

# EVALUACION DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA TEMPORAL PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS LINEAS DE DISTRIBUCION

ANDRES FELIPE FLOREZ GRANADA  
JUAN GABRIEL JARAMILLO CASTAÑEDA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
PEREIRA

2008

EVALUACION DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA TEMPORAL  
PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS LINEAS DE DISTRIBUCION

ANDRES FELIPE FLOREZ GRANADA  
JUAN GABRIEL JARAMILLO CASTAÑEDA

TRABAJO DE GRADO  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD

DIRECTOR  
CARLOS ALBERTO RIOS PORRAS  
INGENIERO ELECTRICISTA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
PEREIRA

2008

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## **DEDICATORIA**

Va dedicado a las personas que me apoyaron incondicionalmente y creyeron en mi, que fueron mi madre mi padre, mis hermanas y a Leidy por estar siempre a mi lado.

**ANDRES FELIPE FLOREZ GRANADA**

Va dedicado especialmente a Dios y mi madre por su gran esfuerzo, también quiero dedicárselo a mis abuelos, hermanos, a la monita y a mis amigos Yerlao, Ángela, Catreline, nine, Walt Disney, Piña, Diego, El viejito. Por su gran apoyo. "Se les aprecia mucho".

Maestro gracias por el enseñarme el camino. Néstor, Oscar, Julián, Víctor, Claudia, Dayana gracias totales.

**JUAN GABRIEL JARAMILLO CASTAÑEDA.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente le damos gracias a DIOS por habernos dado la oportunidad de culminar este trabajo con satisfacción, también un agradecimiento muy sincero al ingeniero Carlos Alberto Ríos Porras por el apoyo y la dedicación que nos ofreció durante este trabajo y nuestra carrera.

Finalmente a todos los profesores y a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA que nos ofreció todas las instalaciones para sacar adelante nuestra carrera.

# TABLA CONTENIDO

	“Pág.”
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>13</b>
<b>1. PRINCIPALES FACTORES EN EL MANTENIMIENTO DE LINEAS DE DISTRIBUCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	14
<b>1.2 ANOMALIAS.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 SEGURIDAD DEL PERSONAL.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.1 Efectos de la corriente en el cuerpo humano.....</b>	<b>16</b>
1.3.2 Impedancia del cuerpo humano.....	16
1.3.3 Efectos patológicos de la corriente.....	17
1.3.4 Detención de la respiración.....	17
1.3.5 Puestas a tierra protectoras para el personal de mantenimiento de líneas.....	18
<b>1.4 FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....</b>	<b>18</b>
1.4.1 Tipos de fallas.....	18
1.4.2 Causas de las fallas.....	19
1.4.3 Clasificación de las fallas.....	19
1.5 DOCUMENTACIÓN LEGAL.....	20
<b>2. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>22</b>
2.1 FUNCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	22
2.2 ¿COMO ESTÁ CONSTITUIDO UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA?.....	23
2.3 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	23

2.4 SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA TEMPORALES .....	23
2.5 ¿POR QUE ES TAN IMPORTANTE LA PUESTA A TIERRA TEMPORAL? .....	24
<b>3. MANTENIMIENTO DE LAS LINEAS DE DISTRIBUCION.....</b>	<b>25</b>
3.1 ¿COMO SE HACE UN MANTENIMIENTO? .....	25
3.1.1. Regla 1. ....	25
3.1.2. Regla 2. ....	25
3.1.3. Regla 3. ....	26
3.1.4. Regla 4. ....	28
3.1.5. Regla 5. ....	29
3.2 MÉTODOS DE TRABAJO EN TENSIÓN.....	29
3.2.1 Verificación en el lugar de trabajo. ....	29
3.2.2 Procedimientos de ejecución. ....	30
3.3 ESQUEMAS DE PUESTA A TIERRA TEMPORALES.....	31
3.3.1. Conexión 1.....	31
3.3.2. Conexión 2.....	32
3.3.3 Conexión 3.....	32
3.3.4 Conexión 4.....	33
3.3.5 Conexión 5.....	33
3.3.6 Conexión 6.....	34
3.3.7 Conexión 7.....	34
<b>4. SIMULACIONES DE LOS ESQUEMAS DE PUESTA A TIERRA TEMPORALES.....</b>	<b>35</b>
4.1. INTRODUCCION .....	35
4.2 CIRCUITOS DE DISTRIBUCION CON NEUTRO. ....	36

4.1.2 Circuito equivalente de la conexión 1 con neutro. ....	36
4.1.3 Circuito equivalente de la conexión 2 con neutro. ....	37
4.1.4 Circuito equivalente de la conexión 3 con neutro. ....	38
4.1.5 Circuito equivalente de la conexión 4 con neutro. ....	39
4.1.6 Circuito equivalente de la conexión 5 con neutro. (Conexión de RETIE).....	40
4.1.7 Circuito equivalente de la conexión 6 con neutro. ....	41
4.1.8 Circuito equivalente de la conexión 7 con neutro. ....	42
4.2 CIRCUITOS DE DISTRIBUCION SIN NEUTRO. ....	44
4.2.1 Circuito equivalente de la conexión 1 sin neutro. ....	44
4.2.2 Circuito equivalente de la conexión 2 sin neutro. ....	45
4.2.3 Circuito equivalente de la conexión 3 sin neutro. ....	46
4.2.4 Circuito equivalente de la conexión 4 sin neutro. ....	47
4.2.5 Circuito equivalente de la conexión 5 sin neutro. (Conexión de RETIE).....	48
4.2.6 Circuito equivalente de la conexión 6 sin neutro. ....	49
4.2.7 Circuito equivalente de la conexión 7 sin neutro. ....	50
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>53</b>



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. CRUZAMIENTO DE LÍNEAS .....	26
FIGURA 2. LÍNEAS MONTADAS SOBRE LOS MISMOS APOYOS .....	27
FIGURA 3. ESQUEMA DE PUESTA A TIERRA.....	28
FIGURA 4. CONEXIÓN 1. ....	31
FIGURA 5. CONEXIÓN 2. ....	32
FIGURA 6. CONEXIÓN 3. ....	32
FIGURA 7. CONEXIÓN 4. ....	33
FIGURA 8. CONEXIÓN 5. (CONEXIÓN SEGÚN EL RETIE). ....	33
FIGURA 9. CONEXIÓN 6. ....	34
FIGURA 10. CONEXIÓN 7. ....	34
FIGURA 11. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 1 CON NEUTRO....	36
FIGURA 12. CIRCUITO DE LA CONEXIÓN 2 CON NEUTRO.....	37
FIGURA 13. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 3 CON NEUTRO....	38
FIGURA 14. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 4 CON NEUTRO....	39
FIGURA 15. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 5 CON NEUTRO. (CONEXIÓN DE RETIE). ....	40
FIGURA 16. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 6 CON NEUTRO....	41
FIGURA 17. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 7 CON NEUTRO....	42
FIGURA 18. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 1 SIN NEUTRO.....	44
FIGURA 19. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 2 SIN NEUTRO.....	45
FIGURA 20. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 3 SIN NEUTRO.....	46
FIGURA 21. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 4 SIN NEUTRO.....	47
FIGURA 22. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 5 SIN NEUTRO. (CONEXIÓN DE RETIE). ....	48
FIGURA 23. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 6 SIN NEUTRO.....	49
FIGURA 24. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN 7 SIN NEUTRO.....	50

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. RANGO DE VALORES DE LAS CORRIENTES .....	17
TABLA 2. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 1 CON NEUTRO.....	36
TABLA 3. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 2 CON NEUTRO.....	37
TABLA 4. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 3 CON NEUTRO.....	38
TABLA 5. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 4 CON NEUTRO.....	39
TABLA 6. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 5 CON NEUTRO.....	40
TABLA 7. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 6 CON NEUTRO.....	41
TABLA 8. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 7 CON NEUTRO.....	42
TABLA 9. RESULTADOS DE UNA REENERGIZACIÓN CON NEUTRO.....	43
TABLA 10. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 1 SIN NEUTRO.....	44
TABLA 11. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 2 SIN NEUTRO.....	45
TABLA 12. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 3 SIN NEUTRO.....	46
TABLA 13. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 4 SIN NEUTRO.....	47
TABLA 14. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 5 SIN NEUTRO.....	48
TABLA 15. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 6 SIN NEUTRO.....	49
TABLA 16. RESULTADOS DE LA CONEXIÓN 7 SIN NEUTRO.....	50
TABLA 17. RESULTADOS DE UNA RE ENERGIZACIÓN SIN NEUTRO.....	51

## **GLOSARIO**

AWG: American Wire Gauge.

ASISTOLIA: Deficiencia cardíaca para llevar a cabo las funciones del corazón.

AT: Alta tensión.

BT: Baja tensión.

FIBRILACION VENTRICULAR: Se denomina fibrilación ventricular o FV al trastorno del ritmo cardíaco que presenta un ritmo ventricular rápido (>250 latidos por minuto), irregular, de morfología caótica y que lleva irremediablemente a la pérdida total de la contracción cardíaca, con una falta total del bombeo sanguíneo y por tanto a la muerte del paciente.

LINIEROS: Personas encargadas del mantenimiento y de la revisión de las líneas de distribución.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEC: Comisión Electrónica Internacional.

MT: Media tensión.

RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

SPT: Sistemas de puesta a tierra.

## **RESUMEN**

Este trabajo de grado tiene como enfoque principal comparar diferentes esquemas de puesta a tierra temporal para el mantenimiento de líneas de distribución y determinar los esquemas más seguros para el personal de mantenimiento.

La comparación de los distintos esquemas de puesta a tierra temporal se realiza mediante el software Circuit Maker, en el cual se simulan circuitos de distribución de energía eléctrica de niveles de 13,2 kV con neutro y sin neutro.

# INTRODUCCION

Los sistemas de distribución son de operación continua por lo tanto se revisan continuamente y se realizan mantenimientos frecuentes. Para la realización de estos mantenimientos es muy importante brindar seguridad al personal ya que son mantenimientos muy peligrosos debido a que los voltajes de servicio son altos y las líneas están constituidas por conductores desnudos.

Este documento describe en cuatro capítulos los factores a tener en cuenta en el mantenimiento de líneas de distribución, los sistemas de puesta a tierra, sus aplicaciones y los resultados de las simulaciones de los diferentes esquemas de puesta a tierra.

Entre los objetivos de este trabajo están:

## **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis comparativo de los esquemas de puesta a tierra temporales para el mantenimiento de líneas de distribución aéreas.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Simular los diferentes esquemas de puesta a tierra temporales para el mantenimiento de líneas de distribución.
- Identificar las ventajas y desventajas de los diferentes esquemas de puesta a tierra.
- Estudiar la documentación técnica y legal relacionada con el mantenimiento de líneas de distribución.
- Identificar el método de puesta a tierra temporal más adecuado para el mantenimiento de una línea de distribución.

# 1. PRINCIPALES FACTORES EN EL MANTENIMIENTO DE LINEAS DE DISTRIBUCIÓN

En los sistemas de distribución se deben supervisar las líneas todos los días y realizar mantenimientos preventivos cada 6 meses.

Los mantenimientos se pueden realizar de dos formas:

a) Líneas desenergizadas (en frío): Un circuito se podrá desconectar para hacerle mantenimiento si hay posibilidad de garantizar la suplencia a través de otro circuito o si el circuito de referencia puede desconectarse sin consecuencias graves, en los casos que no es posible hacerse lo anterior deberá hacerse necesariamente mantenimiento en caliente.

b) Líneas energizadas (en caliente): Este tipo de mantenimiento se realiza cuando las líneas se encuentran sobre vías rápidas, debido a que no se puede dejar sin energía el sector por mucho tiempo o cuando se trata de una zona industrial ya que se causarían demasiadas pérdidas o garantizar la suplencia a través de otro circuito.

Además es importante saber como se encuentra el lugar de trabajo, se necesita podar árboles o retirar objetos extraños que impidan la operación normal en el mantenimiento.

## **1.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO.**

**PREVENTIVO:** Son aquellos trabajos que se ejecutan para preservar la durabilidad de los equipos e instalaciones eléctricas, así como aquellos que puedan evitar las fallas en el sistema de distribución. Además, en los mantenimientos preventivos se revisan postes, instalaciones, equipos, se realizan mediciones de puesta a tierra, conductores, aisladores, arboles en crecimiento.

**CORRECTIVO:** Se incluyen todas las actividades necesarias para corregir las fallas y evitar que se repitan o para restablecer el servicio, una vez ejecutado el trabajo, si éste hubiera sido suspendido.

## 1.2 ANOMALIAS

En los mantenimientos se pueden encontrar tres diferentes tipos de anomalías [5]:

**Anomalía general:** Es aquella que va a provocar una falla en la red y tiene una solución estándar, por lo tanto, tiene prioridad y genera una acción de mantenimiento preventivo. Entre los principales tipos de anomalía están: montaje incorrecto, material inadecuado, material deteriorado o existencia de objetos extraños. [5]

Las prioridades posibles son:

1. Posibilidad de falla inmediata que amerita una tarea de mantenimiento preventivo urgente (corte forzado).
2. Posibilidad de falla en mediano plazo que amerita una tarea de mantenimiento preventivo. (Se debe planificar en reuniones periódicas de cortes programados)
3. Posibilidad de falla a largo plazo con margen de planificación acorde (vuelve a estado de mantenimiento normal).

**Anomalía a estudio:** Es aquella que no tiene una solución estándar por lo tanto se pasa a estudiar la clase de anomalía y se definen dos prioridades: Urgente y normal. Entre los principales tipos de anomalía están: descargas eléctricas, cortocircuitos o fenómenos naturales. [5]

**Anomalía sin consecuencia:** Es una diferencia respecto de las condiciones de diseño pero no va a producir una falla en la instalación, por lo tanto no tiene ni prioridad, ni genera tarea de mantenimiento. [5]

## 1.3 SEGURIDAD DEL PERSONAL.

En el mantenimiento de una línea de distribución los operarios deben tener en cuenta sus implementos de seguridad para evitar algún accidente, por ejemplo: Protector de postes, protector de líneas, protector de aisladores, guantes, gafas, cascos y **jumper (puente)**.

Una adecuada puesta a tierra temporal de las líneas de distribución durante las actividades de mantenimiento permite brindar seguridad eléctrica a los trabajadores ante fenómenos que impliquen un alto riesgo eléctrico como tensiones de toque, tensiones de paso, tensiones y/o corrientes inducidas por

líneas energizadas, cargas estáticas, descargas atmosféricas, energización accidental de los circuitos, etc.

### **1.3.1 Efectos de la corriente en el cuerpo humano.**

Una falla de aislamiento en una instalación eléctrica provoca la circulación de una corriente llamada “corriente de contacto”, la cual es la que pasa a través del cuerpo humano cuando éste está sometido a una diferencia de potencial.

La intensidad de la corriente de contacto produce distintos efectos sobre el cuerpo humano según sea su valor. En esta descarga eléctrica la persona deja pasar por su cuerpo una corriente eléctrica de mayor o menor intensidad, sufriendo un calambre o sacudida cuyas consecuencias pueden ser muy variadas; por ejemplo: un simple cosquilleo, una quemadura grave o leve, una paralización total o parcial, tetanización o contracción muscular, asfixia y paro cardíaco por fibrilación ventricular del corazón y finalmente la muerte.

En cualquier contacto eléctrico que se tenga, se siente como mínimo un cosquilleo, señal de que hay una pequeña corriente, quizás de unos miliamperios (mA), por ejemplo de 30 mA, el cual es el límite tolerable para el cuerpo humano. Intensidades superiores producirán un calambre más o menos fuerte y desagradable, sufriendo una conmoción nerviosa. Otras veces, se producen pequeñas quemaduras con baja tensión (BT) que pueden dar lugar a que la carne se desprenda. La alta tensión genera elevadas temperaturas que producirán graves quemaduras. Estas suelen producirse en los puntos de contacto y en otros que ofrezcan una resistencia, como son la entrada y la salida de la corriente en especial en las manos y los pies, con mayor gravedad cuando se afectan los órganos internos, en particular el corazón, ya que se puede producir la muerte por fibrilación ventricular.

### **1.3.2 Impedancia del cuerpo humano.**

Su importancia en el resultado del accidente depende de las siguientes circunstancias: Tensión, frecuencia, duración del paso de la corriente, temperatura, grado de humedad de la piel, superficie de contacto, dureza de la epidermis, entre otros.



Las diferentes partes del cuerpo humano, tales como la piel, los músculos y la sangre, presentan para la corriente eléctrica una impedancia compuesta por elementos resistivos y capacitivos.

Durante el paso de la electricidad, la impedancia del 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, la impedancia de la piel varía, incluso en un mismo individuo, dependiendo de factores externos tales como la temperatura, la humedad de la piel. Sin embargo, a partir de 50 V la impedancia de la piel decrece rápidamente, llegando a ser baja si está perforada.

### 1.3.3 Efectos patológicos de la corriente.

La tabla que se muestra a continuación entrega los valores de corrientes y efectos que puede ocasionar en el cuerpo humano [2]:

Tabla 1. Rango de valores de las corrientes

<b>CORRIENTE</b>	<b>EFFECTOS SOBRE EL CUERPO HUMANO</b>
0 - 2 mA	Cosquilleo
2 - 15 mA	Contracción muscular involuntaria
16 - 20 mA	Contracción muscular dolorosa
21 - 50 mA	Parálisis de la musculatura respiratoria
51 - 100 mA	Fibrilación ventricular
2 A	Asistolia

### 1.3.4 Detención de la respiración.

Un choque eléctrico puede afectar la respiración de dos formas: Un paro respiratorio que persiste después que la corriente ha cesado de fluir o que el paso de la corriente cause que los músculos del pecho se contraigan impidiendo el movimiento respiratorio. En este último caso los efectos persisten sólo mientras se

permite el paso de la corriente; debido a que esta corriente fluye solo en unas décimas de milisegundos, los efectos producidos son despreciables [9].

Hay evidencias que el paro respiratorio es únicamente producido cuando la corriente pasa a través del centro respiratorio, el cual está localizado en la parte baja del cerebro. En este caso se recomienda dar primeros auxilios mediante respiración artificial.

### **1.3.5 Puestas a tierra protectoras para el personal de mantenimiento de líneas.**

Los tres métodos básicos para protección de los linieros son [9]:

a) Aislar (cubriendo) los conductores y otras partes energizadas. Se debe usar un equipo cobertor de caucho o plástico para los voltajes de distribución, en los cuales el método de aislamiento ha sido designado como seguro.

b) Aislar (retirando) los conductores y otras partes energizadas del área de trabajo. Se deben emplear las herramientas para trabajos en líneas energizadas para soltar y retirar de sus soportes aislados, sobre las estructuras, las partes energizadas, aislando así el área de trabajo.

c) Desenergizar y colocar puestas a tierra protectoras a cada lado del área de trabajo.

## **1.4 FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN**

Las fallas en los sistemas de distribución, son más comunes que en los sistemas de transmisión; algunos de los factores que contribuyen a que tengan un relativo alto grado de ocurrencia, son el tipo de construcción y el esquema de protección empleado.

### **1.4.1 Tipos de fallas**

Las fallas en un sistema de distribución, de acuerdo a su naturaleza pueden ser: persistentes, permanentes y no persistentes o transitorias.

Una falla de naturaleza persistente o permanente puede definirse como la falla que aun persiste, luego que el aparato o dispositivo de protección ha funcionado y aún, luego de los tiempos normales de calibración en los dispositivos de recierre del circuito; ejemplos de fallas persistentes son los fallas causados por un conductor reventado, por árboles o por quemadura producida por arcos, objetos extraños sobre los conductores, líneas fuera del aislador, aisladores rotos, postes derivados y líneas caídas.

Una falla de naturaleza no persistente puede ser definida como la falla que es clarificada por si misma, o que puede ser corregida por una corta interrupción del circuito; ejemplo de una falla no persistente es la causada por descargas, por acercamiento de conductores en vanos largos, por una rama haciendo contacto momentáneo con la línea. Si una falla que inicialmente es no persistente, y no es clarificada rápidamente por ella misma, o corregida por los aparatos de protección, se puede entonces convertir en una falla de naturaleza persistente o fallo permanente.

#### **1.4.2 Causas de las fallas**

Entre las principales causas de las fallas en los circuitos de distribución están: El viento, el crecimiento de árboles, las descargas atmosféricas, los equipos o los conductores defectuosos, el error humano, el vandalismo, la lluvia y los objetos extraños.

#### **1.4.3 Clasificación de las fallas.**

a) Fallas tempranas: Ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de fallas. Pueden ser causadas por problemas de materiales, de diseño o de montaje.

b) Fallas tardías: Representan una pequeña fracción de las fallas totales, aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida de la línea (envejecimiento de la aislación, árboles caídos sobre las líneas, etc. [7])

## **1.5 DOCUMENTACIÓN LEGAL.**

Toda instalación eléctrica cubierta por el RETIE, excepto donde se induce expresamente lo contrario, debe disponer de un sistema de puesta a tierra (SPT), de tal forma que cualquier punto del interior o exterior, normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no estén sometidos a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad cuando se presente una falla.

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra (SPT) son: La seguridad de las personas, la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética.

Las funciones de un sistema de puesta a tierra son:

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos y a los equipos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia al sistema eléctrico.
- En algunos casos, servir como conductor de retorno.

Se debe tener presente que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos, es la máxima corriente que pueden soportar, debido a las tensiones de paso, de contacto o transferidas y no el valor de resistencia de puesta a tierra tomando aisladamente. Sin embargo, un valor pequeño de la resistencia de puesta a tierra es siempre deseable para disminuir la máxima elevación de potencial.

El objeto de un equipo de puesta a tierra temporal es limitar la corriente que puede pasar por el cuerpo humano. El montaje básico de las puestas a tierras temporales debe hacerse de tal manera que el potencial de tierra quede inmediatamente debajo de los pies del liniero. La secuencia de montaje debe ser desde la tierra hasta la última fase. Para desmontarlo debe hacerse desde las fases hasta la tierra. [8]

El equipo de puesta a tierra temporal debe cumplir las siguientes especificaciones mínimas, adoptadas de la norma IEC 61230.

- Grapas o pinzas: De aleación de aluminio o bronce, para conductores hasta de 40 mm de diámetro y de bronce con caras planas cuando se utilicen en una torre.
- Cable en cobre de mínimo 16 mm<sup>2</sup> o No 4 AWG, extraflexible, cilíndrico y con cubierta transparente.
- Capacidad mínima de corriente de falla: En A.T. 40 kA; en M.T. 8 kA y 3 kA eficaces en 1 segundo con temperatura final de 700 °C.
- Electrodo: Barreno de longitud mínima de 1,5 m.
- El fabricante debe entregar una guía de instalación, inspección y mantenimiento.

## **2. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.**

Los objetivos de la puesta a tierra de un dispositivo o un sistema son:

- a) Fijar el nivel de potencial de todas las masas metálicas con respecto al suelo.
- b) Proteger las máquinas y los aparatos de las sobretensiones.
- c) Asegurar la protección de personal en lo que se refiere a los peligros de la corriente eléctrica.

### ***2.1 FUNCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.***

Con respecto a su funcionalidad los sistemas de puesta a tierra se clasifican:

- **Sistemas de tierra de protección:**

Tienen la misión de limitar el valor de la tensión contra tierra de aquellas partes del sistema eléctrico que no deben ser mantenidas ni en tensión ni aisladas y con las cuales se puede poner en contacto el personal (por ejemplo carcasa de una máquina eléctrica, herrajes o sujeción de los aisladores), [4]

- **Sistemas de tierra de funcionamiento:**

Sirven para poner a tierra, por necesidad de funcionamiento, determinados puntos del circuito eléctrico (neutro de generadores y transformadores, aparatos para la conexión de la tensión contra tierra, pararrayos. etc.), [4]

- **Sistemas de tierra de trabajo:**

Son sistemas de tierra de protección con carácter provisional, efectuados para poner a tierra parte de una instalación eléctrica, normalmente en tensión, a los cuales se debe llegar para efectuar un trabajo o reparación, [4]

## **2.2 ¿COMO ESTÁ CONSTITUIDO UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA?**

Los sistemas de tierra comprenden:

- El dispersor. Constituido por un cuerpo metálico o un conjunto de cuerpos metálicos puestos en contacto directo con la tierra y destinados a dispersar las corrientes de tierra.
- El conductor de tierra. Lo constituye un conductor que sirve para unir los terminales de puesta a tierra de los equipos e instalaciones referentes con el correspondiente dispersor

## **2.3 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.**

Las principales características que interesan para los sistemas de puesta a tierra o dispersión son:

- La corriente de tierra  $I$ , que corresponde al valor máximo que se provee de la corriente en amperes que debe ser dispersada en el sistema de tierra.
- La tensión de tierra  $V$ , equivalente a la máxima diferencia de potencial, medida en voltios, existente entre el sistema de dispersión y un punto en el infinito cuando el sistema dispersa la corriente de tierra  $I$  prevista.
- La resistencia de tierra  $R$ , cuyo valor en ohmios se define por medio de la relación entre la tensión y la corriente de tierra, o sea  $R = (V/I)$ .
- El gradiente de tierra  $E$ , que indica en (Voltios/m) la diferencia de potencial entre dos puntos del terreno cuya distancia del dispersor varía en un metro. [4]

## **2.4 SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA TEMPORALES**

Los sistemas de puesta a tierra temporales son considerados sistemas de tierra de trabajo ya que su utilización es solamente temporal, contienen los mismos

elementos de un sistema de puesta a tierra convencional excepto que se tiene en cuenta la posición del obrero para poder ubicar el dispersor, [4]

## ***2.5 ¿POR QUE ES TAN IMPORTANTE LA PUESTA A TIERRA TEMPORAL?***

Definitivamente se debe mantener como objetivo primordial la seguridad del trabajador.

Los voltajes inducidos de líneas energizadas adyacentes se deben tener continuamente en cuenta. Aunque el sistema en el cual se está trabajado esté desenergizado, un sistema adyacente energizado tiene un campo electromagnético que va a realimentar la línea desenergizada.

Esta situación puede presentarse en más de un circuito en un apoyo o en estructuras diferentes. La magnitud de dicha realimentación variará con la cercanía de los sistemas adyacentes y con la magnitud de la corriente en ellos. Un factor importante de esta realimentación es que es de una naturaleza continua debido al flujo continuo de corriente en el sistema adyacente. Por lo tanto, los voltajes inducidos deben ser puestos a tierra para evitar posibles lesiones eléctricas, incomodidades o reacciones inadvertidas del trabajador.



## **3. MANTENIMIENTO DE LAS LINEAS DE DISTRIBUCION**

### **3.1 ¿COMO SE HACE UN MANTENIMIENTO?**

Existen cinco reglas de oro para hacer un buen mantenimiento:

#### **3.1.1. Regla 1.**

Abrir con corte visible todas las fuentes de tensión mediante equipos de corte: interruptores y seccionadores que aseguren la imposibilidad de cierre intempestivo.

El objetivo de esta primera regla es evidente, eliminar toda fuente de tensión que alimente a la instalación sobre la que se va a realizar un trabajo. Además, hace hincapié en que la eliminación de las fuentes debe realizarse mediante corte visible, por lo general mediante seccionadores, extracción de fusibles, apertura de puentes, etc. [9]

#### **3.1.2. Regla 2.**

Enclavamiento o bloqueo de los mandos de equipos de corte y señalización.

Una vez abiertos los elementos de corte, se debe evitar que por fallas técnicas o humanas se accionen algunos de estos aparatos. Para ello se recurre a un enclavamiento o bloqueo, el cual puede realizarse de diversas formas:

- Bloqueo mecánico: consiste en inmovilizar el mando del aparato mediante cerraduras, candados, pestilla y levas.
- Bloqueo eléctrico: consiste en impedir el funcionamiento del aparato mediante la apertura de su circuito de accionamiento.
- Bloqueo neumático: consiste en impedir el accionamiento del aparato actuando sobre la alimentación de aire comprimido.

- Bloqueo físico: consiste en colocar, entre las cuchillas del aparato, un elemento de bloque que impida físicamente la unión de sus contactos.

### 3.1.3. Regla 3.

Reconocimiento de ausencia de tensión.

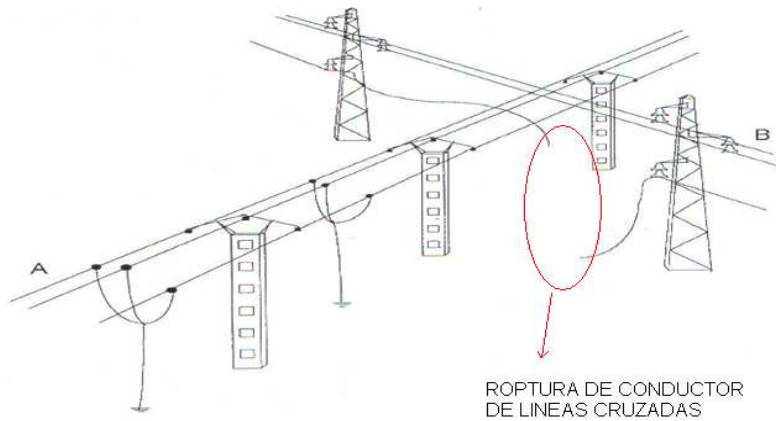
Aunque se hayan realizado correctamente las dos operaciones anteriores es necesario comprobar en el lugar de trabajo la ausencia de tensión. Cuando se habla de ausencia de tensión se refiere a la tensión nominal de la instalación, por tanto, el detector debe elegirse de forma que la tensión nominal quede dentro de su rango de medida. Con esto se puede asegurar que no existen tensiones iguales o superiores a la nominal pero no la existencia de una inferior. Esta posible tensión supone un riesgo para trabajar en una instalación si no se cumple la cuarta regla.

A pesar de haber comprobado la ausencia de tensión en el punto de trabajo como indica la regla tres, existen posibilidades de riesgo eléctrico debido a dos causas:

- Por efectos capacitivos pudiera existir en la línea una tensión inferior a la nominal y que, por tanto, no ha sido detectada por el medidor, cuyo rango se elige para la tensión nominal de la instalación.
- La aparición de tensiones inesperadas una vez comenzados los trabajos. Estas tensiones pueden alcanzar valores muy diversos y tener diferentes orígenes. A continuación se indican los más comunes:

a) Tensión por caída de conductores en cruzamientos de líneas. La línea A de la **Figura 1** se encuentra sin tensión mientras que la B lo está. Si se rompe un conductor de la línea B y cae sobre la línea A, ésta adquirirá una tensión.

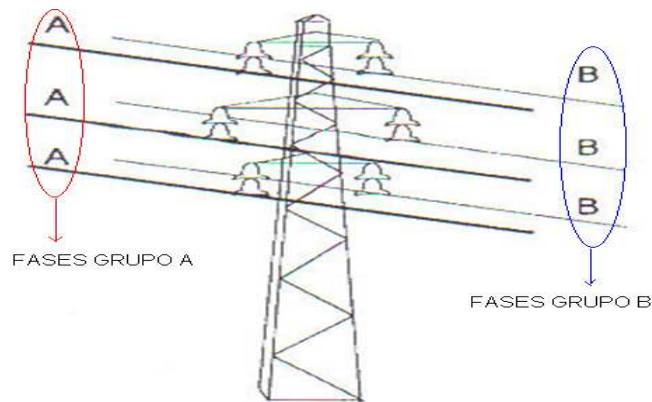
Figura 1. Cruzamiento de líneas



b) Tensión por fenómenos de inducción entre líneas montadas sobre los mismos apoyos.

Si en la **Figura 2** la línea A se encuentra sin tensión mientras que la B si lo esta, los fenómenos de inducción que origina la línea B, provocan la aparición de tensión n la línea A.

Figura 2. Líneas montadas sobre los mismos apoyos



c) Tensión por fenómenos atmosféricos.

Aunque una línea se encuentre sin tensión, la caída de un rayo sobre sus conductores provoca que momentáneamente adquiera tensión.

La aparición de cualquiera de estas tensiones ocasiona que el operario quede sometido a ellas, como sería el caso de tener una mano sobre la línea y cualquier otra parte de su cuerpo en contacto con el apoyo metálico.

El objeto de poner a tierra y en cortocircuito la línea es eliminar los efectos que estas tensiones pueden provocar sobre los operarios, ofreciendo un camino alternativo a tierra para la corriente producida por dichas tensiones, evitando de esta forma que circulen a través del cuerpo del trabajador.

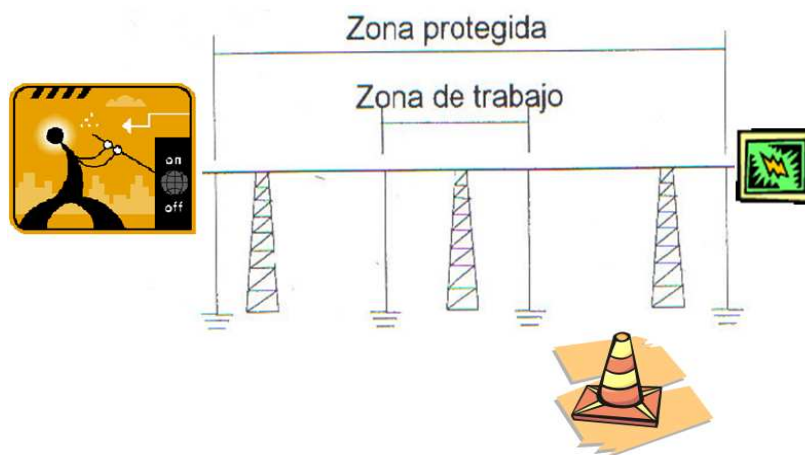
#### 3.1.4. Regla 4.

Poner a tierra y en cortocircuito todas las posibles fuentes de tensión.

La regla 4 solo asegura la ausencia de tensiones del orden de la nominal o superior. Además como se verá, posteriormente, una vez comenzados los trabajos pueden aparecer tensiones inesperadas de prácticamente cualquier valor. El propósito de esta regla es básicamente eliminar o al menos disminuir el riesgo que supone este tipo de tensiones.

A cada lado de la instalación donde se va a realizar un trabajo se colocan dos equipos de puesta a tierra y en cortocircuito: uno en las proximidades del punto de corte visible y otro en las proximidades del lugar donde se va a trabajar. Estas puestas a tierra delimitan las denominadas zona protegida y zona de trabajo, como puede verse en la **Figura 3** como excepción se permite prescindir de las puestas a tierra de la zona de trabajo, siempre y cuando las puestas a tierra de la zona protegida sean visibles por los operarios desde el lugar donde están realizando el trabajo.

Figura 3. Esquema de puesta a tierra.



### **3.1.5. Regla 5.**

Colocar las señales de seguridad adecuadas delimitando la zona de trabajo.

La última regla tiene por objeto dar a los operarios información, mediante señales y carteles, sobre el riesgo existente para que actúen en consecuencia. Además, obliga a delimitar la zona de trabajo mediante vallas, cintas, etc., de forma que ningún operario pueda salir o entrar en ella de forma inadvertida. [9]

## **3.2 MÉTODOS DE TRABAJO EN TENSIÓN.**

Los métodos de trabajo más comunes, según los medios utilizados para proteger al operario y evitar los cortocircuitos son:

- Trabajo a distancia: En este método, el operario ejecuta el trabajo con la ayuda de herramientas montadas en el extremo de pértigas aislantes.
- Trabajo a potencial: En este método, el operario está al potencial del elemento de la instalación en la cual trabaja. Su aislamiento con relación a tierra está asegurado por un dispositivo aislante apropiado al nivel de tensión.

Por ser una técnica de trabajo muy especializada y muy exigente en cuanto a seguridad, para efectos del RETIE, los trabajos en tensión, en línea viva o línea energizada, deben cumplir los siguientes requerimientos:

### **3.2.1 Verificación en el lugar de trabajo.**

El jefe del trabajo debe asegurarse sistemáticamente antes de todo trabajo, del buen estado aparente de las instalaciones así como del material y de las herramientas colectivas destinadas a la ejecución del mismo. Además, debe vigilar que los operarios bajo sus órdenes verifiquen el buen estado de su dotación individual: Cinturón o arnés de seguridad, guantes, casco de protección, herramientas y otros. Los defectos comprobados supondrán la indisponibilidad o reparación del elemento, retirándolo y poniendo sobre él una marca visible que prohíba su uso hasta que sea reparado.

Todo material debe disponer de una ficha técnica particular que indique las siguientes precauciones, entre otras, que con él deben observarse:

- Límite de utilización eléctrica y mecánica.
- Condiciones de conservación y mantenimiento.
- Controles periódicos y ensayos.

### **3.2.2 Procedimientos de ejecución.**

La ejecución de todo trabajo en tensión está subordinada a la aplicación de su procedimiento de ejecución, previamente estudiado. Todo procedimiento de ejecución debe comprender:

- Un título que indique:
  - a) La naturaleza de la instalación intervenida.
  - b) La descripción precisa del trabajo.
  - c) El método de trabajo.
- Medios físicos (materiales y equipos de protección personal y colectiva) y recurso humano.
- Descripción ordenada de las diferentes fases del trabajo, a nivel de operaciones elementales.
- Croquis, dibujos o esquemas necesarios.

Toda persona que deba intervenir en trabajos con tensión, debe poseer una certificación que lo habilite para la ejecución de dichos trabajos, además debe estar afiliado a una empresa de seguridad social y riesgos profesionales. No se admite la posibilidad de actuación de personal que no haya recibido formación especial y no esté habilitado para la realización de trabajos en tensión.

El jefe de trabajo, una vez recibida la confirmación de haberse tomado las medidas precisas y antes de comenzar el trabajo, debe reunir y exponer a los linieros el procedimiento de ejecución que se va a realizar, cerciorándose que ha sido perfectamente comprendido, que cada trabajador conoce su cometido y que cada uno se hace cargo de cómo se integra en la operación conjunta. [8]

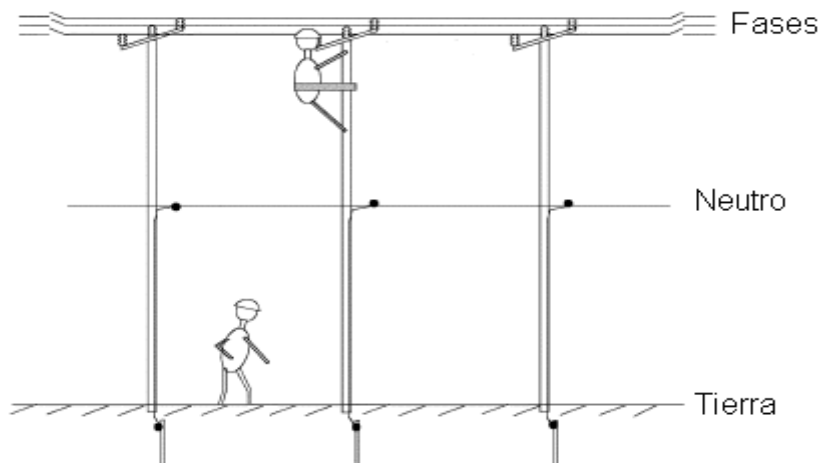
### 3.3 ESQUEMAS DE PUESTA A TIERRA TEMPORALES.

En la literatura especializada, [6], se reportan siete esquemas principales para la puesta a tierra temporal usada en el mantenimiento de las líneas de distribución, cabe aclarar que las conexiones realizadas son para mantenimientos en frío.

#### 3.3.1. Conexión 1.

Se aterrizan el neutro, los postes que están a lado y lado de la zona de mantenimiento y también el poste donde se encuentra ubicado el operario.

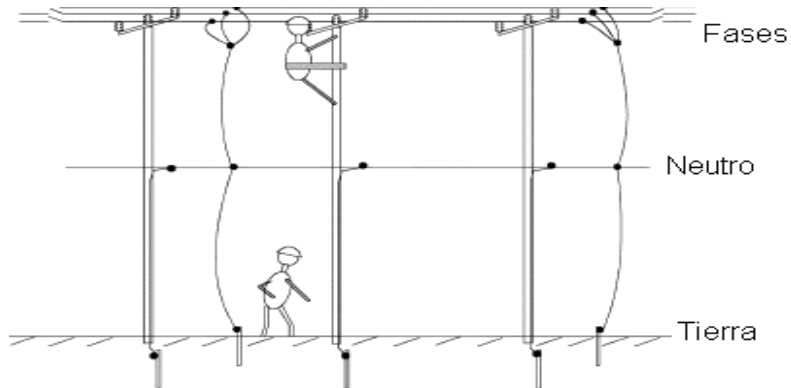
Figura 4. Conexión 1.



### 3.3.2. Conexión 2.

Se cortocircuitan las fases con el neutro y se aterrizan a lado y lado de la zona de trabajo del operario, los postes también se aterrizan.

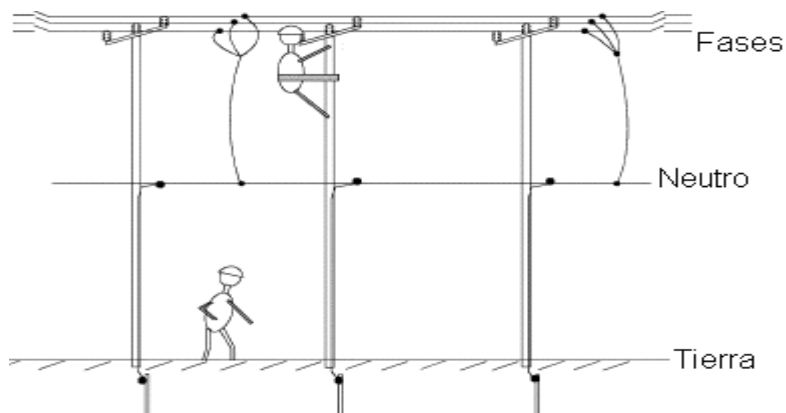
Figura 5. Conexión 2.



### 3.3.3 Conexión 3.

Se cortocircuitan las fases con el neutro y se aterrizan los postes antes y después de donde está el operario, también se aterriza el poste donde está el operario.

Figura 6. Conexión 3.

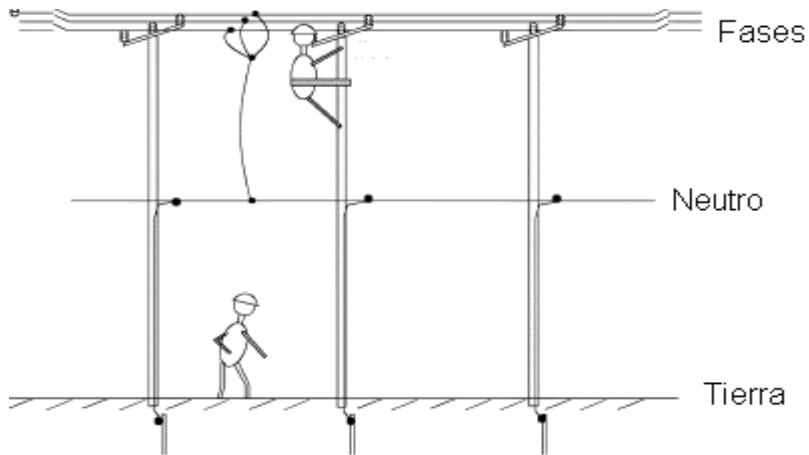




### 3.3.4 Conexión 4.

Se cortocircuitan las fases con el neutro solo en un extremo y se aterrizan los postes.

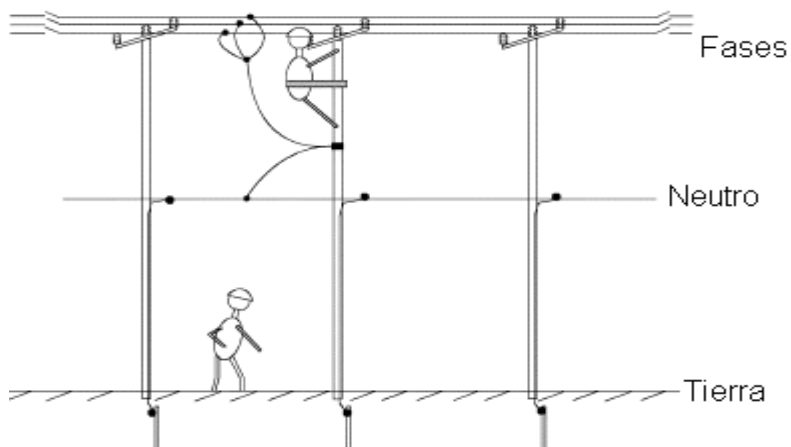
Figura 7. Conexión 4.



### 3.3.5 Conexión 5.

Se cortocircuitan las tres fases, se llevan al poste debajo de los pies del liniero, de allí se llevan al neutro en un solo extremo y se aterrizan los postes, conexión según el RETIE.

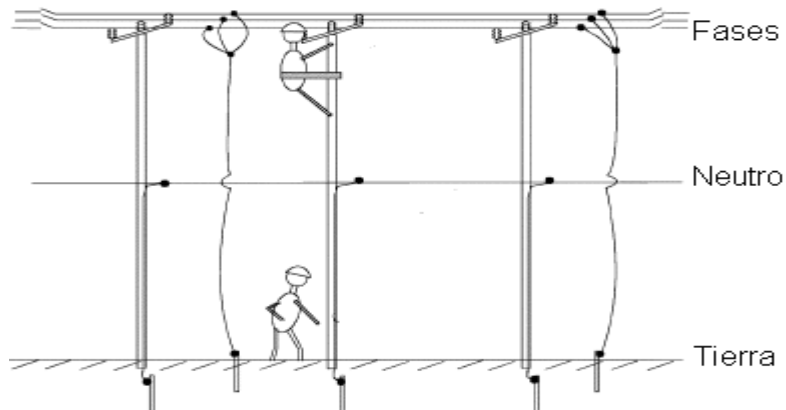
Figura 8. Conexión 5. (Conexión según el RETIE).



### 3.3.6 Conexión 6.

Se cortocircuitan las tres fases a ambos lados y se llevan directamente a tierra y también se aterrizan los postes.

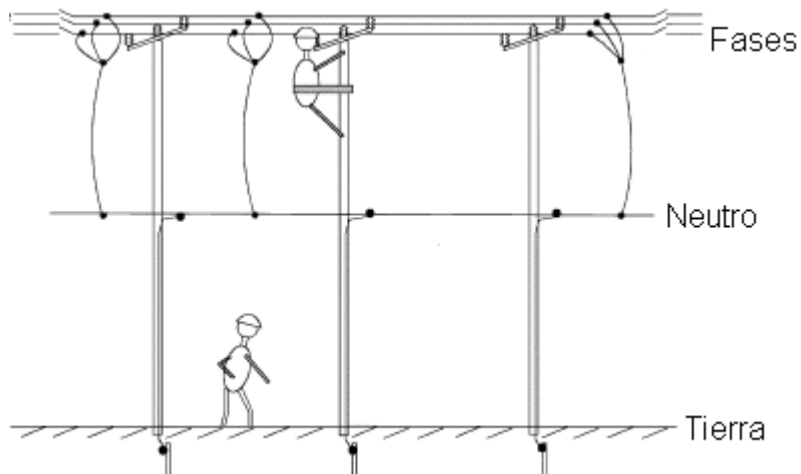
Figura 9. Conexión 6.



### 3.3.7 Conexión 7.

Se cortocircuitan las fases con el neutro en tres puntos diferentes, en los extremos de la zona de mantenimiento y otro cerca del operario, adicionalmente los postes también se aterrizan.

Figura 10. Conexión 7.



## 4. SIMULACIONES DE LOS ESQUEMAS DE PUESTA A TIERRA TEMPORALES.

### 4.1. INTRODUCCION

En este capítulo se estudian los esquemas de puesta a tierra temporales ya planteados en la sección 3.3, los cuales son simulados con el software especializado Circuit Maker para cuantificar los valores de las corrientes que pueden fluir por el operario cuando la línea se energiza de forma accidental o sufre una descarga atmosférica directa o inducida y así compararlos con los valores ya establecidos de las corrientes peligrosas para el cuerpo humano. Este análisis permite identificar cuales de los esquemas de puesta a tierra temporal son más seguros.

Se tomó como sistema de prueba un sistema de distribución con conductores de calibre 1/0 y operado a 13,2 kV. Se simularon los sistemas de puesta a tierra temporales considerando dos casos: circuitos con neutro y circuitos sin neutro.

Se consideró el caso de la energización accidental del circuito con su tensión nominal, o sea que se supuso un caso en el cual el personal de mantenimiento ignoró la regla de oro número 2, enclavamiento o bloqueo (sección 3.1.2).

Para simular los esquemas de puesta a tierra temporales, se tomaron los siguientes datos de la referencia [6].

$Z_{\text{fase}} = (0,016\ 50 + j0,012\ 23)\ \Omega/\text{m}$ . Impedancia por unidad de longitud en las fases.

$Z_N = (0,016\ 50 + j0,012\ 230)\ \Omega/\text{m}$ . Impedancia por unidad de longitud del neutro.

$Z_G = (83-450)\ \Omega$ . Impedancia de la tierra.

$Z_{\text{poste}} = 1000\ \Omega$  Impedancia de cada poste ( $100\ \Omega \leq Z_{\text{poste}} \leq 2000\ \Omega$ ).

$Z_{\text{Hombre}} = 1\ 000\ \Omega$ . Impedancia del cuerpo humano.

Se suponen los siguientes valores de impedancias:

$Z_{PG} = 5 \Omega$ . Impedancia entre poste y tierra.

$Z_{GR} = 3 \Omega$ . Impedancia de puesta a tierra.

$Z_{puente} = 0,15 \Omega$ . Impedancia del puente

## 4.2 CIRCUITOS DE DISTRIBUCION CON NEUTRO.

### 4.1.2 Circuito equivalente de la conexión 1 con neutro.

Se simuló el circuito equivalente de la conexión 1 que aparece en la sección 3.3.1

Figura 11. Circuito equivalente de la conexión 1 con neutro.

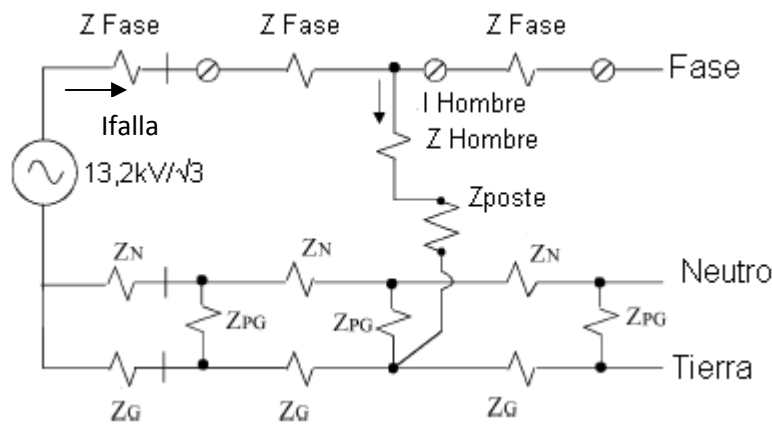


Tabla 2. Resultados de la conexión 1 con neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2\text{kV}/\sqrt{3}$	1,788 A
Hombre	5,371 kV	1,788 A

En el circuito de la Figura 11 la corriente de falla es la misma que la corriente que pasa por el cuerpo humano debido a que el único bajante de la corriente hasta tierra es por medio del hombre y se considera peligrosa según la tabla 1 (sección 1.3.3).

### 4.1.3 Circuito equivalente de la conexión 2 con neutro.

Se simuló el circuito equivalente de la conexión 2 que aparece en la sección 3.3.2.

Figura 12. Circuito de la conexión 2 con neutro.

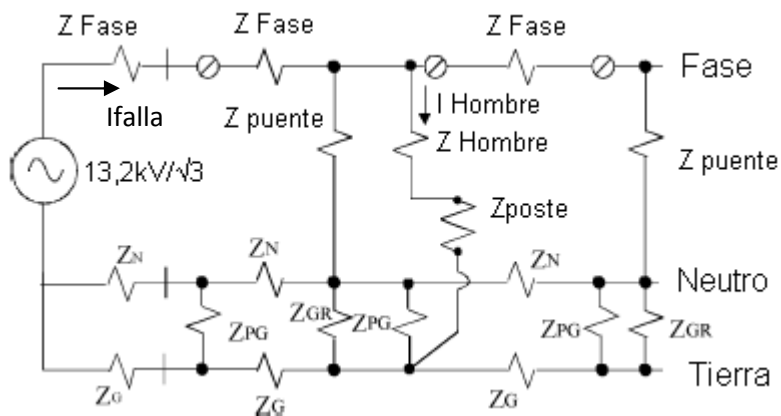


Tabla 3. Resultados de la conexión 2 con neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2kV/\sqrt{3}$	292,8 A
Hombre	22,03 V	15,04 mA

Para el circuito de la Figura 12 la magnitud de la corriente en el cuerpo humano es alta, y se considera peligrosa debido a que la magnitud de la corriente de falla está en el rango de corrientes peligrosas según la tabla 1 (sección 1.3.3).

#### 4.1.4 Circuito equivalente de la conexión 3 con neutro.

Se simuló el circuito equivalente de la conexión 3 que aparece en la sección 3.3.3.

Figura 13. Circuito equivalente de la conexión 3 con neutro.

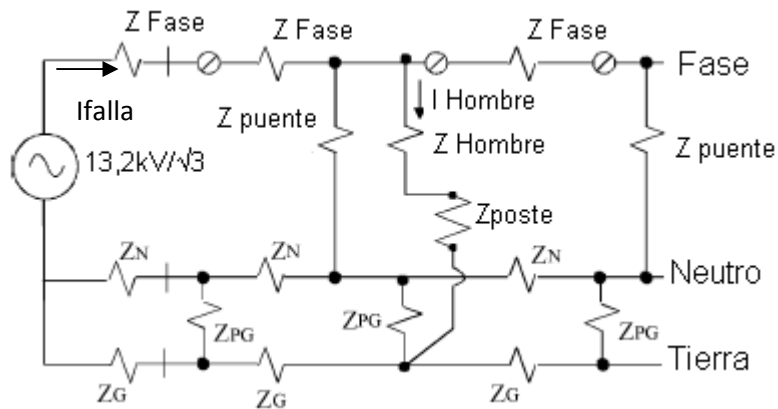


Tabla 4. Resultados de la conexión 3 con neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2\text{kV}/\sqrt{3}$	293,7 mA
Hombre	22,20 mV	15,85 uA

Para el circuito de la Figura 13 la magnitud de la corriente en el cuerpo humano es muy baja, y se considera muy segura debido a que está en el rango de corrientes más seguras de la tabla 1 (sección 1.3.3).

#### 4.1.5 Circuito equivalente de la conexión 4 con neutro.

Se simuló el circuito equivalente de la conexión 4 que aparece en la sección 3.3.4.

Figura 14. Circuito equivalente de la conexión 4 con neutro.

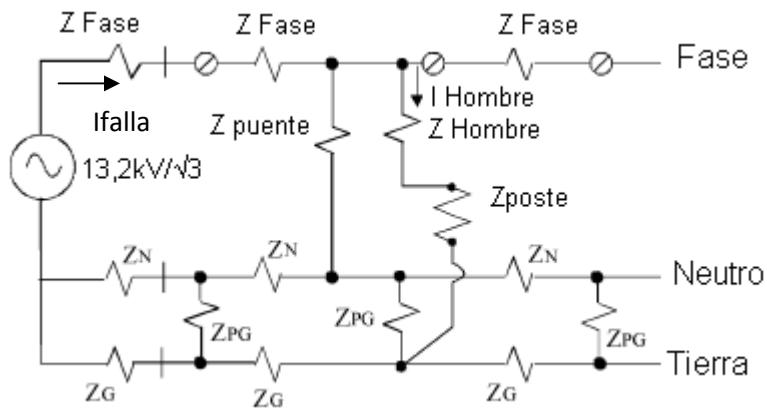


Tabla 5. Resultados de la conexión 4 con neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2kV/\sqrt{3}$	293,4 A
Hombre	43,87 V	15,58 mA

El circuito de la Figura 14 es un esquema peligroso debido a que la corriente que pasa por el cuerpo humano está en el rango de las corrientes perjudiciales según la tabla 1 (sección 1.3.3).

#### 4.1.6 Circuito equivalente de la conexión 5 con neutro. (Conexión de RETIE).

Se simuló el circuito equivalente de la conexión 5 que aparece en la sección 3.3.5.

Figura 15. Circuito equivalente de la conexión 5 con neutro. (Conexión de RETIE).

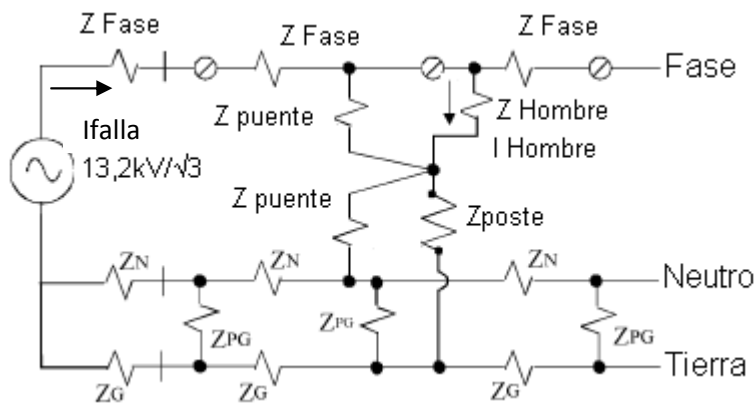


Tabla 6. Resultados de la conexión 5 con neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2kV/\sqrt{3}$	296,1 mA
Hombre	88,67 mV	44,40 uA

El circuito de la Figura 15 es un esquema muy seguro debido a que el puente de puesta a tierra se conecta debajo de los pies del liniero lo que crea una diferencia de potencial baja y la corriente que pasa por el cuerpo está en el rango de corrientes seguras de la tabla 1 (sección 1.3.3).



#### 4.1.7 Circuito equivalente de la conexión 6 con neutro.

Se simuló el circuito equivalente de la conexión 6 que aparece en la sección 3.3.6.

Figura 16. Circuito equivalente de la conexión 6 con neutro.

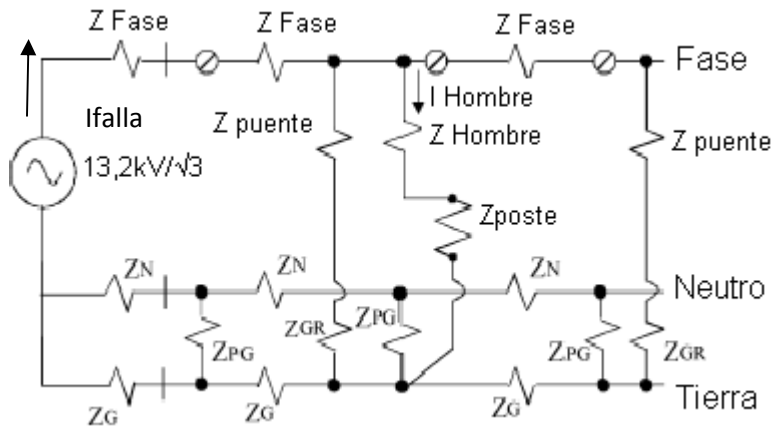


Tabla 7. Resultados de la conexión 6 con neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2kV/\sqrt{3}$	293,3 A
Hombre	19,86 V	14,70 mA

Para el circuito de la Figura 16 se presentan 2 puentes de puesta a tierra temporal pero su conexión tiene en cuenta la resistencia entre poste y tierra lo que hace que ésta conexión sea peligrosa porque está en el rango de corrientes peligrosas según la tabla 1 (sección 1.3.3).

#### 4.1.8 Circuito equivalente de la conexión 7 con neutro.

Se simuló el circuito equivalente de la conexión 7 que aparece en la sección 3.3.7.

Figura 17. Circuito equivalente de la conexión 7 con neutro.

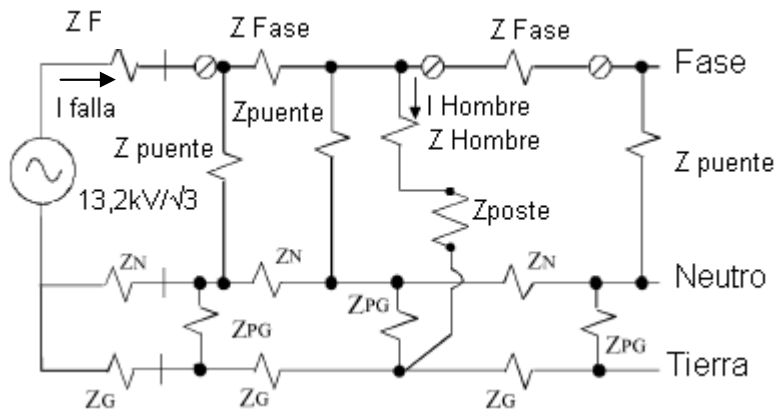


Tabla 8. Resultados de la conexión 7 con neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2kV/\sqrt{3}$	589,3 A
Hombre	4,263 V	2,058 mA

El circuito de la Figura 17 es muy seguro debido a que presenta 3 puentes de puesta a tierra ubicados uno en cada extremo de la zona de mantenimiento y el otro cerca donde se encuentra el liniero, lo que hace que evacue casi toda la corriente de falla, de esta forma casi no habrá paso de corriente por el cuerpo humano y está en el rango de las corrientes seguras según la tabla 1 (sección 1.3.3).

Tabla 9. Resultados de una reenergización con neutro.

<b>ESQUEMA DE PUESTA A TIERRA</b>	<b>CORRIENTE DE FALLA (A)</b>	<b>CORRIENTE SOBRE EL CUERPO HUMANO (A)</b>	<b>GRADO DE PELIGRO</b>
1	1,788 A	1,788 A	MUY PELIGROSO
2	292,8 A	15,04 mA	PELIGROSO
3	293,7 mA	15,85 uA	MUY SEGURO
4	293,4 A	15,58 mA	PELIGROSO
5 (RETIE)	296,1 mA	44,40 uA	MUY SEGURO
6	293,3 A	14,70 mA	PELIGROSO
7	589,3 A	2,058 mA	SEGURO

## 4.2 CIRCUITOS DE DISTRIBUCION SIN NEUTRO.

En esta sección se simulan los esquemas de puesta a tierra ya planteada pero sin la presencia del neutro, debido a que existen sistemas de distribución que operan sin la presencia de este conductor. A continuación se muestran cada uno de los circuitos equivalentes.

### 4.2.1 Circuito equivalente de la conexión 1 sin neutro.

Figura 18. Circuito equivalente de la conexión 1 sin neutro.

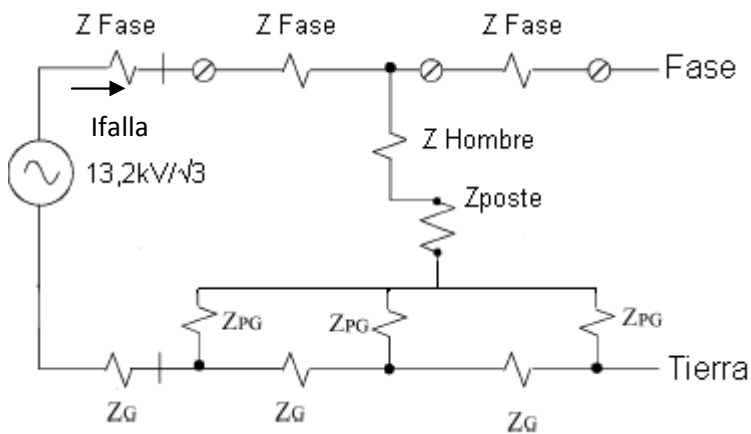


Tabla 10. Resultados de la conexión 1 sin neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2\text{kV}/\sqrt{3}$	1,555 A
Hombre	4,664 kV	1,555 A

El circuito de la Figura 18 la corriente de falla es la misma que la corriente que pasa por el cuerpo humano debido a que el único bajante de la corriente hasta tierra es por medio del hombre, y se considera muy peligrosa según la tabla 1 (sección 1.3.3).

#### 4.2.2 Circuito equivalente de la conexión 2 sin neutro.

Figura 19. Circuito equivalente de la conexión 2 sin neutro.

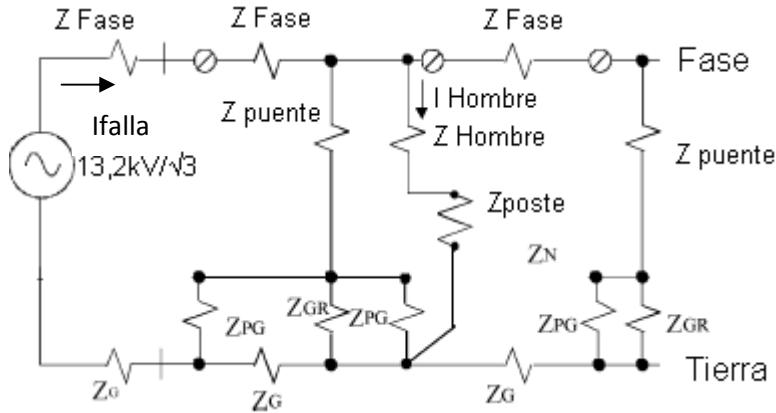


Tabla 11. Resultados de la conexión 2 sin neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2kV/\sqrt{3}$	11,82 A
Hombre	22,33 mV	668,6 uA

El circuito de la Figura 19 la magnitud de la corriente en el cuerpo humano es baja y se considera muy segura debido a que la magnitud de la corriente de falla está en el rango de corrientes seguras según la tabla 1 (sección 1.3.3).

### 4.2.3 Circuito equivalente de la conexión 3 sin neutro.

Figura 20. Circuito equivalente de la conexión 3 sin neutro.

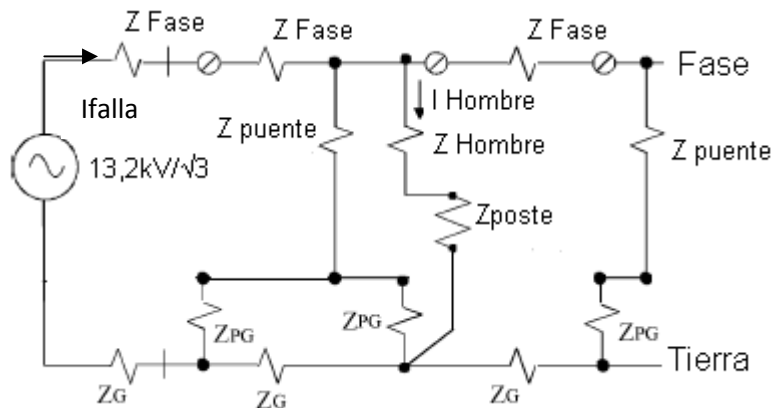


Tabla 12. Resultados de la conexión 3 sin neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2kV/\sqrt{3}$	11,82 A
Hombre	36,25 mV	795,1 uA

En el circuito de la Figura 20 la magnitud de la corriente en el cuerpo humano es muy baja y se considera muy segura debido a que está en el rango de corrientes mas seguras de la tabla 1 (sección 1.3.3).

#### 4.2.4 Circuito equivalente de la conexión 4 sin neutro.

Figura 21. Circuito equivalente de la conexión 4 sin neutro.

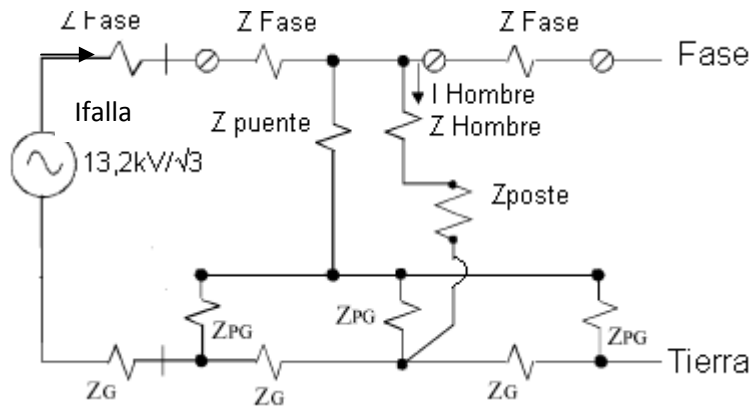


Tabla 13. Resultados de la conexión 4 sin neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2kV/\sqrt{3}$	11,80 A
Hombre	1,777 V	800,1 $\mu$ A

El circuito de la Figura 21 es un esquema muy seguro debido a que la corriente que pasa por el cuerpo humano está en el rango de las corrientes más seguras según la tabla 1 (sección 1.3.3).

#### 4.2.5 Circuito equivalente de la conexión 5 sin neutro. (Conexión de RETIE).

Figura 22. Circuito equivalente de la conexión 5 sin neutro. (Conexión de RETIE).

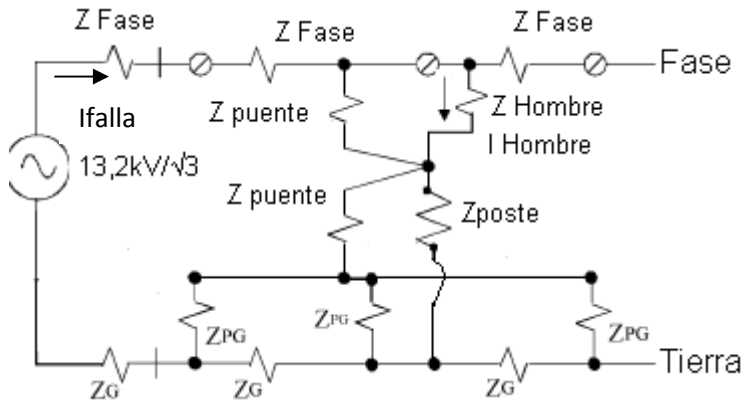


Tabla 14. Resultados de la conexión 5 sin neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2kV/\sqrt{3}$	11,67 A
Hombre	59,22 V	1,751 mA

El circuito de la Figura 22 es un esquema muy seguro debido a que el puente de puesta a tierra se conecta debajo de los pies del liniero lo que crea una diferencia de potencial baja y la corriente que pasa por el cuerpo está en el rango de corrientes seguras de la tabla 1 (sección 1.3.3).



#### 4.2.6 Circuito equivalente de la conexión 6 sin neutro.

Figura 23. Circuito equivalente de la conexión 6 sin neutro.

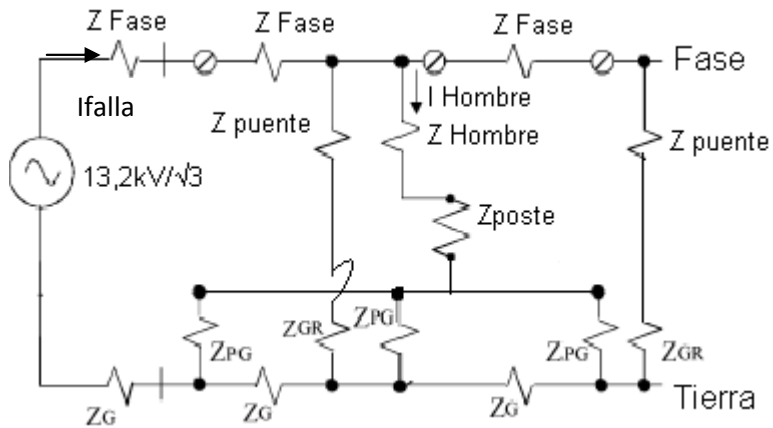


Tabla 15. Resultados de la conexión 6 sin neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2\text{kV}/\sqrt{3}$	11,72 A
Hombre	30,86 V	17,38 mA

En el circuito de la Figura 23 se presentan 2 puentes de puesta a tierra temporal pero su conexión tiene en cuenta la resistencia entre poste y tierra lo que hace que esta conexión sea peligrosa porque está en el rango de corrientes peligrosas según la tabla 1 (sección 1.3.3).

#### 4.2.7 Circuito equivalente de la conexión 7 sin neutro.

Figura 24. Circuito equivalente de la conexión 7 sin neutro.

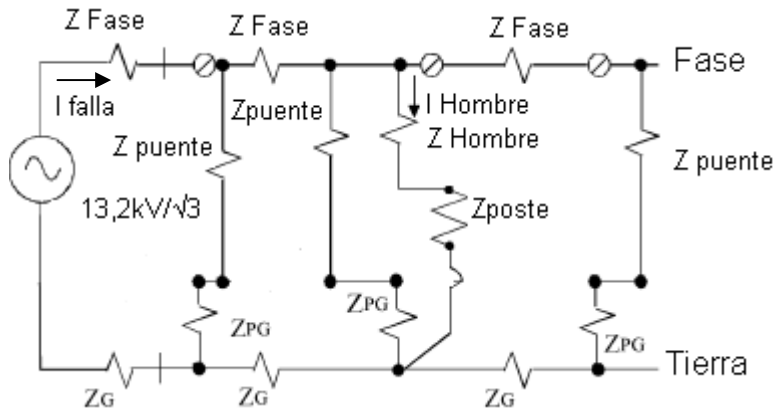


Tabla 16. Resultados de la conexión 7 sin neutro.

	Voltaje (V)	Corriente (A)
Falla	$13,2kV/\sqrt{3}$	18,24 A
Hombre	37,04 mV	526,9 uA

El circuito de la Figura 24 es muy seguro debido a que presenta 3 puentes de puesta a tierra ubicados uno en cada extremo de la zona de mantenimiento y el otro cerca donde se encuentra el liniero, lo que hace que evacue casi toda la corriente de falla, de esta forma casi no habrá paso de corriente por el cuerpo humano y está en el rango de las corrientes más seguras según la tabla 1 (sección 1.3.3).

Tabla 17. Resultados de una re energización sin neutro.

<b>ESQUEMA DE PUESTA TIERRA</b>	<b>DE A</b>	<b>CORRIENTE DE FALLA (A)</b>	<b>CORRIENTE SOBRE EL CUERPO HUMANO (A)</b>	<b>GRADO DE PELIGRO</b>
1		1,555 A	1,555 A	MUY PELIGROSO
2		11,82 A	668,6 uA	MUY SEGURO
3		11,82 A	795,1 uA	MUY SEGURO
4		11,80 A	800,1 uA	MUY SEGURO
5 (RETIE)		11,67 A	1,751 mA	SEGURO
6		11,72 A	17,38 mA	PELIGROSO
7		18,24 A	526,9 uA	MUY SEGURO

## CONCLUSIONES

De acuerdo a la reglamentación consultada sobre sistemas de puesta a tierra temporales se analizaron todos los aspectos que se deben tener en cuenta para hacer un buen aterrizaje al realizar el mantenimiento en redes de distribución.

Después de realizar la clasificación de los esquemas de puesta a tierra con neutro se tiene que: Los esquemas (1) (2) (4) y (6) son peligrosos ya que no actúan verdaderamente como un sistema de dispersión ya que la corriente de falla es igual a la corriente sobre el cuerpo humano, los esquemas (3), (5 del RETIE) y (7) son los más seguros debido a que sus corrientes sobre el cuerpo humano no sobrepasan los valores establecidos en los cuales no corre riesgo el operario.

Luego se realiza la clasificación de los esquemas de puesta a tierra sin neutro donde se encuentran pequeñas diferencias entre circuitos con neutro y sin neutro y se tiene que: El esquema (1) y (6) siguen siendo muy peligrosos debido a que el valor de corriente de falla es igual al valor de corriente sobre el cuerpo humano, los esquemas (2), (3), (4), (7) son los esquemas mas seguros para el mantenimiento de líneas de distribución debido a que sus valores de corriente sobre el cuerpo humano son mínimos. El esquema (5 del RETIE) para este caso es seguro debido a que no presenta problemas de corrientes altas sobre el cuerpo del operario.

## BIBLIOGRAFIA

[1] CANO GONZALEZ, Ramón. Puestas a tierra y en cortocircuito para la realización de trabajos de reparación y mantenimiento. En: Energía. 1998.

[2] CASAS OSPINA, Fabio. Tierras soporte de la seguridad eléctrica. Primera edición.

[3] CIFUENTE NARANJO, Marco Tulio. Mantenimiento de redes eléctricas Proyecto de grado FIE, 1979.

[4] ENRIQUES HARPER, Gilberto. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. Capítulo 7.

[5] GOMEZ, José Luis. Normalización del mantenimiento preventivo de las líneas aéreas de distribución. 2006. Disponible en [http://www.uruman.org/TrabajosTec/Ines\\_Almaraz.pdf](http://www.uruman.org/TrabajosTec/Ines_Almaraz.pdf).

[6] LEE, Chien-Hsing. IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.20, No. 3, July 2005. Evaluation of Grounding Schemes Used for Maintenance of Overhead Distribution Lines.

[7] MONOGRAFIAS. Mantenimiento y seguridad. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento>.

[8] REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS (RETIE). Puestas a tierra temporales. Resolución No 18 0398. 7 de abril del 2004.

[9] TORRES SANCHEZ, Horacio. Riesgo y prevención. En: Mundo Eléctrico. 2003.