Instalaciones Eléctricas* , 2018.
- [2]. G. Yu *et al.*, « A Resonance Measurement Method of Grounded Parameters for Distribution Network Considering Impedance Resistance », *Conferencia internacional sobre automatización y protección avanzadas de sistemas de energía (APAP) Año: 2019*.
- [3]. Z. Wang, M Zhang *et al.*, « *Single-phase Grounding Fault Line Selection in Un-Effectual Grounding Systems Based on Low-Voltage Measurements*», Universidad Politecnica Salesiana 2021.
- [4]. P. De Oliveira, N. Rodrigues, D. Celeira, G. Ramos «PMU-Based System State Estimation for Multigrounded Distribution Systems», *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, VOL. 36, NO. 2, MARCH 2021.
- [5]. B. Gao, L. Zhu, F. Yang, L. Zou, J Han Wang, « Study on Overflow Characteristics and measurement System of UHVDC Grounding Pole », *2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC 2019)*.
- [6]. S. Che, L Zhu, « Research on Current Dispersion of Different Grounding Electrodes», 2021 The 3rd Asia Energy and Electrical Engineering Symposium.
- [7]. IEEE Guide Temporary Protective Grounding Systems Used in Substations», *IEEE power and Energy Society*. 2020.
- [8]. «Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems », Institute of Electrical Engineers. 2007
- [9]. A. Eñafiel, D. Vallejo, J. Ramírez, P. Otero N. Granda «Simulación de Mallas de Puesta a Tierra Utilizando un Método de los elementos Finitos en Tres dimensiones», 2021
- [10]. J. Velásquez, «La Electrólisis del Agua como Propuesta de Trabajo Práctico para la promoción del uso de conceptos asociados a la conservación de la Energía en Estudiantes de Ciclo V Pontificia Universidad JAVERIANA 2020.
- [11]. E. Villacis, «Construcción de un Transformador Trifásico con Voltaje de Salida Variable», *Escuela Politécnica Nacional 2021*. [12]. Manual de Uso Fluke 373, 2010
- [13]. Guía de Productos Fluke 165-2GEO 2020-2021
- [14]. Manual para el Uso de la Herramienta Básica del Software ETAP 2015. [2]