



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

Programa de mantenimiento del sistema de tierras y pararrayos de la FCQeI

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO – ELECTRÓNICO

PRESENTA:

OSWALDO JESÚS PADILLA SOTO

DIRECTOR:

DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por haberme permitido estudiar en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y por darme la fuerza para continuar con mis estudios a pesar del fallecimiento de mi Padre y de las dificultades que fui enfrentando a lo largo de mi carrera universitaria.

Igualmente quiero agradecer a mi Madre y a mi hermano por haberme apoyado durante la elaboración de mi tesis, así como a mi asesor el Dr. Luis Cisneros Villalobos por su apoyo durante todas las revisiones de avance a través de comentarios sobre el contenido, correcciones e ideas para complementar el desarrollo de mi tesis.

Por último, pero no menos importante le doy las gracias al Ing. Luis Rodríguez plantar en mi la idea a elegir de tema de desarrollo de tesis durante el periodo de estancias profesionales y su apoyo durante el mismo, también le doy las gracias al Lic. Jesús Hernández por brindarme el acceso a la revisión de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería durante el desarrollo de mis estancias profesionales y así poder adquirir la información necesaria para el desarrollo de mi investigación. Le doy un agradecimiento especial a todos mis amigos y compañeros del área de mantenimiento de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería por apoyarme durante la investigación realizada, brindándome apoyo en la solución de dudas durante mi trayecto.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia por su apoyo durante toda mi trayectoria universitaria debido a que fueron un gran impulso para no darme por vencido en los momentos difíciles que se llegaron a presentar.

También dedico esta tesis como un agradecimiento a los profesores que me impartieron clases de manera correcta y eficiente aclarando dudas y sembrando conocimientos, además de mis amigos y compañeros que fueron de apoyo durante mi trayectoria.

RESUMEN

En este proyecto se realizó un programa de mantenimiento sobre el sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas de los edificios A y B de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, para esto fue necesario realizar una serie de investigaciones sobre cómo funciona un sistema de puesta a tierra y el funcionamiento de los pararrayos, abarcando las normativas aplicables para estos, métodos de medición de resistencia de terreno y resistencia de una malla de tierra explicando cada uno de ellos, así como los equipos necesarios para realizar dichas mediciones. Posterior a eso se realizó un estudio sobre el estado físico actual del sistema de tierras y pararrayos instalados en los edificios mencionados anteriormente, dicho estudio reporta mediante tablas el grado de oxidación de cada uno de los electrodos de puesta a tierra y la cantidad de derivaciones en cada uno de estos para la elaboración de un plano de red de tierras considerado como una propuesta debido que no es posible saber con certeza hacia donde se dirige cada una de las derivaciones ubicadas en cada electrodo, reportando la cantidad de cables comunes de malla en el plano mencionado.

Continuando con el estudio, se realizaron mediciones de resistividad de terreno y resistencia de malla en distintas fechas y distintas localizaciones utilizando dos equipos de medición de resistencia de terreno "llamado telurómetro" con la finalidad de realizar una comparativa de resultados distintos para acercarnos a una medición más precisa, una vez obtenida la resistividad promedio del terreno y el plano de red de tierras se procedió a realizar una simulación de la malla instalada en cada edificio con el software "Electrical Transient and Analysis Program" o conocido por sus siglas como "ETAP", el cual tiene las herramientas necesarias para realizar un estudio de corto circuito a tierra, por ende, se realizó la simulación obteniendo la resistencia de la malla en condiciones ideales, el estudio de corto circuito de los edificios de A y B tomando en cuenta la corriente de corto circuito máxima del transformador trifásico que suministra electricidad a la facultad, en el estudio se logran apreciar las gráficas de voltaje de paso y voltaje de toque, donde podemos ver los puntos máximos de voltaje que se pueden llegar a presentar gracias a un corto circuito en el lado secundario del transformador, sin embargo, para nuestro caso de estudio solo nos es necesario conocer dichas gráficas para localizar los puntos de mayor riesgo en el sistema de puesta a tierra.

Finalizando podemos encontrar el programa de mantenimiento determinado con base a la revisión del estado físico de cada uno de los componentes del sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas presente en la facultad, mencionando una propuesta de mantenimiento preventivo con base al daño presente en la actualidad y al tiempo con el cual se da el mantenimiento, después de eso se presenta el mantenimiento correctivo para todos los elementos dañados mostrando el daño que presenta cada uno de estos y las acciones a realizar para su reparación, posterior a eso se menciona el mantenimiento predictivo a realizar, el cual consta de registros fotográficos y tablas que reporten el estado del sistema, tomando en cuenta las fechas en las cuales se realizó el mantenimiento y las condiciones en las cuales se encuentra el sistema. Finalizando se muestran las observaciones y recomendaciones que fueron desarrolladas a lo largo del estudio e investigación, tomando en cuenta normativas aplicables al caso, manuales sobre mantenimiento a sistemas de puesta a tierra y libros que contienen información de suma importancia los sistemas de tierra, concluyendo la correcta elaboración de un programa de mantenimiento con base a los requerimientos del sistema existente y a normativas aplicables.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1. Introducción a los sistemas de tierras	1
1.1- Introducción.....	1
1.2- Objetivo general	2
1.3- Objetivos específicos.....	2
1.4- Hipótesis	3
1.5- Justificación.....	3
1.6- Normativas aplicables	3
1.7- Conceptos básicos	5
Capítulo 2. Métodos de sistema de puesta a tierra	7
2.1- Propósito y distintos tipos de puesta a tierra.....	7
2.2- Métodos de medición de resistividad del terreno	9
2.2.1- Método de cuatro puntos (Wenner).....	9
2.2.2- Método de tres puntos (caída de tensión)	10
2.3- Equipo para medición y materiales utilizables en puestas a tierra	13
2.3.1- Telurómetro	13
2.3.2- Elementos de la malla puesta a tierra	13
2.3.3- Materiales para bajar la resistividad del terreno	17
Capítulo 3. Sistema de puesta a tierra y pararrayos de la FCQel	21
3.1- Aspectos importantes del sistema de tierras.....	21
3.2- Diseño del sistema de tierras por método elemento finito.....	23
3.3- Conexión a tierra de equipos	24
3.3.1- Conexión a tierra de equipos eléctricos	24
3.3.2- Conexión a tierra de equipos electrónicos	25
3.4- Sistema de pararrayos de la FCQel	26
3.4.1- Estado físico de los pararrayos de la FCQel.....	27
3.5- Sistema de puesta a tierra de la FCQel.....	29
3.5.1- Estado y ubicación de los electrodos	31
3.5.2- Medición de la resistividad del terreno	40
3.5.3- Medición de la resistividad de la malla	42
3.5.4- Comparativa de resultados de medición	43
3.5.5- Simulación de la posible conexión de electrodos	47
3.5.6- Análisis de resultados	59
Capítulo 4. Mantenimiento al sistema de puesta a tierra y pararrayos	60
4.1- Mantenimiento preventivo.....	60

4.2- Mantenimiento correctivo.....	61
4.3- Mantenimiento predictivo.....	62
4.4- Observaciones y Recomendaciones	63
Conclusiones	64
Referencias	66
ANEXOS.....	68
ANEXO A. Fotografías del sistema de puesta a tierra de los edificios 35 y 36.....	68
Electrodos del edificio 35, edificio B de la FCQel	68
Electrodos del edificio 36, edificio A de la FCQel	72
ANEXO B. Componentes del sistema de pararrayos de la FCQel	76
ANEXO C. Proceso de elaboración de la simulación de las mallas de tierra de la FCQel	83
ANEXO D. Tablas utilizadas para el método esfera rodante	88

Capítulo 1. Introducción a los sistemas de tierras

1.1- Introducción

En la Norma Oficial Mexicana NOM-022-STPS-2015 se define a la red de puesta a tierra o sistema de puesta a tierra como “El conjunto de conductores y conexiones, electrodo o electrodos, accesorios y otros elementos metálicos enterrados que interconectados entre sí tienen por objeto drenar a tierra las corrientes de un rayo y las generadas por las cargas eléctricas estáticas” (apdo 4.11). Es decir, tiene la función de dirigir las corrientes elevadas no deseadas en nuestro sistema eléctrico hacia el suelo, el cual consiste en la interconexión de varios electrodos enterrados en el suelo formando una “malla” o “red” de baja impedancia que logra formar un camino de mayor conductividad en caso de tener corrientes de falla o descargas atmosféricas y así poder proteger tanto a los elementos del sistema como a las personas que tengan contacto con las partes conductoras.

Los sistemas de puesta a tierra deben tener una baja impedancia debido que la corriente eléctrica siempre se conducirá de manera más eficaz por caminos con menor oposición a la corriente, dicho de otra manera, una menor impedancia corresponde a una mayor conductividad, brindando un camino para drenar corrientes no deseadas pero para que un sistema de puesta a tierra sea efectivo se deben cumplir dos puntos clave, el primero es crear un camino controlado para desviar la corriente correctamente; esto se refiere a que todos los elementos de la instalación deben estar referenciados a la misma red de tierra para así poder formar una sola malla, sin embargo, en el caso de utilizar pequeñas mallas a lo largo de la instalación estas deben estar conectadas entre sí por lo menos por un solo cable conductor, cabe mencionar que se debe utilizar cable cien por ciento de cobre ya sea desnudo o con forro color verde (dependiendo el tipo de sistema de tierras) y los electrodos o varillas que se utilizan para la conexión al suelo también deben ser de cobre en su totalidad y deben estar conectadas con el mayor contacto posible, es decir, es de suma importancia que el área de conexión entre el conductor eléctrico y los electrodos sea lo mayor posible; el segundo punto que se tiene que tomar es cuenta es la resistividad del terreno donde colocaremos nuestra malla, debido a que tenemos que colocar los electrodos en lugares que tengan una baja impedancia y para eso podemos utilizar diferentes métodos como es aprovechar la humedad del suelo, esto quiere decir que podemos colocar los electrodos en lugares donde el suelo se mantenga húmedo, así como son lugares donde hay pasto o jardineras no muy grandes, también podemos hacer uso de la granulometría la cual

consiste en realizar la medición de los granos de terreno donde se encuentran nuestros electrodos ya que entre más pequeños sean los granos del terreno mayor contacto tendrán los electrodos con el suelo y esto aumentará la conductividad, además de esto un terreno con granos más pequeños de tierra absorbe mayor humedad y esto resulta muy favorable para los electrodos, también podemos favorecernos de la salinidad del terreno ya que sí el terreno tiene buena presencia de sales aumentará su conductividad.

Podemos aplicar otros métodos para bajar la resistencia del terreno como hacer uso de productos químicos para disminuir la resistividad del terreno o agregar distintos materiales como puede ser la bentonita, la narcotina, el yeso o incluso algunas soluciones que contengan cobre.

Cabe mencionar que dentro de la elaboración de los sistemas de puesta a tierra tenemos que tener en cuenta que los dispositivos electrónicos deben de estar en una malla separada de todo el sistema, deben estar conectados a una tierra aislada la cual consiste en tener todos los cables conductores cubiertos con un aislante plástico color verde, ya que si conectamos ambos conductores de tierra en el mismo lugar pueden llegar a causar algún tipo de interferencia en los dispositivos electrónicos, en adición a esto, sí en algún momento una descarga atmosférica llegara a entrar al sistema de tierra y este está conectado a los dispositivos electrónicos pueden llegar a dañarse de forma permanente.

1.2- Objetivo general

Desarrollar un programa de mantenimiento del sistema de tierras y pararrayos de los edificios 35 y 36 de la UAEM a través de normas y procedimientos vigentes aplicables para mantener la operación correcta de las cargas eléctricas y seguridad del personal.

1.3- Objetivos específicos

- Verificar el estado físico actual del sistema de puesta a tierra de la FCQel.
- Verificar la resistividad del terreno donde se encuentra colocado el sistema de puesta a tierra.
- Proponer un plan de mantenimiento a ser realizado en periodos establecidos.
- Actualizar el plano del sistema de tierras de la FCQel.
- Aplicación de normativas vigentes para el correcto estudio del sistema de tierras

1.4- Hipótesis

Realizando un mantenimiento adecuado al sistema de tierras y pararrayos se garantiza una mayor durabilidad de los componentes del sistema y una mayor eficiencia del mismo, manteniendo la seguridad del personal y de los equipos eléctricos.

1.5- Justificación

El correcto mantenimiento de un sistema de puesta a tierra es de gran importancia debido a que al poder proporcionar un camino correcto y efectivo para las corrientes de falla y descargas atmosféricas no excedemos algún límite operacional de los equipos, como puede ser ejemplo un sobre esfuerzo de una maquina debido a una corriente elevada inducida.

Al realizar el mantenimiento del sistema de puesta a tierra de la Faculta de Ciencias Químicas e Ingeniería se logra mantener protegido a los equipos eléctricos que se encuentren conectados a los toma corriente de las instalaciones, ya sea que estos se conecten durante un corto o un largo periodo de tiempo quedan protegidos equipos y/o dispositivos como luminarias, routers, equipos eléctricos de laboratorio, equipos de cómputo, cámaras de seguridad, alarmas, entre otros; dicho mantenimiento tiene que constar de inspecciones en intervalos frecuentes de aquellos componentes que son más accesibles, por ejemplo, las conexiones y estado físico de los electrodos, e inspecciones más rigurosas en periodos más largos, por ejemplo, verificar la resistividad del suelo después de un largo periodo. Durante estas inspecciones se aplicarán distintos mantenimientos como puede ser el ajuste de conexiones, limpieza de conductores y electrodos o incluso el remplazo de los mismos según el estado físico en el que se encuentren, y de esta manera mantener el correcto funcionamiento del sistema de puesta a tierra.

1.6- Normativas aplicables

Existe una gran variedad de normas nacionales e internacionales que se pueden aplicar al momento de diseñar algún tipo de instalación eléctrica, dependiendo el tipo de instalación a tratar se aplicaran distintas normas, a continuación, se mencionan las normas aplicables para sistemas de puestas a tierra y sistemas de pararrayos, mencionando el objetivo de que tiene cada una de estas.

-
-
- NOM-001-SEDE-2012

La NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización) tiene como objetivo establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades.

- NOM-022-STPS-2015

La NORMA Oficial Mexicana NOM-022-STPS-2015, Electricidad estática en los centros de trabajo – Condiciones de seguridad tiene el objetivo de establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática, así como por descargas eléctricas atmosféricas.

- NMX-J-549-ANCE-2005

La norma ANCE NMX-J-549-ANCE-2005, Sistema de protección contra tormentas eléctricas tiene como objetivo establecer especificaciones, diseño, materiales y métodos de medición de sistema integral de protección contra descargas eléctricas, para reducir el riesgo de daño para las personas, seres vivos, estructuras y su contenido, utilizando como base el método de la esfera rodante reconocido internacionalmente.

- NFPA 70

La NFPA 70, Código Eléctrico Nacional tiene el propósito brindar información técnica referente a instalaciones eléctricas protegiendo a personas y propiedades contra riesgos que se derivan del uso de la electricidad.

- NFPA 780

La NFPA 780, Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos tiene el propósito de brindar los medios de protección para personas y propiedades contra los riesgos que surgen de la exposición a los rayos.

- IEEE STD 80 – 2013

La guía IEEE para la seguridad en la puesta a tierra de subestaciones de CA tiene la intención de proporcionar orientación e información pertinente a las prácticas de puesta a tierra seguras en el diseño de subestaciones de corriente alterna, dando a conocer definiciones, rangos

tolerables de voltajes, consideraciones de diseño e información referente a mediciones para el sistema de tierra.

- IEEE STD 81 – 2012

La guía IEEE para medir la resistividad de la tierra, la impedancia de la tierra y los potenciales de la superficie de la tierra de un sistema de puesta a tierra tiene el propósito de presentar los métodos prácticos de instrumentación que pueden usarse para medir la resistividad del suelo, impedancia de tierra remota, los voltajes de paso y contacto y las distribuciones de corriente en las redes de tierra asociadas con las instalaciones de servicios eléctricos.

- IEEE STD 142 – 2007

La guía IEEE para puesta a tierra de sistemas de energía industriales y comerciales tiene como objetivo brindar información sobre la puesta a tierra de los sistemas, la puesta a tierra de los equipos, la puesta a tierra como una protección contra estática y rayos, la conexión a tierra y un poco de la puesta a tierra para equipos electrónicos.

- IEEE STD 1100 – 2005

La guía IEEE de alimentación y puesta a tierra de equipos electrónicos tiene como objetivo principal proporcionar un consenso de prácticas recomendadas que abordan los problemas de protección y rendimiento eléctrico de los equipos electrónicos mientras se mantiene una instalación segura como se especifica en el Código Eléctrico Nacional (NFPA 70).

1.7- Conceptos básicos

Es bastante común encontrar términos como corriente de tierra, resistencia de tierra, falla a tierra, red de tierra y puesto a tierra cuando se indaga en documentos, libros, manuales y normativas respectivas a los sistemas de puesta a tierra, por ende, es de suma importancia establecer definiciones de dichos conceptos obtenidos de la literatura especializada.

Tierra: Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta al suelo o a algún cuerpo conductor de magnitud grande que sirve en lugar de la tierra [5].

Electrodo de tierra: Un conductor incrustado en la tierra y que se utiliza para recolectar la corriente de tierra o disipar la corriente de tierra hacia el suelo [5].

Falla a tierra: Conexión eléctricamente conductora, no intencional, entre un conductor no puesto a tierra de un circuito eléctrico y conductores que normalmente no transportan corriente, envolventes metálicas, canalizaciones metálicas, equipos metálicos o tierra [3].

Corriente de tierra: Una corriente que entra o sale de la tierra o su equivalente que sirve como tierra [4].

Red de tierra: Un sistema de electrodos de tierra interconectado arreglado en un patrón sobre un área específica y enterrado por debajo de la superficie del suelo [5].

Resistencia de tierra: La impedancia, excluida la reactancia, entre un electrodo de tierra, rejilla o sistema y tierra remota [4].

Puesto a tierra: Un sistema, circuito o apartado dotado de una tierra (s) a los efectos de establecer un circuito de retorno por tierra y para mantener su potencial aproximadamente el potencial de la tierra [5].

Resistividad del suelo (tierra): Una medida de cuánto volumen de suelo resistirá una corriente eléctrica y generalmente se expresa en ohmios-metros [4].

Voltaje de paso: La diferencia de potencial de superficie que podría expresar una persona que recorra una distancia de 1 metro con los pies sin entrar en contacto con ningún objeto conectado a tierra [4].

Sistema de puesta a tierra: Comprende todas las instalaciones de puesta a tierra interconectadas en un área específica [5].

Voltaje de contacto o de toque: La diferencia de potencial entre el aumento del potencial de tierra de una rejilla o sistema de conexión a tierra y el potencial de la superficie donde una persona podría estar parada mientras que al mismo tiempo tiene una mano en contacto con una estructura u objeto conectado a tierra [4].

Capítulo 2. Métodos de sistema de puesta tierra

2.1- Propósito y distintos tipos de puesta a tierra

Los sistemas de puesta a tierra tienen el propósito de proteger a sistemas eléctricos, dispositivos eléctricos y al personal operador del mismo, sin embargo, cada equipo o sistema tiene ciertas características que los hace diferentes unos de los otros, por ende, se necesita de una protección según corresponda. A continuación, se mencionan los distintos tipos de sistemas de puesta a tierra y el propósito de los mismos.

En primera instancia se tiene a la *“la puesta a tierra para sistemas eléctricos”*, el cual tiene el propósito de eliminar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos; esto se realiza mediante un conductor apropiado a la corriente de falla total del sistema.

De manera similar tenemos a la *“puesta a tierra de los equipos eléctricos”* y la *“puesta a tierra de protección atmosférica”*, la puesta a tierra referente a los equipos eléctricos tiene el propósito de eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y los componentes de dichos equipos, de tal forma que operen sus protecciones por sobrecorriente, esta puesta a tierra es referente a conectar a tierra todos los elementos de la instalación que en condiciones normales no están sujetos a tensiones, pero que pueden tener diferencias de potencial con respecto a tierra a causa de tener fallas accidentales en los circuitos, así como los puntos de la instalación eléctrica en los que es necesario establecer una conexión a tierra para dar mayor seguridad, por otra parte, cuando hablamos de la puesta a tierra referente a una protección atmosférica nos referimos a los pararrayos, los electrodos y el cable conductor que los une y tienen el propósito de drenar a tierra las corrientes producidas por descargas atmosféricas sin mayores daños a personas y propiedades. Se logra formar gracias a una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta tierra que cubre los equipos o edificios a proteger o también puede conformarse de electrodos tipo copperweld y cable de cobre desnudo.

Cuando se habla sobre los sistemas de tierra siempre se trata el tema de protección de equipos de potencia y protección contra descargas atmosféricas, pero por otra parte, también contamos con sistemas de puesta a tierra específicas para la protección de equipos electrónicos o que al menos contengan componentes electrónicos que desarrollen un papel fundamental en su funcionamiento, por ejemplo equipos que funcionen con muestreos analógicos, para estos casos contamos que los sistemas de *“puesta a tierra de protección electrónica”* y *“puesta a tierra en señales electrónicas”*; la puesta a tierra referente a la protección electrónica está diseñada para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por sobre voltajes y para que esto ocurra

se colocan dispositivos de protección que puedan limitar los picos de sobre tensión conectados entre los conductores activos y tierra, esta puesta a tierra también puede ser instalada para equipos de control debido a los componentes que incluyen, del mismo modo, tenemos la puesta a tierra en señales electrónicas, la cual tiene el propósito de evitar la contaminación con señales en frecuencias diferentes a la deseada y se logra mediante blindajes o electrodos conectados a una referencia cero o a tierra.

Los distintos tipos de sistemas de puesta a tierra pueden separarse en dos clasificaciones de manera general, en primera instancia tenemos los sistemas de puesta a tierra que se construyen con conductor desnudo y se les conoce como “tierra desnuda”, la cual está diseñada de esta manera para drenar las corrientes no deseadas directamente al suelo en el menor tiempo posible y con mayor eficiencia, por el contrario, los sistemas de puesta a tierra referentes a equipos con componentes electrónicos se lee conoce como “tierra aislada” debido a que el cable conductor que une al equipo con los electrodos enterrados en el suelo tienen que estar forrado por un aislante plástico de color verde, dicho aislante tiene la finalidad de reducir significativamente la posibilidad de ruido electromagnético y de radiofrecuencia causantes por alguna interferencia o corriente que se pueda inducir a lo largo del conductor.



Ilustración 1: Electrodo de tierra desnuda y electrodo de tierra aislada

2.2- Método de medición de resistividad del terreno

Existen varios métodos para realizar la medición de la resistividad del terreno y todos estos comparten varias similitudes en su procedimiento, sin embargo, la interpretación de los datos que se registran en cada uno de ellos varía considerablemente, especialmente donde se encuentran terrenos con resistividad no uniforme, la resistividad del suelo puede variar dependiendo la temperatura, la humedad y el contenido de minerales en las diferentes secciones del terreno. Uno de los métodos más efectivos es el “método de los cuatro puntos” o también conocido como el “método de Wenner” será en método a utilizar para el desarrollo de este proyecto y se describe a continuación.

2.2.1- Método de cuatro puntos (Wenner)

En método consiste en colocar cuatro electrodos en el terreno colocándolos en línea recta, enterrándolos a la misma profundidad que se representa con la letra “b” y separados uno del otro con una misma distancia que se representa con la letra “a”. De los cuatro electrodos contamos con dos electrodos de corriente (C_1 y C_2) y dos electrodos de potencial (P_1 y P_2), se hace circular una corriente de baja frecuencia entre los dos electrodos de corriente y de manera similar se mide la caída de potencial entre los electrodos de potencial con un voltímetro de alta impedancia, por lo tanto, debido a la relación entre la tensión y la corriente se determina una medida de resistencia denominada con la letra “R” y mediante el uso de la Ec. (1) se nos permite calcular la resistividad del terreno, la cual se expresa en Ω -m.

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (1)$$

Donde:

ρ = resistividad aparente del terreno (Ω -m)

R = resistencia medida del terreno (Ω)

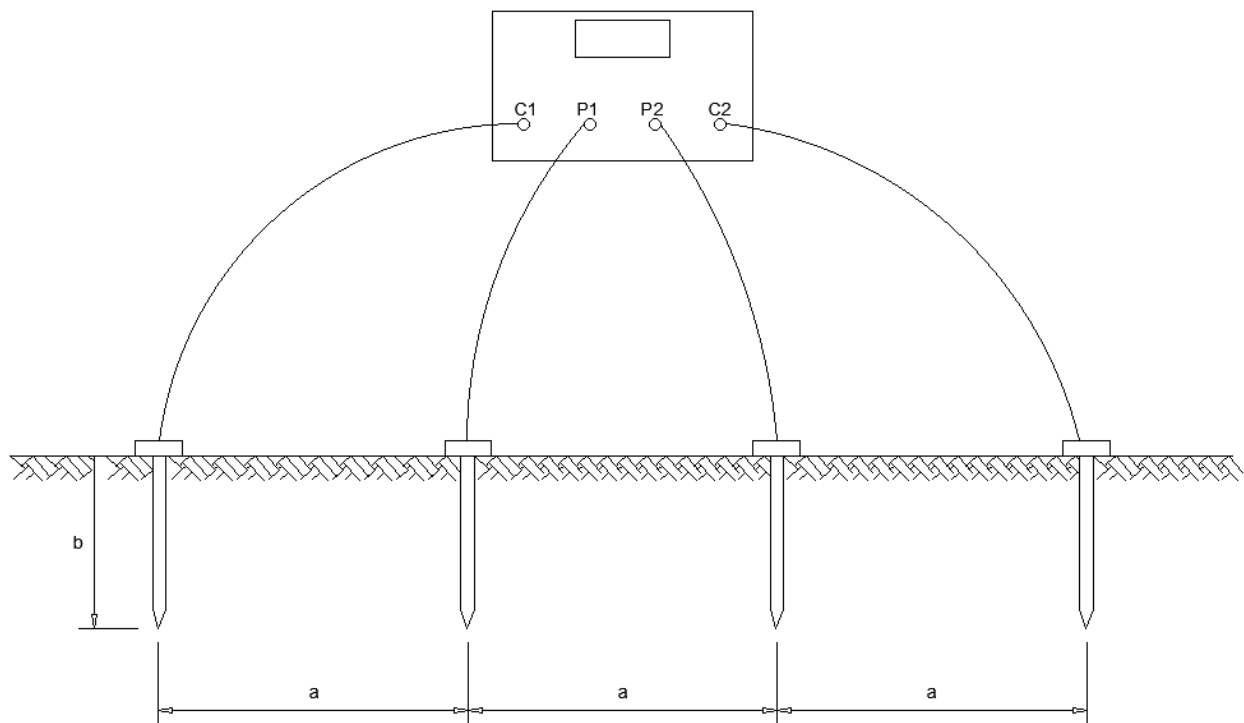
a = distancia entre electrodos (m)

b = profundidad de los electrodos (m)

En la práctica de la medición del terreno los electrodos se colocan en línea recta con una profundidad “b” que al compararla con la distancia de separación de electrodos “a” suele ser muy pequeña ($b < 0.1a$), por lo cual se nos permite simplificar la ecuación como se muestra en la Ec. (2).

$$\rho = 2\pi aR \quad (2)$$

Al realizar nuevas mediciones de terreno mientras se incrementa el valor de “a” de manera uniforme nos permite determinar la existencia de diversas capas de terreno si graficamos los resultados en una gráfica de ρ contra a , colocando la resistividad del terreno sobre el eje de las Y y la distancia entre electrodos sobre el eje de las X.



a= distancia entre electrodos
b= profundidad de los electrodos

Ilustración 2: Método de cuatro puntos (Wenner)

2.2.2- Método de tres puntos (caída de tensión)

El método de tres puntos o método de caída de tensión se utiliza para realizar la medición de la resistencia a tierra, es decir, la medición de la resistencia de la malla del sistema de puesta a tierra ya instalado, dicho método es uno de los más utilizados para obtener la resistencia de malla de tierra gracias a que tiene la ventaja de ser preciso. El método consiste en utilizar solamente de tres electrodos a diferencia del método de Wenner, dos electrodos se mantienen fijos en el

terreno y uno se desplaza para realizar diversas lecturas, el primero de los electrodos fijos en el terreno es uno de los electrodos del sistema de puesta a tierra instalado al cual se le denomina como electrodo de prueba (C_1), mientras que el segundo es un electrodo auxiliar de corriente (C_2), el cual se fijará en el terreno sobre una línea recta a partir del electrodo de prueba en forma radial o perpendicular, por otra parte, el tercer electrodo se denominará como un electrodo auxiliar de potencial (P_1) y deberá colocarse entre los electrodos C_1 y C_2 . Se pueden presentar variaciones en el electrodo de potencial si se coloca en un área con variaciones de resistencia efectiva a causa de haberse colocado dentro de los diámetros de acoplamiento de los electrodos C_1 y C_2 , para evitar que esto suceda la separación entre los electrodos de C_1 y C_2 debe ser una distancia amplia, superior a los diez metros, pero inferior a los treinta metros.

Una vez colocados los electrodos formando una línea recta y conectados al equipo de medición deberá realizarse distintas mediciones desplazando únicamente el electrodo de potencial y se debe proceder a obtener un promedio para así conocer la resistencia de la malla, sin embargo, algunas de las mediciones pueden llegar a tener un cierto margen de error debido a la proximidad con los electrodos de corriente, a causa de eso diversos autores a través de libros, manuales y normativas especifican que una vez colocados los electrodos de corriente, el electrodo de potencia debe colocarse a una distancia equivalente al 61.8% de la distancia de separación en relación al electrodo de corriente prueba que pertenece a la malla del sistema de puesta a tierra, dicha separación es la más indicada para obtener una medición correcta y con la menor probabilidad de alteración de resultados como lo indica la ilustración 4, cabe mencionar que la resistencia a tierra obtenida debe tener un valor máximo de 25 ohms según lo indica la Norma Oficial Mexicana [1], el valor recomendado debe ser cercano a 10ohms a menos que se trate de instalaciones subterráneas, en dicho caso la resistencia de malla debe ser máximo de 5 ohms [1].

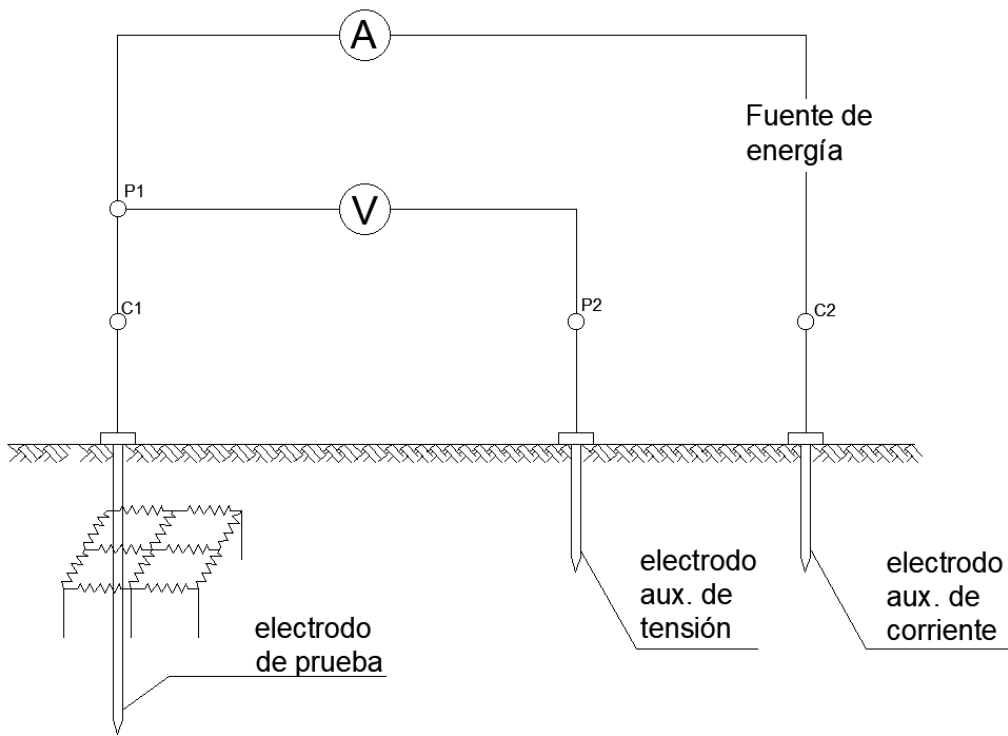


Ilustración 3: Método de tres puntos (caída de tensión)

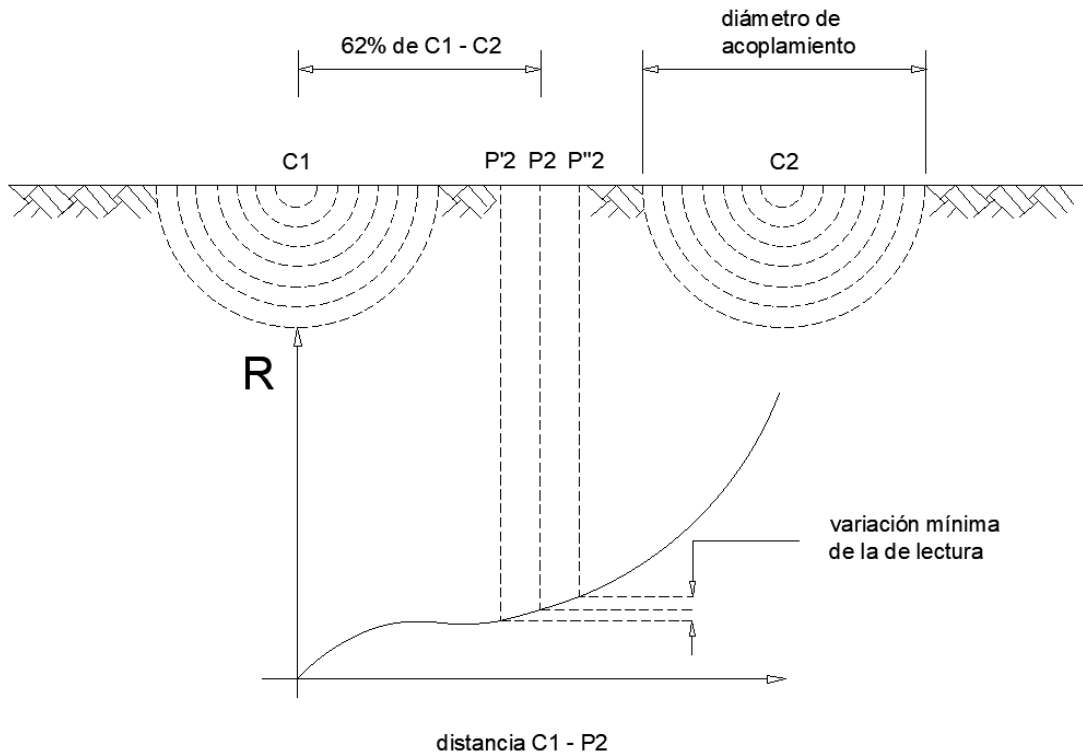


Ilustración 4: Ubicación de la varilla auxiliar de potencial al 61.8% de la distancia

2.3- Equipo para medición y materiales utilizables en puestas a tierra

2.3.1- Telurómetro

Cuando hablamos sobre realizar mediciones tenemos un amplio catálogo de equipo y herramienta dependiendo el tipo de medición que se tenga que realizar, sin embargo, cuando se trata de mediciones de resistencia de terreno y de red de tierras estamos hablando de un equipo conocido como telurómetro, el cual es un equipo digital que cuenta con distintas conexiones para colocar electrodos y pinzas de corriente para poder realizar las mediciones de distintas maneras según el método que se desee utilizar.



Ilustración 5: Telurómetro y componentes para realizar mediciones

En cuanto a equipos de medición de resistencia de terreno contamos solamente con el telurómetro, el cual puede tener diferentes modelos con distintas características dependiendo el fabricante, sin embargo, cuando nos referimos a los elementos que conforman el sistema de tierras contamos con distintas opciones.

2.3.2- Elementos de la malla puesta a tierra

Cable conductor

El cable conductor es el elemento por el cual circulará la corriente a través del sistema de puesta a tierra, puede estar compuesto por cobre, aluminio o aluminio revestido de cobre, dicho conductor debe ser sólido o trenzado, aislado, recubierto o desnudo [3]. Los conductores cubiertos o aislados individualmente deben tener un recubrimiento aislante de color verde o verde

con franjas amarillas y dicho recubrimiento debe ser continuo hasta en su totalidad, exceptuando los puntos de conexión.

Los conductores del sistema de puesta a tierra deben ser seleccionados con base a la corriente y no deben ser de un tamaño diferente al indicado en la tabla 250-122 de la NOM-001-SEDE-2012 [1].

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc., sin exceder de: (amperes)	Tamaño			
	Cobre		Cable de aluminio o aluminio con cobre	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2.08	14	—	—
20	3.31	12	—	—
60	5.26	10	—	—
100	8.37	8	—	—
200	13.30	6	21.20	4
300	21.20	4	33.60	2
400	33.60	2	42.40	1
500	33.60	2	53.50	1/0
600	42.40	1	67.40	2/0
800	53.50	1/0	85.00	3/0
1000	67.40	2/0	107	4/0
1200	85.00	3/0	127	250
1600	107	4/0	177	350
2000	127	250	203	400
2500	177	350	304	600
3000	203	400	304	600
4000	253	500	380	750
5000	355	700	608	1200
6000	405	800	608	1200

Tabla 1. Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos. Tabla 250-122. NOM-001-SEDE-2012

Electrodos

Los electrodos son los elementos que se encuentran enterrados en el suelo y a los cuales se conecta el cable conductor del sistema de puesta a tierra por medio de distintos tipos de conexiones, podemos encontrar distintas opciones en cuanto a la selección de electrodos dependiendo del tipo de instalación en la cual nos encontremos. Los electrodos deben tener propiedades mecánicas y eléctricas adecuadas para poder mantenerse en operación durante un largo periodo de tiempo, los materiales de los cuales están formados dichos electrodos deben tener una buena conductividad y no deben corroerse en un largo periodo de tiempo, por lo tanto, los materiales usados utilizados son cobre, acero galvanizado, acero inoxidable y fierro fundido, por otra parte contamos con el aluminio, sin embargo, a pesar de que podemos llegar a encontrar

electrodos de este material no es recomendable utilizarlo debido a que el aluminio es un material que se corroe con mayor facilidad y esto puede causar que el electrodo llegue a tal punto de quebrarse y no cumplir con su función en el sistema.

Los electrodos pueden tener distintas formas, así como barras verticales o placas, a continuación, se mencionarán de manera general.

Los electrodos en forma de barra son los más comunes que logramos encontrar debido al bajo costo que tienen comparados con los demás tipos de electrodos, además de eso, se usan para alcanzar profundidad y realizar excavación limitada y hacer uso de relleno para bajar la resistividad del terreno. Los electrodos de acero con recubrimiento de cobre se usan cuando la barra se instalará por medios mecánicos ya que el acero cuenta con una buena resistividad mecánica y la capa de cobre debe ser de alta pureza y se debe verificar que esta capa no se deslice al momento de enterrar la barra; cuando se trata de un suelo más agresivo, por ejemplo, un suelo que contiene alto contenido de sal se suelen usar barras de cobre sólido o de acero inoxidable, sin embargo, el uso de una de las dos opciones debe considerarse detalladamente debido a que las barras de acero inoxidable son más anódicas que el cobre y suelen usarse cuando se tiene el riesgo de corrosión galvánica pero debe considerarse que el acero inoxidable tiene una baja capacidad de transporte de corriente a comparación del cobre, es decir, mientras que el uso de electrodos de acero inoxidable nos brinda una mayor protección contra la corrosión, el uso de electrodos de cobre nos brinda una mejor manera de transportar la corriente, lo cual es fundamental para el sistema de puesta a tierra.

Por otra parte tenemos el uso de placas como electrodos, y contamos con dos tipos: las placas tipo enrejado, que se usan para graduar potenciales y se espera que no permitan el paso de niveles de corriente significativos, los materiales de los que se conforma pueden ser cobre o de acero, en paralelo a esto tenemos las placas tipo plancha, las cuales con placas de cobre o fierro fundido y deben tener un mínimo de 2mm de espesor y 912mm por lado manteniendo una forma cuadrada cuando se trata de placas de fierro fundido, mientras que las placas de cobre también deben mantener una forma cuadrada con medidas mínimas de 600mm o 900mm por lado y un espesor entre 1.6mm y 3mm.

Conectores

Los conectores son los elementos que se encargan de unir los electrodos y los cables conductores que forman parte de la malla de puesta a tierra, estos pueden ser conectores mecánicos o conexiones soldadas.

En primer lugar, se hacen mención de los conectores mecánicos, los cuales están formados por dos piezas comúnmente de bronce que sujetan el electrodo con el cable de una manera firme y estable, dicho conector proporciona una alta resistencia mecánica al momento de realizar la instalación o mantenimiento de los mismos por lo tanto esto aumenta su durabilidad, sin embargo, el área de contacto entre el cable conductor y el electrodo no suele ser la mayor posible debido a que no se logra tener un contacto del cien por ciento con la superficie de los mismos.



Ilustración 6: Tipos de conectores mecánicos

Por otra parte, tenemos las conexiones soldadas, las cuales constan de la unión del electrodo con el cable gracias a soldadura específica para sistemas de puesta a tierra, la primera opción con la que contamos es la conexión por soldadura exotérmica, la cual se realiza mediante un molde de grafito diseñado para ajustar el tipo específico de unión y tamaño de los conectores, dentro del molde junto a el cable y el electrodo se coloca una mezcla de polvo de aluminio y óxido de cobre, se enciende con una pistola de pedernal y crea una unión de firme y estable con una mayor área de contacto en comparación con los conectores mecánicos; en segunda estancia tenemos la conexión por soldadura autógena, la cual hace referencia a soldadura por medio de gas o por arco eléctrico, ambas técnicas consisten en unir al electrodo de tierra y el cable conductor gracias a un electrodo de soldadura fundido por alta temperatura. Al unir la los elementos de la malla de tierra por medio de este tipo de soldadura logramos realizar un trabajo sencillo, pero no recomendable debido a que es efectivo para mantener unidos los elementos, pero el área de contacto no es mayor a el área se conexión que se obtiene con la soldadura exotérmica.



Ilustración 7: Conexión por soldadura exotérmica

En la conexión entre el electrodo de tierra y el cable conductor se debe priorizar que el área de contacto entre estos dos elementos sea la mayor posible y del material más adecuado, ya que si la conexión no está formada de la manera correcta no se cumplirá con el objetivo de proteger a los elementos del sistema.

2.3.3- Materiales para bajar la resistividad del terreno

La resistividad del terreno es de suma importancia dado que las corrientes de falla se desviarán hacia los caminos de menor resistencia el suelo de donde encuentra la malla del sistema tiene que ser el camino más óptimo, dicho lo anterior podemos tomar como referencia la tabla que se presenta a continuación [12].

Descripción del suelo	Símbolo	Resistividad medida (ohm – metro)	Resistencia de 15.8mm x 3m varilla (ohm)
Grava bien graduada, grava-arena mezclas, poco o nada de finos	GW	60 000 a 100 000	180 a 300
Gravas mal graduadas, grava-arena mezclas, poco o nada de finos	GP	100 000 a 250 000	300 a 750
Grava arcillosa, mal graduada grava, mezclas de arena y arcilla	GC	20 000 a 40 000	60 a 120
Arenas limosas, mezclas de arenas limosas mal graduadas	SM	10 000 a 50 000	30 a 150
Arenas arcillosas, mezclas de arena arcillosa mal graduadas	SC	5 000 a 20 000	15 a 60
Arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad	ML	3 000 a 8 000	9 a 24

Suelos arenosos o limosos finos, limos elásticos	MH	8 000 a 30 000	24 a 90
Arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	CL	2 500 a 6 000	17 a 18
Arcillas inorgánicas de alta plasticidad	CH	1 000 a 5 500	3 a 16

Tabla 2. Elaboración propia extraída de IEEE Std 142-2007, Tabla 4-2. Resistividad de suelos y resistencia de varillas simples.

La resistividad del suelo varía con la profundidad de la superficie, el tipo de terreno y la concentración de sustancias químicas solubles que se encuentren en dicho lugar, incluso el contenido de humedad y la temperatura del suelo pueden incrementar o disminuir la resistividad del suelo, sin embargo, la humedad y la temperatura del suelo puede variar a lo largo distintos periodos de tiempo, a diferencia del tipo de suelo, el cual no cambia su resistividad de manera natural.

Dicho lo anterior, podemos hacer uso de compuestos químicos como los que se muestran a continuación [8]:

- Bentonita
- Yeso
- Sulfato de cobre
- Cloruro de calcio
- Gel
- Grafito
- Sulfato de magnesio

Estos materiales deben colocarse alrededor de los electrodos enterrados teniendo la función de relleno en el área asignada para el electrodo, ahora bien, se deben tomar distintas consideraciones al momento de colocar como relleno los compuestos químicos anteriormente mencionados [8].

- No se debe utilizar carbón mineral sin molerse.
- No es recomendable utilizar sal común debido a que emigra a capas inferiores.
- No se deben utilizar rebabas o cortes metálicos, ya que causa una aceleración en la oxidación y degradación de los electrodos.
- No es recomendable utilizar yeso o bentonita únicamente como relleno químico, debido a que cuando estos pierden humedad suelen dejar huecos y disminuye la continuidad en la superficie de dispersión de corriente.

El uso de compuestos químicos es una solución activa al problema de los suelos de alta resistividad, para ser efectivo, se debe establecer un plan de mantenimiento regular para garantizar que se logra una puesta a tierra de baja resistencia [12].

Los materiales que se mencionaron con anterioridad son de gran utilidad debido a que usualmente retardan la evaporación de la humedad del suelo, siendo de gran utilidad en épocas prolongadas de estiaje permitiendo conservar la resistividad. A continuación, se muestran las ventajas de los componentes químicos mencionados:

Bentonita

El uso de bentonita para disminuir la resistividad del terreno es uno de los métodos químicos más comunes gracias a que dicho material tiene una baja resistividad aproximada de 5 ohm-metro y no es corrosiva, en adición a esto, puede absorber grandes cantidades de agua logrando expandirse y adherirse de manera eficiente, lo antes mencionado hace que sea utilizada con mayor frecuencia como relleno junto con otros elementos para electrodos profundos.

Sulfato de cobre y sulfato de magnesio

Los sulfatos de cobre y magnesio ayudan a reducir la resistividad del terreno gracias a que estos compuestos tienen una mayor conductividad eléctrica que la sal, además de eso, no emigran a capas inferiores de terreno tan fácilmente.

Cloruro de calcio

El cloruro de calcio tiene la capacidad de estabilizar el pH del suelo, lo cual es de gran utilidad debido a que un suelo con un pH muy ácido suele acelerar la corrosión de los electrodos, en adición a lo anterior, el cloruro de calcio tiene una buena conductividad eléctrica.

Yeso

El yeso cuenta con una baja solubilidad, por lo tanto, su tiempo de desintegración a causa de humedad es amplio, esto y contar con una buena conductividad eléctrica hacen al yeso un buen componente de relleno para electrodos de tierra.

Grafito

El grafito además de ser un buen conductor de electricidad, tiene la capacidad de reducir la corrosión que se pueda generar en el electrodo de tierra, lo cual lo hace un buen componente para formar parte del relleno que se encuentra alrededor del electrodo a tal punto que podemos encontrar en el mercado electrodos de tierra hechos de grafito.

Gel

El uso de gel para sistema de tierras es una alternativa puntual para disminuir la resistencia del terreno, debido a que la diversa cantidad de geles que encontramos en el mercado cuentan con características como ser amigables con el ambiente, no causar corrosión en los electrodos,

disminuir efectivamente la resistencia del terreno, son fáciles de aplicar y tiene una vida útil amplia (aproximadamente un año) que depende del fabricante; estos geles logran reunir una gran cantidad de características positivas gracias que su composición está conformada por algunos de los compuestos químicos antes mencionados.

Capítulo 3. Sistema de puesta a tierra y pararrayos de la FCQel

3.1- Aspectos importantes del sistema de tierras

El sistema de puesta a tierra tiene la función de ser una referencia de voltaje cero dentro del sistema eléctrico, en edición a esto, tiene la importante función de ser el camino de descargar para corrientes de falla y descargas atmosféricas, por lo tanto, dicho camino debe de ser seguro y estar correctamente formado para evitar accidentes. El sistema de tierra actúa de la siguiente manera, cuando ocurre una falla o una descarga atmosférica la corriente debe desviarse por el cable conductor desnudo que forma parte de las instalaciones eléctricas, el cual debe estar conectado a la malla del sistema de puesta a tierra, una vez que la corriente llega a la malla es dirigida al suelo por medio de los electrodos incrustados en el suelo y la corriente se dispersa formando voltajes en forma de anillo también conocidos como equipotenciales.

Cuando la corriente es dispersada por medio de los electrodos se generan distintos voltajes debido a que el suelo tiene una resistividad y según lo indica la ley de ohm el producto de una corriente con una resistencia nos da como resultado una diferencia de potencial, lo mencionado se aprecia en la siguiente ecuación:

$$V = R * I \quad (3)$$

Donde:

V = Diferencia de potencial.

R = Resistencia eléctrica.

I = Corriente eléctrica.

La Ec. (3) nos da como resultado una sola diferencia de potencial, sin embargo, debido a que el suelo tiene una resistividad que aumentara según los metros de distancia con respecto al electrodo obtenemos distintos voltajes, dichos voltajes se generan la forma de anillos y son conocidos como equipotenciales.

Dentro de estos voltajes podemos encontrar el voltaje de paso y el voltaje de toque, los cuales tienen que ver directamente con la protección de las personas que se encuentren caminando alrededor del área correspondiente de la malla de puesta a tierra.

- Voltaje de paso

El voltaje de paso consta de la diferencia de potencia que se encuentre entre los pies de una persona si se encuentra pisando dos equipotenciales al momento de una descarga a tierra, si la diferencia de potencia que circule entre los pies de la persona no es muy alta no causará daños fatales gracias a que la diferencia de potencial se encuentra circulando de un pie hacia el otro sin tocar el corazón.

- Voltaje de toque

El voltaje de toque es más peligroso a comparación del voltaje de paso debido a que dicho voltaje se forma cuando una persona se encuentra tocando con la superficie de la mano una estructura metálica que este recibiendo un equipotencial y al mismo tiempo dicha persona este recibiendo un equipotencial en uno de los pies, de darse el caso existirá una diferencia de potencial entre el brazo y el pie, la cual pasa por el corazón pudiendo causar un daño fatal para la persona si el voltaje de toque es elevado.

Cuando se diseña un sistema de tierras se tiene que procurar que los voltajes de paso y de toque sean muy bajos, dichos voltajes deben encontrarse dentro de un rango tolerable para el ser humano, para que estos voltajes sean bajos dependerá de la resistencia del terreno, que puede ser bajada gracias a tratamientos químicos y la resistencia de la puesta a tierra o resistencia del sistema, que puede ser bajada gracias al tipo de electrodo y la geometría de la malla.

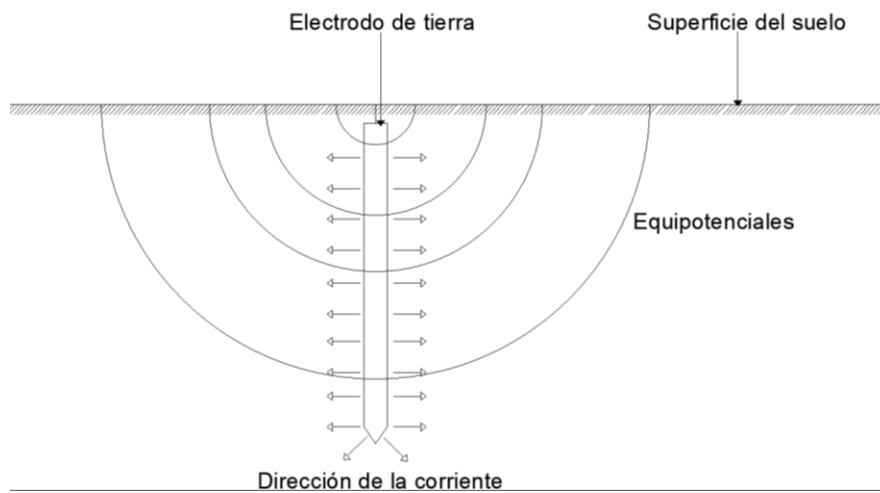


Ilustración 8: Representación de los equipotenciales en el suelo

Dado que la corriente eléctrica descargada por medio de los electrodos se realiza de una manera singular, cabe mencionar que la correcta dispersión de la misma dependerá directamente del terreno donde se encuentre colocada la malla, la dispersión de la corriente dependerá de la resistividad del terreno, la cual varía ampliamente dependiendo la zona donde nos localizamos, influyen factores como la temperatura del terreno, la composición que presente, la granulometría, la humedad, la estratigrafía y la cantidad de sales que este pueda llegar a tener. La composición del terreno será la determinante que define la resistividad del mismo, aspectos como la composición del terreno y la granulometría, la cual se refiere a el tamaño de los granos de tierra que conforman el terreno, son de suma importancia ya que un terreno compacto presenta una baja resistividad debido a que aumenta el contacto entre los granos de tierra que forman el terreno, de igual modo, los granos de terreno deben tener dimensiones pequeñas para poder ser compactados de una mejor manera y además de eso lograr una mayor retención de humedad, la cual se mantendrá por un mayor tiempo causando que la resistividad del terreno se mantenga baja y constante.

Diversos factores que determinan la composición del terreno pueden ser mejorados para así lograr una baja resistividad del terreno y mantener seguro nuestro sistema eléctrico y al personal que lo opera, sin embargo, existe otro factor el cual no podemos controlar de manera directa e influye en la resistividad, el cual es la temperatura del terreno, a medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y se logra apreciar de una mejor manera cuando la temperatura llega a los 0°C, debido a que la cantidad de agua en el terreno entra a un estado de congelación causando el incremento de la resistividad.

3.2- Diseño del sistema de tierras por método elemento finito

Uno de los métodos más eficientes en cuanto a diseño de mallas de sistema de puesta a tierra es el método de elemento finito, el cual es un método numérico que se basa en la solución de ecuaciones diferenciales para poder diseñar mallas con geometrías irregulares, a diferencia de la normativa IEEE 80 [5] la cual se limita a diseños de mallas por medio de cuadrículas en forma de T, L o cuadrados grandes, el uso del método de elemento finito nos permite realizar un diseño más eficiente debido a que se basa en las inyecciones de corriente de cada elemento infinitesimal que conforma un cable y por ende se logra aprovechar el área del suelo con la forma irregular que este puede llegar a tener, además de eso, dicho método toma en cuenta la no uniformidad

de las capas del terreno, es decir, la resistividad del terreno en las diferentes capas que lo conforman.

El diseño de un sistema de puesta a tierra por medio del método de elementos finitos suele realizarse por medio de software computacional a través de programas ya distribuidos como puede ser el software llamado “Electrical Transient and Analysis Program” o “ETAP” por sus siglas, dicho software tiene la capacidad de realizar los cálculos correspondientes con base a el diseño de malla que el usuario establezca, los cuales son el voltaje de paso y voltaje de toque estimado y resistencia de la malla, en edición a esto, nos permite observar las gráficas del voltaje de toque y voltaje de paso, para así determinar la seguridad del sistema al ver las zonas de mayor y menor riesgo.

3.3- Conexión a tierra de equipos

Los equipos eléctricos y electrónicos usados por los estudiantes y trabajadores de la FCQel comúnmente cuentan con clavijas aptas para 127v, las cuales contienen tres terminales y son la terminal de fase, la terminal de neutro y la terminal de tierra, la terminal de tierra tiene la finalidad de desviar la corriente eléctricas a causa de fallas que se puedan llegar a presentar, dicha terminal tiene una forma distinta en comparación de las otras terminales y es de suma importancia debido a lo mencionado anteriormente, sin embargo, en algunos casos se puede llegar a notar en instalaciones de hogares algunos contactos que no cuentan con la ranura para la terminal de conexiona tierra, haciendo que los usuarios adopten la idea de que la terminal distinta a las demás no tiene importancia, haciendo uso de adaptadores que eliminan la conexión de esta terminal o llegando a casos extremos, los usuarios cortan la terminal para así poder conectar sus equipos de manera común.

Por otra parte, dentro de las instalaciones de la FCQel todos los contactos o tomas de corriente cuentan un espacio designado para la conexión de la terminal de tierra, inclusive podemos clasificarlo en contactos comunes, los cuales son de color blanco y contactos regulados o contactos de tierra aislada, los cuales son de color naranja y presentan el símbolo de una delta a un costado de la conexiona a tierra.

3.3.1- Conexión a tierra de equipos eléctricos

La conexión a tierra de equipos eléctricos hace referencia los contactos comunes de color blanco que se encuentran dentro de los edificios 35 y 36 ubicados en oficinas, aulas y mesas de trabajo de los laboratorios, estos contactos son para uso general de equipos eléctricos sin importar la

función de los mismos, cuentan tres ranuras, una ranura para terminal de fase, una ranura para neutro y una ranura para terminal de tierra, cabe mencionar que la terminal de tierra en estos contactos está conectada a un conductor de tierra desnuda, la cual se encuentra desnuda a través de las canalizaciones hasta llegar al tablero.

El cable de tierra desnuda es un método de protección para los usuarios y equipos, se encuentra dicha manera para poder disipar de manera rápida las corrientes no deseadas a través del posible contacto con muros, tubería metálica y las cajas de registro de las instalaciones, es recomendable conectar a tierra la caja metálica donde se realiza la instalación de contactos como una medida de seguridad para los usuarios.

3.3.2- Conexión a tierra de equipos electrónicos

La conexión a tierra de equipos electrónicos hace referencia a los contactos de color naranja que se encuentran en los edificios 35 y 36 ubicados en los centros de cómputo principalmente, estos contactos son conocidos como regulados o de tierra aislada y son para uso específico de equipos electrónicos debido a que suelen ser sensibles a ruido eléctrico o que pueden trabajar a altas frecuencias, este tipo de contactos cuentan con tres ranuras, una ranura es para terminal de fase, una ranura para neutro y una ranura para terminal de tierra aislada, la terminal de tierra aislada está conectada a un cable de tierra con aislamiento color verde que llega a un tablero correspondiente a los contactos.

El cable usado como “cable de tierra aislada” se usa en contactos para equipos sensibles debido a que este evita que se reciban señales no deseadas o corrientes parasitas que puedan provenir de los cables de tierra desnuda a través de la instalación eléctrica, sin embargo, estos contactos también deben contar con una tierra desnuda, pero esta no se encuentra conectada a una de las terminales, sino que se encuentra conectada a la parte metálica inferior del contacto donde se encuentra el tornillo para fijarlo a la caja registro, la diferencia entre ambas conexiones de tierra radica en que la tierra desnuda se encarga de brindar protección al usuario e instalación en caso de fallas y la tierra aislada se encarga de filtrar el ruido.

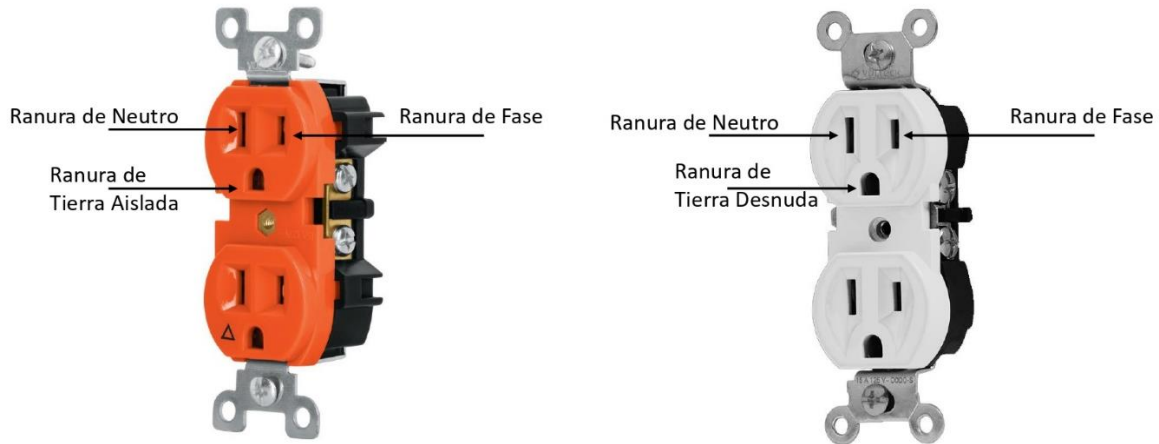


Ilustración 9: Contactos de tierra aislada y tierra desnuda

3.4- Sistema de pararrayos de la FCQel

Un sistema de pararrayos es un sistema de protección contra descarga eléctricas atmosféricas, el cual está compuesto por un conjunto de elementos cuya función es interceptar, conducir y disipar en forma eficiente la corriente de rayo [2], los pararrayos están descritos por la siguiente definición:

“Pararrayos; Terminal aérea: Los elementos metálicos cuya función es ofrecer un punto de incidencia para recibir la descarga atmosférica [2].”

El sistema de pararrayos de la FCQel está compuesto por terminales áreas conocidas como puntas Franklin, las cuales se encuentran en la cima de los pararrayos ubicados sobre los techos de los edificios 35 y 36, dichos pararrayos están conectados entre sí por medio de cable de cobre desnudo que a su vez baja por medio de tubo de PVC color verde desde el techo hacia la planta baja de los edificios para conectarse a la malla de puesta a tierra, cabe mencionar que por cada pararrayos instalado se encuentra una bajada del conductor cerca de la zona donde se encuentra instalado el pararrayos, además eso, el sistema de pararrayos cuenta con contadores de descargas atmosféricas instalados en algunas de las bajadas del conductor que se encuentran en la planta baja.

Para conocer el grado de protección presente en los pararrayos instalados en la FCQel podemos hacer uso del método de la esfera rodante, el cual consiste en rodar una esfera imaginaria sobre la superficie de la instalación que se desea proteger, en este caso a los edificios 35 y 36, dicho

método se utiliza cuando se realiza la instalación de los pararrayos para así poder conocer el lugar donde se instalaran cada uno de ellos, primero se coloca la esfera imaginaria por fuera del edificio y se gira para que realice contacto con la estructura, en este primer punto se coloca un pararrayos, después de eso se coloca nuevamente la esfera rodante en la punta del primer pararrayos y desplaza hacia la superficie a proteger, en el punto donde la esfera imaginaria tenga contacto con la zona a proteger se colocará otro pararrayos y el proceso se repite hasta cubrir toda la zona.

Cabe mencionar que las dimensiones de la esfera se determinan utilizando la Tabla 2 y la Tabla 3 de la normativa ANCE [13] correspondiente a la protección contra tormentas eléctricas, las cuales se encuentran dentro del Anexo D.

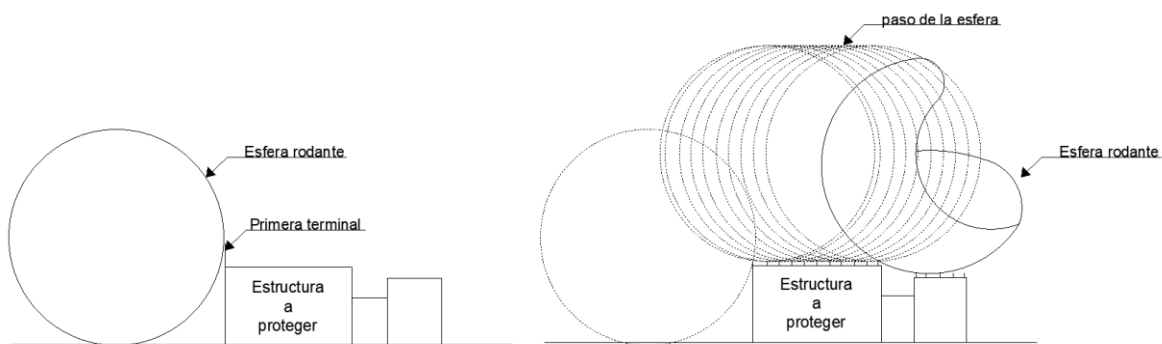


Ilustración 10: Aplicación del método de la esfera rodante para definir la altura y posición de pararrayos

3.4.1- Estado físico de los pararrayos de la FCQel

Los edificios 35 y 36 cuentan con el mismo sistema de pararrayos debido a que en el techo de ambos edificios se localizaron seis pararrayos en las mismas ubicaciones y conectados de la misma manera, en la siguiente imagen se aprecia su ubicación.



Ilustración 11: Ubicación de los pararrayos por medio de una imagen satelital obtenida de Google Maps

En la Ilustración 11 se logra apreciar que la FCQel cuenta con doce pararrayos colocados de manera estratégica para tener la mayor zona de protección posible, los pararrayos instalados están conformados por una punta captadora o cabezal denominada como punta Franklin, un mástil dividido en dos secciones, una base metálica que sujeta el mástil a la superficie, cable conductor de cobre y componentes de retenida como cable de acero, tensores, armellas, sujeta cables y argollas; todos los componentes ya mencionados se encuentran en cada uno de los doce pararrayos instalados.

Los pararrayos se localizan en el techo de las instalaciones de la FCQel y para este caso en particular es necesario recalcar que a pesar de encontrarse expuestos a intemperie no presentan un alto grado de oxidación, la oxidación presente se encuentra en los sujeta cables y conexiones mecánicas presentes de una manera superficial, el mástil de dos secciones, las puntas captadoras y el cable de acero presentan una oxidación casi nula, a diferencia de la base que da soporte al mástil las armellas, las cuales presentan oxidación más notable pero no muy avanzada.



Ilustración 12: Fotografía del pararrayos P8 perteneciente a la FCQel

En la fotografía mostrada se logra apreciar a uno de los pararrayos y algunos de sus componentes, dichos componentes se aprecian de una manera más clara dentro del Anexo B.

3.5- Sistema de puesta a tierra de la FCQel

Dentro de las instalaciones eléctricas de los edificios 35 y 36, correspondientes a la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería se cuenta con cables de conexión a tierra tanto desnuda como aislada, dichos cables inician su trayectoria en los contactos que se encuentran dentro de las aulas, oficinas y laboratorios, siendo conectados a la barra de conexión a tierra del tablero correspondiente, posterior a eso, el cable de tierra llega a la barra de conexión a tierra de los tableros principales de cada edificio y da por finalizada su trayectoria cuando se conecta a la malla del sistema de puesta a tierra. Dicho brevemente, la malla que forma el sistema de puesta a tierra está enlazada a todos los equipos conectados dentro de los edificios 35 y 36 para así

poder proteger el sistema y los equipos en caso de fallas, en adición a esto, el sistema de pararrayos también está conectado a la misma malla formando una protección muy amplia para tanto usuarios como equipos.

La Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería cuenta con dos mallas de puesta a tierra que corresponden a los edificios 35 y 36 respectivamente, dichas mallas cuentan con 19 electrodos de tipo varilla interconectados en el edificio 35 y 20 electrodos de tipo varilla interconectados en el edificio 36, dichos electrodos de puesta a tierra se encuentran distribuidos a lo largo del perímetro de cada uno de los edificios, se encuentran conectados entre sí por medio de cable de cobre desnudo y unido por medio de soldadura exotérmica, a excepción de los cables de tierra aislada, los cuales se encuentran unidos a la malla gracias a un conector mecánico, si bien es cierto que diversos autores por medio de libros, manuales y normas internacionales hacen la recomendación de separar la conexión a tierra de equipos eléctricos diversos y pararrayos de la conexión a tierra de equipos de cómputo o equipos que operen con circuitos electrónicos sensibles al ruido eléctrico colocando una malla de tierras específica para equipos de cómputo y telecomunicaciones que puede tener características distintas a una malla puesta a tierra convencional, una vez hecha la revisión de las mallas de puesta a tierra de la FCQel se logra apreciar que los cables de tierra de distintos tipos se encuentran unidos al mismo sistema, es decir, los cables conductores de tierra desnuda, cables de tierra aislada y cables de pararrayos están conectados entre sí al estar unidos en la misma malla respectiva a cada edificio, sin embargo, dentro de la NOM-001-SEDE-2012 [1] se puede encontrar dentro de su sección 250-50 que todos los electrodos de puesta a tierra descritos en la sección 250-52 deben estar unidos entre sí formando un único sistema de puesta a tierra, para ser precisos en la sección 250-52 punto a), numeral 5) se especifica a los electrodos de varilla y tubería, de igual modo, retomando la sección 250-50, dicho apartado cuenta con la siguiente nota:

“NOTA: En el terreno o edificio pueden existir electrodos o sistemas de tierra para equipos de cómputo, pararrayos, telefonía, comunicaciones, subestaciones o acometida, apartarrayos, entre otros, y todos han de conectarse entre sí [1].”

Por lo tanto, según lo establecido por la Norma Oficial Mexicana, las mallas de puesta a tierra de los edificios 35 y 36 son aptos en su totalidad para su uso, siempre y cuando el valor de resistencia a tierra obtenido por lectura de edición con telurómetro o por medio de cálculos no sea mayor a 25 ohms, según lo especificado en la Norma [1].

3.5.1 Estado y ubicación de los electrodos

Los edificios 35 y 36 cuentan con una distribución similar de electrodos de puesta a tierra teniendo en cuenta la cantidad y ubicación de estos, el arreglo de electrodos de cada edificio tiene similitudes como el tipo de varilla que se encuentra instalado, las cuales son varillas copperweld colocadas dentro de registros en el suelo con tapas metálicas, a simple vista no podemos conocer la longitud de cada una de estas varillas, sin embargo, podemos suponer que los electrodos cuentan con una longitud estándar de dos punto cuarenta y cuatro metros debido a que en la sección 250-52 de la NOM-001-SEDE-2012 [1] se establece que los electrodos de puesta a tierra tipo varilla y tubería deberán contar con una longitud mínima de 2.44 metros. Los electrodos se encuentran distribuidos de manera no uniforme alrededor de los edificios, es decir, la distancia de separación entre estos no es la misma debido a que por medio de mediciones obtenidas con una cinta métrica se registraron separaciones máximas de veintinueve punto setenta metros y separaciones mínimas de dos punto dos metros a excepción del electrodo registrado como 4A en la tabla 4, dicho electrodo está separado del electrodo registrado como 3A por una distancia de uno punto tres metro, lo cual no cumple con los criterios mínimos de separación establecidos en la sección 250-53 [1], la cual establece que los electrodos del sistema de puesta a tierra no deben estar separados por menos de 1.80 metros. Dentro del código eléctrico nacional (NEC) podemos encontrar que las dimensiones mínimas de los electrodos tipo varilla son 2.44 m (8 pies) de longitud y 21 mm de diámetro (3/4" en tamaño comercial), teniendo una separación mínima de 1.80 metros sin definir una distancia máxima.

A continuación, se muestra una foto satelital de la FCQel mostrando la localización de cada uno de los electrodos de puesta a tierra, cabe mencionar que la posición mostrada no es la ubicación exacta de los electrodos debido a que la gran mayoría de los estos se encuentran dentro de los pacillos laterales de la planta baja de los edificios, sin embargo, más adelante en este capítulo se muestra el plano de conexión del sistema de puesta a tierra mostrando la localización de cada uno de los electrodos.



Ilustración 13: Ubicación de los electrodos de la FCQel por medio de una imagen satelital

A continuación, se muestran tablas de información correspondiente a los electrodos del sistema de puesta a tierra de los edificios 35 y 36, los cuales son los edificios A y B de la FCQel respectivamente, dicha información contiene la cantidad de cables conectados a cada electrodo y el tipo de cable de los mismos.

Nombre del electrodo	Total de cables conectados	Cables comunes de la malla	Cables de tierra aislada	Cables de pararrayos
1B	3	3	0	0
2B	2	2	0	0
3B	3	3	0	0
4B	4	3	0	1
5B	3	3	0	0
6B	2	2	0	0
7B	3	2	0	1
8B	2	2	0	0
9B	3	2	0	1
10B	2	2	0	0
11B	2	2	0	0
12B	2	1	0	1
13B	3	3	0	0
14B	4	3	1	0
15B	2	2	0	0
16B	3	3	0	0
17B	4	3	0	1
18B	1	1	0	0
19B	4	3	0	1

Tabla 3. Cantidad y tipo de cables conectados a los electrodos del edificio 35, edificio B de la FCQel

Nombre del electrodo	Total de cables conectados	Cables comunes de la malla	Cables de tierra aislada	Cables de pararrayos
1A	3	3	0	0
2A	2	2	0	0
3A	6	4	1	1
4A	2	2	0	0
5A	3	3	0	0
6A	3	3	0	0
7A	4	3	0	1
8A	4	3	1	0
9A	2	2	0	0
10A	3	3	0	0
11A	4	3	0	1
12A	3	3	0	0
13A	4	3	0	1
14A	2	2	0	0
15A	3	3	0	0
16A	4	3	0	1
17A	2	2	0	0
18A	4	3	0	1
19A	3	3	0	0
20A	2	2	0	0

Tabla 4. Cantidad y tipo de cables conectados a los electrodos del edificio 36, edificio A de la FCQel

Una vez mostradas las tablas anteriores se puede observar la cantidad de electrodos que conforman las mallas de los edificios 35 y 36 y gracias a la cantidad de cables conectados que presenta cada electrodo se puede crear una idea de la posible conexión de los mismos, por otra parte, cabe mencionar que las mallas no se encuentran en un buen estado en su totalidad, debido a que algunos de los electrodos están quebrados a causa de corrosión e incluso otros ya presentan oxido en el exterior de las conexiones y los cables que unen, además de eso comienza a formarse una costra de color negro en la superficie de los electrodos que posteriormente comienza a aumentar su tamaño y deteriorando el estado del electrodo a causa de corrosión.

En las siguientes tablas ha realizado un registro de los electrodos similar al anterior, sin embargo, a diferencia de las tablas previas a continuación se muestra el tipo de conexión que presentan los electrodos, el estado físico del electrodo y observaciones en las cuales se mencionan características como las zonas que presentan oxido y el estado de los cables conductores.

Nombre del electrodo	Tipo de conexión	Estado físico del electrodo	Observaciones
1B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior al igual que las conexiones de soldadura y los cables
2B	Soldadura exotérmica	Quebrado	El electrodo se encuentra quebrado, al contorno presenta una costra negra, la conexión y el cable presentan oxidación
3B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior, las conexiones de soldadura y los cables tienen amplia oxidación

4B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior al igual que las conexiones de soldadura y los cables
5B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior al igual que las conexiones de soldadura y los cables
6B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo tiene una costra negra en su exterior y tanto la conexión como el cable presentan amplia oxidación
7B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo cuenta con una costra negra en su alrededor, la conexión junto con el cable presenta poca oxidación
8B	Soldadura exotérmica	Quebrado	El electrodo se encuentra quebrado, al contorno presenta una costra negra, la conexión y el cable presentan oxidación
9B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo cuenta con una costra negra en su alrededor, la conexión junto con el cable presenta poca oxidación
10B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior al igual que las conexiones de soldadura y los cables
11B	Soldadura exotérmica	Quebrado	El electrodo cuenta con una costra negra en su alrededor, la conexión junto con el cable presenta amplia oxidación
12B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo se encuentra en buen estado y presenta poca oxidación, la conexión presenta poca oxidación
13B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo se encuentra en buen estado y presenta poca oxidación, las conexiones presentan poca oxidación
14B	Soldadura exotérmica y mecánica	Entero	El electrodo se encuentra en buen estado y presenta poca oxidación, este electrodo tiene una conexión mecánica correspondiente al cable de tierra aislada
15 B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo se encuentra en buen estado y presenta poca oxidación, la conexión presenta poca oxidación
16B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo se encuentra en buen estado y presenta poca oxidación, la conexión presenta poca oxidación
17B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo se encuentra en buen estado y presenta poca oxidación, una de las conexiones de cable hacia el electrodo se encuentra rota casi en su totalidad
18B	Soldadura exotérmica	Quebrado	El electrodo se encuentra quebrado, al contorno presenta una costra negra, la conexión y el cable presentan oxidación
19B	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior al igual que las conexiones de soldadura y los cables

Tabla 5. Registro del estado físico de los electrodos del edificio 35, edificio B de la FCQel

Nombre del electrodo	Tipo de conexión	Estado físico del electrodo	Observaciones
1A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior al igual que las conexiones de soldadura y los cables
2A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo cuenta con una costra negra en su alrededor, la conexión junto con el cable presenta poca oxidación
3A	Soldadura exotérmica y mecánica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior, las conexiones los cables oxidación en su exterior, este electrodo tiene una conexión mecánica correspondiente al cable de tierra aislada
4A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior al igual que las conexiones de soldadura y los cables
5A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior, las conexiones y los cables presentan oxidación en su exterior
6A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo cuenta con una costra negra en su alrededor, la conexión junto con el cable presenta poca oxidación

7A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo cuenta con una costra negra en su alrededor, la conexión junto con el cable presenta amplia oxidación
8A	Soldadura exotérmica y mecánica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior, las conexiones los cables oxidación en su exterior, este electrodo tiene una conexión mecánica correspondiente al cable de tierra aislada
9A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo cuenta con una costra negra en su alrededor, la conexión junto con el cable presenta poca oxidación
10A	Soldadura exotérmica	Quebrado	El electrodo se encuentra quebrado, al contorno presenta una costra negra, la conexión y el cable presentan oxidación
11A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo cuenta con una costra negra en su alrededor, la conexión junto con el cable presenta amplia oxidación
12A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo cuenta con una costra negra en su alrededor, la conexión junto con el cable presenta poca oxidación, la conexión se encuentra quebrada casi en su totalidad
13A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior, las conexiones y los cables presentan oxidación en su exterior
14A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior, las conexiones y los cables presentan oxidación en su exterior
15A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior al igual que las conexiones de soldadura y los cables
16A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior al igual que las conexiones de soldadura y los cables
17A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior al igual que las conexiones de soldadura y los cables, este electrodo es el único electrodo que cuenta con láminas para su mejor disipación de la corriente
18A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta poca oxidación en su exterior, las conexiones y los cables presentan oxidación en su exterior
19A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta amplia oxidación en su exterior, las conexiones y los cables presentan oxidación en su exterior
20A	Soldadura exotérmica	Entero	El electrodo presenta amplia oxidación en su exterior, las conexiones y los cables presentan oxidación en su exterior

Tabla 6. Registro del estado físico de los electrodos del edificio 36, edificio A de la FCQel

Una vez analizada la información contenida en las tablas, podemos observar que las mallas de puesta a tierra de la FCQel requieren de un mantenimiento correctivo en los electrodos que se encuentran quebrados y en los que presentan una oxidación avanzada, los electrodos quebrados no brindan una protección debido a que ya los cables conductores de la malla que se encuentran en ese punto no están conectados al terreno, si no que ahora debe tomarse en cuenta como un punto de conexión de los conductores.

En la tabla 3 y tabla 4 se divide el total de cables conectados en tres secciones para facilitar su comprensión, los cables comunes de malla hacen referencia a los cables de cobre desnudo que forman la interconexión entre los electrodos y que además de eso provienen de los tableros principales de cada edificio, por otra parte tenemos los cables provenientes de las conexiones de los pararrayos, los cuales tienen un trenzado distinto a los cables comunes de malla debido que no están conformados de un cable grueso trenzado compuesto de alambres gruesos de cobre, sino que está formado por varios alambres de cobre delgados trenzados entre sí que a su

vez forman un cable más grueso trenzando los cables delgados entre sí formando un cable de calibre similar al conductor común de la malla, de igual modo se encuentra el cable de tierra aislada que corresponde a el cable de tierra de los tableros correspondientes a los centros de cómputo y los cuartos de telecomunicaciones de los edificios 35 y 36, el cable de tierra aislada se conecta a la malla de puesta a tierra por medio de un conector mecánico como ya se mencionó con anterioridad, el tipo de conector es similar al mostrado en la ilustración 6 ubicado en la esquina inferior derecha, mientras que el cable conductor común de la malla y el cable trenzado de los pararrayos se encuentran unidos por soldadura exotérmica.

A continuación, se muestran fotografías que muestran el estado físico de algunos de los electrodos de los edificios 35 y 36, las fotografías correspondientes a cada uno de los electrodos registrados en la tabla 5 y la tabla 6 se encuentran en el Anexo A para ser observadas de una manera más apropiada.

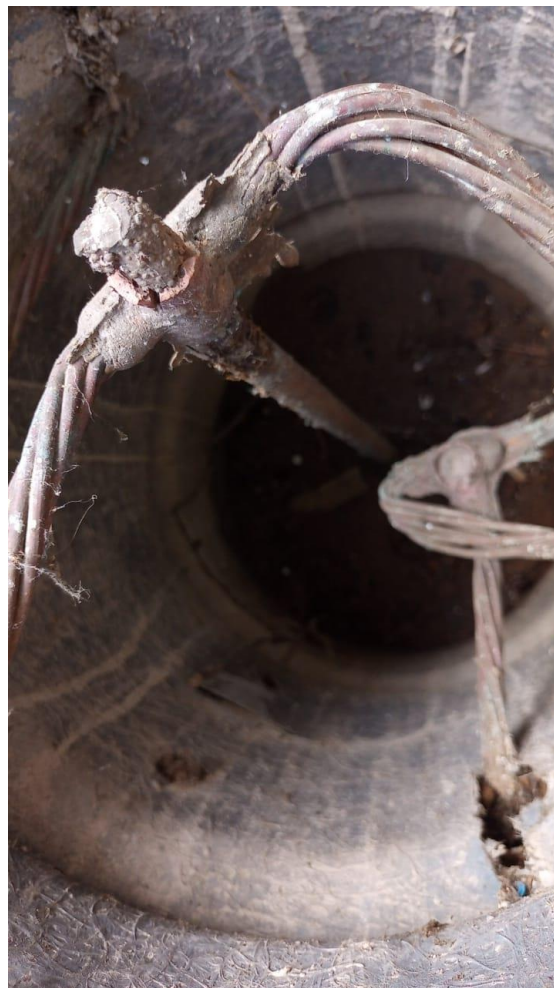


Ilustración 14: Electrodo 5B



Ilustración 15: Electrodo 18B



Ilustración 16: Electrodo 6A



Ilustración 17: Electrodo 8A

3.5.2- Medición de la resistividad del terreno

Cuando se realiza el diseño de un sistema de puesta a tierra o se planea dar darle mantenimiento al mismo es de suma importancia realizar una serie de mediciones de resistividad al terreno donde se encuentra malla, conocer este dato nos indicará el estado en el cual se encuentra el terreno y si es apto o no para realizar la instalación de los electrodos de puesta a tierra, en caso de ya contar con una malla instalada, las mediciones nos indicaran si re requiere de un mantenimiento al terreno, dicho de otra manera, nos indicará si debemos o no bajar la resistividad del terreno por medio las zonas donde se encuentran los registros de los electrodos de puesta a tierra.

Tomando en cuenta el razonamiento anterior, se realizaron tres series de mediciones con dos telurómetros distinto para obtener la resistividad de terreno donde se encuentran ubicadas las mallas de puesta a tierra de los edificios 35 y 36. La primera medición se realizó el día viernes 21 de octubre del año 2022 a las dieciséis horas con cincuenta y un minutos, utilizando el telurómetro “MEGGER DET5/4D” obtenido de las instalaciones del Taller Multidisciplinario Básico (TAMULBA).

Utilizando el método de Wenner, el equipo nos entrega la lectura de la resistencia del terreno medida en ohms, y mediante el uso de la formula mostrada en la Ec. (2) se obtiene la resistividad del terreno medida en ohm-metro, dicho lo anterior, los resultados pueden apreciarse en la siguiente tabla.

No. De medición	Separación entre electrodos (m) [a]	Resistencia del terreno (ohms) [R]	Resistividad del terreno (ohms-metro) [$p=2*\pi*a*R$]
1	4 m	1.5 Ω	37.699 $\Omega - m$
2	5 m	0.35 Ω	10.99 $\Omega - m$
3	6 m	0.43 Ω	16.2106 $\Omega - m$
4	7 m	0.27 Ω	11.87 $\Omega - m$
5	8 m	0.92 Ω	46.244 $\Omega - m$
6	9 m	0.78 Ω	44.10 $\Omega - m$
7	10 m	0.63 Ω	39.58 $\Omega - m$
8	11 m	1.5 Ω	103.67 $\Omega - m$
9	12 m	0.51 Ω	38.453 $\Omega - m$
10	13 m	0.5 Ω	40.84 $\Omega - m$

Tabla 7: Resistividad del terreno por método Wenner utilizando el equipo Megger DET5/4D (primera medición)

Una vez que se obtuvo la tabla anterior se procede a obtener un promedio de las distintas resistividades del terreno debido a la que no homogeneidad del mismo, la cual resulta ser de

38.965 ohm-metro dando como resultado una resistividad favorable para la malla de puesta a tierra.

La segunda medición se realizó el día lunes 31 de octubre del año 2022 a las once horas con treinta minutos utilizando el telurómetro “FLUKE 1623-2 EARTH/GROUND TESTER GEO” obtenido de las instalaciones de la FCQel, la siguiente tabla muestra las mediciones obtenidas mediante el método de Wenner.

No. De medición	Separación entre electrodos (m) [a]	Resistencia del terreno (ohms) [R]	Resistividad del terreno (ohms-metro) [$\rho=2*\pi*a*R$]
1	4 m	0.57 Ω	14.325 $\Omega - m$
2	5 m	0.28 Ω	8.798 $\Omega - m$
3	6 m	0.19 Ω	7.162 $\Omega - m$
4	7 m	0.13 Ω	5.717 $\Omega - m$
5	8 m	0.12 Ω	6.032 $\Omega - m$
6	9 m	0.101 Ω	5.712 $\Omega - m$
7	10 m	0.63 Ω	39.58 $\Omega - m$
8	11 m	0.64 Ω	44.233 $\Omega - m$
9	12 m	0.143 Ω	10.781 $\Omega - m$

Tabla 8: Resistividad del terreno por método Wenner utilizando el equipo FLUKE 1623-2 (segunda medición)

Al igual que en la primera medición se obtiene una tabla donde se realiza el registro de las resistividades del terreno en diferentes mediciones y debe obtenerse un promedio debido a que el terreno no es homogéneo en su totalidad, el promedio resulta ser de 15.815 ohm-metro dando como resultado una vez más una resistividad favorable para la malla de puesta a tierra.

La tercera medición se realizó el día jueves 3 de noviembre del año 2022 a las trece horas con ocho minutos utilizando el telurómetro “FLUKE 1623-2 EARTH/GROUND TESTER GEO” al igual que la segunda medición, la siguiente tabla muestra las mediciones obtenidas mediante el método de Wenner.

No. De medición	Separación entre electrodos (m) [a]	Resistencia del terreno (ohms) [R]	Resistividad del terreno (ohms-metro) [$\rho=2*\pi*a*R$]
1	4 m	1.67 Ω	41.97 $\Omega - m$
2	5 m	1.67 Ω	52.46 $\Omega - m$
3	6 m	1.52 Ω	57.30 $\Omega - m$
4	7 m	1.38 Ω	60.69 $\Omega - m$
5	8 m	1.22 Ω	61.323 $\Omega - m$
6	9 m	1.16 Ω	65.59 $\Omega - m$
7	10 m	0.80 Ω	50.26 $\Omega - m$
8	11 m	0.30 Ω	20.73 $\Omega - m$

Tabla 9: Resistividad del terreno por método Wenner utilizando el equipo FLUKE 1623-2 (tercera medición)

Al igual que la primera y segunda medición debe obtenerse un promedio de la resistividad del terreno, la cual es en este caso de $51.29 \Omega - m$, este tercer registro de mediciones resulta tener un promedio superior a las mediciones anteriores debido a que se realizó de una manera más eficiente en cuanto a la distribución de los electrodos auxiliares, es decir, los electrodos de posicionaron en distintos lugares para así obtener una medición las precisa del terreno, ya que a diferencia de las primeras dos mediciones, la tercera medición se realizó en diferentes sitios dentro del terreno sin pasar dentro de la malla mientras que la primera y segunda medición se realizó a los costados de la malla para así poder medir dentro de las jardineras de la FCQel.

Cabe mencionar que los resultados de las mediciones son distintos a causa de factores que influyen en el terreno como puede ser la temperatura y la humedad presente o incluso el estado físico del equipo, dichos factores se mencionan de manera más abundante en un apartado de comparativa de resultado que se muestra más adelante.

3.5.3- Medición de la resistencia de la malla

La medición de la resistencia de la malla nos indicará si la resistencia del sistema de puesta a tierra es el correcto o no, en caso de dar un valor muy alto en comparación al valor esperado se deberá emplear estrategias como bajar la resistividad del terreno por medio de métodos químicos o agregar electrodos a la malla, inclusive se pueden realizar conexiones adicionales entre los electrodos ya presentes para poder bajar la resistencia de la malla, siempre y cuando se realicen de la manera las optima.

Se realizaron dos mediciones de resistencia de malla a los edificios 35 y 36 utilizando el método de caída de tensión o método de los tres puntos, utilizando los equipos mencionados anteriormente. La primera medición se obtuvo el día miércoles 26 de octubre de 2022, a las once horas con treinta minutos, utilizando el telurómetro “MEGGER DET5/4D” obtenido de las instalaciones del Taller Multidisciplinario Básico (TAMULBA).

Las mediciones de malla obtenidas de registraron en la siguiente tabla.

Edificio de la FCQel	Distancia entre el electrodo de prueba y electrodo auxiliar de corriente	Distancia entre el electrodo de prueba y el electrodo de auxiliar de tensión (61.8% de la distancia)	Resistencia de la malla medida
A	10 m	6.18 m	4.3Ω
B	10 m	6.18 m	5.7Ω

Tabla 10: Resistencia de malla de los edificios A y B utilizando el equipo Megger DET5/4D

La Tabla 10 indica los resultados de una única medición de resistencia malla a cada uno de los edificios de la FCQel, no se pudieron realizar más mediciones a causa del estado físico del equipo.

La segunda medición se realizó el día lunes 31 de octubre del año 2022 a las catorce horas con quince minutos utilizando el telurómetro “FLUKE 1623-2 EARTH/GROUND TESTER GEO” obtenido de las instalaciones de la FCQel, la siguiente tabla muestra las mediciones obtenidas mediante el método de caída de tensión o de los tres puntos.

Edificio de la FCQel	Numero de medición	Distancia entre el electrodo de prueba y electrodo auxiliar de corriente	Distancia entre el electrodo de prueba y el electrodo de auxiliar de tensión (61.8% de la distancia)	Resistencia de la malla medida
A	1	10 m	6.18 m	0.524 Ω
A	2	12 m	7.41 m	0.321 Ω
A	3	14 m	8.65 m	0.431 Ω
A	4	16 m	9.88 m	0.368 Ω
A	5	18 m	11.12 m	0.250 Ω
A	6	20 m	12.36 m	0.196 Ω
B	1	10 m	61.8 m	1.076 Ω
B	2	12 m	7.41 m	0.257 Ω
B	3	16 m	9.88 m	1.96 Ω
B	4	22 m	13.59 m	0.045 Ω

Tabla 11: Registro de mediciones de resistencia de malla utilizando el equipo FLUKE 1623-2

Edificio de la FCQel	Promedio de resistencia de malla
A	0.348 Ω
B	0.834 Ω

Tabla 12: Resistencia promedio de malla a los edificios A y B

Una vez que se realizaron distintas mediciones de resistencia de malla se realizó el cálculo del promedio de la resistencia de malla de cada edificio para poder así obtener la medida más aproximada a la resistencia real, los cuales se indican en la Tabla 12, a continuación, se muestra la comparativa de los resultados obtenidos con cada uno de los equipos de medición.

3.5.4- Comparativa de resultados de medición

Cuando realizamos algún tipo de medición, ya sea eléctrica como en este caso o de otro cualquier tipo, podemos llegar a tener cierto margen de error al momento de medir, por lo general, la mayoría de los equipos de medición suelen tener indicado un margen de error de $\pm 5\%$ en su placa de datos o instructivo, al mismo tiempo, podemos llegar a realizar mediciones erróneas a

causa de factores que no podemos controlar, por ejemplo, la temperatura ambiente, la humedad del aire, la presión atmosférica o incluso el estado físico del equipo. Lo antes mencionado es la causa de realizar diversas mediciones de resistividad de terreno y resistencia de malla con diversos equipos de medición.

- *Estado físico del equipo Megger DET5/4D*

El Telurómetro obtenido del Taller Multidisciplinario Básico para realizar las mediciones registradas en las Tablas 7 y 10 se encuentra funcional y presenta una placa que indica su fecha de calibración, la cual fue durante el mes de octubre del año 2008, sin embargo, el equipo no se encuentra en condiciones ideales para su uso debido a que es un equipo que ha estado presente en las instalaciones durante un amplio periodo de tiempo y ha sido utilizado por distintos usuarios, a causa de eso el equipo presenta daños en el conector de la batería causante de falsos contactos al momento de su uso arrojando mediciones distintas cuando se mide en un mismo punto, además, el equipo presenta daños mecánicos en los conectores presentes en los cables que unen el equipo con los caimanes que se conectan a los electrodos auxiliares al momento de realizar las diversas mediciones; los daños mecánicos presentes son rayaduras en las puntas y conectores del equipo e incluso uno de los conectores presenta un menor grosor en comparación a los demás a causa de daños por mal uso. Algunos de los daños menores que presenta el equipo son rayaduras y dobleces en los electrodos auxiliares debido al uso e incluso presentan poca oxidación.

- *Estado físico del equipo FLUKE 1623-2*

El telurómetro obtenido de la FCQel para realizar las mediciones registradas en las Tablas 8, 9 y 11 se encuentra en perfecto estado, debido a que a diferencia del equipo anterior este telurómetro no se ha utilizado, es decir, dicho equipo está nuevo y no había sido utilizado hasta antes de las mediciones registradas anteriormente. El equipo se encontraba dentro de una maleta que contenía un telurómetro, cuatro electrodos auxiliares, cables para conectar los electrodos, con el equipo, caimanes, pinzas de corriente y cables auxiliares para diversas funciones. El equipo no presenta alguna fecha de calibración como el equipo Megger DET5/4D pero al ser nuevo se puede asimilar que se encuentra en el estado más óptimo para realizar mediciones.

- *Factores que influyen en las mediciones*

Un punto muy importante a tomar en cuenta es la fecha y la hora en la cual se utilizó cada uno de los quipos, debido a que las condiciones ambientales pueden no ser las mismas y factores como la humedad del suelo son determinantes al momento de realizar mediciones de este tipo.

El equipo Megger DET5/4D se utilizó por primera vez el día viernes 21 de octubre del año 2022 a las dieciséis horas con cincuenta minutos y se utilizó por segunda vez el día miércoles 26 de octubre de 2022 a las once horas con treinta minutos, en los cuales se registraron los siguientes datos meteorológicos:

Registro meteorológico del 21 de octubre del año 2022:

Temperatura máxima:	27°C	Temperatura mínima:	16 °C
Humedad máxima:	100%	Humedad mínima:	47.6%
Presión máxima:	1022 hPa	Presión mínima:	1017 hPa

Registro meteorológico del 26 de octubre del año 2022:

Temperatura máxima:	27°C	Temperatura mínima:	18 °C
Humedad máxima:	100%	Humedad mínima:	57.6%
Presión máxima:	1022 hPa	Presión mínima:	1016 hPa

El equipo FLUKE 1623-2 se utilizó por primera vez el día lunes 31 de octubre del año 2022 a diferentes horarios que se encuentran dentro de las once y quince horas del presente día y se utilizó por segunda vez el día 3 de noviembre del mismo año, en dichos días se registraron los siguientes datos meteorológicos:

Registro meteorológico del 31 de octubre del año 2022:

Temperatura máxima:	28°C	Temperatura mínima:	16 °C
Humedad máxima:	93.6%	Humedad mínima:	39.6%
Presión máxima:	1021 hPa	Presión mínima:	1016 hPa

Registro meteorológico del 3 de noviembre del año 2022:

Temperatura máxima:	29°C	Temperatura mínima:	16 °C
Humedad máxima:	88.2%	Humedad mínima:	37.4%
Presión máxima:	1025 hPa	Presión mínima:	1018 hPa

Cabe mencionar que la humedad máxima y mínima son mayores en los días que se presentaron lluvias, siguiendo esta lógica, el registro meteorológico del día 3 de noviembre presenta una menor humedad registrada a causa de la falta de lluvia el día anterior.

- *Mediciones realizadas a tomar en cuenta*

Una vez analizado los registros meteorológicos de los días en los cuales se realizaron las mediciones se puede concluir que las mediciones tendrían que ser muy similares en el caso de primera y segunda medición ya que no hubo cambios drásticos en la humedad y temperatura ambiente, y en el caso de la tercera medición si tiene que ser distinta la medición debido a que ese día se registró una menor humedad, además de eso, la primera y segunda medición se realizó en el área donde se encuentran los electrodos de tierra colocados en las jardineras, las cuales se mantienen húmedas constantemente a causa de riego y la tercera medición se realizó en zona que presenta humedad debido a lluvias solamente debido a que en dicha zona no se encuentran jardineras.

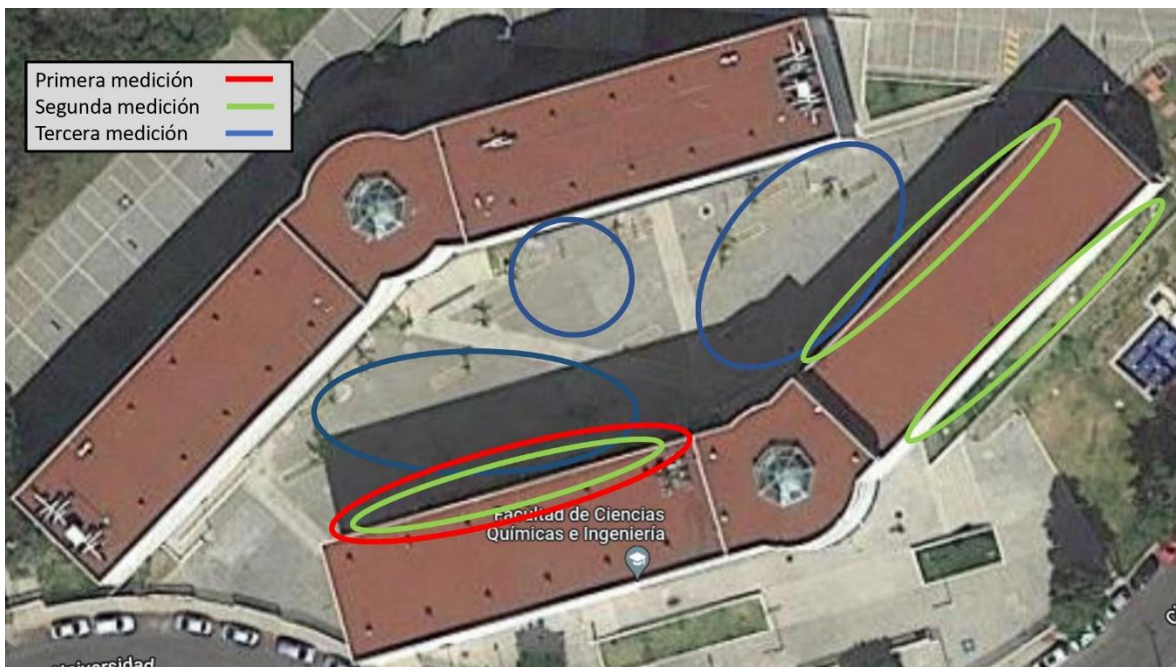


Ilustración 18: Zonas donde se realizaron las mediciones de resistividad de terreno

En relación con lo anterior, tenemos que tener en cuenta que el equipo Megger DET5/4D cuenta con daños físicos en distintas partes, recalcando la el falso contacto que se encuentra en la zona de conexión de la batería se puede suponer que las mediciones realizadas con dicho equipo no son correctas, por lo tanto, se tomará en cuenta que las mediciones realizadas con el equipo FLUKE 1623-2 son las mediciones correctas de resistividad de terreno y resistencia de la malla,

por ende, la resistividad del terreno tomada en cuenta será el promedio obtenido en la Tabla 9, la cual es el resultado de la tercera medición.

Cabe mencionar que dichas mediciones resultaron favorables para el sistema de puesta tierra debido a la presencia de constantes lluvias durante este periodo de tiempo y como resultado el terreno se mantuvo con una buena cantidad de humedad, sin embargo, durante épocas del año donde las lluvias sean menos frecuentes la resistividad del suelo incrementará considerablemente.

3.5.5- Simulación de la posible conexión de electrodos

Una vez conocida la ubicación de cada uno de los electrodos que conforma la malla de puesta a tierra de los edificios 35 y 36 y la resistividad del terreno podemos realizar una simulación mediante software computacional para determinar diversos aspectos de cada una de las mallas de puesta a tierra, así como los voltajes de toque y voltajes de paso tolerables dentro de la malla indicando los puntos con un mayor y menor riesgo, sin embargo, debemos tener en cuenta que una simulación representa un caso ideal del funcionamiento de la malla, se considera un terreno ideal que cuenta con temperatura y humedad igual a lo largo del terreno, incluso se considera un terreno homogéneo en cuanto a sus capas de terreno y minerales presentes en el mismo, estos factores influyen directamente cuando la malla de puesta a tierra actúa como protección a causa de una falla.

Aun teniendo en cuenta lo mencionado, la simulación de la malla de puesta a tierra nos es de gran utilidad para determinar las gráficas de voltaje de paso y voltaje de toque que indican las zonas de mayor riesgo a lo largo de la malla y así poder determinar la seguridad con la que cuentan los usuarios. A continuación, se muestran algunos factores a tomar en cuenta para el desarrollo de la simulación.

- *Diseño de la malla y conexión de los electrodos*

Al momento de realizar el diagrama de conexión de los electrodos, es decir, el diagrama de la malla de puesta a tierra, debemos tener en cuenta la distancia de cable conductor que une a cada uno de los electrodos del sistema, para esto es necesario contar con el plano eléctrico de la malla de puesta a tierra de los edificios 35 y 36, lamentablemente al no contar con un plano eléctrico o algún documento técnico que indique características como las dimensiones de los

electrodos, dimensiones de los cables conductores que unen los electrodos y la forma en la que están conectados estos mismos solo podemos realizar suposiciones para realizar la simulación.

En el caso de las dimensiones de los electrodos de la malla se supondrán las especificaciones mínimas indicadas en la NOM-001-SEDE-2012 [1], las cuales indican que los electrodos tipo varilla deben contar con una longitud mínima de 2.44m y un diámetro de 21mm, igualmente el conductor se supondrá con un calibre 4/0, en el caso de la longitud de cada uno de los cables no se puede saber con exactitud dicha distancia, sin embargo, para poder realizar la simulación se tomara como longitud del conductor la distancia de separación entre los registros como una distancia mínima de conexión. Un último punto importante es la forma en la que están conectados los electrodos entre sí, al no contar con el plano eléctrico del sistema de puesta a tierra no podemos realizar la simulación, sin embargo, se tomara en cuenta una conexión entre los electrodos formando el perímetro de cada uno de los edificios.

Cabe mencionar que se realizará la simulación de cada una de las mallas de puesta a tierra tomando en cuenta lo anterior sabiendo que son las características mínimas permitidas para formar una malla de puesta a tierra y así poder obtener las gráficas de voltaje de toque y voltaje de paso más aproximadas a la realidad, por lo tanto, el diagrama de conexión que se utilizará solamente en una posible conexión de los electrodos junto con el cable conductor y las posibles características de los mismos.

- *Electrodos dañados*

Al momento de realizar la simulación de la malla de puesta a tierra se toma en cuenta que los electrodos se encuentran en su estado más óptimo posible, es decir, todos los electrodos se encuentran en perfecto estado y las conexiones entre estos se encuentran realizadas de la manera correcta, en edición a esto, el relleno de cada uno de los registros se encuentra a la misma distancia de la superficie del terreno, sin embargo, en el Anexo A se puede apreciar el estado físico de cada uno de los electrodos de las mallas, alguno electrodos cuentan con poco grado de oxidación en su exterior mientras que otros cuentan con un grado muy alto, llegando al punto de estar quebrados a causa de corrosión así como se muestra en las Tablas 6 y 5 en el apartado de observaciones. Los electrodos que se encuentran quebrados no se colocaran en la simulación, pero se colocara el conductor en ese punto debido que a pesar de que el electrodo se encuentra quebrado, la conexión por soldadura exotérmica se encuentra ahí formando una unión de cable entre la malla.

- *Resistividad del terreno*

La resistividad del terreno que se tomará en cuenta para realizar la simulación será la obtenida mediante la tercera medición, lo cual se encuentra justificado en la sección 3.5.4- Comparativa de resultados de medición. Cabe recalcar que dicha medición se ve afectada por la humedad presente en el suelo, y por lo tanto el resultado de la simulación puede cambiar según las mediciones que se utilicen y cuando hayan sido obtenidas.

Una vez que se tiene en cuenta lo mencionado en los tres puntos anteriores procedemos a realizar la simulación de la malla de puesta a tierra, los pasos a seguir para realizar dicha simulación de encuentran dentro del Anexo C de una manera detallada, a continuación, se explica de manera breve mostrando los resultados.

Dentro del software “Electrical Transient and Analysis Program” o “ETAP” por sus siglas, realizamos el diagrama de conexión de la malla de puesta a tierra colocando los electrodos y sus conexiones entre los mismos, insertando las características de los cables conductores y los electrodos, los cuales son el material del cual están hechos, el diámetro, la longitud y la distancia a la que se encuentran separados de la superficie del mismo, posterior a eso procedemos a colocar las mediciones de resistividad de terreno como se muestra en la imagen a continuación.

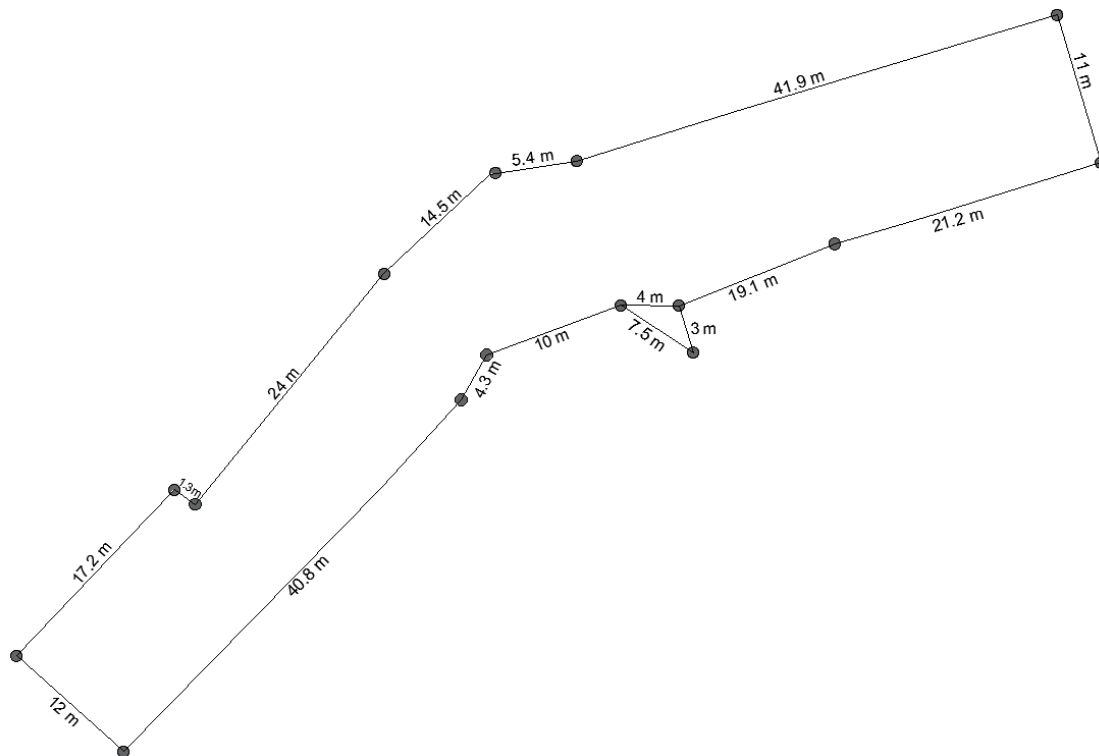


Ilustración 19: Diagrama propuesto de la malla de puesta a tierra el edificio 35

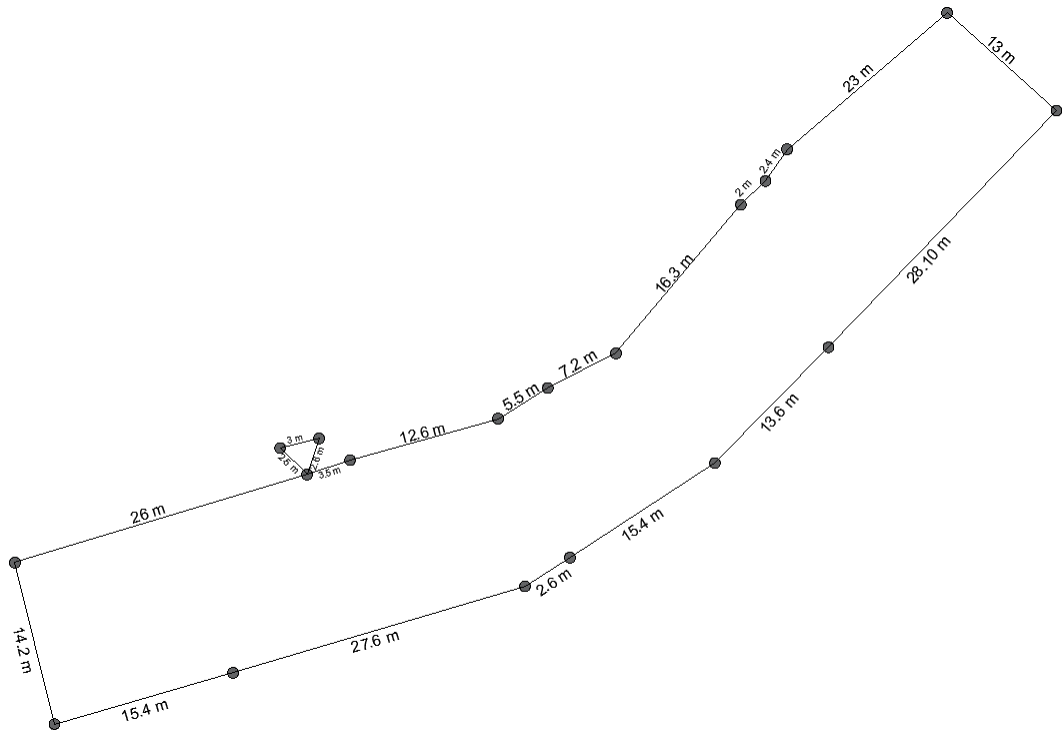


Ilustración 20: Diagrama propuesto de la malla de puesta a tierra del edificio 36

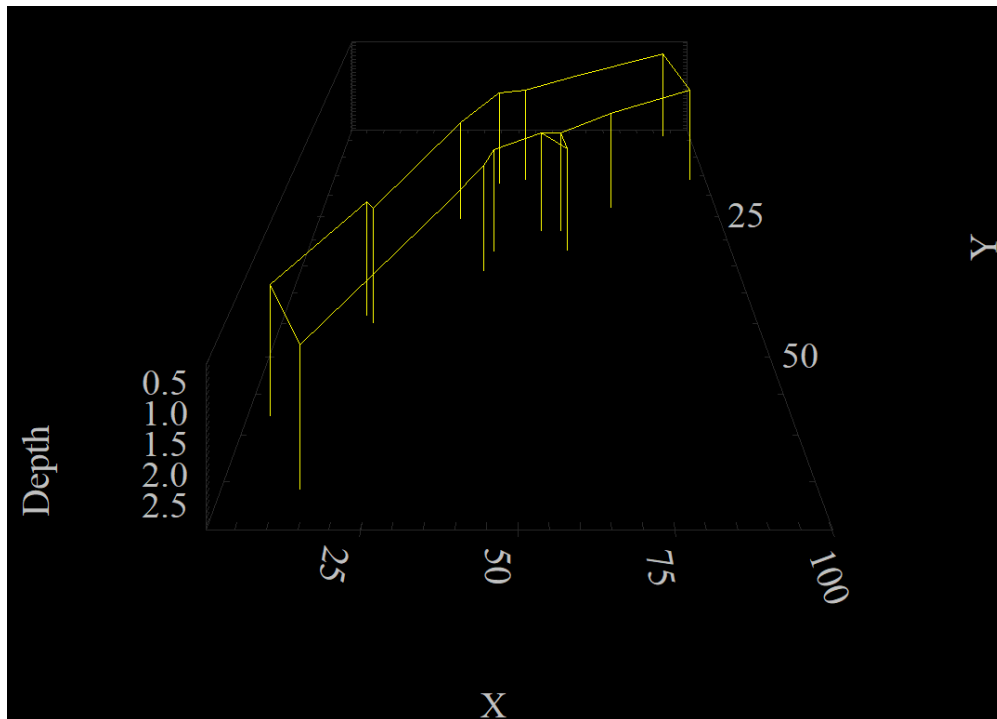


Ilustración 21: Modelo 3D de la malla de puesta a tierra del edificio 35

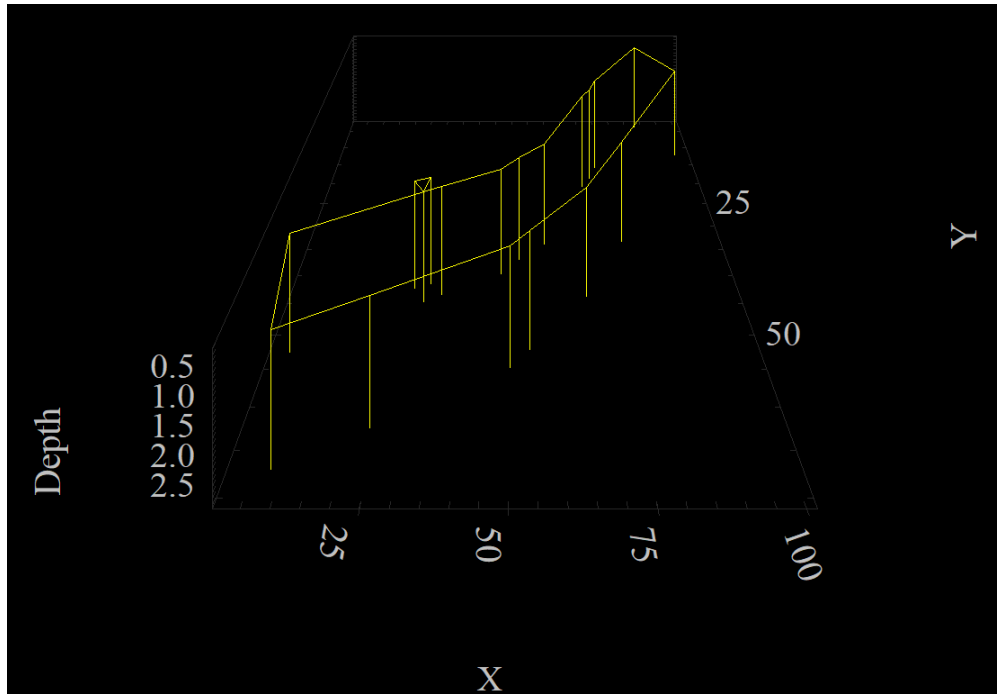


Ilustración 22: Modelo 3D de la malla de puesta a tierra del edificio 36

Soil Editor

Info Analysis

	Active	Probe Distance (m)	Measured Resistivity (ohm-m)	Calculated Resistivity (ohm-m)	Error %
1	<input checked="" type="checkbox"/>	4.000	41.970	54.905	-30.82
2	<input checked="" type="checkbox"/>	5.000	52.464	51.624	1.60
3	<input checked="" type="checkbox"/>	6.000	57.302	47.908	16.39
4	<input checked="" type="checkbox"/>	7.000	60.690	44.041	27.43
5	<input checked="" type="checkbox"/>	8.000	61.323	40.246	34.37
6	<input checked="" type="checkbox"/>	9.000	65.590	36.671	44.09

Unit:
 Resistance (ohms)
 Resistivity (ohm-m)

Update:
 Resistivity Tolerance: %

Max Iteration:
 Precision:

Top Layer:
 Depth: m
 Resistivity: ohm-m

Lower Layer:
 Resistivity: ohm-m

RMS Error: %

Ilustración 23: Registro y cálculo de resistividad de terreno por medio del software ETAP

Dentro del software colocamos las mediciones obtenidas mediante el método de Wenner, después de eso, el software realiza una serie de cálculos que nos indican la resistividad del suelo calculada con el porcentaje de error respectivo, incluyendo también la resistividad y profundidad de la primera y segunda capa del terreno tomando en cuenta las mediciones realizadas en campo. Por otra parte, también se genera una gráfica que indica que nos indica el registro de la resistividad medida a lo largo de la distancia de prueba, en adición a esto el software coloca la gráfica de la resistividad calculada, cabe mencionar que los cálculos que realiza el software se hacen siguiendo la normativa IEEE 80 [5] siguiendo el modelo de suelo de dos capas por el método gráfico, el cual utiliza la tabla Pa/P1 contra a/h utilizadas para determinar la resistividad aparente.

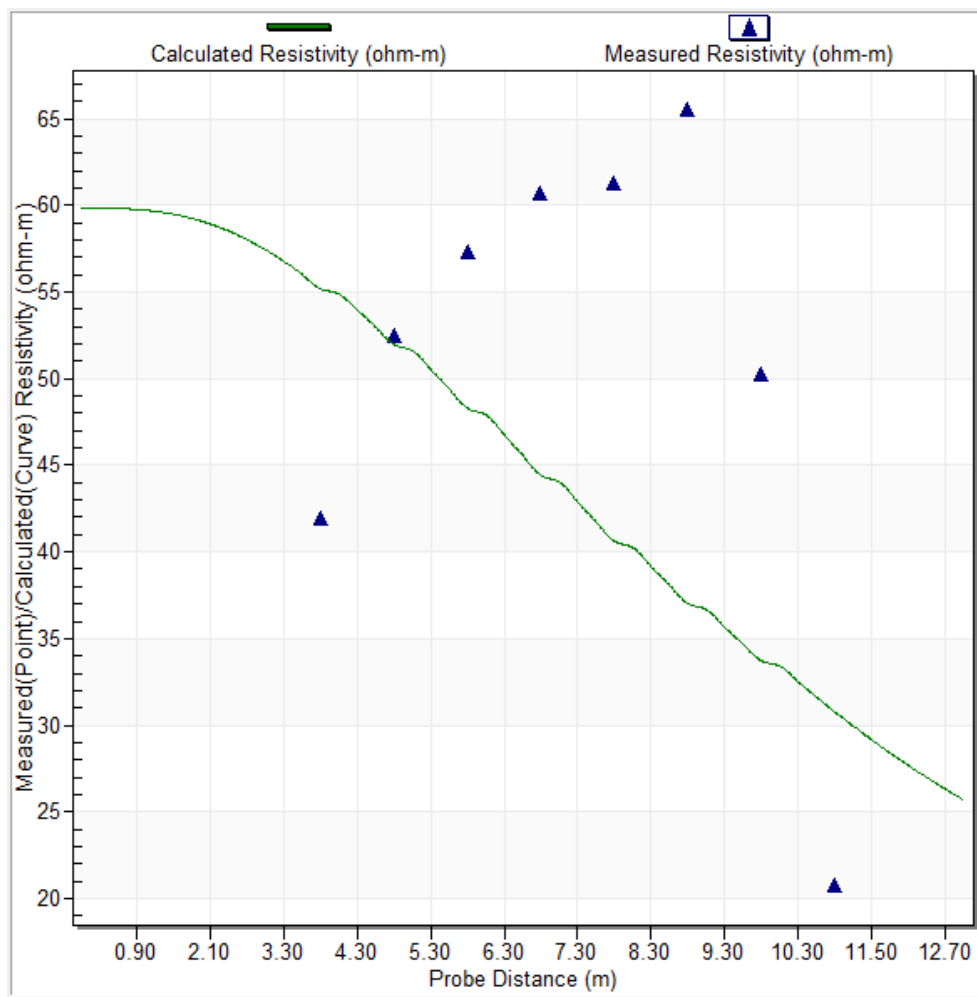


Ilustración 24: Gráfica de distancia de prueba contra resistividad medida y calculada

Posterior a eso se crea un caso de estudio para definir parámetros que definirán los voltajes de paso y voltajes de toque, dichos parámetros son la corriente de corto circuito calculada, peso

promedio de las personas, temperatura ambiente, tiempo de liberación de la falla y el tiempo en el cual deben actuar los interruptores; estos datos se registran en ventana mostrada a continuación.

GRD Study Case Editor

Study Case

Study Case ID: GRD2

Options: Weight: 50 kg, 70 kg; Ambient Temperature: 40 °C

Method: Finite Element, IEEE 80 - 2000/2013, IEEE 80 - 1986, IEEE 665 - 1995

Reports & Plots: Auto Display Summary & Alert, Report Details; Plot Step: 1; Boundary Extension: 0

Update: # of Conductors and Rods (Optimization)

Fault Durations: tf: 0.5 Sec, tc: 0.5 Sec, ts: 0.5 Sec

Ground Short-Circuit Current: User Specified, Ifg: 12.15 kA, X/R: 1; Short-Circuit Study

Grid Current Factors: Sf: 100 %, Cp: 100 %

Remarks 2nd line

< GRD2 > Help OK Cancel

Ilustración 25: Ventana de registro de parámetros para los edificios 35 y 36

Después del registro de parámetros se prosigue a realizar el análisis de los datos, los resultados obtenidos se muestran mediante una nueva ventana en la cual obtenemos los valores de voltaje de toque y voltaje de paso calculados, así como su localización en el plano y la resistencia promedio (R_g) de cada electrodo, la ventana cuenta con un apartado que nos indica si alguno de los voltajes ha sido excedido, así como se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 26: Resultados del análisis de los datos de la malla de puesta a tierra del edificio 35

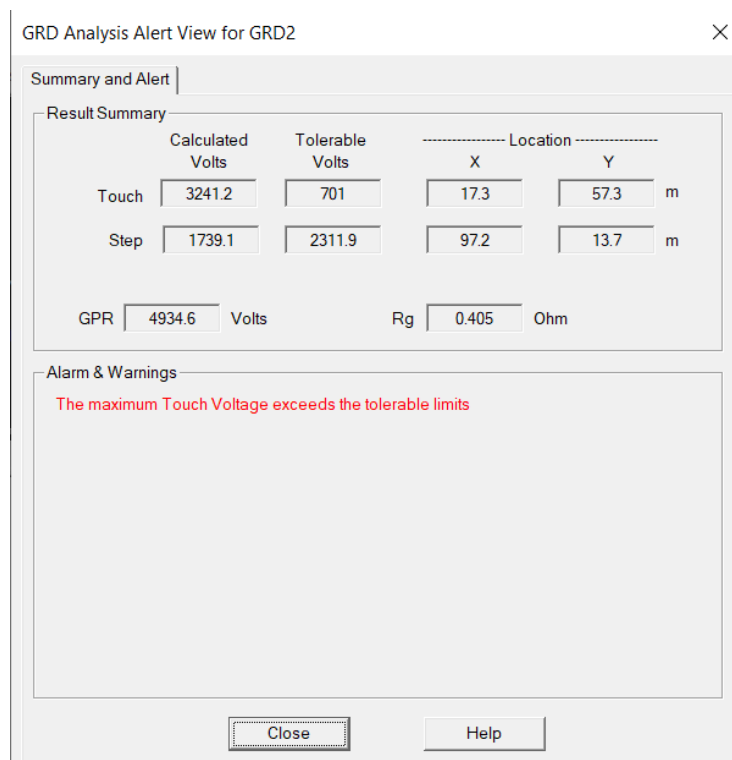


Ilustración 27: Resultados del análisis de los datos de la malla de puesta a tierra del edificio 36

Una vez que se obtienen los resultados de los análisis de malla respectivos a cada uno de los edificios podemos obtener las gráficas de voltaje de toque y voltaje de paso para proceder a analizarlas.

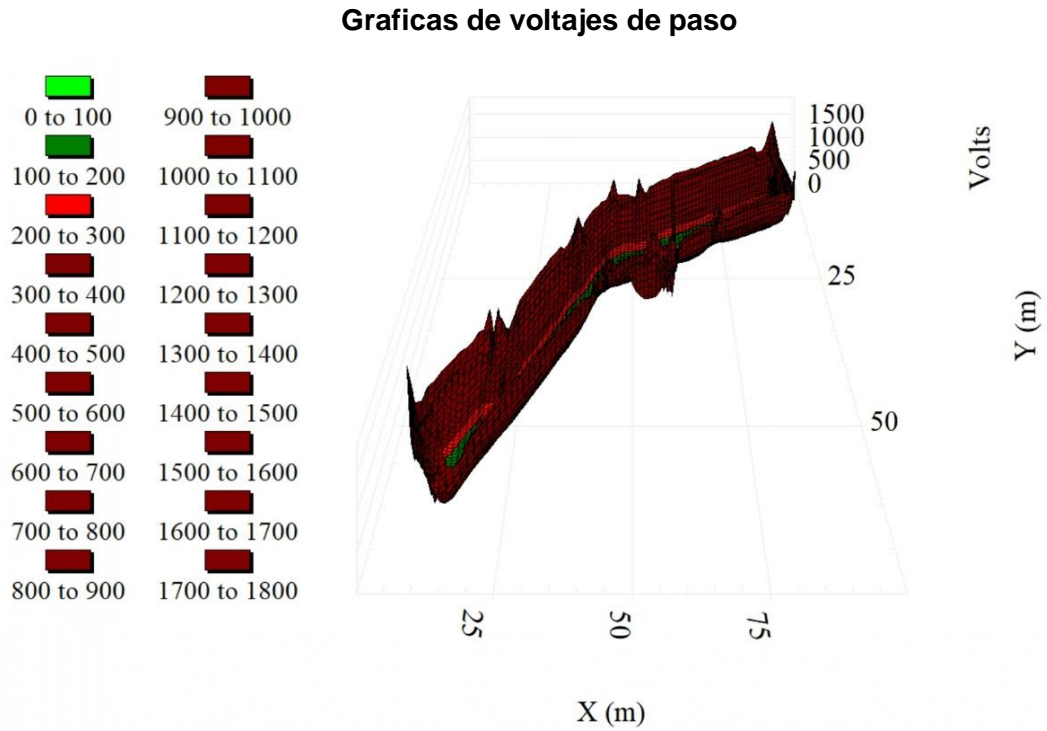


Ilustración 28: Grafica de voltaje de paso del edificio 35

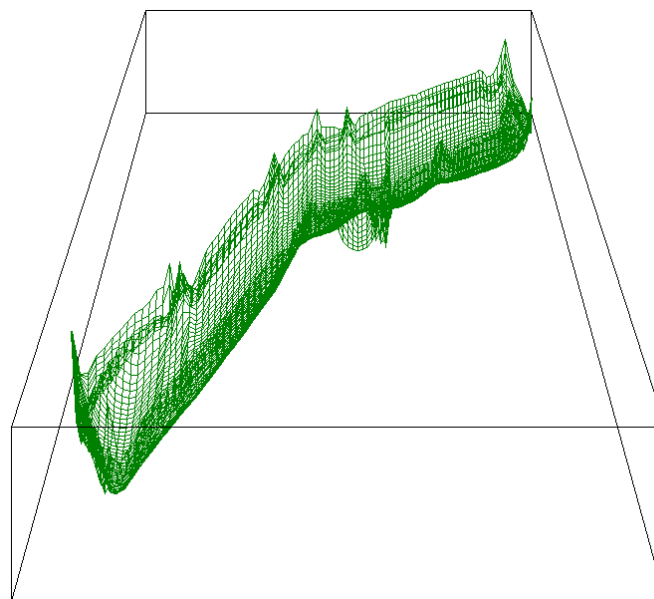


Ilustración 29: Grafica de voltaje de paso del edificio 35 con transparencia

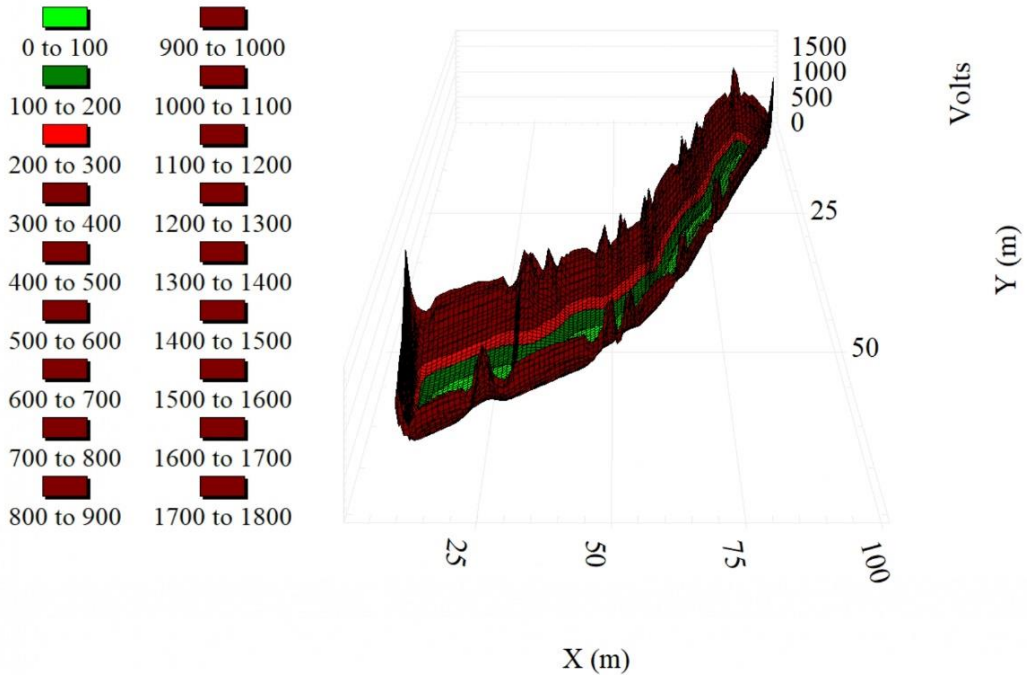


Ilustración 30: Grafica de voltaje de paso del edificio 36

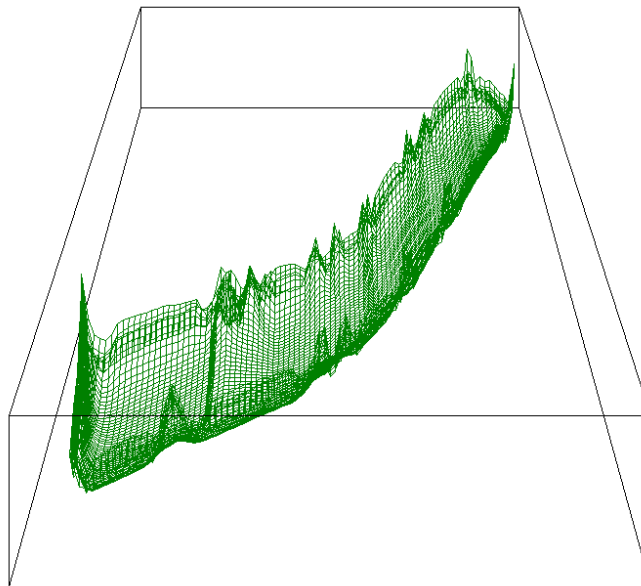


Ilustración 31: Grafica de voltaje de paso del edificio 36 con transparencia

Graficas voltaje de toque

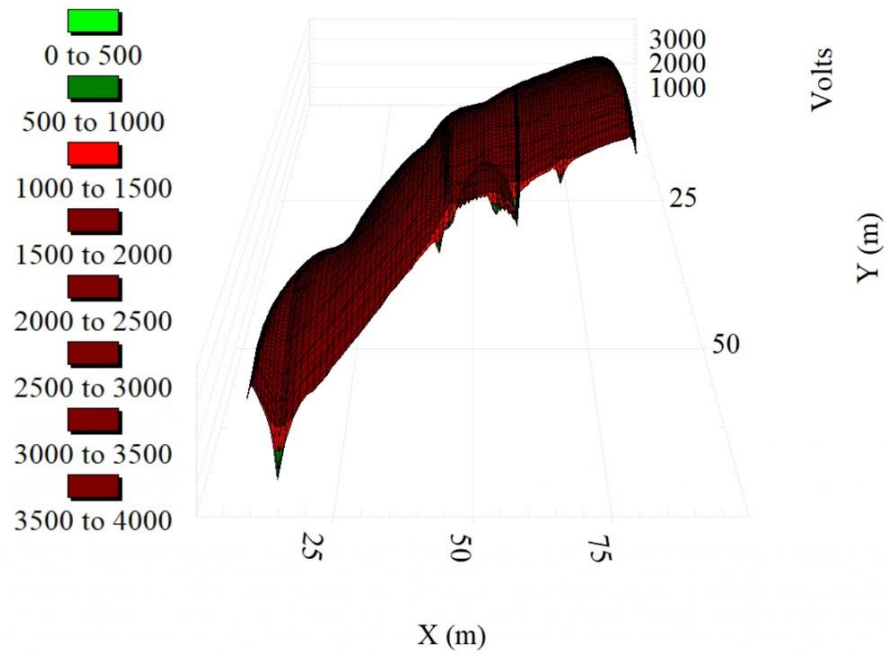


Ilustración 32: Grafica de voltaje de toque del edificio 35

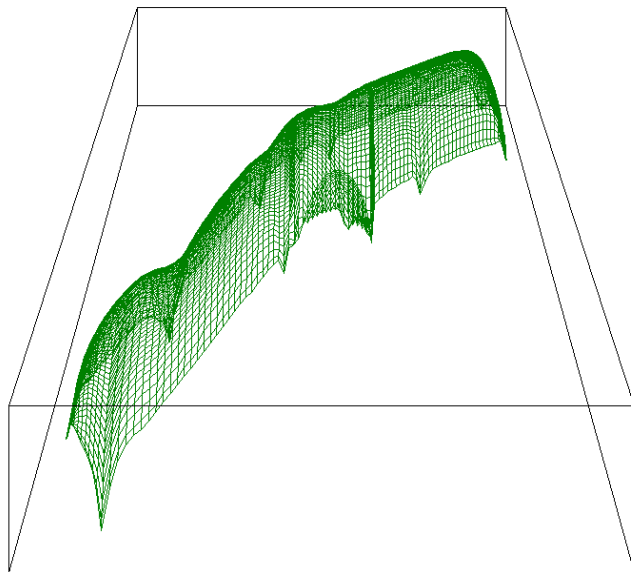


Ilustración 33: Grafica de voltaje de toque del edificio 35 con transparencia

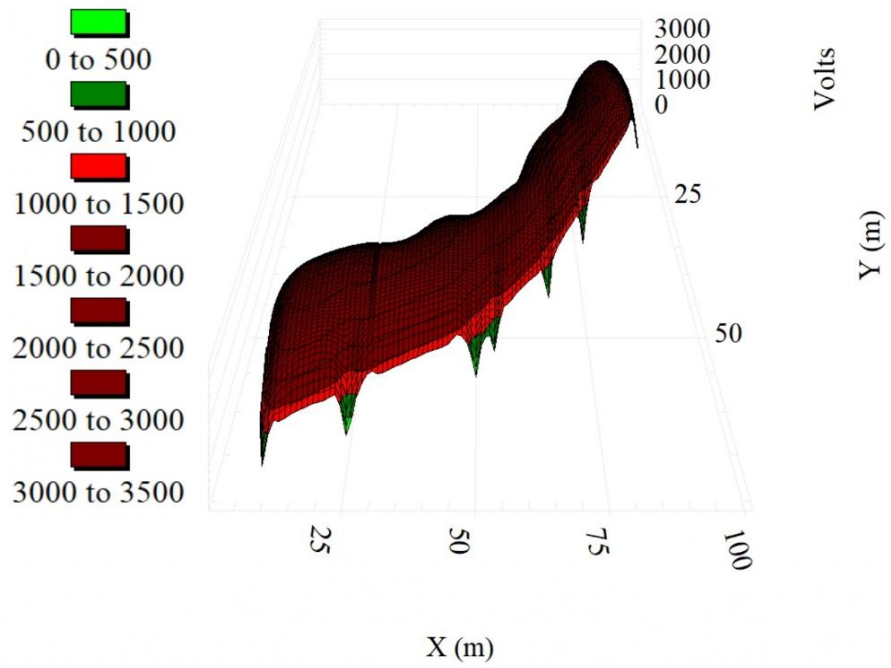


Ilustración 34: Grafica de voltaje de toque del edificio 36

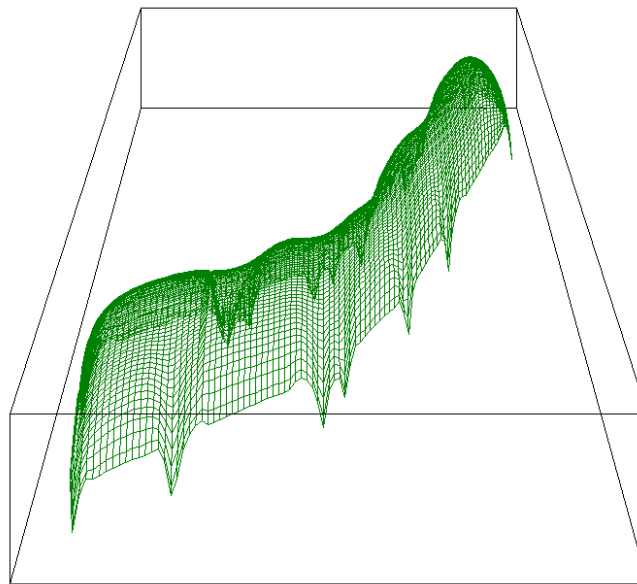


Ilustración 35: Grafica de voltaje de toque del edificio 36 con transparencia

3.5.6- Análisis de resultados

Las gráficas de voltaje de toque y voltaje de paso son de suma importancia para localizar los puntos de mayor riesgo para las personas que se encuentren dentro de las instalaciones de la FCQel.

- Voltaje de paso

Las gráficas generadas de voltaje de paso de los edificios 35 y 36 presentan su mayor riesgo en el perímetro de la malla de puesta a tierra debido a que dicho voltaje se presenta entre los pies de las personas que se encuentren cerca de la malla, entre más cerca se encuentre una persona de los electrodos de tierra o del cable conductor que los une mayor será el voltaje de paso que puede presentarse, por el contrario, si una persona se encuentra en cerca del centro de la malla el voltaje será mínimo y no presentará un alto riesgo.

- Voltaje de toque

Las gráficas de voltaje de toque de los edificios 35 y 36 presentan su mayor riesgo en el área dentro de la malla de puesta a tierra debido a que este voltaje puede generarse al entrar en contacto con una superficie metálica, la cual puede localizarse en cualquier parte del terreno, por ejemplo, las columnas de los edificios, en las gráficas podemos apreciar que los puntos de menor riesgo para este caso se encuentran dónde están instalados los electrodos, sin embargo dichos puntos son de mayor riesgo cuando se trata de voltaje de paso.

Continuando con el análisis, en las gráficas podemos observar mediante un color rojo las zonas con voltajes altamente peligrosos para las personas, esto se debe a que se está tomando en cuenta la corriente de corto circuito máxima que se puede presentar en el sistema y depende directamente de la corriente nominal del transformador y la impedancia del mismo, los voltajes elevados mostrados en las gráficas solo se presentaran cuando el transformador que alimenta a los edificios 35 y 36 se encuentre en corto circuito, el caso de un corto circuito generado en uno de los tableros principales o alguna corriente atmosférica no muy elevada los voltajes de paso y de toque no serán tan altos como los registrados en las gráficas, sin embargo, la forma en la que las corrientes serán guiadas al suelo será la misma y los puntos de riesgo continúan siendo los mismos.

Capítulo 4. Mantenimiento al sistema de puesta a tierra y pararrayos

El mantenimiento puede definirse como el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que las instalaciones, equipos y edificios puedan mantener su estado óptimo y funcionar de manera correcta, dichas operaciones están conformadas por distintas actividades a realizar según sea el tipo de equipo o instalación a la cual se le dará mantenimiento, dicho de otra manera, dependiendo el tipo de instalación o equipo será el mantenimiento a realizar, no siempre se pueden aplicar las mismas actividades de mantenimiento a distintas instalaciones, una vez mencionado lo anterior podemos comprender la importancia de realizar un mantenimiento correcto al sistema de puesta a tierra y pararrayos de la FCQel, en las tablas 5 y 6 podemos apreciar el estado físico de los electrodos y se observa que algunos de estos se encuentran en buen estado pero por otra parte hay electrodos que se han quebrado a causa de la oxidación.

El mantenimiento al tener la finalidad de proteger la integridad de los equipos, instalaciones y operadores suele dividirse comúnmente en tres tipos de mantenimiento distintos, los cuales son el mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y mantenimiento predictivo.

4.1- Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo, como su nombre lo indica consta de prevenir posibles fallas futuras mediante la reparación de problemas pequeños que se presentan en las instalaciones o equipos, en el caso del sistema de puesta a tierra podemos realizar el mantenimiento preventivo mediante inspecciones visuales y limpieza de los componentes de la malla de puesta a tierra y pararrayos, esto causará que se detecten las reparaciones menores correspondientes, a continuación, se muestra una propuesta de mantenimiento del sistema de puesta a tierra y pararrayos creada a partir de la revisión del estado actual del sistema.

Componente o equipo	Actividad a realizar	Frecuencia
Tapas metálicas de los registros de tierra física	Revisión del estado físico	Trimestral
Relleno de tierra de los registros de tierra física	Cambio de relleno o aplicación de gel químico para bajar la resistividad	Anual
Electrodos de puesta a tierra	Revisión del estado físico	Semestral
Electrodos de puesta a tierra	Limpieza de óxido	Semestral
Cables de la malla	Limpieza de óxido	Semestral

Conexiones soldadas y mecánicas	Limpieza de oxido	Semestral
Conexiones mecánicas	Reapriete de partes móviles	Semestral
Telurómetro	Recalibración de equipo	Anual
Terreno donde se ubica la malla	Medición de resistividad de terreno en temporada de lluvia	Anual
Terreno donde se ubica la malla	Medición de resistividad de terreno en temporada de estiaje	Anual
Malla de puesta a tierra	Medición de resistencia de malla en temporada de lluvia	Anual
Malla de puesta a tierra	Medición de resistencia de malla en temporada de estiaje	Anual
Malla de puesta a tierra	Revisión de continuidad entre electrodos de la malla	Anual
Tableros principales	Reajuste de conexiones del cable desnudo de puesta a tierra	Semestral
Pararrayos	Revisión del estado físico de las puntas captadoras	Semestral
Pararrayos	Comprobación y reajuste de tensores, armellas argollas y sujeta cables	Semestral
Pararrayos	Revisión del estado físico del mástil	Semestral
Pararrayos	Revisión del estado físico del cable de retenida	Semestral
Pararrayos	Revisión del estado físico de los cables de bajada	Semestral
Pararrayos	Revisión del estado físico de las conexiones de los cables	Semestral
Pararrayos	Revisión de las conexiones a la malla de puesta a tierra	Semestral
Pararrayos	Revisión del estado físico del contador de descargas	Trimestral

Tabla 13: Propuesta de mantenimiento preventivo a la malla de puesta a tierra y sistema de pararrayos de los edificios A y B de la FCQel

4.2- Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo tiene la función de reparar o corregir los fallos que se llegan a presentar en los equipos e instalaciones, este mantenimiento correctivo tiene su lugar cuando un equipo deja de funcionar de manera óptima o en su totalidad y tiene como consecuencia el remplazo del equipo o al menos de algunos de sus componentes. Para el caso del sistema de puesta a tierra y pararrayos de la FCQel deben ser remplazados algunos de los electrodos de puesta a tierra y se debe realizar una reconexión de algunos de los componentes, a continuación, de muestra una tabla con las reparaciones que deben realizarse a los componentes del sistema.

Componente de la malla o pararrayos	Estado físico del componente	Actividad a realizar
Electrodos de puesta a tierra 10A, 2B, 8B, 11B y 18B	Se encuentran quebrados	Retirar componente dañado y colocar uno nuevo
Electrodos de puesta a tierra	Se encuentra oxidado	Lijar el electrodo y limpiar con una franela seca
Electrodos de puesta a tierra	El electrodo tiene contacto con la tapa del registro	Recorte de electrodo y reconexión de los cables por medio de soldadura
Cables visibles de malla puesta a tierra	Se encuentra oxidado	Lijar el cable y limpiar con una franela seca
Conexiones soldadas con soldadura exotérmica	Se encuentran oxidadas	Lijar las conexiones y limpiar con una franela seca
Conexiones soldadas con soldadura exotérmica	Se encuentran dañadas	Soldar nuevamente con soldadura exotérmica u otro tipo de soldadura resistente

Tapas metálicas de los registros de tierra física	Se encuentran dañadas en la superficie y laterales	Enderezamiento de partes metalizas y unión de partes rotas
Mástil de pararrayos	Se encuentran flojos en la zona superior	Reapriete general de conexiones y limpieza de las mismas
Armellas y tensores	Se encuentra oxidados	Lijar componentes y limpiar con una franela seca
Bases de pararrayos	Se encuentran oxidadas en algunas zonas superficiales	Lijar base, limpiar con una franela seca y aplicar pintura
Conexiones mecánicas	Se encuentran oxidados	Lijar las conexiones, limpiar con una franela seca y realizar un reajuste de las mismas
Unión del cable a la superficie del techo	Se encuentran flojos o desconectados	Realizar nuevamente las uniones desconectas y reajustar las conexiones no fijas
Unión del cable a la superficie del techo	Se encuentra quebrada la unión	Remplazar la unión quebrada por una nueva

Tabla 14: Mantenimiento correctivo aplicable a la malla de puesta a tierra y sistema de pararrayos de los edificios A y B de la FCQel

4.3- Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo consta de poder conocer cuando un equipo o componente está a punto de fallar, cabe aclarar que no se puede saber con certeza la fecha exacta en la que ocurrirá la falla, sin embargo, gracias al mantenimiento predictivo podemos saber que un equipo fallará debido a que se realiza una serie de registros en los cuales indican el estado físico de los equipos y de la instalación, siendo esto el indicador que nos dirá cuando un equipo está próximo a fallar.

Los registros mencionados constan de bitácoras, fotografías, notas y demás elementos que se van recabando a lo largo de los mantenimientos preventivos y correctivos que se realizan, al momento de realizar los distintos mantenimientos se deben tomar registros que indiquen el tiempo que tardan en deteriorarse los componentes del sistema, las condiciones climáticas en las que se encuentran, las fechas en las cuales se hacen las reparaciones y todos los demás datos que pueden contribuir a conocer las posibles causas de fallas en el sistema o equipos, ya que estos serán los indicadores que dirán cuando puede ocurrir una falla.

Para el caso del sistema de puesta a tierra y pararrayos de la FCQel se debe realizar un registro mediante tablas y fotografías que indiquen lo siguiente:

- Estado físico de los electrodos, cable y conexiones
- Nivel de oxidación y corrosión presentada
- Valores obtenidos de resistividad de terreno
- Valores obtenidos de resistencia de malla
- Estado físico del mástil de los pararrayos
- Estado físico de las bajabas de los pararrayos
- Estado físico de los componentes de retenida de pararrayos

-
-
- Estado físico de las puntas captadoras

Este tipo de mantenimiento suele ser el más tardío debido a que se requiere de tiempo para poder completarse, sin embargo, suele ser uno de los más útiles en cuanto a prevenir las fallas se refiere, siempre y cuando los registros en los que se basa este tipo de mantenimiento sean verídicos y se encuentren lo más completo posible.

4.4- Observaciones y Recomendaciones

Es necesario realizar una serie de observaciones y recomendaciones para la complementación del programa de mantenimiento establecido, los cuales abarcan detalles importantes para seguridad de los equipos y el personal.

Resistencia de la malla por normatividad:

La NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (Utilización) establece en su artículo 250-50 que todos los electrodos de puesta a tierra deben estar conectados entre sí para formar una única malla de puesta a tierra y bajo ninguna circunstancia la resistencia a tierra debe ser mayor a 25 ohms, lo cual se cumple de manera efectiva en el caso de las mallas de puesta a tierra de la FCQel debido a que cada edificio tiene su malla de puesta a tierra independiente y los electrodos que la conforman se conectan entre sí dando una resistencia obtenida mediante mediciones de 0.348 y 0.834 ohms según lo indica la Tabla 12.

Picos altos en la simulación:

La simulación realizada indica los puntos de mayor riesgo, los cuales están indicados en color rojo y sobresalen por tener forma de picos, sin embargo, dichos picos corresponden a los voltajes de toque y voltajes de paso máximo que se puede llegar a tener en caso de un corto circuito en el laso secundario del transformador de la FCQel, por ende, no es necesario alarmarse debido a que no se llegaran a presentar dichos picos de voltaje de una manera fácil, pero gracias a la simulación se logró localizar las zonas en las cuales los voltajes pueden ser peligrosos en caso de cortos circuitos comunes que serán enviados a la malla por medio del tablero principal. Para

reducir estos picos es necesario colocar electrodos adicionales en la malla de puesta a tierra conectados a las zonas de mayor riesgo y realizar otra simulación para ver los resultados.

Tapas metálicas los registros de tierra física:

Es necesario mencionar que algunas de las tapas metálicas de los registros se encuentran tocando la superficie de los electrodos de puesta a tierra, esta acción pone en alto riesgo a las personas que se encuentren parados sobre las tapas o incluso cerca de ellas al momento de una falla o alguna descarga atmosférica, debido a que no se puede predecir el momento exacto en el cual ocurrirá una falla es necesario el inmediato mantenimiento de los registros que cuenten con estas características.

Contadores de descargas atmosféricas:

Algunas de las bajadas de los pararrayos cuentan con contadores de descargas atmosféricas, es necesario realizar revisiones constantes de dichos equipos debido a que sus componentes electrónicos pueden llegar a dañarse por condiciones climáticas o incluso la batería de los mismos puede terminarse y no cumpliría con su función.

Recomendaciones generales:

Es necesario aplicar un plan de mantenimiento efectivo que incluya por lo menos el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo en periodos de tiempo considerables para así poder mantener en estado óptimo todos los componentes del sistema de puesta a tierra y el sistema de pararrayos, de no ser así las fallas a causa de factores como la oxidación pueden deteriorar muy rápidamente estos sistemas de protección.

Conclusiones

Se realizó un estudio y reconocimiento de cada uno de los componentes del sistema de puesta a tierra y pararrayos, esto con la finalidad de conocer el estado físico del mismo y así poder determinar el mantenimiento adecuado para garantizar una mayor durabilidad de los

componentes y una mayor eficiencia de los mismos con la finalidad de mantener la seguridad del personal y de los equipos eléctricos.

Durante el estudio realizado se logró verificar el estado físico de los electrodos de puesta a tierra, conexiones, cables conductores y pararrayos para así poder realizar la propuesta de un plan de mantenimiento que incluya mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, a su vez, se logró obtener la resistividad del terreno gracias al uso de distintos telurómetros y la comparación de los resultados obtenidos de cada uno de estos, verificando en normativas vigentes si la medición obtenida cumple o no con lo establecido en dichas normas; por otra parte, no se logró actualizar el plano de conexión de la malla de puesta a tierra de los edificios 35 y 36 debido a que dicho plano no se encuentra en las instalaciones de la FCQel, sin embargo, con base a la ubicación de los electrodos de puesta a tierra y las conexiones presentes en cada uno de estos se realizó una propuesta de conexión para efectos de la simulación, los cuales se muestran en las ilustraciones 19 y 20, también es necesario mencionar que a pesar del estado físico de los electrodos del sistema de puesta a tierra, siendo más específico, a pesar del estado de oxidación presente en los electrodos e incluso teniendo electrodos que ya no cumplen con su función debido a que se encuentran quebrados, las lecturas obtenidas en la medición de resistencia de malla fueron muy bajas, dando como resultado un buen medio para desviar las descargas eléctricas de manera eficiente y segura para las instalaciones de los edificios 35 y 36, sin embargo, a pesar de cumplir de manera correcta con su función de proteger las instalaciones no cumple la función de proteger al personal de una manera eficiente ya que como se menciona en la Tabla 14 algunas de las tapas de los registros de electrodos de puesta a tierra se encuentran tocando dichos electrodos, al ser tapas metálicas son conductoras de electricidad y esto representa un peligro potencial para los estudiantes y trabajadores de la FCQel cuando ocurra una descarga y sea dirigida al suelo, por ende, es necesario realizar el correcto mantenimiento al sistema de puesta a tierra como el propuesto es esta investigación.

Referencias

- [1] NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (Utilización).
- [2] NORMA Oficial Mexicana NOM-022-STPS-2015, Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.
- [3] NFPA 70: National Electrical Code; National Fire Protection Association: Quincy, Massachusetts, USA, 2020.
- [4] IEEE Std 81-2012: IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System, New York, USA, 2012.
- [5] IEEE Std 80-2013: IEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, New York, USA, 2013.
- [6] R. Ruelas Gómez. "TEORÍA Y DISEÑO DE SISTEMAS DE TIERRAS SEGÚN LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM) E IEEE". <https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html> (accedido el 25 de septiembre de 2022).
- [7] Fluke Corporation, Earth/Ground Tester Users Manual, Jan. 2014.
- [8] Manual de diseño de subestaciones, Diseño de sistema de tierra, Subdirección de Planeación Estratégica, Gerencia de Ingeniería, Subgerencia de Desarrollo Tecnológico, Compañía Luz y Fuerza del Centro, 2003.
- [9] Comisión Federal de Electricidad, "Capítulo 16: Red de tierras", Coordinación de distribución. México.
- [10] J. Raull Martín, Diseño de redes de tierra en subestaciones eléctricas, Materiales y fórmulas más utilizadas. Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, UNAM, pp. 158-171, Mar. 2000
- [11] R. García, La puesta a tierra de instalaciones eléctricas, Barcelona, España. Ed. MARCOMBO, 1999.
- [12] IEEE Std 142-2007: Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, New York, USA, 2007.
- [13] NMX-J-549-ANCE-2005, Sistema de protección contra tormentas eléctricas – Especificaciones, materiales y métodos de medición.

[14] NFPA 780: Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos: Quincy, Massachusetts, USA, 2014.

[15] C. E. Olaya Marulanda, "El ruido en la puesta a tierra para sistemas de cómputo", *Energía y Computación*, Volumen IV, No. 1, pp. 33–38, 1995.

[16] E. Cardiel Pérez y P. R. Hernández Rodríguez, *Tierra física Sistemas de puesta a tierra*, 2a ed. Universidad Autónoma Metropolitana: Unidad Azcapotzalco, 2009.

[17] IEEE Std 1100-2005: *Powering and Grounding Electronic Equipment*, New York, USA, 2005.

ANEXOS

ANEXO A. Fotografías del sistema de puesta a tierra de los edificios 35 y 36.

Electrodos del edificio 35, edificio B de la FCQel



Electrodo 1B



Electrodo 2B



Electrodo 3B



Electrodo 4B



Electrodo 5B



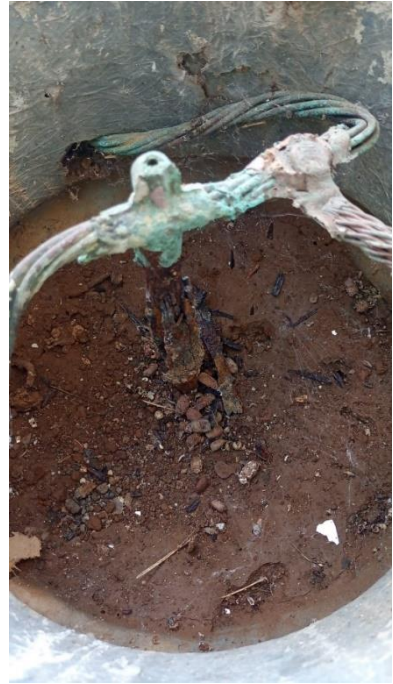
Electrodo 6B



Electrodo 7B



Electrodo 8B



Electrodo 9B



Electrodo 10B



Electrodo 11B



Electrodo 12B



Electrodo 13B



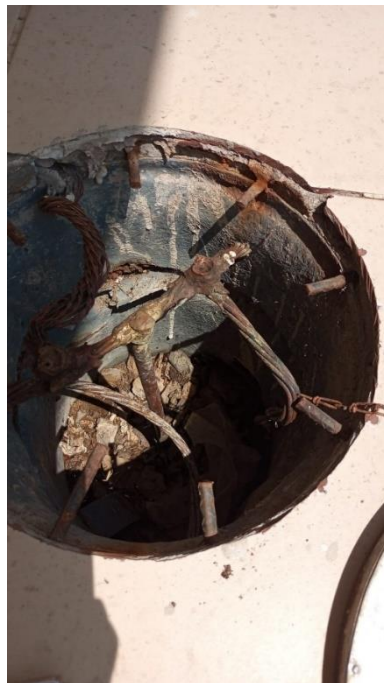
Electrodo 14B



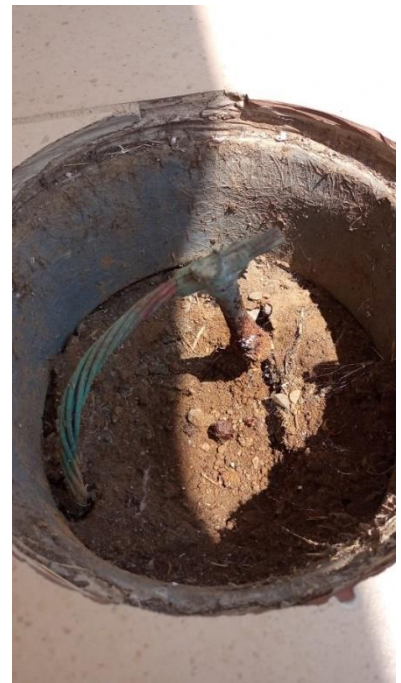
Electrodo 15B



Electrodo 16B



Electrodo 17B



Electrodo 18B



Electrodo 19B

Electrodos del edificio 36, edificio A de la FCQel



Electrodo 1A



Electrodo 2A



Electrodo 3A



Electrodo 4A



Electrodo 5A



Electrodo 6A



Electrodo 7A



Electrodo 8A



Electrodo 9A



Electrodo 10A



Electrodo 11A



Electrodo 12B



Electrodo 13A



Electrodo 14A



Electrodo 15A



Electrodo 16A



Electrodo 17A



Electrodo 18A



Electrodo 19A



Electrodo 20A

ANEXO B. Componentes del sistema de pararrayos de la FCQel



Pararrayos mostrando punta captadora, mástil de dos secciones, cables sujetadores de acero y base de pararrayos



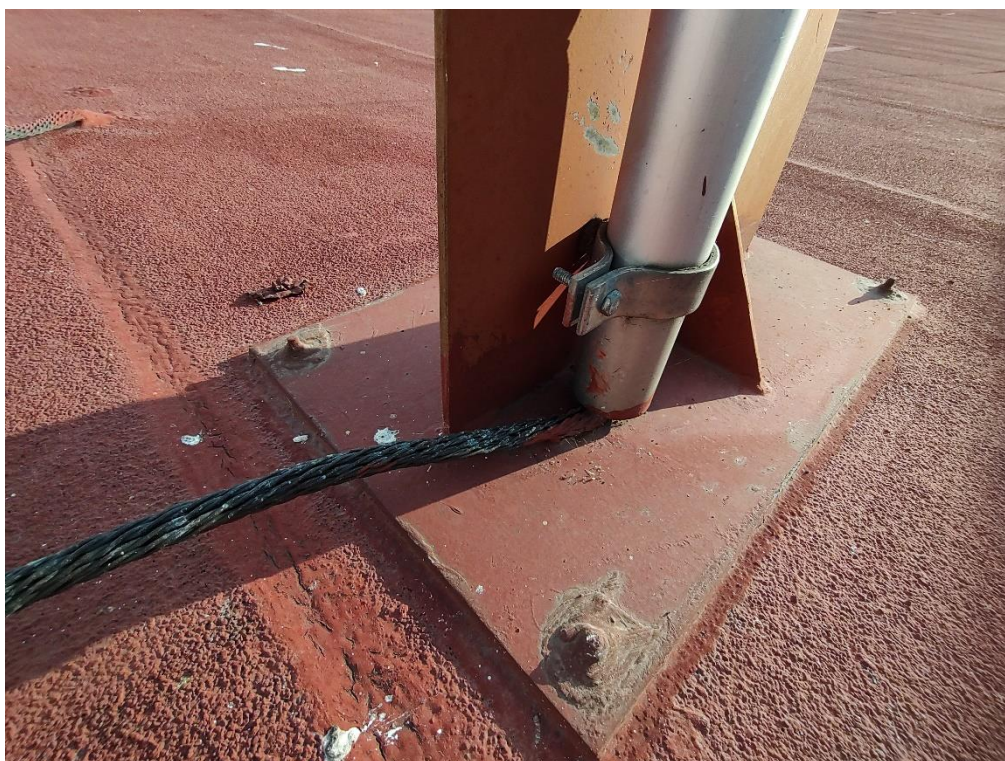
Argolla con sujeta cables



Punta captadora tipo Franklin



Base se pararrayos vista frontal



Base se pararrayos vista trasera



Tensores con armellas y sujeta cables de acero



Conexión del pararrayos al cable por medio de soldadura exotérmica y conexiones mecánicas



Conexión mecánica del cable proveniente de los pararrayos



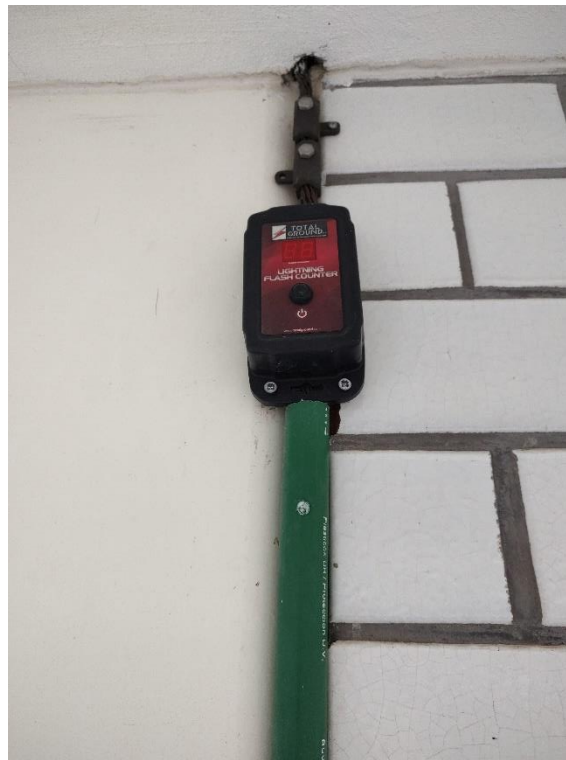
Unión del cable a la superficie del techo



Punto de inicio de bajada del cable de cobre desnudo



Bajada de cable para su conexión a la malla de puesta a tierra



Contador de descargas atmosféricas

ANEXO C. Proceso de elaboración de la simulación de las mallas de tierra de la FCQel.

A continuación, se menciona el proceso que se llevó a cabo para poder realizar la simulación de la malla de puesta a tierra a través del software ETAP.

Dentro del software ETAP puede realizarse el plano de la malla de puesta a tierra para posteriormente colocar las características de la malla y realizar la simulación, sin embargo, las mallas de puesta a tierra que se encuentran en las instalaciones de la FCQel son bastante amplias y resulta complicado la elaboración del plano dentro del software, por lo tanto se utilizó un software para la elaboración de planos llamado AutoCAD, el cual permite la elaboración del plano de la malla y exportarlo a un formato que el ETAP pueda reconocer, los pasos que se siguieron se muestran a continuación.

- 1- Abrir un archivo nuevo de AutoCAD y elaborar el plano de conexión de los electrodos
El plano debe realizarse en un archivo nuevo de AutoCAD, los electrodos deben representarse con círculos sin relleno y los cables con líneas sencillas, las líneas deben estar unidos a el centro de los círculos para poder representar la conexión correctamente, hay que tener en cuenta las distancias de separación de los electrodos debido a que las distancias asignadas en AutoCAD serán las asignadas en el software ETAP.
- 2- Exportación del archivo de plano
Una vez terminado el plano debe ocuparse una herramienta llamada ETAP Tools que tenemos que instalar en los archivos del programa AutoCAD para así exportar el plano a un formato legible para ETAP, dicha extensión descargar de la página oficial y se instala de manera sencilla, ya que se tiene dicha herramienta al utilizarla nos indicará que seleccionemos el plano, lo seleccionamos y se abrirá una ventana en la cual podemos seleccionar las unidades de distancia (metros o pies), el material del conductor y el material del electrodo; después de seleccionar estas características damos "ok" y se muestra una nueva ventana para nombrar el archivo con terminación .XML y la ubicación donde se guardará.
- 3- Importar el archivo a ETAP
Después de guardar el archivo procedemos a importarlo a ETAP, abrimos el software y creamos un nuevo proyecto, ya dentro del proyecto buscamos en la barra de herramientas el símbolo de una malla de puesta a tierra, al darle click podemos agregar un modelo de

malla común en la zona de trabajo y después de esto seleccionamos la malla común y se abrirá una nueva ventana para realizar el diseño de la malla, para nuestro caso iremos a la barra de herramientas y seleccionaremos el apartado de HOME, ahí seleccionamos la opción de importar y buscamos el archivo con terminación .XML que guardamos con anterioridad, una vez encontrado el archivo lo seleccionamos y en la ventana de ETAP se habrá colocado la malla hecha en el plano de AutoCAD.

4- Asignación de características de la malla

Teniendo el plano de la malla dentro de ETAP procedemos a realizar el ajuste de las características de la malla debido que al importar de esta manera el plano al software se colocan valores predeterminados, los cuales debemos de cambiar según las características de nuestra malla de puesta a tierra, al dar doble click en una de los electrodos se abrirá una tabla con todos los electrodos de la malla y se muestra su ubicación en los ejes x , y, z tomando en cuenta que z representa la superficie del suelo, la longitud y diámetro de los electrodos, el material del que están hechos y el costo de los mismo, todas estas características pueden ser modificadas de manera independiente, también cabe mencionar que se debe tener cuidado en la ubicación con respecto al eje z ya que si se encuentra en la coordenada 0 significa que está en la superficie del suelo, hay que modificar esta distancia dependiendo que tan enterrado se encuentren los electrodos. De la misma manera se pueden modificar las características de los conductores de la malla al dar doble click sobre alguno de los cables mostrados en el plano.

5- Asignación de características de terreno

Después de hacer la correcta asignación de las características de los electrodos y cables de la malla procedemos a colocar la medida de la resistividad de terreno, en la esquina superior derecha de la ventana de ETAP se encuentra la representación de la malla colocada en el terreno mostrando dos capas de distinto color y si damos un click en la representación se abrirá una pequeña ventana en la cual podemos asignar el valor de la resistividad del terreno, damos click en el apartado de “calcular” y después en la segunda pestaña, ahí podemos asignar los valores de resistividad de terreno obtenido mediante el método de wenner que se obtuvieron en mediciones previas, ya que se colocaron todas las medidas seleccionamos la opción de celular y el software obtiene la resistividad promedio del terreno y la grafica de resistividad de terreno obtenida por medio de cálculos y uso de tablas de la normativa IEEE-80 que ya incluye el software; después de esto regresamos a la primera pestaña y

observamos que se ha obtenido el valor de la resistividad promedio de las dos primeras capas de terreno gracias a los cálculos hechos por el software.

6- Realizar estudio de la malla

Una vez que tenemos definidas las características de la malla y del terreno procedemos a realizar el estudio de la malla, para vamos a la barra de tareas y seleccionamos el apartado de “ground Grid Study” y después en “Create New”, se nos abrirá una ventana seleccionar todos los parámetros que influyen en el diseño de una malla de puesta a tierra, los cuales se mencionan a continuación:

- Peso

Se cuenta con dos opciones a seleccionar, un peso de 50kg o un peso de 70kg referente al peso de las personas que puedan caminar por la superficie de la malla o cerca de ella, para este caso seleccionamos 50kg debido a que si seleccionamos un peso mayor los cálculos tomaran en cuenta que bajo ninguna circunstancia una persona con un peso menor a 70kg caminará cerca de la malla, lo cual no es una opción segura a tomar ya que no se tiene controlado el peso de las personas que se encuentren dentro de las instalaciones.

- Temperatura ambiente

Definir la temperatura ambiente es un parámetro que se nos pide dentro del software, sin embargo no se refiere a la temperatura ambiente presente en el clima, sino a la temperatura a la que se encuentra en el suelo, esta temperatura puede encontrarse en valores normales de 20°C a 40°C y no se notará un cambio drástico en los resultados de la simulación, sin embargo, si colocamos valores muy bajos el resultado si se verá afectado.

- Tiempo de despeje de falla

Este apartado se divide en los factores t_f , t_c , y t_s , los cuales están relacionados con la corriente asimétrica, el voltaje de toque y el despeje de energía en los conductores al momento de una falla, sin embargo, la normativa IEEE-80 nos permite suponer estos valores entre 0.25s y 0.5s debido a que están relacionados directamente con el tiempo que tardan las protecciones en activarse cuando las fallas llegan a presentarse.

- Corriente de corto circuito

Para conocer la corriente de corto circuito primero debemos conocer la corriente nominal del transformador, la cual se calcula mediante la siguiente formula:

$$I_n = \frac{P (kVA)}{\sqrt{3} * V (kV)}$$

Donde:

I_n = Corriente nominal

P = Potencia expresada en Kva

V = Voltaje del lado secundario del transformador expresado en kV

Después de conocer la corriente nominal del transformador podemos obtener la corriente de corto circuito mediante la siguiente formula:

$$I_{cc} = \frac{I_n}{Z\%/100}$$

Donde:

I_{cc} = Corriente de corto circuito del transformador

I_n = Corriente nominal del transformador

Z% = Impedancia en por unidad del transformador

El cálculo que se muestra anteriormente es conocido como cálculo de corriente de corto circuito por método de bus infinito, el cual se realiza a continuación teniendo en cuenta que el voltaje del lado secundario del transformador tiene una salida de 220V y que el transformador tiene una impedancia de 3.24% según lo indica la tabla de datos que se encuentra en dicho transformador.

Una vez aclarado lo anterior hacemos uso de las fórmulas y obtenemos como resultado una corriente de corto circuito máxima de 12.15 kA en el lado secundario del transformador.

$$I_n = \frac{150 kVA}{\sqrt{3} * 0.22 kV} = 393.648 A$$

$$I_{cc} = \frac{393.648 A}{3.24/100} = 12149.6 A \approx 12.15 kA$$

- Relación X/R

Esta relación se utiliza para determinar qué tan rápido decae la corriente de corto circuito y depende de que tan reactivo sea el sistema, por ende, entre más grande sea la relación X/R más de demorará en desaparecer la corriente de falla, por lo tanto, para fines de la

simulación se colocará un 1 teniendo la cuenta el tipo de instalación que protege cada una de las mallas de tierra de la FCQel.

- Factores Sf y Cp

El factor de división de corriente (Sf) determina la cantidad de corriente que pasará por la malla al momento de una falla, si la malla se encuentra separada de alguna otra malla, instalación, torre de transmisión o estructura metálica el factor será 100%, tomando en cuenta lo anterior, el factor usado en la simulación será 100.

El factor de crecimiento (Cp) representa cuanto puede llegar a crecer a futuro la instalación que protege la malla, por lo tanto, se usará 100 ya que la simulación está elaborada para estudiar la situación actual de la malla.

Después de haber colocado los valores para realizar el estudio de la malla procedemos a realizar el estudio seleccionando el apartado "Ground-Grid Calculation", una vez seleccionado emergerá una ventana que muestra los voltajes de toque y paso obtenidos en la malla y los voltajes tolerables, en caso de que los valores calculados superen a los tolerables se indicara una alarma en la parte inferior de la ventana, en adición a esto, también se muestra el valor de resistencia de malla calculado.

7- Obtención de graficas de voltaje de toque y voltaje de paso

Por último, procedemos a obtener las gráficas de voltaje de paso y voltaje de toque, para esto debemos seleccionar el apartado llamado Plot Selection y se mostrará una pequeña ventana para seleccionar las gráficas que necesitamos ver y si requerimos observar los límites de voltaje, es decir, si necesitamos que la gráfica incluya los valores de los voltajes expresados con números y colores para una mayor comprensión.

ANEXO D. Tablas utilizadas para el método esfera rodante

Las tablas que se muestran a continuación pertenecen a la norma NMX-J-549-ANCE-2005, dichas tablas son utilizadas para la determinación de las dimensiones de la esfera rodante para la protección contra descargas atmosféricas.

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Nivel de protección recomendado
Residencia	Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra	III ó IV
Granja	Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para los animales	II ó III
Tanques de agua elevados, metálicos Concreto con elementos metálicos salientes	Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua	III
Edificios de servicios tales como: aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estacionamientos de autobuses, estacionamientos de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitano	Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo, alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información	II
Hospital Asilos Reclusorio	Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo, alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información	I ó II
Industria tales como: maquinas herramientas, ensambladoras, textil,	Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde mayor hasta inaceptable y pérdida de producción	I ó II

papelera, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras.		
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	II
Edificios de telecomunicaciones	Interrupciones inaceptables, pérdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas económicas por falta de continuidad en el servicio	I ó II
NOTA: El nivel de protección I es el de mayor protección y el nivel de protección IV es el de menor protección		

Tabla de Nivel de protección

Nivel de protección	Radio de la esfera rodante r_s y su correspondiente valor de corriente de rayo i		Altura de la terminal aérea a partir del plano a proteger (h)
	r_s (m)	i (kA)	m
I	20	3	≤ 20
II	30	6	≤ 30
III	45	10	≤ 45
IV	60	16	≤ 60

Tabla de altura de las terminales aéreas verticales de acuerdo con el nivel de protección



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT
SGI certificado en la norma ISO 9001:2015 e ISO 21001:2018

FORMA T-4
NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR

Cuernavaca, Mor., a 20 de febrero de 2023

DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS
DR. OUTAME OUBRAM
MTRO. JAVIER MACEDONIO ANDRÉS
MTRO. FRANCISCO JAVIER BECERRA GONZÁLEZ
ING. LUIS MARDONIO RODRÍGUEZ LÓPEZ
P R E S E N T E

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de Tesis Titulado:

Programa de mantenimiento del sistema de tierras y pararrayos de la FCQel

Que presenta (el) o (la) **C. PADILLA SOTO OSWALDO JESUS**, del programa educativo de **INGENIERÍA ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA**.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA

Se anexa firma electrónica

D I C T A M E N

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQel
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTÁMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
	DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS	
	DR. OUTAME OUBRAM	
	MTRO. JAVIER MACEDONIO ANDRÉS	
	MTRO. FRANCISCO JAVIER BECERRA GONZÁLEZ	
	ING. LUIS MARDONIO RODRÍGUEZ LÓPEZ	

El voto del comité es aprobatorio, se anexan firmas electrónicas

VALH/fjbg



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2023-02-22 09:22:10 | Firmante

d7/5lo/1NJJjmvH3UekLlsZi/zpMhk9S1ktlTMX6wHNDIToA6R0BLCRslHTQnRxhfBqHauzZA0HI8EmvEPEgENJE80KT3qUGN3P4KMXI5CuWWUTD9ATc5JtYGVvGPStIRG7RDU0eh7R0A/6hEISkF+ZVwhwxLmJlddVkJaBSNwuRFjlkz6ATHPh+RxN8Xir+WFoCA8AJWdpJDpTdDmidQUImcrExtZvYi9H0vDpM1OQE4QtwHXtkRkEGfAzGSejqPDtzuBGg5rMzdKmf95BamBtkCHEdBNUfoa3Kw4kwjBdHZk0X2dczdSbv5L2axiPYuLERKOqjvDwM2bROK/SQg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



MXKYf2ruj

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/usDWbhyLnRg4p8lv6WHij04wBGgYOf8y>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

FRANCISCO JAVIER BECERRA GONZALEZ | Fecha:2023-02-27 13:31:19 | Firmante

EhWeljRkqLORw83D4zuCij5U/ZFVkuemh/H9+SfzVJT1QOWmxDiLXZD3qwXlmbBjRmv/6m9MhBpO9CsRGvclbecb1r6AGNdfNpNrT5pOXe+TXqbCUG7XDCPzpFcpfkF16zKLfe8HQI32Yq862hsoucBd44txF62viWy+FEbZmkK6an3oi0zdmnooUX+YtPnhvzC+dQkWPiWmQRm1vJXS0rfKPrjTL+J6bKT0e8U6HByxmCX7gj6Mgh3hxxSnHT49fyL+iqJ6m/VDELMIJdH3Z3W0SVQR+w0i1X/d3DJPPRErWUZRCtinbkhx+rYUKMHPct1vilVBSAH9Y9VIW5NkQg==

OUTMANE OUBRAM | Fecha:2023-02-27 15:13:59 | Firmante

F2KuKUIlljtcqHEgWuqn1Eo3r/CxVepV9MgH+2PHfrJmVLuw5Xw8sVwsy94WGVy1w3au+fBnP9ml62nisgFSoKAgWlv05Mw5W6tseRLQWynv389e0smpW6/u8AwGwaTicZqr0XQ8RkHrAFK8kh3ZsqLJykG6/D7eiYvD62edgzInEgDm7bKL+uL/jk4P4ws+lxnJF1ttkvQnVPHVcEiy5XfBlfZ/QQAtyixP6+kBT6XSjGaQVTJZdWpSd+mtbrC+KWTOtn0ZbnHx4Y08K+BoHLcFTJEe0i8eagvsuNHZzfqP2RWKBAJmM+U1A7HfSYhEwFfHJs8OGkBu61NEMVg==

LUIS CISNEROS VILLALOBOS | Fecha:2023-02-28 14:50:07 | Firmante

p6JkZyBw2VpCQvMSBs7LWaeZDYvPdXLbfPIEmPA1SnA0vxdx7GrVXY6eamrK5b8qeDxJl2umDNB5+khygbDEYsXR5ztvqZkDWOreiYVXP012gq1ilhVWZVFPDcDeMAvCDfzdndSQCL2UeZfQRoMuOe4RCjPbWcnaA3naRi1asN9bO13jkbjremDNs2bFFWSOJlUL7VB9B6aHpoG0Ydu2exzygfGblklMbpFn7APMEr7mjtn+tl5DuTIDjksJ7sXwW7SYl/283U8KPRheqVB8hRbenps0JnZPiczsPahRLFLinRU14uKrOtKauDqckuyPmSDK+DwgJqyNuyaYag==

LUIS MARDONIO RODRIGUEZ LOPEZ | Fecha:2023-02-28 18:21:05 | Firmante

ECzKttMAOUMVEIOPJXvGWLz20yS7h+Ile+ClelpvNoF3G0f29Nkb4XdyvPv2rx5cKYk1aGNBUVWhYFV0u4G3F2x4hCOHaHbjVxwxrbrjQJVOR7SG5yj8L282NVyFKRbdR6nLm3AMwozI3WBzkt1JO9usN/zEldAuOUOh2CrXgwq8yUKS5lUwy2zwb77FU3i7SnpsVYQ2/hx9S1sy7+7m6fE4kMiik/3+ik0WEktHra6UDfECRdL9CelEM7y6q8qFSlvJuwJLU+2me8Xs9kfWWeRTp2LsNs/6Bt/MbPhTHyp1Z+vhR0eNEU+yal/wRyEwYqRoof5dRUo9F0pdfSgEXQ==

JAVIER MACEDONIO ANDRES | Fecha:2023-03-08 12:57:17 | Firmante

cRiNgypRGi2tz9wPDgfyZQqJAdm5ELd2Ni84BUBg1qbqh2mt98OP3SsSCdCzWyshND+MDuo9x2LISx8TLmlZE6n81sN3jl4cNQKvVkJOID6B3uM+fSK0Uva6knEuevSjsrL6Ai4jzGyc1tOhDiyC/XpMAcCisWlkiFZ++VWlyhUsmyRaSm2ikW2XOPkTaEKUzxKm8Z/u9vZaqxzR4Ca9uLoehtqRtvBPBD8ctAVwqzFg+jSLrZEITDmwr8YRb5xdJcjjBOq/AEQT29O/zp7nrfVZr/5hj1PehDTpQkAjzRo6VQMpgiRdjWbr6Bp5cp46sqzZ+Oz/Lli4tqh1qA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



XBOtvdNkM

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/oAAAYsCFLaxK2K70B2BcXI0U72z0GtP8>

