

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS
PUESTAS A TIERRA INSTALADAS EN LA ESFOT.**

PLAN DE MANTENIMIENTO

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TÉCNICO SUPERIOR
EN ELECTROMECÁNICA**

DANIELA ALEJANDRA CASTILLO ARBOLEDA

DIRECTOR: Ing. ABRAHAM ISMAEL LOJA ROMERO, MSc.

DMQ, agosto 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Daniela Alejandra Castillo Arboleda declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Daniela Alejandra Castillo Arboleda

daniela.castillo@epn.edu.ec

daniela.a.castillo.a1998@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Daniela Alejandra Castillo, bajo mi supervisión.



Ing. ABRAHAM ISMAEL LOJA ROMERO, MSc.

abraham.loja@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmo que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponde al autor que ha contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

DANIELA ALEJANDRA CASTILLO ARBOLEDA

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, que con su apoyo, dedicación y sacrificio hicieron todo posible, para que, yo pueda cumplir mis metas académicas. Me han inspirado siempre y espero que me sigan acompañando.

Daniela Castillo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi tutor, quien me ha guiado, ayudado y corregido a lo largo de la elaboración de este trabajo.

Agradezco a mis maestros, que han inculcado en mí, las bases del conocimiento necesario para llegar a este punto y poder superarme día a día.

Agradezco a mis padres por su apoyo y dedicación para permitirme estudiar en esta prestigiosa universidad. Durante estos años de formación ellos han estado a mi lado aconsejándome y cuidándome, para que el día de hoy logre cumplir mis metas.

Agradezco a mis hermanos por acompañarme durante esta trayectoria y ayudarme a seguir aprendiendo acerca del amor fraternal, la complicidad y la vida.

Agradezco a mis familiares, pareja y amigos cercanos, por brindarme su apoyo y palabras de aliento en los momentos difíciles, por ayudarme a avanzar y crecer sin darme por vencida.

Daniela Castillo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1. Objetivo general.....	1
1.2. Objetivos específicos	1
1.3. Alcance.....	1
1.4. Marco teórico.....	2
Norma IEEE-80-2000.....	2
Método Wenner o de las 4 picas.....	3
Métodos de medición de la puesta a tierra instalada.....	4
Electrodos para Puesta a Tierra.....	6
Tratamiento Químico del Suelo.....	6
2 METODOLOGÍA	8
2.1. Descripción de la metodología utilizada.....	8
2.2. Medición de las puestas a tierra instaladas en la ESFOT.....	8
2.3. Medición de la resistividad del suelo.....	12
2.4. Análisis de los requerimientos de las puestas a tierra.....	16
2.5. Plan de mantenimiento periódico del suelo.....	17
2.6. Plan de mantenimiento para los sistemas de puesta a tierra.....	19
3 RESULTADOS.....	20
3.1. Medición de la resistencia de la puesta a tierra instalada	20
3.2. Medición de la resistividad del suelo.....	28
3.3. Análisis de los requerimientos de la puesta a tierra	37
3.4. Plan de mejoramiento periódico del suelo.....	38
3.5. Creación del plan de mantenimiento para los sistemas de puesta a tierra.....	42

4	CONCLUSIONES	48
5	RECOMENDACIONES	50
6	INSTRUCTIVO PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LAS PUESTAS A TIERRA DE LA ESFOT.....	51
7	REFERENCIAS	52
8	ANEXOS.....	53
	Anexo I. Reporte de Similitud Reportado por Turnitin	53
	Anexo II. Tabla de Distribución Normal Acumulada.	55
	Anexo III. Registro de actividades del plan de mantenimiento para los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT.....	56

RESUMEN

El presente Trabajo de Titulación expone el planteamiento de planes de mantenimiento preventivo y correctivo aplicados a los sistemas de puesta a tierra presentes en la ESFOT (Escuela de Formación de Tecnólogos), los cuales, están diseñados para proteger los elementos eléctricos y electrónicos del Laboratorio de Tecnología Industrial, Dirección, Aulas de la 12 a la 20 y la Copiadora-ESFOT. Además, estos sistemas también cumplen con la función de salvaguardar el bienestar de los usuarios.

Este trabajo se divide en siete secciones, las cuales, están distribuidas de la siguiente manera:

En la Sección 1, se indica el componente desarrollado a lo largo del proyecto, los objetivos, el alcance y los fundamentos teóricos necesarios para la elaboración de este.

En la Sección 2, se describe la metodología implementada para cumplir con los objetivos planteados en la sección 1, al igual que se explican los procesos de análisis para la creación de los planes de mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT.

La Sección 3, contiene los resultados de las pruebas realizadas en los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT y el tratamiento de los datos obtenidos, así también se muestran los planes de mantenimiento elaborados para cada uno de los sistemas.

En la Sección 4, se encuentran las conclusiones obtenidas, con base en el proceso de evaluación de los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT y al diseño de los planes de mantenimiento.

En la Sección 5 se encuentran las recomendaciones basadas en las observaciones realizadas a lo largo de la ejecución del proyecto.

Sección 6 contiene las referencias bibliográficas que fueron examinadas para el soporte teórico del trabajo.

Finalmente, en la Sección 7, se encuentran los anexos del trabajo de titulación.

PALABRAS CLAVE: Puesta a tierra, Suelo, Telurómetro, Diseño, Mantenimiento.

ABSTRACT

The present degree work exposes the approach of preventive and corrective maintenance plans applied to the grounding systems present in the ESFOT, which are designed to protect the electrical and electronic elements of the Industrial Control Laboratory, Management, Classrooms of 12 to 20 and the Copier. In addition, these systems also fulfill the function of safeguarding the well-being of users.

This work is divided into seven sections, which are distributed as follows:

In Section 1, the component developed throughout the project, the objectives, the scope, and the theoretical foundations necessary for its elaboration are indicated.

In Section 2, the methodology implemented to meet the objectives set out in section 1 is described, as well as the analysis processes for the creation of preventive and corrective maintenance plans for the grounding systems of the plant. ESPHOT.

Section 3 contains the results of the tests carried out on the ESFOT grounding systems and the treatment of the data obtained, as well as showing the maintenance plans prepared for each of the systems.

Section 4 contains the conclusions obtained, based on the evaluation process of ESFOT grounding systems and the design of maintenance plans.

Section 5 contains the recommendations based on the observations made throughout the execution of the project.

Section 6 contains the bibliographic references that were examined for the theoretical support of the work.

Finally, in Section 7, there are the annexes of the degree work.

KEY WORDS: Grounding, Ground, Tellurometer, Design, Maintenance.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El componente desarrollado cuenta con tres etapas, las cuales son: levantar información de los sistemas de puesta a tierra, analizar los requerimientos de los sistemas de puesta a tierra y elaboración de un plan de mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra y mejoramiento periódico del suelo.

La ESFOT cuenta con cuatro sistemas de puesta a tierra, que protegen las instalaciones, equipos y al personal. Dichos sistemas se encuentran en el Laboratorio de Tecnología Industrial, las Aulas de la 12 a la 20 de la ESFOT, en el edificio de la Dirección y en la Copiadora de la ESFOT. Los sistemas de puesta a tierra mencionados serán tomados como casos de estudio para cuantificar las características eléctricas de estos y de sus terrenos; después, con base en los datos obtenidos, crear un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que se adapte a las necesidades de cada uno de los sistemas, así como el mejoramiento periódico de los terrenos.

Para el desarrollo del proyecto de integración, se levantará información de las puestas a tierra instaladas en la ESFOT y se comparará los resultados con base en la norma IEEE-80-2000, en donde se indica que se debe realizar dos pruebas, la primera para conocer la resistividad del terreno, conocida como método Wenner y la segunda para medir la resistencia de la puesta a tierra instalada, llamada método del 61.8 %. [1]

1.1. Objetivo general

Elaborar un plan de mantenimiento de las puestas a tierra instaladas en la ESFOT.

1.2. Objetivos específicos

- Medir las puestas a tierra instaladas en la ESFOT.
- Medir la resistividad del suelo en donde se encuentran ubicadas las puestas a tierra.
- Analizar los requerimientos de las puestas a tierra.
- Crear un plan de mantenimiento programado del suelo.
- Crear un plan de mantenimiento periódico para las puestas a tierra.

1.3. Alcance

Se tomó como caso de estudio los sistemas de puesta a tierra instalados en la ESFOT, en donde se recopilaban las características eléctricas de cada uno de los sistemas y del suelo. La importancia de esto se basa en que un sistema de puesta a tierra es un circuito de protección, conectado en paralelo al circuito eléctrico y cumple la función de salvaguardar la

integridad física de los usuarios, al igual que proteger los equipos eléctricos y electrónicos, en este caso ubicados en la ESFOT. [1]

El proyecto se ejecutará con fines investigativos y dará como resultado un plan de mantenimiento correctivo y preventivo para las puestas a tierra tomando en cuenta las características eléctricas del suelo en donde están colocadas en la ESFOT.

Este trabajo se realizó con el propósito de beneficiar a los usuarios de la ESFOT, ya que se dio a conocer las acciones necesarias para conservar los sistemas de puesta a tierra funcionando en buenas condiciones, protegiendo aparatos electrónicos, maquinaria y a los mismos usuarios de descargas eléctricas, cortocircuitos, fugas de corriente, etc.

1.4. Marco teórico

Un Sistema de Puesta a Tierra es el conjunto de medidas tomadas para crear una conexión conductora, a la cual se conecta un equipo o circuito eléctrico a la masa de la tierra, dando como resultado un sistema de protección eléctrica. [2] [3] El sistema de puesta a tierra debe suministrar los recursos óptimos para disipar corrientes eléctricas hacia el suelo, manteniendo los límites a los que la red eléctrica opera; esto con el objetivo de que los usuarios dentro de una red no se expongan a peligros como corrientes eléctricas de choque, tensiones de paso, tensiones de malla o tensiones de choque. [1]

A continuación, en esta sección se expone la norma más utilizada en el país para diseñar sistemas de puesta a tierra; así como los métodos de medición del suelo y de la puesta a tierra instalada que se implementaron.

Norma IEEE-80-2000

La norma IEEE Standard 80-2000 es un manual detallado que indica el procedimiento de diseño y los lineamientos que deben cumplir los sistemas de puesta a tierra, tanto en subestaciones como en sistemas eléctricos domésticos. [1] Los objetivos principales de la norma IEEE-80-2000 son:

- Indicar el procedimiento de diseño de las puestas a tierra basándose en los niveles seguros de tensión de paso y de toque dentro de un área.
- Examinar los sistemas de puesta a tierra haciendo referencia a un criterio de diseño eficiente y seguro.
- Exponer procedimientos analíticos, para el entendimiento, planteamiento y solución de problemas relacionados con sistemas de puesta a tierra. [1]

El proyecto presentado se enfoca en los objetivos dos y tres de la norma, ya que, se examina los criterios de diseño expuestos en proyectos de titulación anteriores, al igual que analiza los problemas que presentan los sistemas de puesta a tierra instalados en la ESFOT y plantea soluciones.

Método Wenner o de las 4 picas

El método Wenner o de las 4 picas es la técnica más utilizada en el país al momento de determinar la resistividad del suelo.

Utilizando un Telurómetro se clavan 4 electrodos en línea recta en el suelo, los electrodos guardan una distancia “a” entre sí y la profundidad a la que se entierra el electrodo es una distancia “b” como se muestra en la **Figura 1.1**. Los dos electrodos centrales miden potencial, mientras que los electrodos exteriores inyectan corriente, estos valores son divididos y el Telurómetro indica un valor de resistencia obtenida “R” en ohmios (Ω).

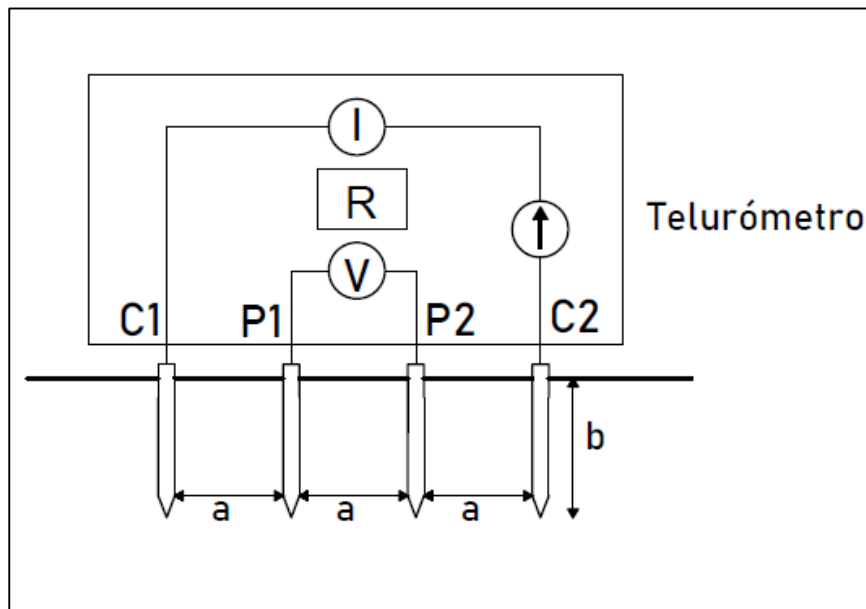


Figura 1.1 Método Wener o de las 4 picas. [1]

Luego para obtener la resistividad, a lo largo del suelo medido se aplica la siguiente **Ecuación 1.1**:

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

Ecuación 1.1 Cálculo de la resistividad del suelo.

En donde;

ρ_a : es la resistividad aparente.

a : es la distancia entre electrodos contiguos.

b : es la profundidad a la que se entierra el electrodo.

R : es la resistencia medida por el Telurómetro

Si se cumple la condición:

$$b \ll \frac{a}{10}$$

Entonces se aplica la **Ecuación 1.2**:

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

Ecuación 1.2 Cálculo de la resistividad del suelo cuando $b \ll a$.

Debido a las características geológicas, el método Wenner permite determinar la composición y grado de homogeneidad del suelo, según la resistividad que este posea. En la **Tabla 1.1** se muestran los rangos de resistividad de los suelos más comunes. [1]

Tabla 1.1 Rango de Resistividad del suelo. [1]

Tipo de suelo	Rangos de resistividad (Ω -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

Métodos de medición de la puesta a tierra instalada.

Según la norma IEEE-80-2000, existen dos métodos principales para medir la resistencia eléctrica que posee un sistema de puesta a tierra instalado; el método del 61,8% (método las 3 picas) y el método de intersección de curvas.

- **Método de la regla del 61.8% o de las 3 picas**

Para Verificar el valor de resistencia de una puesta a tierra instalada utilizando el método del 61.8% se utiliza el Telurómetro, se realiza un cortocircuito entre el electrodo de corriente C1 y el electrodo de potencial P1, dando como resultado que el Telurómetro trabaje únicamente con 3 picas o electrodos. Luego, el electrodo C1 de corriente se conecta al electrodo del sistema de puesta a tierra. Una vez realizada esta conexión, se coloca el electrodo de corriente C2 en el punto más lejano posible que me permita el terreno en donde está el sistema y la herramienta que se utiliza, dando como resultado una distancia X. Finalmente se coloca el electrodo de potencial P2 a una distancia igual al 61.8% de X. [1] El modo de conexión correcto se puede observar en la **Figura 1.2**.

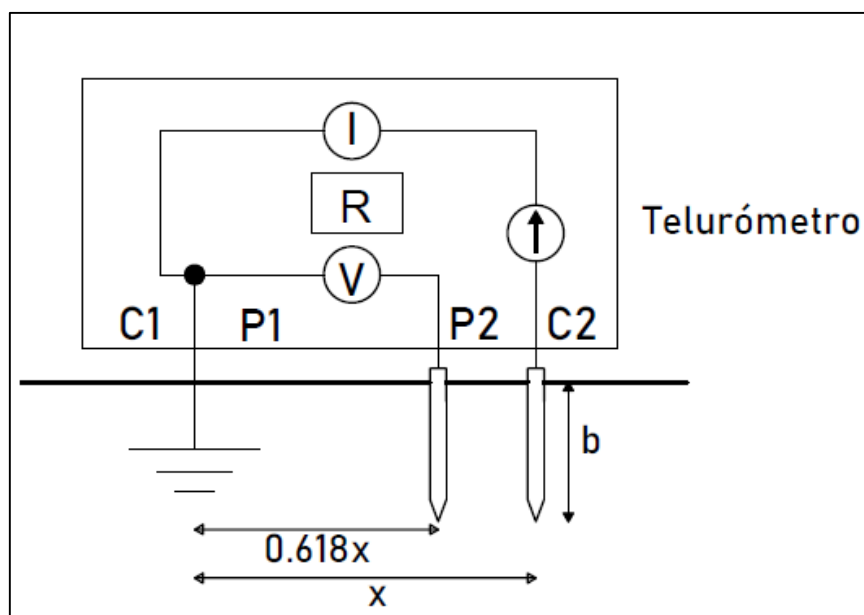


Figura 1.2 Método del 61.8% para medir la resistencia de la puesta a tierra instalada. [1]

- **Método de inserción de curvas**

El método de inserción de curvas se utiliza para medir la resistencia eléctrica de sistemas de puesta a tierra que tienen un área superior a 20000 m² y se basa en el método del 61.8%. [1]

Este método consta de conseguir múltiples curvas de resistencia del sistema. Esto se logra colocando el electrodo de corriente 4 a diferentes posiciones y distancias del centro eléctrico del sistema que se está midiendo. Tomada estas curvas como punto de partida se encuentra la resistencia eléctrica del sistema y el centro de la malla.

Electrodos para Puesta a Tierra

Un electrodo para puesta a tierra es un elemento conductor, ya sea una barra, cable, tubo o placa enterrada en contacto directo con el suelo. [2]

Los electrodos de puesta a tierra utilizados en el país comúnmente son de tipo varilla, placa, ánodos de sacrificio o electrodos de grafito.

- a) **Electrodos tipo varilla:** En referencia a la norma NEC, los electrodos tipo varilla deben tener un largo mayor o igual a 1.80m en contacto con el suelo y contar con un diámetro mínimo de 16mm. [4]
- b) **Electrodos de placa:** Los electrodos de placa según la norma IEEE-80, deben ocupar un área mínima en contacto con el suelo de 0.2m² y las placas deben tener un espesor mayor o igual a 6.4mm en caso de que sean de material ferroso. Si la placa es de un material no ferroso debe tener un espesor mínimo de 1.52 mm. [2]
- c) **Electrodos de sacrificio o de grafito:** Los electrodos de grafito o de sacrificio están constituidos por sales minerales y otros componentes resistentes a la corrosión. Este tipo de electrodo es implementado en sistemas de puesta a tierra que requieren una resistencia eléctrica muy baja, en sistemas de un solo electrodo, y en sistemas que se encuentren en un suelo con una resistividad muy alta. [2]

Tratamiento Químico del Suelo

La composición química del suelo, así como la calidad y cantidad que posea de sales minerales, influye drásticamente en el valor de resistividad que posee un terreno destinado para un sistema de puesta a tierra.

Es necesario mejorar el suelo cuando la resistividad de un terreno es elevada o cuando un sistema de puesta a tierra instalado posee una resistencia eléctrica superior a la norma IEEE-80-2000. Existen varios métodos que permiten mejorar el estado del suelo y del sistema de puesta a tierra. Generalmente los métodos consisten en mejorar las capas superficiales del suelo. Este tratamiento también es muy útil al momento de volver independiente al valor de resistividad con respecto a las condiciones climáticas de una zona. [2]

En la práctica los métodos más comunes para disminuir la resistividad de un terreno son los siguientes:

- a. Humedecer con agua y sales minerales (cloruro sólido, sulfato de cobre o sulfato de magnesio) la fosa en donde se encuentra el electrodo.
- b. Derramar en la fosa en donde se encuentra el electrodo sales minerales, las cuales se disolverán con el agua de lluvia. [2]

Estos métodos, aunque bajan la resistividad del suelo y permiten obtener un sistema de puesta a tierra con una resistencia más baja, pueden causar la corrosión temprana del electrodo debido al estado previo del terreno. Por esta razón se recomienda realizar un tratamiento químico del suelo.

El tratamiento químico del suelo es ideal para puestas a tierra que constan de un solo electrodo o en casos donde los electrodos no pueden ser enterrados más profundo a causa de suelos rocosos. Sin embargo, el tratamiento químico no mejora el suelo de manera permanente, ya que los químicos son diluidos por la lluvia y el drenaje natural del suelo dependiendo su porosidad. [2]

El suelo debe ser tratado de manera periódica. Para un sistema de puesta a tierra ya instalado se utiliza el método de las trincheras, el cual, consiste en cavar una fosa circular alrededor del electrodo, como se muestra en la **Figura 1.3**. En la fosa se coloca un material de baja resistividad, comúnmente sulfato de magnesio o sal de roca. También se puede utilizar elementos como Bentonita, Marconita y Yeso. [5]

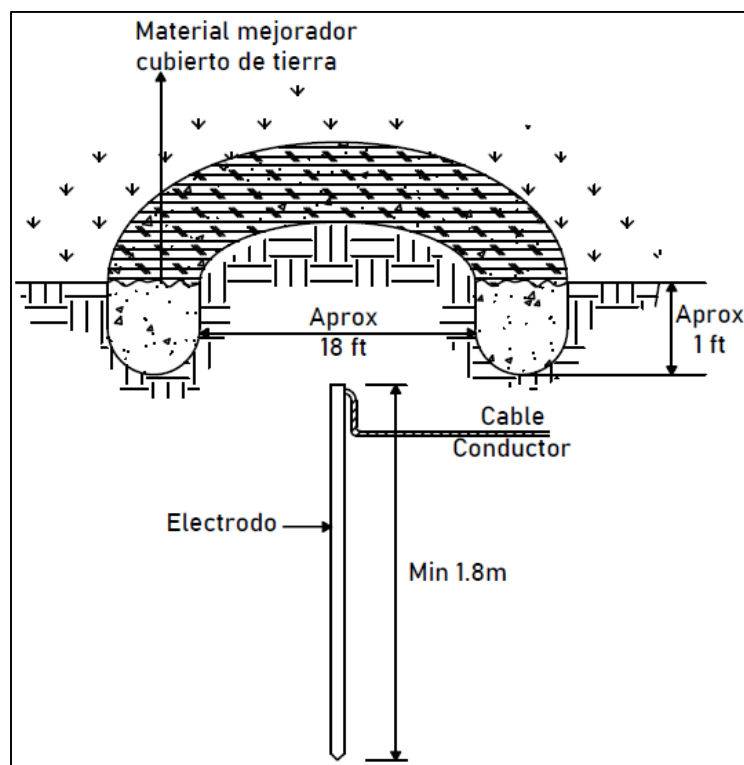


Figura 1.3 Método de las trincheras [5]

2 METODOLOGÍA

2.1. Descripción de la metodología utilizada.

Para crear un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para las puestas a tierra de la ESFOT se implementó el estudio de cada una de las mismas, esto con un enfoque cuantitativo, que permitió medir las características eléctricas de la puesta a tierra y el suelo en donde están ubicadas.

Para realizar el proyecto se tomó como base la norma IEEE-80-2000, en donde se especifican los parámetros que deben ser considerados para definir si un sistema de puesta a tierra está diseñado de manera correcta y cumple con los requerimientos para los cuales el sistema fue diseñado.

En esta sección se indican los métodos aplicados para cumplir los objetivos del proyecto, empezando por la medición de la puesta a tierra instalada, medición de la resistividad del suelo, análisis de los requerimientos de las puestas a tierra y finalmente la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para las puestas a tierra.

2.2. Medición de las puestas a tierra instaladas en la ESFOT.

Inicialmente se midió la resistencia de cada una de las puestas a tierra instaladas en la ESFOT, se ocupó un Telurómetro, se aplicó el método de las 3 picas o método de 61.8% y se obtuvo 15 perfiles medidos para cada uno de los sistemas. Posteriormente se tabuló, se realizó un método estadístico para encontrar el valor más exacto de resistividad y comparó los datos obtenidos con los datos de diseño.

Los datos de diseño fueron obtenidos de proyectos de titulación anteriores, en los cuales se estableció las puestas a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial, de la Dirección de la ESFOT y de las Aulas desde la 12 hasta la 20. Por otro lado, del sistema de puesta a tierra de la Copiadora-ESFOT, únicamente se realizó un análisis con base en los requerimientos, ya que, de esta no están disponibles los datos de diseño en proyectos anteriores.

La puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial fue diseñada para proteger equipos electrónicos sensibles, por lo que, debe tener una resistencia eléctrica menor o igual a 5 (Ω). La resistencia eléctrica inicial que entregaba esta puesta a tierra era de 1.85 (Ω), siendo que cuenta con un electrodo activo de grafito, de longitud 100 (cm) y diámetro exterior de 26(in).

Los perfiles que se tomaron para medir la resistencia de esta puesta a tierra se pueden observar en la **Figura 2.1**.

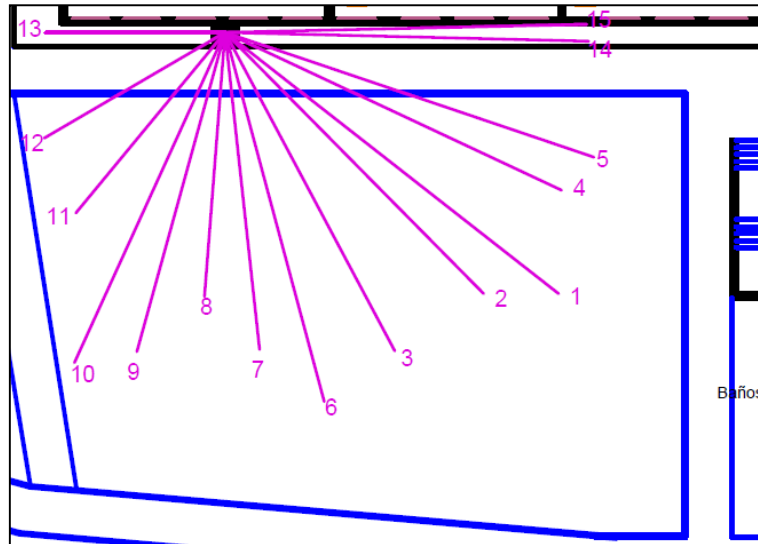


Figura 2.1 Puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial. Aplicación del método de las 3 Picas

Para la puesta a tierra de la Dirección de la ESFOT, la cual, al igual que la puesta a tierra del Laboratorio, está diseñada para la protección de elementos electrónicos sensibles, es decir, según la norma IEEE-80-2000 su resistencia máxima debe ser de 5 (Ω). Esta puesta a tierra posee un electrodo de grafito de dimensiones 1000(mm)x100(mm) y la resistencia eléctrica que entregaba inicialmente este sistema era de 4.97 (Ω).

Lo perfiles que se midieron para encontrar la resistencia de la puesta a tierra se pueden observar en la **Figura 2.2**.

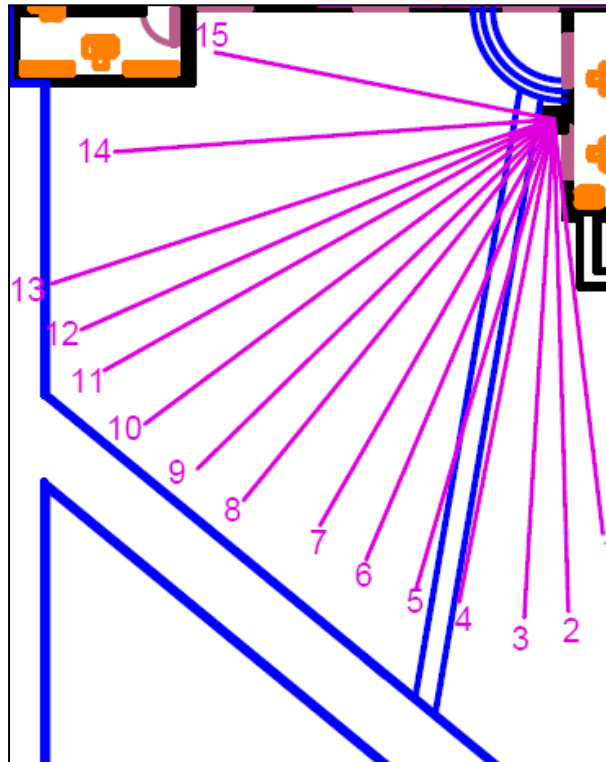


Figura 2.2 Puesta a tierra de la Dirección. Aplicación del método de las 3 Picas

Por otra parte, el sistema de puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20 tiene la función de proteger elementos electrónicos sensibles y su resistencia máxima debe ser de $5(\Omega)$. El sistema está constituido por un electrodo de grafito, el cual, no se conocen sus especificaciones. La resistencia eléctrica que entregaba el sistema al momento de su instalación era de $1.96(\Omega)$.

Los perfiles que fueron medidos para determinar la resistencia actual del sistema se pueden observar en la **Figura 2.3**.

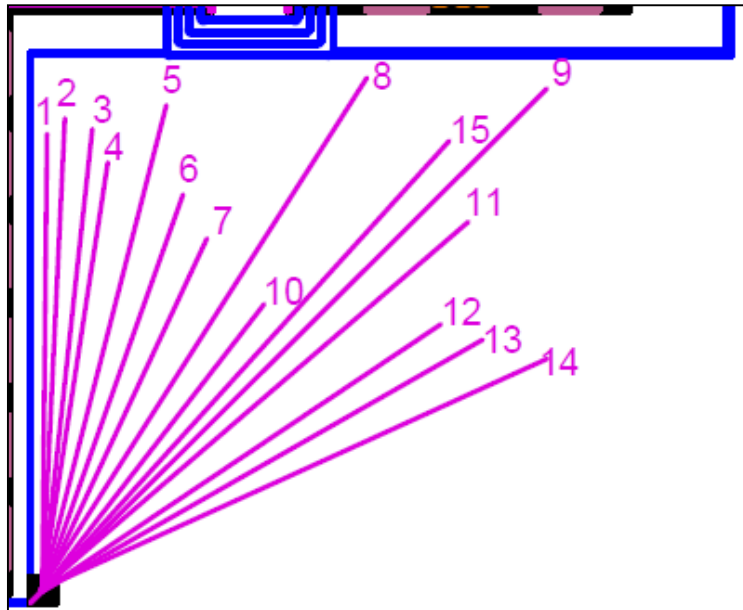


Figura 2.3 Puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20. Aplicación del método de las 3 Picas

Finalmente, el sistema de puesta a tierra de la Copiadora-ESFOT tiene el objetivo de proteger instalaciones de baja tensión, por lo que, según la norma IEEE-80-2000 la resistencia máxima del sistema debe ser de 25 (Ω). En la **Figura 2.4**, pueden observarse los perfiles que fueron medidos para encontrar la resistencia eléctrica del sistema.

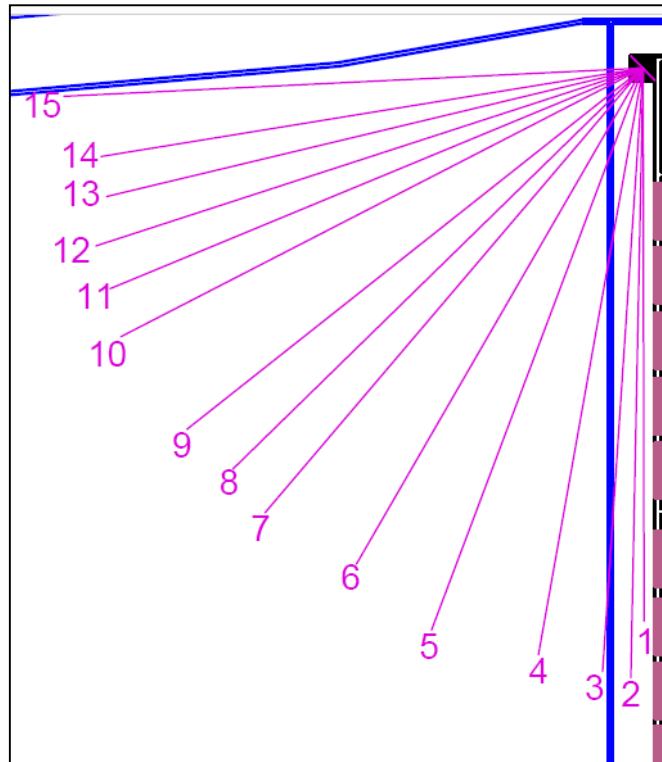


Figura 2.4 Puesta a tierra de la Copiadora. Aplicación del método de las 3 Picas

Este sistema está construido por un electrodo tipo varilla y se desconocen los datos de diseño que posee el sistema.

2.3. Medición de la resistividad del suelo.

Otro parámetro importante para realizar el plan de mantenimiento de las puestas a tierra es considerar la resistividad del suelo cercano en donde está instalado el sistema. Para esto se implementó el método Wenner o de las 4 picas. Los datos de resistencia obtenidos fueron tabulados y mediante un cálculo estadístico se determinó la resistividad de cada uno de los terrenos cercanos a los sistemas de puesta a tierra instalados. Se aplicó el método Wenner considerando 15 perfiles en cada uno de los terrenos de las puestas a tierra.

Para aplicar el método Wenner se tomó en cuenta la geometría que tiene cada uno de los terrenos, y según la resistividad medida se pudo determinar el mejor lugar para de ser necesario realizar un rediseño y reubicación de cada uno de los sistemas de puesta a tierra.

El terreno de la puesta a tierra del Laboratorio posee una forma irregular y está separado en dos secciones por un paso peatonal como se ve en la **Figura 2.5**. Además, en la misma figura se muestra la distribución de los perfiles que se tomaron.

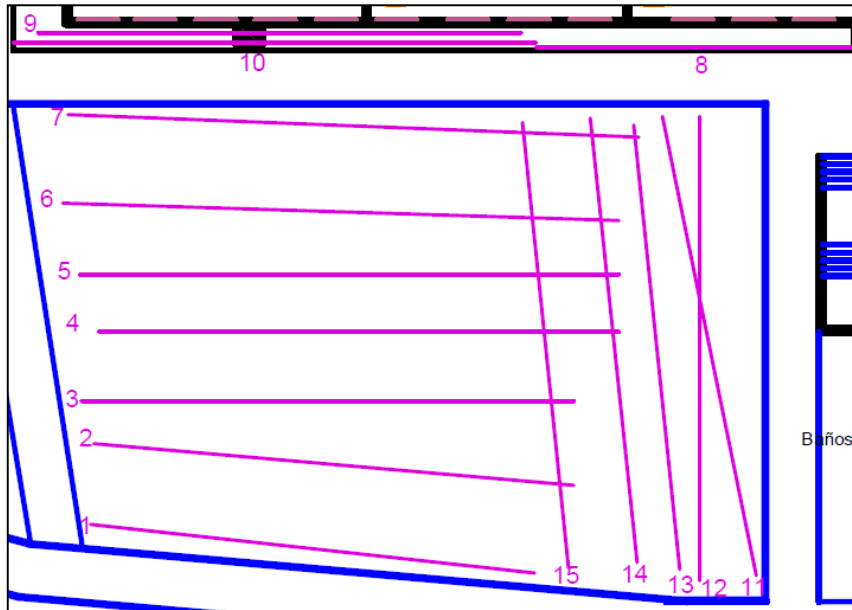


Figura 2.5 Puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial. Aplicación del método de las 4 Picas

Este suelo contaba con una resistividad de 41.91 ($\Omega \cdot m$) cuando el sistema de puesta a tierra fue instalado.

En el caso de la puesta a tierra de la Dirección, el terreno tiene una forma irregular y también está separado por un paso peatonal. La forma del terreno y la distribución de los perfiles medidos se muestran en la **Figura 2.6**.

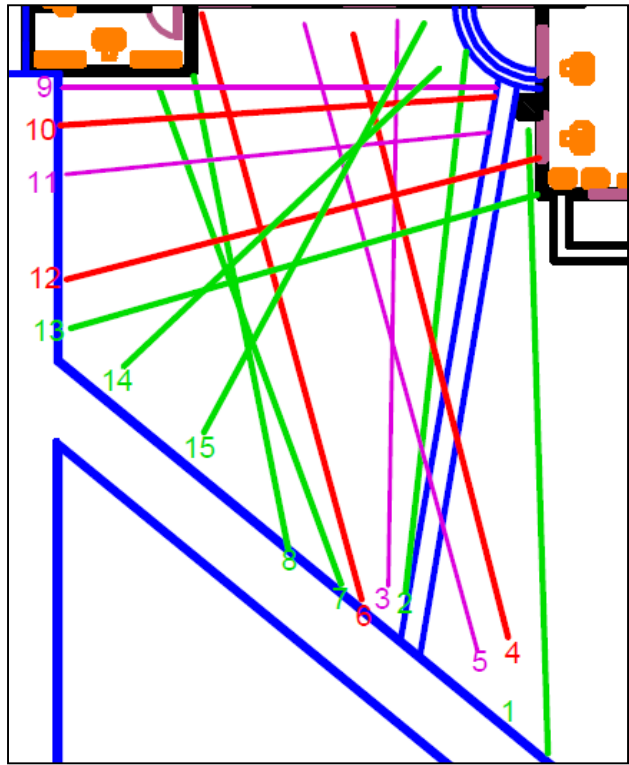


Figura 2.6 Puesta a tierra de la Dirección. Aplicación del método de las 4 Picas.

Para Esta puesta a tierra se marcaron los perfiles en donde se obtuvo la resistividad más alta con rojo y se marcó los perfiles con resistividad más baja con verde, para así encontrar las zonas de mejor resistividad en el terreno disponible en la dirección.

En caso de esta puesta a tierra además de los 15 perfiles medidos, se midieron 6 perfiles más en áreas en donde se encontró que el suelo tiene una resistividad más baja. Estas áreas, mostradas en la **Figura 2.7** fueron consideradas para plantear un rediseño y reubicación del sistema.

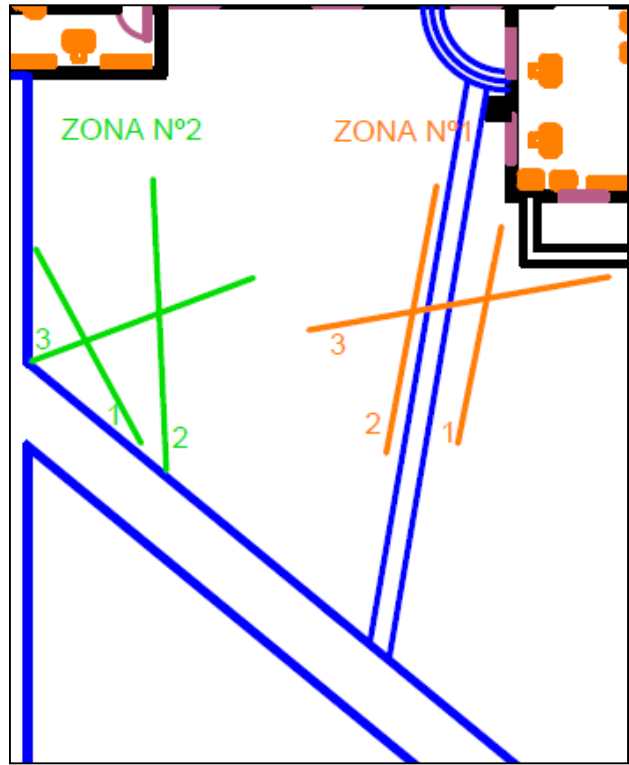


Figura 2.7 Puesta a tierra de la Dirección. Aplicación del método de las 4 Picas en zonas donde la resistividad es más baja.

Por otro lado, el sistema de puesta a tierra de las Aulas de la ESFOT posee un terreno con una forma regular como se muestra en la **Figura 2.8**, sin embargo, este se encuentra asfaltado completamente, por lo que, los perfiles se distribuyeron según la permitividad del suelo de clavar las picas.

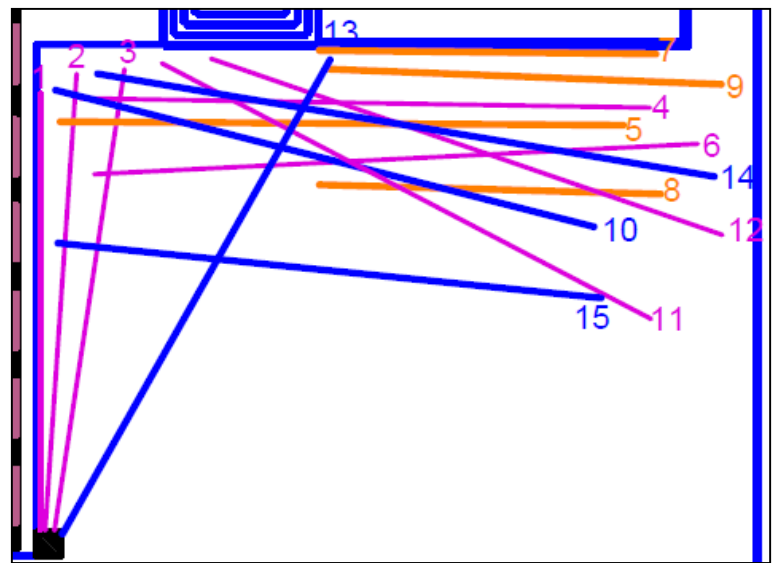


Figura 2.8 Puesta a tierra de las Aulas de la ESFOT. Aplicación del método de las 4 Picas.

Finalmente, El sistema de puesta a tierra de la Copiadora-ESFOT posee un terreno relativamente regular, sin embargo, posee obstáculos como árboles y raíces gruesas. La distribución de los perfiles se puede observar en la **Figura 2.9**.

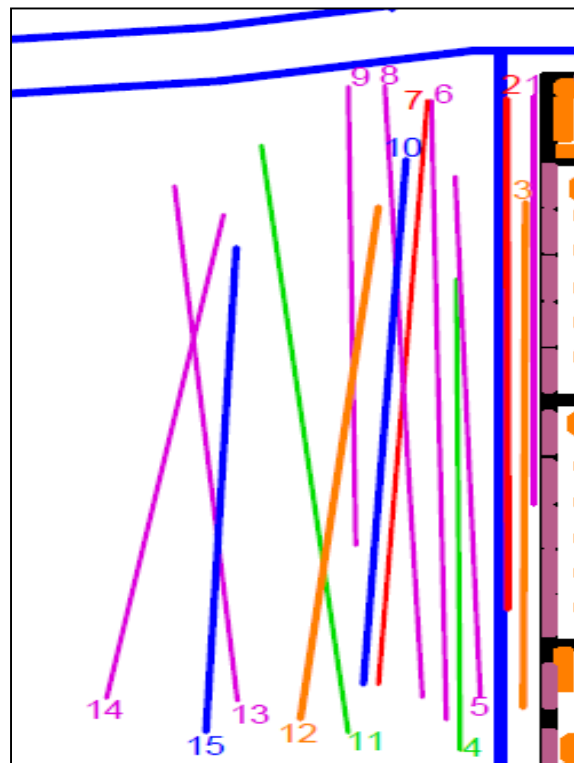


Figura 2.9 Puesta a tierra de la Copiadora. Aplicación del método de las 3 Picas

De los sistemas de puesta a tierra de la Dirección, Aulas de la ESFOT y Copiadora-ESFOT, no se conocen cuáles eran los valores de resistividad de cada uno de los terrenos al momento de la instalación de los sistemas.

2.4. Análisis de los requerimientos de las puestas a tierra.

Para analizar los requerimientos de las puestas a tierra se toman en cuenta varios factores: los datos obtenidos tras la aplicación del método del 61.8%, los datos obtenidos del método Wenner y los parámetros bajo los cuales fueron diseñados los sistemas

En el caso de los sistemas del Laboratorio de Tecnología Industrial, de la Dirección y de las Aulas de la 12 a la 20 los valores máximos de resistencia permitidos de las puestas a tierra instaladas son de 5 (Ω), ya que están diseñadas para la protección de equipos electrónicos sensibles. Por otra parte, en caso del sistema de puesta a tierra de la Copiadora, el valor de resistencia máximo permitido es de 25 (Ω), ya que, está diseñada para instalaciones de baja tensión. Los valores máximos de resistencia permitidos de cada sistema de puesta a tierra son tomados en referencia a la norma IEEE-80-2000.

En la **Tabla 2.1** Valores máximos de resistencia de puesta a tierra según su aplicación. pueden observarse los valores máximos de resistencia eléctrica de un sistema de puesta a tierra según su aplicación.

Tabla 2.1 Valores máximos de resistencia de puesta a tierra según su aplicación. [1]

APLICACIÓN	VALOR DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA MÁXIMA
Estructuras de líneas de transmisión	20
Subestaciones de alta y ultra alta tensión	1
Subestaciones de media tensión de uso exterior en poste	10
Subestaciones de media tensión de uso interior	10
Protección contra rayos	4
Neutro de acometida en baja tensión	25
Descargas eléctricas	25
Equipos electrónicos sensibles	5

También debe considerarse el área de los terrenos en donde están las puestas a tierra y los alrededores, ya que cercano a las puestas a tierra se encuentran áreas adoquinadas o asfaltadas, al igual que, zonas con árboles y con raíces gruesas.

Por último, se considera el tipo de electrodo que utiliza cada sistema de puesta a tierra. Tomando en cuenta todos estos parámetros se determina si el sistema debe ser rediseñado, reubicado o si el suelo necesita ser mejorado.

2.5. Plan de mantenimiento periódico del suelo.

Una vez que se culminó el estudio del suelo mediante el método Wenner y de que se encontró la resistencia eléctrica más aproximada de cada sistema aplicando el método del 61.8%, fue posible determinar con qué frecuencia los terrenos de los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT deben ser mejorados.

En la **Figura 1.1** se puede observar la variación de la resistencia eléctrica de un sistema de puesta a tierra que recibió tratamiento químico del suelo con respecto al tiempo, también se indica la variación de la resistencia eléctrica del mismo sistema con respecto al tiempo, cuando el suelo en donde se instaló la puesta a tierra no recibió tratamiento químico.

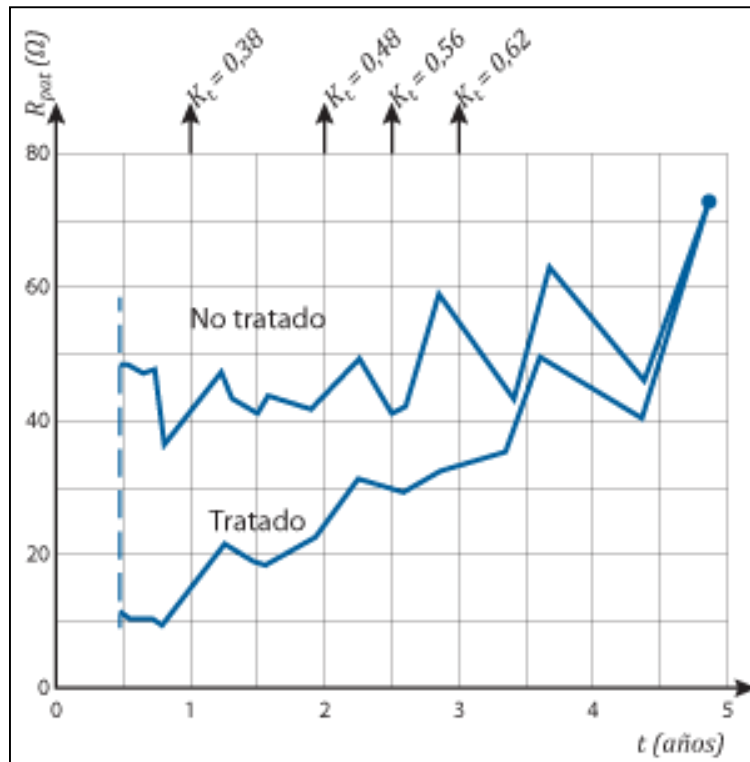


Figura 2.10 Variación de la resistencia eléctrica de un sistema de puesta a tierra VS tiempo. [6]

Además, en la **Figura 1.1** se evidencia como el tratamiento químico del suelo va perdiendo su efecto a medida que pasa el tiempo.

El fabricante THOR GEL de mejoradores de suelo indica cual es el tiempo de aplicación de componente químico que requiere el suelo de un sistema de puesta a tierra, suponiendo que la resistencia del sistema debe ser menor o igual a 5 (Ω). Esto se indica en la **Tabla 2.2** Tiempos de Reducción Electroquímica de THOR GEL

Tabla 2.2 Tiempos de Reducción Electroquímica de THOR GEL

Tiempo de Aplicación (meses)	Resistencia (Ω)	¿Cumple los requerimientos de equipos electrónicos?
3	4,00	Si
8	4,48	Si
16	4,00	Si
20	4,36	Si
34	4,49	Si
40	4,10	Si
52	5,93	No

También, THOR GEL indica las dosis de compuesto químico por metro cubico que se le debe aportar a una fosa en donde está ubicado un sistema de puesta a tierra para que la resistividad del terreno disminuya. Esto se muestra en la **Tabla 2.3**.

Tabla 2.3 Dosificación de mejorador de suelo de THOR GEL

Resistividad(Ω *m)	Dosis de THOR GEL -m ³
50-200	1
200-500	2
500-1500	3
1500 a más	Diseño de malla

A los terrenos de sistemas del Laboratorio de Tecnología Industrial, Dirección y Aulas de la ESFOT de la 12 a la 20, se les realizó un tratamiento químico del suelo al momento de su instalación, hace aproximadamente 3 y 2 años respectivamente. Dado que a estos sistemas no se les ha dado un tratamiento periódico del suelo adecuado la resistividad de los terrenos, así como la resistencia de los sistemas ha incrementado.

Al suelo del sistema de puesta a tierra de la Copiadora-ESFOT no se le realizó un tratamiento químico del suelo al momento de su instalación.

Finalmente, se elabora el plan de mantenimiento preventivo y se lo puede observar específicamente en la sección de resultados.

2.6. Plan de mantenimiento para los sistemas de puesta a tierra.

El plan de mantenimiento se creó considerando los valores de resistencia eléctrica real más aproximada de cada sistema y el incremento de esta a través el tiempo. Además del de la aplicación del método del 61.8% se deben realizar inspecciones de tipo visual y revisar las uniones del sistema.

Por otro lado, para que el plan de mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT se realice de manera correcta se toma en cuenta que; el tamaño del sistema, el tipo de electrodo utilizado en cada sistema y la función del sistema. Entonces se tiene que:

- El sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial tiene un tamaño pequeño, ya que consta de un solo electrodo, utiliza un electrodo activo y su función es proteger equipos electrónicos sensibles.

- El sistema de puesta a tierra de la Dirección ESFOT consta de un solo electrodo, es decir, es un sistema pequeño, emplea un electrodo activo y su función es proteger equipos electrónicos sensible y centros de cómputo.
- El sistema de puesta a tierra de las Aulas 12 a la 20 de la ESFOT tiene un tamaño pequeño, porque, consta de un solo electrodo, el tipo de electrodo utilizado es activo y su función es la protección de equipos electrónicos sensibles.
- El sistema de puesta a tierra de la Copiadora de la ESFOT es pequeño, consta de un solo electrodo, el electrodo utilizado es tipo varilla y su función es proteger instalaciones de baja tensión.

Todos los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT deben contar con los siguientes puntos en su plan de mantenimiento:

- Inspección visual de los elementos accesibles del sistema. Las inspecciones visuales son un método no destructivo y poco invasivo que se aplicó sobre los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT. El método consta en observar detenidamente los elementos visibles del sistema con el fin de encontrar desperfectos.
- Exámenes y pruebas del sistema. Para los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT los exámenes y pruebas aplicados son: el método Wenner y el método del 61.8%.

3 RESULTADOS

En la sección actual se muestran los resultados obtenidos al aplicar la metodología mencionada anteriormente.

Se muestran tabulados los datos obtenidos durante el trabajo de medición y se explica el tratamiento que se les dio a estos. También se muestran los resultados del análisis que se realizó para cada sistema de puesta a tierra y finalmente los planes de mantenimiento preventivo, correctivo y mejoramiento del suelo.

3.1. Medición de la resistencia de la puesta a tierra instalada

Esta sección indica los datos obtenidos al aplicar el método del 61.8% en cada sistema de puesta a tierra y los pasos para aplicar el método estadístico en estos datos.

Para empezar, se tabularon los valores de resistencia de la puesta a tierra instalada para cada uno de los sistemas de puesta a tierra.

En la **Tabla 3.1** se observa la tabulación de los datos obtenidos al aplicar el método del 61.8% en el sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial.

Tabla 3.1 Resultados método del 61.8% para la puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial.

N.º	Distancia del perfil (m)	Resistencia medida (Ω)
1	18,2	3,9
2	15,8	2,4
2	15,5	1,5
4	15,96	1,11
5	16,7	4,4
6	16,4	0,73
7	13,7	1,3
8	11,43	2,4
9	14,2	2,07
10	15,6	2,18
11	10,06	3,5
12	9	1,43
13	7,7	6,3
14	15,6	3,6
15	15,5	4,2

En la **Tabla 3.2** se observa la tabulación de los datos obtenidos al aplicar el método del 61.8% en el sistema de puesta a tierra de la Dirección de la ESFOT.

Tabla 3.2 Resultados método del 61.8% para la puesta a tierra de la Dirección.

N.º	Distancia del perfil (m)	Resistencia medida (Ω)
1	12,56	5,5
2	14,8	5,7
2	15	5,6
4	14,8	5,2

5	14,72	5,4
6	14,4	5,7
7	14,07	5,7
8	14,8	5,4
9	15	5,3
10	15,34	5,3
11	15,5	5,2
12	15,84	5,2
13	15,9	5,1
14	13,25	4,8
15	10,4	4,8

En la **Tabla 3.3** se observa la tabulación de los datos obtenidos al aplicar el método del 61.8% en el sistema de puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20 de la ESFOT.

Tabla 3.3 Resultados método del 61.8% para la puesta a tierra de las Aulas de la ESFOT de la 12 a la 20.

N.º	Distancia del perfil (m)	Resistencia medida (Ω)
1	12,1	1,39
2	12,53	2,6
2	12,3	1,75
4	11,4	1,41
5	13,02	1,6
6	11,47	3,7
7	10,3	3,9
8	15,93	5
9	18,83	4
10	9,6	2,6
11	14,83	1,1
12	12,68	2,5
13	13,38	2,6
14	14,7	3,5
15	16,03	3,3

En la **Tabla 3.4** se observa la tabulación de los datos obtenidos al aplicar el método del 61.8% en el sistema de puesta a tierra de la Copiadora de la ESFOT.

Tabla 3.4 Resultados método del 61.8% para la puesta a tierra de la Copiadora

N.º	Distancia del perfil (m)	Resistencia medida (Ω)
1	15,14	24
2	16,48	24
3	16,55	24
4	16,3	24
5	16,44	24
6	15,37	24
7	15,95	24
8	15,67	24
9	15,9	24
10	16,05	24
11	15,76	24
12	15,72	24
13	15,07	24
14	15	24
15	15,84	24

A continuación, se realiza un análisis estadístico de todos los datos obtenidos de los sistemas de puesta a tierra antes mencionados.

Para aplicar el método estadístico en Excel, luego de tabular los datos obtenidos se deben seguir los pasos que se exponen a continuación:

- Los valores de resistencia obtenidos inicialmente (R_i) deben ser organizados de mayor a menor.
- Luego se debe calcular los logaritmos naturales (X_L) de cada uno de los valores con la **Ecuación 1.1**.

$$X_L = \ln(R_i)$$

Ecuación 3.1 Logaritmo natural de la resistencia medida. [1]

- Posteriormente se obtiene el promedio de todos los valores de (X_L), para eso se utiliza la

$$X_{L \text{ promedio}} = \frac{\sum X_L}{n}$$

Ecuación 3.2 Promedio de los valores de X_L . [1]

En donde:

X_L : Es la resistencia eléctrica medida.

n : es el número de datos de X_L .

- Después se eleva los valores de (X_L) al cuadrado para de este modo calcular la desviación estándar (S) con la **Ecuación 3.3**.

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

Ecuación 3.3 Desviación estándar. [1]

En donde:

$\sum(X_L^2)$: es la sumatoria de los valores de (X_L) al cuadrado.

$\sum X_L$: Es la sumatoria de los valores de (X_L)

n : es el número de datos de X_L .

- Luego se obtiene el valor de Z aplicando la **Ecuación 3.4**.

$$Z = \frac{X_L - X_{L \text{ promedio}}}{S}$$

Ecuación 3.4 Cálculo de la variable Z . [1]

- Por último, se emplea la distribución normal, utilizando los valores de Z , los cuales simbolizan un porcentaje de probabilidad. Este porcentaje indica que posibilidad de encontrar un punto donde la resistencia eléctrica sea igual a un valor de referencia.

En la **Tabla 3.5** se observan los valores encontrados de X_L , el valor de Z y la distribución normal, al aplicar el método estadístico en los datos de resistencia obtenidos en el sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial.

Tabla 3.5 Aplicación del método estadístico sobre los datos de resistencia de la puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial

N.º	Ri (Ω)	XL= ln(Ri)	XL ²	$Z = \frac{XL - XL_{prom}}{S}$	P=F(z)*100%
13	6,3	1,84	3,39	1,65	95,05
5	4,4	1,48	2,20	1,05	85,31
15	4,2	1,44	2,06	0,98	83,65
1	3,9	1,36	1,85	0,85	80,23
14	3,6	1,28	1,64	0,72	76,42
11	3,5	1,25	1,57	0,67	74,86
2	2,4	0,88	0,77	0,05	51,99
8	2,4	0,88	0,77	0,05	51,99
10	2,18	0,78	0,61	-0,11	45,64
9	2,07	0,73	0,53	-0,20	42,07
3	1,5	0,41	0,16	-0,74	22,96
12	1,43	0,36	0,13	-0,82	20,61
7	1,3	0,26	0,07	-0,98	16,35
4	1,11	0,10	0,01	-1,24	10,75
6	0,73	-0,31	0,10	-1,94	2,62
Sumatoria		12,72	15,85		
Promedio		0,85	1,06		
S		0,60			

En la **Tabla 3.6** se observan los valores encontrados de X_L , el valor de Z y la distribución normal, al aplicar el método estadístico en los datos de resistencia obtenidos en el sistema de puesta a tierra de la Dirección de la ESFOT.

Tabla 3.6 Aplicación del método estadístico sobre los datos de resistencia de la puesta a tierra de la Dirección

N.º	Ri (Ω)	XL= ln(Ri)	XL ²	$Z = \frac{XL - XL_{prom}}{S}$	P=F(z)*100%
2	5,7	1,74	3,03	1,25	89,44
6	5,7	1,74	3,03	1,25	89,44
7	5,7	1,74	3,03	1,25	89,44
3	5,6	1,72	2,97	0,93	82,38
1	5,5	1,70	2,91	0,60	72,57

5	5,4	1,69	2,84	0,27	60,64
8	5,4	1,69	2,84	0,27	60,64
9	5,3	1,67	2,78	-0,06	47,61
10	5,3	1,67	2,78	-0,06	47,61
4	5,2	1,65	2,72	-0,41	35,09
11	5,2	1,65	2,72	-0,41	35,09
12	5,2	1,65	2,72	-0,41	35,09
13	5,1	1,63	2,65	-0,76	22,36
14	4,8	1,57	2,46	-1,85	3,22
15	4,8	1,57	2,46	-1,85	3,22
Sumatoria		25,07	41,94		
Promedio		1,67	2,80		
S		0,06			

En la **Tabla 3.7** se observan los valores encontrados de X_L , el valor de Z y la distribución normal, al aplicar el método estadístico en los datos de resistencia obtenidos en el sistema de puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20 de la ESFOT.

Tabla 3.7 Aplicación del método estadístico sobre los datos de resistencia de la puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20

N.º	Ri (Ω)	$X_L = \ln(R_i)$	X_L^2	$Z = \frac{X_L - X_{Lprom}}{S}$	$P = F(z) * 100\%$
8	5	1,61	2,59	1,53	93,7
9	4	1,39	1,92	1,04	85,08
7	3,9	1,36	1,85	0,98	83,65
6	3,7	1,31	1,71	0,87	80,78
14	3,5	1,25	1,57	0,74	77,04
15	3,3	1,19	1,43	0,62	73,24
2	2,6	0,96	0,91	0,09	53,59
10	2,6	0,96	0,91	0,09	53,59
13	2,6	0,96	0,91	0,09	53,59
12	2,5	0,92	0,84	0,01	50,4
3	1,75	0,56	0,31	-0,77	22,06
5	1,6	0,47	0,22	-0,97	16,6
4	1,41	0,34	0,12	-1,25	10,56
1	1,39	0,33	0,11	-1,28	10,11

11	1,1	0,10	0,01	-1,79	3,67
Sumatoria		13,69	15,42		
Promedio		0,91	1,03		
S		0,46			

A continuación, para encontrar el valor de resistencia eléctrica de la puesta a tierra más aproximado al valor real se debe considerar un valor de Z al 70% de probabilidad. Para esto se debe interpolar los valores de Z y P para encontrar Z cuando P es 70. Este paso se puede realizar de manera simplificada en Excel con la **Ecuación 3.5**.

$$Z \text{ al } 70\% = \text{PRONOSTICO}(70; G27:G41; H27:H41)$$

Ecuación 3.5 Pronóstico

En donde:

$$G27:G41 = Z$$

$$H27:H41 = P$$

Luego se obtiene que el valor del logaritmo natural de la resistencia real aproximada (R), el cual, está en función de Z al 70%, el promedio de X_L y la desviación estándar, como muestra la **Ecuación 3.6**.

$$\ln(R) = S * Z(\text{al } 70\%) + X_{L\text{promedio}}$$

Ecuación 3.6 Logaritmo natural de la resistencia

Entonces con la **Ecuación 3.7** aplicada en Excel, se puede encontrar la resistencia real aproximada.

$$= \text{EXP}(K28)$$

Ecuación 3.7 Exponencial

En donde:

$$K28 = \ln(R)$$

En la **Tabla 3.8** se observan los valores obtenidos de Z al 70% de probabilidad, el logaritmo natural de la resistencia más aproximada a la real del sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial. Finalmente, se muestran el valor de la resistencia instalada del sistema.

Tabla 3.8 Resultados de la resistencia más aproximada. Puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial

Z al 70%	Ln(R)	R(Ω)
0,62	1,22	3,39

En la **Tabla 3.9** se observan los valores obtenidos de Z al 70% de probabilidad, el logaritmo natural de la resistencia más aproximada a la real del sistema de puesta a tierra de la Dirección. Finalmente, se muestran el valor de la resistencia instalada del sistema.

Tabla 3.9 Resultados de la resistencia más aproximada. Puesta a tierra de la Dirección

Z al 70%	Ln(R)	R(Ω)
0,62	1,71	5,5

En la **Tabla 3.10** se observan los valores obtenidos de Z al 70% de probabilidad, el logaritmo natural de la resistencia más aproximada a la real del sistema de puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20 de la ESFOT. Finalmente, se muestran el valor de la resistencia instalada del sistema.

Tabla 3.10 Resultados de la resistencia más aproximada. Puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20

Z al 70%	Ln(R)	R(Ω)
0,597	1,19	3.27

Por otro lado, ya que todos los datos encontrados de resistencia eléctrica de la Copiadora-ESFOT son iguales a 24 (Ω) en todos los casos, por lo tanto, no es necesario aplicar el método estadístico en este sistema.

3.2. Medición de la resistividad del suelo

Esta sección muestra los datos obtenidos al aplicar al método Wenner en cada uno de los sistemas de puesta a tierra y posteriormente aplicar el método estadístico para determinar la resistividad real más aproximada de los terrenos, así como los tipos de suelos que posee cada sistema.

En este caso, antes de realizar el método estadístico con los datos obtenidos de resistencia eléctrica del suelo, se aplicó la **Ecuación 1.2** para encontrar la resistividad cada uno de los

perfiles tomados y con dichos valores de resistividad obtenidos se realizó el método estadístico.

$$\rho_a = 2\pi aR$$

Ecuación 1.1 Cálculo de la resistividad del suelo.

En donde:

ρ_a : resistividad aparente.

a : distancia entre electrodos contiguos.

R : resistencia medida por el Telurómetro.

La **Ecuación 1.1** puede aplicarse, ya que para todos los casos se cumple que:

$$b \ll \frac{a}{10}$$

El valor de b se considera la profundidad a la cual se entierran los electrodos del Telurómetro. Para el caso del Telurómetro disponible en la ESFOT esta profundidad es de 20 cm.

En la **Tabla 3.11** Resultados del método Wenner para la puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial. se pueden observar los valores de resistencia eléctrica obtenidos con el Telurómetro en el sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial, además observan los valores de resistividad obtenidos al aplicar la **Ecuación 1.1** y el tipo de suelo al que corresponde el valor de resistividad encontrado.

Tabla 3.11 Resultados del método Wenner para la puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial.

N.º	Resistencia [Ω]	Distancia del perfil [m]	a [m]	a/10	Resistividad [Ωm]	Tipo de suelo
1	1,06	17,08	5,69	0,57	37,92	Lama, Humus, Limo
2	1,05	18,4	6,13	0,61	40,46	Lama, Humus, Limo
3	1,04	18,8	6,27	0,63	40,95	Lama, Humus, Limo
4	1,06	19,88	6,63	0,66	44,13	Lama, Humus, Limo
5	1,2	20,6	6,87	0,69	51,77	Lama, Humus, Limo
6	1,05	21,2	7,07	0,71	46,62	Lama, Humus, Limo
7	1	21,85	7,28	0,73	45,76	Lama, Humus, Limo
8	1,69	12,13	4,04	0,40	42,93	Lama, Humus, Limo

9	1,16	18,93	6,31	0,63	45,99	Lama, Humus, Limo
10	1,03	19,95	6,65	0,67	43,04	Lama, Humus, Limo
11	1,79	18,51	6,17	0,62	69,39	Lama, Humus, Limo
12	1,11	17,8	5,93	0,59	41,38	Lama, Humus, Limo
13	1,03	17,6	5,87	0,59	37,97	Lama, Humus, Limo
14	1,07	18,12	6,04	0,60	40,61	Lama, Humus, Limo
15	0,99	17,97	5,99	0,60	37,26	Lama, Humus, Limo

En la **Tabla 3.12** Resultados del método Wenner para la puesta a tierra de la Dirección se pueden observar los valores de resistencia eléctrica obtenidos con el Telurómetro en el sistema de puesta a tierra de la Dirección de la ESFOT, además observan los valores de resistividad obtenidos al aplicar la **Ecuación 1.1** y el tipo de suelo al que corresponde el valor de resistividad encontrado.

Tabla 3.12 Resultados del método Wenner para la puesta a tierra de la Dirección

N.º	Resistencia [Ω]	Distancia del perfil [m]	a	a/10	Resistividad [Ωm]	Tipo de suelo
1	1,46	20,32	6,77	0,68	62,13	Lama, Humus, Limo
2	1,75	17,64	5,88	0,59	64,65	Lama, Humus, Limo
3	1,72	18,39	6,13	0,61	66,25	Lama, Humus, Limo
4	1,75	20,27	6,76	0,68	74,29	Lama, Humus, Limo
5	1,52	21,2	7,07	0,71	67,49	Lama, Humus, Limo
6	1,75	19,74	6,58	0,66	72,35	Lama, Humus, Limo
7	1,54	17,25	5,75	0,58	55,64	Lama, Humus, Limo
8	1,55	15,65	5,22	0,52	50,80	Lama, Humus, Limo
9	2,3	14,05	4,68	0,47	67,68	Lama, Humus, Limo
10	3,5	14,1	4,70	0,47	103,36	Humus, Arcilla
11	2,4	13,8	4,60	0,46	69,37	Lama, Humus, Limo
12	2,14	15,8	5,27	0,53	70,82	Lama, Humus, Limo
13	1,43	15,75	5,25	0,53	47,17	Lama, Humus, Limo
14	2,15	14,16	4,72	0,47	63,76	Lama, Humus, Limo
15	1,89	15,1	5,03	0,50	59,77	Lama, Humus, Limo

Los perfiles marcados con color rojo son los de resistividad más alta y los marcados con verde poseen una resistividad más baja.

En la **Tabla 3.13** Resultados del método Wenner para la puesta a tierra de la zona 1 de la Dirección. se pueden observar los valores de resistividad del suelo obtenidos en la zona 1 de resistividad más baja de la Dirección de la ESFOT.

Tabla 3.13 Resultados del método Wenner para la puesta a tierra de la zona 1 de la Dirección.

N.º	Resistencia [Ω]	Distancia del perfil [m]	a	a/10	Resistividad [Ωm]	Tipo de suelo
3	2,3	9,9	3,30	0,33	47,69	Lama, Humus, Limo
1	2,9	7,21	2,40	0,24	43,79	Lama, Humus, Limo
2	2,2	8,8	2,93	0,29	40,55	Lama, Humus, Limo

En la **Tabla 3.14** Resultados del método Wenner para la puesta a tierra de la zona 2 de la Dirección. se pueden observar los valores de resistividad del suelo obtenidos en la zona 2 de resistividad más baja de la Dirección de la ESFOT.

Tabla 3.14 Resultados del método Wenner para la puesta a tierra de la zona 2 de la Dirección.

N.º	Resistencia [Ω]	Distancia del perfil [m]	a	a/10	Resistividad [Ωm]	Tipo de suelo
3	2,8	7,7	2,57	0,26	45,16	Lama, Humus, Limo
2	2,1	9,48	3,16	0,32	41,70	Lama, Humus, Limo
1	1,76	7,21	2,40	0,24	26,58	Lama, Humus, Limo

En la **Tabla 3.15** Resultados del método Wenner para la puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20 se pueden observar los valores de resistencia eléctrica obtenidos con el Telurómetro en el sistema de puesta a tierra de las Aulas de la ESFOT de la 12 a la 20, además observan los valores de resistividad obtenidos y el tipo de suelo al que corresponde el valor de resistividad encontrado

Tabla 3.15 Resultados del método Wenner para la puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20

N.º	Resistencia [Ω]	Distancia del perfil [m]	a [m]	a/10	Resistividad [Ωm]	Tipo de suelo
1	0,89	12,4	4,13	0,41	23,11	Lama, Humus, Limo
2	0,98	13	4,33	0,43	26,68	Lama, Humus, Limo

3	1,04	13,26	4,42	0,44	28,88	Lama, Humus, Limo
4	0,87	16,22	5,41	0,54	29,55	Lama, Humus, Limo
5	1,16	16,02	5,34	0,53	38,92	Lama, Humus, Limo
6	0,69	17,22	5,74	0,57	24,89	Lama, Humus, Limo
7	1,02	9,56	3,19	0,32	20,42	Lama, Humus, Limo
8	3,6	9,7	3,23	0,32	73,14	Lama, Humus, Limo
9	1,19	11,14	3,71	0,37	27,76	Lama, Humus, Limo
10	1,73	15,81	5,27	0,53	57,28	Lama, Humus, Limo
11	1,08	15,7	5,23	0,52	35,51	Lama, Humus, Limo
12	1,1	15,35	5,12	0,51	35,36	Lama, Humus, Limo
13	1,49	15,48	5,16	0,52	48,31	Lama, Humus, Limo
14	2,47	17,8	5,93	0,59	92,08	Lama, Humus, Limo, Arcilla
15	2,14	15,53	5,18	0,52	69,61	Lama, Humus, Limo

En la **Tabla 3.16** Resultados método Wenner para la puesta a tierra de la Copiadora se pueden observar los valores de resistencia eléctrica obtenidos con el Telurómetro en el sistema de puesta a tierra de la Copiadora de la ESFOT, además observan los valores de resistividad obtenidos y el tipo de suelo al que corresponde el valor de resistividad encontrado

Tabla 3.16 Resultados método Wenner para la puesta a tierra de la Copiadora

N.º	Resistencia [Ω]	Distancia del perfil [m]	a	a/10	Resistividad [Ωm]	Tipo de suelo
1	1,02	15,66	5,22	0,52	33,45	Lama, Humus, Limo
2	1,13	19,61	6,54	0,65	46,41	Lama, Humus, Limo
3	1,14	19,43	6,48	0,65	46,39	Lama, Humus, Limo
4	1,38	18,17	6,06	0,61	52,52	Lama, Humus, Limo
5	4,6	20,28	6,76	0,68	195,38	Arcilla, Tierra de jardín
6	2,6	23,83	7,94	0,79	129,76	Arcilla, Humus
7	1,93	22,50	7,50	0,75	90,95	Lama, Limo, Arcilla, Humus
8	2,8	23,63	7,88	0,79	138,57	Humus, Limo, Arcilla
9	2,2	17,75	5,92	0,59	81,79	Lama, Humus, Limo, Arcilla
10	3,2	20,20	6,73	0,67	135,38	Humus, Arcilla
11	12,5	22,70	7,57	0,76	594,28	Caliza Fisurada
12	9,2	19,81	6,60	0,66	381,71	Tierra de jardín

13	2,5	19,87	6,62	0,66	104,04	Humus, Arcilla
14	3,6	18,85	6,28	0,63	142,13	Humus, Arcilla, Tierra de jardín
15	3,8	18,66	6,22	0,62	148,51	Humus, Arcilla, Tierra de jardín

Una vez obtenidos los datos de resistividad para cada uno de los terrenos en donde están los sistemas de puesta a tierra, se aplica el método estadístico expuesto en la sección anterior, sobre estos.

En la **Tabla 3.17.** se puede visualizar la aplicación del método estadístico aplicado al sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial.

Tabla 3.17 Método estadístico para encontrar la resistividad del suelo del Laboratorio de Tecnología Industrial

N.º	Resistividad ρ [Ωm]	$X=\ln(\rho)$	XL^2	$Z=X-X_{\text{prom}}/S$	$P=F(z)*100\%$
11	69,39	4,24	3,03	2,96	99,85
5	51,77	3,95	3,03	1,07	85,77
6	46,62	3,84	3,03	0,39	65,17
9	45,99	3,83	2,97	0,30	61,79
7	45,76	3,82	2,91	0,27	60,64
4	44,13	3,79	2,84	0,04	51,6
10	43,04	3,76	2,84	-0,12	45,22
8	42,93	3,76	2,78	-0,14	44,43
12	41,38	3,72	2,78	-0,38	35,2
3	40,95	3,71	2,72	-0,45	32,64
14	40,61	3,70	2,72	-0,50	30,85
2	40,46	3,70	2,72	-0,52	30,15
13	37,97	3,64	2,65	-0,93	17,62
1	37,92	3,64	2,46	-0,94	17,36
15	37,26	3,62	2,46	-1,05	14,61
Sumatoria		56,72	214,81		
Promedio		3,78	14,32		
S		0,15			

En la **Tabla 3.18** se puede visualizar la aplicación del método estadístico aplicado al sistema de puesta a tierra de la Dirección de la ESFOT.

Tabla 3.18 Método estadístico para encontrar la resistividad del suelo de la Dirección.

N.º	Resistividad ρ [Ω m]	$X=\ln(\rho)$	XL^2	$Z=X-X_{prom}/S$	$P=F(z)*100\%$
10	103,36	4,64	3,03	2,54	99,45
4	74,29	4,31	3,03	0,71	76,11
6	72,35	4,28	3,03	0,57	71,57
12	70,82	4,26	2,97	0,45	67,36
11	69,37	4,24	2,91	0,33	62,93
9	67,68	4,21	2,84	0,20	57,93
5	67,49	4,21	2,84	0,18	57,17
3	66,25	4,19	2,78	0,08	53,19
2	64,65	4,17	2,78	-0,06	47,61
14	63,76	4,16	2,72	-0,13	44,83
1	62,13	4,13	2,72	-0,28	38,97
15	59,77	4,09	2,72	-0,49	31,21
7	55,64	4,02	2,65	-0,89	18,67
8	50,80	3,93	2,46	-1,39	8,23
13	47,17	3,85	2,46	-1,80	3,59
Sumatoria		62,69	201,07		
Promedio		4,18	13,40		
S		0,18			

En la , para encontrar la resistividad más aproximada del terreno.

Tabla 3.19, se puede visualizar la aplicación del método estadístico implementado en el sistema de puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20 de la ESFOT, para encontrar la resistividad más aproximada del terreno.

Tabla 3.19 Método estadístico para encontrar la resistividad del suelo de las Aulas de la 12 a la 20

N.º	Resistividad ρ [Ω m]	$X=\ln(\rho)$	XL^2	$Z=X-X_{prom}/S$	$P=F(z)*100\%$
14	92,08	4,52	20,45	1,92	97,26

8	73,14	4,29	18,42	1,43	92,36
15	69,61	4,24	18,00	1,32	90,56
10	57,28	4,05	16,39	0,90	81,59
13	48,31	3,88	15,04	0,53	70,19
5	38,92	3,66	13,41	0,06	52,39
11	35,51	3,57	12,74	-0,14	44,43
12	35,36	3,57	12,71	-0,15	44,09
4	29,55	3,39	11,47	-0,54	29,46
3	28,88	3,36	11,31	-0,59	27,76
9	27,76	3,32	11,05	-0,67	25,14
2	26,68	3,28	10,78	-0,76	22,46
6	24,89	3,21	10,33	-0,91	18,14
1	23,11	3,14	9,86	-1,07	14,23
7	20,42	3,02	9,10	-1,34	9,01
Sumatoria		54,51	201,07		
Promedio		3,63	13,40		
S		0,46			

En la **Tabla 3.20** se puede visualizar la aplicación del método estadístico implementado para encontrar la resistividad del suelo del sistema de puesta a tierra de la Copiadora de la ESFOT.

Tabla 3.20 Método estadístico para encontrar la resistividad del suelo de la Copiadora

N.º	Resistividad ρ [Ωm]	$X=\ln(\rho)$	X^2	$Z=X-X_{\text{prom}}/S$	$P=F(z)*100\%$
11	594,28	6,39	40,80	16,83	98,3
12	381,71	5,94	35,34	13,97	93,94
5	195,38	5,27	27,83	9,64	75,49
15	148,51	5,00	25,01	7,87	63,31
14	142,13	4,96	24,57	7,59	61,41
8	138,57	4,93	24,32	7,43	60,26
10	135,38	4,91	24,09	7,28	59,1
6	129,76	4,87	23,68	7,00	57,14
13	104,04	4,64	21,57	5,58	45,64

7	90,95	4,51	20,34	4,71	38,97
9	81,79	4,40	19,40	4,02	33,72
4	52,52	3,96	15,69	1,16	16,35
2	46,41	3,84	14,73	0,36	12,74
3	46,39	3,84	14,72	0,36	12,71
1	33,45	3,51	12,32	-1,75	5,95
Sumatoria		70,97	344,40		
Promedio		4,73	22,96		
S		0,78			

En la **Tabla 3.21** se puede observar el valor de Z al 70% de probabilidad, el logaritmo natural de la resistividad más aproximada, y la resistividad más aproximada del terreno del sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial.

Tabla 3.21 Resultados de la resistividad más aproximada. Terreno del Laboratorio de Tecnología Industrial.

Z al 70%	Ln(R)	$\rho(\Omega m)$
0,90	3,32	50,46

En la **Tabla 3.22** se puede observar el valor de Z al 70% de probabilidad, el logaritmo natural de la resistividad más aproximada, y la resistividad más aproximada del terreno del sistema de puesta a tierra de la Dirección de la ESFOT.

Tabla 3.22 Resultados de la resistividad más aproximada. Terreno de la Dirección

Z al 70%	Ln(R)	$\rho(\Omega m)$
0,77	4,32	75,06

En la **Tabla 3.23** se puede observar el valor de Z al 70% de probabilidad, el logaritmo natural de la resistividad más aproximada, y la resistividad más aproximada del terreno del sistema de puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20 de la ESFOT.

Tabla 3.23 Resultados de la resistividad más aproximada. Terreno de las Aulas de la 12 a la 20

Z al 70%	Ln(R)	$\rho(\Omega m)$
0,71	3,96	52,53

En la **Tabla 3.24** se puede observar el valor de Z al 70% de probabilidad, el logaritmo natural de la resistividad más aproximada, y la resistividad más aproximada del terreno del sistema de puesta a tierra de la Copiadora de la ESFOT.

Tabla 3.24 Resultados de la resistividad más aproximada. Terreno de la Copiadora

Z al 70%	Ln(R)	$\rho(\Omega m)$
0,72	5,29	198,80

3.3. Análisis de los requerimientos de la puesta a tierra

Con base en los resultados obtenidos de resistividad de los terrenos, resistencia de los sistemas de puesta a tierra, los datos de diseño de los sistemas tomados de proyectos de titulación anteriores y la norma IEEE-80-2000 se pudo determinar que

- El sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial requiere un tratamiento en su suelo ya que el valor de resistencia del sistema ha aumentado aproximadamente 1.54 (Ω) a lo largo de 2 años; al igual la resistividad del suelo incrementó aproximadamente 8,55 (Ωm). Por otro lado, el valor de resistencia del sistema obtenido se encuentra dentro de los establecido por la norma IEEE-80-2000, es decir, la resistencia del sistema es menor a 5(Ω), por lo cual, este sistema de puesta a tierra únicamente requiere de un mantenimiento preventivo.
- En el caso del sistema de puesta a tierra de la Dirección de la ESFOT la resistencia del sistema incrementó aproximadamente 1.02(Ω) a lo largo de 2 años 6 meses. Esto provoca que la resistencia del sistema supere el valor máximo permitido de 5(Ω), por lo que se requiere un plan de mantenimiento preventivo y correctivo de este sistema, en donde se incluye el rediseño de la puesta a tierra en las zonas en donde se determinó que el terreno posee una resistividad menor.
- Para el sistema de puesta a tierra de las Aulas de la EFFOT de la 12 a la 20 se determinó que la resistencia incrementó aproximadamente 1.31(Ω); pero la resistencia del sistema todavía se mantiene menor a los 5(Ω), por lo tanto, el sistema requiere un mantenimiento preventivo. Por otro lado, este sistema de puesta a tierra está rodeado por una zona asfaltada, lo cual impide aplicar el método de las trincheras para mejorar el suelo. Para realizar el mejoramiento del suelo es necesario colocar fluido electrolítico directamente sobre la fosa en donde está la puesta a tierra. Esto se muestra en la **Figura 3.1**.



Figura 3.1 Mejoramiento del suelo en la fosa de la puesta a tierra. [7]

- En el caso del sistema de puesta a tierra de la Copiadora de la ESFOT se obtuvo una resistencia del sistema de 24 (Ω), por lo tanto, el sistema cumple con la norma IEEE-80-2000, ya que, este está diseñado para instalaciones de baja tensión. Sin embargo, es necesario realizar un mantenimiento preventivo, ya que, el valor de la resistencia del sistema se encuentra muy cercano al valor máximo indicado por la norma.

3.4. Plan de mejoramiento periódico del suelo.

Para el plan de mejoramiento periódico del suelo se tomó como referencia el fabricante FM Electrodo debido a las siguientes razones; es ampliamente utilizado en el Distrito Metropolitano de Quito, el sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial utiliza esta marca y el fabricante proporciona herramientas que permiten seleccionar que productos se deben aplicar según las necesidades del sistema de puesta a tierra

La herramienta proporcionada por el fabricante FM Electrodo, permite conocer la cantidad de producto mejorador de suelo que necesita un sistema de puesta a tierra para bajar su resistencia instalada. Dicha herramienta indica cuantos sacos de mejorador de suelo GM se deben utilizar, fluido electrolítico de ser necesario y cuantos sacos de sales minerales se debe agregar a la puesta a tierra. Los productos mencionados se muestran en la **Figura 3.2.**



Figura 3.2 Productos para tratamiento químico del suelo. [7]

Para el sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial que cuenta con una resistencia de 3.39(Ω) y la resistividad de su suelo es de 50.46 (Ωm) se obtuvo lo indicado en la **Figura 3.3**.



LISTA DE PRODUCTOS

Tipo Electrodo:	Electrodo Plus
N° GEM Mejorador de Suelo:	3
N° Agregado Electrolítico:	0
N° FM Minerales:	1

RESISTENCIA OBTENIDA

2.02 ohms

NOTA: Margen de error de resultado de RESISTENCIA $\pm 15\%$.

Figura 3.3 Lista de productos sugerida por el fabricante para mejorar el suelo la puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial. [7]

Aplicando los productos indicados por el fabricante utilizando el método de las trincheras (explicado en la sección de marco teórico) para mejorar el suelo, la resistencia del sistema disminuye hasta los 2.02 (Ω), es decir, se reduce en un 40.41% el valor actual de

resistencia. Al aplicar estos productos se obtiene el valor de resistencia del sistema más cercano al que se obtuvo al momento de la instalación.

Considerando que este sistema de puesta a tierra ocupa un electrodo activo, el cual, se degrada en un lapso de 4 a 7 años aproximadamente dependiendo de la corrosividad del suelo del sistema, el terreno debería ser mejorado cada dos años como parte del mantenimiento preventivo de la puesta a tierra como se indica en la siguiente sección.

Para el sistema de puesta a tierra de la Dirección ESFOT que posee una resistencia del sistema de 5.5(Ω) y que la resistividad del suelo es de 75.06 (Ω m), se obtuvo que para mejorar el suelo se deben utilizar los productos indicados en la **Tabla 1.1**

Tabla 3.25 Lista de productos sugerida por el fabricante para mejorar el suelo la puesta a tierra del Laboratorio de la Dirección. [7]

Lista de productos	
Tipo de electrodo:	Electrodo Plus
N.º GEM mejorador de suelo	3
N.º de Agregado Electrolítico	0
N.º de Sales Minerales	1
Resistencia Obtenida	
3.01(Ω)	

La resistencia obtenida del sistema aplicando los productos mejoradores de suelo mediante el método de las trincheras, es de 3.01 (Ω), es decir, la resistencia del sistema se reduce un 45.27% del valor de resistencia actual. Aplicando estos productos se obtiene una resistencia del sistema menor a la obtenida al momento de la instalación

Este sistema cuenta con una resistividad más alta, además, la resistencia actual del sistema supera a lo indicado por la norma IEEE-80-2000, por lo tanto, el mejoramiento periódico del suelo debe realizarse cada tres semestres, como se indica en la sección de mantenimiento del sistema.

En el caso del sistema de puesta a tierra de las Aulas de la 12 a la 20 de la ESFOT en donde se obtuvo que la resistencia del sistema es de 3.27 (Ω) y la resistividad del suelo es de 52.53 (Ω m), se encontró que para mejorar el suelo es necesario implementar los productos mostrados en la **Tabla 3.26**.

Tabla 3.26 Lista de productos sugerida por el fabricante para mejorar el suelo la puesta a tierra del Laboratorio de las Aulas de la 12 a la 20 de la ESFOT. [7]

Lista de productos	
Tipo de electrodo:	Electrodo Plus
N.º GEM mejorador de suelo	3
N.º de Agregado Electrolítico	0
N.º de Sales Minerales	1
Resistencia Obtenida	
2.11(Ω)	

En este caso no se puede aplicar el método de las trincheras, el cual, consiste en aplicar el tratamiento químico alrededor de la fosa en donde está la puesta a tierra, debido a que el electrodo del sistema está rodeado por asfalto. En este caso es necesario aplicar el tratamiento químico del suelo directamente en la fosa en donde se encuentra el electrodo.

Al aplicar los productos indicados por el fabricante la resistencia del sistema se reduce a 2.11 (Ω), es decir, la resistencia disminuye un 35.47%, dando el valor más cercano a la resistencia del sistema al momento de la instalación.

Ya que el sistema cuenta con un electrodo activo y su resistencia se mantiene dentro de lo establecido por la norma IEEE-80, el mejoramiento periódico del suelo debe realizarse cada dos años como se indica en la siguiente sección.

El sistema de puesta a tierra de la Copiadora de la ESFOT posee una resistencia del sistema de 24 (Ω) y el suelo en donde se encuentra ubicado el sistema, tiene una resistividad de 198.80(Ω). Por lo tanto, para disminuir la resistividad del terreno es necesario aplicar los elementos mostrados en la **Tabla 3.27**.

Tabla 3.27 Lista de productos sugerida por el fabricante para mejorar el suelo la puesta a tierra del Laboratorio de la Copiadora

Lista de productos	
Tipo de electrodo:	Varilla
N.º GEM mejorador de suelo	3
N.º de Agregado Electrolítico	0
N.º de Sales Minerales	1
Resistencia Obtenida	
22.82(Ω)	

Al aplicar los productos indicados por el fabricante, se observa que la resistencia del sistema disminuye hasta 22.82 (Ω), es decir, la resistencia del sistema disminuye un 4.9%.

Ya que el sistema cuenta con un electrodo tipo varilla y que su resistencia se mantiene menor a lo indicado por la norma IEEE-80-2000, el mejoramiento del suelo debe realizarse cada cuatro años.

3.5. Creación del plan de mantenimiento para los sistemas de puesta a tierra

En esta sección se pueden observar los diferentes planes de mantenimiento de los diferentes sistemas de puesta a tierra instalados en la ESFOT.

En la **Tabla 3.28** se visualiza las acciones preventivas que se deben llevar a cabo para mantener en buen estado el sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial.

Tabla 3.28 Mantenimiento preventivo de la puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial

Ítem	Periodo	Acción	Procedimiento
1	Cada 6 meses	Inspección visual	Observar detenidamente todos los componentes del sistema de puesta a tierra desde el tablero de conexión hasta la fosa del electrodo.
		Revisión de uniones	Revisar, ajustar y apretar las uniones del sistema. También comprobar que estas no estén sulfatadas.
2	Cada año	Medición de características eléctricas del terreno	Aplicación del método Wenner o de las 4 picas sobre el terreno en donde se encuentra el electrodo de puesta a tierra utilizando el Telurómetro para determinar la resistividad del suelo.
		Medición de la puesta a tierra instalada	Aplicación del método del 61.8% Utilizando el Telurómetro para evaluar la resistencia de la puesta a tierra instalada.
3	Cada 2 años	Mejoramiento del suelo	Aplicar el método de las trincheras alrededor de la fosa en donde se encuentra el electrodo.
4	Cada 5 años	Revisión del estado físico del electrodo	Obtener una muestra del electrodo, verificar su estado y comprobar que no exista una degradación excesiva.

5	Cada 7 años	Diagnosticar	Evaluar si las características eléctricas del sistema satisfacen las necesidades de este, caso contrario rediseñar.
		Rediseñar	Realizar el estudio para dimensionar un nuevo sistema de puesta a tierra

Para el sistema de puesta tierra de la Dirección ESFOT se puede observar el plan de mantenimiento preventivo en la **Tabla 3.29**.

Tabla 3.29 Mantenimiento preventivo de la puesta a tierra del Laboratorio de la Dirección.

Ítem	Periodo	Acción	Procedimiento
1	Cada 6 meses	Inspección visual	Observar detenidamente todos los componentes del sistema de puesta a tierra desde el tablero de conexión hasta la fosa del electrodo.
		Revisión de uniones	Revisar, ajustar y apretar las uniones del sistema. También comprobar que estas no estén sulfatadas.
2	Cada año	Medición de características eléctricas del terreno	Aplicación del método Wenner o de las 4 picas sobre el terreno en donde se encuentra el electrodo de puesta a tierra utilizando el Telurómetro para determinar la resistividad del suelo.
		Medición de la puesta a tierra instalada	Aplicación del método del 61.8% Utilizando el Telurómetro para evaluar la resistencia de la puesta a tierra instalada.
3	Cada 1 año y 6 meses	Mejoramiento del suelo	Aplicar el método de las trincheras alrededor de la fosa en donde se encuentra el electrodo.
4	Cada 4 años	Revisión del estado físico del electrodo	Obtener una muestra del electrodo, verificar su estado y comprobar que no exista una degradación excesiva.
6	Cada 7 años	Diagnosticar	Evaluar si las características eléctricas del sistema satisfacen las necesidades de este, caso contrario rediseñar.
		Rediseñar	Realizar el estudio para dimensionar un nuevo sistema de puesta a tierra

En esta sección se muestra el rediseño del sistema de puesta a tierra de la Dirección ESFOT, en las zonas de resistividad más baja como parte del plan de mantenimiento correctivo.

En la zona 1, mostrada en la sección de metodología se obtuvo que la resistividad promedio del suelo es 44.01(Ω m). Como es un sistema que consta de un solo electrodo lo ideal es utilizar un electrodo activo y tratar químicamente el suelo, para que el valor de resistencia instalada del sistema tenga un valor menor igual a lo indicado por la norma IEEE-80-2000.

Según la marca FM Electrodo, los elementos necesarios para rediseñar la puesta a tierra de la Dirección son los indicados en la **Tabla 3.30**.

Tabla 3.30 Lista de productos sugerida por el fabricante para el rediseño de la puesta a tierra de la Dirección en la zona 1. [7]

Lista de productos	
Tipo de electrodo:	Electrodo Plus
N.º GEM mejorador de suelo	2
N.º de Agregado Electrolítico	0
N.º de Sales Minerales	1
Resistencia Obtenida	
3.53(Ω)	

En la zona 2 mostrada en la sección de metodología, se tiene que la resistividad promedio del suelo es de 37.81 (Ω m). Al reubicar y rediseñar el sistema de puesta a tierra de la Dirección, según el fabricante FM Electrodo se tiene que necesitar aplicar los productos mostrados en la **Tabla 3.31**.

Tabla 3.31 Lista de productos sugerida por el fabricante para el rediseño de la puesta a tierra de la Dirección en la zona 2.

Lista de productos	
Tipo de electrodo:	Electrodo Plus
N.º GEM mejorador de suelo	2
N.º de Agregado Electrolítico	0
N.º de Sales Minerales	1
Resistencia Obtenida	
3.03(Ω)	

El Electrodo Plus necesario para el rediseño del sistema de puesta a tierra de la Dirección de la ESFOT, se muestran en la **Figura 3.4** y sus características técnicas se observan en la **Tabla 3.32**.



Figura 3.4 Electrodo Activo. [7]

Tabla 3.32 Características técnicas del electrodo activo. [7]

Características	Dimensiones
Longitud:	1m
Diámetro:	6 plg.
Peso:	25 kg.
Material:	Grafito
Tipo:	Químico activo
Cable de conexión:	Cobre desnudo AWG 2 - 0

En la **Tabla 3.33** se visualiza el plan de mantenimiento preventivo designado al sistema de puesta a tierra de las Aulas de la ESFOT de la 12 a la 20.

Tabla 3.33 Mantenimiento preventivo de la puesta a tierra del Laboratorio de las Aulas de la 12 a la 20.

Ítem	Periodo	Acción	Procedimiento
1	Cada 6 meses	Inspección visual	Observar detenidamente todos los componentes del sistema de puesta a tierra desde el tablero de conexión hasta la fosa del electrodo.
		Revisión de uniones	Revisar, ajustar y apretar las uniones del sistema. También comprobar que estas no estén sulfatadas.
2	Cada año	Medición de características eléctricas del terreno	Aplicación del método Wenner o de las 4 picas sobre el terreno en donde se encuentra el electrodo de puesta a tierra utilizando el Telurómetro para determinar la resistividad del suelo.
		Medición de la puesta a tierra instalada	Aplicación del método del 61.8% Utilizando el Telurómetro para evaluar la resistencia de la puesta a tierra instalada.
3	Cada 2 años	Mejoramiento del suelo	Aplicar el método de las trincheras alrededor de la fosa en donde se encuentra el electrodo.
4	Cada 5 años	Revisión del estado físico del electrodo	Obtener una muestra del electrodo, verificar su estado y comprobar que no exista una degradación excesiva.
5	Cada 7 años	Diagnosticar	Evaluar si las características eléctricas del sistema satisfacen las necesidades de este, caso contrario rediseñar.
		Rediseñar	Realizar el estudio para dimensionar un nuevo sistema de puesta a tierra

En la **Tabla 3.34** se observan las actividades a seguir como parte del plan de mantenimiento preventivo del sistema de puesta a tierra de la Copiadora de la ESFOT.

Tabla 3.34 Mantenimiento preventivo de la puesta a tierra del Laboratorio de la Copiadora.

Ítem	Periodo	Acción	Procedimiento
1	Cada 6 meses	Inspección visual	Observar detenidamente todos los componentes del sistema de puesta a tierra desde el tablero de conexión hasta la fosa del electrodo.
		Revisión de uniones	Revisar, ajustar y apretar las uniones del sistema. También comprobar que estas no estén sulfatadas.
2	Cada año	Medición de características eléctricas del terreno	Aplicación del método Wenner o de las 4 picas sobre el terreno en donde se encuentra el electrodo de puesta a tierra utilizando el Telurómetro para determinar la resistividad del suelo.
		Medición de la puesta a tierra instalada	Aplicación del método del 61.8% Utilizando el Telurómetro para evaluar la resistencia de la puesta a tierra instalada.
3	Cada 4 años	Mejoramiento del suelo	Aplicar el método de las trincheras alrededor de la fosa en donde se encuentra el electrodo.
4	Cada 10 años	Revisión del estado físico del electrodo	Obtener una muestra del electrodo, verificar su estado y comprobar que no exista degradación o corrosión.
5	Cada 20 años	Diagnosticar	Evaluar si las características eléctricas del sistema satisfacen las necesidades de este, caso contrario rediseñar.
		Rediseñar	Realizar el estudio para dimensionar un nuevo sistema de puesta a tierra

4 CONCLUSIONES

- Para encontrar la resistencia de la puesta a tierra instalada de cada uno de los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT, el método del 61,8% es el más adecuado, ya que estos sistemas se encuentran en espacios reducidos y están conformados por un solo electrodo.
- El proceso de medición de la resistencia de los sistemas de puesta a tierra instalada de la ESFOT, aplicando el método del 61,8% se realizó en temporada de invierno, por lo cual, debido a la humedad del suelo se obtuvieron valores de resistencia más bajos, que los que se encontrarían en situaciones críticas, es decir, cuando el suelo este seco.
- El proceso de medición de la resistividad por el método Wenner del suelo se realizó en temporada de lluvia, entonces, debido a la humedad del terreno y a la disolución de sales en el suelo se obtuvo valores de resistividad muy bajos, en la mayoría de los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT. Los valores de resistividad que se encontraron pertenecen en su mayoría a suelos tipo, Lama, Limo y Humus.
- Se pudo determinar que:
 - El sistema de puesta a tierra del Laboratorio de Tecnología Industrial se diseñó de manera correcta, ya que antes de su instalación se realizó un estudio del terreno para determinar cuál era el lugar con la resistividad más baja y el tratamiento químico que debí tener el suelo para que la puesta a tierra cuente con una resistencia menor a la indicada en la norma IEEE-80-2000.
 - En el caso de la puesta a tierra de la Dirección, no se realizó un estudio previo del terreno, por lo cual la resistencia de la puesta a tierra cuando fue instalada está muy cercano al límite dictado por la norma IEEE-80-2000.
 - En la puesta a tierra de las Aulas de la ESFOT de la 12 a la 20, no se realizaron estudios previos sobre el terreno, sin embargo, la resistencia inicial del sistema cumple con los parámetros establecidos por la norma IEEE-80-2000.
 - En la puesta a tierra de la Copiadora de la ESFOT no se realizó un estudio previo del suelo al momento de su instalación, pero la resistencia instalada del sistema es menor a lo indicado por la norma IEEE-80-2000.

- Para realizar el plan de mejoramiento periódico del suelo, se toma en cuenta los parámetros de resistividad del terreno, la resistencia del sistema y los materiales que van a ser utilizados para mejorar el terreno.
- Tomando en cuenta los estudios realizados, se determinó que la zona 2 de la dirección de la ESFOT es la mejor para realizar el rediseño y reubicación del sistema, ya que, es donde se obtendría una resistencia de la puesta a tierra instalada más baja.
- En base a las pruebas realizadas en cada uno de los sistemas se pudo determinar el plan de mantenimiento para cada sistema de puesta a tierra instalado en la ESFOT dependiendo de su función y requerimientos.
- Se determinó que al utilizar electrodos activos los periodos de tiempo de algunas acciones de mantenimiento son relativamente cortos, mientras que, al utilizar varillas de cobre, los periodos de tiempo para realizar algunas acciones de mantenimiento son relativamente largos.

5 RECOMENDACIONES

- Evitar utilizar tapas de cemento para marcar los sistemas de puesta a tierra, como se ve en los casos del sistema de la dirección y del sistema de las Aulas de la 12 a la 20 de la ESFOT. Utilizar tapas de cemento impide el paso de humedad a la fosa en donde está ubicado el electrodo de la puesta a tierra, provocando que el suelo, al estar seco aumente su resistividad y además aumente la resistencia del sistema.
- Manipular de manera adecuada el Telurómetro al momento de aplicar el método Wenner y el método del 61.8%. Seleccionar de manera correcta la configuración con la que va a trabajar el equipo (3 picas o 4 picas) y enterrar los electrodos a una profundidad adecuada.
- Al aplicar el método del 61.8% y el método Wenner, evitar obstáculos que se puedan interponer a lo largo de los perfiles en donde se va a realizar la prueba.
- Cuando una puesta a tierra está rodeada por una zona asfaltada, es recomendable, marcar los puntos en donde se van a ubicar las picas para aplicar el método del 61.8% y el método Wenner. De esta manera siempre que se realicen estas pruebas se utilizaran los mismos puntos marcados, lo cual, facilitará la obtención de los datos requeridos.
- Para realizar el mejoramiento periódico del suelo el fabricante del tratamiento químico o mejorador de suelo debería indicar los intervalos de tiempo en que el suelo de un sistema de puesta a tierra debe ser mejorado.
- El tamaño del sistema de puesta a tierra y el tipo de electrodo utilizado, son los parámetros más importantes al momento de realizar el mantenimiento. Ya que, de esto depende los métodos utilizados para las pruebas y los intervalos de tiempo que deben tomarse en cuenta para las acciones de mantenimiento.

6 INSTRUCTIVO PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LAS PUESTAS A TIERRA DE LA ESFOT.

Al escanear la **Figura 6.1** se obtiene el acceso a un video que muestra la explicación del proyecto de titulación y como implementar las pruebas realizadas



Enlace: <https://youtu.be/q7678ho1YgE>

Figura 6.1 Código QR Instructivo de puestas a tierra.

7 REFERENCIAS

- [1] J. S. Ramirez Castaño y E. A. Cano Plata, Sistemas de Puesta a Tierra: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF, Manizales: Blanecolor Ltda, 2010.
- [2] G. Rojas, Manual de sistemas de Puesta a Tierra, Caracas, 2007.
- [3] PROCOBRE, Sistemas de puesta a tierra, Lima, 2002.
- [4] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Norma Ecuatoriana de la Construcción - Instalaciones Eléctricas, Ecuador, 2018.
- [5] Department of Defense, Grounding, Bonding, and Shielding for Electronic Equipment and Facilities, Washington DC, 1987.
- [6] J. C. Arcioni, «Los sistemas de puestas a tierra y la aplicación de los tratamientos químicos para la mejora de las resistencias de las puestas a tierra,» Buenos Aires, 2018.
- [7] FM Electrodo, «FM Electrodo,» [En línea]. Available: <http://www.fmelectrodo.com/producto/agregado-electrolitico-ultra/>. [Último acceso: Junio 2022].
- [8] J. A. F. Proaño, Propuesta de mejoramiento de puestas a tierra en el centro de cómputo alterno, Guayaquil, 2014.
- [9] E. G. Mora Villagomez y C. E. Muñoz Valencia, Analisis del sistema de puesta a tierra de la Casa de la Cultura del Guayas, Guayaquil, 2010.
- [10] THOR-GEL, «para-rayos,» [En línea]. Available: <https://www.para-rayos.com/producto/thor-gel-conductivo/>. [Último acceso: 20 Junio 2022].

8 ANEXOS

Anexo I. Reporte de Similitud Reportado por Turnitin

Tesis_Daniela_Castillo

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

atenea.epn.edu.ec

Fuente de Internet

1%

2

pirhua.udep.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

es.scribd.com

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad Tecnologica del Peru

Trabajo del estudiante

1%

5

ftp.isdi.co.cu

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

7

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

1%

8

www.sonel.pl

Fuente de Internet

1%

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, D.M. 31 de agosto de 2022

De mi consideración:

Yo, ABRAHAM ISMAEL LOJA ROMERO, en calidad de Director del Trabajo de Integración Curricular titulado PLAN DE MANTENIMIENTO asociado al ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS PUESTAS A TIERRA INSTALADAS EN LA ESFOT elaborado por la estudiante DANIELA ALEJANDRA CASTILLO ARBOLEDA de la carrera en TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito completo, producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 12%.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el informe generado por la herramienta Turnitin.

Atentamente,



Abraham Ismael Loja Romero

Docente ocasional

ESFOT

Anexo II. Tabla de Distribución Normal Acumulada.

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

Anexo III. Registro de actividades del plan de mantenimiento para los sistemas de puesta a tierra de la ESFOT.

Tabla III. I Pruebas Generales de puesta a tierra

Prueba Realizada	SI	NO
Revisión visual y ajuste de uniones.		
Aplicación del método Wenner.		
Aplicación del método del 61.8%.		
La resistencia de la puesta a tierra instalada cumple con la norma IEEE-80-2000		
Revisión del estado físico del electrodo		
Necesidad de rediseño		
Nombre del sistema de Puesta a tierra	<input type="checkbox"/> LTI-CI <input type="checkbox"/> Dirección <input type="checkbox"/> Aulas de la 12 a la 20 <input type="checkbox"/> Copiadora-ESFOT	

Tabla III. II Aplicación del método Wenner

N.º	Resistencia [Ω]	Distancia del perfil [m]	a	a/10	Resistividad [Ωm]	Tipo de suelo
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Tabla III. III Aplicación del método del 61.8%

N.º	Distancia del perfil (m)	Resistencia medida (Ω)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		