



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**“SISTEMA DE TIERRAS PARA EL CAMPUS
UNIVERSITARIO”.**

CLAVE : 081 / 62.

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A N :
FONSECA SEGOVIANO JESÚS MANUEL
GARCÍA VELASCO LINA RENATA



DIRECTOR DE TESIS:
ING. GUILLERMO LÓPEZ MONROY

Ciudad Universitaria, México D. F., 2009.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Lina y Sergio por darme la vida, guiarme y enseñarme a disfrutar y apreciar lo que hay en ella. Por sus esfuerzos y desvelos para brindarme su apoyo y educación.

A mis hermanos, en especial a mi hermana Michelle por darme siempre su amistad y cariño.

A mi profesor Juan Manuel Castillo Miranda por su amistad. Por su apoyo incondicional. Por compartirme su conocimiento y experiencia y por todas esas horas que dedicó a instruirme.

A mi profesor Guillermo López Monroy, por su amistad y su apoyo para el desarrollo de este trabajo de Tesis.

A todos mis profesores que me ayudaron a ser mejor profesionista y persona, que dedican su tiempo a convertirnos en mejores seres humanos; entre ellos mis profesores Jorge Federico Paniagua Ballinas, Juan José López Márquez, Hugo Alfredo Grajales Román, Juan Manuel Rojas Gómez, César Maximiliano López Portillo Alcérreca.

A mi amigo y compañero Jesús Manuel Fonseca Segoviano por compartir conmigo esta etapa tan maravillosa en la Universidad.

A mi compañero César López por su ayuda y apoyo.

A mi segundo hogar, la Facultad de Ingeniería donde pasé tanto tiempo disfrutando del conocimiento que adquiría y haciéndome una mejor persona día con día.

Y sobre todo Gracias a Dios.

Lina Renata García Velasco

DEDICATORIAS

A mi familia que me ha dado todo sin pedir nada a cambio, por ese tiempo que han estado conmigo en las buenas y en las malas.

A Carlos Juárez Mariche, por su amor, comprensión, apoyo. Por estar en mi vida y seguir en ella. Por ser mi familia. Por compartir conmigo entre otras cosas su vida, tiempo y experiencias.

A mis amigos que han estado conmigo cada momento, en especial a Francisco Hernández Campos y a María Ernestina Cruz Cruz, Paquito y Tina, por brindarme la oportunidad de conocerlos y ser parte de sus vidas. Por su cariño, apoyo y consejos. Por estar conmigo en esos momentos complicados.

A la Universidad, donde he aprendido tantas cosas y he conocido tantas personas importantes. Gracias por todo lo que me has dado.

A quien lee la presente, espero que te sirva el conocer este trabajo y te ayude en tu formación.

Lina Renata García Velasco

AGRADECIMIENTOS

Con todo cariño y respeto agradezco a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por brindarme la oportunidad de pertenecer a la mejor escuela de estudios superiores que hay en el país.

A la **Facultad de Ingeniería** que fue mi segundo hogar, ya que en ella pase hasta semanas enteras sin darme cuenta de que el tiempo seguía su curso, ella me cobijo con múltiples satisfacciones, me amamanto con su conocimiento, me toleró solo como un padre sabe hacerlo, me vio dar ese paso de joven a adulto, me vio crecer, encontrarme y hoy en día solo me ve como la madre que se enorgullece de su hijo.

Agradezco a los excelentes profesores que nos impartieron las clases, ya que no solo nos brindaron su conocimiento, experiencia, tiempo, esfuerzo y dedicación, también nos regalaron parte de su vida.

Al **Ing. Guillermo López Monroy**, por encausar todo aquello que tenía en la mente en este trabajo y sobre todo no por ser mi maestro, gracias por ser mi amigo.

Al los **Ingenieros Juan Ocáriz Castelazo y Rodolfo Peters Lamel**, por motivarme e impulsarme a lograr mis metas.

A la **Lic. Angélica Gutiérrez** por ser una persona excepcional.

A **Fernando Fonseca Navarro, Dolores Segoviano Aguilar y Andrés Fonseca Segoviano**, por ser las personas que más amo en este mundo y me dan la fuerza para seguir este y cualquier otro camino.

A **mis amigos** que hicieron de mi estancia en la facultad, un lugar mejor.

“Ateh, Malkuth, Ve-Geburah, Ve-Gedulah, Le Olahm, Amen ”

Jesús Manuel Fonseca Segoviano

DEDICATORIAS

A mis padres por darme la vida, por amarme y confiar en mí incondicionalmente.

A mi mamá Lola por cada jalón de orejas, regaño y nalgada cada que me portaba mal ó la desquiciaba con mi conducta (muy seguido).

A mi mamá Lola por consentirme, mimarme, quererme y preocuparse por mí todos los días de hasta ahora mi vida.

A mi papá Fernando por cada discusión inverosímil, por obligarme a terminar lo que empiezo y por enviarme al taller en vacaciones.

A mi papá Fernando por soportarme, escucharme, darme consejos y enseñarme a luchar día a día y no rendirme por todo aquello que amo.

A mi hermano Andrés por cada pelea, discusión y enojo que ha tenido conmigo.

A mi hermano Andrés por enseñarme paciencia, esmero, fuerza y todo lo que un gran ser humano puede tener.

A mi familia y amigos por el simple hecho de estar conmigo, en especial a Gina, Cinthia, Pp, Dante, Omar, El Chato, David, a El Pollo, Patuca, Luchita, Netín, Hilacho, Yoya, Tetos, Maldy, Fery, Cesar, Elizabeth, Brendoshk, Monis, Lina, May, Guillermo Anguiano, Claus, Mr. Olguín, Julio, Dany, Andrea, Caraves y Crispin, porque a pesar de mis errores y defectos me regalaron la oportunidad de crecer y compartir con ustedes este especial camino que es la vida.

Por último, a ti, sí, a ti quien lee esta tesis, esperando que este trabajo te amplíe tus dudas o bien te pueda ser útil.

“Hay quien dice que las personas que te aman, ya sea familiares ó amigos, se pueden contar con los dedos de la mano, yo agradezco a dios que las personas que me aman las puedo contar con las estrellas del Universo”.

Jesús Manuel Fonseca Segoviano



ÍNDICE DESGLOSADO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1.- ANTECEDENTES.....	3
1.1 Planeación y Construcción de Ciudad Universitaria.....	3
1.2 Circuitos que comprenden Ciudad Universitaria.....	6
1.3 Historia del Sistema Eléctrico en Ciudad Universitaria.....	10
CAPÍTULO II.....	12
2.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	13
2.1 Normas y reglamentos.....	14
2.2 Objetivo y naturaleza de los Sistemas de Tierras.....	14
2.3 Constitución de un Sistema de Tierras.....	15
2.4 Determinación de la resistividad del terreno.....	16
2.4.1 Características del terreno de Ciudad Universitaria.....	16
2.5 Configuración del Sistema de Tierras.....	18
2.6 Situación actual de las subestaciones del Campus.....	19
2.7 Definición real del problema.....	21
2.7.1 Daños a Edificios, aparatos eléctricos y electrónicos.....	22
2.7.2 Análisis del riesgo eléctrico en el personal.....	23
2.8 Algunas definiciones.....	25
CAPÍTULO III.....	36
3.- ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	37
3.1 Marco de referencia.....	37
3.2 Corto circuito.....	45
3.2.1 Cálculo de la corriente de corto circuito (situación actual de Ciudad Universitaria)...	47
CAPÍTULO IV.....	55
4.- APLICACIÓN DEL MÉTODO.....	56
4.1 Cálculo de la lcc para el Sistema de Tierras.....	56
4.2 Comparación de corrientes de corto circuito en diferentes puntos.....	69
CAPÍTULO V.....	85
5.- DESARROLLO DEL SISTEMA DE TIERRAS.....	86
5.1 Diseño de una Red de Tierras para media tensión.....	86
5.2 Parámetros a considerar para el cálculo de una Red de Tierras.....	88
5.3 Sección del conductor.....	90
5.4 Electrodo de puesta a tierra.....	94



5.5	Potenciales peligrosos.....	100
5.6	Duración de la falla.....	103
5.7	Desarrollo del Sistema de Tierras para el campus de CU.....	103
5.7.1	El terreno.....	104
5.7.2	Selección del lugar donde tendrán que ser colocados los electrodos.....	113
5.7.3	Selección del conductor y calibre del mismo para la lcc máxima.....	129
5.8	Corrosión por Efecto Galvánico.....	129
CAPÍTULO VI.....		131
6.- Análisis General y Conclusiones.....		132
	Bibliografía.....	135



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra una panorámica actual del sistema eléctrico de Ciudad Universitaria, así como una propuesta probable del sistema que se utilizará para realizar el cambio de tensión a 23 kV dentro del mismo, dando la pauta para generar una posible solución a la Red de Tierras que se deberá de implementar para mantener la seguridad eléctrica en el Campus.

Se pueden notar las modificaciones que se han llevado a cabo en el sistema eléctrico de Ciudad Universitaria a través del tiempo debidas a los requerimientos y necesidades de cada una de las dependencias y edificios que componen el Campus Universitario.

De esta manera esperamos poder aportar una solución práctica, eficiente y viable a la problemática actual y futura o bien dar la pauta para que el sistema eléctrico en media tensión que alimentará a Ciudad Universitaria sea lo más confiable y seguro posible.



CAPÍTULO I ANTECEDENTES



CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1 PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE CIUDAD UNIVERSITARIA

La Universidad Nacional Autónoma de México debido a su creciente necesidad de concentrar los edificios administrativos, Facultades y Escuelas que se localizaban dispersos por la Ciudad de México; entre ellos el Colegio de San Ildefonso, el Palacio de San Agustín y el Palacio de Minería, se vio en la necesidad de llevar a cabo un proyecto para dicho fin. En 1943, el entonces rector Rodolfo Brito Fouché, decidió la adquisición de terrenos en el Pedregal de San Ángel, ubicado al sur de la Ciudad de México, que darían lugar a la Nueva Ciudad Universitaria, le fueron entregados siete millones de metros cuadrados que contaban con grandes extensiones exentas de piedra volcánica.



Fue entonces cuando la Facultad de Arquitectura realizó un anteproyecto, en el que participaron algunos de sus profesores, los arquitectos Enrique del Moral, Mauricio M. Campos y Mario Pani, mismos que encabezaron posteriormente el



proyecto definitivo de Ciudad Universitaria, fueron encomendados para coordinar el Programa General, Proyecto Conjunto, y reunir a los técnicos y arquitectos que fueran necesarios para estudiar los proyectos particulares.

Fundamentalmente el Proyecto Conjunto se encargó de formular el Plano Rector de la Ciudad Universitaria y coordinar los proyectos particulares de los diferentes edificios. Consta del proyecto en detalle de los espacios libres de los diversos edificios, y a través de la coordinación de los trabajos llevados a cabo por los arquitectos encargados de proyectarlos, se obtuvo la distribución final de los espacios.

En marzo de 1950 se creó un organismo administrativo encargado de la realización material de las obras, nombrando gerente del mismo al arquitecto Carlos Lazo, quien contando ya con los fondos necesarios, asumió la tarea de convertir en realidad los proyectos que se iban elaborando. Al agotarse rápidamente los recursos con los que contaba, el Gobierno Federal tomó a su cargo la resolución del problema económico, pese a ello, la Universidad siguió con el control completo de la realización de Ciudad Universitaria.





El Plano Rector comprende el proyecto en detalle; la zonificación de Ciudad Universitaria y la solución vial conveniente dentro del campus y para su conexión con la Ciudad de México, localización de las redes fundamentales de agua, saneamiento y electricidad, la distribución y concentración de los edificios necesarios que debían conformar a Ciudad Universitaria y espacios libres entre ellos, proyección de las plazas, tiendas, espacios abiertos, campos deportivos, jardines, etc.

Originalmente se planeaba dividir en tres zonas el campus de Ciudad Universitaria:

La Zona Escolar que contendría los edificios de Humanidades, Ciencias Biológicas y Artes, estaría ubicada en los alrededores de la explanada, a su vez contaría con espacios para jardines donde estarían los edificios administrativos.

Los campos para actividades deportivas y otras actividades estarían en la Segunda Zona.

Y la Tercer Zona para el Estadio Universitario, actualmente Estadio Olímpico Universitario.

Estas zonas estaban organizadas como anillos, aunque a través del tiempo debido a la demanda de la población de estudiantes, administrativos y visitantes, la zona poblada de Ciudad Universitaria se ha ido expandiendo originando anillos mayores en circuitos concéntricos. Por tal motivo algunos edificios actuales realizan otras tareas a las que originalmente fueron asignados; las Escuelas, Facultades e Institutos se reubicaron en los circuitos exteriores y las edificaciones anteriores se asignaron a las Escuelas y Facultades que siguen dentro del centro del campus como la actual Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y la Facultad de Ciencias.



1.2 CIRCUITOS QUE COMPRENDEN CIUDAD UNIVERSITARIA

ZONA ESCOLAR

En la actualidad el primer circuito trazado en el Proyecto Conjunto de Ciudad Universitaria rodea la Zona Escolar, en su centro se localiza la explanada central, a su alrededor se ubican las Escuelas y Facultades. Algunos de los edificios que se encuentran en este circuito son:

Torre de Rectoría, Biblioteca Central, Museo Universitario de Ciencias y Artes (MUCA), Facultad de Arquitectura, Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras CELE, Facultad de Ingeniería, Facultad de Química la cual incluye el edificio que fue de la Escuela de Veterinaria y es ahora su edificio B, Facultad de Medicina, Facultad de Odontología, Facultad de Derecho, Facultad de Economía, Facultad de Filosofía y Letras, Torres I y II de Humanidades, Dirección General de Orientación y Servicios Educativos (DGOSE), Facultad de Psicología.

CIRCUITO EXTERIOR

El circuito exterior agrupa a la mayoría de las instalaciones deportivas entre ellas la Alberca Olímpica, área de Frontones, Campos de Práctica y Gimnasio.

Las más recientes edificaciones académicas que se construyeron debido a la falta de mayor espacio dentro del circuito escolar son Instituto de Ingeniería, Invernadero del Instituto de Biología, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas, Facultad de Contaduría y Administración y la Escuela Nacional de Trabajo Social.



CIRCUITO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Dicho circuito conjunta a la mayoría de los Institutos de Investigación, también cuenta con instalaciones que estaban en su inicio dentro del circuito escolar y lo componen:

La Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto de Biología, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Instituto de Fisiología, Instituto de Geofísica, Instituto de Geografía, Museo de Zoología, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Centro de Información Científica y Humanística, Centro para la Innovación Tecnológica, Coordinación de la investigación científica, Facultad de Química, Instituto de Astronomía, Instituto de Biotecnología, Instituto de Física, Instituto de Geología, Instituto de Matemáticas, Instituto de Química, Museo de Paleontología, Programa Universitario de Alimentos, Instituto de Ciencias Nucleares e Instituto de Investigaciones en Materiales, los dos últimos propios de la Facultad de Ciencias.

CIRCUITO MARIO DE LA CUEVA

El Circuito Mario de la Cueva cuenta en su mayoría con reserva ecológica, el Espacio Escultórico y el Paseo de las Esculturas. También cuenta con las siguientes instalaciones:

División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Contaduría y Administración, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Centro de Instrumentos, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (DGSCA) y TV UNAM.

Existen tres grupos de instalaciones que se ubican en el área comprendida entre el Circuito Mario de la Cueva y el Sur de CU, el primero contiene a los Institutos de Investigación; Coordinación de Humanidades, Instituto de Investigaciones



Económicas, Instituto de Investigaciones Estéticas, Instituto de Investigaciones Filológicas, Instituto de Investigaciones Filosóficas, Instituto de Investigaciones Históricas, Instituto de Investigaciones Jurídicas, Instituto de Investigaciones Sociales. Otro dedicado a la difusión de la Ciencia que se integra por el Museo de las Ciencias "Universum", Centro Universitario de Comunicación de la Ciencia e Instalaciones Administrativas. Y por último un grupo dedicado a la difusión cultural.

CIRCUITO CULTURAL UNIVERSITARIO

El Circuito Cultural Universitario alberga la Hemeroteca Nacional, Biblioteca Nacional, Instituto de Investigaciones Bibliográficas, Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educación (ISSUE), Sala Netzahualcóyotl, Teatro Juan Ruiz de Alarcón, Foro Sor Juana Inés de la Cruz, Sala de danza Miguel Covarrubias, Salas cinematográficas José Revueltas y Julio Bracho, la Sala de Música de Cámara Carlos Chávez, Foro del Centro Universitario de Teatro (CUT) y la Librería Julio Torri y cafetería Azul y Oro.



Fig. 1: Mapa de Ciudad Universitaria



1.3 HISTORIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN CIUDAD UNIVERSITARIA

Uno de los puntos medulares en el diseño de Ciudad Universitaria, fue el diseño del sistema eléctrico, a través de una red de distribución subterránea. Los encargados de esta labor fueron los ingenieros Carlos Luca Marín, Antonio Macías de Mier, Roberto Brown Brown y Pelayo Fernández Villalobos, bajo la Dirección del ingeniero Luis Mascott López para su planeación, diseño y construcción.

Esta red originalmente estaba integrada por una Subestación principal No.1, que entró en servicio en 1954 y se ubicó en la parte norte de Ciudad Universitaria, atrás de la Facultad de Psicología, contenía dos transformadores trifásicos iguales, con una capacidad de 2500 kVA, 23 – 6.3 kV, en si un total de 5 000 kVA en conjunto. El suministro de la Subestación era a través de 2 alimentadores aéreos de 23 kV energizados por Luz y Fuerza del Centro, la Compañía de Luz y Fuerza Motriz S.A.

Para crear mayor confiabilidad al sistema, la red se integró con tres anillos de dos alimentadores cada uno.

Más tarde, con motivo de los Juegos Olímpicos de 1968 se realizaron modificaciones en la estructura eléctrica del Estadio Universitario por no tener un sistema de iluminación adecuado y se crearon entonces, los anillos D y E para dar mayor confiabilidad al sistema y para satisfacer la demanda universitaria que iba en aumento se amplió la Subestación No.1; es decir, se reemplazaron los dos transformadores que se tenían de 2.5 MVA por dos de 7.5 MVA para absorber la carga excedente y dar un margen de reserva al sistema brindando mayor confiabilidad.



Para el año de 1976 el incremento de más carga era inminente por lo que se pensó en crear una nueva subestación que auxiliara a la No.1, que ya no tenía mayor espacio en sus instalaciones, así que se dio comienzo a su construcción.

En 1981 se construyó la Subestación No.2, en el Circuito Exterior frente a la Escuela de Trabajo Social, integrada por tres transformadores de

2 500 kVA, dos de ellos provenientes de la Subestación No.1.

A la fecha se han hecho cambios en las Subestaciones 1 y 2 para soportar la creciente demanda. Actualmente la red de distribución de Ciudad Universitaria es alimentada por Luz y Fuerza del Centro desde la Subestación Odón de Buen por medio de cuatro alimentadores de 23 kV que llegan a las subestaciones mencionadas.



CAPÍTULO II

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA



CAPÍTULO II

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Ingeniería de diseño eléctrico comprende la elaboración de planos y especificaciones de materiales para el sistema de tierras, y conexiones a tierra de dispositivos eléctricos y electrónicos.

El objetivo del diseño será proveer una instalación eléctrica con las siguientes características:

- SEGURIDAD
- FLEXIBILIDAD
- CONFIABILIDAD
- FACILIDAD DE EXPANSIÓN
- SIMPLICIDAD
- ECONOMÍA

Para la construcción de un sistema de tierras adecuado, debe considerarse el más grande caso de falla eléctrica que pudiera existir en la red y en este caso, más específicamente, el sistema de tierras que se propondrá deberá hacerse basado en el cálculo de la corriente de corto circuito máxima que pudiera ocurrir en el sistema eléctrico propuesto junto con el potencial de toque que generaría dicha falla, y en función del valor de la resistencia que se calcule, decidir el sistema de tierras para lograr el valor de resistencia a tierra más bajo que se pueda alcanzar con los elementos conductores y electrodos que se seleccionarán de acuerdo a norma, tanto en calibre como en materiales.



2.1 NORMAS Y REGLAMENTOS

Los sistemas de tierras deben cumplir con las partes aplicables de la última edición de las normas que se indican a continuación:

ANSI: American National Standard Institute.

NEMA: National Electric Manufactures Association.

NMX – J – 118: Norma Mexicana para Equipo Eléctrico.

NFPA: National Fire Protection Association.

NEC: National Electrical Code. Electrical Construction and Maintenance, September 1991.

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers.

IEEE Std 80 – 2000: IEEE Guide of Safety in AC Substation Grounding

NOM – 001 – SEDE – 2005: Norma Oficial Mexicana relativa a las instalaciones destinadas al suministro y uso de la energía eléctrica.

Para el present trabajo además de las referencias anteriores, **se toma de apoyo el libro “Puesta a Tierra de Subestaciones Eléctricas, editado por la Facultad de Ingeniería.**

2.2 OBJETIVO Y NATURALEZA DE LOS SISTEMAS DE TIERRAS

La conexión correcta a tierra de todo el sistema eléctrico, es un factor de suma importancia para la seguridad del personal y del equipo eléctrico en sí.

El propósito que se persigue con la existencia de los sistemas de tierra es:

- a. Protección para el personal operativo, autorizado o no autorizado.
- b. Protección a los equipos e instalaciones contra tensiones peligrosas.



- c. Evitar que durante la circulación de falla a tierra, se produzcan diferencias de potencial entre distintos puntos de la instalación, proporcionando para esto, un circuito de muy baja impedancia para la circulación de estas corrientes de falla.
- d. Apego a normas y reglamentos públicos en vigor.

2.3 CONSTITUCIÓN DE UN SISTEMA DE TIERRAS

Una instalación de puesta a tierra se compone esencialmente de electrodos, que son los elementos que están en íntimo contacto con el suelo (enterrados) y de conductores, utilizados para enlazar a los electrodos entre sí y a éstos, con los gabinetes de los equipos y demás instalaciones expuestas a corrientes nocivas, tanto para el equipo eléctrico como para el personal o usuarios, para mantener una superficie equipotencial a su alrededor.

Sobre este tema, la NOM – 001 – SEDE – 2005 Sección I Tabla 250 – 94. señala en su capítulo referente a subestaciones, que el área de la sección transversal mínima de los conductores para una malla de tierra es de 107.2 mm^2 (4/0 AWG).

La resistencia eléctrica total del sistema de tierra, debe conservarse en un valor no mayor a 25 ohms, dato obtenido de la NOM – 001 – SEDE – 2005 Sección H 250 – 83, incluyendo todos los elementos que forman al sistema. Para subestaciones hasta 250 kVA y 34.5 kV., 10 ohms, en subestaciones mayores a 250 kVA hasta 34.5 kV y de 5 ohms en subestaciones que operen con tensiones mayores a los 34.5 kV. Dato obtenido de la NOM – 001 – SEDE – 2005 Sección D 921 – 25.



kVA	kV	
250	34.5	25
Mayor que 250	34.5	10
Mayor que 250	Mayor que 34.5	5

Tabla 1: Resistencia máxima para un sistema de tierra de una subestación en función de su capacidad y voltaje

2.4 DETERMINACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Dentro del análisis de nuestro problema debemos verificar el área a seleccionar, ya que la resistividad es diferente para distintos tipos de suelo.

2.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DE CIUDAD UNIVERSITARIA

El terreno por el cual van a circular las líneas de corriente es uno de los factores decisivos para la disposición y comportamiento del sistema de tierra, pero además de considerarse el volumen del terreno en el que se va a hacer la instalación de tierra se toman en cuenta los alrededores.

La resistencia al flujo de corriente en cualquier electrodo se obtiene en función de la conductividad del terreno que varía dependiendo de las condiciones geológicas y composición o composiciones geofísicas del terreno. Como en muchas ocasiones el terreno será de composición heterogénea sus materiales son de diferente naturaleza y sus minerales son de diversa composición a causa de procesos geológicos diversos.



Los cálculos para el sistema de tierras no serán precisos ya que además de que la conductividad no será la misma para zonas diferentes, se deben tomar en cuenta sus dimensiones para el diseño e instalación.

Cuando se encuentre que la conductividad del subsuelo es mejor que la capa cercana a la superficie, el cálculo pueden resultar ser 10% mayor en cuanto a la conductividad; es decir, la resistividad efectiva sería un décimo de la considerada al hacer los cálculos considerando un terreno homogéneo.

Entendiendo por roca cualquier material constituido como un agregado natural de uno o más minerales, el manto y la corteza de la Tierra están hechos con ese material.

Aunque existen rocas constituidas por un solo mineral, rocas monominerálicas, generalmente son rocas compuestas; es decir, están formadas por varias especies de minerales. Estos cuerpos suelen estar hechos con materiales duros, pero también pueden ser blandas, tal es el caso de las rocas arcillosas o las arenas.

Las rocas en la corteza terrestre pueden clasificarse en función a su composición y su textura en:

- Ígneas: rocas formadas por la solidificación de magma o de lava (magma desgasificado). Las rocas magmáticas intrusitas, que son las formadas por cristales gruesos, o rocas volcánicas son con mucho las más abundantes, forman la totalidad del manto y las partes profundas de la corteza. Su composición es dependiendo de la del magma que las forma.
- Sedimentarias: son las formadas por la consolidación de sedimentos, materiales procedentes de la erosión de rocas anteriores, o de precipitación a partir de una disolución.



- **Metamórficas:** se forman debido a la alteración en estado sólido de rocas ya consolidadas de la corteza de la Tierra, cuando quedan sometidas a un ambiente energético muy diferente del de su formación, es una composición de las anteriores.

Las rocas ígneas, están contenidas en su mayor parte al Sur de la superficie de Ciudad Universitaria, originadas por la erupción que hizo hace aproximadamente 2000 años el volcán Xitle, y tienen valores de resistividad mayores a otro tipo de superficie ya que tienen una porosidad pequeña en comparación con la de otras rocas, aunque si son fisuradas o compactas también tienen diferentes valores de resistividad; las primeras al fluir aguas subterráneas a través de sus fisuras, presentan menos resistencia, dependiendo de la salinidad del agua, que cuando se encuentran en su estado compacto, es decir la resistividad varía de acuerdo al grado de fisuración, alcanzando resistividades de decenas de $\Omega - m$ y para las segundas de millares de $\Omega - m$.

También debemos tomar en cuenta que los terrenos de Ciudad Universitaria están formados por arena y tepetate, considerado una roca que se formó por la sedimentación de ceniza volcánica.

El tepetate es una arcilla que se encuentra en mantos gruesos macizos, es un material granuloso, grueso, ligero, color amarillento y de consistencia media, es material poroso y absorbente de agua. La arena es mala conductora de la electricidad debido a que no tiene humedad y tiene huecos que ocupa el aire.

2.5 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE TIERRAS

El sistema de tierras es un instrumento de seguridad mediante el cual se conduce la corriente eléctrica a través de un conductor que está conectado a una malla o a



la misma tierra que se encarga de disipar la corriente eléctrica para redirigirla a otro lugar.

Para la correcta operación del sistema eléctrico y dado que se involucran equipos electrónicos, intervienen cuatro tipos de sistemas de tierra:

- Sistema de Tierra para Electrónica.
- Sistema de Tierra para Fuerza(Tierra física).
- Sistema de Tierra de Pararrayos:
- Sistema de Tierra para señales electromagnéticas y cargas estáticas.

2.6 SITUACIÓN ACTUAL DE LAS SUBESTACIONES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO

SUBESTACIÓN GENERAL No.1

Para alimentar 97 subestaciones derivadas con una capacidad total instalada de 33.35 MVA, la Subestación General No. 1 cuenta con dos transformadores de 7.5 MVA, 23/6.3 kV cada uno, uno de ellos está en operación y el otro está de reserva en caso de falla, mantenimiento o pruebas; el primero cuenta con 14 interruptores en aire de 6 kV; cinco circuitos tipo anillo, un alimentador de enlace entre esta Subestación y la Subestación No.2.

El interruptor principal de 23 kV, aunque opera adecuadamente, su equipo de control presenta problemas de operación. En general, el estado de los tableros de baja tensión es deficiente debido a que ya tienen más de 50 años de operación, y deberán sustituirse.



La capacidad de la subestación es de 7.5 MVA , los transformadores no operan simultáneamente, pero se presenta un problema debido a que en la actualidad la demanda rebasa los 8 MVA, lo que se traduce en sobrecarga constante. Una situación bastante crítica es la que se presenta cuando se utiliza el Estadio Olímpico en eventos nocturnos cuando se emplea el alumbrado total y aumenta en exceso la demanda de energía, para disminuir los inconvenientes que conlleva la sobrecarga se utilizan plantas de emergencia.

El equipo de protecciones también presenta problemas debido a que su diseño fue bajo especificaciones que en la actualidad son obsoletas y por el término de su vida útil.

SUBESTACIÓN GENERAL No.2

Contiene 2 transformadores de 5/6.25 MVA, 23/6.3 kV, cada uno, en este caso sucede lo mismo que en la Subestación No.1, solamente está conectado un transformador y el otro se conecta solo en caso de falla, mantenimiento o pruebas; hay 7 interruptores en aire de 6 kV, cuenta con 5 alimentadores que forman dos circuitos tipo anillo y un alimentador de enlace entre la Subestación No.1 y la Subestación No.2.

En esta subestación a diferencia de la primera, los equipos funcionan correctamente, pero dada su antigüedad es necesario hacerles pruebas de confiabilidad y plantear una propuesta de reemplazo para un tiempo no muy lejano.

La capacidad de la Subestación es de 5 MVA, es decir; opera un transformador a la vez. De acuerdo con recientes registros de operación, la demanda medida llega



a 5.7 MVA, al igual que en el caso de la subestación anterior se origina sobrecarga constante.

ALIMENTADORES Y SUBESTACIONES DERIVADAS

En la actualidad se cuenta con los planos de las Subestaciones No.1 y No.2, pero es necesario que se establezca un sistema de normalización e identificación de componentes.

Los alimentadores de la Subestación No.1 fueron instalados en la época de los 50's y los de la subestación No.2 fueron instalados por los años 70's, lo que marca un tiempo de 50 y 35 años de antigüedad respectivamente. En estudios recientes, es de notarse la necesidad de cambiar algunos tramos importantes de cable para el buen funcionamiento de la red eléctrica.

Los seccionadores e interruptores sumergibles instalados en la red son equipos ya obsoletos que causan muchos problemas; es decir, fallas y al no poder repararse por no existir refacciones surge la necesidad de cambiarlos.

Las canalizaciones presentan también problemas, las precipitaciones pluviales causan filtración de agua que llega a los registros.

2.7 DEFINICIÓN REAL DEL PROBLEMA

Analizando lo anterior, sin perder de vista que los equipos fallan continuamente debido a que son obsoletos, es necesario elaborar un sistema de tierra congruente a las necesidades del campus, sin perder de vista que hay equipos en similares condiciones en ambas subestaciones que fallan continuamente. El problema



fundamental es la protección para los usuarios de la red y para quienes trabajan en ella, previendo hacia un futuro no muy lejano para el cual las subestaciones sean modificadas o bien retiradas.

Se propondrá el Sistema de Tierra considerando el cambio de tensión de 6.3 kV a 23 kV como se ha estado planeando.

2.7.1 DAÑOS A EDIFICIOS, APARATOS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS.

En los últimos años ha existido un desarrollo considerable de la industria de los semiconductores, tanto en el ámbito de los componentes discretos (cada vez más rápidos, más eficientes, más baratos y más pequeños) como en el de las tecnologías de control e integración.

La electrónica industrial se ha beneficiado sin duda alguna con estos cambios que se aprecian día con día, y con estos avances se aprecia también una mayor inclinación al empleo de estas nuevas técnicas. Los equipos que estaban contruidos a base de componentes voluminosos, por citar algunos ejemplos bobinas y radiadores de tiristores se están sustituyendo por otros nuevos, basados en técnicas de conmutación donde se obtienen comportamientos y volúmenes inimaginables que aquellos que se obtenían con la práctica de técnicas clásicas.

Aún cuando los beneficios de estas nuevas técnicas y tecnologías son abundantes (volumen, peso, funcionalidad, capacidad, etc.), existen inconvenientes y aspectos críticos que no aparecían en años anteriores. La mayoría de los problemas que se presentan en la actualidad con los aparatos eléctrico - electrónicos, no es el hecho que estén mal contruidos o carezcan de calidad, la mayoría de ellos están bien contruidos pero el problema radica en las descargas eléctricas y transitorios que hoy en día suceden en la red de distribución.



Así pues los sistemas de tierras desempeñan un papel de suma importancia actualmente, existen numerosos artefactos y se crean otros tantos que requieren estar bien aterrizados para su óptimo funcionamiento. En Ciudad Universitaria se debe contar con un sistema de tierra confiable, ya que en ella se manejan muchos de los instrumentos de medición y científicos más avanzados del país que necesitan adecuada protección para su óptimo desempeño.

Uno de los daños más recurrentes en los aparatos eléctrico - electrónicos, es el daño a sus componentes ocasionados por los transitorios y armónicos que ocurren en la red que los deja inservibles por quemar los circuitos o ponerlos en resonancia y el repararlos causa un gran costo a la Universidad.

2.7.2 ANALISIS DEL RIESGO ELÉCTRICO EN EL PERSONAL.

EFFECTOS DE LA CORRIENTE

Es muy común que las malas instalaciones eléctricas propicien cortos circuitos que originen incendios, o que sucedan descargas atmosféricas a personas o equipo. En nuestro país la mayoría de los proyectos eléctricos que se desarrollan están en función de costos y no de calidad ni de seguridad, mucho depende de la ética con que trabaje el ingeniero.

El deterioro del aislante en los cables, ya sea por antigüedad o por algún otro agente externo, causa numerosos incendios en instalaciones eléctricas al originarse una corriente de fuga que lo atraviesa que genera un arco y calentamiento del material deteriorado, con ese incremento de temperatura se quema el material del recubrimiento del cable y si se encuentra en un medio inflamable o cerca de un material o sustancia inflamable comienza un incendio.



Las descargas atmosféricas, son un factor importante que causa consecuencias, algunas de ellas bastante severas, que van desde la inutilización de aparatos eléctrico-electrónicos o lesionar a seres humanos hasta cosas más desagradables como el privarlos de la vida. Es por eso que la protección contra descargas atmosféricas debe ser capaz de conducir el rayo directo a tierra evitando la descarga en inmuebles y en el caso más importante, a los seres vivos.

EFFECTOS DEL PASO DE LA CORRIENTE EN EL SER HUMANO

Los accidentes anteriormente mencionados pueden afectar las condiciones de salud o incluso propiciar la muerte prematura o repentina. Cuando la corriente circula a través de un cuerpo éste incrementa su temperatura, pero dependiendo de la corriente que circula por un cuerpo animado, y del medio, ya sea seco o húmedo, donde suceda la descarga eléctrica son los efectos que provoca en seres vivos. Pueden provocar quemaduras leves o tetanización, que son quemaduras externas e internas, cocimiento de los líquidos de los tejidos, excitación eléctrica de los nervios y los músculos, fibrilación ventricular, paros cardiacos graves de acuerdo con las características fisiológicas del individuo afectado y las características de corriente que recorran el cuerpo humano.

La percepción y los efectos biológicos del paso de la corriente por el cuerpo humano dependen de la intensidad de la corriente relacionada con el valor del voltaje aplicado al cuerpo y de la resistencia del mismo, que comienza con 0.02 mA a 1mA para la parte más sensible, el globo ocular, y con una intensidad de corriente mayor, como 16mA para alta resistencia y 8 para baja resistencia, se da el inicio de la contracción de los músculos como límite para terminar el contacto humano con el electrodo, después de ese límite puede que la persona no pueda terminar el contacto o puede causar la muerte por asfixia.



Para prevenir algún accidente, es necesario saber primeros auxilios que muy probablemente salvarían la vida de una persona en caso de que sufra electrocución por una descarga atmosférica o un accidente eléctrico. Se debe siempre considerar que son peligros latentes, y al estar conscientes de eso y con cierto conocimiento es más fácil obtener una pronta y acertada reacción ante algún inconveniente de esa naturaleza o se hace más fácil el hallar una factible y buena solución al problema que se presente.

Los reportes de accidentes de trabajo incrementan en relación directa con el progreso económico y social y las consecuencias tales como invalidez, muerte, licencias, indemnizaciones, baja productividad, entre otras, se acentúan con niveles de tensión mayor de 220 volts utilizadas en redes de distribución para consumidores residenciales, comerciales, y ciertos industriales; baja tensión.

La mayoría de esos accidentes se debe a que los trabajadores realizan sus tareas de manera descuidada, sin cautela y sin tomar medidas precautorias de seguridad, muchas veces por falta de información sobre la forma de realizar las maniobras pertinentes y no tomar las medidas adicionales de seguridad adecuadas por falta de equipo de trabajo como el usar zapatos, guantes y casco aislante, en otras ocasiones debido a que el equipo no cumple los requisitos de seguridad o se encuentra deteriorado o porque el sitio de trabajo no es el adecuado o se encuentra en lugares no accesibles que tampoco cumplen los requisitos necesarios y suficientes de seguridad.

2.8 ALGUNAS DEFINICIONES

- Intensidad de corriente: es uno de los factores que más inciden en los efectos y lesiones ocasionados por el accidente eléctrico. En relación con la intensidad



de corriente, algunos conceptos relevantes son los que se indican a continuación.

- **Umbral de Percepción:** Es el valor de la corriente mínima que causa que el individuo sienta algún tipo de sensación cuando la corriente lo recorre y está en función de el área del cuerpo en contacto, condiciones en que se lleva a cabo el contacto, temperatura, características; seco, húmedo o mojado, y de la fisiología del individuo, generalmente se considera un valor independiente del tiempo de 1 mA.
- **Umbral de Desprendimiento:** Es el valor máximo de corriente a la cual alguna persona en contacto con una parte energizada puede desprenderse de ella. Un valor de 10 mA se considera normal en corriente alterna, tomando en consideración las condiciones anteriores. En corriente continua, es difícil establecer el umbral de desprendimiento ya que sólo el comienzo y la interrupción del paso de la corriente provoca el dolor y las contracciones musculares.
- **Umbral de contracciones musculares:** El valor mínimo de la corriente, sin daño en el organismo, el cual causa fibrilación ventricular. De 9 a 25 mA.
- **Probabilidad de tetanización y dificultades respiratorias para duraciones de paso de corriente superiores a 2 segundos.**
- **Corriente de Fibrilación:** Es aquella que se produce al existir una diferencia de potencial entre dos partes del organismo. El potencial tolerable del cuerpo humano está en función de esta corriente, que al circular por el corazón, primeramente le produce una arritmia cardíaca, procediendo a detenerlo por completo causando la muerte.
- **Umbral de fibrilación ventricular:** El período vulnerable abarca una parte comparativamente reducida del ciclo cardíaco (10 al 20%), en éste la fibrilación



ventricular ocurre si las fibras del corazón son excitadas por una corriente de suficiente intensidad ya que se encuentran en estado no homogéneo de excitabilidad aunque depende también de la anatomía del cuerpo, estado del corazón, duración, clases de corrientes, etc. lo anterior corresponde a la primera parte de la onda T en el electrocardiograma, ver figura 2, y supone aproximadamente un 10% del ciclo cardíaco completo.

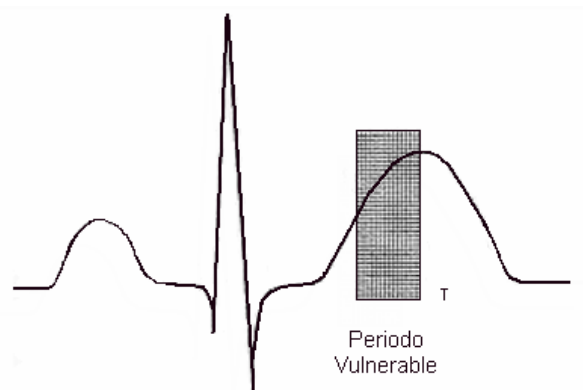


Fig. 2: Periodo vulnerable del ciclo cardíaco

Existe un decremento en el umbral de fibrilación y comienzo de la fibrilación si el flujo de corriente está por encima de un ciclo cardíaco (400 ms). La figura 3 reproduce un electrocardiograma en el cual se representan los efectos de la fibrilación ventricular, indicándose las variaciones que sufre la tensión arterial cuando se produce la fibrilación, la tensión arterial experimenta una oscilación e inmediatamente, decrece, en cuestión de un segundo, hacia valores mortales.

Para shock eléctrico menor a 0.1 seg, la fibrilación puede ocurrir recién con corrientes mayores a 500 mA; para 3 seg. de sólo 60 a 100 mA, aunque para tiempos de exposición de entre 0.06 seg. a 0.3 seg. existe un riesgo mucho menor de fibrilación ventricular.



El paro respiratorio se presenta cuando una intensidad de corriente de 50 mA atraviesa el tórax.

Algunos de los factores que pueden favorecer a la electrocución son los siguientes:

A partir de los 50 años de edad existe mayor peligro, complicaciones en el sistema circulatorio debido a coronarias, infartos, el susto, la resistencia del cuerpo en mujeres disminuye su resistencia, alcohol en la sangre, entre otros.

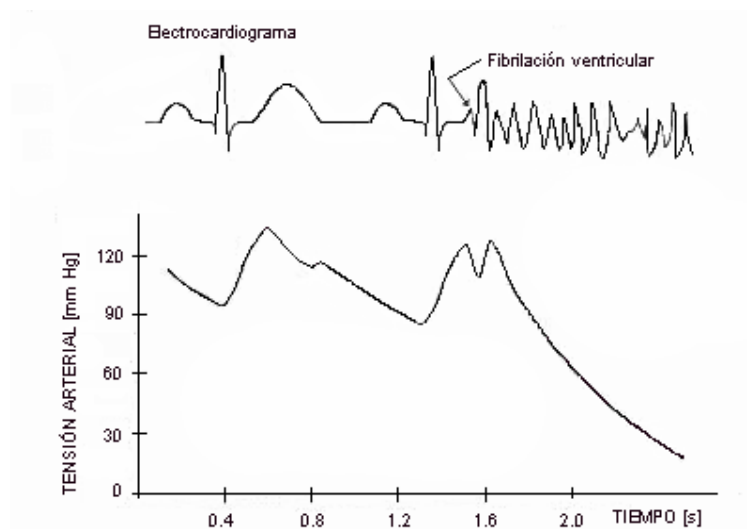


Fig. 3: Efecto de la fibrilación ventricular en el electrocardiograma y en la tensión arterial

La corriente de rayo provoca algunos de los problemas causados por una corriente eléctrica, entre ellos; el entumecimiento en las extremidades, elevación en la presión sanguínea, pérdida del conocimiento, trastornos mentales pasajeros; síncope y paro del corazón; fracturas de cráneo, columna vertebral y de brazos



debidas a caídas. Mayormente las consecuencias son severas e irreversibles como en el caso de daños cerebrales, disturbios auditivos y oculares

Con un adecuado sistema de puesta a tierra disminuyen las posibilidades de contacto eléctrico.

Un buen sistema de tierra tanto en hogares, centros de trabajo como para áreas comunes se traduce en mayor seguridad, disminución del calentamiento de motores y cables para la prevención de incendios, atenuación de ruido en equipos y aparatos electrónicos y eléctricos, disminución de distorsión armónica, mejora del factor de potencia, incremento de tiempo de vida de equipo, disminución de fallas, mayor calidad de operación y menor costo de mantenimiento, entre otros.

Las instalaciones eléctricas y los lugares de trabajo deben estar diseñadas para que algún individuo no tenga contacto con partes metálicas energizadas, y los elementos energizados deben estar dispuestos o marcados de tal forma que no puedan provocar daños dependiendo del voltaje presente y la corriente que pase por el cuerpo en caso de haber contacto.

La solución a lo anterior, es que todas las partes metálicas de casas, edificios u otros inmuebles estén puestas a tierra para que no presenten un voltaje al momento de entrar en contacto con los individuos. Se pueden tener:

- Contacto directo: es el contacto accidental de una persona con las partes energizadas de una instalación eléctrica.
- Contacto indirecto: es el contacto accidental de una persona con las partes metálicas puestas accidentalmente bajo tensión.

Los requisitos de un sistema de puesta a tierra son los siguientes:

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.



- Presentar mínima variación a la resistencia debida a cambios ambientales.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Tener suficiente capacidad de conducción y disipación de corriente de falla.
- Evitar ruidos eléctricos.
- Ser resistente a la corrosión.
- Tener facilidad de mantenimiento.

Los factores fisiopatológicos tales como contracciones musculares, aumento de la presión sanguínea, dificultades de respiración, parada temporal del corazón, etc. pueden producirse sin fibrilación ventricular. Tales efectos no son mortales y son normalmente, reversibles aunque a menudo producen marcas por el paso de la corriente.

Las quemaduras profundas pueden llegar a ser mortales.

La figura 4 indica las alteraciones de la piel humana en función de la densidad de corriente que circula por un área determinada (mA/mm^2), y el tiempo de exposición a esa corriente. Se distinguen las siguientes zonas:

- Zona 0: habitualmente no hay alteración de la piel, salvo que el tiempo de exposición sea de varios segundos, en cuyo caso, la piel en contacto con el electrodo puede tomar un color grisáceo con superficie rugosa.
- Zona 1: se produce un enrojecimiento de la piel con una hinchazón en los bordes donde estaba situado el electrodo.
- Zona 2: se provoca una coloración parda de la piel que estaba situada bajo el electrodo. Si la duración es de varias decenas de segundos se produce una clara hinchazón alrededor del electrodo.
- Zona 3: se puede provocar una carbonización de la piel.



Es importante resaltar que con una intensidad elevada y cuando las superficies de contacto son importantes se puede llegar a la fibrilación ventricular sin ninguna alteración de la piel.

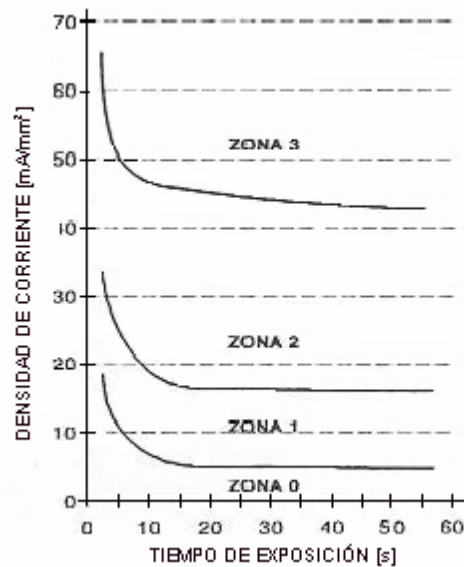


Fig. 4: Efecto sobre la piel

En la figura 5 se indican los efectos que produce una corriente alterna de frecuencia comprendida entre 15 y 100 Hz con un recorrido mano izquierda a los dos pies y se distinguen las siguientes zonas:

- Zona 1: habitualmente ninguna reacción.
- Zona 2: habitualmente ningún efecto fisiológico peligroso.
- Zona 3: habitualmente ningún daño orgánico. Con duración superior a 2 segundos se pueden producir contracciones musculares dificultando la respiración, paradas temporales del corazón sin llegar a la fibrilación ventricular.



- Zona 4: riesgo de paro cardiaco por: fibrilación ventricular, paro respiratorio, quemaduras graves.

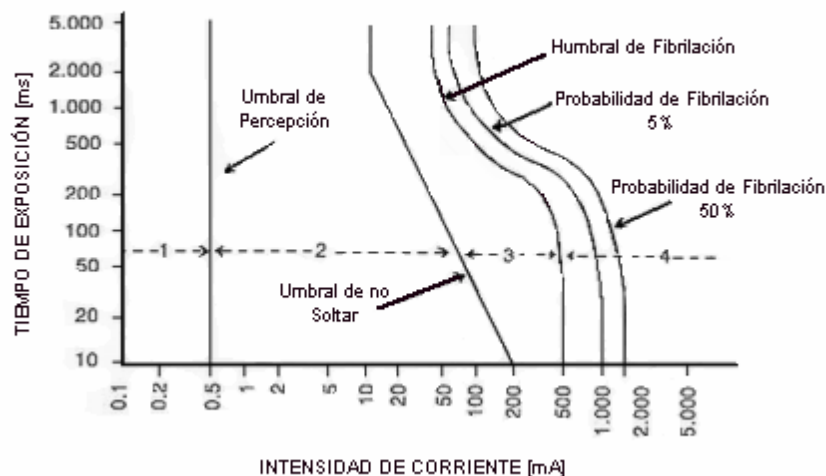


Fig. 5: Efectos que produce la corriente alterna con frecuencia comprendida entre 15 y 100 Hz con un recorrido mano izquierda los dos pies.

- Duración del contacto eléctrico: Además de la intensidad de corriente, es el factor que más influye en el resultado del accidente. Por ejemplo, en corriente alterna y con intensidades inferiores a 100 mA, la fibrilación puede producirse si el tiempo de exposición es superior a 500 ms.
- Impedancia del cuerpo humano: Su importancia en el resultado del accidente depende de las siguientes circunstancias: de la tensión, de la frecuencia, de la duración del paso de la corriente, de la temperatura, del grado de humedad de la piel, de la superficie de contacto, de la presión de contacto, de la dureza de la epidermis, etc.



Las diferentes partes del cuerpo humano, tales como la piel, los músculos, la sangre, etc., presentan para la corriente eléctrica una impedancia compuesta por elementos resistivos y capacitivos. Durante el paso de la electricidad la impedancia de nuestro cuerpo se comporta como una suma de tres impedancias en serie:

- Impedancia de la piel en la zona de entrada.
- Impedancia interna del cuerpo.
- Impedancia de la piel en la zona de salida.

Hasta tensiones de contacto de 50 V en corriente alterna, aunque la impedancia de la piel varía por diversos factores, a partir de 50 V la impedancia de la piel decrece rápidamente, llegando a ser muy baja si la piel está perforada.



Fig. 6: Impedancia interna del organismo

La impedancia interna del cuerpo puede considerarse esencialmente como resistiva, con la particularidad de ser la resistencia de los brazos y las piernas mucho mayor que la del tronco. Además, para tensiones elevadas la impedancia interna hace prácticamente despreciable la impedancia de la piel. Para poder comparar la impedancia interna dependiendo de la trayectoria, en la figura 6 se indican las impedancias de algunos recorridos comparados con los trayectos



mano-mano y mano-pie que se consideran como impedancias de referencia (100%).

En las tablas 2 y 3 se indican unos valores de la impedancia total del cuerpo humano en función de la tensión de contacto, tanto para corriente alterna y continua, respectivamente.

Tensión de contacto (V)	Trayectoria mano-mano, piel seca, c. alterna, frecuencia 50-60 Hz, superficie de contacto 50-100 cm ²		
	Impedancia total (Ω) del cuerpo humano que no son sobrepasados por el		
	5% de las personas	50% de las personas	95% de las personas
25	1.750	3.250	6.100
50	1.450	2.625	4.375
75	1.250	2.200	3.500
100	1.200	1.875	3.200
125	1.125	1.625	2.875
220	1.000	1.350	2.125
700	750	1.100	1.550
1.000	700	1.050	1.500
valor asintótico	650	750	850

Tabla 2: Impedancia del cuerpo humano frente a la corriente alterna

Tensión de contacto (V)	Trayectoria mano-mano, piel seca, c. continua superficie de contacto 50-100 cm ²		
	Impedancia total (Ω) del cuerpo humano que no son sobrepasados por el		
	5% de las personas	50% de las personas	95% de las personas
25	2.200	3.875	8.800
50	1.750	2.990	5.300
75	1.510	2.470	4.000
100	1.340	2.070	3.400
125	1.230	1.750	3.000
220	1.000	1.350	2.125
700	750	1.100	1.550
1.000	700	1.050	1.500
valor asintótico	650	750	850

Tabla 3: Impedancia de cuerpo humano frente a la corriente continua



Las variaciones de la impedancia del cuerpo humano en función de la superficie de contacto, se representan en la figura 7, en relación con la tensión aplicada. En la Instrucción MIE BT 001 artículo 58 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT: Norma Española similar al NEC) se considera que la resistencia del cuerpo entre mano y pie es de 2.5 ohm.

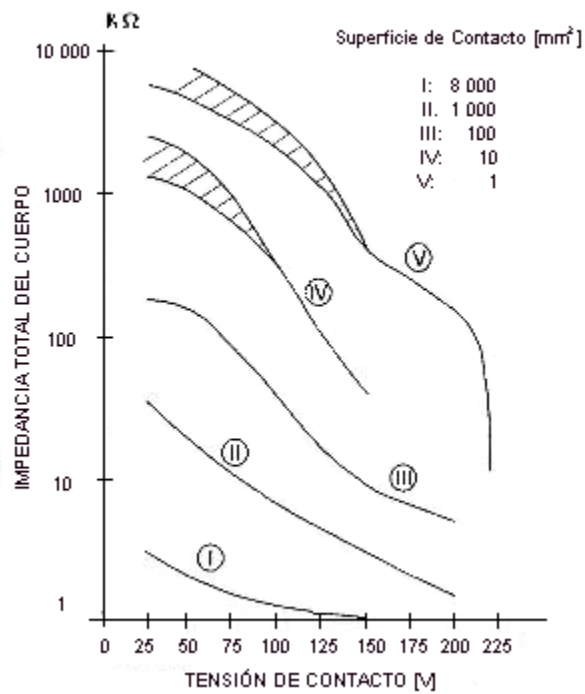


Fig. 7: Impedancia del cuerpo en función de la superficie de contacto.



CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL PROBLEMA



CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En este capítulo se pretende crear una idea clara de cuál es la situación en la que Ciudad Universitaria se encuentra al momento y cuáles serían los posibles cambios que esta presentaría al momento de una reestructuración en la red subterránea que distribuye la energía eléctrica.

El proceso de cambio que se pretende efectuar consiste en que la distribución que se da en el sistema aumente de 6.3 kV a 23 kV, lo que implica un cambio radical dentro de la red subterránea, así como en las subestaciones generales que son las encargadas de la distribución de la energía.

Los datos recabados a continuación así como el análisis del posible corto circuito implementado en este cambio darán la pauta para alcanzar el objetivo principal de esta tesis, realizar un sistema de tierras efectivo para ya mencionado cambio de tensión dentro de Ciudad Universitaria.

3.1 MARCO DE REFERENCIA

Las tablas que se presentan en este capítulo son el marco de referencia para entender la situación que se presenta en CU, este estudio tiene varios años de haber sido realizado, pero es un buen punto de partida que se podrá analizar y comparar con próximas estadísticas que se obtendrán de actividades de campo realizadas recientemente y de las cuales se obtuvieron nuevos datos.

Las tablas siguientes muestran como están organizados los anillos, su capacidad en kVA por dependencia y la resistencia a tierra que presentaban al momento que se midió, cabe señalar que la mayoría de estos sistemas cuentan con un cableado subterráneo de 1 hilo con 3 fases.



ANILLO I DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GENERAL 1, COMPUESTO POR DOS CIRCUITOS (A Y B)					
REF.	ANILLO	CIRCUITO	DEPENDENCIA	kVA	RESISTENCIA
11AB1	I	A	Torre 2	260	No se midió
11AB2			Cuadro Marcador	225	3.4
11AB3			Antiguo Maratón	75	No se midió
11AB4			Talleres de Conservación	300	No se midió
11AB5			Dirección General de Obras	75	3.7
11AB6			Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas, Antes Tienda UNAM 1.	300	14.3
13AB1			Torre 3	600	0.96
13AB2			Vestidores	500	2.13
13AB3			Investigación y Medicina del Deporte	112.5	2.69
13AB4			Bombas Tanque Bajo	150	4.96
13AB5			Bombas Tanque Bajo	75	4.96
13AB6		Multifamiliar	75	8.06	
11BA1		B	Torre 1	600	No se midió
12BA1			Torre 2	600	0.85

Tabla 4: Capacidad e Impedancia de las diferentes dependencias que comprenden el Anillo I.



ANILLO II DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GENERAL 1, COMPUESTO POR DOS CIRCUITOS (C Y D).					
REF.	ANILLO	CIRCUITO	DEPENDENCIA	kVA	RESISTENCIA
11CD1	II	C	Torre 2	600	No se midió
12CD1			Torre 3	600	0.96
12CD2			Prensa	600	3.08
11DC1		D	Torre 1	600	No se midió
12DC1			Torre 4	600	0.85

Tabla 5: Capacidad e Impedancia de las diferentes dependencias que comprenden el Anillo II.



ANILLO III DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GENERAL 1, COMPUESTO POR DOS CIRCUITOS (E Y F)					
REF.	ANILLO	CIRCUITO	DEPENDENCIA	kVA	RESISTENCIA
11EF1	III	E	Pebetero	750	No se midió
1F1		F	Palomar	750	No se midió
13F1			Pozo 2	225	ND
13F2			Incinerador de Basura	50	3.63
13F3			Bomba de Riego	75	2.43
14F1			Instituto de Ecología	300	6.3
16F1			Instituto de Biología	150	5.6
16F2			Instituto de Biología, Edificio B	300	2.22
16F3			Instituto de Biología, Edificio C	750	2.18
17F1			Jardín Botánico Exterior	75	83.2
17F2			Mesa Vibradora	750	2.77
17F3			Mesa Vibradora	75	2.77
18F1			Unidad de Seminarios	75	11.7
19F1			Pozo 3, Vivero Alto	225	185.2
19F2			Vivero Alto , Cabaña	75	3.47

Tabla 6: Capacidad e Impedancia de las diferentes dependencias que comprenden el Anillo III.



**ANILLO IV DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GENERAL 1, COMPUESTO POR DOS
CIRCUITOS (G Y H)**

REF.	ANILLO	CIRCUITO	DEPENDENCIA	kVA	RESISTENCIA
11GH1	IV	G	Biblioteca Central	500	31.6
13GH1			Coordinación del CCH	100	No tiene sistema
14GH1			Consejo Académico y Dirección General de Programación Presupuestal	500	0.49
15GH1			Estadio de Prácticas	300	2.37
15GH2			Frontón Cerrado	150	1.45
16GH1			Escuela Nacional de Trabajo Social	225	415
17GH1			Facultad de Contaduría y Administración	500	3.14
18GH1			Laboratorio de Termofluidos	300	1
19GH1			Anexo de la Facultad de Ingeniería, Talleres	500	0.87
19GH2			Anexo de la Facultad de Ingeniería	500	3.2
110GH1			Edificio Luis G. Valdez Vallejo	1000	1.8
110GH2			Edificio Luis G. Valdez Vallejo	1000	1.8
110GH3			División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Edificio A	225	144
111GH1			Instituto de Ingeniería, Edificio 12	300	46.6
113GH1			División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Edificio B y C	225	4.46
113GH2			Nave Hidráulica, Talleres	500	2.58
113GH3			Torre de Ingeniería	500	2.25
113GH4			Vivero Bajo	112.5	13.43

Tabla 7-1: Capacidad e Impedancia de las diferentes dependencias que comprenden el Anillo IV.



ANILLO IV DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GENERAL 1, COMPUESTO POR DOS CIRCUITOS (G Y H)					
REF.	ANILLO	CIRCUITO	DEPENDENCIA	kVA	RESISTENCIA
11HG1	IV	H	Torre de Humanidades 1 y Facultad de Filosofía y Letras	300	0.3
12HG1			Facultad de Odontología 1, Edificio B, Sótano	300	No tiene sistema
12HG2			Facultad de Odontología 2 , Estacionamiento	300	4.7
13HG1			Facultad de Medicina, Edificio A	300	0.8
13HG2			Facultad de Medicina, Edificio A	150	0.8
13HG3			Facultad de Medicina, Edificio A, Autoclave	300	0.58
15HG1			Facultad de Medicina, Edificio D	300	48
15HG2			Facultad de Medicina , Edificio B y C	300	0.8
15HG3			Facultad de Medicina, Edificio de Investigación	225	2.59
15HG4			Facultad de Medicina, Edificio de Investigación	1000	2.59
17HG1			Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	500	No se midió
17HG2			Departamento de Psiquiatría y Salud Mental, Edificio F de la Facultad de Medicina	75	No se midió
17HG3			Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación	750	0.61

Tabla 7-2: Capacidad e Impedancia de las diferentes dependencias que comprenden el Anillo IV.



ANILLO V DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GENERAL 1, COMPUESTO POR DOS CIRCUITOS (I Y J)

REF.	ANILLO	CIRCUITO	DEPENDENCIA	kVA	RESISTENCIA	
1111	V	I	Centro Médico	400	3.5	
1211			Facultad de Arquitectura 1	300	No se midió	
1212			Facultad de Arquitectura 2	300	20.1	
1311			Alberca Olímpica	225	Abierto	
1511			Facultad de Química, Edificio C	225	0.87	
1512			Pozo 1	150		
1611			Instituto de Ingeniería	550	1.2	
1612			Instituto de Ingeniería	112.5	1.2	
1711			Facultad de Química Edificio B	500	0.58	
1712			Edificio IIMAS	300	5.07	
1713			Edificio IIMAS	500	5.07	
1811			Instituto de Investigaciones Biomédicas	500	No se midió	
11JI1			J	Facultad de Filosofía y Letras, Biblioteca Samuel Ramos	112.5	0.54
11JI2				Facultad de Derecho, Biblioteca Antonio Caso	300	0.69
12JI1		Facultad de Derecho		500	No tiene sistema	
13JI1		Anexo, Facultad de Derecho		250	3.54	
13JI2		Facultad de Economía		300	3.28	
14JI1		Torre de Humanidades 2		750	1.02	
15JI1		Unidad de Posgrado		300	No tiene sistema	
16JI1		Diseño Industrial		100	4.05	
16JI2	Facultad de Química A	500		3.5		
16JI3	CELE	225		2.63		
17JI1	Facultad de Ingeniería	500	3.22			

Tabla 8: Capacidad e Impedancia de las diferentes dependencias que comprenden el Anillo V.



CIRCUITO DE ENLACE DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GENERAL I CON LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GENERAL 2					
REF.	ANILLO	CIRCUITO	DEPENDENCIA	kVA	RESISTENCIA
			Torre de Rectoría	500	3.75
ALIMENTADOR K DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GENERAL 1					
REF.	ANILLO	CIRCUITO	DEPENDENCIA	kVA	RESISTENCIA
11K1		K	Facultad de Psicología	225	No se midió
11K2			Dirección General de Publicaciones	500	No se midió
11K3			Posgrado de Ingeniería	75	No se midió

Tabla 9: Capacidad e Impedancia de las diferentes dependencias que comprenden el Circuito K y ENLACE de la Subestación General 1 y 2.

De las tablas anteriores se concluye lo siguiente:

El promedio de la capacidad instalada son **500 kVA** por dependencia, y las resistencias a tierra que se presentan varían de acuerdo al terreno.

Con base en lo anterior y lo visto en campo la mayoría de los transformadores en las dependencias **ocupan un rango menor al 40% de su capacidad instalada.**

Cabe aclarar que la mayoría de las mediciones se efectúan sin desconectar la pantalla y tierra.



Fig. 8: Ejemplo de transformador con exceso de capacidad

3.2 CORTO CIRCUITO

El análisis de Corto Circuito representa una herramienta de las más importantes y poderosas dentro de los Sistemas Eléctricos de Potencia, ya que con ella se puede calcular uno de los parámetros más importantes dentro de estos sistemas, nos referimos a la corriente de corto circuito, con la cual es posible el diseño adecuado y seguro de la red de tierras.

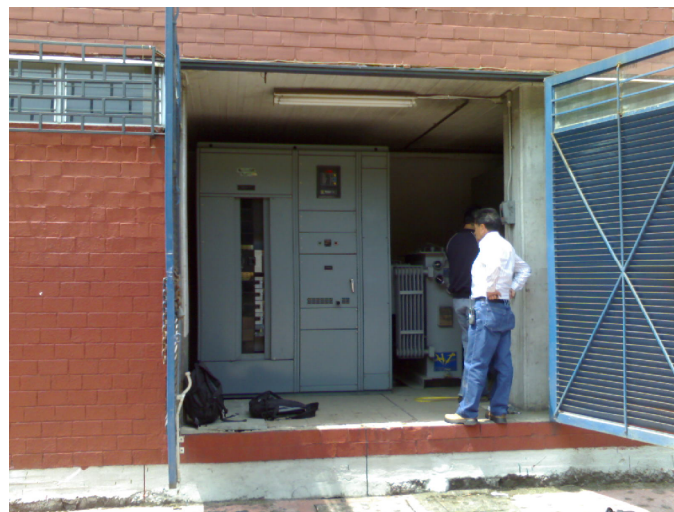


Fig. 9: Subestación eléctrica



Como era de suponerse, para obtener las corrientes de corto circuito necesarias para el cálculo del sistema de tierra, se propone un muy probable circuito eléctrico que podría usarse en el cambio de tensión de 6.3 kV a 23 kV que se analizará más adelante.

Previo a lo anterior, se deberán establecer las bases del sistema actual para ver su funcionamiento y analizar su comportamiento.

El circuito eléctrico que se encuentra en Ciudad Universitaria está conformado actualmente de la siguiente manera:

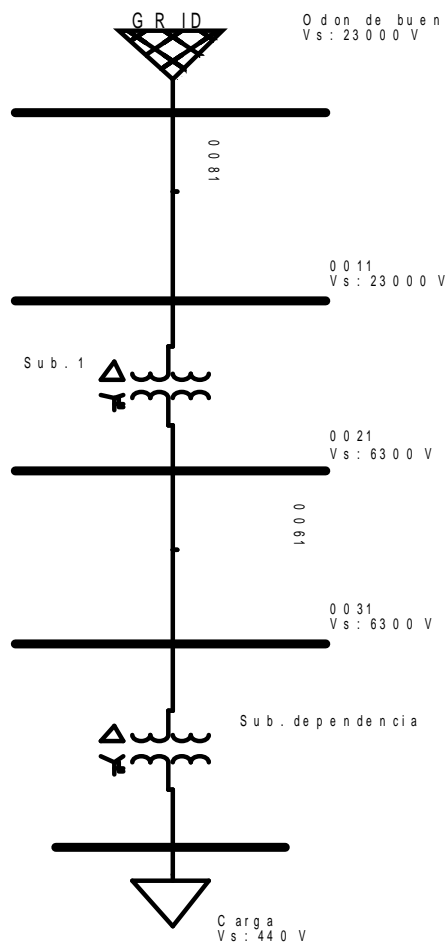


Fig. 10: Circuito de distribución eléctrica actual



Se puede observar que la corriente eléctrica circula de la subestación Odón de Buen a la Subestación General No.1 en Ciudad Universitaria, a través de una línea de 23 kV y 4 000 m de longitud, figura 10.

En la Subestación General No.1 se baja la tensión de 23 kV a 6.3 kV y se distribuye la Corriente Eléctrica por medio de cableado subterráneo a las diferentes dependencias conectadas a esta subestación de Ciudad Universitaria.

En cada dependencia, se encuentra otro transformador que reduce de 6.3 kV a baja tensión, ya sea 440 V o 220 V dependiendo de las necesidades que se tengan en el edificio.

3.2.1 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.

SITUACIÓN ACTUAL EN CIUDAD UNIVERSITARIA.

Para este cálculo se propone una dependencia aleatoria para analizar el panorama actual que se presenta con la corriente de corto circuito, en términos generales, en cualquier dependencia.

Así que realiza el cálculo para el edificio 18 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Partiendo del circuito anterior (figura 10):

Falla monofásica en el Bus de la línea dos (antes del transformador 2)

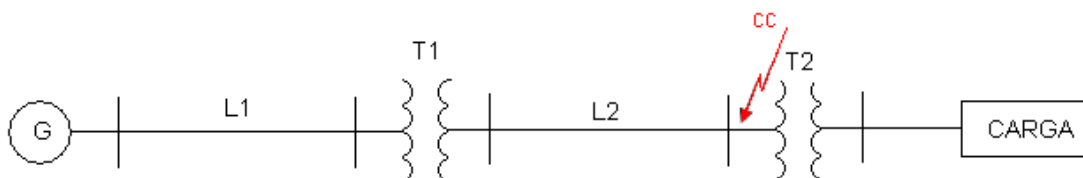


Fig. 11: Circuito eléctrico actual con falla justo antes del transformador de la subestación



Los valores por unidad de las impedancias del circuito anterior se calculan tomando como base los valores del transformador de la subestación No.1, es decir, considerando $S_{base} = 7.5 \text{ MVA}$:

- a) Impedancia del generador, datos proporcionados por la Compañía suministradora Luz y Fuerza

Datos del Generador:

$$S_{cc3\phi} = 356.41 \text{ MVA}$$

$$S_{cc1\phi} = 347.65 \text{ MVA}$$

Cálculo para las impedancias de secuencia para el generador en pu

$$Z_{G(1,2)} = 0.0096 + 0.2841j$$

$$Z_{G(0)} = 0.0016 + 0.3019j$$

Los datos anteriores se tomaron de la siguiente tabla de Luz y Fuerza del Centro para la subestación Odón de Buen:

LUZ Y FUERZA DEL CENTRO. VALOR DE CORTOCIRCUITO. ESTUDIO DE FALLAS EN 23 kV.											
SUBESTACIÓN	FALLA 3		FALLA 1		IMPEDANCIA SEC(+) PU		X_1/R_1	IMPEDANCIA SEC(0) PU		X_0/R_0	X_0/X_1
	MVA	kA	MVA	kA	R_1	X_1		R_0	X_0		
Odón de Buen	356.41	8.95	347.65	8.73	0.0096	0.2804	29.114	0.0016	0.3019	188.77	1.0766

Tabla 10: Valor de las impedancias y potencia de corto circuito en el generador de la Subestación Odón de Buen.



De esta manera las impedancias referidas a la base se obtienen con las siguientes fórmulas:

Cálculo en pu $Z_{G(1,2)}$, $Z_{G(0)}$

$$Z_{G(1,2)} = \frac{(E_{TH}^2)S_B}{S_{cc3}\varphi} \text{ pu}$$

$$Z_{G(0)} = \frac{3(E_{TH}^2)S_B}{S_{cc1}\varphi} - 2 Z_{G(1,2)} \text{ pu}$$

$$Z_{G(1,2)} = (1)^2 \frac{7.5 \text{ MVA}}{356.41 \text{ MVA}} \text{ pu}$$

$$Z_{G(1,2)} = 0.021043j \text{ pu}$$

$$Z_{G(0)} = 3(1^2) \frac{7.5 \text{ MVA}}{347.65 \text{ MVA}} j - 2(0.021j) \text{ pu}$$

$$Z_{G(0)} = 0.0226 \text{ pu}$$

Datos de la línea 1:

Línea 1: Bus que conecta la SE. Odón de Buen con la Subestación 1
Conductor L1 = Línea aérea ACSR, 336.400 m.c.m., 26 hilos de aluminio

Longitud L1 = 4 km

Impedancias L1:

$$Z_1 = Z_2$$

$$Z_{L-1(1,2)} = 0.4924 + 0.3785j \text{ /km}$$



$$Z_{L-1(0)} = 0.670194 + 1.877299j \quad /km$$

Cálculo en $Z_{L-1(1,2)}, Z_{L-1(0)}$

$$Z_{L-1(1,2)} = (0.4924 + 0.3785j \quad /km) \times 4 \text{ km}$$

$$Z_{L-1(0)} = (0.670194 + 1.877299j \quad /km) \times 4km$$

$$Z_{L-1(1,2)} = (1.969416 + 1.51413j)$$

$$Z_{L-1(0)} = (2.68077 + 7.5092j)$$

Obtención de la Z_B

$$Z_{pu} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}}$$

$$Z_B = \frac{(E_{línea})^2}{S_{base}} = \frac{(23 \text{ kV})^2}{7.5 \text{ MVA}} = 70.53$$

Cálculo en pu $Z_{L-1(1,2)}$

$$Z_{L-1(1,2)} = \frac{1.969416 + 1.51413j \quad \Omega}{70.53 \quad \Omega} = \mathbf{0.027923 + 0.021468j \text{ pu}}$$

Cálculo en pu $Z_{L-1(0)}$,

$$Z_{L-1(0)} = \frac{2.68077 + 7.5092j \quad \Omega}{70.53 \quad \Omega} = \mathbf{0.038009 + 0.106468j \text{ pu}}$$

Transformador 1

$$V_{AT} = 23 \text{ kV}$$

$$V_{BT} = 6.3 \text{ kV}$$



$Z_{T-1(1,2,0)} = 0.0596 \text{ j pu}$ Valor obtenido de la placa del transformador de la Subestación 1 referido a la base 7.5 MVA.

Datos de la Línea 2:

Línea 2: Bus que conecta el Transformador de la Subestación 1 con el transformador de la dependencia.

Longitud L2 = 2.31 km

Impedancias L2:

Valores obtenidos del libro Electrical Transmission and Distribution Reference Book [5], para cables de 8 kV formados por tres fases.

$$Z_1 = Z_2$$

$$Z_{L-2(1,2)} = 0.1317j \text{ /km}$$

$$Z_{L-2(0)} = 3.779 + 0.204j \text{ /km}$$

Cálculo en $Z_{L-2(1,2)}$, $Z_{L-2(0)}$

$$Z_{L-2(1,2)} = 0.1317j \text{ /km} \times 2.31 \text{ km}$$

$$Z_{L-2(0)} = 3.779 + 0.204j \text{ /km} \times 2.31 \text{ km}$$

$$Z_{L-2(1,2)} = 0.304227j$$

$$Z_{L-2(0)} = 8.72949 + 0.471248j$$

Obtención de la Z_B

$$Z_{pu} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}}$$

$$Z_B = \frac{(E_{Línea})^2}{S_{base}} = \frac{(6.3 \text{ kV})^2}{7.5 \text{ MVA}} = 5.292 \Omega$$



Cálculo en pu $Z_{L-1(1,2)}$,

$$Z_{L-2(1,2)} = \frac{0.304227j \Omega}{5.292 \Omega} = \mathbf{0.0575j \text{ pu}}$$

$$Z_{L-2(0)} = \frac{8.72949 + 0.471248j \Omega}{5.292 \Omega} = \mathbf{1.6495 + 0.08934j \text{ pu}}$$

Transformador 2

$$V_{AT} = 6.3 \text{ kV}$$

$$V_{BT} = 440 \text{ V}$$

$Z_{T2} = 0.0462 j$ Valor obtenido de la placa del transformador que alimenta al edificio 18, el cual tomamos como ejemplo.

Obtención de Z_{T2} pu

$$Z_{T2} = Z_{T2} \left(\frac{E_{Línea}}{E_{base}} \right)^2 \left(\frac{S_{base}}{S_{T2}} \right) \text{ pu}$$

$$Z_{T2} = 0.0462j \left(\frac{6.3 \text{ kV}}{6.3 \text{ kV}} \right)^2 \left(\frac{7.5 \text{ MVA}}{500 \text{ kVA}} \right) \text{ pu}$$

$$\mathbf{Z_{T2(1,2,0)} = 0.693j \text{ pu}}$$

Para una Carga de 562 500 W:

$$Z_C = Z \frac{(V)^2}{P} = \frac{(440 \text{ V})^2}{562500 \text{ W}} = \mathbf{0.34417}$$

$$Z_B = \frac{(E_{Línea})^2}{S_{base}} = \frac{(440 \text{ V})^2}{7.5 \text{ MVA}} = \mathbf{0.0258}$$

Cálculo de la Carga en pu

$$\mathbf{Z_{C(1,2,0)} = \frac{Z_{carga}}{Z_{base}} = \frac{0.34417 \Omega}{0.0258 \Omega} = 13.33 \text{ pu}}$$



Cálculo para Z de secuencia 1 y 2:

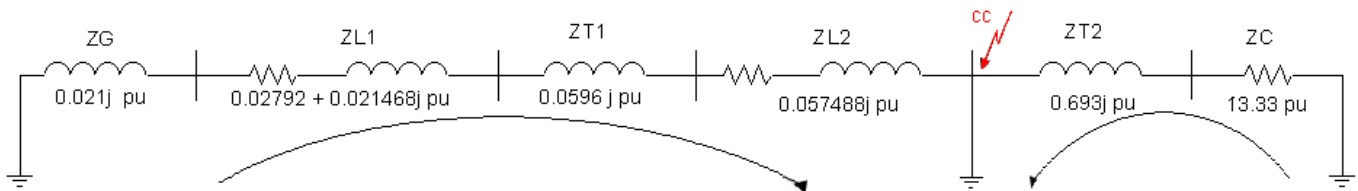


Fig. 12: Sistema actual con impedancias de secuencia 1 y 2 en pu con falla justo antes del transformador de la dependencia

$$Z_{TH(1,2)} = (Z_G + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L2}) // (Z_{T2} + Z_C)$$

$$Z_{TH(1,2)} = [(0.027923 + 0.159611j) // (13.33 + 0.693)]_{(1,2)}$$

$$Z_{TH(1,2)} = [(0.162035 _ 80.077^\circ) // (13.348 _ 2.976^\circ)]$$

$$\mathbf{Z_{TH(1,2)} = (0.161586 _ 79.40^\circ) \text{ pu}}$$

Cálculo para Z de secuencia 0:

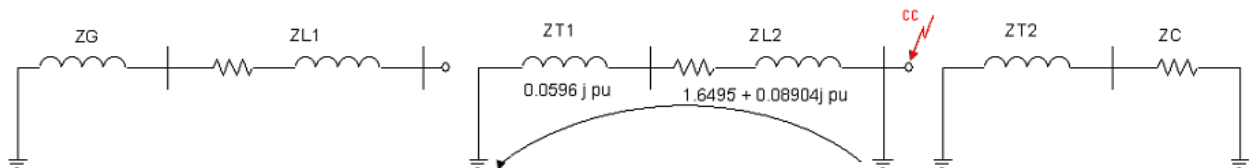


Fig. 13: Sistema actual con impedancias de secuencia 0 en pu con falla justo antes del transformador de la dependencia

$$Z_{TH(0)} = (Z_{T1} + Z_{L2})_{(0)}$$

$$Z_{TH(0)} = 1.64959 + 0.148963j \text{ pu}$$

$$\mathbf{Z_{TH(0)} = (1.65629 _ 5.16^\circ) \text{ pu}}$$

I de corto circuito:



$$I = \frac{E_{TH}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{1}{1.7090295 + 0.4665983j} \text{ pu}$$

$$I = 0.564469 \text{ pu}$$

$$I_{cc} = 3 I = 1.69341 \text{ pu}$$

$$I_{cc_{1\phi}} = I_{cc_{1\phi}} \text{ pu} \times I_B$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}V_B} = \frac{7.5 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 6.3 \text{ kV}} = 687.32 \text{ A}$$

$$I_{cc_{1\phi}} = 1.69341 \text{ pu} \times 687.32 \text{ A}$$

$$I_{cc_{1\phi}} = 1163.91 \text{ A}$$

Cálculo de $I_{cc_{2\phi}}$

$$I = \frac{Z_2 E_{TH}}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$I = (0.297613) \text{ pu}$$

$$I_{cc} = 3 I = (0.892839) \text{ pu}$$

$$I_{cc_{2\phi}} = I_{cc_{2\phi}} \text{ pu} \times I_B$$

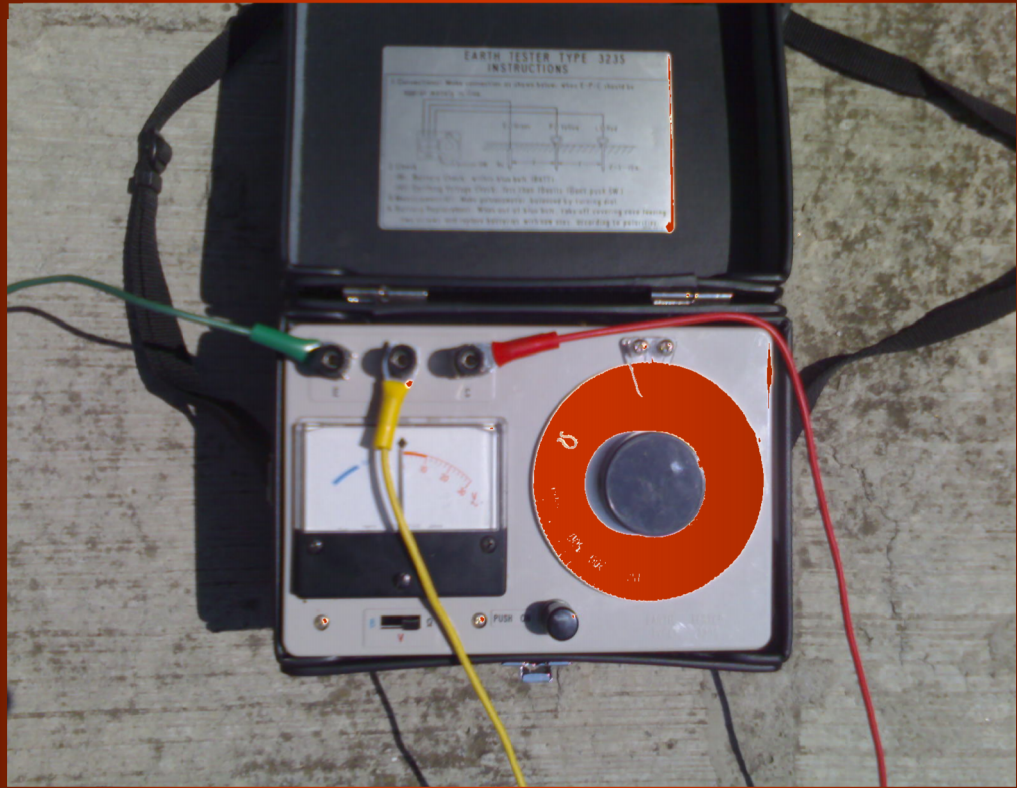
$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}V_B} = \frac{7.5 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 6.3 \text{ kV}} = 687.32 \text{ A}$$

$$I_{cc_{2\phi}} = 0.892839 \text{ pu} \times 687.32 \text{ A}$$

$$I_{cc_{2\phi}} = 613.666 \text{ A}$$

Como se puede observar la Corriente de Corto Circuito que se presenta al entrar a la subestación de la dependencia oscila en el valor:

$$I_{cc} = 1163.91 \text{ A}$$



CAPÍTULO IV

APLICACIÓN DEL MÉTODO



CAPÍTULO IV

4. APLICACIÓN DEL MÉTODO

4.1 CÁLCULO DE LA I_{cc} PARA EL SISTEMA DE TIERRAS

El cálculo en el capítulo anterior se realizó con la finalidad de tener un parámetro de referencia del sistema eléctrico con el que cuenta Ciudad Universitaria y el que probablemente será implementado.

Para encontrar la corriente de corto circuito aproximada que imperará en la Subestación No.1, primero que nada se supone lo que sucedería al cambiar el sistema ya establecido por uno que permitirá distribuir a 23 kV.

La subestación Odón de Buen seguirá transmitiendo normalmente a 23 kV, el suministro llegará a las Subestación No.1 de Ciudad Universitaria, la cual ya no contará con un transformador de 23 kV a 6.3 kV, en su lugar contará con un Bus que distribuirá a los anillos conectados a esta Subestación y éstos a su vez a las diferentes dependencias por medio de un cableado subterráneo que soporte los 23 kV y una mayor corriente de corto circuito, debido a la eliminación del transformador de la actual Subestación No.1. Después, al llegar al transformador de cada dependencia, éste tendrá que ser de 23 kV a baja tensión; es decir, 440 V ó 220V dependiendo el caso.



Fig. 14: Tablero con acoplamiento al transformador



Nuestro sistema propuesto quedará de la siguiente manera:

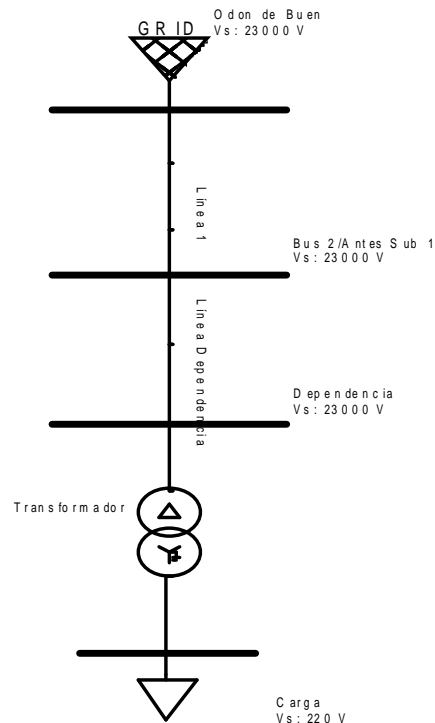


Fig. 15: Propuesta de sistema eléctrico

Para poder comparar la I_{cc} del circuito anterior con la del propuesto, se analiza el cortocircuito en el mismo lugar que el primer circuito pero bajo la consideración de que sólo hay un transformador ubicado en la dependencia, la línea que correrá del bus de distribución (antes Subestación No. 1), **será de una sección transversal de 70 mm^2** por cada fase, por conveniencia en los cálculos, para soportar los 23 kV y la posible más elevada corriente de corto circuito.

También gracias a los recorridos hechos en Ciudad Universitaria y a los datos recopilados de éstos en tablas, se puede apreciar que el ocupar **transformadores de 500 kVA** sería lo más indicado ya que en muchas dependencias están



sobrados de capacidad, y en otras, los que tienen menor capacidad cumplen satisfactoriamente con las necesidades de las dependencias, así los transformadores de 500 kVA cumplirán con el inminente crecimiento de cualquier dependencia.

Sin más que decir se efectúa el cálculo de corto circuito con los siguientes datos y con el apoyo y respaldo de un programa realizado en Excel que muestra los posibles valores de I_{cc} para diferentes longitudes de bus.

“NOTA: Se utilizará una $S_{Base} = 0.5 \text{ MVA}$ por conveniencia en el cálculo del corto circuito”.

SISTEMA PROPUESTO

Cálculo de Corto circuito I:

Falla monofásica en el Bus de la línea dos (antes del transformador 2)

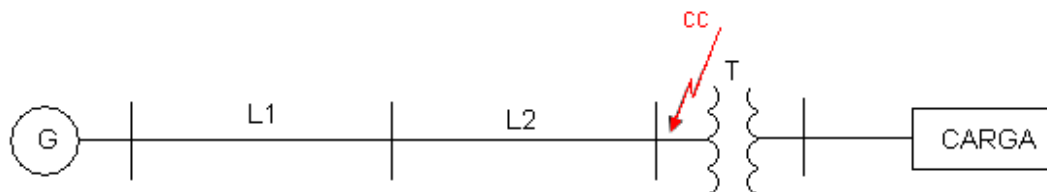


Fig. 16: Circuito eléctrico propuesto con falla antes del transformador de la subestación

Tomando como bases:

$$S_B = 500 \text{ kVA}$$

$$V_B = 23 \text{ kV}$$

Cálculo para las impedancias de secuencia para el generador en pu

$$Z_{G(1,2)} = 0.0096 + 0.2841j$$

$$Z_{G(0)} = 0.0016 + 0.3019j$$



Cálculo en pu $Z_{G(1,2)}$, $Z_{G(0)}$

$$Z_{G(1,2)} = \frac{(E_{TH}^2)S_B}{S_{cc3\phi}} \text{ pu}$$

$$Z_{G(0)} = \frac{3(E_{TH}^2)S_B}{S_{cc1\phi}} - 2Z_{G(1,2)} \text{ pu}$$

$$Z_{G(1,2)} = (1)^2 \frac{500 \text{ kVA}}{356.41 \text{ MVA}} \text{ pu}$$

$$Z_{G(1,2)} = 0.001403j \text{ pu}$$

$$Z_{G(0)} = 3(1)^2 \frac{500 \text{ kVA}}{347.65 \text{ MVA}} j - 2(0.0014287j) \text{ pu}$$

$$Z_{G(0)} = 0.001509 \text{ pu}$$

Línea 1: Bus que conecta la SE. Odón de Buen con la Subestación 1

Conductor L1= Línea aérea ACSR, 336.400 m.c.m., 26 hilos de aluminio. Datos tomados del libro "Electrical Transmission and Distribution Reference Book, ABB, Chapter 3, Aerial Lines, page 50"

Longitud L1 = 4 km

Impedancias L1:

$$Z_1 = Z_2$$

$$Z_{L-1(1,2)} = 0.4924 + 0.2785j \text{ /km}$$

$$Z_{L-1(0)} = 0.6702 + 1.8772j \text{ /km}$$

Cálculo en $Z_{L-1(1,2)}$, $Z_{L-1(0)}$

$$Z_{L-1(1,2)} = (0.4924 + 0.2785j \text{ /km}) \times 4 \text{ km}$$



$$Z_{L-1(0)} = (0.6702 + 1.8772j \text{ } /\text{km}) \times 4\text{km}$$

$$Z_{L-1(1,2)} = (1.96942 + 1.51413j)$$

$$Z_{L-1(0)} = (2.68077 + 7.5092j)$$

Obtención de la Z_B

$$Z_{pu} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}}$$

$$Z_B = \frac{(E_{Línea})^2}{S_{base}} = \frac{(23 \text{ kV})^2}{500 \text{ kVA}} = 1058$$

Cálculo en pu $Z_{L-1(1,2)}$,

$$Z_{L-1(1,2)} = \frac{1.96942 + 1.51413j \text{ } \Omega}{1058 \text{ } \Omega} = 0.001861 + 0.001431j \text{ pu}$$

Cálculo en pu $Z_{L-1(0)}$,

$$Z_{L-1(0)} = \frac{2.68077 + 7.5092j \text{ } \Omega}{1058 \text{ } \Omega} = 0.002534 + 0.007098j \text{ pu}$$

Datos de la Línea 2:

Línea 2: Bus que conecta la transferencia de la Subestación 1 con el transformador de la dependencia. Datos obtenidos del “Catalogo Electrónico de Productos VIAKON, Información Técnica, Parámetros Eléctricos para cables de Media Tensión, 25 kV de Cu, 2007.”

Longitud $L_2 = 2.31 \text{ km}$

Impedancias L_2 :

$$Z_1 = Z_2$$



$$Z_{L-2(1,2)} = 0.333 + 0.2974j \text{ /km}$$

$$Z_{L-2(0)} = 0.8834 + 0.6379j \text{ /km}$$

Cálculo en $Z_{L-2(1,2)}$, $Z_{L-2(0)}$

$$Z_{L-2(1,2)} = 0.333 + 0.2974j \text{ /km} \times 2.31 \text{ km}$$

$$Z_{L-2(0)} = 0.8834 + 0.6379j \text{ /km} \times 2.31 \text{ km}$$

$$Z_{L-2(1,2)} = 0.7693 + 0.686994$$

$$Z_{L-2(0)} = 2.040654 + 1.4735j$$

Obtención de la Z_B

$$Z_{pu} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}}$$

$$Z_B = 1058$$

Cálculo en pu $Z_{L-2(1,2)}$,

$$Z_{L-2(1,2)} = \frac{0.7693 + 0.686994 \Omega}{1058 \Omega} = 0.00072706 + 0.00064933j \text{ pu}$$

$$Z_{L-2(0)} = \frac{2.040654 + 1.4735j \Omega}{1058 \Omega} = 0.00192878 + 0.0013927j \text{ pu}$$

Transformador

$$V_{AT} = 23 \text{ kV}$$

$$V_{BT} = 440 \text{ V}$$

$$Z_T = 0.058 \text{ j}$$



Obtención de Z_T pu

$$Z_T = Z_{T2} \left(\frac{E_{Linea}}{E_{base}} \right)^2 \left(\frac{S_{base}}{S_{T2}} \right) \text{ pu}$$

$$Z_T = 0.0462j \left(\frac{23 \text{ kV}}{23 \text{ kV}} \right)^2 \left(\frac{500 \text{ kVA}}{500 \text{ kVA}} \right) \text{ pu}$$

$$Z_{T(1,2,0)} = \mathbf{0.058 \text{ j pu}}$$

Para una Carga de 562 500 W:

$$Z_C = Z \frac{(V)^2}{P} = \frac{(440 \text{ V})^2}{562500 \text{ W}} = \mathbf{0.34417}$$

$$Z_B = \frac{(E_{Linea})^2}{S_{base}} = \frac{(440 \text{ V})^2}{500 \text{ kVA}} = \mathbf{0.3872}$$

Cálculo de la Carga en pu

$$Z_{C(1,2,0)} = \frac{Z_{carga}}{Z_{base}} = \frac{0.34417 \Omega}{0.3872 \Omega} = \mathbf{0.8888 \text{ pu}}$$

Cálculo para Z de secuencia 1 y 2:

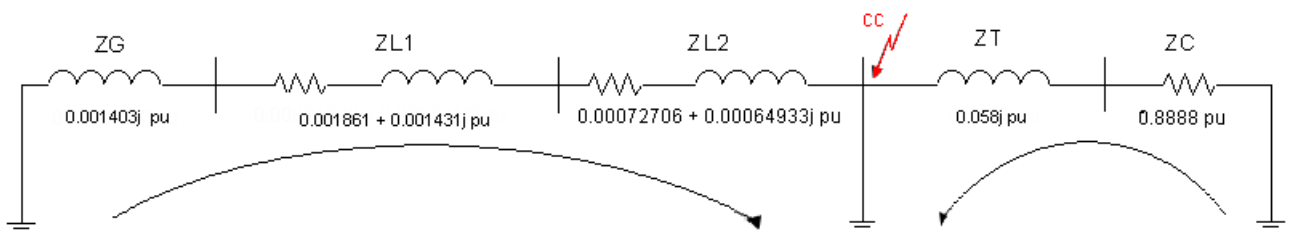


Fig. 17: Sistema propuesto con impedancias de secuencia 1 y 2 en pu con falla justo antes del transformador de la dependencia



$$Z_{TH(1,2)} = (Z_G + Z_{L1} + Z_{L2}) // (Z_T + Z_C)$$

$$Z_{TH(1,2)} = [(0.002589 + 0.003484j) // (0.8888 + 0.058j)]_{(1,2)}$$

$$Z_{TH(1,2)} = [(0.0034 \angle -53.3839^\circ) // (0.889892 \angle -3.736^\circ)]$$

$$Z_{TH(1,2)} = (0.004326 \angle -53.1716^\circ) \text{ pu}$$

Cálculo para Z de secuencia 0:

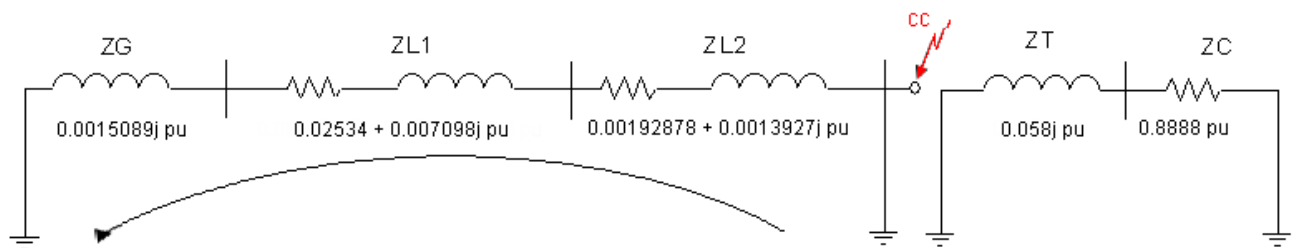


Fig. 18: Sistema propuesto con impedancias de secuencia 0 en pu con falla justo antes del transformador de la dependencia

$$Z_{TH(0)} = (Z_G + Z_{L1} + Z_{L2})_{(0)}$$

$$Z_{TH(0)} = (0.004463 + 0.0099999j)$$

$$Z_{TH(0)} = (0.01095 \angle -65.9493^\circ) \text{ pu}$$

I de corto circuito:

$$I = \frac{E_{TH}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{1}{0.005256697 + 0.010747j} \text{ pu}$$

$$I = 51.3285 \text{ pu}$$

$$I_{cc} = 3 I = 153.985 \text{ pu}$$

$$I_{cc_{1\phi}} = I_{cc_{1\phi}} \text{ pu} \times I_B$$



$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}V_B} = \frac{500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 23 \text{ kV}} = 12.55 \text{ A}$$

$$I_{cc_{1\phi}} = 153.985 \text{ pu} \times 12.55 \text{ A}$$

$$I_{cc_{1\phi}} = 1 \text{ 932.52 A}$$

Cálculo de $I_{cc_{2\phi}}$

$$I = \frac{Z_2 E_{TH}}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$I = (38.2614) \text{ pu}$$

$$I_{cc} = 3 I = 114.784 \text{ pu}$$

$$I_{cc_{2\phi}} = I_{cc_{2\phi}} \text{ pu} \times I_B$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}V_B} = \frac{500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 23 \text{ kV}} = 12.55 \text{ A}$$

$$I_{cc_{2\phi}} = 114.784 \text{ pu} \times 12.55 \text{ A}$$

$$I_{cc_{2\phi}} = 1 \text{ 440.54 A}$$

Veamos la comparación del sistema actual con el propuesto

Icc	A
Sistema actual	1163.91
Sistema propuesto	1932.52
Diferencia	768.61

Tabla: 11



Como puede observarse la I_{CC} del nuevo sistema es **768.41 A** más grande que la del sistema anterior, lo que corrobora que la máxima corriente que debe de soportar el nuevo sistema debe de ser mayor.

SISTEMA PROPUESTO

Cálculo de Corto circuito: Análisis de la corriente de Corto Circuito máxima

Falla monofásica entre el Bus de la línea uno y dos:

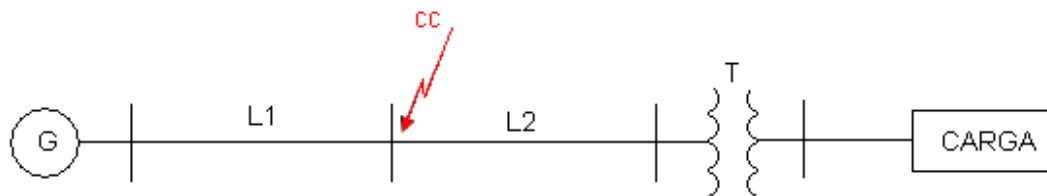


Fig. 19: Propuesta de sistema eléctrico con peor caso de falla

Tomando como bases:

$$S_B = 500 \text{ kVA}$$

$$V_B = 23 \text{ kV}$$

El cálculo para las impedancias de secuencia en pu para los elementos que componen el circuito son los mismos que en el caso propuesto anterior

Para el Generador:

$$Z_{G(1,2)} = 0.0014287j \text{ pu}$$

$$Z_{G(0)} = 0.0015089j \text{ pu}$$



Para la Línea 1:

Cálculo en $Z_{L-1(1,2)}$, $Z_{L-1(0)}$

$$Z_{L-1(1,2)} = (0.4924 + 0.2785j \text{ /km}) \times 4 \text{ km}$$

$$Z_{L-1(0)} = (0.6702 + 1.8772j \text{ /km}) \times 4 \text{ km}$$

$$Z_{L-1(1,2)} = (1.96942 + 1.51413j)$$

$$Z_{L-1(0)} = (2.68077 + 7.5092j)$$

Cálculo en pu $Z_{L-1(1,2)}$,

$$Z_{L-1(1,2)} = \frac{1.9642 + 1.51413j \ \Omega}{1058 \ \Omega} = 0.00186145 + 0.001431127j \text{ pu}$$

Cálculo en pu $Z_{L-1(0)}$,

$$Z_{L-1(0)} = \frac{2.68077 + 7.5092j \ \Omega}{1058 \ \Omega} = 0.0025337429 + 0.0070975425j \text{ pu}$$

Para la Línea 2:

$$Z_{L-2(1,2)} = \frac{0.7693 + 0.686994 \ \Omega}{1058 \ \Omega} = 0.00072706 + 0.00064933j \text{ pu}$$

$$Z_{L-2(0)} = \frac{2.040654 + 1.4735j \ \Omega}{1058 \ \Omega} = 0.00192878 + 0.0013927j \text{ pu}$$

Transformador

$$Z_{T(1,2,0)} = 0.0462 \text{ j pu}$$



Impedancia de la carga en pu

$$Z_{C(1,2,0)} = \frac{Z_{carga}}{Z_{base}} = \frac{0.34417 \Omega}{0.3872 \Omega} = \mathbf{0.8888 \text{ pu}}$$

Cálculo para Z de secuencia 1 y 2:

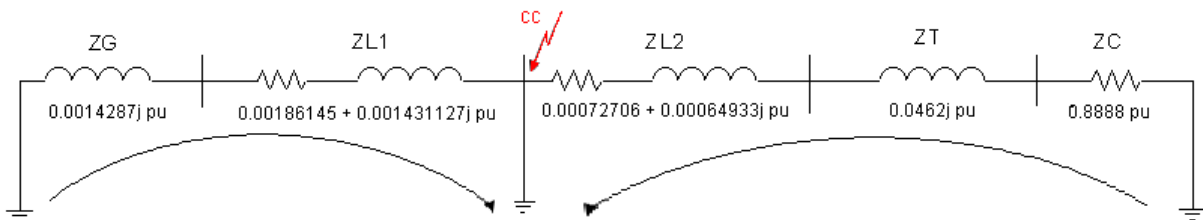


Fig. 20: Análisis secuencia 1 y 2 del sistema eléctrico propuesto donde se presenta el peor caso de falla

$$Z_{TH(1,2)} = (Z_G + Z_{L1}) // (Z_{L2} + Z_T + Z_C)$$

$$Z_{TH(1,2)} = [(0.0014287j + 0.00186145 + 0.001431127j) // (0.00072706 + 0.00064933j + 0.058j + 0.8888)]_{(1,2)}$$

$$Z_{TH(1,2)} = [(0.00186145 + 0.002859827j) // (0.889527 + 0.058640j)]$$

$$Z_{TH(1,2)} = \mathbf{0.00186575 + 0.002821997j \text{ pu}}$$

Cálculo para Z de secuencia 0:

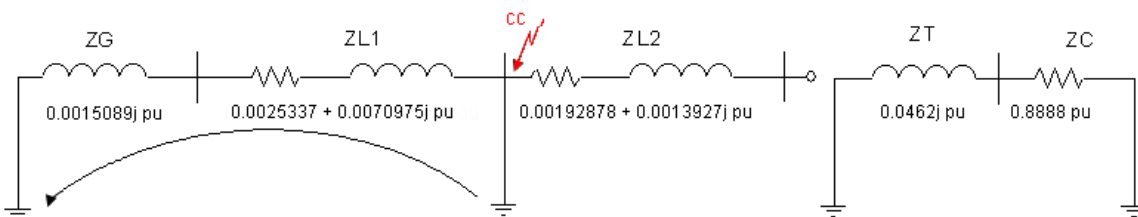


Fig. 21: Análisis secuencia 0 del sistema eléctrico propuesto donde se presenta el peor caso de falla



$$Z_{TH(0)} = (Z_G + Z_{L1})_{(0)}$$

$$Z_{TH(0)} = 0.0015089j + 0.0025337429 + 0.0070975425j$$

$$Z_{TH(0)} = \mathbf{0.002534 + 0.008607j \text{ pu}}$$

I de corto circuito:

$$I = \frac{E_{TH}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{1}{0.00624615 + 0.01425071j} \text{ pu}$$

$$I = 25.851786 - 58.807495j \text{ pu}$$

$$I_{cc} = 3 I = 77.5554 - 176.42248j \text{ pu}$$

$$I_{cc} = 192.7167 \angle -66.2697^\circ \text{ pu}$$

$$I_{cc_{1\phi}} = I_{cc_{1\phi}} \text{ pu} \times I_B$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}V_B} = \frac{500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 23 \text{ kV}} = 12.55 \text{ A}$$

$$I_{cc_{1\phi}} = 192.7167 \text{ pu} \times 12.55 \text{ A}$$

$$\mathbf{I_{cc_{1\phi}} = 2418.5946 \text{ A}}$$

Cálculo de $I_{cc_{2\phi}}$

$$I = \frac{Z_2 E_{TH}}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0} = \frac{0.00186575 + 0.002821997j}{-0.000043778 + 0.00005716196j}$$

$$I = 15.42449 - 44.5727j \text{ pu}$$



$$I_{cc} = 3 I = 47.16637456 - 133.71652j \text{ pu}$$

$$I_{cc} = 141.4999 \angle -70^\circ \text{ pu}$$

$$I_{cc_{2\phi}} = I_{cc_{2\phi}} \text{ pu} \times I_B$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}V_B} = \frac{500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 23 \text{ kV}} = 12.55 \text{ A}$$

$$I_{cc_{2\phi}} = 141.4999 \text{ pu} \times 12.55 \text{ A}$$

$$I_{cc_{2\phi}} = 1775.81 \text{ A}$$

4.2 COMPARACIÓN DE CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO EN DIFERENTES PUNTOS

Para hacer esta comparación nos apoyamos en el programa realizado en Excel, observando las tablas obtenidas con los resultados para cada 10 metros de conductor a partir de la Subestación Odón de Buen.

Estas tablas nos permitirán saber la corriente de corto circuito en cualquier parte de cualquier anillo con lo que se facilita o bien sirve de apoyo para la implementación de cualquier sistema en un futuro no muy lejano.

**TABLAS DE I_{cc} DEPENDIENDO DE LA LONGITUD DEL ANILLO.**

DISTANCIA km	I_{cc} A	DISTANCIA km	I_{cc} A	DISTANCIA km	I_{cc} A
0.01	2416.03414	0.26	2353.48466	0.51	2293.70297
0.02	2413.4771	0.27	2351.04126	0.52	2291.36716
0.03	2410.92473	0.28	2348.60227	0.53	2289.03552
0.04	2408.37701	0.29	2346.1677	0.54	2286.70806
0.05	2405.83393	0.3	2343.73752	0.55	2284.38476
0.06	2403.29549	0.31	2341.31173	0.56	2282.06562
0.07	2400.76168	0.32	2338.89032	0.57	2279.75062
0.08	2398.23248	0.33	2336.47328	0.58	2277.43976
0.09	2395.70788	0.34	2334.0606	0.59	2275.13302
0.1	2393.18788	0.35	2331.65227	0.6	2272.8304
0.11	2390.67247	0.36	2329.24829	0.61	2270.53188
0.12	2388.16162	0.37	2326.84863	0.62	2268.23747
0.13	2385.65535	0.38	2324.4533	0.63	2265.94714
0.14	2383.15362	0.39	2322.06228	0.64	2263.6609
0.15	2380.65645	0.4	2319.67556	0.65	2261.37873
0.16	2378.1638	0.41	2317.29313	0.66	2259.10062
0.17	2375.67569	0.42	2314.91499	0.67	2256.82656
0.18	2373.19209	0.43	2312.54113	0.68	2254.55655
0.19	2370.71299	0.44	2310.17153	0.69	2252.29057
0.2	2368.23839	0.45	2307.80618	0.7	2250.02862
0.21	2365.76828	0.46	2305.44509	0.71	2247.77069
0.22	2363.30264	0.47	2303.08823	0.72	2245.51677
0.23	2360.84147	0.48	2300.73559	0.73	2243.26685
0.24	2358.38476	0.49	2298.38718	0.74	2241.02091
0.25	2355.93249	0.5	2296.04298	0.75	2238.77897

Tabla 12: De 0.01 a 0.75 [km]



DISTANCIA km	lcc A	DISTANCIA km	lcc A	DISTANCIA km	lcc A
0.76	2236.54099	1.01	2181.85736	1.26	2129.51769
0.77	2234.30698	1.02	2179.71964	1.27	2127.47103
0.78	2232.07692	1.03	2177.58566	1.28	2125.42791
0.79	2229.85081	1.04	2175.45541	1.29	2123.38832
0.8	2227.62864	1.05	2173.32889	1.3	2121.35226
0.81	2225.4104	1.06	2171.20609	1.31	2119.3197
0.82	2223.19607	1.07	2169.08699	1.32	2117.29065
0.83	2220.98566	1.08	2166.97159	1.33	2115.2651
0.84	2218.77916	1.09	2164.85988	1.34	2113.24304
0.85	2216.57654	1.1	2162.75186	1.35	2111.22447
0.86	2214.37782	1.11	2160.64751	1.36	2109.20937
0.87	2212.18297	1.12	2158.54682	1.37	2107.19773
0.88	2209.99199	1.13	2156.4498	1.38	2105.18956
0.89	2207.80487	1.14	2154.35642	1.39	2103.18483
0.9	2205.6216	1.15	2152.26669	1.4	2101.18356
0.91	2203.44217	1.16	2150.18059	1.41	2099.18571
0.92	2201.26657	1.17	2148.09812	1.42	2097.1913
0.93	2199.09481	1.18	2146.01926	1.43	2095.20031
0.94	2196.92685	1.19	2143.94402	1.44	2093.21273
0.95	2194.76271	1.2	2141.87237	1.45	2091.22855
0.96	2192.60237	1.21	2139.80432	1.46	2089.24778
0.97	2190.44582	1.22	2137.73986	1.47	2087.27039
0.98	2188.29305	1.23	2135.67897	1.48	2085.29639
0.99	2186.14406	1.24	2133.62165	1.49	2083.32577
1	2183.99883	1.25	2131.5679	1.5	2081.35851

Tabla 13: De 0.076 a 1.5 [km]



DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A
1.51	2079.39461	1.76	2031.36768	2.01	1985.32327
1.52	2077.43406	1.77	2029.48858	2.02	1983.52119
1.53	2075.47686	1.78	2027.61263	2.03	1981.72211
1.54	2073.523	1.79	2025.73985	2.04	1979.92601
1.55	2071.57247	1.8	2023.87021	2.05	1978.1329
1.56	2069.62526	1.81	2022.00372	2.06	1976.34275
1.57	2067.68137	1.82	2020.14036	2.07	1974.55558
1.58	2065.74079	1.83	2018.28013	2.08	1972.77136
1.59	2063.80351	1.84	2016.42303	2.09	1970.9901
1.6	2061.86952	1.85	2014.56904	2.1	1969.21178
1.61	2059.93881	1.86	2012.71816	2.11	1967.43641
1.62	2058.01139	1.87	2010.87038	2.12	1965.66397
1.63	2056.08724	1.88	2009.02569	2.13	1963.89446
1.64	2054.16635	1.89	2007.18409	2.14	1962.12786
1.65	2052.24872	1.9	2005.34557	2.15	1960.36419
1.66	2050.33434	1.91	2003.51013	2.16	1958.60342
1.67	2048.4232	1.92	2001.67775	2.17	1956.84555
1.68	2046.5153	1.93	1999.84844	2.18	1955.09058
1.69	2044.61062	1.94	1998.02217	2.19	1953.3385
1.7	2042.70917	1.95	1996.19896	2.2	1951.5893
1.71	2040.81093	1.96	1994.37878	2.21	1949.84298
1.72	2038.91589	1.97	1992.56164	2.22	1948.09953
1.73	2037.02406	1.98	1990.74752	2.23	1946.35894
1.74	2035.13542	1.99	1988.93643	2.24	1944.62121
1.75	2033.24996	2	1987.12835	2.25	1942.88633

Tabla 14: De 1.51 a 2.25 [km]



DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A
2.26	1941.15429	2.51	1898.75997	2.76	1858.04554
2.27	1939.4251	2.52	1897.09975	2.77	1856.45062
2.28	1937.69873	2.53	1895.44221	2.78	1854.85825
2.29	1935.9752	2.54	1893.78735	2.79	1853.2684
2.3	1934.25448	2.55	1892.13515	2.8	1851.68109
2.31	1932.53657	2.56	1890.48562	2.81	1850.0963
2.32	1930.82148	2.57	1888.83875	2.82	1848.51403
2.33	1929.10918	2.58	1887.19453	2.83	1846.93426
2.34	1927.39968	2.59	1885.55296	2.84	1845.35701
2.35	1925.69297	2.6	1883.91402	2.85	1843.78225
2.36	1923.98904	2.61	1882.27772	2.86	1842.20999
2.37	1922.28789	2.62	1880.64405	2.87	1840.64022
2.38	1920.58951	2.63	1879.01301	2.88	1839.07294
2.39	1918.8939	2.64	1877.38458	2.89	1837.50813
2.4	1917.20104	2.65	1875.75876	2.9	1835.9458
2.41	1915.51094	2.66	1874.13555	2.91	1834.38594
2.42	1913.82358	2.67	1872.51494	2.92	1832.82854
2.43	1912.13896	2.68	1870.89692	2.93	1831.2736
2.44	1910.45708	2.69	1869.28149	2.94	1829.72111
2.45	1908.77793	2.7	1867.66865	2.95	1828.17106
2.46	1907.1015	2.71	1866.05839	2.96	1826.62346
2.47	1905.42778	2.72	1864.45069	2.97	1825.0783
2.48	1903.75678	2.73	1862.84557	2.98	1823.53557
2.49	1902.08848	2.74	1861.243	2.99	1821.99527
2.5	1900.42288	2.75	1859.64299	3	1820.45738

Tabla 15: de 2.26 a 3 [km]



DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A
3.01	1818.92191	3.26	1781.30543	3.51	1745.1175
3.02	1817.38886	3.27	1779.83099	3.52	1743.69864
3.03	1815.85821	3.28	1778.35883	3.53	1742.28194
3.04	1814.32995	3.29	1776.88895	3.54	1740.8674
3.05	1812.8041	3.3	1775.42134	3.55	1739.45501
3.06	1811.28063	3.31	1773.95599	3.56	1738.04477
3.07	1809.75955	3.32	1772.4929	3.57	1736.63667
3.08	1808.24085	3.33	1771.03207	3.58	1735.23071
3.09	1806.72452	3.34	1769.57349	3.59	1733.82689
3.1	1805.21057	3.35	1768.11716	3.6	1732.4252
3.11	1803.69898	3.36	1766.66307	3.61	1731.02564
3.12	1802.18974	3.37	1765.21122	3.62	1729.62819
3.13	1800.68287	3.38	1763.7616	3.63	1728.23287
3.14	1799.17834	3.39	1762.3142	3.64	1726.83966
3.15	1797.67615	3.4	1760.86903	3.65	1725.44855
3.16	1796.17631	3.41	1759.42608	3.66	1724.05955
3.17	1794.6788	3.42	1757.98533	3.67	1722.67265
3.18	1793.18362	3.43	1756.5468	3.68	1721.28785
3.19	1791.69076	3.44	1755.11048	3.69	1719.90513
3.2	1790.20022	3.45	1753.67635	3.7	1718.52451
3.21	1788.712	3.46	1752.24441	3.71	1717.14596
3.22	1787.22609	3.47	1750.81467	3.72	1715.76949
3.23	1785.74248	3.48	1749.38711	3.73	1714.3951
3.24	1784.26117	3.49	1747.96173	3.74	1713.02277
3.25	1782.78216	3.5	1746.53853	3.75	1711.65251

Tabla 16: De 3.01 a 3.75 [km]



DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A
3.76	1710.28431	4.01	1676.73655	4.26	1644.40911
3.77	1708.91817	4.02	1675.42044	4.27	1643.14051
3.78	1707.55408	4.03	1674.10628	4.28	1641.87377
3.79	1706.19203	4.04	1672.79407	4.29	1640.60887
3.8	1704.83203	4.05	1671.48379	4.3	1639.34582
3.81	1703.47407	4.06	1670.17545	4.31	1638.08461
3.82	1702.11814	4.07	1668.86904	4.32	1636.82523
3.83	1700.76424	4.08	1667.56456	4.33	1635.56768
3.84	1699.41237	4.09	1666.262	4.34	1634.31196
3.85	1698.06252	4.1	1664.96137	4.35	1633.05807
3.86	1696.71469	4.11	1663.66265	4.36	1631.80599
3.87	1695.36888	4.12	1662.36584	4.37	1630.55573
3.88	1694.02507	4.13	1661.07094	4.38	1629.30729
3.89	1692.68327	4.14	1659.77794	4.39	1628.06065
3.9	1691.34347	4.15	1658.48684	4.4	1626.81582
3.91	1690.00566	4.16	1657.19765	4.41	1625.57279
3.92	1688.66985	4.17	1655.91034	4.42	1624.33156
3.93	1687.33603	4.18	1654.62492	4.43	1623.09213
3.94	1686.00419	4.19	1653.34139	4.44	1621.85448
3.95	1684.67433	4.2	1652.05974	4.45	1620.61862
3.96	1683.34645	4.21	1650.77996	4.46	1619.38455
3.97	1682.02054	4.22	1649.50206	4.47	1618.15226
3.98	1680.6966	4.23	1648.22603	4.48	1616.92174
3.99	1679.37463	4.24	1646.95186	4.49	1615.693
4	1678.05461	4.25	1645.67955	4.5	1614.46602

Tabla 17: De 3.76 a 4.5 [km]



DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A
4.51	1613.24081	4.76	1583.1742	5.01	1554.15522
4.52	1612.01737	4.77	1581.99367	5.02	1553.01553
4.53	1610.79568	4.78	1580.81482	5.03	1551.87742
4.54	1609.57575	4.79	1579.63764	5.04	1550.7409
4.55	1608.35757	4.8	1578.46212	5.05	1549.60597
4.56	1607.14113	4.81	1577.28826	5.06	1548.47262
4.57	1605.92645	4.82	1576.11607	5.07	1547.34085
4.58	1604.7135	4.83	1574.94553	5.08	1546.21065
4.59	1603.50229	4.84	1573.77664	5.09	1545.08203
4.6	1602.29281	4.85	1572.6094	5.1	1543.95498
4.61	1601.08507	4.86	1571.44381	5.11	1542.82949
4.62	1599.87905	4.87	1570.27986	5.12	1541.70557
4.63	1598.67475	4.88	1569.11755	5.13	1540.5832
4.64	1597.47218	4.89	1567.95687	5.14	1539.4624
4.65	1596.27132	4.9	1566.79783	5.15	1538.34314
4.66	1595.07218	4.91	1565.64042	5.16	1537.22544
4.67	1593.87474	4.92	1564.48463	5.17	1536.10929
4.68	1592.67901	4.93	1563.33047	5.18	1534.99468
4.69	1591.48499	4.94	1562.17793	5.19	1533.88162
4.7	1590.29266	4.95	1561.027	5.2	1532.77009
4.71	1589.10203	4.96	1559.87769	5.21	1531.6601
4.72	1587.91309	4.97	1558.72999	5.22	1530.55164
4.73	1586.72584	4.98	1557.58389	5.23	1529.44471
4.74	1585.54028	4.99	1556.4394	5.24	1528.33931
4.75	1584.3564	5	1555.29651	5.25	1527.23544

Tabla 18: De 4.51 a 5.25



DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A
5.26	1526.13308	5.51	1499.05998	5.76	1472.89091
5.27	1525.03224	5.52	1497.99615	5.77	1471.86235
5.28	1523.93292	5.53	1496.93376	5.78	1470.83516
5.29	1522.83511	5.54	1495.87281	5.79	1469.80934
5.3	1521.73881	5.55	1494.8133	5.8	1468.78489
5.31	1520.64402	5.56	1493.75523	5.81	1467.76181
5.32	1519.55073	5.57	1492.69859	5.82	1466.7401
5.33	1518.45893	5.58	1491.64338	5.83	1465.71975
5.34	1517.36864	5.59	1490.58959	5.84	1464.70076
5.35	1516.27984	5.6	1489.53723	5.85	1463.68313
5.36	1515.19254	5.61	1488.48629	5.86	1462.66685
5.37	1514.10672	5.62	1487.43677	5.87	1461.65192
5.38	1513.02238	5.63	1486.38867	5.88	1460.63835
5.39	1511.93954	5.64	1485.34198	5.89	1459.62612
5.4	1510.85817	5.65	1484.29669	5.9	1458.61523
5.41	1509.77827	5.66	1483.25282	5.91	1457.60569
5.42	1508.69986	5.67	1482.21035	5.92	1456.59749
5.43	1507.62291	5.68	1481.16928	5.93	1455.59062
5.44	1506.54743	5.69	1480.12962	5.94	1454.58509
5.45	1505.47342	5.7	1479.09135	5.95	1453.58089
5.46	1504.40087	5.71	1478.05447	5.96	1452.57803
5.47	1503.32978	5.72	1477.01899	5.97	1451.57648
5.48	1502.26015	5.73	1475.98489	5.98	1450.57627
5.49	1501.19198	5.74	1474.95218	5.99	1449.57737
5.5	1500.12525	5.75	1473.92086	6	1448.57979

Tabla 19: De 5.26 de 6 [km]



DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A
6.01	1447.58353	6.26	1423.09793	6.51	1399.39648
6.02	1446.58859	6.27	1422.13506	6.52	1398.46422
6.03	1445.59496	6.28	1421.17344	6.53	1397.53316
6.04	1444.60263	6.29	1420.21307	6.54	1396.60329
6.05	1443.61162	6.3	1419.25395	6.55	1395.67462
6.06	1442.62191	6.31	1418.29607	6.56	1394.74713
6.07	1441.6335	6.32	1417.33944	6.57	1393.82083
6.08	1440.64639	6.33	1416.38404	6.58	1392.89571
6.09	1439.66058	6.34	1415.42989	6.59	1391.97178
6.1	1438.67606	6.35	1414.47697	6.6	1391.04902
6.11	1437.69284	6.36	1413.52528	6.61	1390.12745
6.12	1436.7109	6.37	1412.57483	6.62	1389.20705
6.13	1435.73025	6.38	1411.6256	6.63	1388.28782
6.14	1434.75089	6.39	1410.6776	6.64	1387.36977
6.15	1433.77281	6.4	1409.73083	6.65	1386.45288
6.16	1432.79602	6.41	1408.78528	6.66	1385.53716
6.17	1431.8205	6.42	1407.84095	6.67	1384.62261
6.18	1430.84625	6.43	1406.89783	6.68	1383.70922
6.19	1429.87328	6.44	1405.95593	6.69	1382.79699
6.2	1428.90158	6.45	1405.01524	6.7	1381.88592
6.21	1427.93115	6.46	1404.07577	6.71	1380.976
6.22	1426.96198	6.47	1403.1375	6.72	1380.06724
6.23	1425.99408	6.48	1402.20044	6.73	1379.15964
6.24	1425.02744	6.49	1401.26459	6.74	1378.25318
6.25	1424.06205	6.5	1400.32993	6.75	1377.34787

Tabla 20: De 6.01 a 6.75 [km]



DISTANCIA km	lcc A	DISTANCIA km	lcc A	DISTANCIA km	lcc A
6.76	1376.44371	7.01	1354.20614	7.26	1332.65218
6.77	1375.54069	7.02	1353.33107	7.27	1331.80381
6.78	1374.63882	7.03	1352.45708	7.28	1330.95649
6.79	1373.73808	7.04	1351.58418	7.29	1330.11021
6.8	1372.83848	7.05	1350.71237	7.3	1329.26497
6.81	1371.94002	7.06	1349.84164	7.31	1328.42076
6.82	1371.04269	7.07	1348.972	7.32	1327.5776
6.83	1370.14649	7.08	1348.10344	7.33	1326.73546
6.84	1369.25142	7.09	1347.23596	7.34	1325.89437
6.85	1368.35748	7.1	1346.36956	7.35	1325.0543
6.86	1367.46467	7.11	1345.50424	7.36	1324.21526
6.87	1366.57298	7.12	1344.63999	7.37	1323.37725
6.88	1365.68241	7.13	1343.77681	7.38	1322.54026
6.89	1364.79296	7.14	1342.9147	7.39	1321.7043
6.9	1363.90463	7.15	1342.05366	7.4	1320.86936
6.91	1363.01741	7.16	1341.19368	7.41	1320.03544
6.92	1362.13131	7.17	1340.33477	7.42	1319.20254
6.93	1361.24631	7.18	1339.47693	7.43	1318.37066
6.94	1360.36243	7.19	1338.62014	7.44	1317.53979
6.95	1359.47965	7.2	1337.76441	7.45	1316.70993
6.96	1358.59798	7.21	1336.90974	7.46	1315.88108
6.97	1357.71742	7.22	1336.05613	7.47	1315.05325
6.98	1356.83795	7.23	1335.20357	7.48	1314.22642
6.99	1355.95959	7.24	1334.35205	7.49	1313.4006
7	1355.08232	7.25	1333.50159	7.5	1312.57578

Tabla 21: De 6.76 a 7.5 [km]



DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A
7.51	1311.75196	7.76	1291.47728	8.01	1271.80144
7.52	1310.92915	7.77	1290.67892	8.02	1271.0265
7.53	1310.10733	7.78	1289.88152	8.03	1270.25248
7.54	1309.28651	7.79	1289.08507	8.04	1269.47937
7.55	1308.46669	7.8	1288.28958	8.05	1268.70718
7.56	1307.64786	7.81	1287.49503	8.06	1267.93589
7.57	1306.83002	7.82	1286.70144	8.07	1267.16552
7.58	1306.01317	7.83	1285.90879	8.08	1266.39605
7.59	1305.19731	7.84	1285.11709	8.09	1265.62749
7.6	1304.38244	7.85	1284.32634	8.1	1264.85984
7.61	1303.56855	7.86	1283.53653	8.11	1264.09309
7.62	1302.75565	7.87	1282.74766	8.12	1263.32724
7.63	1301.94373	7.88	1281.95973	8.13	1262.56229
7.64	1301.13278	7.89	1281.17274	8.14	1261.79824
7.65	1300.32282	7.9	1280.38668	8.15	1261.03509
7.66	1299.51383	7.91	1279.60156	8.16	1260.27283
7.67	1298.70582	7.92	1278.81738	8.17	1259.51147
7.68	1297.89878	7.93	1278.03412	8.18	1258.751
7.69	1297.09271	7.94	1277.2518	8.19	1257.99142
7.7	1296.28761	7.95	1276.4704	8.2	1257.23273
7.71	1295.48348	7.96	1275.68993	8.21	1256.47493
7.72	1294.68031	7.97	1274.91039	8.22	1255.71802
7.73	1293.87811	7.98	1274.13177	8.23	1254.96199
7.74	1293.07687	7.99	1273.35408	8.24	1254.20685
7.75	1292.2766	8	1272.5773	8.25	1253.45259

Tabla 22: De 7.51 a 8.25 [km]



DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A
8.26	1252.69921	8.51	1234.14668	8.76	1216.1212
8.27	1251.94671	8.52	1233.41568	8.77	1215.41084
8.28	1251.19509	8.53	1232.68553	8.78	1214.70128
8.29	1250.44434	8.54	1231.95622	8.79	1213.99253
8.3	1249.69447	8.55	1231.22775	8.8	1213.28459
8.31	1248.94547	8.56	1230.50012	8.81	1212.57745
8.32	1248.19734	8.57	1229.77332	8.82	1211.87111
8.33	1247.45009	8.58	1229.04736	8.83	1211.16557
8.34	1246.7037	8.59	1228.32223	8.84	1210.46083
8.35	1245.95818	8.6	1227.59793	8.85	1209.75689
8.36	1245.21353	8.61	1226.87447	8.86	1209.05374
8.37	1244.46974	8.62	1226.15183	8.87	1208.35139
8.38	1243.72681	8.63	1225.43002	8.88	1207.64984
8.39	1242.98475	8.64	1224.70904	8.89	1206.94908
8.4	1242.24355	8.65	1223.98888	8.9	1206.24911
8.41	1241.5032	8.66	1223.26954	8.91	1205.54993
8.42	1240.76371	8.67	1222.55103	8.92	1204.85154
8.43	1240.02508	8.68	1221.83334	8.93	1204.15394
8.44	1239.28731	8.69	1221.11647	8.94	1203.45712
8.45	1238.55038	8.7	1220.40041	8.95	1202.76109
8.46	1237.81431	8.71	1219.68518	8.96	1202.06585
8.47	1237.07909	8.72	1218.97076	8.97	1201.37138
8.48	1236.34472	8.73	1218.25715	8.98	1200.6777
8.49	1235.61119	8.74	1217.54436	8.99	1199.9848
8.5	1234.87851	8.75	1216.83237	9	1199.29267

Tabla 23: De 8.26 a 9 [km]



DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A	DISTANCIA km	Icc A
9.01	1198.60133	9.26	1181.5667	9.51	1164.99802
9.02	1197.91076	9.27	1180.89513	9.52	1164.3447
9.03	1197.22096	9.28	1180.22431	9.53	1163.6921
9.04	1196.53194	9.29	1179.55423	9.54	1163.04021
9.05	1195.84369	9.3	1178.88489	9.55	1162.38903
9.06	1195.15621	9.31	1178.21629	9.56	1161.73857
9.07	1194.46951	9.32	1177.54843	9.57	1161.08881
9.08	1193.78357	9.33	1176.88131	9.58	1160.43977
9.09	1193.0984	9.34	1176.21493	9.59	1159.79143
9.1	1192.41399	9.35	1175.54928	9.6	1159.1438
9.11	1191.73035	9.36	1174.88436	9.61	1158.49687
9.12	1191.04747	9.37	1174.22018	9.62	1157.85065
9.13	1190.36536	9.38	1173.55674	9.63	1157.20514
9.14	1189.68401	9.39	1172.89402	9.64	1156.56032
9.15	1189.00341	9.4	1172.23203	9.65	1155.91621
9.16	1188.32358	9.41	1171.57077	9.66	1155.2728
9.17	1187.6445	9.42	1170.91024	9.67	1154.63009
9.18	1186.96618	9.43	1170.25044	9.68	1153.98807
9.19	1186.28862	9.44	1169.59136	9.69	1153.34675
9.2	1185.61181	9.45	1168.93301	9.7	1152.70613
9.21	1184.93575	9.46	1168.27537	9.71	1152.0662
9.22	1184.26044	9.47	1167.61846	9.72	1151.42697
9.23	1183.58588	9.48	1166.96228	9.73	1150.78843
9.24	1182.91208	9.49	1166.30681	9.74	1150.15058
9.25	1182.23902	9.5	1165.65205	9.75	1149.51342

Tabla 24: De 9.01 a 9.75 [km]

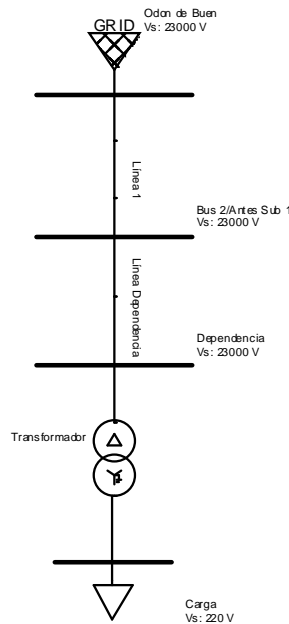


DISTANCIA km	Icc A
9.76	1148.87695
9.77	1148.24117
9.78	1147.60608
9.79	1146.97167
9.8	1146.33794
9.81	1145.7049
9.82	1145.07255
9.83	1144.44087
9.84	1143.80988
9.85	1143.17956
9.86	1142.54993
9.87	1141.92097
9.88	1141.29269
9.89	1140.66508
9.9	1140.03815
9.91	1139.41189
9.92	1138.7863
9.93	1138.16138
9.94	1137.53714
9.95	1136.91356
9.96	1136.29065
9.97	1135.66841
9.98	1135.04683
9.99	1134.42592
10	1133.80567

Tabla 25: De 9.76 a 10 [km]



Comparando diferentes puntos del alimentador G, ya que en este se encuentra el Edificio 18, para determinar la variación de corriente si el sistema se implementara como el propuesto. (valores obtenidos de las Tablas 12 a 25).

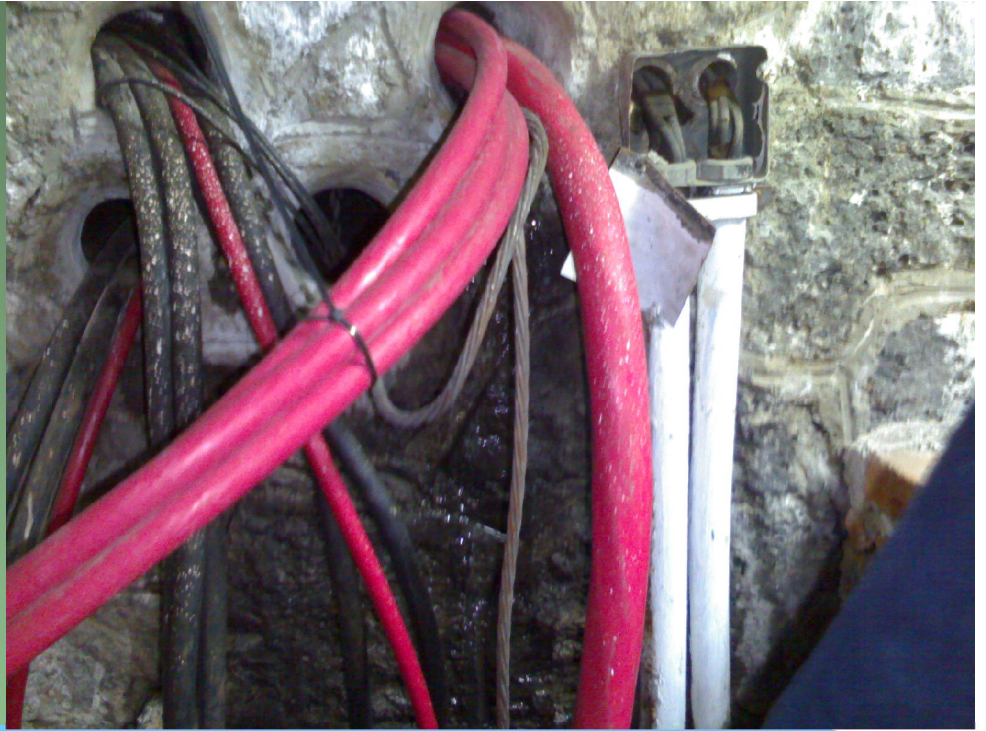


Cuadro de distancias y corrientes para el alimentador G.

Dependencia	Distancia km	Icc A
BUS Central (Icc máxima en cualquier anillo)	0	2418.6
Biblioteca Central	0.23	2360.84
Nave hidráulica, Talleres	1.706	2040.81
Laboratorio de Termofluidos	2.18	1955.09
Inst. de Ingeniería edificio 6,12,18	2.31	1952.36

Tabla 26: Distancias y corrientes de corto circuito de algunas dependencias del alimentador G

En la tabla se aprecia la manera en que se reduce la corriente al aumentar la distancia hacia las dependencias debido al incremento de longitud del conductor.



CAPÍTULO V

DESARROLLO DEL
SISTEMA DE
TIERRAS



CAPÍTULO V

5. DESARROLLO DEL SISTEMA DE TIERRAS

Para que un Sistema de Tierras funcione satisfactoriamente debe cumplir con ciertos requisitos, el diseño puede de ser simple como una varilla a tierra hasta algo muy complicado, como una malla de tierra para una planta nucleoelectrica, por citar algo.

En el diseño intervienen factores diversos como son; resistividad del terreno, voltaje de servicio, potencia de corto circuito, espacio disponible, equipo y personal a proteger, etc.

En sus inicios, la electricidad empleaba a la tierra física sólo como una referencia de voltaje, sin embargo, con el transcurso del tiempo se le fueron asignando otras funciones, entre otras, limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas, a fenómenos transitorios en el propio circuito o a contactos accidentales con líneas de mayor tensión, así como, estabilizar la tensión a tierra del circuito durante su operación normal, una conexión sólida a tierra facilita también la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en caso de fallas a tierra.

Incluso se tenían recomendaciones como en las que se mencionaba que en una instalación nueva no era conveniente poner a tierra los equipos ya que se pensaba que con una falla en el aislamiento de cualquier motor, se detendría la producción recomendando la puesta a tierra de las instalaciones a los 5 años de servicio, esta filosofía de operación ponía la producción por encima de la seguridad.

En la actualidad los reglamentos vigentes exigen la conexión a tierra de todas las partes metálicas que pueden energizarse en un momento dado por una falla a tierra.

5.1 DISEÑO DE UNA RED DE TIERRAS PARA MEDIA TENSIÓN.

Es común que en subestaciones de media tensión (13.8 kV, 23 kV, 34.5 kV) se piense que con tener una resistencia a tierra baja es suficiente para proteger a los equipos y el personal, sin embargo, existen factores que son determinantes y que si no se toman en cuenta, el diseño no es adecuado ya que se pueden presentar



potenciales peligrosos al momento de una falla de corto circuito, algunos de estos efectos son: la resistividad del terreno, la corriente de corto circuito, el tamaño del local de la subestación, duración de la falla, geometría de la malla, etc.

El diseño se debe realizar con base en la protección del personal y de los equipos, disipando las corrientes de falla a tierra sin elevar el potencial que se presenta más allá de lo permisible.

Es decir, poniendo especial interés en los criterios de los voltajes de paso y de toque.

Una red de tierras en una subestación se forma, por regla general, de un conductor desnudo enterrado a una profundidad que varía de 30 a 100 cm, en forma horizontal, en cuerpo rectangular, formando una malla y conductores paralelos en ambos sentidos, con electrodos o varillas colocadas en las esquinas o cualquier parte de la red. No es necesario que una malla tenga una forma rectangular, ya que la configuración puede adaptarse a las condiciones del terreno que ocupa la subestación.

Al ocurrir una falla a tierra en una subestación, el voltaje máximo que se presenta en la malla (voltaje de malla, V_m) es el peor caso, a excepción de los voltajes transferidos, entonces, el voltaje de malla se puede utilizar como base para el diseño, ya que el máximo voltaje de toque es igual al voltaje de malla ($V_t = V_m$).

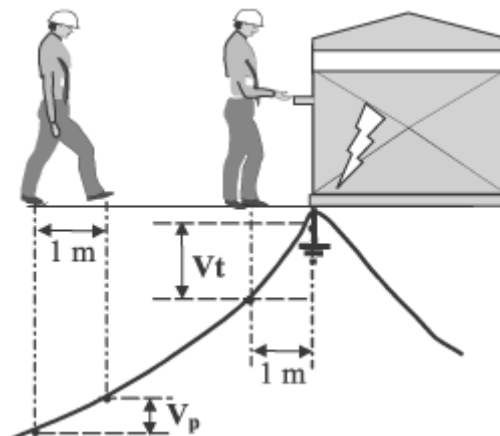


Fig. 22: Voltajes de paso y toque



Los voltajes de paso (V_p) son menos peligrosos que los voltajes de toque (V_t), a demás por regla general se colocan materiales de alta resistividad en la superficie de las subestaciones, como son grava, tezontle, tarimas de madera, tapetes de hule, etc.

Los voltajes de malla se incrementan ligeramente hacia las esquinas dependiendo de factores como; tamaño de la red, número y localización de varillas, espacio entre conductores paralelos, diámetro y profundidad del conductor que forma la malla, etc., por eso es muy común reforzar la malla hacia las orillas, colocando conductores más cerrados.

5.2 PARÁMETROS A CONSIDERAR PARA EL CÁLCULO DE UNA RED DE TIERRAS

a) CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO (I_{cc}).

Es la corriente máxima que circularía por la red de tierras al momento de una falla, es un valor muy elevado de corriente, por lo que se requiere de un valor de resistencia muy bajo y un conductor de calibre un tanto más grueso para su adecuada conducción a tierra. Este valor puede ser obtenido a través de la compañía suministradora de energía o bien se puede calcular si se conocen los parámetros necesarios.

La $I_{CC\phi} = 3I$, donde $I = E / (Z_1 + Z_2 + Z_0)$, E es la tensión de Thevenin y las Z_1 , Z_2 , Z_0 , son las impedancias de Thevenin de secuencia positiva, negativa y cero.

Y la $I_{CC2\phi} = 3I_{a0} = I_b + I_c = EZ_2 / (Z_1Z_0 + Z_2Z_0 + Z_1Z_2)$, E es la tensión de Thevenin y las Z_1 , Z_2 , Z_3 , son las impedancias de Thevenin de secuencia positiva, negativa y cero.

b) EFECTO DE LA RESISTENCIA EN LA FALLA.

Si la falla es la ruptura de un aislamiento dentro de la subestación se puede decir que la resistencia es cero, de cualquier forma si nulificamos la resistencia de falla (R_f) el valor obtenido estará del lado de la seguridad.



c) EFECTO DE TUBERIAS Y CABLES ENTERRADOS DIRECTAMENTE.

Los cables enterrados en contacto directo con la tierra, con pantallas o armaduras y las tuberías metálicas tienen el mismo efecto ya que se extienden más allá del perímetro de la subestación, conducen parte de la corriente de falla, elevando el potencial durante la falla.

d) PEOR CASO DE FALLA.

En el caso de subestaciones de distribución con transformador puesto a tierra el peor caso es una falla en el lado de las boquillas de alta tensión, pero si la corriente de corto circuito del lado de alta es pequeña o si hay varios transformadores en paralelo el caso más desfavorable será una falla del lado de baja tensión, es decir; en ese caso en cualquier parte del circuito de distribución se podría presentar la peor falla.

Si la falla es del lado de baja tensión, la elevación de potencial es despreciable.

Si la falla es fuera de la subestación, en el alimentador de la empresa suministradora, gran parte de la corriente de falla regresará a la fuente de energía en la subestación de potencia de la empresa suministradora.

e) EFECTO DE CAMBIOS FUTUROS.

Es común que existan cambios en las configuraciones de los alimentadores por lo que la corriente puede variar, si la corriente de corto circuito baja, no existe problema ya que el diseño estará del lado de la seguridad, pero la posibilidad de que la corriente de corto circuito aumente existe, por lo que hay que considerar un factor de aumento en la corriente de corto circuito al momento del diseño del circuito eléctrico.

f) RESISTENCIA DE LA MALLA DE TIERRAS

Este valor es tal vez el más importante en un diseño de una red de tierras, ya que, en una falla el potencial que se presenta está en función de la corriente de corto circuito y de la resistencia a tierra. En forma



práctica, para subestaciones de gran valor de resistencia a tierra debe ser alrededor de 1Ω o menos. Para subestaciones de distribución un valor aceptable va de 1Ω a 10Ω , dependiendo de las condiciones del local y su contenido, además debe de cumplir con valores aceptables de potencial de paso y toque.

5.3 SELECCIÓN DEL CONDUCTOR

El conductor que formará la malla de tierras debe de seleccionarse de la siguiente manera:

a) MATERIAL.

Puede ser de cobre, aluminio o fierro, en si cualquier elemento metálico, sin embargo la mayoría de los metales comunes se corroen fácilmente, por lo que el cobre ha destacado por la ventaja de ser muy resistente a la corrosión, sin embargo existen zonas cercanas a canales de aguas residuales en que el cobre es atacado por los ácidos empleados en el tratamiento de las mismas, en estos sitios se podría estudiar el caso y cambiar el material del sistema de tierras.

b) CALIBRE DEL CONDUCTOR.

Éste se debe de seleccionar tomando en cuenta el esfuerzo mecánico y térmico al que está expuesto.

El Esfuerzo Térmico se puede calcular con la formula de Sverak (para conductores en escala de mm^2).

$$I = A \{ [TCAP \times 10^{-4} / (t_c \alpha_r \rho_r)] \times \ln[(K_0 + T_m)/(K_0 + T_a)] \}.$$

Donde:

I = Corriente rms en kA.

A= Sección del conductor en mm^2 .

T_m = Máxima temperatura permisible en °C.

T_a = Temperatura ambiente en °C.



$K_0 = (1 / \alpha_0)$ o bien $(1 / \alpha_r) - T_r$.

α_0 = Coeficiente térmico de resistividad a 0 °C.

α_r = Coeficiente térmico de resistividad a una temperatura de referencia en T_r .

T_r = Temperatura de referencia para la constante del conductor en °C.

ρ_r = Resistividad del conductor de tierra a una temperatura de referencia T_r en micro-ohms/cm².

t_c = Tiempo del flujo de corriente en segundos.

TCAP = Factor de capacidad térmica en Joules/cm³/°C.

Si el calibre del conductor está en circular mils (CM).

$$I = (5.0671 \times 10^{-6})A \{ [TCAP \times 10^{-4} / (t_c \alpha_r \rho_r)] \times \ln[(K_0 + T_m) / (K_0 + T_a)] \}.$$

Lo anterior es la fórmula para seleccionar el calibre con base en la corriente, pero existen en las normas ciertos requisitos y algunas compañías que tienen sus propias prácticas.

Las primeras normas AIEE e IEEE recomendaban calibres mínimos de 1/0 y 2/0 de conductor de cobre para construir las mallas y en recientes encuestas en diferentes compañías de distribución eléctrica se tiene que la mayor parte usa conductor calibre 4/0.



CONSTANTES DEL MATERIAL						
Descripción	Conductividad del material (%)	α_r Factor a 20 °C	K_0 a 0 °C	Temperatura de Fusión °C	ρ_r a 20 °C	TCAP Valor efectivo
Alambre de Cu suave estándar	100	0.00393	234	1083	1.7241	3.442
Alambre de Cu duro comercial	97	0.00381	242	1084	1.7774	3.442
Cobre estañado con alma de acero	40	0.00378	245	1084 / 1300	4.397	3.846
Alambre de aluminio comercial	61	0.00403	228	657	2.862	2.556
Alambre de aluminio estañado con alma de acero	20.3	0.0036	258	660 / 1300	8.4805	2.67
Alambre de acero cubierto con zinc	8.5	0.0032	293	419 / 1300	20.1	3.931
Acero	2.4	0.0013	749	1400	72	4.032

Tabla 27: Coeficientes térmicos de algunos conductores

c) SELECCIÓN DE UNIONES.

Al construir una red de tierras se necesitan las uniones o empalmes, por ejemplo; para cerrar la malla, para unir las varillas al cable, para dejar salidas que conectan equipo y estructura, en fin se requieren uniones



que deben soportar los esfuerzos mecánicos y térmicos a que se somete la red.

Entre los más comunes tenemos las exotérmicas, es decir a base de calor (cadwel) y los mecanismos que son a base de conectores.

d) CONSIDERACIONES PARA EL SISTEMA DE TIERRAS EN MEDIA TENSIÓN.

Los sistemas de tierras a estas tensiones se diseñan con el objetivo primordial de protección a las personas, por lo cual se calculan los potenciales de contacto y de paso.

Las Subestaciones deben de contar con un Sistema de Tierras adecuado, al cual se deben conectar todos los elementos de la instalación que requieren la conexión a tierra.

El Sistema de Tierras debe formarse por una malla de conductores enterrados, a una profundidad que usualmente varía de 50 cm a 1 m.

Se utilizan **electrodos profundos** conectados a la red para llegar al terreno más húmedo.

Se recomienda que los electrodos de malla sean de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG (107.2 mm^2) y que los conductores de puesta a tierra del equipo no sean de un calibre menor al No. 2 AWG (33.6 mm^2). Datos obtenidos del libro "Sistemas de Tierra en redes de Distribución, Fac.de Ingeniería, Guillermo López Monroy"

La malla puede estar construida por cables colocados paralela y perpendicularmente con un espaciamiento razonable.

Las uniones deben soportar la corriente de falla, teniendo la resistencia mecánica adecuada y tratando que el material se corra lo menos



posible. La resistencia a tierra debe conservarse en el valor más bajo posible.

Se recomiendan hacer las pruebas necesarias para comprobar que los valores reales de resistencia a tierra de la malla se adjunten a los valores de diseño.



Fig. 23: Perforación para puesta a tierra

5.4 EL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.

Existe cierta confusión con lo que respecta al electrodo de puesta a tierra, algunas personas piensan que el electrodo es solo una varilla enterrada, sin embargo un electrodo puede constituir un conductor enterrado en forma vertical u horizontal, una placa enterrada, una varilla enterrada junto con relleno químico, varias varillas conectadas en paralelo, mallas de cables enterrados, etc.

En realidad lo que importa es el valor de resistencia a tierra y como ya se mencionó, para tensiones elevadas, también se incluyen los potenciales peligrosos, de paso de contacto y transferidos.



Para poder entender la naturaleza de un electrodo de tierra y su resistencia se debe de considerar un electrodo hemisférico.

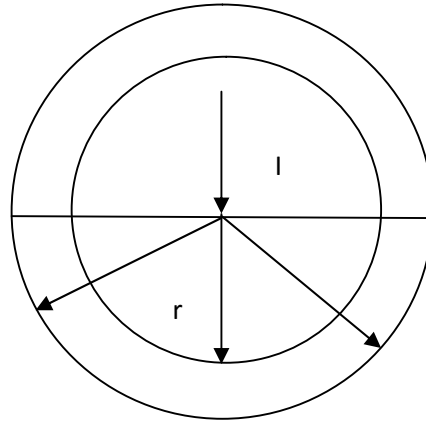


Fig. 24: Corte en electrodo

La resistencia total del electrodo puede ser dividida en tres partes:

- a) La resistencia propia del conductor.
- b) La resistencia de contacto entre el electrodo y la tierra.
- c) La resistencia de la masa de tierra que rodea al electrodo.

La última representa el valor más significativo de resistencia a tierra ya que los otros dos valores, comparativamente son despreciables, si los consideramos los flujos de corriente en todas direcciones y consideramos que la corriente tiene una trayectoria infinita, el valor de la resistencia será:

$$R = (\rho / 2\pi r)$$

Para poder aplicar esta fórmula en cualquier electrodo tenemos:

$$R = (\rho / 2\pi C),$$

Donde C es la capacidad electrostática de un electrodo combinada con su imagen en la superficie de la tierra.



Una buena aproximación de un electrodo es, considerándolo como la mitad de un elipsoide de revolución, en el cual el eje mayor es muy largo comparándolo con el eje menor, por lo que se puede emplear;

$$C = a [2\text{Ln} (2 a / b)]$$

Donde a es la longitud del eje mayor y b la del eje menor de un elipsoide; sustituyendo en la fórmula general y con los valores de la figura tenemos:

$$R = (\rho / 2\pi a) \text{Ln}(4a / b)$$

ELECTRODOS MÚLTIPLES

El electrodo común (varilla enterrada) es un medio económico de instalar un sistema de tierra, sin embargo, por regla general, su valor de resistencia a tierra es alto y frecuentemente se deben colocar varios electrodos en paralelo para lograr un valor aceptable.

Calcular el valor de dos o más electrodos en paralelo representa un gran margen de error, ya que en los cálculos se considera suelo homogéneo en condiciones ideales, esto en la práctica no acontece.

La siguiente tabla muestra como los electrodos múltiples, reducen la resistencia conforme a los arreglos mencionados.



VALORES ESPERADOS	ARREGLO
2 electrodos en paralelo reducen al 55% la resistencia	
3 electrodos en línea recta reducen al 35% la resistencia	
3 electrodos en delta reducen al 38% la resistencia	
4 electrodos en cuadro reducen al 28% la resistencia	
8 electrodos en cuadro reducen al 17% la resistencia	
8 electrodos en círculo reducen al 16% la resistencia	
9 electrodos en cuadro solido reducen al 16% la resistencia	
12 electrodos en cuadro reducen al 12% la resistencia	

Tabla 28: Valores de resistencia esperados para diferentes arreglos de electrodos, "Obtenidos del Libro, Earth Resistances, George Frank Tagg, 1967."



ELECTRODOS HORIZONTALES

Cuando no es posible utilizar electrodos de Copper-Weld enterrados en forma vertical se recurre a otros métodos, uno, bastante eficiente es el de los electrodos horizontales, las desventajas son; requiere de mucho espacio y con frecuencia son hurtados, por ello es que su aplicación se reduce a lugares donde no se pueden colocar los electrodos verticales, hay suficiente área y no se tiene acceso fácil para evitar su robo, en sistemas de distribución básicamente su aplicación se reduce a los fraccionamientos.

ELECTRODOS PROFUNDOS

Son los más efectivos ya que al mayores profundidades los electrodos llegan a las capas de terreno más húmedas y a veces hasta los niveles freáticos.

VARILLAS DE COPPER-WELD

Consiste en una barra circular de hierro forrada con una delgada capa de cobre de 0.25 mm, con una longitud aproximada de 3 m., el hierro le da dureza y el cobre la conductividad y la resistencia a la corrosión, se introducen en el suelo por medio de golpes ya que tienen la suficiente consistencia, algunas varillas se pueden unir por medio de conectores, así se pueden tener longitudes mayores.

ELECTRODOS EN SUELO DURO

En suelos como el Tepetate y roca no es fácil introducir electrodos comunes por lo que se recurre a otros medios para lograr una tierra efectiva, a demás de su dureza, tienen alta resistividad que dificulta su aterrizaje porque requieren instalaciones especiales; es decir, con uno o dos electrodos no basta. En la zona rocosa de la Ciudad de México, se han efectuado perforaciones profundas con equipos especiales logrando valores de resistencia bajos pero a un costo elevado. Una vez efectuada la perforación se pueden colocar varillas de Copper-Weld o cable Cud.



ELECTRODOS QUÍMICOS

Resultan de modificar el medio que rodea el electrodo, bajando la resistividad del suelo, los más usuales son:

Carbón mineral (COKE).- Ha venido a sustituir al carbón vegetal por tener mejores cualidades aunque requiere en cierta medida de la humedad.

En 1980 como prueba se instaló un electrodo con COKE en terreno basáltico, es decir roca, teniendo una eficiencia del 40%, de una resistencia a tierra original de 34Ω se redujo a 23Ω .

Sulfatos.- Han caído en desuso debido a sus cualidades corrosivas sobre los metales, en particular el cobre.

Sales.- También al igual que los sulfatos ya no se usan, a demás de ser corrosivas se diluyen fácilmente en agua.

BENTONITA

Se usa también como medio artificial para bajar la resistividad del terreno y a la vez reducir el valor de la resistencia a tierra, se empezó a utilizar con estos fines en Hungría y en Checoslovaquia. Es ampliamente empleada con fines diferentes, por ejemplo en las perforaciones profundas para pozos se usa para ademar y evitar derrumbes, en canales para evitar filtraciones, etc.

Básicamente consiste en ocupar las grietas, aberturas y huecos que existen o que se hacen en el terreno, mediante una masa que envuelve las partículas del mismo y los une eléctricamente, formando una gran superficie de contacto que crea un buen camino para las corrientes eléctricas que se drenan por tierra.

Cuando la resistencia es demasiado alta, aún con el uso de Bentonita, se puede mejorar provocando grietas con explosiones.

La Bentonita es de difícil manejo debido a que en contacto con el agua forma una película impermeable, su mezclado con agua no es fácil, por lo que se requiere de dos meses para la absorción del 100% del agua.



MÉTODO SANIK

Inventado por el sueco Sanik, consiste en dos soluciones salinas que reaccionan entre sí, formando una mezcla gelatinosa estable que es conductora de la electricidad e insoluble en agua, tiene cualidades higroscópicas excelentes, es decir absorbe agua fácilmente. Se han instalado desde 1949, a la fecha permanecen sin alteración, la eficiencia de un electrodo tratado con este procedimiento varía del 25 al 80%.

RESINAS SINTÉTICAS

Son resinas de bajo peso molecular del tipo electrolítico con un elemento endurecedor, dando un elemento de baja resistividad que se mantiene por largo tiempo, este método lo han desarrollado profesores de la universidad de China, su eficiencia va del 80% al 90%.

5.5 POTENCIALES PELIGROSOS

Las personas asumen que cualquier objeto aterrizado puede ser tocado con seguridad cuando la resistencia a tierra del sistema es baja, es probable que esta creencia haya provocado accidentes. No es fácil determinar la relación existente entre resistencia del sistema de tierras y la corriente máxima. Incluso una subestación con una resistencia a tierra muy baja puede ser peligrosa bajo ciertas circunstancias.

Las siguientes secciones describen con detalle los principios y criterios de la protección de los equipos y la vida humana.

Las condiciones que pueden provocar accidentes son:

- 1.- Corriente de falla a Tierra muy elevada en relación con el área que ocupa el sistema de tierras y su resistencia a una tierra remota.
- 2.- La resistividad del suelo y la distribución de la corriente puede generar gradientes de potencial elevados en la superficie.



3.- La posición de un individuo respecto a un punto que genera una alta diferencia de potencial.

4.- Duración de la falla, el flujo de corriente a través del cuerpo humano por un tiempo suficiente puede causar quemaduras y hasta la muerte.

Cuando ocurre una falla a tierra se pueden presentar potenciales peligrosos que pueden dañar a las personas o a los equipos cercanos a la falla, estos potenciales son:

- a) Potencial de Toque o Contacto
- b) Potencial de Paso
- c) Potencial Transferido

POTENCIAL DE TOQUE O CONTACTO (V_t o P_t)

Este potencial se presenta cuando se toca una estructura por la cual circula una corriente de falla. Tomando las consideraciones de corriente de fibrilación y resistencia del cuerpo humano, el potencial que podemos soportar está dado por la siguiente ecuación:

$$P_t = (1000 + 1.5C_s\rho_s) 0.116 / ((t)^{(1/2)}), \text{ esto para } 50 \text{ kg.}$$

$$P_t = (1000 + 1.5C_s\rho_s) 0.157 / ((t)^{(1/2)}), \text{ esto para } 70 \text{ kg.}$$

Donde:

ρ_s = Resistividad de la superficie del suelo en $\Omega \cdot m$.

C_s = Factor de reducción de superficie.

t = Duración de la falla en segundos.

El potencial de malla es el máximo potencial de toque que se puede encontrar en una malla aterrizada.



POTENCIAL DE PASO (V_p o P_p)

Es el potencial que puede soportar un individuo que se encuentra parado o caminado cerca del lugar de la falla, si se rebasa este potencial, se produce una contracción muscular en las piernas, es decir, no responden a los impulsos del cerebro y el individuo cae al piso y ahí queda expuesto a las corrientes que circulan por el corazón, las siguientes ecuaciones pueden ayudar a calcular este potencial.

$$P_t = (1000 + 6C_s\rho_s) 0.116 / ((t)^{(1/2)}), \text{ esto para } 50 \text{ kg.}$$

$$P_t = (1000 + 6C_s\rho_s) 0.157 / ((t)^{(1/2)}), \text{ esto para } 70 \text{ kg.}$$

Donde:

ρ_s = Resistividad de la superficie del suelo en $\Omega \cdot m$.

C_s = Factor de reducción de superficie.

t = Duración de la falla en segundos.

POTENCIALES TRANSFERIDOS

Es un caso especial de potencial de toque donde un voltaje se transfiere dentro o fuera de la subestación, se origina cuando existen elementos metálicos que salen del lugar de la falla, como son; rieles, hilos de guarda, tuberías, etc.

Bajo condiciones normales el equipo eléctrico que está puesto a tierra opera a nivel de voltaje cero o cercano a cero y este potencial es idéntico al de una red remota. Durante una condición de falla se eleva el potencial con respecto a la red remota, existiendo una diferencia de potencial, que es proporcional a la magnitud de la corriente en la malla de tierras y su resistencia.

No es práctico e incluso es casi imposible diseñar un sistema de tierras en base a los potenciales transferidos, es más práctico aislar los elementos metálicos salientes.



Estas definiciones y fórmulas de los voltajes mencionados fueron obtenidas del libro; “ IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, std 80 – 2000, pag 23 a 27. ”

5.6 DURACIÓN DE LA FALLA (t)

Después de analizar las ecuaciones de potenciales peligrosos se observa claramente que es muy importante reducir el tiempo de la falla, la experiencia muestra que los casos de muerte por electrocución, por lo general, se deben a la exposición a fallas de larga duración, el tiempo típico de apertura de interruptores es de medio segundo, sin embargo se ha demostrado que el peligro de fibrilación ventricular disminuye con tiempos de falla de un tercio de segundo.

Por esto es importante coordinar adecuadamente las protecciones y así librar en el menor tiempo posible la corriente eléctrica de falla.

5.7 DESARROLLO DEL SISTEMA DE TIERRAS PARA EL CAMPUS DE CU

La denominación puesta tierra comprende toda ligazón metálica directa, sin fusibles ni protección alguna, de sección suficiente entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con el objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima al terreno no existan diferencias de potencial peligrosas y que al mismo tiempo éstos permita el paso a tierra de las corrientes de falla, o la de las descargas de origen atmosférico.

El paso de las diferentes corrientes por el terreno conductor, depende de las características geológicas que propician variables eléctricas en él, producen distribuciones de potencial en toda su masa y en particular en su superficie con las consiguientes diferencias de potencial entre puntos del terreno que inciden directamente sobre la seguridad de las personas.

Para lograr lo anterior, es necesario conocer o bien tomar en consideración:

- Los elementos que forman las instalaciones
- El terreno, teniendo en cuenta su heterogeneidad y los factores que actúan sobre él.



Ya que se analiza la unión del terreno y el circuito eléctrico de cualquier dependencia o lugar y se procede a conectar los puntos de puesta a tierra de todos los elementos metálicos o elementos susceptibles de ponerse en tensión.

5.7.1 EL TERRENO

Éste es sin duda el punto más importante para el desarrollo del sistema de tierras, debido a que eléctricamente se considera como el elemento encargado de disipar corrientes de defecto o descargas de origen atmosférico.

“En Ciudad Universitaria el terreno está formado por roca volcánica que lo hace tener una resistividad (ρ) muy alta y es muy mal conductor de la corriente eléctrica. Este punto es muy importante y referido con base en él se hará la propuesta del sistema de tierras que se empleará en CU.”

La resistividad (ρ) de terreno se mide en [$\Omega.m$], pero el problema radica en la uniformidad del terreno ya que al ser compuesto, solo se podrá tener una resistividad aparente. Dependiendo ésta no solamente de su no uniformidad, sino también de la humedad, la porosidad y la temperatura.

De este punto partiremos para el desarrollo de la propuesta del sistema de tierras, como se hace mención en los párrafos anteriores, la falta de uniformidad del terreno y la constitución del mismo nos da la pauta para elegir un sistema adecuado, en este caso como la gran mayoría de Cu está construido sobre roca volcánica lo que proponemos son **Electrodos Profundos** conectados en paralelo a través de los diferentes anillos que presenta ciudad universitaria.

Con lo anterior podemos apreciar que el terreno presenta múltiples variaciones y que el espesor de roca no es regular debido a ello la profundidad en las excavaciones para colocar los electrodos profundos tendrá que variar.

Esta variación pudiera resultar un problema, sin embargo gracias a la experiencia que se ha tenido en el campus para colocar algunos electrodos profundos y a estadísticas recabadas de estos, se puede observar que de norte a sur, tomando como referencia la Subestación General 1(norte), el terreno va incrementando la densidad rocosa, y con esto la profundidad en la perforación tendrá también que aumentar bajo ese patrón.



En base a las estadísticas mencionadas al parecer cada 350 m el terreno tiende a tener un incremento de 6 metros (más, menos 25%) en su capa rocosa. Esta representación se plasma en la siguiente tabla y su respectiva gráfica:

PUNTO	DISTANCIA [m]	ESCAVAR [m]+,- 25%
1	0-350	6
2	351-700	12
3	701-1050	18
4	1051-1400	24
5	1401-1750	30
6	1751-2100	36
7	2101-2450	42

Tabla 29: Propuesta de perforación para puesta a tierra

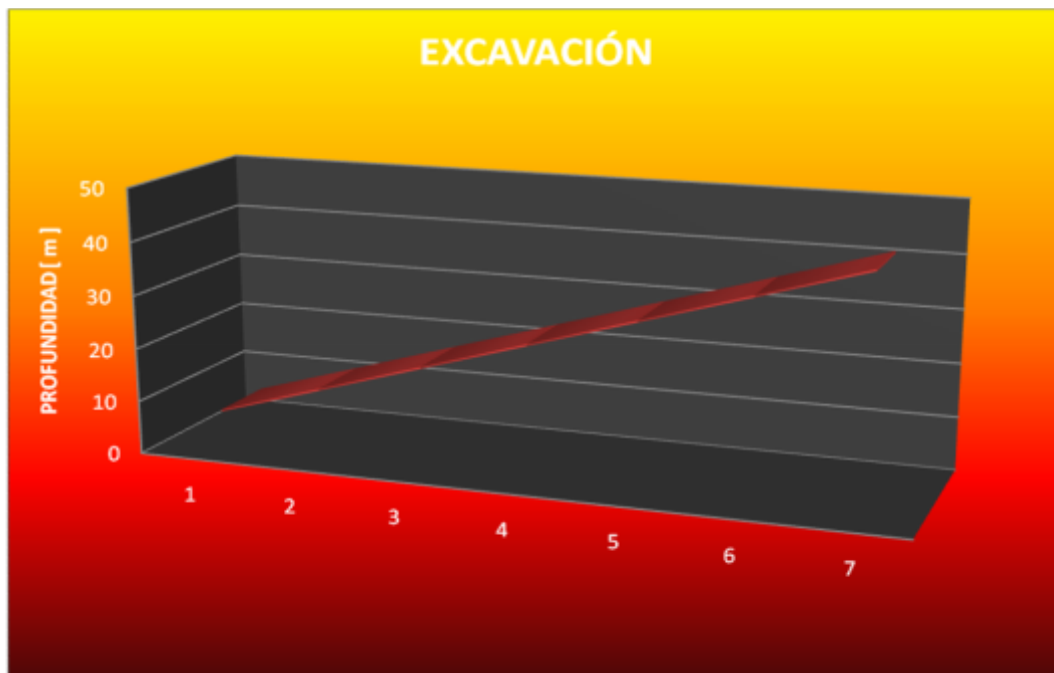


Fig. 30: Profundidad de perforación para puesta a tierra



Se observa que de cierta forma es posible linealizar el comportamiento del espesor de roca volcánica, lo cual nos ayudará a saber la cantidad de metros que se debe perforar para encontrar los mantos de arcilla que tienen una resistividad muy baja ofreciendo valores de resistencia bajos.

Una vez definido lo que sucede con el terreno, se toma el plano general de Ciudad Universitaria que contiene todos los registros por donde pasa el cableado eléctrico y que servirá como referencia para la instalación de los electrodos.

Para esto se hacen divisiones de referencia, cuadros, en el plano de tal manera que cada una de las referencias represente una medida de 350 m x 350 m.

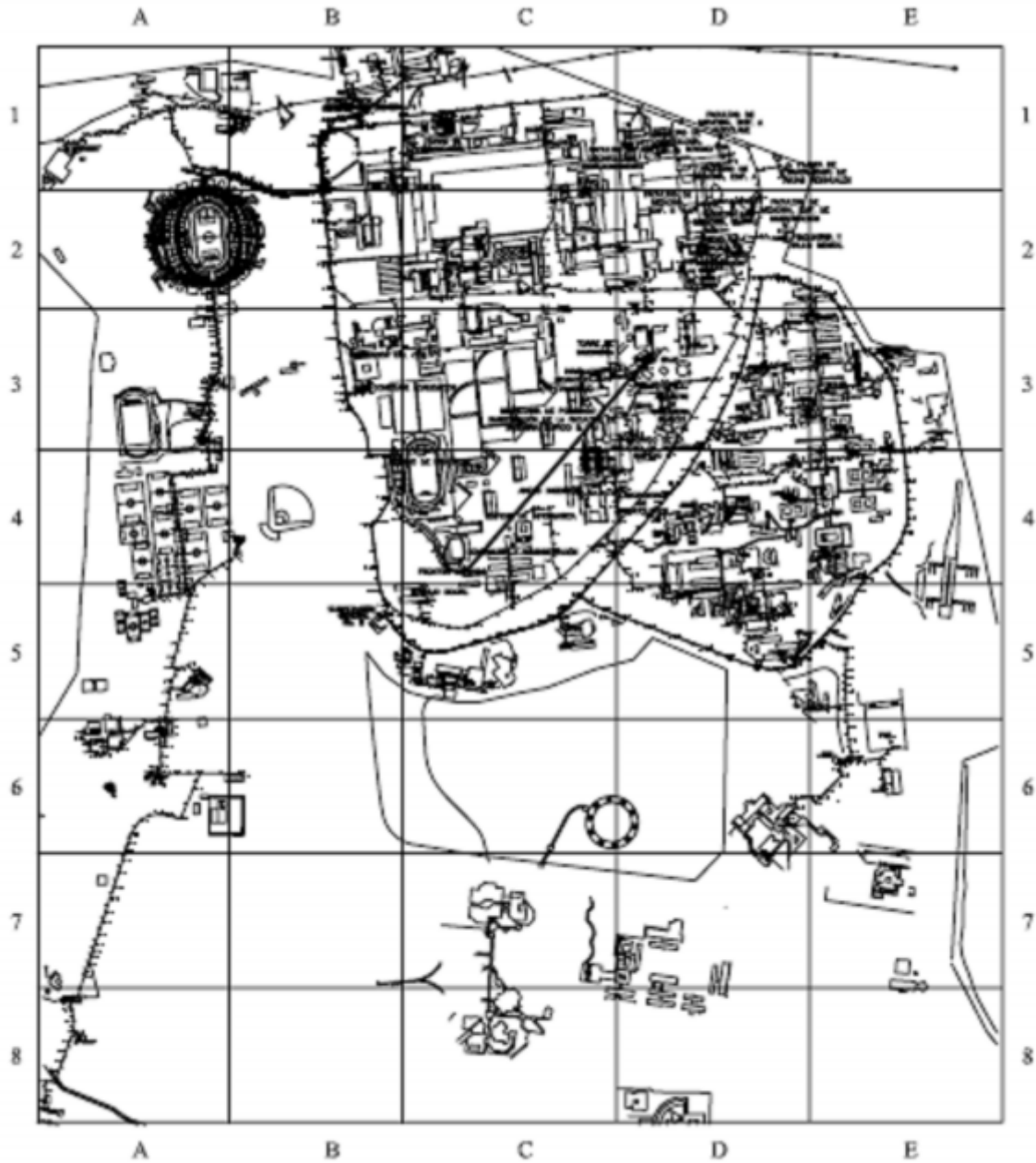


Fig. 31: Trayectorias de los alimentadores en el campus de Ciudad Universitaria



Ahora bien, no se sabe con certeza si con el proyecto de cambio de tensión que habrá en CU los anillos conservarán su distribución actual, ya que al transmitir a 23 kV su número podría reducir, debido a esto en las tablas de corto circuito anteriores se realizó el cálculo para una longitud de hasta 10 km, así si hubiera variaciones respecto a su distribución actual se podrá seguir empleando las mismas consideraciones que se toman en cuenta para la presente propuesta.

En este caso se consideran los anillos tal y como está su actual disposición, para esto las siguientes tablas las muestran con mayor detalle el cómo están formados, para después proceder a utilizar las localidades de los registros que unen a las dependencias como referencia para medir la longitud del anillo.

ANILLO I	ALIMENTADOR A		[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL		1.8935
	ANTIGUO MARATON		0.157
	CASETA DE OBRAS		0.170
	EX - TIENDA UNAM		0.317
	DIRECCION GENERAL DE OBRAS		0.129
	TALLERES DE CONSERVACION		0.358
	CUADRO MARCADOR		0.090
	MEDICINA DEL DEPORTE		0.084
	BOMBAS, TANQUE BAJO		0.0145
	MULTIFAMILIAR		0.170
	INCINERADOR DE BASURA		0.187
	BOMBAS DE RIEGO		0.102
	TOTAL		3.6720
	ALIMENTADOR B		[km]
ALIMENTADOR TRONCAL		1.097	

Tabla 32: Distancias entre dependencias, Anillo I



ANILLO II	ALIMENTADOR C	[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL	0.915
	PRENSA (FALTA 1 MEDICION)	
	TOTAL	0.915
	ALIMENTADOR D	[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL	1.097

Tabla 33: Distancias entre dependencias, Anillo II

ANILLO III	ALIMENTADOR E	[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL	1.268
	ALIMENTADOR F	[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL	3.582
	INSTITUTO DE BIOLOGIA EDIF. C y D	0.315
	INSTITUTO DE BIOLOGIA EDIF. A y B	0.035
	MESA VIBRADORA	0.170
	VIVERO ALTO	0.042
	CABAÑA	0.236
	TOTAL	4.380

Tabla 34: Distancias entre dependencias, Anillo III



ANILLO IV	ALIMENTADOR G		[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL		2.7830
	BIBLIOTECA CENTRAL		0.2560
	DIRECCION GENERAL DE CCH		0.0460
	CONSEJOS ACADEMICOS		0.0650
	ESTADIO DE PRACTICAS		0.1360
	FRONTON CERRADO		0.2560
	ESCUELA NACIONAL DE TRABAJO SOCIAL		0.0730
	FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION		0.1150
	FACULTAD DE CONTADURIA, EDIF. DE INFORMATICA		0.2790
	LAB. DE TERMOFLUIDOS		0.1740
	ANEXO DE INGENIERIA		0.1520
	ANEXO DE INGENIERIA (TALLERES)		0.1160
	VALDES VALLEJO		0.2880
	POSGRADO DE INGENIERIA EDIF. A		0.0140
	INSTITUTO DE INGENIERIA EDIF. 12 y 18		0.0585
	POSGRADO DE INGENIERIA EDIF. B y C		0.1860
	NAVE HIDRAULICA		0.1000
	TORRE DE INGENIERIA		0.0480
	VIVERO BAJO		0.0850
	TOTAL		5.2305
	ALIMENTADOR H		[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL		1.5085
	TORRE DE HUMANIDADES I		0.1280
	FAC. DE ODONTOLOGIA, ESTACIONAMIENTO		0.1020
	FAC. DE ODONTOLOGIA, SOTANO		0.0630
	FAC. DE MEDICINA, AUTOCLAVE		0.0660
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		0.1555	
FAC. DE MEDICINA, EDIF. DE INVESTIGACION		0.0380	
FAC. DE MEDICINA, EDIF. D		0.1400	
FAC. DE MEDICINA, EDIF. B y C		0.0300	
PSIQUIRIA Y SALUD MENTAL		0.0810	
UNIDAD DE APOYO A LA INVESTIGACION		0.0630	
TOTAL		2.3750	

Tabla 35: Distancias entre dependencias, Anillo IV



ANILLO V	ALIMENTADOR I	
		[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL	1.6970
	CENTRO MEDICO	0.1140
	FAC. DE ARQUITECTURA I (FALTAN 4 DISTANCIAS)	0.0190
	FAC. DE ARQUITECTURA II	0.1035
	ALBERCA OLIMPICA	0.1000
	FAC. DE QUIMICA, EDIF. C	0.0280
	INSTITUTO DE INGENIERIA	0.0770
	FAC. DE QUIMICA, EDIF. B	0.2030
	IIMAS	0.1650
	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMEDICAS I	0.0460
	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMEDICAS II	0.0270
	TOTAL	2.5795
	ALIMENTADOR J	
		[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL	1.0065
	BIBLIOTECA SAMUEL RAMOS	0.0410
	BIBLIOTECA ANTONIO CASO	0.1590
	FACULTAD DE DERECHO	0.1010
FACULTAD DE ECONOMIA	0.0160	
ANEXO DE DERECHO	0.1055	
TORRE DE HUMANIDADES II	0.1010	
UNIDAD DE POSGRADO	0.0460	
DISEÑO INDUSTRIAL	0.2190	
FAC. DE QUIMICA, EDIF. A	0.2320	
CELE	0.1330	
FACULTAD DE INGENIERIA	0.0380	
TOTAL	2.1980	

Tabla 36: Distancias entre dependencias, Anillo V

ALIMENT. Y ENLACE DE LA S.E. NO. 1	ALIMENTADOR K	
		[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL	0.015
	FAC. DE PSICOLOGIA, EDIF. A	0.081
	FAC. DE PSICOLOGIA, EDIF. C (FALTAN 4 DISTANCIAS)	0.121
	DIRECCION GENERAL DE PUBLICACIONES	0.299
	TOTAL	0.516
	ALIMENTADOR ENLACE	
		[km]
	ALIMENTADOR TRONCAL	1.539
	RECTORIA	0.074
	TOTAL	1.613

Tabla 37: Distancias Alimentador K y enlace de la Subestación No. 1



Las longitudes totales de cada anillo son las siguientes, incluyendo al alimentador K y a la sección de enlace, debido a que esto conjunta totalmente la Subestación

General No.1.

S.E. No. 1	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7
ANILLO	ANILLO I	ANILLO II	ANILLO III	ANILLO IV	ANILLO V	ALIM. K	ENLACE
DISTANCIA [KM]	4.028184	2.012	5.648	7.6055	4.7775	0.516	1.613

Tabla 38: Longitudes de los Anillos, Alimentador K y Enlace que conforman el Sistema Eléctrico Universitario

Así se puede saber la cantidad y ubicación aproximada que tendrán los electrodos profundos que requiere cada anillo para que sea seguro y cumpla con la normatividad.

La NOM – 001 en el artículo 921 – 18 – Puesta a tierra – inciso c referido a Sistemas con múltiples conexiones de puesta a tierra, menciona que “Debe estar colocado un electrodo en cada transformador y sobre la línea, cada 400 m máximo independiente del sistema de servicio de los usuarios”.

En base a la norma y con las distancias establecidas en la tabla anterior, tenemos lo siguiente:

ANILLO	DISTANCIA	CÁLCULO	ELECTRODOS
I	4.028184	16.112736	17
II	2.012	8.048	9
III	5.648	22.592	23
IV	7.6055	30.422	31
V	4.7775	19.1098	20
K	0.516	2.064	3
ENLACE	1.613	6.452	7

Tabla 39: Número aproximado de electrodos profundos que se necesitan para el sistema de tierras de los Anillos, Alimentador K y Enlace que conforman el Sistema Eléctrico Universitario



Se nota la cantidad aproximada de electrodos necesarios para cada anillo y con ello se procede a analizar la ubicación conveniente para dichos electrodos, respetando la norma y la propuesta de profundidad para cada electrodo en específico.

5.7.2 SELECCIÓN DEL LUGAR DONDE TENDRÁN QUE SER COLOCADOS LOS ELECTRODOS.

Respecto a los cálculos y respetando la norma anteriormente mencionada los lugares apropiados para los electrodos se ubican de en función de la localización de los registros del último estudio hecho por la Facultad de Ingeniería, los registros sirven como punto de referencia para la perforación y colocación de los electrodos ya que para dicha instalación se propone realizar en su terreno aledaño.

Así que los lugares indicados para la colocación de los electrodos son los siguientes:

ALIMENTADOR A		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
253	8RT-A1	6
250	16RT-A1	6
279	6RD-A1	12
249	15RD-A1	12
284	18RD-A1	12
241	30RD-A1	12
265	4RT-A1	12
258	33RT-A1	12
243	36RD-A1	18
241	50RT-A1	18
256	64RT-A1	24
251	73RT-A1	24
250	42RD-A1	24
201	50RD-A1	30

Tabla 40: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador A



ALIMENTADOR B		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
253	8RT-B1	6
242	16RT-B1	6
269	24RT-B1	12
254	34RT-B1	12

Tabla 41: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador B

ALIMENTADOR C		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
253	8RT-C1	6
251	15RT-C1	6
259	23RT-C1	12

Tabla 42: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador C

ALIMENTADOR D		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
253	8RT-D1	6
251	16RT-D1	6
245	24RT-D1	12
254	34RT-D1	12

Tabla 43 Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador D



ALIMENTADOR E		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
275	6RT-E1	6
269	12RTP-E1	6
254	23RT-E1	12
250	35RT-E1	12

Tabla 44: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador E

ALIMENTADOR F		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
274	6RT-F1	6
245	11RT-F1	6
250	22RT-F1	12
263	36RT-F1	12
251	48RT-F1	18
256	60RT-F1	18
262	73RT-F1	24
244	81RT-F1	24
244	90RT-F1	30
248	101RT-F1	36
233	18RD-F1	36
271	109RT-F1	36
267	118RT-F1	42
241	128RT-F1	42
246	24RD-F1	48
242	3RD-F1	36
256	16RD-F1	36

Tabla 45: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador F



ALIMENTADOR G		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
275	4RD-G1	6
272	5RT-G1	6
240	11RT-G1	12
233	8RD-G1	18
290	14RT-G1	18
248	18RT-G1	24
289	15RD-G1	24
195	21RT-G1	24
254	25RT-G1	30
121	6SD-G1	30
294	6PT-G1	30
248	29RD-G1	24
255	33RT-G1	24
182	46RD-G1	24
256	37RD-G1	24
222	39RD-G1	24
292	37RT-G1	24
213	10PT-G1	18
252	59RD-G1	18
200	11PT-G1	18

Tabla 46: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador G

ALIMENTADOR H		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
244	2RD-H1	6
257	5RT-H1	6
268	8RT-H1	6
258	2PT-H1	6
209	3PT-H1	6
234	4PT-H1	12
288	6PT-H1	18

Tabla 47: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador H



ALIMENTADOR I		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
272	6RT-I1	6
240	12RT-I1	12
228	1PT-I1	12
266	7RD-I1	12
243	17RT-I1	12
227.5	21RT-I1	12
210	22RT-I1	12
264	30RD-I1	18
248	23RD-I1	12
252	9PT-I1	18
269.5	42RD-I1	12

Tabla 48: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador I

ALIMENTADOR J		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
246	1RD-J1	6
268	7RT-J1	6
149	10RT-J1	6
213.5	11RT-J1	12
277.5	22RD-J1	12
262.5	19RD-J1	12

Tabla 49: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador J

ALIMENTADOR K		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
	6RD-K1	6

Tabla 50: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para los electrodos del Alimentador K



ENLACE		
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS [m]	REGISTRO	PERFORACIÓN [m]
272	6RT-ENLACE	6
238	11RT-ENLACE	12
259	15RT-ENLACE	18
248	20RT-ENLACE	24
195	24RT-ENLACE	30
245	28RT-ENLACE	36

Tabla 51: Distancia entre electrodos y profundidad propuestas para ENLACE S.E. 1 y 2

Como se aprecia en las tablas anteriores se tienen las distancias a las que se encontrarán consecutivamente cada uno de los electrodos de un mismo alimentador cumpliendo con la norma y por ser menor la distancia entre cada electrodo que lo que determina la norma como máxima separación aceptable se asegura la confiabilidad y disminución de la resistencia del sistema en conjunto con la configuración de conexión que se realiza al estar interconectados en paralelo.

Se debe recordar que el potencial de toque proporciona la pauta para saber qué resistencia es la máxima para el correcto desarrollo del este sistema de tierra.

$$P_t = (1000 + 1.5C_s\rho_s) 0.157 / ((t)^{(1/2)}), \text{ esto para } 70 \text{ kg.}$$

.Considerando:

$C_s = 1$, debido a que sería máximo

$\rho_s = 5\,500 \text{ [} \Omega \cdot \text{m]}$, para los transformadores, ya que se utiliza tarima de fibra de vidrio al lado del transformador.

El tiempo lo elegimos en base a la figura 19 ya que a la corriente

$t = 0.15 \text{ seg.}$ Tiempo, seleccionado de la figura 19 para un fusible limitador de corriente que opera a 2418.6 A.



Por lo tanto con los parámetros descritos el potencial de toque equivale a:

$$P_t = 3813.6 \text{ V}$$

Como se conoce

$P_t > I_{cc} \text{ Max} * R$, despejando R obtenemos;

$R < (P_t / I_{cc} \text{ Max})$, para el caso propuesto sería;

$R < (3813.6 / 2418.6) = 1.57 \Omega$, que es la resistencia máxima que el sistema debe tener.

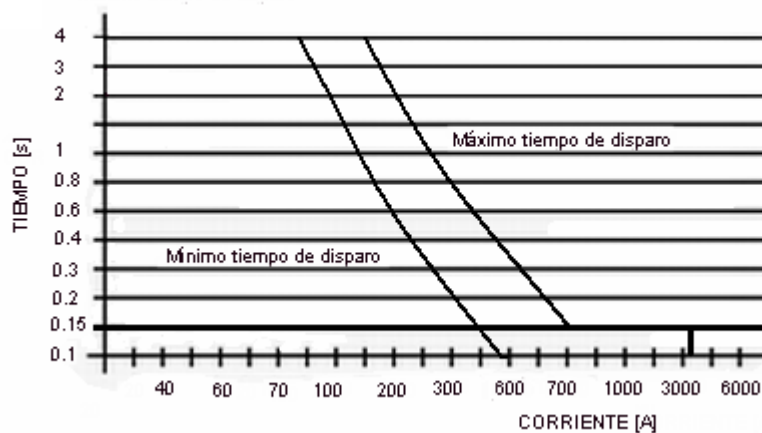


Fig. 27: Curva de fusible limitador de corriente para I_{cc} de 2418.6 A

Las consideraciones anteriores se toman de “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, std 80 – 2000, Cap.16, Desing of Grounding System”, que da la condicionante para evitar usar una malla en cualquier subestación.

El diseño de las mallas en las subestaciones de las dependencias dependerá de casos particulares y este estudio solo está enfocado al lado de media tensión.

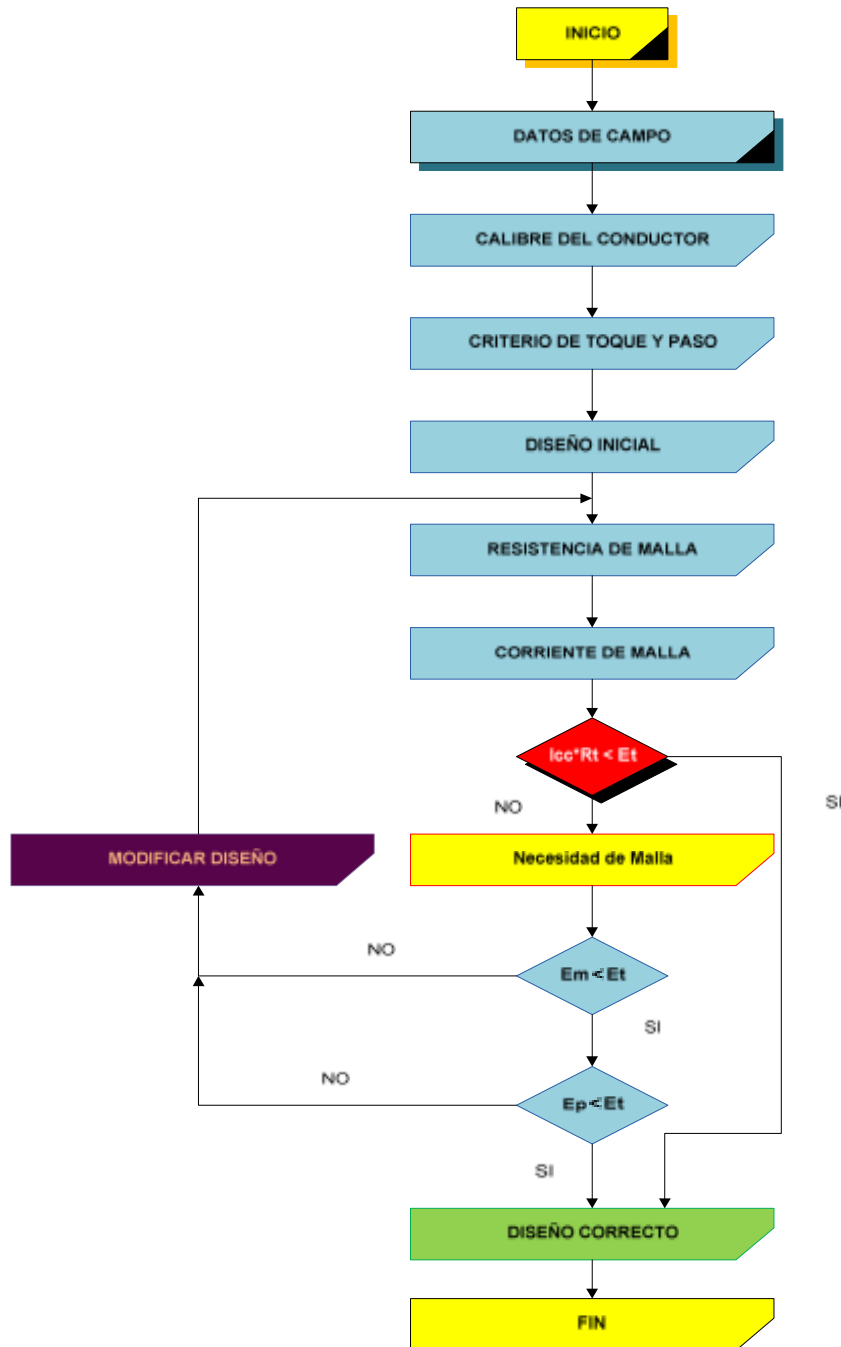


Fig. 28: Diagrama sobre el uso de la malla

La versatilidad del sistema propuesto, al estar interconectado en paralelo permite reducir la resistencia al punto más bajo de resistencia y mejor aún a un punto menor al indicado aquí.



EJEMPLOS DE UBICACIÓN DE REGISTROS PARA PERFORACIÓN DE ELECTRODOS PROFUNDOS

A continuación se indica como están conformados los datos para cada registro respecto al último estudio y en el cual se usa de base para el análisis.

Registro SRT-A1		SE 1 Anillo I Alimentador A															
Descripción	Localización Casi enfrente de la Biblioteca Central sobre Insurgentes. Circuito Interior.																
Tapa/op 0.6 x 0.8 m																	
Observaciones	-Tapa/op. En buen estado. Con asas. -Fácil acceso.																
		<p>*NOMBRE DEL REGISTRO.</p> <p>*ANILLO, ALIMENTADOR AL QUE PERTENECE.</p> <p>*LOCALIZACIÓN.</p> <p>*IMÁGENES DEL REGISTRO POR DENTRO/FUERA.</p> <p>*MEDIDAS DE TAPA Y REGISTRO, DONDE SE HACE LA OBSERVACIÓN DEL ACCESO Y ESTADO.</p>															
<table border="1"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td> </tr> <tr> <td>CIN ●●○ ●●○ AB</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>N3C ○●● ○●● 3A</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> </table> <p>3H-1φ, Tipo Seco; A, B, C, D Neutro corrido, 4/0 AWG</p>			1	2	3	4	5	6	7	8	CIN ●●○ ●●○ AB	X	X	X	N3C ○●● ○●● 3A	X	X
1	2	3	4	5	6	7	8										
CIN ●●○ ●●○ AB	X	X	X	N3C ○●● ○●● 3A	X	X	X										
<p>*DIMENSIONES DE REGISTRO.</p> <p>*PAREDES DEL REGISTRO, ASÍ COMO UBICACIÓN DE CABLEADO, ALIMENTACIÓN Y TIPO DE ESTE.</p>																	



Una vez aclarado lo anterior los ejemplos y comentarios son los siguientes:

Ejemplo No.1

Registro 8RT-B1		SE 1 Anillo I Alimentador B																																																						
Descripción	Localización Casi enfrente de la Biblioteca Central sobre Insurgentes. Circuito Interior.																																																							
Tapa/op 0.6 x 0.8 m																																																								
Observaciones	-Tapa/op. En buen estado. Con asas. -Fácil acceso.																																																							
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">CDN</td> <td>●●○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○●●</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">AB</td> <td>●●○</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>○●●</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">NDC</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○●●</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">C</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○●●</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">BA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○●●</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p style="font-size: small;">3H-1φ, Tipo Seco; A, B, C, D Neutro corrido, 4/0 AWG</p> </div> </div>				1	2	3	4	5	6	7	8	CDN	●●○				○●●				AB	●●○	X	X	X	○●●	X	X	X	NDC					○●●				C					○●●				BA					○●●			
	1	2	3	4	5	6	7	8																																																
CDN	●●○				○●●																																																			
AB	●●○	X	X	X	○●●	X	X	X																																																
NDC					○●●																																																			
C					○●●																																																			
BA					○●●																																																			

Tabla 52: Registro 8 RT – B1

En esta imagen aprecia un registro que comparte el cableado de los alimentadores A, B, C, D.



Se puede observar que en los alrededores hay una zona de pasto en la cual a un metro o dos de distancia del registro se podría realizar la perforación para colocar el electrodo sin problema alguno.

Ejemplo No.2

Registro 16RT-D1		SE 1 Anillo II Alimentador D																																													
Descripción	Localización: Dentro del Estadio Olímpico Universitario.																																														
Tapa/op 0.6 x 0.8 m																																															
Observaciones	-Tapa/op. En buen estado. Con asas. -Fácil acceso.																																														
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CDN</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>●●○</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>●●○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AB</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>3H-1φ, Tipo Seco; A, B, C, D Neutro corrido, 4/0 AWG</p> </div> </div>				1	2	3	4	5	6	7	8	CDN									●●○	X	X	X			X	X	X	●●○									AB								
	1	2	3	4	5	6	7	8																																							
CDN																																															
●●○	X	X	X			X	X	X																																							
●●○																																															
AB																																															

Tabla 53: Registro 16 RT – D1



Este registro es compartido por los alimentadores A, B, C, D, y se encuentra dentro del estadio de Ciudad Universitaria.

En este caso lo que se podría hacer es perforar la estructura que se encuentra alrededor del registro, o bien salir del estadio y a partir del registro ubicar una zona en un radio de 100 metros donde la perforación sea más fácil, lo anterior es posible ya que la norma se marca una separación de 400 metros entre electrodos, y la separación promedio propuesta entre estos es de 275 metros que no afectará la resistencia a tierra al momento de la descarga a tierra.

Ejemplo No.3


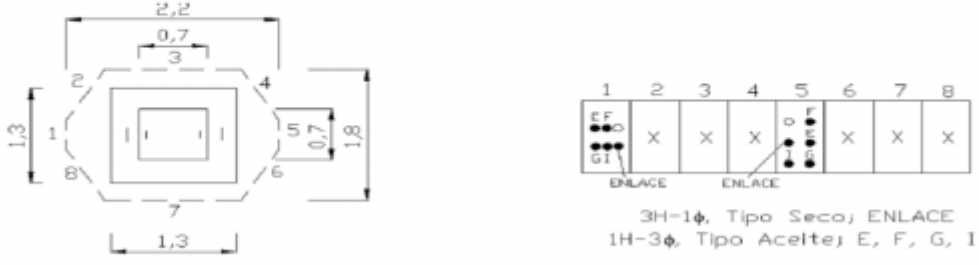
Registro 6RT-E1		SE 1 Anillo III Alimentador E
Descripción	Localización: A un costado de la Biblioteca Central sobre Insurgentes.	
Tapa/op 0.7 x 0.7 m Tapa/ex 1.30 x 1.30 m		
Observaciones	-Tapa/op. En buen estado. Con asas. -Tapa/ex. En buen estado. Con asas. -Fácil acceso.	
		

Tabla 54: Registro 6 RT – E1



Este registro lo comparte el cableado de los alimentadores E, F, G, I, y el ENLACE, se encuentra fuera del Estadio Universitario.

Aquí se puede apreciar que la perforación se puede realizar unos metros alrededor del registro y sobre el camellón sin que se afecte el cableado.

Ejemplo No.4

Pozo 2PT-H1		SE 1 Anillo IV Alimentador H
Descripción	Localización: Enfrente de la Facultad de Odontología. Circuito Interior.	
<p>Tapa/op 0.7 x 0.7 m</p> <p>Tapa/ex 1.3 x 1.3 m</p>		
Observaciones	<p>-Tapa/op. En buen estado. Con asas.</p> <p>-Tapa/ex. En buen estado. Con asas.</p> <p>-Fácil acceso.</p>	
<p style="text-align: center;">1H-3φ Tipo Aceite; H 1H-3φ Tipo Aceite; FAC. DE ODONTOLOGIA EDIF. D 1H-3φ Tipo Aceite; FAC. DE ODONTOLOGIA ESTACIONAMIENTO</p>		

Tabla 55: Pozo 2 PT – H1



Este registro sólo lo ocupa el cableado del alimentador H y se encuentra frente a la Facultad de Odontología.

Aquí la perforación se podría hacer sobre el camellón a unos metros de distancia del registro, esto sin afectar el paso del cableado.

Ejemplo No.5

Registro 1RT-J1		SE 1 Anillo V Alimentador J																																
Descripción	Localización: En un costado del estacionamiento de la Facultad de Filosofía. Circuito Interior.																																	
<p>Tapa/op 0.7 x 0.7 m</p> <p>Tapa/ex 1.3 x 1.3 m</p>																																		
Observaciones	<p>-Tapa/op. En buen estado. Con asas.</p> <p>-Tapa/ex. En buen estado. Con asas.</p> <p>-Fácil acceso.</p>																																	
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">○ ○</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">○○○</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">● ●</td> <td></td> <td style="text-align: center;">●●●</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">J</td> <td></td> <td style="text-align: center;">HJ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">1H-3φ, Tipo Aceite; H, J</p>			1	2	3	4	5	6	7	8	○ ○	X	○○○	X	X	X	X	X	● ●		●●●						J		HJ					
1	2	3	4	5	6	7	8																											
○ ○	X	○○○	X	X	X	X	X																											
● ●		●●●																																
J		HJ																																

Tabla 56: Registro 8 RT – A1



Este registro comparte el cableado de los alimentadores J y H, su ubicación está a un costado de la Facultad de Filosofía.

Se observa que la perforación se podría realizar a un costado del registro, en la sombra verde, no sin antes mencionar que esa zona se encuentra a una altura mayor, pero ya se consideró al momento de plantear la heterogeneidad del terreno debido a las variaciones de forma y tipo de suelo.

Ejemplo No.6


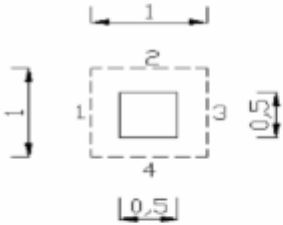
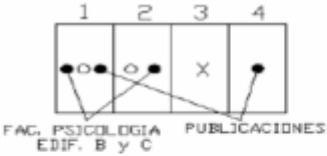
Registro 6RD-K1		SE 1 Radial K Alimentador K
Descripción	Localización: Frente a la Facultad de Psicología, dentro de la reserva ecológica. Circuito Interior	
Tapa/op 0.5 x 0.5 m		
Observaciones	-Tapa/op. En buen estado. Sin asas. - Dificil acceso.	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p style="text-align: center;">1H-3φ, Tipo Seco; FAC. PSICOLOGIA EDIF. B y C 1H-3φ, Tipo Aceite; PUBLICACIONES</p>		

Tabla 57: Registro 6 RD – K1



Este registro solo lo utiliza el alimentador K y se encuentra dentro de la reserva ecológica, frente a la Facultad de Psicología.

En cuanto a la perforación no hay mayor problema, se puede realizar muy cerca del registro ya que se encuentra con una zona libre de obstáculos muy amplia.

Ejemplo No.7

Registro 11RT-J1		SE 1 Anillo V Alimentador J												
Descripción	Localización: Enfrente del estacionamiento del CELE, a un costado de la Facultad de Ingeniería.													
Tapa/op 0.7 x 0.7 m														
Observaciones	-Tapa/op. En buen estado. Con asas. -Fácil acceso.													
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td> </tr> <tr> <td>○</td><td>×</td><td>○</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td> </tr> </table> <p>IH-3φ Tipo Aceite; J</p> </div> </div>			1	2	3	4	5	6	○	×	○	×	×	×
1	2	3	4	5	6									
○	×	○	×	×	×									

Tabla 58: Registro 11 RT – J1



Este registro lo utiliza el alimentador J y se frente al CELE y a un costado de la Facultad de Ingeniería.

Aquí la perforación se podría realizar dentro del área conocida como las islas, y recorrer el cable de tierra hasta el registro, considerando un radio de 100 m a partir de este.

Con los ejemplos anteriores se muestra un panorama general de los problemas o bien de las facilidades que implicaría el perforar cerca de los pozos, así como la manera en que éstos se encuentran distribuidos por Ciudad Universitaria.

5.7.3 SELECCIÓN DEL CONDUCTOR Y CALIBRE DEL MISMO PARA LA Icc MÁXIMA.

Las características de los electrodos profundos se elegirán tomando en cuenta la reglamentación de la NOM – 001 sección H.

Los electrodos deberán estar conectados mediante un conductor que por sus propiedades eléctricas será de cobre de calibre no menor a 2/0, y un conector, que unirá electrodo – conductor, de bronce se seleccionan dichos materiales para evitar la corrosión por Efecto Galvánico.

Así este conductor unirá a los electrodos a través de los alimentadores y por ende del anillo que le corresponda, y al ser de los materiales mencionados disminuirá el desgaste del material.

5.8 CORROSIÓN POR EFECTO GALVÁNICO

Se lleva a cabo cuando hay dos elementos metálicos inmersos en un medio heterogéneo que debido a esto, forman numerosas celdas galvánicas a través de las diferentes capas de material que envuelve.

En este caso proponemos, cobre y hierro.

El cobre, se comportará como cátodo y el hierro, como ánodo. Del ánodo fluye la corriente positiva en forma de iones hacia el electrolito provocando así la corrosión que consiste en la oxidación; es decir la pérdida de metal. Y del cátodo que es del



electrodo de donde fluye la corriente negativa hacia el electrolito, se lleva a cabo la reducción, debido a que la corriente llega desde el electrolito y el metal se protege. Debido a esto la corrosión disminuye.



CAPÍTULO VI

ANÁLISIS GENERAL Y CONCLUSIONES





CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS GENERAL Y CONCLUSIONES

Con el presente estudio se obtuvo un análisis de apoyo para la implementación de un Sistema de Tierra en el Campus Universitario debido a que éste presenta características de expansión y desarrollo.

El Sistema propuesto en esta Tesis permite una gran flexibilidad en el desarrollo del mismo, debido a que en consideramos las diferentes características de los alimentadores, el terreno, así como sus respectivas corrientes de corto circuito, las cuales nos dieron un parámetro muy bien definido para este u otro sistema que se quiera plantear.

El manejo de las normas así como el estudio de campo realizado ayudó a corroborar que el cálculo de los parámetros propuestos fuera correcto.

Ahora bien, los parámetros como el valor de máximo de la Corriente de Corto Circuito $I_{cc} = 2418.6 \text{ A}$, el potencial de toque (Pt), $Pt = 3813.6 \text{ V}$, y la resistencia máxima que debe de representar el sistema, $R = 1.57 \text{ } \Omega$, muestra un buen panorama dentro de la aplicación del mismo.

Cabe mencionar que las tablas propuestas de Corriente de Corto Circuito representan un valor muy interesante y se realizaron con la finalidad de saber el valor de I_{cc} dependiendo de la longitud del cableado tanto en los alimentadores y anillos actuales, como para futuros cambios, ya que como sabemos que la transmisión de potencia no será más en 6.3 kV, ya que aumentará a 23 kV.

Con la elevación de tensión se podría recortar el número de anillos uniendo no solo dos sino tres o cuatro alimentadores, por lo cual nuestros cálculos van de diez en diez metros hasta una longitud de 10 km, lo que nos deja una referencia muy efectiva para cualquier modificación independiente del Sistema de Tierra o bien para la modificación del mismo.

El planteamiento de la profundidad en las excavaciones para la colocación de los electrodos profundos fue el resultado de previas experiencias dentro del



Sistema Eléctrico Universitario, el terreno se modeló como si siguiera un comportamiento linealizado para facilitar el análisis de las mismas, ya que como es de suponerse el suelo de CU no es homogéneo, por lo que al momento de realizar las perforaciones para los electrodos es posible que en algunas ocasiones se tengan que realizar perforaciones con mayor o menor profundidad (no rebasando un 25% más o menos) de lo mencionado en este trabajo.

La elección del conductor cobre de 2/0 AWG está basado en la aportación de la obra civil que se encuentra hasta el momento, en la normatividad y en el efecto galvánico para prevenir la corrosión.

Respecto a esta última afirmación se tiene Ciudad Universitaria en su mayoría está compuesta por roca que presenta un grado de filtración de líquido y sales muy bajo, además de una elevada resistividad respecto a otros terrenos, esto nos dice que la corrosión en el sistema será muy baja, no solo por la menor oxidación que presenta el cobre por menor cantidad de agua y sales, también y en gran medida porque la corrosión es inversamente proporcional a la resistividad que presenta el terreno.

Cabe destacar que este trabajo se realizó con la finalidad de apoyar el sistema que propusimos, si es el caso mejorarlo o utilizarlo para otras aplicaciones.

Durante el presente trabajo pudimos ver la aplicación de muchas normas, esto lo hicimos con el fin de que los cálculos y consideraciones fueran lo mejor planeado respecto a las normas internacionales, pero como sabemos en México la Norma regente es la NOM – 001, la cual en muchos casos es menos estricta que las anteriores y muy probablemente sea la que se implemente en cualquier proyecto a realizar en Ciudad Universitaria, por lo que los cálculos realizados cumplen con esta última.

“Por mi raza hablará el espíritu”

UNAM, 2009

INGENIERIA



BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFIA

- *Norma Oficial Mexicana, NOM – 001 – SEDE – 2005-Instalaciones Eléctricas (utilización), Segunda Sección, Secretaría de Energía, 2006.
- *National Electrical Code, NEC o NFPA, 2008.
- *Kothari, Sistemas Eléctricos de Potencia, Mc. Graw Hill, ed.2006, ISBN: 978 – 970 – 10 – 6529 – 7.
- * IEEE Std 80 – 2000: IEEE guide for Safety in AC Substation Grounding.
- * López Monroy, Guillermo. Sistemas de Tierra En Redes de Distribución.
- *Librería EDSA 2005, Programa EDSA 2005.
- *Viqueira Landa, Jacinto, Redes Eléctricas, Libro publicado por la Facultad de Ingeniería, 2004, ISBN: 970 – 32 – 2098 – 3
- * Early, Sheehan and Caloggero, National Electrical Code Handbook, National Fire Protection Association.1996

- *Fred Hartwell, “Understanding NE Code Rules on Grounding and Bonding”, Electrical Construction and Maintenance, Intertec Electrical Group, 1994, ISBN: 0 – 87288 – 543 – 7.

- *Joseph R. Knisley, “Understanding grounding electrode requirements of the NE Code,” Electrical Construction and Maintenance, September 1991.

- *Keneth M. Michaels, “Effective Grounding of Electrical Systems,” Electrical Construction and Maintenance, Jan. 94.

- *US Department of Commerce, National Bureau of Standards, “Guideline on Electrical Power for ADP Installations,” Federal Information Processing Standards – Publication 94, September 21, 1983.



*IEEE Green Book: IEEE Std 142-2007 -- Recommended Practice For Grounding Of Industrial And Commercial Power Systems

*No. 39 de Revista Arquitectura; Varios autores, México, edición facsimilar de la Facultad de Ingeniería, p.p. 370.

*No 36 y 39 de Arquitectura/México, México, diciembre 1951 y septiembre 1952; también es interesante consultar a Mario Pani y Enrique del Moral, La construcción de la Ciudad Universitaria del Pedregal, UNAM, México, 1979.

*García Ramos, Iniciación al urbanismo, UNAM, México, 1961, pp. 325 y ss.

*Arquitectura/México, núm. 110, México, 1974.

*Análisis Del Riesgo

Eléctrico(<http://www.monografias.com/trabajos10/riel/riel.shtml>)

*Daños a edificios, aparatos eléctricos y electrónicos.

(http://www.sertec.com.py/telegia/telegia/informaciones/transistorio_red.htm)

*<http://genesis.uag.mx/edmedia/material/fisicall/magnetismo.cfm>

*<http://igroz.binblogs.com/note/7840/m%C3%A9todo-de-corrientes-para-c%C3%A1lculo-de.html>

*<http://html.rincondelvago.com/sistematica-de-calculo-de-puesta-a-tierra.html>