



Aplicaciones y consideraciones

Capítulo 11

CHANCE[®]

www.hubbellpowersystems.com
E-mail: hpsliterature@hps.hubbell.com



Teléfono: 573-682-5521

Fax: 573-682-8714

210 North Allen

Centralia, MO 65240, USA

©Copyright 2008 & 2010 Hubbell Incorporated

Aplicaciones y consideraciones

En los capítulos anteriores se trata el tema de cómo asegurar la protección de los trabajadores comenzando con algo de historia, diversos niveles destacables de intensidad de corriente, las características de los equipos y por último una descripción general de las distintas configuraciones de protección y métodos de instalación.

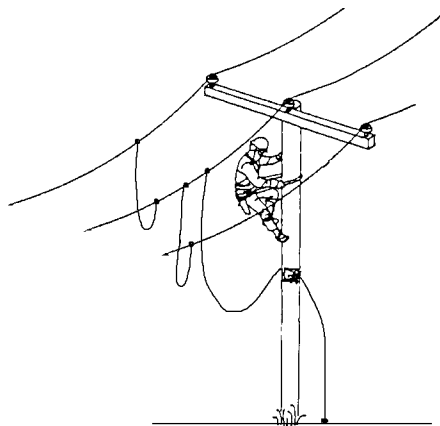
Los métodos expuestos a continuación se contemplan desde una perspectiva general. Lo que se pretende es destacar algunas de las ventajas e inconvenientes de las distintas prácticas. Dichos métodos deberán considerarse conjuntamente con las prácticas de trabajo de la compañía eléctrica del trabajador. En las exposiciones hechas a continuación se contempla a trabajadores realizando trabajos de mantenimiento a nivel de los conductores (en altura) sobre apoyos tanto de madera como metálicos, trabajadores de apoyo en tierra, puesta a tierra de camiones, trabajo en subestaciones, mantenimiento y protección durante la realización de trabajos de mantenimiento en instalaciones subterráneas.

Solo se incluyen casos especiales de trabajo entre puestas a tierra colocadas a ambos lados debido a la posibilidad de que una incorrecta aplicación pudiera dar lugar a una situación de riesgo.

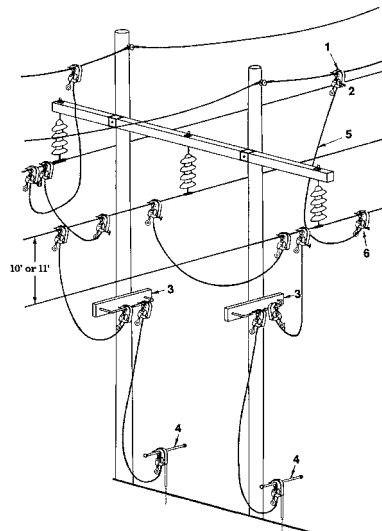
Puesta a tierra equipotencial o de punto único en la zona de trabajo

El método equipotencial es el método recomendado siempre que pueda utilizarse. Se basa en un equipo completo de juegos de tierra que unen eléctricamente las fases, el neutro y la Tierra entre sí, formando una zona equipotencial para el trabajador, tal como se describe en el Capítulo 9. Los juegos de tierra se colocan en el mismo apoyo en el que van a realizarse los trabajos de mantenimiento. Se utilizan conexiones tanto al neutro como a Tierra si ambas están disponibles, el neutro como camino principal de retorno de la corriente de falla y la Tierra como camino secundario de seguridad. Las conexiones se realizarán según lo descrito en el capítulo sobre colocación. Los juegos de tierra utilizados para conectar las fases y el neutro a la barra de soporte múltiple deberán ser de calibre no inferior al valor máximo calculado en el Capítulo 9 a fin de evitar la fusión del cable en caso de producirse una falla.

En un poste de madera se utiliza una barra de soporte múltiple como punto de fijación de los diversos juegos de tierra utilizados. El cable entre la barra de soporte múltiple y la Tierra deberá ser de sección suficiente para evitar su fusión, aunque previsiblemente tenga mayor resistencia debido a su mayor longitud.

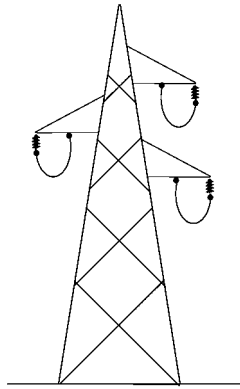


Método equipotencial sobre poste de madera
Figura 11-1



Método equipotencial sobre apoyo de doble poste en H
Figura 11-2

En torres metálicas no se utiliza la barra de soporte múltiple. Se recomienda un cable desde cada fase a la torre bajo los pies del trabajador para cada fase que pudiera tocar el trabajador. No se precisarían juegos de tierra a las demás fases si la separación entre fases fuera suficiente para impedir que el trabajador alcance otra fase. No obstante, puede haber otras razones para colocar juegos de tierra adicionales.

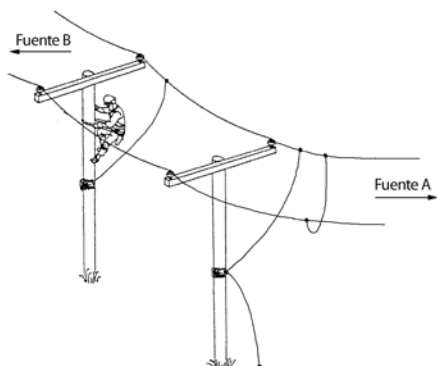


Método equipotencial sobre torre metálica
Figura 11-3

Este método ofrece protección al trabajador dentro de la zona equipotencial. Otros trabajadores en la misma torre podrían o no verse afectados durante una falla. Aunque la torre estará sometida a una subida de tensión, si los trabajadores no están situados en un camino de paso de corriente, puede que sus cuerpos no estén sometidos a una diferencia de potencial. Por otra parte, un trabajador situado entre el punto de contacto del juego de tierra y la Tierra puede sufrir una descarga eléctrica dependiendo de la resistencia del acero, la cantidad de corrosión en las diversas uniones, la tensión existente y la resistencia del camino en serie.

Zona de trabajo alejada de las puestas a tierra (distancia limitada)

En algunos casos puede ser preciso trabajar a cierta distancia del poste o apoyo en el que está colocado el equipo completo de puestas a tierra. Para ofrecer seguridad al trabajador alejado de las puestas a tierra se requiere un juego de tierra personal, compuesto por una barra de soporte múltiple y un único puente de puesta a tierra. Debe tenerse en cuenta que este método exige la instalación tanto del equipo completo de puestas a tierra denominado Equipotencial (o de protección de punto único) y además el juego de tierra personal.



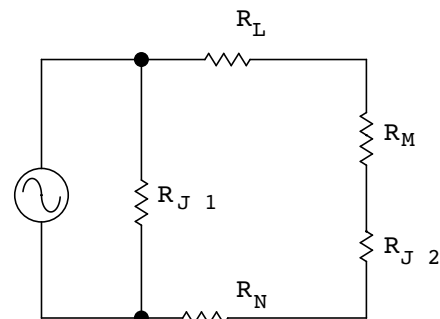
Puente personal, alejado de la zona de trabajo
Figura 11-4

En un poste de madera, se monta una barra de soporte múltiple debajo de los pies del trabajador y el juego de tierra conecta la barra de soporte al neutro. En este caso, el camino de baja resistencia en paralelo con el trabajador está a cierta distancia. El camino del trabajador está formado por los tramos de conductor y neutro hasta el equipo completo de tierra de protección alejado de la zona de trabajo del trabajador más el puente.

En este caso, es importante conocer la intensidad de cortocircuito máxima previsible y el calibre del conductor y el neutro. Mediante técnicas descritas anteriormente, puede determinarse si la división de la corriente de falla dará lugar a una tensión a través del trabajador que excede el nivel máximo seleccionado. También deberá tenerse en cuenta la dirección de la fuente de corriente. Esto queda ilustrado por el circuito mostrado en la Figura 11-4. Se realiza un cálculo para ambos puentes colocados entre el trabajador y la fuente y otro cálculo para el caso de los juegos de tierra instalados más allá del trabajador y de la fuente. Hay una diferencia sustancial en las intensidades de corriente a través del hombre con una resistencia de 1.000 ohmios en estos casos.

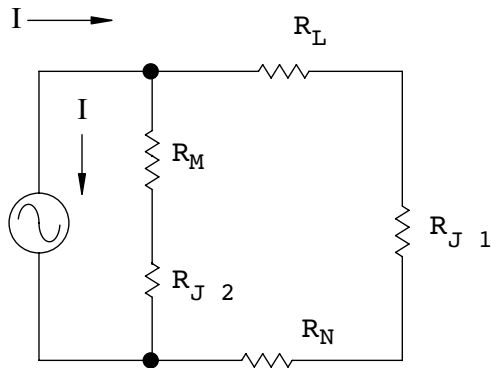
- $I_{FUENTE} = 10.000$ amperios.
- $R_L = 1$ vano de conductor, es decir 91 m de cable 2/0 ACSR = 0,024 ohmios
- $R_N = 1$ vano de neutro, es decir 91 m de cable 2/0 ACSR = 0,024 ohmios
- $R_{J1} =$ Resistencia de puente = 0,001 ohmios
- $R_{J2} =$ Resistencia de puente = 0,001 ohmios
- $R_M =$ Resistencia del trabajador = 1.000 ohmios

Puentes de protección personal entre el lugar de trabajo y la Fuente A:



$$\begin{aligned}
I_M &= I_{FUENTE} \times [R_{J1} / (R_{J1} + R_L + R_M + R_{J2} + R_N)] \\
&= 10.000 \times [(0,001 / (0,001 + 0,024 \\
&\quad + 1.000 + 0,001 + 0,024)] \\
&= 10 \text{ miliamperios} \\
&\text{o } 10 \text{ voltios a través del trabajador.}
\end{aligned}$$

Puentes de protección personal al otro lado de la zona de trabajo y la Fuente B: **Esta es una situación a evitar.**



$$\begin{aligned}
I_M &= I_{FUENTE} \times (R_L + R_{J1} + R_N) / (R_L + R_{J1} \\
&\quad + R_N + R_M + R_{J2}) \\
&= 10.000 \times (0,024 + 0,001 + 0,024) / \\
&\quad (0,024 + 0,001 + 0,024 + 1.000 + 0,001) \\
&= 490 \text{ miliamperios}
\end{aligned}$$

o 490 voltios a través del trabajador.

El criterio de las compañias varía en cuanto al alejamiento admisible del equipo de puesta a tierra, es decir, el numero de vanos permitidos. El cálculo está basado en las condiciones específicas de cada compañía en cuanto a intensidad de cortocircuito previsible, valor preestablecido de tensión máxima a través del trabajador, resistencia de conductores (longitud y resistencia por unidad de longitud) y dirección respecto de la fuente. Este método requiere tanto evaluaciones de campo por parte de los trabajadores de mantenimiento como análisis por parte de los departamentos de seguridad y de ingeniería de cada compañía. Sera necesario modificar los valores de R_L y R_N dados en el ejemplo anterior.

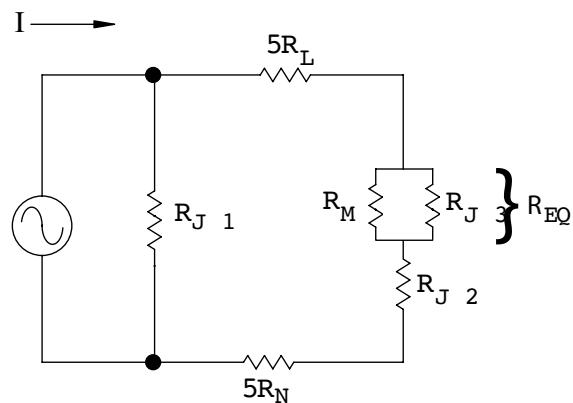
Zona de trabajo separada de las puestas a tierra modificada añadiendo un puente personal

En algunos casos las circunstancias requieren trabajar a cierta distancia de las puestas a tierra para llevar a cabo el trabajo. Como se ha indicado anteriormente, esta puede ser una situación de riesgo. La utilización de la puesta a tierra personal mencionada en el apartado Zona de trabajo alejada de las puestas a tierra (distancia limitada) puede modificarse añadiendo un puente de protección

entre la barra de soporte múltiple y el conductor, puesto que se prevé un contacto con el mismo, en paralelo con el trabajador para proteger al trabajador subido al apoyo. También aquí deberá tenerse en cuenta el alejamiento respecto del equipo completo de puestas a tierra. En este caso siempre habra un equipo completo de puestas a tierra de protección así como una puesta a tierra de baja resistencia en paralelo con el trabajador, asegurando una intensidad de corriente más baja a través del trabajador y la rápida eliminación de la tensión en la línea.

Para ampliar el alejamiento admisible respecto del equipo completo de puesta a tierra, podra añadirse el puente al puente personal descrito anteriormente. La instalación de las puestas a tierra de la barra de soporte múltiple al neutro y de la barra a la fase en la que se está trabajando garantiza que el trabajador siempre estara en paralelo con una puesta a tierra de baja resistencia.

Supongamos que el lugar de trabajo está ahora a cinco vanos del equipo completo de puestas a tierra de protección personal instalado del lado más alejado de la fuente. El valor de R_L y R_N ahora es $(5 \times 0.024) = 0,120$ ohmios cada una.



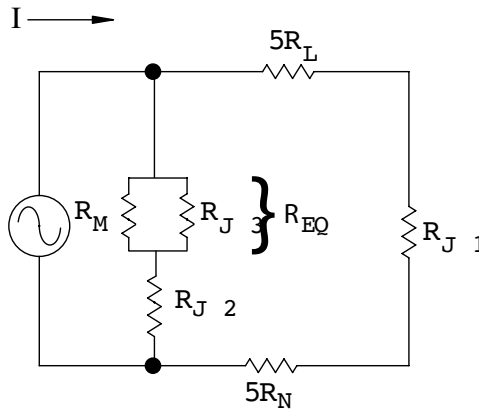
$$R_{EQ} = (R_M \times R_{J3}) / (R_M + R_{J3})$$

$$I_{EQ} = I_{FUENTE} \times [R_{J1} / (R_{J1} + R_L + R_{EQ} + R_{J2} + R_N)] = 41,2 \text{ amperios}$$

$$I_{HOMBRE} = I_{EQ} \times [R_{J3} / (R_{J3} + R_{HOMBRE})] = 41,2 \text{ microamperios}$$

o una tensión a través del cuerpo de 41 milivoltios.

Supongamos ahora que la zona de trabajo está a cinco vanos del equipo completo de puesta a tierra de protección personal instalado del lado más próximo a la fuente. Nuevamente R_L y $R_N = 0,120$ ohmios cada una.



La combinación en paralelo formada por el trabajador y R_{J3} sigue siendo 0,001 Ohm

$$I_{EQ} = [(R_L + R_{J1} + R_N) / (R_{J2} + R_{EQ} + R_L + R_{J1} + R_N)] = 9.918 \text{ amperios}$$

Ahora usemos la Ecuación 5 para hallar la intensidad de corriente a través del trabajador.

$$I_M \cong 10.000 \times (R_{J3} / (R_{J3} + R_M)) = 10 \text{ miliamperios}$$

O una tensión a través del cuerpo de 10 voltios

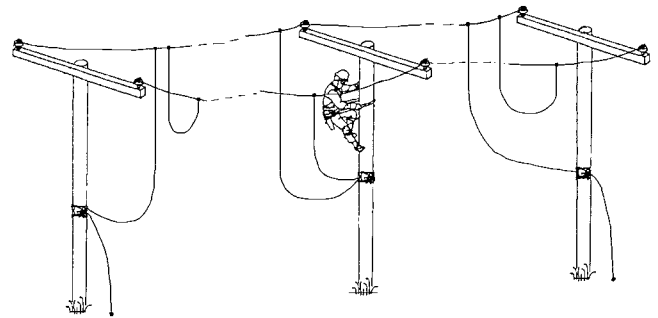
Esto es una mejora sustancial respecto a los 490 voltios existentes anteriormente cuando la zona de trabajo estaba a solo un vano del equipo completo de puesta a tierra de protección personal.

Trabajo entre puestas a tierra instaladas en apoyos alejados

Puede realizarse una mejora a la zona de trabajo anteriormente descrita mediante el puente personal adicional que elimina el problema de la dirección de la fuente. La instalación de un segundo equipo completo de puesta a tierra, pero alejado del lugar de trabajo del lado contrario al del equipo completo inicial elimina el aumento de la intensidad a través del trabajador si la falla viene de la otra dirección. En la Figura 11-6 se ilustra esta configuración. Así se asegura un camino de paso de corriente de baja resistencia más próximo a la fuente que la zona de trabajo independientemente de la dirección de la fuente, el cual activará los sistemas de protección de la línea en el tiempo mínimo. El camino de baja resistencia situado en paralelo cerca del trabajador asegura la protección de este.

Trabajo entre puestas a tierra instaladas en la zona de trabajo

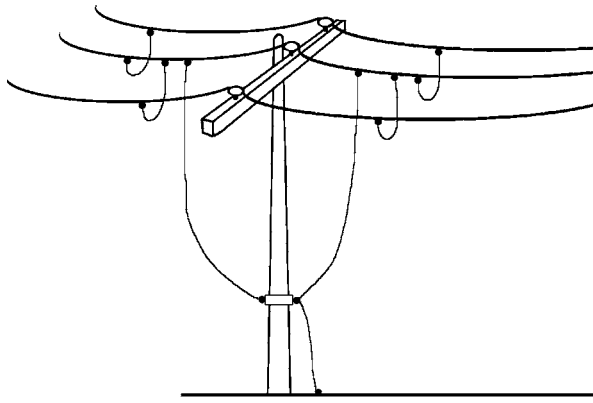
La utilización de dos juegos de puestas a tierra de protección también era un método anteriormente utilizado para trabajar entre puestas a tierra. En este caso, la zona de trabajo se encuentra a nivel del conductor, sobre un único poste. Se instala un juego de puestas a tierra junto al lugar de trabajo del lado más próximo a la fuente y otro juego del lado de la carga. Este método no presenta el riesgo de las puestas a tierra a ambos lados instaladas en apoyos alejados, ya que el trabajador está en una zona equipotencial reducida, véase la Figura 11-7.



Puestas a tierra a ambos lados separadas por múltiples vanos con puente personal en la zona de trabajo
Figura 11-6

Esta configuración tiene una ventaja asociada. Recordemos que pasará algo de corriente por cada uno de los posibles caminos. Esto significa que la corriente de falla se dividirá entre las dos puestas a tierra de baja resistencia instaladas sobre el conductor que está tocando el trabajador y el propio trabajador. La división de la corriente de falla, significa menos corriente a través de cada puesta a tierra, por lo que pueden usarse juegos de puesta a tierra de protección personal de menor sección. Este es un método de protección frente a intensidades de cortocircuito previsible muy elevadas en vez de aumentar el tamaño del cable y las grapas para adecuarse a la mayor intensidad de corriente.

Si bien esto se ha denominado “trabajo entre puestas a tierra”, en realidad se trata de un ejemplo de creación de una zona equipotencial usando puentes en paralelo para aumentar la capacidad de conducción de corriente.



Puesta a tierra a ambos lados en un solo apoyo
Figura 11-7

Trabajadores de apoyo en tierra

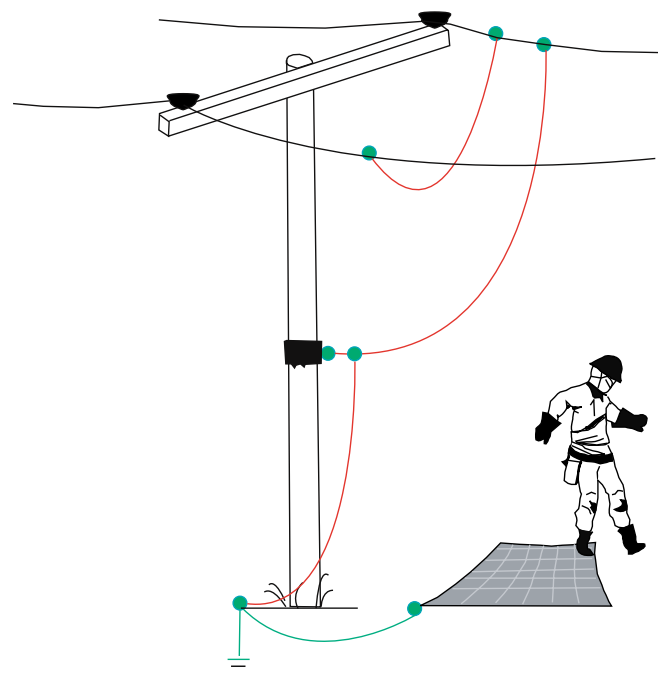
Existen métodos para proteger al trabajador en altura. Ahora bien, es más difícil proteger al trabajador en tierra frente al doble problema de los riesgos de potencial de paso o de contacto. Los métodos de protección siguen siendo los mismos: Aislamiento, separación física o utilización de zonas equipotenciales. Podrían utilizarse alfombrillas o botas de goma aislante. Pero en tal caso la alfombrilla tendría que ser de gran tamaño, y además mantener la integridad dieléctrica de alfombrillas o botas podría resultar difícil. Al caminar por suelos irregulares podría perforarse parcial o totalmente el aislamiento, eliminando la protección. La inspección visual no sería tan fácil como para los guantes de goma.

Las pantallas se utilizan frecuentemente para evitar mediante separación física cualquier posible contacto entre el trabajador y un elemento energizado. Una vez que el trabajador subido al apoyo está preparado con todos los elementos y herramientas que necesita, podría apantallarse el apoyo sobre el que se está trabajando. Manteniendo una distancia segura de trabajo respecto a cualquier elemento que pudiera resultar energizado, el trabajador de apoyo estaría a salvo de lesiones. Deberá actuarse con precaución siempre que se necesite bajar la pantalla para subir más herramientas o componentes de línea.

También podría utilizarse la técnica de zonas equipotenciales. Para ello se colocaría una alfombrilla o rejilla conductora bajo los pies del trabajador que estaría unida eléctricamente al punto de contacto susceptible de resultar energizado. Con este método se elimina la tensión de paso o contacto, ya que la alfombrilla conductora sube uniformemente hasta casi alcanzar la

tensión a la que está conectada. De esta manera se minimiza la tensión desarrollada a través del cuerpo del trabajador mediante el mismo camino de baja resistencia en paralelo descrito anteriormente.

Un riesgo oculto de este método es que se transmite la tensión máxima de paso entre el punto de contacto a Tierra y el borde de la alfombrilla conductora. El trabajador debe obligatoriamente permanecer sobre la alfombrilla durante una falla. Si se saliera de ella, estaría puenteando los mismos 90 cm de caída de tensión tal y como se expuso anteriormente. En la Figura 11-8 se ilustra esta técnica. Por tanto, el trabajador deberá tomar precauciones adecuadas como son el uso de peldaños aislantes o saltar para entrar y salir de la alfombrilla.



Potencial de paso
Figura 11-8

A modo de ejemplo del potencial de paso, las palancas de los seccionadores aéreos a menudo están conectadas a rejillas sobre las que deberá colocarse el operario para realizar la maniobra.

Trabajo con camiones y equipos o en su proximidad

Se necesita una zona equipotencial de protección al realizar trabajos de mantenimiento desde una barquilla aislada. Si la pluma es de metal, el trabajador ofrecerá un camino principal a tierra en caso de energización accidental de un conductor mientras el trabajador está en contacto con el mismo. Conectando la punta de la pluma

al conductor se crea el camino de baja resistencia en paralelo.

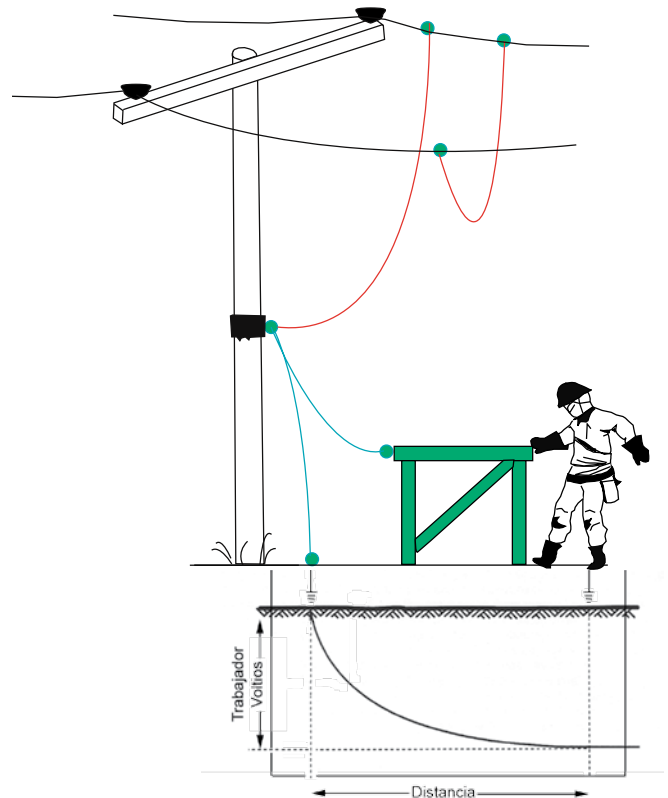
Este no es el riesgo si el camión tiene una pluma aislada. El aislamiento de la pluma interrumpe el camino de paso de la corriente a través del trabajador a tierra. No obstante, la escasa separación entre fases en las líneas de distribución y algunas líneas de transporte puede presentar un riesgo diferente. El trabajador puede inclinarse hacia una fase mientras trabaja sobre otra fase. O podría tocar el poste, la cruceta o un viento mientras trabaja sobre una fase. Cualquiera de estos contactos involuntarios podría poner al trabajador en una situación de riesgo. Utilizando un juego completo de puestas a tierra de protección personal tal y como se ha descrito anteriormente, el trabajador podrá permanecer en paralelo con puestas a tierra de baja resistencia mientras realiza su trabajo.

Los trabajadores de apoyo en tierra que trabajan en la proximidad de camiones u otros equipos se enfrentan a un importante riesgo de paso y contacto. Por ejemplo, si el codo inferior de una pluma aislada toca una fase energizada, el camión resultará energizado y posiblemente el trabajador en tierra no sea consciente de ello. No hay camino de retorno a la fuente a través de la pluma aislada. Por otra parte, el trabajador subido a la cesta probablemente tampoco se haya dado cuenta del problema. La resistencia a través de las piezas del camión, neumáticos, estabilizadores y la Tierra puede ser lo suficientemente elevada para mantener la intensidad de corriente por debajo de la que se considera una corriente de falla. En tal caso, los dispositivos de protección de la instalación (interruptores, reenganches, etc.) no actuarán. La energización del camión es un motivo frecuente de accidentes alrededor de camiones u otros equipos.

Vamos a considerar un camión que ha resultado energizado, con sus estabilizadores y neumáticos en contacto con la tierra. Supongamos también que la intensidad de corriente no alcanza el umbral de corriente de falla y no actúan los interruptores o fusibles. Cualquier persona que se aproxime al camión y toque una parte metálica de este esencialmente estará tocando la tensión que hay en la línea. Recordemos que: para estar protegido, un trabajador deberá estar aislado, separado físicamente o en paralelo con un camino de baja resistencia.

Los ensayos realizados muestran que la tensión a través del cuerpo de una persona situada justo al lado de un estabilizador se ve reducida.

Esto se debe a que el estabilizador es de acero, y aunque haya mayor resistencia, es conductor. El estabilizador actúa como camino de menor resistencia, reduciendo la tensión a través de la persona al aumentar la tensión del punto de contacto con la Tierra a casi la misma tensión que el propio camión. Esto no se considera una zona de trabajo segura. La resistencia de los estabilizadores varía en función de su fabricación y ubicación (sobre hormigón, bloques de madera seca, sobre asfalto o directamente sobre la Tierra).



Potencial de contacto
Figura 11-9

No obstante, si la persona toca cualquier otra parte del camión, la tensión a través de su cuerpo será mayor debido a la ubicación del trabajador. Recordemos que la tensión se reduce a la mitad con cada 90 cm de separación del punto de conexión a tierra. Si el contacto se produce cerca de la parte trasera del vehículo, el potencial en la superficie de la tierra en este punto está próximo a cero. Por consiguiente, la persona estará expuesta a toda la tensión de la línea a través de su cuerpo. Si los estabilizadores están colocados sobre bloques de madera seca, posiblemente no haya buena conexión con tierra y cualquier contacto con el vehículo podría resultar mortal. Este es un ejemplo excelente, aunque letal, del riesgo de "potencial de contacto" ilustrado en la Figura 11-9.

Poner a tierra el camión no cambia nada. Solo se estará protegiendo la instalación. Una puesta a tierra conectada a una varilla clavada en la tierra contribuye a que la instalación detecte la corriente de falla y actúen los interruptores o fusibles, pero no ofrece ninguna protección a la persona en contacto con el camión con los pies en la tierra. El camión ya tiene múltiples puntos de contacto con la tierra, que son los neumáticos y los estabilizadores. Cada uno de estos puntos de contacto transmite la tensión del camión a tierra. Al añadirse un nuevo punto de contacto solo se produce una redistribución de la corriente disponible entre los caminos disponibles. Se han realizado estudios para comprobar estas situaciones. Véase la Tabla 11-1.

cuenta es el de las quemaduras por arco eléctrico generado por una corriente de falla.

Normalmente para realizar el mantenimiento de los equipos sobre el suelo es preciso desenergizar los cables que suben de bajo tierra. Esto generalmente implica colocar los codos enchufables de ambos extremos del cable en un soporte puesto a tierra, una boquilla pasante con codo de puesta a tierra calibrado para la intensidad de cortocircuito, u otro método equivalente permitido por las normas de trabajo de la compañía. De esta manera quedan unidos eléctricamente entre sí en dichos puntos los conductores centrales, neutros concéntricos y la tierra. Se observarán normas similares para el trabajo en arquetas.

Tabla 11-1

Camión energizado a 7,2 kV (5 ensayos)		
	Voltios a través del trabajador	Intensidad a través del trabajador
Camión no puesto a tierra, solo neumáticos y estabilizadores	de 5.397 a 5.856	de 5,8 a 6,3 amperios.
Camión puesto a tierra, varilla clavada a 9 m del camión	de 5.304 a 5.601	de 5,8 a 6,0 amperios.

Para asegurar la protección de las personas alrededor de un camión, todas las herramientas que se necesiten, el recipiente de agua para beber, y otros, deberán retirarse del camión antes de elevar la pluma. Después deberá colocarse un sistema de pantallas que impidan tocar el camión durante la realización de los trabajos. Una vez llevado esto a cabo podrá elevarse la pluma y comenzar los trabajos. Las pantallas no deberán retirarse hasta que la pluma se haya replegado a una posición claramente alejada de las fases.

Los métodos de aislamiento se basan en el uso de guantes de goma y alfombrillas aislantes en los puntos de conexión, tales como seccionadores o transformadores. A menudo los equipos cerrados son tan compactos que resulta difícil, cuando no imposible, el trabajo con guantes o pértigas aisladas. En vista de esta dificultad, posiblemente los trabajadores se resistan a utilizar este método. El aislamiento no es un método práctico para trabajar con cables enterrados entre puntos de conexión. Es casi imposible pelar cables y realizar empalmes con guantes de goma.

Podrían colocarse alfombrillas portátiles de puesta a tierra alrededor del camión y conectadas a este. Con esto se crea una zona equipotencial para el trabajador. No obstante, este deberá permanecer sobre la alfombrilla durante todo el tiempo que la pluma permanezca elevada y hasta que se haya replegado y resulte seguro salirse de ella.

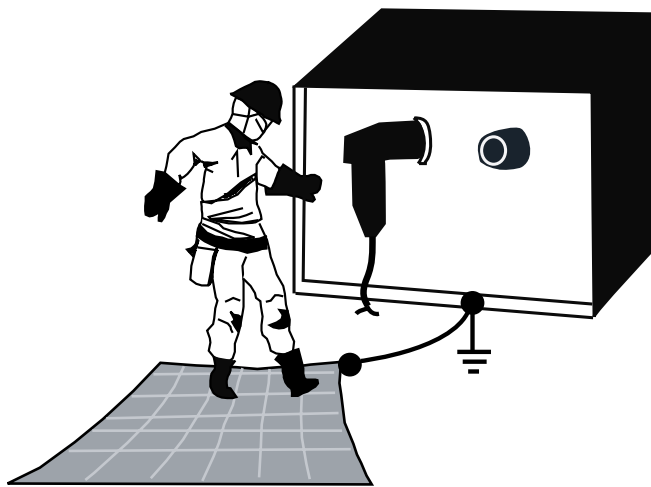
El método de separación física se basa en mantener al trabajador apartado de cualquier situación que permita el contacto con toda fuente posible de tensión. La alternativa es separar totalmente los equipos de cualquier fuente de alimentación. Esto puede resultar inviable en la práctica ya que requeriría extraer y separar cada una de las conexiones existentes. Así pues, este método también está plagado de dificultades de realización similares al método de aislamiento.

Instalaciones subterráneas

La protección de los trabajadores en instalaciones de cable subterráneo resulta más difícil debido a lo compactos que son los equipos, la ubicación de los trabajos y la dificultad de definir procedimientos de trabajo seguros en este entorno. No obstante, los mismos métodos de protección siguen siendo válidos: aislamiento, separación física o zona equipotencial. Su implementación puede resultar más difícil. En los espacios confinados de los equipos cerrados, un riesgo adicional a tener en

El método equipotencial resulta más indicado para su aplicación en puntos de conexión, seccionadores, transformadores, etc. Dado que el trabajador está trabajando sobre la tierra y manipulando elementos que pueden resultar energizados, debe establecerse una zona de protección. Dicha zona puede establecerse uniendo eléctricamente una alfombrilla conductora al

elemento que normalmente está energizado (una vez desenergizado). Nota: el codo está colocado sobre un soporte temporal puesto a tierra. La zona queda establecida por dicha conexión y la alfombra debajo del trabajador. Mientras el trabajador permanezca sobre la alfombra, la tensión desarrollada a través de su cuerpo estará limitada a la caída de tensión a través de esta conexión en paralelo. Esto se ilustra en la Figura 11-10. Puede ampliarse el tamaño de la alfombra para incluir a un segundo operario o la colocación de herramientas mediante alfombrillas adicionales unidas eléctricamente a la primera. Las alfombrillas deberán permanecer unidas eléctricamente durante la realización del trabajo y la resistencia entre manos y pies del camino total en paralelo con el trabajador en contacto con el cable debe mantenerse baja.



Uso de una alfombra conductora para desarrollar una zona equipotencial
Figura 11-10

El método equipotencial también es adecuado para ciertas tareas realizadas entre los puntos de conexión, aunque no para otras. Añadir un seccionador o transformador entre los seccionadores o transformadores ya existentes exige cavar, cortar e instalar equipos. Primeramente se desenergizan los cables y se dejan expuestos cavando alrededor. Si las conexiones de los extremos se han puesto a tierra a los dos lados, el cable está desconectado y a la vez puesto a tierra. A menudo se usan penetradores de cable para verificar la ausencia de tensión en el conductor que se va a cortar. Un penetrador de cable es parecido a una grapa pero con una punta móvil montada en el perno de ojo. El penetrador se coloca alrededor del cable usando una pértiga de gancho retráctil o dispositivo hidráulico para mantener una distancia de seguridad, y se aprieta para penetrar y conectar la cubierta al neutro concéntrico y el conductor central. Si el conductor

está energizado, se producirá un arco eléctrico al neutro. Se trata de una forma rudimentaria pero eficaz de asegurarse de que la línea desenergizada es la correcta.

Después de esta comprobación puede comenzarse el trabajo. Deberá extremarse la precaución durante el corte del cable para cerciorarse de que este permanece desenergizado, ya que no existe protección hasta que el conductor haya quedado expuesto y unido eléctricamente a la alfombra. A menudo esta tarea se realiza mediante cortadoras hidráulicas accionadas a distancia. Deberá realizarse una conexión temporal entre los neutros concéntricos a ambos lados del corte para mantener la continuidad, ya que actúa como parte de un neutro de la instalación. Seguidamente se puede unir eléctricamente al neutro una alfombra conductora sobre la que se podrá trabajar. Los dos tramos de conductor central no podrán incluirse en la unión equipotencial hasta no quedar expuestos. Mientras se pela el cable, existirá un riesgo si la línea resulta energizada accidentalmente. Una vez concluidas las conexiones, según se muestra en la Figura 11-11A, la alfombra desarrolla una zona equipotencial para el trabajador en caso de que el cable resultara reenergizado por una falla en cualquiera de las dos direcciones.

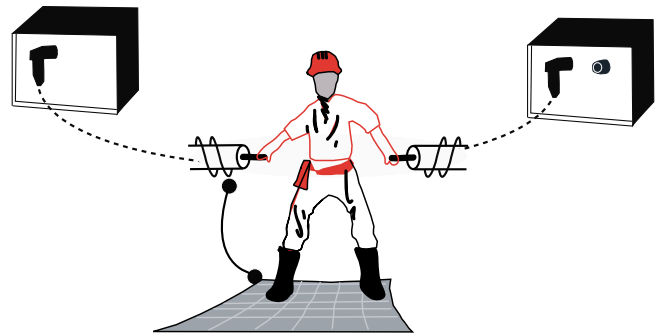


Figura 11-11A

NO hay protección para un trabajador que esté empalmando un conductor en mitad de un vano frente a una energización accidental hasta que los dos extremos del cable hayan sido adecuadamente retirados a un soporte provisional y se hayan colocado puentes de protección. Desafortunadamente, no existe una manera práctica de colocar una grapa sobre el conductor en el lugar del empalme sin antes retirar la cubierta y el aislamiento del conductor. La configuración de la Figura 11-11A no ofrece ninguna protección en el lugar de trabajo si el cable resulta accidentalmente energizado desde cualquiera de los extremos. Si se produce tal eventualidad, el trabajador se encuentra en el camino principal de paso de corriente a través de la alfombra puesta a tierra.

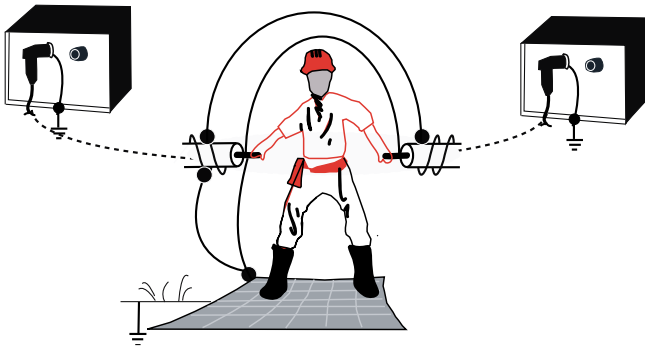


Figura 11-11B

En la Figura 11-11B se muestra un método para desarrollar una zona equipotencial en la que tanto el trabajador como la alfombra portátil de tierra quedan excluidos del camino principal de paso de corriente. Dicha configuración exige conectar una puesta a tierra al conductor principal a cada lado del corte, lo que exige retirar la cubierta protectora y el aislamiento del cable para realizar las conexiones de protección. Durante esta fase inicial del trabajo puede ser preciso utilizar guantes de goma salvo que se haya verificado la total ausencia de tensión en el cable y el neutro. Asimismo deberá ponerse el debido cuidado para reparar los puntos de colocación de las grapas de tierra al concluir los trabajos de reparación o instalación de un empalme en T. Posiblemente se precisen guantes de goma durante esta fase final. Con una zona de trabajo equipotencial establecida en el lugar de la intervención, si el conductor resulta accidentalmente energizado antes de concluida la instalación del empalme, la tensión de los conductores centrales, neutro concéntrico y alfombra portátil subirá en todos ellos a casi el mismo nivel asegurando la protección del trabajador.

Si se retiran los puentes para instalar un empalme, se perderá la protección. Si no se establece por completo una zona de trabajo equipotencial en el lugar del empalme y el conductor previamente puesto a tierra resulta accidentalmente energizado una vez colocado el empalme, los extremos puestos a tierra se verán afectados por la falla. Si el trabajador está en contacto con el conductor y tierra, podría sufrir una descarga eléctrica al convertirse en un camino distinto de paso de corriente. Un trabajador en contacto con la tierra y un conductor desnudo en el punto del empalme tendría una caída de tensión a través de su cuerpo que rebasaría los niveles de seguridad. Es por ello que el trabajador deberá utilizar guantes de goma de la clase de tensión adecuada.

La comunicación es un factor importante para garantizar la seguridad de los trabajadores. Las conexiones puestas a tierra en cada extremo del cable deberán señalizarse adecuadamente y no tocarse hasta tener la absoluta certeza de que el trabajador está a una distancia segura de cualquier tramo energizado del cable. El cable deberá ensayarse antes de reenergizarse para comprobar que el empalme se ha realizado correctamente.

En situaciones en las que no sea factible utilizar puentes de protección para realizar conexiones entre ambos lados del corte incluyendo una puesta a tierra temporal, no se recomienda utilizar una alfombra de tierra temporal. Sin los puentes de bypass colocados, no se puede establecer una zona equipotencial y el trabajador deberá utilizar otros medios de protección.

Si el conductor resulta energizado debido a que otro trabajador coloca el codo previamente puesto a tierra en una borna energizada, con el empalme montado, el extremo contrario puesto a tierra garantizará la detección de una falla por la instalación puesto que el soporte temporal puesto a tierra conecta el conductor central con el neutro y tierra. La resistencia de la tierra mantendrá la tensión en el punto de conexión a un nivel elevado hasta que los dispositivos de protección de la instalación despejen la falla. Durante este tiempo el neutro concéntrico y el conductor central tendrán la misma tensión. Con puestas a tierra temporales conectando los neutros, y una alfombra conductora bajo el trabajador conectada al neutro, el trabajador se encuentra en una zona equipotencial de mayor resistencia, véase la Figura 11-12.

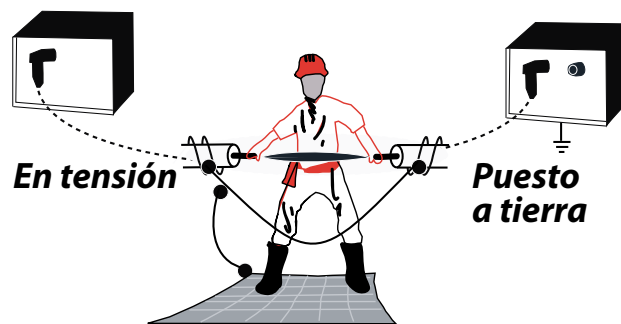


Figura 11-12

En ausencia de puestas a tierra temporales que conecten los neutros a ambos lados del corte, la seguridad de la zona de trabajo dependerá de la ubicación de la conexión de la alfombrilla conductora mientras se está separando y preparando el conductor. Por ejemplo, si la alfombrilla solo está conectada al neutro del lado de la fuente, pero un accidente provoca la energización de la línea desde el otro lado, no hay protección frente a un contacto del trabajador. El conductor central y el neutro del lado de la fuente están ambos a potencial de tierra por medio del soporte temporal puesto a tierra del lado de la fuente, y al tocar el lado de la carga el trabajador queda sometido a la totalidad de la tensión de falla a través de su cuerpo. No obstante, si el accidente provoca que la línea resulte energizada desde el lado de la fuente, existe una zona equipotencial. Véase la Figura 11-13. Es preciso usar guantes de goma en tales situaciones hasta que se haya establecido una zona equipotencial completa.

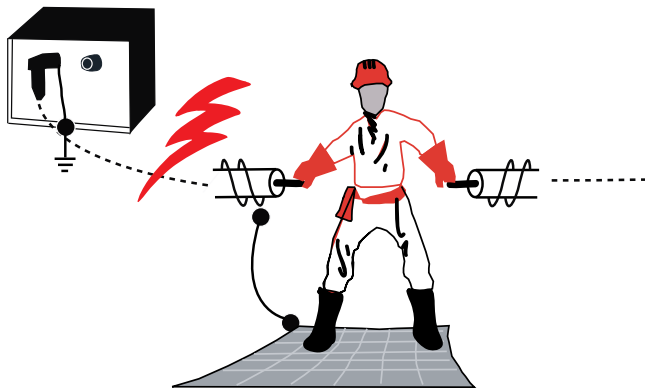


Figura 11-13

En todos los casos anteriores se da por supuesto que el neutro concéntrico del que tanto depende está presente de forma ininterrumpida hasta la fuente de tensión. A menudo esto es difícil de comprobar en el campo, puesto que los cables subterráneos están enterrados y no pueden verse con facilidad. Las compañías eléctricas deberían revisar periódicamente sus procedimientos de trabajo en instalaciones subterráneas para identificar métodos susceptibles de aumentar la seguridad de los trabajadores. Las instalaciones subterráneas siguen representando las situaciones más difíciles a la hora de asegurar la protección de los trabajadores.

Subestaciones

La utilización de puestas a tierra de protección personal en subestaciones es más fácil y a la vez más difícil. Resulta más fácil al haber disponibles conexiones adecuadas para los puntos de retorno de corriente. Pero es más difícil porque los valores máximos de intensidad de cortocircuito tienden a ser sustancialmente más elevados, exigiendo el uso de juegos de tierra y grapas más grandes y pesados. Además, debido a la gran variedad de equipos instalados que exigen distintas consideraciones, modalidades y posicionamientos de conexión de los equipos, la malla subterránea contribuye a minimizar el potencial de paso, pero por contra aumenta la posibilidad de potencial de contacto. Cada tarea debe considerarse por separado y no pueden establecerse reglas universales.

Las tensiones y corrientes inducidas son muy frecuentes al trabajar en subestaciones puesto que el mantenimiento se realiza sobre uno o unos pocos elementos mientras el resto de la subestación permanece en tensión. Un juego de puesta a tierra reduce el efecto de las tensiones inducidas por acoplamiento capacitivo, pero la colocación de múltiples puentes permitirá el paso de la corriente inducida a través del lazo así formado. Se trata del mismo fenómeno descrito anteriormente en el caso de las líneas de transporte con trazados paralelos.

Una subestación normalmente alimenta a varios circuitos, lo que significa que la intensidad de cortocircuito es mayor que en un lugar de trabajo alejado.

Como alternativa al empleo de equipos de puesta a tierra de cada vez mayor tamaño pueden utilizarse varios juegos colocados en paralelo. Consulte el Capítulo 7 (Teoría de las puestas a tierra de protección personal) donde se describe la colocación en paralelo de puentes de puesta a tierra de protección personal. Otra manera de poner a tierra corrientes de falla de gran intensidad es mediante seccionadores de puesta a tierra. Estos dispositivos, instalados de forma permanente, se dejan abiertos hasta que surge la necesidad de establecer una conexión a tierra durante los trabajos de mantenimiento. Representan un

método conveniente de puesta a tierra de una barra ómnibus desenergizada o la línea conectada a esta, pero pueden formar un lazo de corriente inducida. Su utilización está muy extendida en las grandes subestaciones.

Debido a la gran sección, longitud y peso de los equipos de puesta a tierra de protección, a veces se precisa ayuda para su instalación. Una herramienta de gran ayuda para elevar una grapa para barra ómnibus con uno o dos cables AWG 4/0 es el Conjunto de gancho elevador Chance (gancho de pastor). Está formado por un largo mango aislado con un gran gancho en un extremo. Cerca del gancho hay una polea para cuerda. El gancho se coloca sobre la barra ómnibus y se conecta la cuerda a la grapa que va a montarse sobre la barra. Un segundo trabajador va guiando y aprieta la grapa con una pértiga de gancho retráctil (frecuentemente llamada "pértiga escopeta") de igual longitud. La cuerda deberá estar limpia y seca para ser considerada aislante.

Otros equipos especializados para la instalación de puestas a tierra de protección personal en subestaciones son una diversidad de terminales de ojo, estribos y pernos de soporte. Todos ellos están diseñados como puntos permanentes de conexión para los equipos de protección necesarios para trabajar con seguridad. En la Figura 11-14 se muestran algunos de dichos dispositivos.



Dispositivos especializados de conexión
Figura 11-14

Deberá extremarse la atención al trabajar en equipos instalados en subestaciones. Por ejemplo, los transformadores tienen la capacidad de elevar tensiones bajas a niveles mortales. Incluso los equipos de comprobación conectados a los devanados de baja tensión pueden elevar la tensión de salida a niveles de alta tensión. Las baterías de condensadores deben descargarse antes de trabajar con ellos. Sus terminales deben mantenerse en cortocircuito para evitar que la migración de carga desde el material dieléctrico a los terminales vuelva a generar un riesgo eléctrico. Los grandes cables eléctricos y sus terminaciones pueden mantener una cierta carga. Por ello deberán ponerse y mantenerse a tierra antes de su manipulación o corte.

Los métodos de colocación de puentes de tierra de protección personal en subestaciones son similares a los métodos utilizados en zonas de trabajo alejadas. El principio básico de mantener un camino de baja resistencia próximo y en paralelo con el trabajador sigue siendo el mismo. Una diferencia es que puede añadirse a la protección un puente de puesta a tierra a cierta distancia de la propia zona de trabajo en una subestación equipada con malla de tierra enterrada. Aun cuando las múltiples conexiones contribuyen a aumentar la capacidad global de conducción de corriente, presentan otros problemas. A mayor separación mayor será el lazo formado por los puentes, el trabajador y la malla. A medida que aumenta dicho lazo, la tensión a través del trabajador aumentará también. Esto supone un riesgo si se va a colocar o retirar a mano el puente personal.

Recuerde que en las torres alejadas cuando se colocaban puentes en apoyos contiguos y no había conexión entre ellas y su base en la zona de trabajo, el trabajador estaba sometido a la totalidad de la tensión puesto que el potencial de tierra en dicho punto se mantenía próximo a cero. Si se produce una falla en una subestación, toda la malla asciende a la tensión de la línea, limitando la tensión que pueda desarrollarse a través del trabajador así como el potencial de paso.

Los mismos principios son válidos en cuanto a la colocación, dimensionamiento y colocación en paralelo de los puentes de tierra que en cualquier otro lugar de trabajo.

La presencia de transformadores da lugar a un alto grado de inductancia en los circuitos de la subestación. Esta combinación presenta el problema particular de las corrientes asimétricas. Las corrientes asimétricas y sus problemas se describen a continuación y en el Anexo B. Las fuerzas mecánicas asociadas a un pico de corriente asimétrica podrían ser sustancialmente mayores puesto que la fuerza magnética aumenta en función del cuadrado de la intensidad. Es decir, el doble de intensidad genera una fuerza cuatro veces mayor. La combinación del calentamiento adicional del conductor por la corriente asimétrica y el aumento de las fuerzas mecánicas puede provocar la separación prematura de los juegos de puesta a tierra. La Tabla B-1^[6] (en el Anexo B) se utiliza para el dimensionamiento de equipos destinados a aplicaciones en las que las corrientes asimétricas son un factor a tener en cuenta.

El problema de las corrientes asimétricas debe tenerse en cuenta al seleccionar equipos de puesta a tierra de protección personal destinados a su uso en subestaciones. Se trata de una corriente que comienza tras la reenergización repentina de una línea previamente desenergizada para realizar trabajos de mantenimiento. Inicialmente la corriente se ve considerablemente desplazada del eje del cero si la comparamos con una corriente simétrica normal. Esto se debe a la gran cantidad de inductancia de las reactancias y transformadores normalmente existentes en las subestaciones frente a la escasa resistencia de las barras ómnibus. Cuanto mayor sea la relación entre inductancia y resistencia, más pronunciada será la desviación inicial. El pico de corriente del primer ciclo puede llegar a ser 2,7 veces el valor normal de corriente eficaz con una relación X/R de 30:1. Este tipo de onda desplazada del eje del cero se muestra en la

Figura 11-15. Dependiendo de la relación X/R, esta descompensación va decayendo para transformarse en una corriente simétrica normal tras un cierto número de ciclos a partir de la iniciación de la corriente.

La fuerza mecánica asociada a la corriente varía en función del cuadrado de la intensidad. Así, pues, la fuerza mecánica generada puede ser casi cuatro veces superior al nivel normal con la relación de asimetría del 90% mostrada anteriormente. Los puntos de conexión de aluminio soldados a la barra ómnibus pueden separarse de esta bajo la acción de dichas fuerzas o las propias grapas pueden partirse, eliminando toda protección ofrecida por las puestas a tierra. La corriente asimétrica también genera un calentamiento adicional, reblandeciendo más el cobre y haciendo posible su rotura por debajo del régimen asignado del cable. Deberá, pues, contarse con equipos de características especiales capaces de soportar estas fuerzas sin que se vea afectada su capacidad de conducción de corriente.

Estas circunstancias se conocen desde hace muchos años, pero generalmente no suponían un problema. Los equipos utilizados se comportaban satisfactoriamente porque las intensidades de corriente eran menores y las fuerzas más pequeñas. No obstante, su importancia ha aumentado con la creciente demanda de electricidad y la cada vez mayor dimensión de las subestaciones necesarias para atender este aumento de la demanda en muchas zonas. Se recomienda que las compañías eléctricas se coordinen adecuadamente con sus proveedores de equipos para garantizar que los elementos de puesta a tierra seleccionados sean de la suficiente capacidad para soportar estas condiciones.

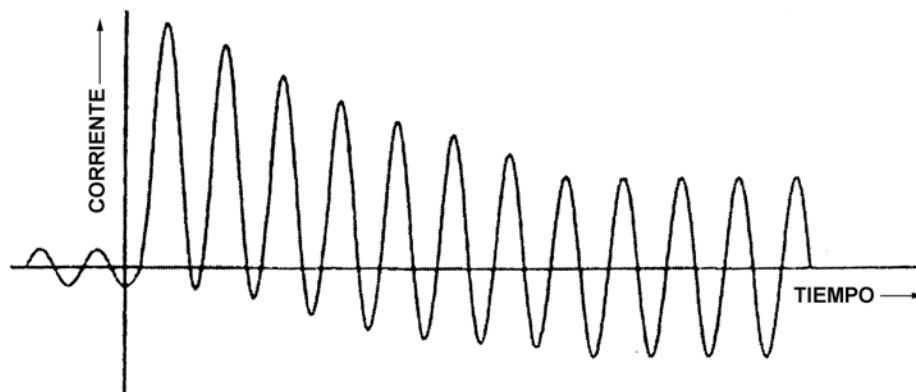


Figura 11-15