

870117

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA 10

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México.

E s c u e l a d e I n g e n i e r í a

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN UNA
SUBESTACION DE CORRIENTE ALTERNA
DE 51 M. V. A. 13.8 KV/110 KV.**



TESIS PROFESIONAL

que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico Electricista

(Area de Sistemas Eléctricos y Electrónicos)

presenta

JESUS RUIZ RODRIGUEZ

Guadalajara, Jalisco

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

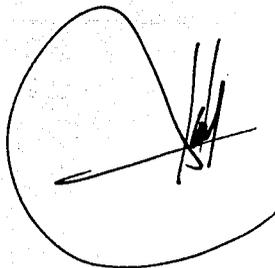


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



[Handwritten signature]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A MIS QUERIDOS PADRES:
Sr. Senaido Ruiz Salas (Q.E.P.D.)
Sra. Josefa Rodríguez Vda. de Rodríguez

A MIS HERMANOS:
Marcos, Elide, Alaiza,
Asdrubal, Nulfa, Almicar,
Jairo, Edith; con afecto

A mis maestros y amigos
con respeto y afecto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Guadalajara, Jal., 23 de Junio de 1981.

Al Pasante de
Ingeniero Mecánico Electricista
Area: Sistemas Eléctricos y Electrónicos
Sr. Jesús Ruíz Rodríguez
P r e s e n t e .

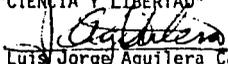
En contestación a su solicitud de fecha 9 de Junio del presente año, me es grato informarle que la Comisión de - Tesis que me honro en presidir, aprobó como tema que usted deberá - desarrollar para su examen de Ingeniero Mecánico Electricista, el - que a continuación transcribo:

" DISEÑO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN UNA SUBESTACION DE CO-
RRIENTE ALTERNA, DE 51 MVA 13.8 KV/110 KV. "

- I.- GENERALIDADES.
- II.- DISEÑO DEL SISTEMA DE ATERRIZAMIENTO.
- III.- CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE ATERRIZAMIENTO.
- IV.- MANTENIMIENTO Y PRUEBA DE UN SISTEMA DE ATERRIZAMIENTO.
- V.- CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted tomar nota que la copia fotografiada del presente oficio, deberá ser incluida en los preliminares de todo ejemplar de su tesis.

A t e n t a m e n t e .
"CIENCIA Y LIBERTAD"


Ing. Luis Jorge Aguilera Casillas.
Director.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Guadalajara, Jal.. 23 de Junio de 1981.

Al Pasante de
Ingeniero Mecánico Electricista
Area: Sistemas Eléctricos y Electrónicos
Sr. Jesús Ruiz Rodríguez
P r e s e n t e .

En contestación a su solicitud de fecha 9 de Junio del presente año, me es grato informarle que la Comisión de Tesis que me honro en presidir, aprobó como tema que usted deberá desarrollar para su examen de Ingeniero Mecánico Electricista, el que a continuación transcribo:

" DISEÑO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN UNA SUBESTACION DE CORRIENTE ALTERNA, DE 51 MVA 13.8 KV/110 KV. "

- I.- GENERALIDADES.
 - II.- DISEÑO DEL SISTEMA DE ATERRIZAMIENTO.
 - III.- CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE ATERRIZAMIENTO.
 - IV.- MANTENIMIENTO Y PRUEBA DE UN SISTEMA DE ATERRIZAMIENTO.
 - V.- CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted tomar nota que la copia fotografiada del presente oficio, deberá ser incluida en los preliminares de todo ejemplar de su tesis.

Atentamente,
"CIENCIA Y LIBERTAD"


Ing. Luis Jorge Aguilera Casillas.
Director.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 1
GENERALIDADES

La denominación de puesta a tierra comprende cualquier ligazón metálica directa, sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente, entre una parte de una instalación y un electrodo o placa metálica, de dimensiones y situaciones tales que en todo momento, pueda asegurarse que el conjunto está prácticamente al mismo potencial de la tierra.

Generalmente se considera al diseño de una red de tierra como una fácil tarea, en realidad se trata de un problema complejo; mas aún, si se incluyen en forma realista todos los factores que determinan su comportamiento. Por ejemplo, la consideración de la resistividad del suelo debido a las grandes variaciones en su composición, los cambios durante las estaciones del año, su estructura transversal y longitudinal, etc.

Clasificación de las Puestas a Tierra

En las estaciones de transformación y de distribución se utilizan dos tipos de puestas a tierra:

- a. Puesta a tierra de protección.
- b. Puesta a tierra de servicio.



Puesta a Tierra de Protección

Se instala para prevenir accidentes personales. Todas las partes metálicas de una instalación que no pertenece al circuito de corriente de trabajo tienen que estar puesta a tierra cuando al producirse averías, incluso por arcos eléctricos, pueden entrar en contacto con piezas bajo tensión, por lo tanto, hay que conectar a tierra los siguientes elementos de la instalación:

- i). Las carcasas de las máquinas, transformadores, transformadores de medidas.
- ii). Por el lado de baja tensión de los transformadores, hay que conectar a tierra el centro de la estrella o una fase.
- iii). Las partes de armazones metálicos.

Puesta a Tierra de Servicio

Es la parte que pertenece al circuito de corriente de trabajo, es decir, al centro de estrella de generadores y transformadores. También están incluidos en este grupo los circuitos de tierra de los pararrayos y otros dispositivos de protección contra sobre tensiones (bobinas, cables de tierra).

Partes que comprenden un sistema de Tierra

- i). Circuito de conductores de unión
- ii). Electrodo o toma de tierra
- iii). Tierra

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Circuitos de Conductores de Unión

Los conductores de los circuitos de puesta a tierra han de ser de sección apropiada a la intensidad que ha de recorrerla, de forma que no se produzcan calentamientos.

El tendido de los circuitos de tierra ha de realizarse con conductor desnudo, sin aisladores, al descubierto, de forma visible y de tal forma que no resulte fácil su deterioro por acciones mecánicas o químicas.

Los conductores de puesta a tierra han de tener un contacto eléctrico perfecto, tanto con las partes metálicas que se desea poner a tierra, como el electrodo que constituye la toma de tierra; a estos efectos, está el reglamento que las conexiones de los conductores de tierra con las partes metálicas y con los electrodos se realice con todo cuidado, por medio de piezas de empalme adecuadas; los contactos han de disponerse limpios, sin humedad y de tal forma que los posibles efectos electroquímicos no destruyan con el tiempo, las conexiones efectuadas.

Electrodo o Toma de Tierra

Por lo general, la puesta a tierra de las instalaciones eléctricas se realiza por medio de tomas de tierra, es decir, partes metálicas conductoras, introducidas en el suelo y que forman unión conductora con el terreno. Para las tomas de tierra tiene importancia fundamental la resistencia del terreno, que se expresa en ohmios por metro y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

depende de varios factores, tales como la naturaleza del terreno, el contenido en humedad, etc.

No debe hacerse pasar bruscamente la corriente desde el conductor metálico, de pequeña sección y buena conductividad eléctrica, a la sección de tierra equivalente. Para el paso de la corriente es necesario disponer de una sección suficientemente grande, ya que la resistencia de paso de un conductor metálico a tierra, no resulta de un efecto de resistencia de la superficie de limitación, si no mas bien, de la resistencia de difusión de la corriente en el terreno. La forma de la toma de tierra, el valor de su superficie y la resistividad del terreno determinan la forma de efectuarse esta difusión de la corriente. La difusión de la corriente por el terreno ocasiona una caída de tensión que depende, esencialmente, de la resistividad del terreno. Se ha demostrado experimentalmente que esta caída de tensión es máxima en la vertical toma de tierra y disminuye a medida que aumenta la distancia de la toma, resulta inapreciable esta caída de tensión. La consecuencia de esto es la formación de un embudo de tensión, en las zonas próximas a la toma de tierra, si se mide la caída de tensión metro a metro con un voltímetro y una sonda, y llevan a un gráfico los valores medidos se obtienen una curva de potencial (Fig. 1). En la proyección horizontal tiene la forma representada en la Fig. 2. Cuanto mas profunda es la toma de tierra, mas se aplanan el embudo de tensión.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuando una persona se encamina paso a paso hacia el lugar donde se encuentra el electrodo de tierra, está sometido a una tensión entre los dos pies, que se llama tensión de paso, esta tensión de paso se refiere al metro de longitud de paso para las personas (Fig. 3). Como se aprecia en la figura 3, la tensión de paso puede alcanzar valores peligrosos en determinadas circunstancias, sobre todo, si la toma de tierra no está enterrada suficientemente.

Si se quieren evitar los peligros de la tensión de paso, habrá de enterrar la toma de tierra muy profundamente porque, el embudo de tensión resultará mas aplanado y, por lo tanto, de menos pendiente, es decir, que la tensión de paso será menor. Pero en muchas ocasiones, esto no es posible por la naturaleza rocosa del terreno o por otras razones.

Toma de Tierra en Forma de Varilla

El sistema de toma de tierra por medio de varillas metálicas es, probablemente, el mas empleado. El cual consiste en clavar verticalmente en el terreno estas varillas.

Las prescripciones reglamentarias indican que las varillas han de ser de metal férrico o de hierro galvanizado, con un diámetro mínimo de $\frac{1}{2}$ pulgada hasta $\frac{3}{4}$ de pulgada, y una longitud mínima de 2 metros hasta 3.05 metros, la forma utilizada para hacer una buena red de tierra, es usando una varilla Copperweld de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro por 3

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

metros de longitud, para una profundidad (L) expresada en metros como se muestra en la figura (4), la resistencia del electrodo de tierra viene definida por la siguiente ecuación:

$$R_T = \rho/L$$

donde (ρ) es la resistividad del terreno, expresada en ohmios por metros; las varillas se introducen en el terreno con mazas, martillos, etc.

Cuando la resistencia deseada no se puede conseguir con una sola toma de tierra, se clavan otra u otras conectadas en paralelo y a una distancia que, según las prescripciones reglamentarias, no puede ser inferior a 2 metros pues, de lo contrario, la instalación de las tomas de tierra resultaría contraproducente porque el embudo obtenido sería peligroso.

Valores Recomendado de la Resistencia Eléctrica de las Tomas de Tierra

Se puede calcular la resistencia eléctrica de un electrodo de tierra en función de la resistividad del terreno y de las dimensiones del electrodo, aplicando la fórmula anterior de (ρ) entre la longitud del electrodo. El valor máximo que ha de resultar, es el siguiente:

Redes de baja tensión --- 15 ohmios

Redes de alta tensión --- 20 ohmios

Sin embargo, y de acuerdo con la tabla que sigue a

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

continuación, podemos conocer la calidad del electrodo de tierra.

CALIDAD DE LAS TOMAS DE TIERRA

Resistencia eléctrica(ohm)	Calidad	
	Redes de alta tensión	Redes de Baja Tensión
Menos de 1 ohm	Excelente	Excelente
Entre 1 y 5 ohm	Muy buena	Buena
Entre 5 y 10 ohm	Buena	Aceptable
Entre 10 y 15 ohm	Aceptable	Regular
Entre 15 y 20 ohm	Regular	Mala
Mas de 20 ohm	Mala	Mala

Los valores aceptables por Comisión Federal de Electricidad están entre 5 y los 10 ohmios, para redes de alta y de baja tensión.

Tierra

Se llama tierra, en general, a los elementos que constituyen el terreno, tales como arena, grava, arcilla,

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

etc. Para la determinación de la resistencia eléctrica de los circuitos de tierra tiene importancia fundamental la resistividad o resistencia específica del terreno, que se expresa en ohmios por metro. Esta resistencia específica depende, esencialmente de los siguientes factores:

- a. Construcción o naturaleza del terreno
- b. Humedad
- c. Temperatura

A continuación, exponemos los valores de la resistividad del terreno para diferentes clases de éste:

Suelo orgánica mojado	10 ohm-mt
Suelo húmedo	100 ohm-mt
Suelo seco	1000 ohm-mt
Lecho rocoso	10000 ohm-mt

Naturalmente, cuanto menor es la resistencia específica, mejor resulta el terreno para la instalación de las tomas de tierras. Por esta razón, muchas veces hay que desplazar las tomas de tierras hasta encontrar terreno húmedo.

Los terrenos rocosos no son aceptable debido a su elevada resistividad y si no resultare fácil encontrar terrenos adecuados en las proximidades de la instalación, habrá que efectuar un tratamiento químico de corrección del terreno y, a ser posible, se dispondrá una canalización que permita regar las tomas de tierra en las estaciones secas.

El aumento de temperatura disminuye el valor de la

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

resistividad del terreno por lo que muchas veces será conveniente profundizar las tomas de tierra hasta encontrar capas de terreno situadas bajo la zona susceptible de congelación en las estaciones frías.

Debe evitarse, en lo posible, la instalación de tomas de tierras en tierras corrosivas (basuras, escorias, residuos industriales, etc.).

Medición de la Resistencia de los Electrodo de Puesta a Tierra

Estas mediciones tienen por objeto establecer el valor real de la resistencia a tierra de la malla, como verificación de los cálculos hechos durante el proceso de diseño.

El método mas aceptado para llevar a cabo estas mediciones es el llamado caída de tensión, que se recomienda y describe en esta tesis.

Quando estas mediciones se realizan para una subestación de gran capacidad, cubriendo una extensa area, es posible incurrir en considerables errores; por consiguiente, se incluye en esta tesis una metodología para encontrar el valor de la resistencia para grandes redes de tierra.

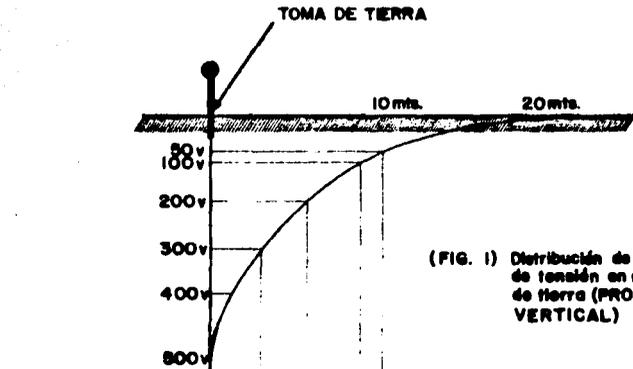
Material del Conductor a Tierra

El cobre es el material mas comúnmente usado para varillas de aterrizamiento y algunas veces para conductor de rejilla.

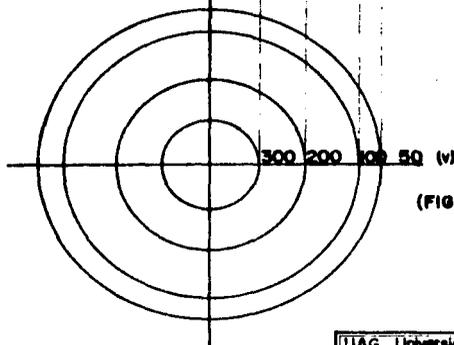
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El cobre además de su alta conductividad tiene la ventaja de no ser afectado por la corrosión subterránea, de aquí que es catódica con respecto a otros materiales que son enterrados en la vecindad, así puede haber la seguridad de que la rejilla enterrada será mantenida por años, tanto como los conductores sean de adecuado tamaño y no sean sometidos a daños mecánicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



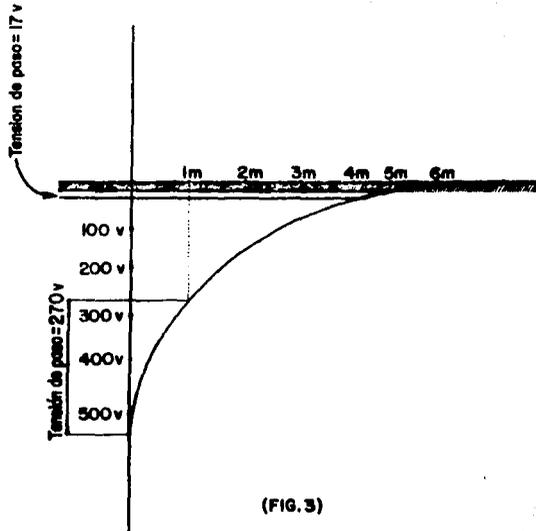
(FIG. 1) Distribución de las caídas de tensión en una toma de tierra (PROYECCION VERTICAL)



(FIG. 2) Distribución de las caídas de tensión en una toma de tierra (PROYECCION HORIZONTAL)

UAG. Universidad Autónoma de Guadalajara	
CAIDAS DE TENSION	
tesis:	Jesús Ruiz
PROFESIONAL	Rodríguez

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

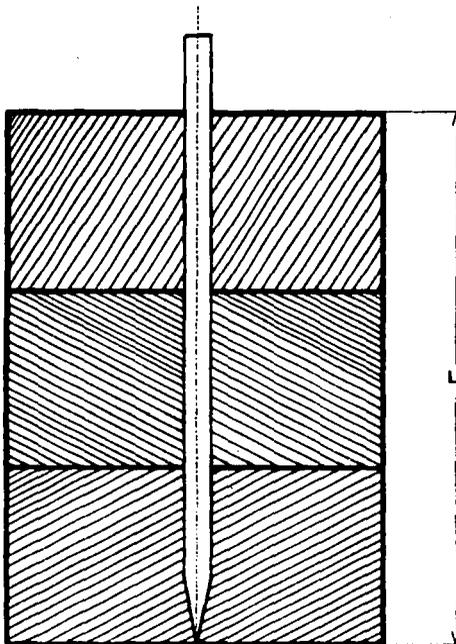


UAG Universidad Autónoma de Querétaro	
TENSION DE PASO	
Realizó:	José Ruiz
PROFESIONAL	Rodríguez

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

13



(FIG. 4)

UAG. Universidad Autónoma de Guadalajara	
TOMA DE TIERRA EN FORMA DE VARILLA	
Fecha:	Jesús Ruiz
PROFESIONAL	Rodríguez

19

Capítulo 2

DISEÑO DEL SISTEMA DE ATERRIZAMIENTO

En el diseño de una red de tierra se incluye un procedimiento capaz de determinar los parámetros de una red de tierra, así como su esperado comportamiento.

Este procedimiento se basa en expresiones empíricas, como resultado de las mas recientes investigaciones a nivel internacional.

Sistema de Tierra

La puesta a tierra del equipo instalado en una subestación es muy importante y los objetivos que perseguimos al diseñar el sistema de aterrizamiento tiene la siguiente función principal:

1. Fijar el potencial de toda máquina eléctrica con respecto al suelo.
2. Proporcionar la máxima seguridad al personal de operación y de cualquier persona que tenga acceso a la subestación.
3. Dar seguridad y protección al equipo instalado en la subestación.
4. Asegurar que las partes sin corrientes, tales como armazones de los equipos, estén siempre al

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

potencial de tierra.

5. Aterrizar parte del sistema eléctrica, que esté bajo tensión, con fines de mantenimiento y reparación.

Procedimiento para el Diseño

1. Investigación de las características del suelo.
2. Obtención de la máxima corriente de falla corregida a tierra.
3. Calcular el calibre mínimo de conductor que formará la malla de tierra.
4. Calcular la longitud mínima de conductor que formará la red de tierra.
5. Calcular la resistencia del sistema de aterrizamiento.
6. Calcular la máxima elevación de potencial de la rejilla.
7. Calcular los voltajes interiores de toque y de paso.

Aplicación de los Pasos Anteriores

1. Investigación de las características del suelo. La investigación de un sitio para la subestación incluye una determinación de la composición general del suelo. El terreno está compuesto de materia orgánica, por lo tanto se usarán algunas ideas generales para obtener su homogeneidad, exigiendo una resistividad¹ (ρ) de 50 ohmios-metro. La resis-

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

tividad superficial del terreno² (ρ_s), es de 10,000 ohmios-metro; utilizando roca compacta en la superficie de la sub-estación.

Existen otros métodos para la determinación de la resistividad del suelo, que consiste en la introducción en tierra de dos electrodos de corriente y dos electrodos de potencial intermedio de 2 o 3 pies (60 ó 90 cm.) de largo separados unos 20 pies (6 m) entre sí, colocados en línea recta, fig. 2.1

El voltaje entre los dos electrodos se mide con un voltímetro y se divide entre la corriente obtenida en el amperímetro situado entre los electrodos de corriente, obteniéndose la resistencia de tierra por medio de la ec. de la Ley de Ohm:

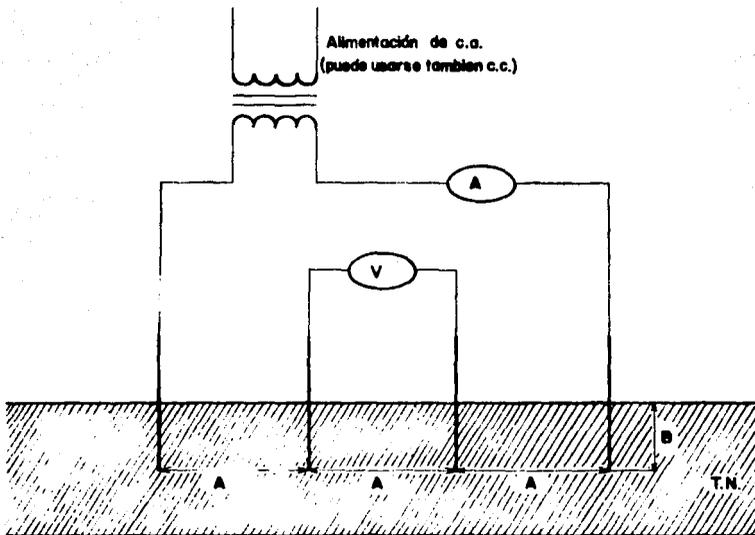
$$R = \frac{V}{I}$$

El método de las mediciones en general está basado en la ec. 1 tomando la concepción de que la resistividad del suelo es uniforme;

$$\rho = \frac{4AR}{1 + \frac{2A}{A^2 + 4B^2} - \frac{2A}{4A^2 + 4B^2}} \quad (2.1)$$

Donde: ρ = Resistividad del Terreno en Ohmios por metro.

R = Resistencia de la Tierra en Ohmios



(FIG. 2.1)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA	
"ALIMENTACION DE CORRIENTE ALTERNA"	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

A = Distancia entre los electrodos

B = Profundidad de los electrodos en metros

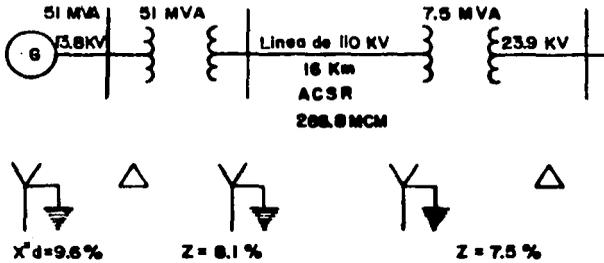
2. Obtención de la máxima corriente de falla corregida. En la fig. 2.2 se muestra el diagrama unifilar del sistema, las unidades utilizadas son las del sistema internacional de mediciones (S.I.) por su simplificación y aceptación. También se utilizará el sistema de valor por unidad (P.U.), debido a que este sistema simplifica los modelos del circuito. Las especificaciones del sistema se dan a continuación:

- Generador de 51 MVA, 13.8 KV, $x''d = 9.6\%$
- Transformador de potencia (T1) de 51 MVA con conexión delta en baja tensión, 13.8 KV/110 KV, con conexión en estrella en alta tensión con neutro conectado a tierra, las impedancias de los transformadores proceden de sus datos de placa, pero en virtud de desconocer los valores de su resistencia se usará la fig. 2.3
- Transformador de potencia (T2) de 7.5 MVA con conexión estrella A.T., 110 KV/23.9 KV, conexión delta en B.T.
- Línea de transmisión de 16 kilómetros, ACSR, 266.8 MCM, 110 KV.

Cálculo de la Falla Trifásica Simétrica

Se utilizará el método de la matriz de impedancia de barra³. En la aplicación de este método designaremos los

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

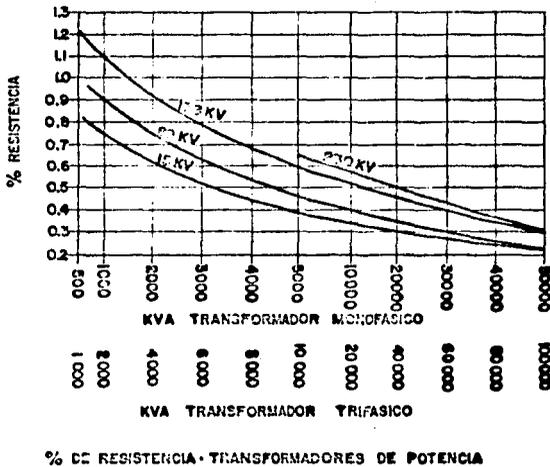


(FIG. 2.2)— Diagrama unifilar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA
"DIAGRAMA UNIFILAR"
tesis: PROFESIONAL / JESUS RUIZ RODRIGUEZ

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



(FIG. 2.3)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA	
"TRANSFORMADORES"	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

siguientes términos:

- a. Punto o barra donde va a ocurrir la falla.
- vf. Es la tensión de prefalla del punto de falla al neutro, se establece en $1|0'$.
- I''_{fk} . Es la corriente subtransitoria de falla sobre una barra K.
- I'_{fk} . Es la corriente transitoria de falla sobre una barra K.
- Z_{kk} . Es la impedancia propia de la materia.

Realizando el estudio de la falla trifásica simétrica, el diagrama unifilar del sistema de la fig. 2.2 Se transforma a un diagrama de reactancias (fig. 2.4). El ⁴ motivo de trabajar con reactancias y no considerar las resistencias, se debe a que en tensiones altas las reactancias tienen un valor grande en magnitud en comparación con las resistencias y los cálculos empleados son aceptables, tomando que la impedancia es aproximadamente igual a la reactancia.

Cálculo de los Valores por Unidad (P.U.) para Cada Elemento del Sistema

- Valores bases de 100,000 KVA para todo el sistema
- 13.8 KV para la barra 1
- 110 KV para la barra 2
- Generador, referimos la reactancia subtransitoria (X''_d) a la nueva base, $X''_d=0.0965$ p.u., aplicaremos la fórmula siguiente:

$$X = X_{\text{dados}} \left(\frac{\text{base KV dados}}{\text{base KV nuevos}} \right)^2 \frac{\text{base KVA nuevos}}{\text{base KVA dados}} \text{ p.u.} \quad (2.2)$$

$$X = 0.096 \left(\frac{13.8}{13.8} \right)^2 \frac{10,000}{51,000} \text{ p.u.}$$

$$X''_{dg} = j0.188 \text{ p.u.}$$

- Transformador T1, haciendo la reactancia subtransitoria y refiriéndola a la nueva base tenemos:

$$X''_{dT1} = 0.096 \left(\frac{13.8 \text{ KV}}{13.8 \text{ KV}} \right)^2 \frac{100,000 \text{ KVA}}{51,000 \text{ KVA}} \text{ p.u.}$$

$$X''_{dT1} = 0.158 \text{ p.u.}$$

- Línea de transmisión, que tiene una reactancia de 7.94 ohmios y refiriéndola a la nueva base, utilizamos las fórmulas siguientes:

$$Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} = \frac{110^2}{100} = 121 \text{ ohmios} \quad (2.3)$$

$$X''_{dL} = jX_{dL}/Z_B = j7.94/121 = 0.0656 \text{ p.u.} \quad (2.4)$$

- Transformador (T2), realizando el procedimiento idéntico a T1, calculamos el valor por unidad de la reactancia subtransitoria referida a la nueva base

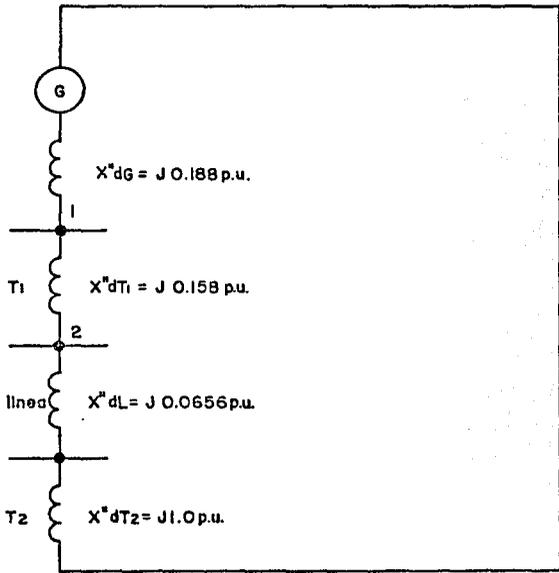
$$X''_{dT2} = 0.075 \text{ p.u.}$$

$$X''_{dT2} = 0.075 (23.9/23.9)^2 (100,000/7500)$$

$$X''_{dT2} = j1.0 \text{ p.u.}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



(FIG. 2.4)— Diagrama de reactancias del sistema unifilar de la figura 2.1, referidos a la nueva base.

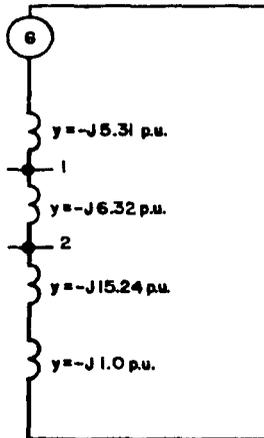
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUANAJUATO	
"DIAGRAMA DE REACTANCIAS"	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

ESTUDIO DE LA FALLA TRIFASICA SIMETRICA "REGIMEN SUBTRANSITORIO"

Para obtener la corriente de falla en el nudo (1), donde ocurre la corriente de falla de mayor magnitud. Aplicaremos los siguientes pasos:

1. Las reactancias subtransitorias de la figura 2.4 se cambian por admitancias y formaremos la matriz (Y).

DIAGRAMA DE ADMITANCIAS:



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIGURA (2.5)

- Matriz de Admitancias de la Figura (2.5)

$$|Y| = \begin{vmatrix} -11.62 & 6.32 \\ 6.32 & -22.56 \end{vmatrix}$$

2. Invertir la matriz de admitancia, obteniéndose la matriz de impedancia de la barra (Z).

$$|Z| = I \begin{vmatrix} 0.1015 & 0.0284 \\ 0.0284 & 0.0522 \end{vmatrix}$$

3. Cálculo de la corriente de falla, sobre cualquier barra K, aplicaremos la siguiente fórmula

$$I''_{fk} = V_f / Z_{kk} \quad (2.5)$$

V_f = Voltaje de prefalla (1|0)

I''_{fk} = Corriente subtransitoria de falla sobre una barra K

Z_{kk} = Matriz impedancia de la barra

Si existe una falla en la barra 1, que es donde queremos calcular la corriente de falla, para la elaboración de la red de tierra. Aplicaremos la siguiente ecuación.

$$I''(1) = 1|0 / 0.1015 = 9.852 \text{ p.u.}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- La corriente base en la barra (1) es;

$$I_{\text{base}} = \text{base KVA} / \sqrt{3} \text{ (Tensión base KV)} \quad (2.6)$$

$$I_{\text{base}} = 100,000 / \sqrt{3}(13.8) = 4187.69 \text{ amper}$$

- Obtención del valor real de la corriente de falla trifásica.

$$I''(1) = I_{\text{base}} \times I_f(1) \quad (2.7)$$

$$I''(1) = 4183.59 \times 9.852 = 41217.71 \text{ amperios}$$

Falla Trifásica Simétrica "Régimen Transitorio"

En este tipo de falla transitoria, tendrfa importancia si en el sistema existiera motores síncronos. En el estudio de esta tesis no se consideran dichos motores,⁵ por tal motivo:

$$I_{fk} = I'_{fk} = 41217.71 \text{ amperios}$$

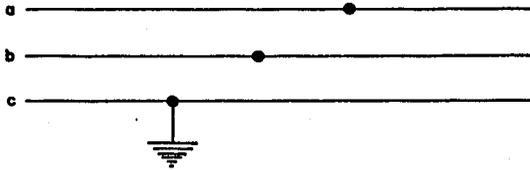
Falla Simple de Línea a Tierra

Si una línea de transmisión está compuesta por tres fases a, b, c, puede existir una falla en cualquier fase. Si suponemos que existe una falla en la fase (c). En otra fase que se tome en cuenta, la magnitud de la corriente es igual, solamente que existe un desfaseamiento entre la fases.

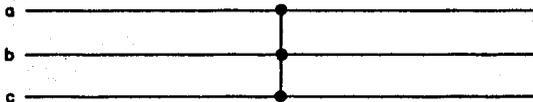
Representación Gráfica de un Falla

-Falla de Línea a Tierra, con un probabilidad de ocurrencia del 85%.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



-Falla Trifásica, probabilidad de ocurrencia del
2% o menor.



-Estadísticas de Fallas en un Sistema Eléctrico

Parte del Sistema	% del Total de Falla
Líneas Aereas	50
Cables Subterráneos	10
Interruptores	15
Transformadores de Potencia	12
Transformadores de Potencial y corriente	2
Equipo de Control	3

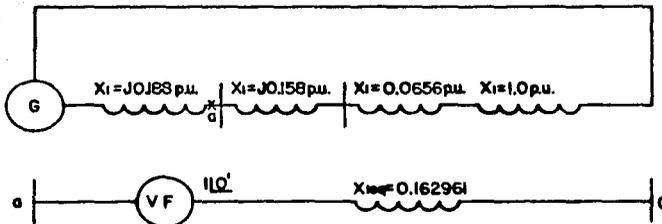
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pasos a Seguir en la Obtención de Esta Corriente:

1. Obtención de los valores de reactancia de secuencia positiva, negativa y cero de los elementos del circuito. Consideramos⁶ para cada elemento del sistema lo siguiente:

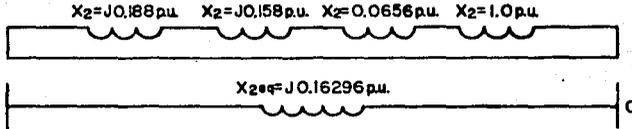
- Transformador $X_d'' = X_1 = X_2 = X_0$
- Generador $X_d'' = X_1 = X_2, X_0 = 1/3X_d''$
- Línea de Transmisión $X_d'' = X_1 = X_2, X_0 = 3X_d''$

2. Elaboración del diagrama de reactancias de secuencias positiva, negativa y cero y obtenemos el valor de la reactancia equivalente de thevenin (X_{eq}). Hacemos un análisis de la barra (1) porque es donde ocurre la falla trifásica de mayor magnitud.

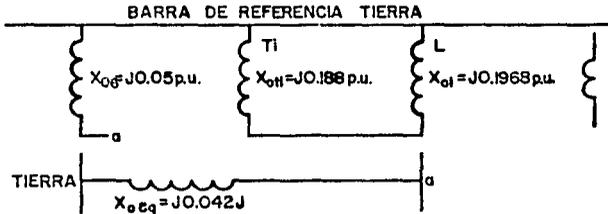
Diagrama de Secuencia Positiva Obtención de la Reactancia Equivalente:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

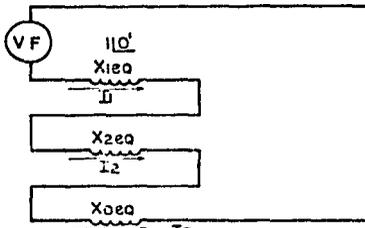
Obtención del Diagrama de Secuencia Negativa y la Reactancia Equivalente de Thevenin:



Obtención del Diagrama de Secuencia Cero y la Reactancia Equivalente de Thevenin:



4. Se calcula la corriente de falla. Las redes de secuencia positiva, negativa y cero, se conectan como se muestran en la siguiente figura:



Por lo tanto:

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = V_f / X_{1eq} + X_{2eq} + X_{0eq}$$

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = 1 \angle 0^\circ / j0.1629 + j0.1629 + j0.05$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = -j2.66 \text{ p.u.}$$

La corriente total⁷ es:

$$I_a = \frac{3v_f}{X_{1eq} + X_{2eq} + X_{0eq}} \quad (2.8)$$

$$I_a = 3I_{a1} = 3(-j2.66) = -j7.98 \text{ p.u.}$$

Tomando la corriente base como:

$$I_{base} = \text{KVA base} / 3 \text{ (KV base)}$$

$$I_{base} = 100,000 \text{ KVA} / 3 \text{ (13.8 KV)}$$

$$I_{base} = 4183.69 \text{ amperios}$$

Por lo tanto la corriente real es:

$$I_a = (I_a \text{ p.u.}) (I_{base})$$

$$I_a = (4183.69) (7.9829) = 33,398.27 \text{ amperios}$$

Tomando la corriente de falla a tierra, para el diseño de la red de tierra en la subestación. Debido a que esta corriente es la mas factible que ocurra.⁸

$$I_{\text{máxima}} = 33,398.27 \text{ amperios}$$

La corriente máxima debe multiplicarse por los factores de decremento y de crecimiento (F.C.), debido a una ampliación que tenga la subestación en el futuro. Para la obtención de los F.D., utilizamos una tabla,⁹ que depende del tiempo de duración de la falla, para el F.C. procedemos de igual forma.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

DURACION DE FALLA Y DESCARGA (t)		FACTOR DE DECREMENTO (FD)
<u>Segundos</u>	<u>Ciclos</u>	
0.008	½	1.65
0.1	6	1.25
0.25	15	1.10
0.5 ó mas	30 ó mas	1.00

TABLA PARA LA OBTENCION DEL FACTOR DE DECREMENTO

A continuación realizamos los cálculos

F.C. = 1.25, para una liberación de 6 ciclos

F.C. = 1.5

Imáxima corregida = (Imáxima) (F.D.) (F.C.)

I_{mc} = 62621.8 amperios

2. Cálculo del Calibre Mínimo de Conductor que Formará la Malla de Tierra:

- Cada elemento del sistema de tierra incluyendo la rejilla y las conexiones de los bajantes y los electrodos, deben ser diseñados para que:

- a. Resistan la fusión y el deterioro de las juntas eléctricas bajo la magnitud de la corriente de falla y la duración a la cual deberá estar sujeta.
- b. Ser mecánicamente resistente a los daños físicos.
- c. Tener suficiente conductividad de manera que no

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

contribuya a diferencias de potenciales locales peligrosos.

- Lo adecuado de un conductor de cobre y sus uniones en contra de la fusión puede ser determinados de diferentes maneras, pero una.

De la forma en que podemos determinar el calibre mínimo del conductor es utilizando la siguiente ecuación.¹⁰

$$I_{mc} = A \sqrt{\frac{\log \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1}{33 S}} \quad (2.9)$$

Donde:

I_{mc} = Es la corriente máxima corregida

A = Sección transversal del conductor en circular mils.

S = Es el tiempo en segundos de duración de la corriente de falla, que tomaremos para 3 segundos.

T_m = Máxima temperatura permisible en las uniones de la red, en grados centígrados.

T_a = Temperatura del medio ambiente en grados centígrados.

- Se tomarán uniones soldadas, tomando una temperatura permisible de 1083 grados centígrados. Y la temperatura del medio ambiente de 40 grados centígrados.

- Realizando los cálculos y aplicando la ecuación anterior obtenemos la sección del conductor.

$A = 754576.77$ circular mils.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

4. Obtención de la longitud mínima del conductor que formará la red de tierra, con el fin de mantener el voltaje de malla dentro de los límites de seguridad, para esto utilizaremos la siguiente fórmula.¹¹

$$L = \frac{K_m K_i \ell I_{mc} \sqrt{\tau}}{116 + 0.17\ell s} \quad (2.10)$$

Donde:

- ℓ = Resistividad del terreno abajo
- I_{mc} = Corriente de falla máxima corregida.
- ℓs = Resistividad en la superficie.
- τ = Tiempo de operación de la protección en seg.
- K_m = Coeficiente que depende del espaciamiento (D), del diámetro (d) y profundidad (h) de los conductores de la red, y se obtiene de la siguiente manera.¹² Los términos encerrados entre paréntesis se consideran como el número de conductores a lo largo, menos dos.
- K_i = Es un factor de corrección de irregularidad, para tomar en cuenta la falta de uniformidad, al circular la corriente de falla. Esto se obtiene con la fórmula siguiente,¹³ donde (n) es el número de conductores a lo largo.

-Fórmulas empleadas:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln (3/4)(5/6)(7/8)\dots \quad (2.11)$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

$$K_i = 0.65 + 0.172n \quad (2.12)$$

Donde:

n = N° de conductores a lo largo de la red.

-El área que vamos a proteger tiene las siguientes características:

- Treinta metros de largo por treinta de ancho.

- La malla se coloca a una profundidad de 0.60 m y estará formada por conductor de cobre desnudo, colocado paralelamente y perpendicularmente con un espaciamiento (D) de 5 m.

-Partiendo del espaciamiento (D), calculamos el número de líneas a lo largo (NL), y el número de líneas a lo ancho (NA), que tendrá la red de tierra, ver figura (2.6).

-Número de conductores a lo largo:

$$NL = L/D + 1 = 30/5 + 1 = 7 \text{ líneas}$$

-Número de conductores a lo ancho:

$$NA = A/D + 1 = 30/5 + 1 = 7 \text{ líneas.}$$

-Cálculo del coeficiente K_m :

$$K_m = (1/6.28) \ln 5^2/16 \times 0.6 \times 0.02535 + (1/3.1416) \ln(3/4)(5/6) \dots (11/12)$$

$$K_m = 0.4842$$

-Cálculo del factor de corrección de irregularidad

(K_i).

$$K_i = 0.65 + 0.172 (7)$$

35

$$K_i = 1.854$$

Cálculo de la longitud mínima del conductor que formará la red de tierra.

$$L = \frac{(0.48270(1.854)(50)(62621.8)(\sqrt{0.1})}{116 + 0.17 \times 10,000}$$

$$L = 487.94 \text{ metros}$$

Análisis de la Longitud del Arreglo

- a. Longitud del conductor a lo largo en metros, de la red de tierra.

$$L_1 = (30)(7) = 210 \text{ metros}$$

- b. Longitud de conductor a lo ancho en metros, de la red de tierra.

$$L_a = (30)(7) = 210 \text{ metros}$$

- c. Haciendo la suma de longitud a lo ancho y a lo largo obtenemos la longitud del arreglo.

$$L = L_1 + L_a = 210 + 210 = 420 \text{ metros}$$

- d. La diferencia de longitud es:

$$D_1 = 487.94 - 420 = 68 \text{ metros}$$

- e. El número de varillas enterradas de 3 metros es:

$$\text{Varillas} = 68/3 = 23 \text{ varillas}$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

5. Cálculo de la resistencia del sistema de aterrizamiento. Para la obtención de esta resistencia aplicaremos la siguiente ecuación desarrollada por Laurent y Nieman.¹⁴

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \quad (2.13)$$

Donde:

R = Resistencia de la malla respecto al terreno.

ρ = Resistividad del terreno.

r = Radio comprendido en un área de tamaño igual al área donde está la red.

L = Longitud de la malla.

Haciendo los cálculos correspondientes tenemos:

$$\text{Área} = A = \pi r^2$$

$$\text{radio} = r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 16.92 \text{ metros}$$

$$\text{Resistencia} = R = \frac{50}{4(16.92)} + \frac{50}{487.94}$$

$$R = 0.8404 \text{ ohmios}$$

De acuerdo a las normas de comisión federal de electricidad, nos da que para tierra húmeda, la máxima resistencia es de 10 ohm y para tierra seca es de 20 ohmios, y observando el resultado anterior vemos que está dentro de los límites aceptables para la construcción.

6. Calcular la máxima elevación de potencial de la rejilla. En la obtención de este voltaje de malla utilizaremos la siguiente ecuación desarrollada por Laurent.¹⁵

$$E_{\text{malla}} = K_m K_i \zeta I/L \quad (2.14)$$

Donde:

K_m = Es un coeficiente que depende del espaciamiento (D), del diámetro (d) y profundidad (h) de los conductores de la red.

K_i = Es un factor de corrección de irregularidad.

ζ = Es la resistividad promedio de la tierra en ohmios por metro.

I = Es la corriente máxima corregida en amperios, fluyendo entre la rejilla a tierra y la tierra.

L = Es la longitud total del conductor enterrado en metros.

Sustituyendo los valores tenemos:

$$E_{\text{malla}} = \frac{0.4842 \times 1.854 \times 50 \times 62621.8}{487.94}$$

$$E_{\text{malla}} = 5760.54 \text{ voltios}$$

7. Cálculos de los voltajes interiores, de toque y de paso. En la obtención de estos voltaje utilizamos la ecuación desarrollada por Laurent. Ver Fig. (2.7), (2.8).

$$E_{\text{paso}} = K_s K_i^2 I/L \quad (2.15)$$

$$E_{\text{toque}} = 0.6 \zeta^2 I/L \quad (2.16)$$

$$K_s = 1.7 \pi \left(1/2h + 1/D \cdot h + 1/2D + 1/3D + 1/4D + \dots + \right)$$

El número total entre paréntesis es igual al número

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

de conductores a lo ancho.

$$K_5 = 1/31416(1/2 \times 0.6 + 1/5 + 0.6 + 1/2 \times 5 + 1/3 \times 5 + \dots + 1/6 \times 5)$$

$$K_5 = 0.4144$$

$$E_{\text{paso}} = \frac{0.4144(1.8540(50)(62621.8))}{420}$$

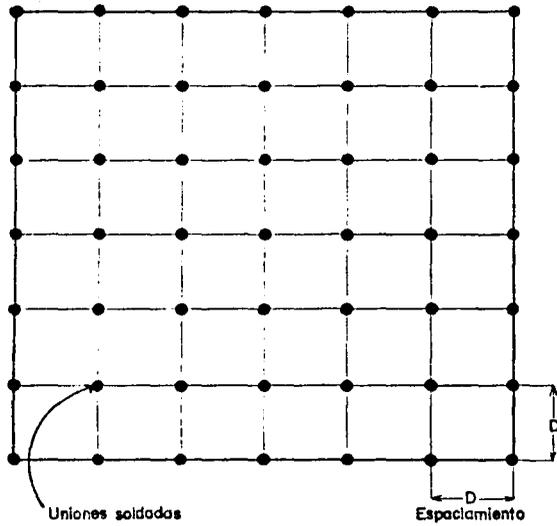
$$E_{\text{paso}} = 5727.64 \text{ voltios}$$

$$E_{\text{toque}} = 0.6(50)(62621.8)/487.94$$

$$E_{\text{toque}} = 3850.17 \text{ voltios}$$

Los cálculos realizados en el capítulo dos, se obtuvieron para la construcción del sistema de aterrizamiento en mención. Pudiéndose asegurar que puede emplearse los pasos anteriores en la elaboración de cualquier sistema de tierra.

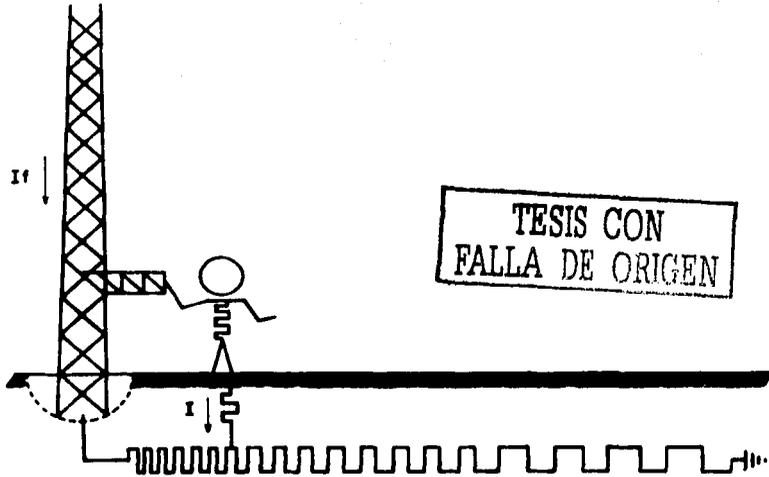
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



(FIG. 2.6)

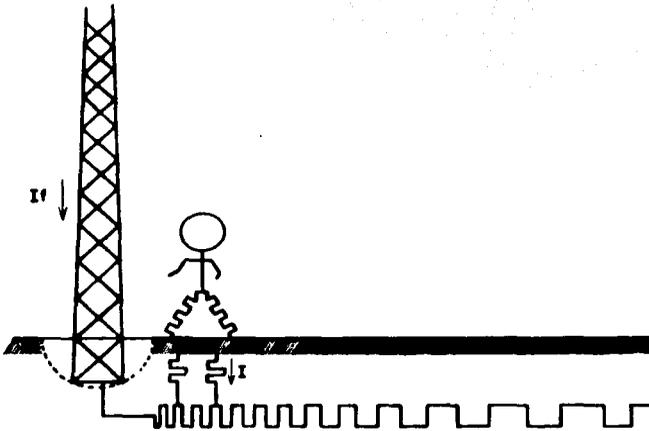
Universidad Autónoma de Guadalajara	
CONDUCTORES DE LA RED DE TIERRA	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



(FIG. 2.7)

Universidad Autónoma de Querétaro	
TENSION DE TOQUE	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

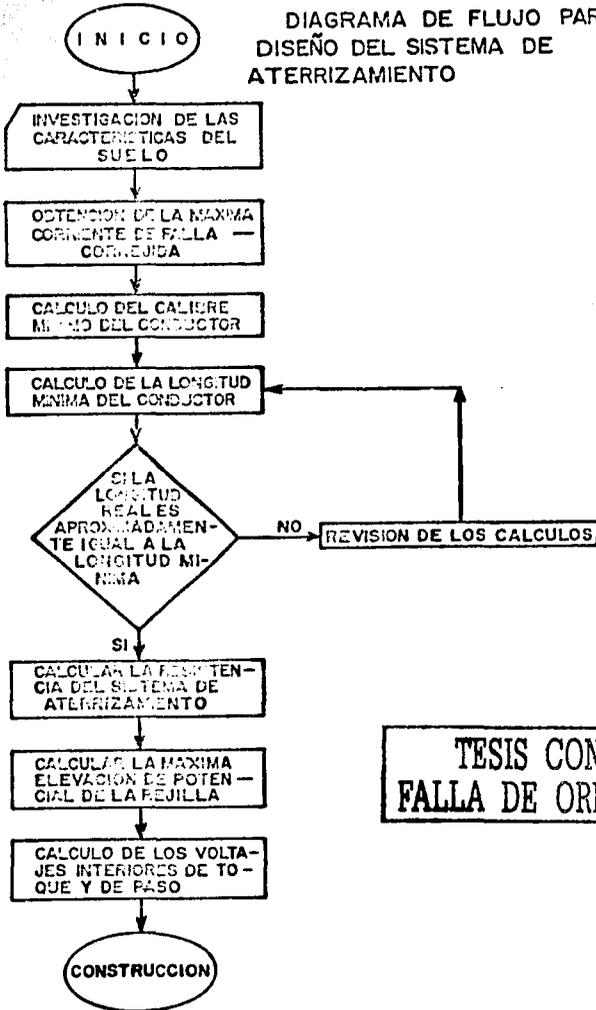


(FIG.2.8)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Universidad Autonoma de Guadalajara	
TENSION DE PASO	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL
DISEÑO DEL SISTEMA DE
ATERRIZAMIENTO



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3

CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE ATERRIZAMIENTO

Construcción del Sistema de Aterrizamiento

En la construcción del sistema de aterrizamiento procederemos de la siguiente forma:

1. Localización de la subestación.
2. Proceso de Construcción
3. Acabado

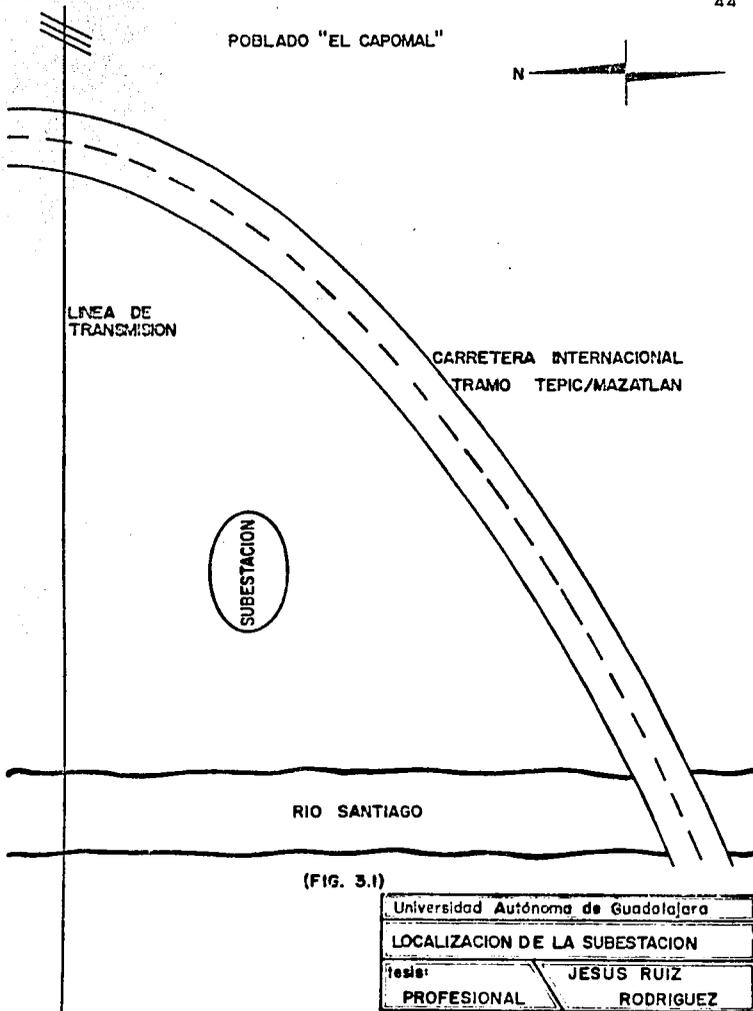
Localización de la Subestación

En la realización de este proceso se hizo el estudio del terreno en lo concerniente a la resistividad con el objeto de ver cual ofrece mejores condiciones en la construcción del sistema de tierra.¹⁶ La subestación se escogió en este lugar, debido a la resistividad y a las facilidades de los medios de comunicación y su cercanía a las líneas de transmisión. Ver figura (3.1)

Las dimensiones de este terreno son de 30 m de largo por 30 m de ancho, con una resistividad promedio de 50 ohmios por metro. Ver figura (3.2)

Proceso de Construcción

En la construcción de este sistema de aterrizamiento



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

empezamos por los siguientes pasos:

- a. Acondicionamiento del terreno.
- b. Excavación.
- c. Colocación y soldadura.

Acondicionamiento del Terreno

En este proceso se realiza la limpieza del terreno de arbustos y de cualquier material que puedan afectar la red de tierra en la contaminación y corrosión. Al acondicionar el terreno se coloca una caseta con todos los elementos necesarios de herramientas, luz y agua.

Excavación

De acuerdo al estudio realizado con anterioridad, determinamos el tipo de terreno, que se clasifican de acuerdo a su estructura en terreno tipo (1), tipo (2), tipo (3); "orgánico mojado, suelo húmedo, suelo seco, lecho rocoso". Debido a esto seleccionamos el método de excavación que puede ser manualmente, con máquina o con explosivos.

Nuestro terreno en proceso de construcción está compuesto de materia orgánica, por lo tanto podemos seleccionar la excavación manualmente o con máquina. Debido a las dimensiones del terreno, si lo hacemos a máquina se emplea un tiempo aproximado de un día, de la otra manera empleando tres hombres con un tiempo de duración de ocho días.

La zanja tendrá una profundidad de 60 cm. y 30 cm de ancho. Ver figura (3.3)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Colocación y Soldadura

De acuerdo a los cálculos realizados obtuvimos 7 conductores a lo ancho y 7 conductores a lo largo, con un espaciamiento de 5 metros . Ver figura (3.4)

Debido a que la sección del conductor es de 750 MCM, y este tipo de conductor resulta difícil de manejarlo y en lo económico resultaría contraproducente, tomaremos dos conductores de 400 MCM y los colocamos en paralelo, dándonos una mejor difusión de la corriente, debido a un mejor contacto con la tierra.

Las varillas de tierra a colocar con Caldwell con una longitud mínima de 3 m por 3/4 de pulgadas de diámetro. Las conexiones de cable y varilla existen 3 tipos de conexiones para sus diferentes aplicaciones, aquí utilizaremos la conexión de paso de la varilla tipo GT. Ver figura (3.5)

Soldadura

Se soldarán todas las intercepciones de los cables, dependiendo del tipo de intercepción, hacemos las conexiones que pueden ser en (X), o en (T). Ver figura (3.6).

Acabado

En la terminación del sistema de tierra, colocaremos varios registros, unos para hacer mediciones de la resistencia de la malla de tierra, y otros con el objetivo de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

evitar el acumulamiento de agua, este tipo tendrá una profundidad de un metro por ochenta centímetros de ancho y se llenará de grava. La red de tierra se coloca sobre el terreno trozos de madera separados una distancia de un metro, relleno la zanja con un elemento de mejor conductividad que el terreno hasta una altura de treinta centímetros, los otros treinta centímetros se rellenan con el tipo de tierra de la subestación. Al final de todo este proceso cubriremos la superficie con un elemento de alta resistividad, para evitar el flujo de la corriente de la malla hacia la superficie,¹⁷ que puede ser peligrosa para el personal que labora en ésta. El material empleado es roca compacta, pudiéndose utilizar otros elementos como grava, cemento, asfalto, etc.

La colocación de la cerca en la subestación es importante porque el personal que labora puede estar en contacto con ella, generalmente se instala en la periferia de la malla, y resulta peligroso debido a los gradientes de potencial en esos lugares que son elevados y perjudiciales. Por lo tanto tomaremos las siguientes precauciones.

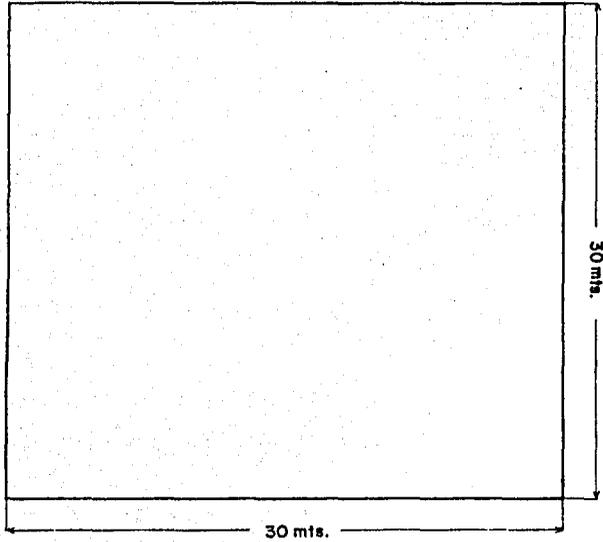
1. Poner la cerca fuera de la subestación a una distancia mínima de dos metros de la malla. Ver figura (3.7).
2. Poner la cerca dentro del perímetro de la malla a una distancia mínima de 1.5 m. ver figura (3.8)

Se recomienda¹⁸ que la cerca no se conecte a la malla, sino a sus propios electrodos de tierra, tomando como

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

excepción en aquellos casos en que la cerca se encuentra próxima al equipo y exista la posibilidad de que una persona toque al mismo tiempo la cerca y el equipo.

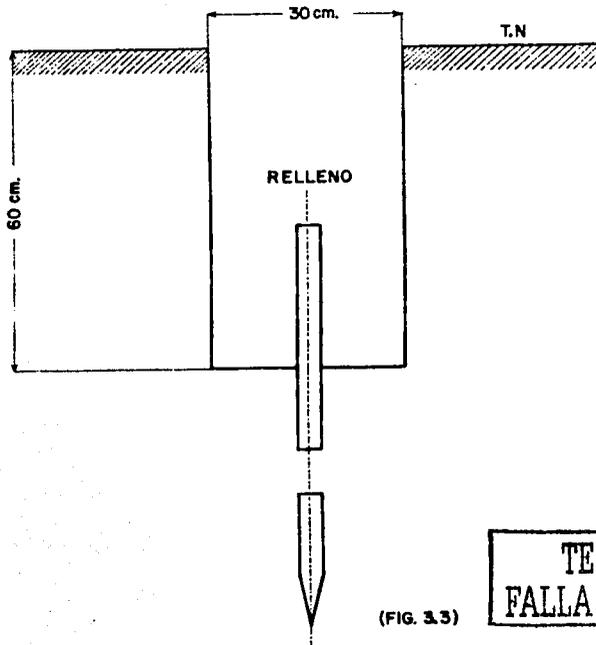
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



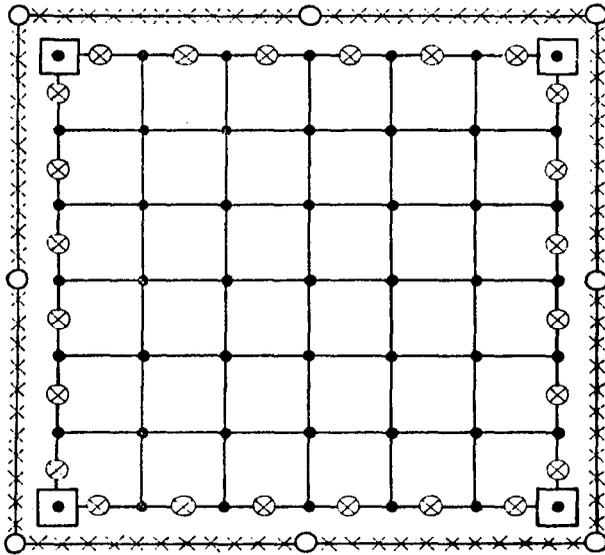
(FIG. 3.2)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

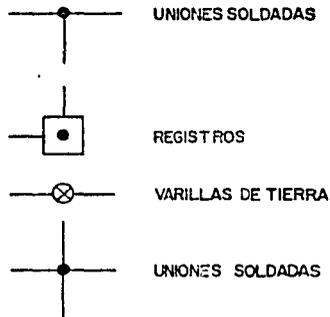
Universidad Autónoma de Guadalajara	
AREA DEL TERRENO	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ



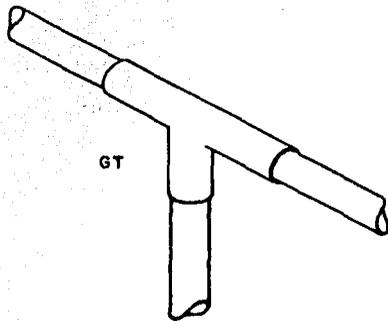
Universidad Autónoma de Guadalajara	
DIMENSIONES DE LA ZANJA	
Realizó:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ



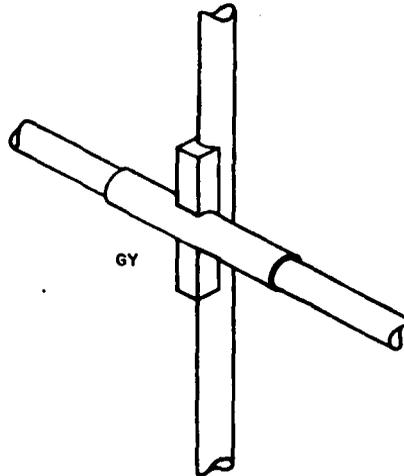
(FIG. 3.4)



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



GT

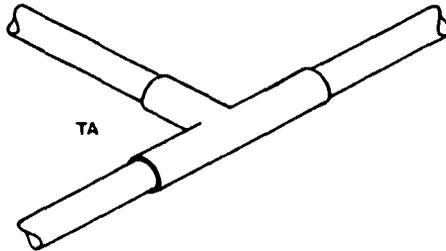
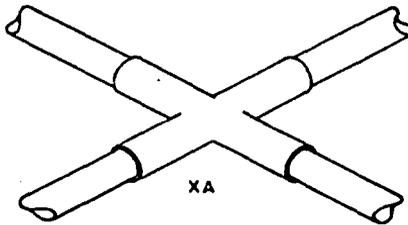


GY

(FIG. 3.5)

Universidad Autónoma de Guadalajara	
CONECCIONES COMUNES	
Auto:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

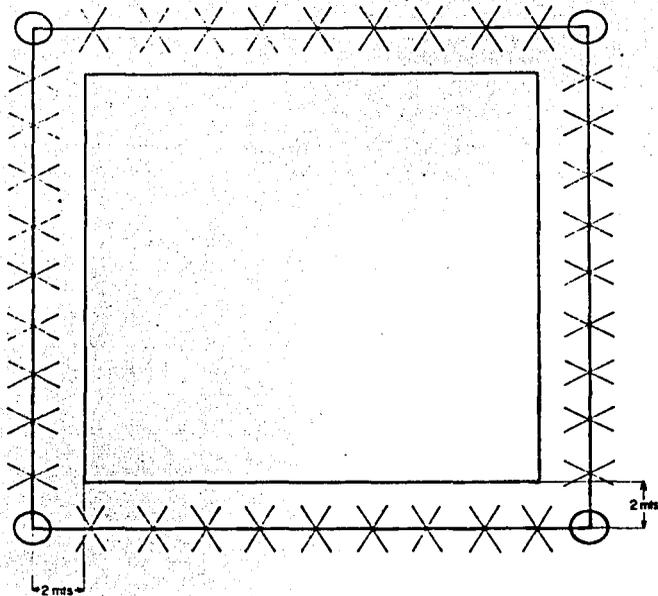
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



(FIG. 3.6)

Universidad Autónoma de Guadalajara	
CONEXIONES COMUNES	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

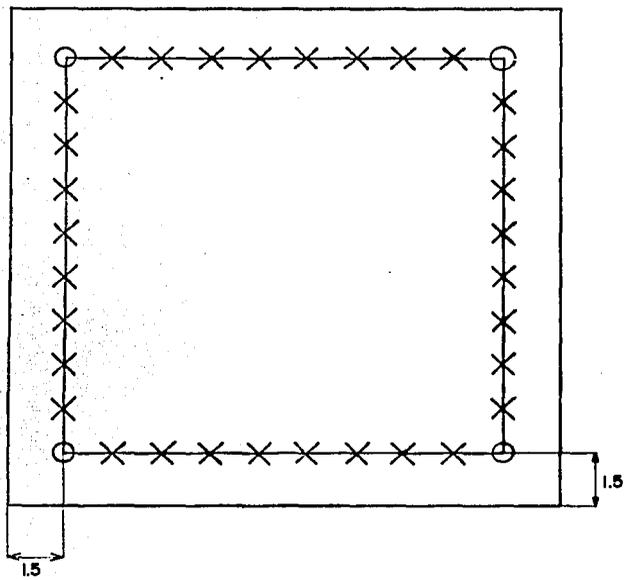
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



(FIG. 37)

Universidad Autónoma de Guadalajara	
COLOCACION DE LA CERCA	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



(FIG. 3.8)

Universidad Autónoma de Guadalajara	
COLOCACION DE LA CERCA	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

56

Capítulo 4

MANTENIMIENTO Y PRUEBA DE UN SISTEMA DE ATERRIZAMIENTO

Mantenimiento y Prueba de un Sistema de Aterrizamiento

El mantenimiento de una red de tierra de acuerdo a las normas de comisión federal de electricidad, esto es prácticamente nulo. Porque el ingeniero que hace el diseño deberá estipular una red de tierra suficientemente resistente mecánica, eléctricamente y químicamente, que dure aproximadamente 35 años sin mantenimiento,¹⁹ si queremos hacer este proceso hay que desenterrar la malla de tierra, y económicamente resultaría contraproducente.

Prueba del Sistema de Aterrizamiento

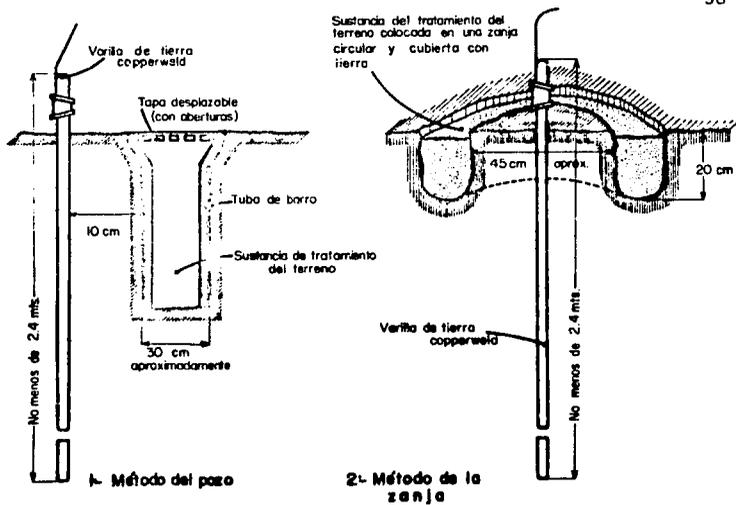
Este proceso es uno de los mas importantes, para dar una mejor seguridad al personal que labora en la subestación y la protección de los aparatos ubicados en esta, se realizan las pruebas de resistencia con un megger, en un periodo mínimo de seis meses y máximo de tres años para comprobar si no hubo ningún deterioro de la red. Todos estos datos se anotan con el fin de ver el comportamiento de la malla de tierra con el tiempo, dependiendo de la lectura obtenida que no puede ser mayor de diez ohmios en tiempo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de lluvia y de veinte en tiempo de hastiaje, si existe alguna anomalía se tratará de corregir enterrando varillas de tierra en la parte donde dio un resultado fuera de las normas de C.F.E. y si el terreno resultara con datos ilógicos a los del diseño se trataría de solucionar con arreglos de tierras artificiales,²⁰ que consiste en sepas con carbón y sales, pero de acuerdo al mantenimiento que resulta muy costoso es preferible hacer otro estudio e instalar varillas de tierra. Ver figura (4.1)

Las varillas de tierra siempre tratarán de ponerse en lugares donde existe las parte mas pobladas en equipo, separadas una distancia mínima de tres metros, y máxima de cinco metros que es una de las formas que utiliza comisión federal de electricidad, la utilización de los electrodos de tierra hay que tener mucho cuidado en la separación para evitar el efecto capacitivo, dándonos como resultado un aumento de la resistencia de tierra. El principal objetivo de estas varillas al enterrarlas es con el fin de buscar una mejor resistividad con la profundidad del electrodo y obtener una mejor distribución del potencial. Si resultara que a una profundidad de tres metros la resistividad fuese igual no tendría ningún objetivo el enterramiento de las varillas, utilizando solamente la malla de tierra para la subestación.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



(FIG. 4.1)- Métodos de tratamiento del terreno para la disminución de la resistencia de la tierra.

Universidad Autónoma de Guadalajara	
TIERRAS ARTIFICIALES	
tesis:	JESUS RUIZ
PROFESIONAL	RODRIGUEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 5
CONCLUSIONES

Cuando el cuerpo humano pasa a formar parte de un circuito eléctrico los efectos de la corriente eléctrica son principalmente consecuencia de la magnitud de la corriente y la duración del shock la magnitud de la corriente viene dada por la ecuación $I = E/Z$ en donde (E) es la tensión aplicada entre dos puntos del circuito del que forma parte el cuerpo humano y (Z) es la impedancia total entre esos dos puntos. A frecuencias bajas la impedancia del cuerpo es esencialmente resistiva.

El costo de un sistema de tierra adecuado es bajo comparado con el valor que representa, aunque el costo mismo parezca alto. Económicamente se justifica un sistema de transmisión aterrizado efectivamente y este requiere un sistema de tierras adecuados en cada subestación. Dado que las mallas de tierras quedan enterradas y fuera de la vista podrían descuidarse durante su vida probable. Es por esto que el ingeniero de diseño deberá estipular una red de tierra que dure aproximadamente 35 años sin mantenimiento, que resista a fallas mecánicas, eléctricas y químicas. El costo adicional para hacer una red de tierra en estas condi-

ciones es despreciable, comparado con la seguridad que suministra.

En las construcciones de sistemas de tierras debe tratarse de obtener la resistencia mas baja posible y reducir los gradientes de potencial a valores aceptables que son tolerables en condiciones de seguridad para el cuerpo humano.

Normalmente la conexión a tierra de los sistemas se efectúa poniendo a tierra el neutro de los transformadores estrella delta, no obstante de tener una resistencia tan reducida, si el sistema de tierra no queda bien diseñado pueden aparecer gradientes y por lo tanto diferencias de potenciales peligrosos.

En la tierra las corrientes se esparcen en todo el espacio y su distribución depende de la conductividad de los materiales que constituyen la superficie terrestre, y es mucho menor que la conductividad de los materiales. La conductividad eléctrica de la tierra se debe en gran medida a las sales y a la humedad. Y la resistividad de esta es función de varios parámetros como tipo de suelo, profundidad, humedad, temperatura.

Ventajas de un Sistema Efectivamente Aterrizado

- a. Costo mínimo de equipo
- b. Facilidad para localizar fallas.
- c. Aplicación de inducción electromagnéticas mayores

Es de mucha importancia como factor de seguridad liberar la falla en muy corto tiempo por medio de interruptores rápidos, que por otro lado se han hecho necesarios para conservar la estabilidad de sistemas grandes, interconectados.

La seguridad proviene de dos razones a saber: primero que es obvio que la probabilidad de un shock se reduce grandemente por un apertura de interruptor que libre la falla en un tiempo razonablemente corto, ;segundo, tanto pruebas como la experiencia han demostrado que la probabilidad de daños severos o la muerte se reduce grandemente cuando la duración del paso de la corriente por el cuerpo es de muy corta duración.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Harper E. Gilberto. "Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas". Editorial Limusa. Preedición. 1979.
2. Ibid., p. 502, 503.
3. Stevenson D. Williams. "Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia". Editorial Mc Graw-Hill. Segunda Edición. Bogotá Colombia. 1974.
4. Harper E. Gilberto. "Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión. Editorial Limusa. Quinta Edición. México. 1980.
5. Stevenson D. Williams. "Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia". Editorial Mc Graw-Hill. Segunda Edición. Bogotá Colombia. 1974.
6. Harper E. Gilberto. "Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión. Editorial Limusa. Quinta Edición. México. 1980.
7. Harper E. Gilberto. "Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas". Editorial Limusa. Preedición. 1979.
8. Ibid., p. 439.
9. IEEE Std. 80-1976 "IEEE Guide for Safety in Substation Grounding".
10. Ibid., p. 17.
11. Ibid., p. 20.
12. Ibid.
13. Ibid., p. 43.
14. Ibid., p. 22.
15. Ibid., p. 24.
16. IEEE Std. 80-1976 "IEEE Guide for Safety in Substation

<p>TESIS CON FALLA DE ORIGEN</p>

Grounding".

17. Harper E. Gilberto. "Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas". Editorial Limusa. Preedición. 1979.
18. Sepafin. "Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas. Edición 1981.
19. Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Investigaciones sobre Procedimientos Modernos para el Diseño de Aislamiento en Líneas, Blindajes de Subestaciones y Redes de Tierra". México, 1978.
20. Croft, T., Carr, C. C., Watt, J. H., "Manual del Montador Electricista", Editorial Reverte, S.A. Tercera Edición. Barcelona España. 1974.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFIA

Harper E. Gilberto. "Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas". México. Editorial Limusa, 1979.

Harper E. Gilberto. "Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión". México, 1ra. Edición. Editorial Limusa. 1972.

Stevenson D. William. "Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia". Bogotá. 2da. Edición. Editorial Mc Graw-Hill. 1979.

Marín L. Carlos "Líneas e Instalaciones Eléctricas". México Séptima Edición. Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., 1976.

IEEE "Guide for Safety in Substation Grounding". USA. The Institute of Electrical and Electronic Engineers, 1980.

SEPAFIN. "Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas". México, 1981.

Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Blindaje de Subestaciones y Redes de Tierra". México. Primera Edición. 1978.

Croft, T., Carr, C. C., Watt, J. H., "Manual del Montador Electricista", Editorial Reverte, S.A. Tercera Edición. Barcelona España. 1974.

Westinghouse Relay Department. "Applied Protective Relaying". Newark, 1981.

Harper E. Gilberto. "Introducción al Análisis de los Sistemas Eléctricos de Potencia". México. Tercera Edición. Editorial Limusa. 1982.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**