

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL DE LA ESFOT.

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

Jefferson Paul Asipuela Yanacallo

jefferson.asipuela@epn.edu.ec

Oscar Eduardo Zumba Jerez

oscar.zumba@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ABRAHAM ISMAEL LOJA ROMERO, MSC.

abraham.loja@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA, MSC.

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, julio del 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Asipuela Yanacallo Jefferson Paul y Zumba Jerez Oscar Eduardo como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA, bajo nuestra supervisión:



Ing. Abraham Ismael Loja Romero,
MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

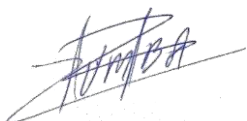
Ing. Carlos Orlando Romo Herrera,
MSc.
CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros Asipuela Yanacallo Jefferson Paul con CI: 1723601637 y Zumba Jerez Óscar Eduardo con CI: 0302843297 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociarán los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.

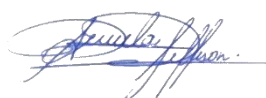


Oscar Eduardo Zumba Jerez

CI: 0302843297

Teléfono: 0962760413

Correo: oscar.zumba@epn.edu.ec



Jefferson Paul Asipuela Yanacallo

CI: 1723601637

Teléfono: 0939934588

Correo: jeferson.asipuela@epn.edu.ec

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a las futuras generaciones en la comunidad politécnica que necesiten apoyarse en la información que este documento posee para guiar su aprendizaje en sus estudios que llevarán a cabo en los próximos años.

Oscar Zumba

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que estuvieron ahí cuando necesitaba de ellas, económica y moralmente con sus palabras de aliento cuando sentía que no podría seguir adelante. En especial a mis padres que siempre estuvieron incondicionalmente apoyándome económica y moralmente a la distancia; que me enseñaron a valorar cada dólar y cada alimento que ponían en mi mesa, también inculcándome buenos valores y enseñándome a ser una persona de bien para que así pueda seguir mis estudios, sin su ayuda no hubiese podido llegar hasta donde estoy hoy en día, también cabe agradecer a los ingenieros que encontré en los años de educación que sin su ayuda para entender temas de estudio y sin la presión que imponían no hubiera logrado superarme día a día, gracias a ellos he podido culminar mis estudios y finalizar la hermosa carrera que un día en el pasado decidí estudiar para poder ser alguien en esta vida.

Oscar Zumba

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi madre Marina Asipuela y a mis hermanos Emily y Darío por su paciencia y su amor incondicional a lo largo de mi formación académica, pues han sido mi motor para nunca desistir frente a las adversidades y seguir adelante para alcanzar mis metas.

Paul Asipuela

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a DIOS que nos ha brindado salud, sabiduría y fortaleza para poder alcanzar nuestros objetivos.

A los docentes de la comunidad politécnica por brindar sus conocimientos y guiar nuestros pasos durante nuestra formación profesional y personal.

A mis compañeros que me han inspirado y apoyado a lo largo de mi formación académica.

Al ingeniero Abraham Loja por su disposición para compartir sus conocimientos durante la elaboración de este proyecto.

Un agradecimiento especial a mi madre Marina Asipuela por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y sus valores que hoy en día son los pilares de mi personalidad.

Paul Asipuela

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción.....	12
1.1	Objetivo general.....	12
1.2	Objetivos específicos.....	12
1.3	Fundamentos.....	13
2	Metodología.....	23
2.1	Descripción de la metodología usada.....	23
3	Resultados y Discusión.....	25
3.1	Medición y cálculo de la resistividad del suelo.....	25
3.2	Dimensionamiento del sistema de puesta a tierra.....	29
3.3	Implementación del sistema de puesta a tierra.....	37
3.4	Pruebas y Análisis de Resultados.....	41
3.5	Manual de uso y mantenimiento.....	44
4	Conclusiones y Recomendaciones.....	45
4.1	Conclusiones.....	45
4.2	Recomendaciones.....	46
5	Referencias Bibliográficas.....	47
6	ANEXOS.....	49
	Anexo 1: Certificado de funcionamiento.....	49
	anexo 2: Distribución normal acumulada.....	ii
	Anexo 3: Costo de materiales.....	iii
	Anexo 4: Ubicación GPS del sistema de puesta a tierra implementado.....	iv
	Anexo 5: Acometida sistema puesta a tierra.....	v

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Elementos del sistema de puesta a tierra con electrodo activo	13
Figura 1.2 Electrodo activo de grafito.	14
Figura 3.1 Malla vista plana.....	32
Figura 3.2 Malla visión 3D.	33
Figura 3.3 Ingreso de parámetros del sistema de puesta a tierra.	34
Figura 3.4 Listado de materiales sugeridos por el proveedor.	35
Figura 3.5 Materiales para implementación de la puesta a tierra.	38
Figura 3.6 Pozo de puesta a tierra.	38
Figura 3.7 Colocación de electrodo químico activo.	39
Figura 3.8 Tierra preparada con mejorador de suelo.	39
Figura 3.9 Irrigación del pozo.....	40
Figura 3.10 Registro del sistema de puesta a tierra	40
Figura 3.11 Sistema de puesta a tierra instalado	41
Figura 3.12 Conexión del conductor con el electrodo activo de grafito.	41
Figura 3.13 Código QR del manual de uso.....	44
Figura 3.14 Código QR del manual de mantenimiento.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características técnicas del electrodo activo de grafito.....	14
Tabla 1.2 Características técnicas del agregado electrolítico.....	16
Tabla 1.3 Características de la rejilla metálica	17
Tabla 1.4 Rango de resistividad del suelo según su tipo	19
Tabla 1.5 Valores máximos de resistencia de puesta a tierra	20
Tabla 3.1 Tabulación de datos obtenidos de resistividad del suelo.	26
Tabla 3.2 Resultados obtenidos de resistividad aplicando la distribución normal.	27
Tabla 3.3 Resultados de resistividad.....	28
Tabla 3.4 Cálculo de resistencia con varilla vertical.	30
Tabla 3.5 Cálculo de resistencia con varilla vertical de 10 (m).....	30
Tabla 3.6 Tamaño de los conductores de tierra para canalización y equipos.	37
Tabla 3.7 Valores de resistencia obtenidos con el Telurómetro.....	42
Tabla 3.8 Resultados de resistencia del sistema de puesta a tierra.	43

RESUMEN

El presente proyecto describe el diseño e implementación de un sistema de puesta a tierra para el tablero eléctrico del laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT, el cual fue instalado con el objetivo de proteger a los aparatos eléctricos, electrónicos y al personal humano propensos a sufrir descargas eléctricas, cortocircuitos y sobrecargas.

En la sección 1 se encuentra la introducción del informe, el cual contiene la mayoría de información con la que se logró diseñar el sistema de puesta a tierra; y por lo cual también se encontrarán los objetivos que se han planteado alcanzar con la implementación del sistema de puesta a tierra.

En la sección 2 se encuentra descrita la metodología usada para resolver el problema planteado a solucionar con la implementación del sistema de puesta a tierra, las normas y técnicas existentes que se utilizan comúnmente para garantizar el correcto funcionamiento de la puesta a tierra.

En la sección 3 se describen los resultados obtenidos al realizar la medición de los parámetros para el dimensionamiento del sistema de puesta a tierra, la selección del tipo de puesta a tierra para el laboratorio de Tecnología Industrial y las pruebas del sistema de puesta a tierra implementado. También se describe el mantenimiento recomendado para esta instalación.

En la sección 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto obtenidas al concluir la implementación del sistema de puesta a tierra para el laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT.

Finalmente, la sección 5 detalla las referencias bibliográficas utilizadas para el desarrollo del presente informe tales como: normas técnicas, manuales de implementación y mantenimiento de diferentes tipos de puesta a tierra.

PALABRAS CLAVE: puesta a tierra, diseño, electrodo, implementación, protecciones.

ABSTRACT

This project presents the design and implementation of a grounding system for the electrical panel of the ESFOT Industrial Technology laboratory, which was installed with the aim of protecting electrical and electronic equipment and people prone to suffer electric shock, short circuits, and overload.

In section 1 you will find the introduction of this project, which contains most of the information with which it was able to design the grounding system and for which you will also find the objectives that have been planning to obtain with the implementation of the grounding system.

Section 2 describes the methodology used to solve the problem to be solved with the implementation of the grounding system, the existing standards and techniques that are commonly used to guarantee the correct operation of the grounding system.

Section 3 describes the results obtained when measuring the parameters for sizing the grounding system, selecting the type of grounding for the Industrial Technology Laboratory, the testing the implemented grounding system. Recommended maintenance for this installation is also described.

Section 4 presents the conclusions and recommendations of this project obtained at the conclusion of the implementation of the grounding system for the ESFOT Industrial Technology Laboratory.

Finally, section 5 details the bibliographic references used for the development of this report, such as: technical standards, implementation, and maintenance manuals for different types of grounding systems.

KEYWORDS: grounding, design, electrode, implementation, protections.

1 INTRODUCCIÓN

Este proyecto fue propuesto debido a la necesidad de expansión que existía en el tablero principal del Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT. Debido a que varios estudiantes han realizado diferentes modificaciones y se ha acoplado el nuevo tablero principal, el cual alimentará a cuatro tableros destinados a diferentes subáreas del laboratorio, nace la necesidad de un sistema de puesta a tierra para proteger los diferentes dispositivos e instalaciones eléctricas [1] [2].

En este documento se encuentra el diseño e implementación del sistema de puesta a tierra basado en investigaciones, aplicando parámetros y técnicas existentes en el campo de la instalación eléctrica y en efecto aplicando la norma IEEE-80 [2].

El sistema de puesta a tierra está ubicado en la parte posterior del Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT para brindar protección contra descargas eléctricas, cortocircuitos, fugas de corriente y fallas de aislamiento en los distintos dispositivos e instalaciones eléctricas, tanto para proteger a los dispositivos y al personal humano que dispondrá del laboratorio.

Este proyecto se encuentra funcionando a partir del 13 de febrero del 2021 [3]. Dado que para validar este proyecto se necesita de la certificación de funcionamiento en el Anexo 1 se observa dicho certificado realizado por el director del proyecto.

1.1 Objetivo general

Implementar el sistema de puesta a tierra para el Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros eléctricos del terreno.
- Determinar el sistema de puesta a tierra más eficiente.
- Dimensionar el sistema de puesta a tierra.
- Instalar los componentes del sistema de puesta a tierra.
- Realizar medidas de comprobación de la puesta a tierra instalada.

1.3 Fundamentos.

A continuación, se detallan algunas especificaciones de los elementos utilizados para la implementación del sistema de puesta a tierra con electrodo activo, como se aprecia en la Figura 1.1; y otros conceptos para una mejor comprensión del desarrollo del proyecto.



Figura 1.1 Elementos del sistema de puesta a tierra con electrodo activo [4].

Electrodo activo de grafito.

El electrodo químico o activo de grafito es un elemento muy utilizado en la implementación de sistemas de puesta a tierra que requieran bajos valores de resistencia eléctrica para la protección de equipos eléctricos y electrónicos sensibles. Este tipo de electrodos está compuesto por minerales y sales conductoras ofreciendo un alto rendimiento en condiciones extremas con altos índices de corrosión [5].

Por sus características y óptimo desempeño es de gran utilidad cuando se requiere obtener baja resistencia en terrenos de dimensiones reducidas que poseen valores de resistencia medios o altos. Su instalación es muy sencilla lo que permite reducir significativamente los costos de la implementación y la utilización de múltiples elementos para la conformación de mallas de tierra [5]. En la Figura 1.2 se observan las partes principales del electrodo activo de grafito y en la Tabla 1.1 se detallan sus características.

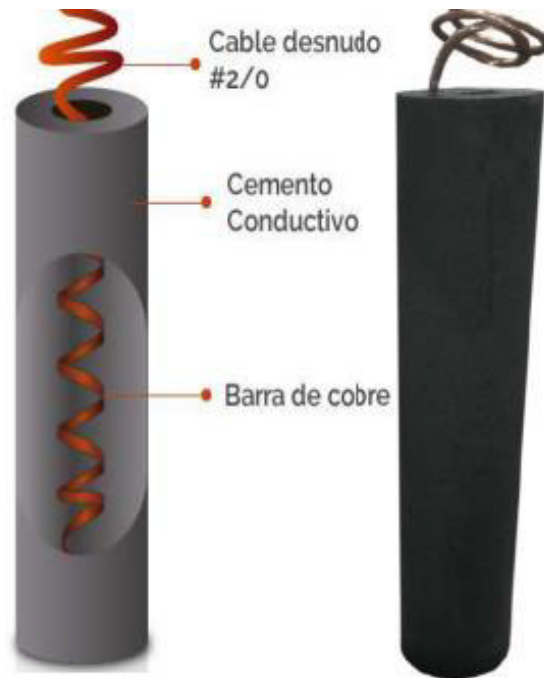


Figura 1.2 Electrodo activo de grafito. [5]

Tabla 1.1 Características técnicas del electrodo activo de grafito.

Ítem	Dimensiones:
1	Longitud: 100 cm
2	Diámetro externo: 26 pulgadas
3	Peso aproximado: 25 kg
4	Composición: gráfica
5	Cable de conexión: 2/0 AWG de cobre desnudo
6	Longitud cable interno: 1 metro
7	Barra cobre interno: 2 metros en espiral
8	Retención humedad: 15%
9	Color: negro
10	Material: agentes conductivos a base de grafito
11	Tipo: químico activo
Cumple con las siguientes normas:	
	<ul style="list-style-type: none"> • NFPA 250-84
	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE142-1991 y BS 7430 1998
	<ul style="list-style-type: none"> • NZS/AS1768-1991 y IEC 610241

Compuesto mejorador de suelo.

El mejorado de suelo es empleado cuando el terreno tiene una alta resistividad. Este producto se mezcla con una cantidad de tierra que será colocada alrededor del electrodo en el pozo contribuyendo a la optimización de la conductividad y ayuda a la capacidad de absorción y retención de agua del terreno; así maximiza la concentración de sales y minerales en el pozo de la puesta a tierra [5]. En la Figura 1.3 se observa un ejemplo comercial del mejorador de suelo.



Figura 1.1 Compuesto mejorador de suelo [5]

Agregado electrolítico.

Es un producto de estado líquido diseñado para efectos de activación y mantenimiento de los electrodos químicos y de tipo varilla. La función principal es brindar al suelo el agregado electrolítico necesario para reducir la resistencia eléctrica de contacto, permitiendo potenciar eficazmente la disipación de las corrientes de falla [5]. En la Figura 1.4 se observa un ejemplo comercial del agregado electrolítico y en la Tabla 1.2 se detallan algunas de sus características.



Figura 1.2 Agregado electrolítico. [5]

Tabla 1.2 Características técnicas del agregado electrolítico. [5]

Características técnicas	
Color	Transparente
PH	5.5 a 9
Tipo	Líquido
Cantidad	Un galón

Rejilla metálica de puesta a tierra.

Este tipo de rejilla permite el reconocimiento de la ubicación de la puesta a tierra y así poder realizar los respectivos mantenimientos de esta. Es recomendado su uso cuando hay mucho tránsito peatonal [5]. En la Figura 1.5 se observa un ejemplo comercial de rejilla metálica

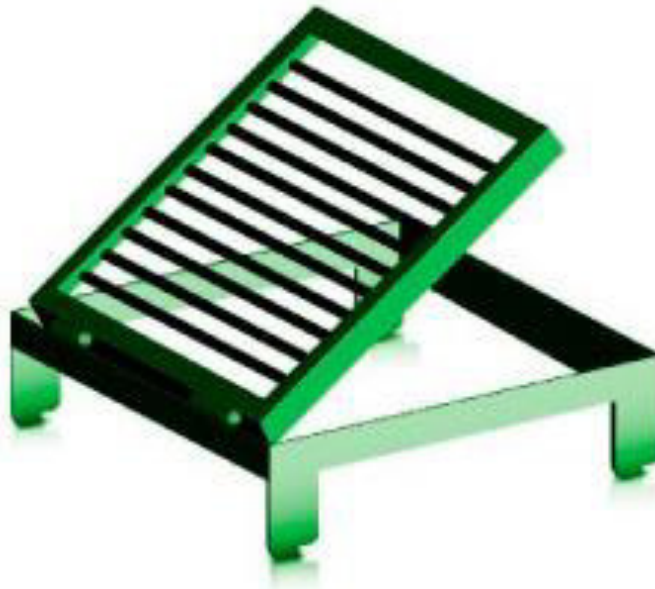


Figura 1.3 Registro de puesta a tierra.

Tabla 1.3 Características de la rejilla metálica [5].

Características técnicas	
Color	Verde
Material	Metal
Tipo	Irving

El método Wenner o de las cuatro picas.

Es el método más utilizado para medir la resistividad del suelo, la cual es una magnitud fundamental para el dimensionamiento de los sistemas de puesta a tierra y consiste en la medición del parámetro por medio de las 4 picas del Telurómetro equidistantes en línea recta (a) enterradas a una profundidad (b). Se recomienda que, para los cálculos posteriores, la distancia entre picas sea mayor a 10 veces la profundidad de enterramiento para facilitar el proceso de dimensionamiento y utilizar la ecuación simplificada que se indicará en la sección de dimensionamiento de puesta a tierra.

El equipo inyecta corriente de determinada magnitud entre los electrodos de los extremos al mismo tiempo que mide la caída de voltaje entre los electrodos internos. El Telurómetro calcula la relación V/I que entrega un valor de resistencia en ohmios (Ω) [6].

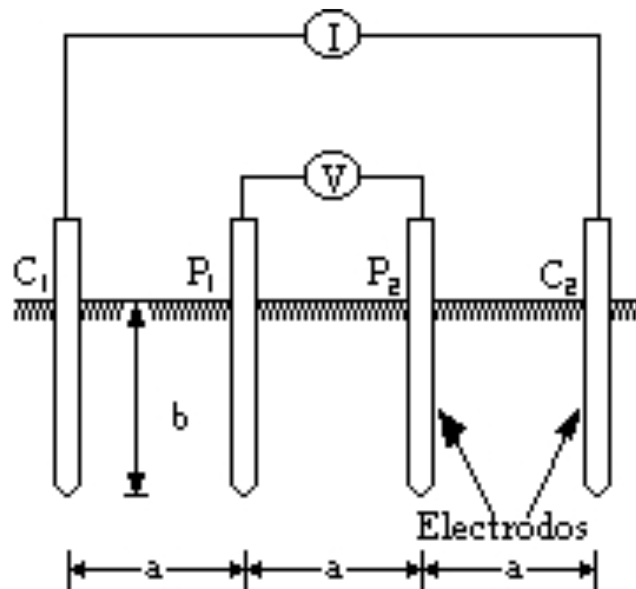


Figura 1.4 Método Wenner para medición de resistividad del suelo [7].

En donde:

C_1 y C_2 : electrodos de corriente.

P_1 y P_2 : electrodos de potencial.

a : distancia entre electrodos (m).

B : profundidad de enterramiento del electrodo (m)

El electrodo C_1 es el punto de referencia en donde se colocó la puesta a tierra como se observa en la Figura 1.7. A partir de este punto se realiza la colocación de los electrodos en una dirección a una distancia equidistante.



Figura 1.5 Ubicación del electrodo C_1 para medición de resistividad.

Las pruebas realizadas en muestras de excavaciones e investigaciones geológicas proporcionan información sobre un rango de resistividad para cada tipo de suelo como se muestra a continuación en la tabla 1.4 [8].

Tabla 1.4 Rango de resistividad del suelo según su tipo [8].

Tipo de Suelo	Rango de Resistividad ($\Omega.m$)
Lama	5 – 100
Humus	10 – 150
Limo	20 – 100
Arcillas	80 – 330
Tierra de jardín	140 – 480
Caliza fisurada	500 – 1000
Caliza compacta	1000 – 5000
Granito	1500 – 10000
Arena común	3000 – 9000
Basalto	10000 – 20000

Posteriormente, para establecer un rango de resistencia eléctrica, necesaria para la protección de los equipos eléctricos y electrónicos presentes en el Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT, se utilizó la norma IEEE – 80. La resistencia eléctrica que debe cumplir la puesta a tierra según su aplicación se muestra en la tabla 1.5 [3].

Tabla 1.5 Valores máximos de resistencia de puesta a tierra [4].

USO PARA	VALOR MÁXIMO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.
Estructuras de líneas de transmisión	20 (Ω)
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1 (Ω)
Subestaciones de media tensión en poste	10 (Ω)
Subestaciones de media tensión uso interior	10 (Ω)
Protección contra rayos	10 (Ω)
Neutro de acometida en baja tensión	25 (Ω)
Descargas electrostáticas	25 (Ω)
Equipos electrónicos sensibles.	5 (Ω)

De acuerdo con esta norma, el valor de resistencia para la protección de los equipos eléctricos sensibles presentes en el laboratorio de Tecnología Industrial, el sistema de puesta a tierra debe cumplir con una resistencia eléctrica de máximo 5 (Ω) [4]. Si el sistema de puesta a tierra tiene un valor de resistencia igual o menor al mismo, se puede garantizar el correcto funcionamiento y la protección de las instalaciones eléctricas, los equipos eléctricos y el personal humano.

Medición de resistencia mediante el método del 61,8 %.

Una vez instalado el sistema de puesta a tierra, se debe verificar el valor de resistencia mediante este método, también denominado de los tres polos. Consiste en conectar dos electrodos para posteriormente inyectar una corriente y conectar en el tercer polo del Telurómetro el elemento activo de la puesta a tierra previamente desconectado del sistema eléctrico. Con ayuda del Telurómetro y empleando el método del 61.8% se realizan varias mediciones de la resistencia del sistema de puesta a tierra como se muestra en la Figura 1.8 [8].

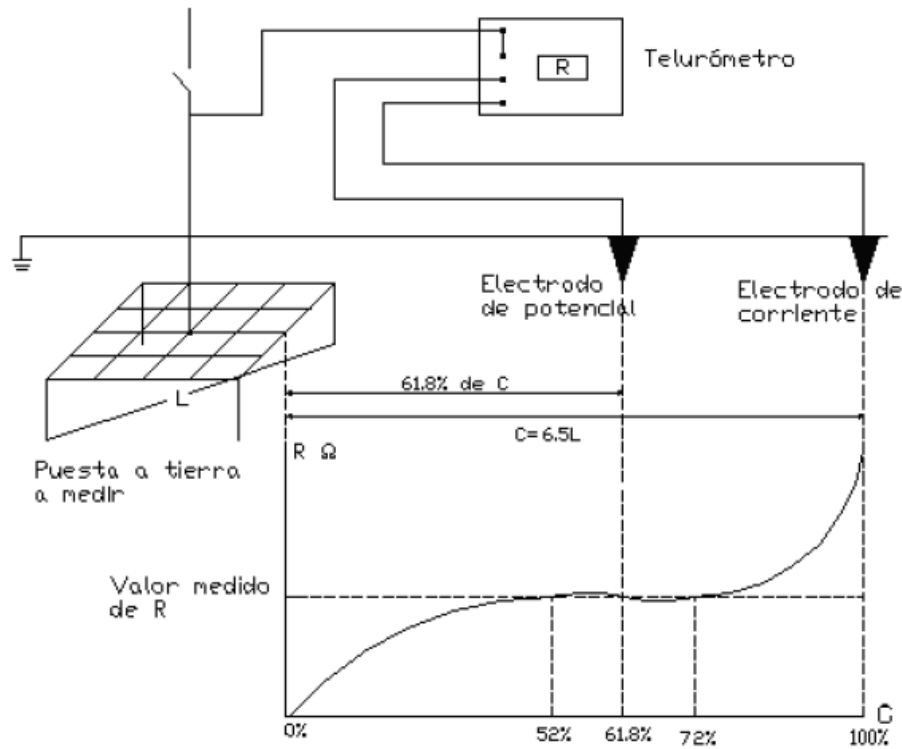


Figura 1.6 Conexión del Telurómetro para medición de resistencia [8].

Como se aprecia en la figura, el telurómetro mide la caída de potencial entre el electrodo ubicado al 61,8 % de la distancia máxima del electrodo de corriente y la puesta a tierra a ser evaluada [8]. Luego se calcula la relación V/I dando como resultado el valor de resistencia de la puesta a tierra instalada. Normalmente, para obtener un valor de resistencia confiable se realizan varias mediciones y mediante cálculos o gráficas se determina un valor real del sistema de puesta a tierra instalado.

Análisis de confiabilidad en la medición de magnitudes.

Consiste en analizar los valores obtenidos mediante las mediciones de la magnitud con un instrumento psicométrico y determinar un valor confiable para que el sistema funcione adecuadamente durante condiciones de operación homogéneas. La confiabilidad de un instrumento puede fluctuar entre 0.00 y 1.00. Si la confiabilidad del instrumento es de 0.00 indica que carece de confiabilidad en las mediciones realizadas mientras que un valor de 1.00 indica que el instrumento tiene una confiabilidad perfecta [8].

Para determinar un valor que se aproxime al valor real en condiciones homogéneas es necesario calcular un valor cuya confiabilidad sea de al menos el 70% o su equivalente a 0.70 [8]. Más adelante se describirán las ecuaciones necesarias para realizar el análisis de confiabilidad y la forma de simplificar el proceso mediante el uso de hojas de cálculo del programa Excel.

2 METODOLOGÍA.

2.1 Descripción de la metodología usada.

La implementación de un sistema de puesta a tierra para la protección de los circuitos eléctricos y electrónicos se realizó mediante una investigación aplicada de los parámetros y técnicas existentes en el campo de la instalación eléctrica, específicamente se aplicó la norma IEEE – 80 [3].

OBJ 1: Determinar los parámetros eléctricos del terreno.

Para realizar la implementación de la puesta a tierra primero se identificó las características eléctricas del terreno. Mediante un Telurómetro se identificó el valor de resistividad del suelo mediante el método Wenner [8]. Dependiendo de la composición del terreno también se obtiene el rango de la resistividad que posee el terreno.

OBJ 2: Determinar el sistema de puesta a tierra más eficiente.

Al existir diferentes sistemas y métodos para instalar un sistema de puesta a tierra, si se dispone del espacio y parámetros adecuados del terreno, se puede emplear cualquiera de los siguientes tipos de puesta a tierra tales como: pica de cobre, malla de cobre, plancha de cobre, electrodo activo, etc.

Se debe considerar que para el sistema de puesta a tierra para el Laboratorio de Tecnología Industrial se dispone de un área de terreno de 0.8 (m) x 1 (m), debido a que a sus alrededores existen pasos peatonales adoquinados, infraestructura del laboratorio y plantas de raíces gruesas que podrían dificultar la implementación de la puesta a tierra seleccionada.

Basado en el dimensionamiento y la disponibilidad del terreno designado para el sistema de puesta a tierra, el método elegido para este proyecto fue el uso de un electrodo activo de grafito debido a que este permite obtener los valores esperados bajo las condiciones y área del terreno que se dispuso para la implementación del sistema de puesta a tierra en el Laboratorio de Tecnología Industrial [4].

OBJ 3: Dimensionar el sistema de puesta a tierra.

Con las características del suelo obtenidas se dimensionó el sistema de puesta a tierra con un electrodo activo. En este caso, debido a que son distintos dispositivos eléctricos y electrónicos, es necesario una puesta a tierra de 5 ohmios o menor y para obtenerlo se apoyó en las normas INEN, NEC y también IEEE.

OBJ 4: Instalar los componentes del sistema de puesta a tierra.

Se realizó la adquisición de los materiales necesarios para la implementación del sistema de puesta a tierra con electrodo activo de grafito. Se consideró las normas antes mencionadas que indican los conductores, puentes de conexión, soldaduras y electrodos a usar y así obtener las características y resultados esperados. [9]

OBJ 5: Realizar medidas de comprobación la puesta a tierra instalada.

Al finalizar la implementación del sistema de puesta a tierra se realizaron las mediciones utilizando el método del 61,8% para verificar el valor de la resistencia de la puesta a tierra. Con ayuda del telurómetro se demostró que efectivamente se obtuvo el parámetro deseado y, en consecuencia, el sistema de puesta a tierra está funcionando correctamente. De esta manera se protege el sistema eléctrico y electrónico del Laboratorio de Tecnología Industrial [10].

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describen los pasos realizados para obtener los valores de resistividad del terreno asignado para la colocación del sistema de puesta a tierra. Para obtener estos valores se utilizó el método Wenner.

3.1 Medición y cálculo de la resistividad del suelo.

Para la aplicación del método Wenner se utilizaron los 4 electrodos conectados al Telurómetro y se colocaron las picas equidistantes en línea recta en el suelo. Se definió un perfil con su respectivo valor de resistividad por cada vez que se cambió la ubicación de los electrodos. Si la profundidad de los electrodos (b) es mucho menor a la distancia entre los mismos (a), es decir mínimo 10 veces menor, entonces la resistividad aparente del suelo se puede calcular mediante la Ecuación 3.1:

$$\rho_a = 2 \times \pi \times a \times R$$

Ecuación 3.1 Cálculo de la resistividad aparente del suelo [8].

Donde:

- ρ_a : (Ωm) Resistividad aparente.
- a : (m) Distancia entre electrodos.
- R : (Ω) Resistencia medida con el Telurómetro.

Se colocó los electrodos en línea recta y se realizaron varias mediciones de resistencia para calcular la resistividad aparente del terreno e identificar la naturaleza del suelo de acuerdo con la Tabla 3.1. A continuación, se presentan los valores de resistividad obtenidos y el tipo de suelo que se ha identificado.

Tabla 3.1 Tabulación de datos obtenidos de resistividad del suelo.

Perfil	Distancia a (m)	Resistencia medida (Ω)	Resistividad aparente (Ωm)	Naturaleza del suelo
1	2,5	2,39	37,64	Limo / humus
2	3	2,19	41,30	Limo / humus
3	4	1,57	39,48	Limo / humus
4	3	1,90	35,93	Limo / humus
5	4	1,44	36,34	Limo / humus
6	4	1,47	37,10	Limo / humus
7	3	2,11	39,89	limo / humus
8	2	3,71	47,38	Limo / humus

Para definir un valor confiable de la resistividad del suelo, se realizó un análisis estadístico y de probabilidad, que consiste en que los logaritmos de los valores de resistividad cumplen con una función de distribución normal casi independiente de la magnitud de las variaciones de la resistividad [8]. El proceso realizado se detalla a continuación:

- a) Los valores de resistividad (ρ_i) se organizaron ascendentemente para una profundidad determinada y se calcularon los logaritmos naturales de cada valor (X_L) mediante la Ecuación 3.2.

$$X_L = \ln(\rho_i)$$

Ecuación 3.2 logaritmo natural de resistividad [8].

- b) Se obtiene el promedio de los valores de X_L (X_{prom}) y la desviación estándar (S) con las Ecuaciones 3.3 y 3.4 respectivamente.

$$X_{prom} = \frac{\sum X_L}{n}$$

Ecuación 3.3 Promedio de los valores de X_L [8].

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X)^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1}}$$

Ecuación 3.4 desviación estándar [8].

Donde:

\sum^x : Sumatoria de los valores de X_L

n : número total de valores de X_L

- c) Se calculó un valor (Z) que corresponde a la división entre la diferencia del valor medido (X_L) y X_{prom} con el valor de S:

$$Z = \frac{X - X_{prom}}{S}$$

Ecuación 3.5 Cálculo de Z [8] .

- d) Finalmente se aplicó la distribución normal para el cálculo de la resistividad. Los valores correspondientes a cada valor de Z representan el porcentaje de probabilidad de encontrar un suelo con resistividad igual a un valor dado. En la Tabla 3.2 se observan los valores de resistividad, mientras que los valores de probabilidad se determinan mediante la tabla del Anexo 2 [8].

Tabla 3.2 Resultados obtenidos de resistividad aplicando la distribución normal.

Perfil	ρ [$\Omega.m$]	x_L	x^2	$X - X_{prom}$	$Z = \frac{X - X_{prom}}{S}$	$P=F[Z]*100\%$
1	36.20	3.59	12.88	-0.09	-0.93	17.62
2	36.50	3.60	12.94	-0.08	-0.84	20.05
3	37.26	3.62	13.09	-0.06	-0.63	26.43
4	38.05	3.64	13.24	-0.04	-0.41	34.09
5	39.66	3.68	13.54	0.00	0.01	50.40
6	40.19	3.69	13.64	0.01	0.15	26.43
7	41.62	3.73	13.90	0.05	0.51	69.50
8	48.72	3.89	15.10	0.21	2.14	98.38
Suma	318.20	29.43	108.35			
Promedio	39.77	3.68				
S	0.10					

Para determinar un valor confiable de resistividad se considera un valor de probabilidad del 70% y se realiza una interpolación para determinar el valor correspondiente de Z. Este paso se puede simplificar al ingresar los datos obtenidos en una hoja de cálculo de Excel y aplicar la función de pronóstico como se indica en la Ecuación 3.6:

$$= \text{PRONOSTICO}(70; D34: D41; E34: E41)$$

Ecuación 3.6 Función pronóstico en hoja de cálculo de Excel.

Para calcular el valor de resistividad a utilizar para el diseño del sistema de puesta a tierra se aplicó la Ecuación 3.7.

$$\rho = \ln^{-1}(SZ + X_{\text{prom}})$$

Ecuación 3.7 Cálculo de resistividad con Z= 70%

Luego se puede aplicar la siguiente función exponencial para despejar el valor de la resistividad:

$$= \text{EXP}(E44 * C27 + D25)$$

Ecuación 3.8 Función **EXP** (E44=Z_{70%}, C27=S, D25=X_{prom}).

En la tabla 3.3 se detallan los resultados obtenidos de resistividad.

Tabla 3.3 Resultados de resistividad.

Perfil	$Z = \frac{X - X_{\text{prom}}}{S}$	P=F[Z]*100%
1	-0,93	17,62
2	-0,84	20,05
3	-0,63	26,43
4	-0,41	34,09
5	0,01	50,4
6	0,15	55,96
7	0,51	69,5
8	2,14	98,38
Z_{70%}	0,8274	
ρ	42,91 [Ω.m]	

Finalmente, se obtuvo un valor de resistividad de 42,91 (Ωm). Este valor se aproxima al valor real de la resistividad del suelo medido y es un dato necesario para el dimensionamiento del sistema de puesta a tierra en la siguiente sección.

3.2 Dimensionamiento del sistema de puesta a tierra.

Al obtener el valor de la resistividad del terreno se realizaron los cálculos respectivos para seleccionar el sistema de puesta a tierra adecuado entre los siguientes tipos: electrodo de cobre vertical, malla de cobre y electrodo activo de grafito. A continuación, se muestran los valores teóricos de resistencia de la puesta a tierra que se obtendrían en cada caso mencionado anteriormente.

Cálculo de resistencia con un electrodo de cobre vertical.

Para el cálculo de resistencia con un electrodo de cobre vertical se utilizó la ecuación de Dwight, ya que esta ecuación permite realizar el cálculo para un electrodo, para la unión de 2 electrodos e incluso para la unión de 3 electrodos en forma de triángulo [11]. En este caso se utilizó la ecuación para realizar el cálculo de un solo electrodo con las siguientes dimensiones:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

Ecuación 3.9 Cálculo de resistencia mediante la ecuación de Dwight. [11]

En donde:

- ρ : 42,91 ($\Omega \cdot m$) resistividad del terreno
- L : 1,80 (m) longitud de la varilla.
- a : $6.35 \cdot 10^{-3}$ (m) radio de la varilla
- R : Resistencia eléctrica (Ω)

Usando la ecuación 3.9 se obtiene:

$$R = 22.89 (\Omega)$$

En la Tabla 3.4 se observan los cálculos realizados para este tipo de puesta a tierra.

Tabla 3.4 Cálculo de resistencia con varilla vertical.

Díámetro (pulgadas)	Radio del electrodo (m)	Resistividad ($\Omega.m$)	Longitud (m)	Resistencia obtenida (Ω)
1/2	$6.35 \cdot 10^{-3}$	42.91	1.80	22.89
5/8	$7.91 \cdot 10^{-3}$	42.91	1.80	22.06
3/4	$9.53 \cdot 10^{-3}$	42.91	1.80	21.35
1	$13 \cdot 10^{-3}$	42.91	1.80	20.26

En los resultados obtenidos en la tabla anterior, la resistencia del sistema de puesta a tierra no alcanza el valor mínimo requerido por la norma IEEE. Para emplear este sistema se necesitaría por lo menos una varilla de cobre aproximadamente de 10 (m) de longitud o a su vez de un diámetro excesivo como se verá en los siguientes cálculos [10] [11]:

- Utilizando la Ecuación 3.9 y los siguientes datos de una varilla de cobre de 10 (m) con un diámetro de 1/2 (pulg) se obtuvo una resistencia de:

$$R = 5.29 (\Omega)$$

En la Tabla 3.5 se observan los resultados obtenidos para este tipo de puesta a tierra con diferentes diámetros comerciales.

Tabla 3.5 Cálculo de resistencia con varilla vertical de 10 (m).

Díámetro (pulgadas)	Radio del electrodo (m)	Resistividad ($\Omega.m$)	Longitud (m)	Resistencia obtenida (Ω)
1/2	$6.35 \cdot 10^{-3}$	42.91	10	5.29
5/8	$7.90 \cdot 10^{-3}$	42.91	10	5.14
3/4	$9.53 \cdot 10^{-3}$	42.91	10	5.01
1	0.013	42.91	10	4.81

Cálculo de resistencia por malla de cobre de 5 x 5.

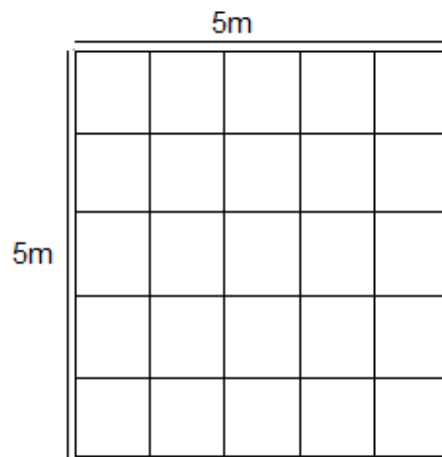
Para este cálculo se utilizó la ecuación simplificada de Sverak. Por este método de igual manera se conectó un conductor 2/0 que viene recomendado por la norma IEEE80 [10] [8].

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

Ecuación 3.10 Ecuación simplificada de Sverak. [8]

Donde:

- L_t : 50.00 (m) Longitud total de conductores enterrados.
- ρ : 42.91 ($\Omega \cdot m$) resistividad del terreno
- A : 25.00 (m^2) Área ocupada por la malla de tierra.
- h : 0.50 (m) Profundidad de la malla. (m)
- R_g : (Ω) Resistencia electrica de la malla de puesta a tierra.



$$R_g = 4.10 (\Omega)$$

Después se ingresaron los datos de las características eléctricas y geométricas del terreno a la ecuación y se realizó el cálculo con la ayuda de la calculadora; obteniendo de esta manera el resultado de 4.10 (Ω). Ya que el resultado que se obtuvo es menor a los 5 ohmios que indica la norma IEEE, sería una alternativa para implementar este tipo de puesta a tierra para el Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT.

También se puede diseñar una puesta a tierra por malla con la ayuda de un programa llamado ASPIX, el cual permite obtener un resultado similar al calculado como se muestra a continuación:

Primero se ingresa los datos generales en el programa como se observa en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Datos generales para la puesta a tierra con malla.

Nombre del proyecto	MALLA 5X5
Resistividad de la capa superior (Ohm_m)	42.91
Resistividad de la capa inferior (Ohm_m)	100.00
Espesor de la capa superior (m)	1.50
Resistividad de la capa de gravilla (Ohm_m)	2000.00
Espesor de la capa de gravilla (m)	0.20
Duración de la falla (s)	0.02
Máxima corriente de falla a tierra (A)	100.00
Contribución remota de corriente (%)	100.00
Frecuencia del sistema (Hz)	60.00

A continuación, se dibuja la malla con las medidas que se desea implementar como se observan en las Figuras 3.1 y 3.2.

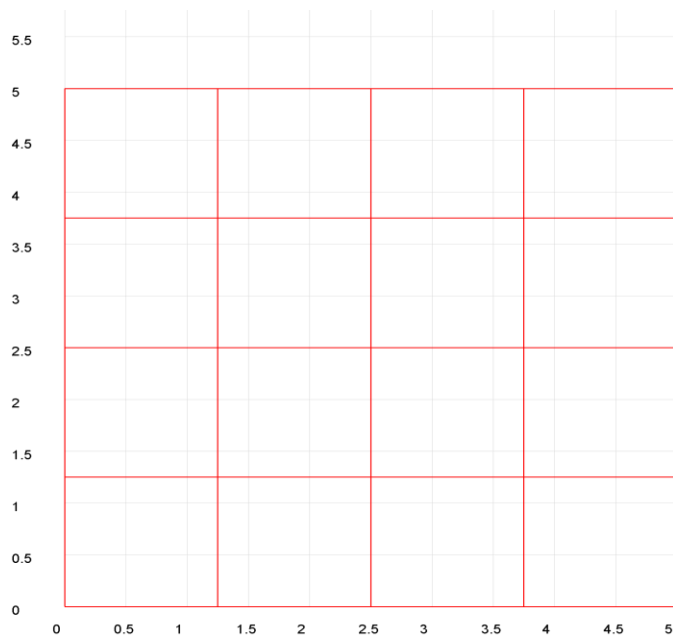


Figura 3.1 Malla vista plana.

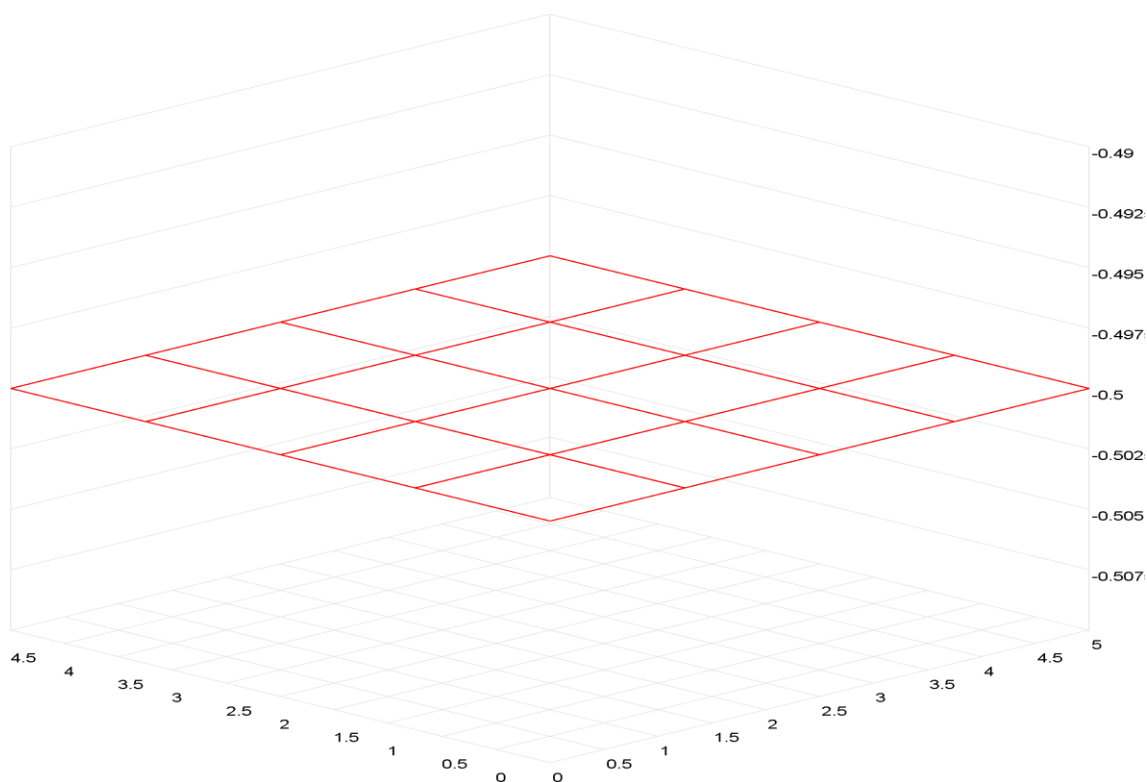


Figura 3.2 Malla visión 3D.

Ya con la malla graficada se puede simular los resultados que se obtendrían en el caso de implementar este tipo de puesta a tierra. En la Tabla 3.7 se observan los resultados obtenidos mediante el programa.

Tabla 3.7 Resultados obtenidos mediante el programa ASPIX.

Resistencia obtenida de la malla (Ohm)	5.017
Elevación del potencial de tierra GPR (V)	501.70
Corriente a través de la malla (A)	100.00
Factor de división de corriente Sf	1.00
Tensión de toque tolerable – persona de 70 kg (V)	3842.04
Tensión de toque tolerable – persona de 50 kg (V)	2838.70
Tensión de toque (V)	92.42
Tensión de paso tolerable – persona de 70 kg (V)	12037.67
Tensión de paso tolerable – persona de 50 kg (V)	8894.07
Tensión de paso (V)	99.37
Longitud total del conductor (m)	50.00
Número total de varillas	1

Dimensionamiento de un sistema de puesta a tierra con electrodo activo de grafito.

El fabricante de este tipo de electrodos ofrece a sus clientes una herramienta virtual que permite determinar la cantidad de materiales como mejorador de suelo y líquido electrolítico necesarios para alcanzar la resistencia eléctrica, en la figura 3.3 se observa la interfaz de la herramienta virtual.

CALCULADORA PUESTA A TIERRA

INSTRUCCIONES:

1. Registra la **RESISTIVIDAD** del terreno, si no dispones de ese dato selecciona el **TIPO DE SUELO** del lugar donde vas a realizar la instalación.
2. Ingrese la **RESISTENCIA OBJETIVA** a alcanzar.
3. Seleccione el **TIPO DE ELECTRODO** que deseas utilizar.
4. Presione en el botón **CALCULAR**.

Ingrese la Resistividad : *
42.91 (Ohm.m)

Ingrese el Tipo de Suelo : ▼

Ingrese la Resistencia Objetiva : *
5 (Ohm)

Ingrese el Tipo de Electrodo : *
Electrodo Plus ▼

CalcularLimpiar

Figura 3.3 Ingreso de parámetros del sistema de puesta a tierra. [5]

La calculadora del fabricante permite ingresar el valor de la resistividad medida en el terreno o también se puede seleccionar el tipo de terreno, en el caso de no poseer el valor de la resistividad.

Luego se debe ingresar el valor deseado de resistencia que se requiere y por último el tipo de electrodo que se utilizará. En este caso se utilizará el electrodo plus, que es del electrodo químico activo de grafito y finalmente se procede a dar clic en el botón **calcular**.

La herramienta proveerá el listado de productos que se necesitan para realizar la instalación de puesta a tierra y garantizar los valores de resistencia como se observa en la figura 3.4.



Figura 3.4 Listado de materiales sugeridos por el proveedor. [5]

Lo importante de estos resultados es que la tensión de toque máxima sea menor a las tensiones de toque tolerables de las diferentes personas según su peso. De igual forma la tensión de paso máxima tiene que ser menor a la tensión de paso tolerable. Con esta información se puede verificar si el sistema de puesta a tierra con malla funciona correctamente.

Selección del tipo de puesta a tierra.

De los métodos de puesta a tierra analizados en este documento se observa que las varillas verticales y horizontales requieren de un amplio espacio para su implementación para alcanzar el rango de resistencia eléctrica, en consecuencia, se han descartado estos métodos ya que representa un alto costo de inversión y por la falta de espacio disponible.

Al realizar el cálculo para una malla de 5 (m) x 5 (m) a una profundidad de 0.5 (m) se obtiene el valor de resistencia deseado. Es una excelente opción realizar la implementación del sistema de puesta a tierra con malla, pero al no poseer el espacio adecuado del terreno para realizar la implementación de la malla también se ha descartado este sistema de puesta a tierra debido al poco espacio disponible.

Por lo tanto, no se podría usar ninguno de estos sistemas para la implementación del sistema de puesta a tierra para el laboratorio de Tecnología Industrial. La mayor restricción para implementar cualquiera de estos sistemas de puesta a tierra es el área del terreno disponible. Además, el proceso para obtener un bajo valor de resistencia eléctrica sería mucho más costoso.

Por todo lo antes mencionado se ha decidido utilizar la alternativa del electrodo químico o electrodo activo de grafito, el cual permite obtener resistencias bajas en terrenos de área muy reducida con alta resistividad. Este tipo de electrodo es una nueva alternativa para la implementación de sistemas de puesta a tierra ya que está conformado por minerales de alta conductividad que permiten alcanzar bajas resistencias en suelos con condiciones extremas, reduciendo considerablemente la corrosión galvánica y aprovechando al máximo su vida útil.

Posteriormente, se realizó la cotización de todos los materiales que se emplearon para realizar la implementación del sistema de puesta a tierra. La cotización de los materiales se encuentra en el Anexo 3.

Dimensionamiento del cable de acometida del pozo al tablero de distribución.

Basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en el apartado de conductores, se indica que para una puesta a tierra el conductor adecuado debe ser de cobre y su sección mínima debe ser de acuerdo con la sección del conductor mayor de la acometida o alimentador en la siguiente relación [2]:

- a) No. 8 AWG para conductor de acometida hasta No. 2 AWG
- b) No. 6 AWG para conductores de acometida desde No. 1 AWG hasta 1/0 AWG
- c) No. 4 AWG para conductores de acometida desde No. 2/0 AWG hasta 3/0 AWG

También se puede considerar la corriente de protección a la cual va a estar sometida la protección principal, como se puede observar en la Tabla 3.6:

Tabla 3.6 Tamaño de los conductores de tierra para canalización y equipos. [4]

Capacidad o ajuste del dispositivo automático contra sobrecorrientes en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder de:	Tamaño nominal en mm ² (AWG o KCMIL) (conductor de cobre)	
	Amperios	AWG
15	14	2,08
20	12	3,31
30	10	5,26
40	10	5,26
60	10	5,26
100	8	8,37
200	6	13,2
300	4	21,2
400	2	33,6

Las protecciones eléctricas en el tablero principal del Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT están dimensionadas para operar con una corriente de 80 (A). De acuerdo con la información contenida en la norma IEEE-80, el cable requerido para la conexión de puesta a tierra del tablero es el No. AWG 8 para funcionar correctamente y que la puesta a tierra garantice la protección ante las fallas eléctricas. La conexión del cable con el electrodo activo puede realizarse por medio de un perno hendido o por soldadura exotérmica.

3.3 Implementación del sistema de puesta a tierra.

A continuación, se describe el proceso de instalación del sistema de puesta a tierra para el laboratorio de Tecnología Industrial. Para lo cual se requieren los siguientes materiales que se observan en la figura 3.5:

- 1 electrodo activo de grafito 6 pulgadas.
- 15 metros de cable sin revestimiento 6 AWG
- Terminal argolla para cable AWG
- 1 conector tipo perno partido de aluminio o hendido.
- 25 libras de mejorador de suelo.

- 1 galón de agregado electrolítico.
- Rejilla metálica 16 x 16 cm.



Figura 3.5 Materiales para implementación de la puesta a tierra.

Se cava un pozo de 1,5 m de profundidad con el suficiente espacio para manipular los materiales como se observa en la figura 3.6.



Figura 3.6 Pozo de puesta a tierra.

Aquí se deben tomar en cuenta los pasos que indica el fabricante en el manual de uso para garantizar los resultados deseados:

1. Se retira cuidadosamente el electrodo de su empaque.

2. Se coloca el electrodo dentro del pozo de 1.50 m previamente realizado.



Figura 3.7 Colocación de electrodo químico activo. [5]

3. La tierra que se ha retirado del pozo se pasa por una criba para retirar escombros y otros objetos que afecten las características de la puesta a tierra y se mezcla con el mejorador de suelo como se observa en la Figura 3.8.



Figura 3.8 Tierra preparada con mejorador de suelo. [5]

4. Luego de realizar la mezcla se rellena el pozo de la siguiente forma:
Se entierra el electrodo al mismo tiempo que se va compactando la tierra para fijarlo adecuadamente. Una vez que se entierre el 50% de la longitud del electrodo, se procede a irrigar agua para compactar mucho mejor la tierra alrededor del electrodo.



Figura 3.9 Irrigación del pozo.

5. Se conecta el cable del electrodo con el cable de puesta a tierra, por medio de un perno hendido.
6. Se reutiliza el empaque sobre el área del electrodo hasta la superficie. Esto se realiza con el motivo de crear una abertura directa hacia el electrodo; para su posterior conexión hacia el tablero general y realizar mantenimiento.



Figura 3.10 Registro del sistema de puesta a tierra. [5]

7. Se coloca el registro de puesta a tierra en la superficie. Se entierra el electrodo completamente y se coloca la rejilla metálica.
8. Se agrega el líquido activador electrolítico directamente sobre la superficie del electrodo.



Figura 3.11 Sistema de puesta a tierra instalado [5].

9. Finalmente se realiza la conexión del electrodo activo de grafito con el conductor eléctrico conectado al tablero principal del Laboratorio de Tecnología Industrial. En este caso para la conexión del cable se ha utilizado un perno hendido como se observa en la Figura 3.12.



Figura 3.12 Conexión del conductor con el electrodo activo de grafito.

3.4 Pruebas y Análisis de Resultados

Prueba de resistencia del sistema de puesta a tierra instalado.

Para garantizar que el sistema de puesta a tierra cumpla con el requisito fundamental de proteger a los equipos eléctricos y al personal humano de fallas eléctricas que se

presenten en el laboratorio de Tecnología Industrial, se debe verificar el valor de la resistencia eléctrica que garantice la protección adecuada. En este caso debe tener un valor de 5 (Ω) máximo [8].

Se realizaron varias mediciones y al igual que la resistividad se aplica el análisis estadístico con la finalidad de obtener un valor de resistencia confiable. En la Tabla 3.7 se presentan los valores obtenidos de resistencia con el Telurómetro. Para determinar el valor de la probabilidad en función de Z se utiliza la tabla del anexo 2 [8].

Tabla 3.7 Valores de resistencia obtenidos con el Telurómetro.

Perfil	Resistencia (Ω)	X ln(R)	X ²	X-X _{prom}	$Z = \frac{X - X_{prom}}{S}$	P=F[Z]*100%
1	1,12	0,11	0,01	-0,39	-1,81	35,1
2	1,26	0,23	0,05	-0,27	-1,26	10,38
3	1,35	0,30	0,09	-0,20	-0,94	17,36
4	1,49	0,40	0,16	-0,10	-0,48	31,56
5	1,51	0,41	0,17	-0,09	-0,42	33,72
6	1,66	0,51	0,26	0,01	0,03	51,2
7	1,72	0,54	0,29	0,04	0,19	57,53
8	1,84	0,61	0,37	0,11	0,51	69,5
9	1,91	0,65	0,42	0,15	0,68	75,17
10	2,05	0,72	0,52	0,22	1,01	84,38
11	2,13	0,76	0,57	0,25	1,19	88,3
12	2,18	0,78	0,61	0,28	1,30	90,32
Suma	20,22	6,01	3,52			
Promedio (X_{prom})	1,69	0,50				

Utilizando las mismas ecuaciones de la sección medición y cálculo de la resistividad del suelo, se calculó el valor de la resistencia aplicando el mismo proceso con la hoja de cálculo de Excel con un porcentaje de 70% de probabilidad. En la Tabla 3.8 se observan los resultados.

Tabla 3.8 Resultados de resistencia del sistema de puesta a tierra.

Perfil	$Z = \frac{X - X_{prom}}{S}$	$P=F[Z]*100\%$
1	-1,81	35,10
2	-1,26	10,38
3	-0,94	17,36
4	-0,48	31,56
5	-0,42	33,72
6	0,03	51,20
7	0,19	57,53
8	0,51	69,50
9	0,68	75,17
10	1,01	84,38
11	1,19	88,30
12	1,30	90,32
Z_{70%}	0,54	
R	1,85 [Ω]	

Como se aprecia en los resultados obtenidos, el sistema de puesta a tierra para la protección de equipos eléctricos y del personal humano cumple con su objetivo, brindando seguridad a las instalaciones eléctricas del Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT.

3.5 Manual de uso y mantenimiento.

Al escanear las Figuras 3.13 y 3.14 obtendrá el acceso a los videos explicativos del proyecto de titulación, los cuales son el manual de uso y el manual de mantenimiento, respectivamente.



Figura 3.13 Código QR del manual de uso.



Figura 3.14 Código QR del manual de mantenimiento.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El sistema de puesta a tierra con electrodo activo de grafito es el adecuado para obtener la medida de resistencia necesaria menor a 5 (Ω) para proteger las instalaciones eléctricas, equipos eléctricos y electrónicas y al personal humano.
- Para determinar los parámetros eléctricos del terreno en donde se realizó la puesta a tierra, el método Wenner o también llamado método de 4 picas es el más utilizado para obtener el valor de resistividad del terreno al realizar varias mediciones y aplicando el análisis estadístico.
- El sistema de puesta a tierra con el electrodo activo de grafito permitió alcanzar la resistencia de 5 (Ω) en un área reducida. Este valor es muy bajo por lo cual, para poder obtenerla con un sistema de puesta a tierra con malla o con una varilla de cobre se requeriría de un área más extensa.
- Al analizar los diferentes tipos de puesta a tierra se concluye que el electrodo activo de grafito es el método que más ventajas ofrece comparando sus precios, el área que ocupa y los resultados de resistencia eléctrica obtenida con cada una. Además, El electrodo activo de grafito al ser de simple instalación no representa una gran inversión en obra civil y se reduce su tiempo de implementación
- El electrodo activo de grafito es más robusto y está formado de compuestos altamente conductivos por lo cual es más resistente a la corrosión galvánica que una varilla de cobre o una malla de cobre, y es por ello por lo que se garantiza una vida útil de 15 años.

Para comprobar que la puesta a tierra permite obtener el valor esperado de resistencia igual o menor a 5 (Ω), el método del 61.8% es el más adecuado para realizar la medición de la resistencia. Al realizar varias mediciones y aplicando el mismo análisis estadístico que se realizó con las mediciones de resistividad se obtiene el valor de resistencia real del sistema de puesta a tierra.

4.2 Recomendaciones.

Las siguientes recomendaciones deben ser consideradas para la implementación de un sistema de puesta a tierra con electrodo activo de grafito:

- Revisar las indicaciones y el manual de uso del Telurómetro para reducir o evitar errores durante las mediciones de resistividad y afectar a los resultados. Dichos errores pueden ser: incorrecta manipulación del equipo, error de apreciación, incorrecta ubicación y conexión de los electrodos e incluso daños al usuario.
- Evitar el contacto humano con los electrodos del Telurómetro durante su funcionamiento.
- Identificar las características del suelo como conductor eléctrico que influyen en el diseño del sistema de puesta a tierra o que no sean corrosivos para el mismo.
- Utilizar el método Wenner para determinar el valor de la resistividad del suelo para simplificar el proceso de diseño ya que permite obtener valores reales con un mínimo rango de error.
- Utilizar el compuesto mejorador y el líquido electrolítico para mejorar la conductividad de fallas eléctricas y aprovechar al máximo la vida útil del sistema de puesta a tierra.
- Verificar los valores finales de resistencia del sistema de puesta a tierra para garantizar la protección de los equipos eléctricos y al personal humano de fallas eléctricas presentes durante las actividades dentro del laboratorio de Tecnología Industrial.
- Establecer una revisión periódica de las conexiones del sistema de puesta a tierra. Las principales actividades que se deben realizar en dicha revisión son: ajustar puntos de conexión, retirar la presencia de corrosión con papel lija, revisar que el conductor eléctrico no presente rupturas y eviten la conducción de fallas eléctricas hacia tierra.
- Medir la puesta a tierra instalada por lo menos dos veces al año, esto con la ayuda del Telurómetro y mínimo con 8 perfiles de medición. Se lo puede aplicar como prácticas de laboratorio de Instalaciones Eléctricas.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MIDUVI, «Norma Ecuatoriana de la Construcción - instalaciones eléctricas NEC-SB-IE,» Febrero 2018. [En línea]. Available: www.habitatyvivienda.gob.ec. [Último acceso: 02 Septiembre 2020].
- [2] INEN, «NTE INEN-IEC 61400-24,» Enero 2014. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_IEC_61400_24.pdf. [Último acceso: Septiembre 2020].
- [3] GEDISA, «Manual de Sistemas de Puesta a Tierra,» 2007. [En línea]. Available: http://www.gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_gediweld/libreria/00%20MANUAL%20GEDIWELD%202007%20COMPLETO%20B.pdf. [Último acceso: 20 Septiembre 2020].
- [4] INEN, «Reglamento de Seguridad NEC (ecuatoriano),» Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>. [Último acceso: Septiembre 2020].
- [5] F. ELECTRODO, «fm electrodo.com,» [En línea]. Available: <http://www.fmelectrodo.com/>. [Último acceso: 10 abril 2021].
- [6] M. V. C. C. Cristhian Rodrigo Astudillo Ochoa, Calculo de sistemas e puesta a tierra aplicacion de la norma IEEE 80-2000, Cuenca- Ecuador , 2012.
- [7] C. G. Raul, «Sistema de Puesta a Tierra Normalizada para Centros de Transformacion en el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito en la parroquia Tababela,» Octubre 2008. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/901>. [Último acceso: Septiembre 2020].

- [8] J. R. y. E. Cano, «Sistemas de puesta a tierra diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF,» Marzo 2010. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Jose_Ramirez_Castano/publication/281538199_SISTEMAS_DE_PUESTA_A_TIERRA_Disenado_con_IEEE-80_y_evaluado_con_MEF/links/55ed0f9808ae65b6389f4148/SISTEMAS-DE-PUESTA-A-TIERRA-Disenado-con-IEEE-80-y-evaluado-con-MEF.pdf. [Último acceso: 10 Septiembre 2020].
- [9] M. P. Villa, «Criterios de Seguridad en la Aplicación de Puesta a Tierra en Instalaciones Eléctricas de edificios.,» agosto 2010. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/12401219.pdf>. [Último acceso: septiembre 2020].
- [10] M. C. Cristhian Rodrigo Astudillo, «Cálculo de Sistema de Puesta a Tierra Aplicación de la Norma IEEE 80-2000,» abril 2012. [En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/694/1/te326.pdf>. [Último acceso: septiembre 2020].
- [11] F. M. S. Sinche, Diseño y determinacion de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo GEM y electrodo activo., Cuenca, 2017.
- [12] E. A. C. P. Jose Samuel Ramirez Castaño, Sistema de puesta a tierra: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF, Manizales: Blanecolor Ltda, 2010.
- [13] R. G. Márquez, La puesta a tierra de instalaciones eléctricas., MARCOMBO,S. A., Barcelona, España, .
- [14] I. i. agulleiro, Técnicas modernas para la medicion de sistemas de puesta a tierra en zonas urbanas..
- [15] C. A. P. P. Carlos Eugenio Cango Andrango, Elaboracion de un manual para el diseño y mantenimiento de mallas de puesta a tierra., Quito- Ecuador, 2009.

6 ANEXOS

ANEXO 1: CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO.

Certificado de Funcionamiento



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R

Quito, 12 de abril del 2021

CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Yo, Abraham Ismael Loja Romero, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de titulación, certifico que he constatado el correcto funcionamiento del **"Sistema de puesta a tierra para el laboratorio de Tecnología Industrial"**, el cual fue realizado por los estudiantes Paul Asipuela y Oscar Zumba.

El proyecto cumple con los requerimientos de diseño y parámetros necesarios para que los usuarios de la ESFOT puedan usar las instalaciones con seguridad para los equipos y las personas.

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "A. Loja Romero".

DIRECTOR

Ing. Abraham Ismael Loja Romero, Msc.

Ladrón de Guevara E11-253, Escuela de Formación de Tecnólogos, Oficina 3. EXT: 2726

email: abraham.loja@epn.edu.ec

Quito-Ecuador

ANEXO 2: DISTRIBUCIÓN NORMAL ACUMULADA.

Z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5	0,504	0,508	0,512	0,516	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5436	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5714	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,591	0,5948	0,5957	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,648	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,67	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,695	0,6985	0,7019	0,7054	0,7068	0,7123	0,7157	0,719	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,758	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7851	0,791	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,834	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8656	0,8706	0,8729	0,8749	0,877	0,879	0,881	0,883
1,2	0,8849	0,8869	0,8858	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,898	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9056	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,937	0,9382	0,9394	0,9405	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9465	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9435	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,975	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,983	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,985	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,989
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916

ANEXO 3: COSTO DE MATERIALES.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNITARIO	TOTAL
WFME5910	UND FM ELECTRODO QUIMICO ACTIVO PUESTA/TIERRA PLUS 6"	1	272,58	272,58
1AC06-3	MTS CABLE DESNUDO #6 7H COBRE	50	1,456	72,8
WFMREJ-MET-1	UND FM REJILLA METAL 26*26 T/IRVUNG (FM ELEC PLUS)	1	31,83	31,83
OCPHCA20	UND CONEC.PERNO HEND.#2/0 RKSU-26 22239	1	5,24	5,24

VALOR	\$ 382,45
DESC. 15%	\$ 57,37
SUBTOTAL	\$ 325,08
TARIFA 0%	\$ -
TARIFA 12%	\$ 325,08
IVA 12%	\$ 39,01
FLETE	\$ -
TOTAL	\$ 364,09

ANEXO 4: UBICACIÓN GPS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA IMPLEMENTADO.



ANEXO 5: ACOMETIDA SISTEMA PUESTA A TIERRA.

