

Métodos básicos de protección

Capítulo 9

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

Métodos de colocación de puentes de protección personal

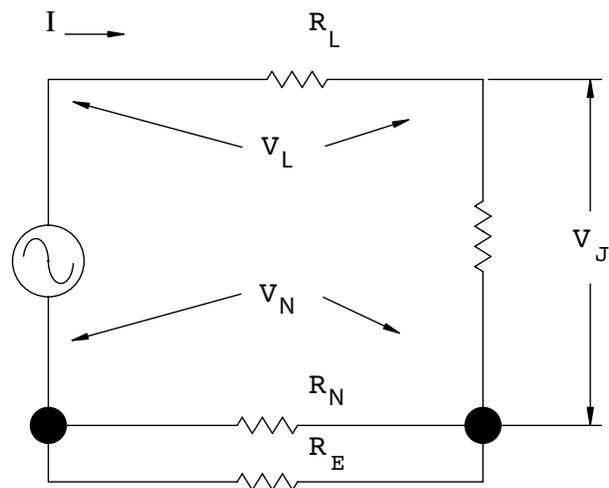
Los métodos basados en la separación y el aislamiento no siempre pueden adaptarse a los lugares de trabajo elevados, por lo que se desarrollaron otros métodos. Actualmente se utiliza la puesta a tierra en la zona de trabajo, la puesta a tierra en puntos alejados a ambos lados de la zona de trabajo, puesta a tierra a ambos lados de la zona de trabajo y puesta a tierra combinada. En este capítulo se describen el método equipotencial o de punto único y el método más antiguo de puestas a tierra a ambos lados, los más frecuentes. Hoy en día, el método recomendado es el Equipotencial, o de Punto único (como se le denomina a veces), que se utiliza siempre que resulta posible su aplicación.

Debe recordarse que intervienen muchas variables en la evaluación de un método adecuado de puesta a tierra de protección. Algunas de las variables clave que suele desconocer el trabajador en la zona de trabajo son la impedancia de la fuente, la resistencia de neutro a tierra o resistividad del suelo y la resistencia de un poste de madera. Algunas de las variables conocidas o que pueden estimarse son la intensidad máxima de cortocircuito previsible, la distancia desde la fuente de alimentación, la presencia de un neutro, el calibre del conductor o neutro, la presencia de tirantes y el espacio de poste entre tirantes.

Un término utilizado frecuentemente en este capítulo es el de subida de potencial. Se trata de la subida de tensión en proximidad de la zona de trabajo, y depende de los valores de resistencia de los diversos elementos de circuito presentes. Las combinaciones de estos pueden dar lugar a un número casi infinito de situaciones en el lugar de trabajo. No obstante, con un dominio de los principios básicos, estimaciones de las magnitudes desconocidas y sentido común puede desarrollarse un método apto para múltiples situaciones. Por ejemplo, en presencia de un neutro la subida de tensión durante una falla monofásica (el peor caso) puede alcanzar el 50% o más de la tensión de la línea.

El valor real dependerá muy poco del valor de resistencia del retorno a través de tierra puesto

- V_L = Caída de tensión en conductor de fase
- V_N = Caída de tensión en neutro
- $V_L = V_N$ si el calibre y la longitud son iguales
- V_J = Caída de tensión en puente de protección personal ≈ 0 (casi 0)



Circuito de protección con neutro incluido
Figura 9-1

que este se encuentra en paralelo con el neutro, de baja resistencia. Para una explicación, véase lo expuesto en relación con la Figura 5-7. Si el calibre del conductor del neutro es menor que el del conductor de fase, la tensión en la zona de trabajo será de más del 50% de la fuente puesto que la división de la tensión está en función de la fracción que representa la resistencia del neutro sobre la resistencia total del circuito. Nuevamente, deberá consultarse el Capítulo 5 para la explicación.

Para garantizar el máximo nivel de seguridad, la tensión deberá reducirse a un nivel por debajo del umbral de fibrilación cardíaca, según lo expuesto en el Capítulo 2, sobre teoría médica. No basta con reducir la tensión a través del cuerpo desde un nivel elevado que produzca lesiones o quemaduras graves a un nivel que pueda provocar fibrilación cardíaca, que a menudo tiene consecuencias mortales.

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

La clave del éxito de un método de protección equipotencial está en situar al trabajador en un camino en paralelo con un conductor de resistencia lo suficientemente baja para derivar los niveles peligrosos de corriente hacia dicho conductor y limitar la tensión máxima a través del cuerpo a un nivel aceptable. Recuerde que siempre pasará cierta cantidad de corriente por todos los caminos posibles, pero las corrientes se dividen en proporción inversa a la resistencias de los distintos caminos. La utilización de un puente de baja resistencia es el factor primordial. El segundo factor clave es asegurar que los

dispositivos de protección de la línea eliminen rápidamente la falla.

Este método suele denominarse de “Puesta a tierra de punto único”, “Puesta a tierra de la zona de trabajo” o “Puesta a tierra equipotencial”. El documento OSHA 29 CFR 1910.269 exige la colocación de puestas a tierra siempre que sea posible. Este método utiliza múltiples puentes en el lugar de trabajo para asegurar tanto la protección de los trabajadores como el rápido funcionamiento de los dispositivos de protección de la línea.

Técnicamente hablando, el término “Equipotencial” significa de igual potencial, es decir, elementos que están a la misma tensión (o igual potencial). Potencial es sinónimo de tensión. A los efectos de puestas a tierra de protección, se refiere a la tensión desarrollada a través de un trabajador durante el paso de una corriente de falla. La tensión no puede ser exactamente la misma puesto que el paso de corriente a través de cualquier elemento con resistencia genera una caída de tensión (véase Ecuación 2 del Capítulo 1). Esta caída puede ser muy pequeña comparada con las típicas tensiones de línea. La tensión a través del trabajador será la misma que a través del puente, puesto que este está formando un circuito en paralelo con el trabajador. Por tanto la tensión máxima a través del trabajador está en función de la intensidad de cortocircuito que pasa por el puente de protección personal. Esto viene dado por la Ecuación 2 en una de sus formas ($V_{\text{HOMBRE}} = R_{\text{PUENTE}} \times I_{\text{PUENTE}}$). $I_{\text{PUENTE}} = I_{\text{FALLA}}$ a todos los efectos prácticos debido al valor extremadamente bajo de la resistencia del puente. Esta tensión deberá limitarse al valor máximo seguro seleccionado.

Este método requiere puentes de tierra de protección adicionales más allá del mínimo de un puente en paralelo con el trabajador según lo descrito en los párrafos precedentes. Deberán unirse eléctricamente todas las fases, el neutro y una conexión a tierra en el lugar de trabajo. La puesta a tierra en paralelo con el trabajador asegura la protección de este. La unión eléctrica de las fases al neutro y tierra asegura la máxima rapidez de despeje de la falla. Con ello se satisfacen los dos requisitos para una zona de trabajo segura, un camino de baja resistencia en paralelo al trabajador y el tiempo más corto de energización posible. La múltiple conexión al neutro y a tierra ofrece un doble camino de retorno para asegurar un despeje rápido de la falla. Esto podría ser un factor crítico si el neutro estuviera infradimensionado y careciera de la capacidad de

conducción de corriente suficiente para evitar su fusión durante el paso de la corriente de falla. La subida de potencial en el lugar de trabajo sigue estando en función de la resistencia del retorno a través de tierra y las resistencias del conductor de fase y el neutro. En muchos casos, el nivel máximo alcanzado estará en torno al 50% de la tensión de línea en el momento de su puesta en tensión accidental.

Las conexiones a realizar recomendadas para un apoyo de madera son:

- Un juego de puesta a tierra desde una toma de tierra hasta una barra de soporte múltiple montada bajo los pies del trabajador
- Un juego de puesta a tierra desde la barra de soporte múltiple al neutro
- Un juego de puesta a tierra desde la barra de soporte múltiple al conductor de fase más próximo
- Un juego de puesta a tierra desde dicho conductor de fase al siguiente conductor de fase
- Por último, un juego de tierra al último conductor de fase

Puede utilizarse un juego de tierra para conectar a un cable de guarda situado por encima de las fases y el neutro. Normalmente el cable de guarda no debería utilizarse como único camino de retorno. Suele ser cable de acero, que tiene una resistencia más elevada. Y no siempre ofrece un camino ininterrumpido de retorno a la fuente de alimentación, ya que puede estar deliberadamente interrumpido a determinados intervalos. No obstante, puede ofrecer una conexión a múltiples caminos de retorno a tierra, ayudando a dividir cualquier corriente de falla.

Es la resistencia del/los juego(s) de tierra de protección en paralelo con el trabajador la que deberá mantenerse por debajo del valor máximo calculado, ya que este es el puente que asegura la protección del trabajador. Su resistencia deberá estar basada en el valor máximo de intensidad o de tensión a través del cuerpo establecido por la compañía eléctrica. Para ello deberá seleccionarse una longitud y sección de conductor adecuadas, teniendo en cuenta que la resistencia aumenta con la longitud y disminuye con la superficie de sección transversal. Los restantes juegos de tierra se dimensionarán adecuadamente para evitar que se fundan durante el paso de la corriente de falla. Estos juegos de tierra tienen la misión de maximizar la intensidad de cortocircuito para que los dispositivos de protección de la línea actúen lo más rápidamente posible.

Veamos un ejemplo para ilustrar el procedimiento de cálculo de dicho valor máximo de resistencia. Los valores utilizados en el ejemplo se han seleccionado solo para este ejemplo. Primero, pediremos al departamento de ingeniería los datos de intensidad máxima de cortocircuito previsible y tiempo máximo de actuación de los interruptores de protección. A continuación, el departamento de seguridad de la compañía nos facilitará el valor de tensión máxima o de corriente máxima a través del trabajador, o ambos valores.

Supongamos: Intensidad de cortocircuito máxima previsible en la zona de trabajo = 12.000 amperios.
 Tiempo máximo de actuación del interruptor: 20 ciclos (0,333 seg.)
 Valor aceptado de seguridad:
 Tensión a través del trabajador,
 $V_{\text{TRABAJADOR, MÁX}} = 100$ voltios,
 o bien Intensidad a través del trabajador, $I_{\text{TRABAJADOR, MÁX}} = 1/3$ de nivel de fibrilación cardiaca
 Peso medio de un trabajador = 70 kg.
 Resistencia media de un hombre = 1,000 ohmios

$$I_{\text{FIBRILACIÓN}} = I = k/\sqrt{t}$$

donde $k = 157$ para 70kg.
 y $t = 0,333$ segundos

$$I_{\text{FIBRILACIÓN}} = 272 \text{ miliamperios}$$

$$I_{\text{TRABAJADOR, MÁX}} = 1/3 \times I_{\text{FIBRILACIÓN}} = 1/3 \times 272 = 91 \text{ miliamperios}$$

$$I_{\text{HOMBRE}} = \frac{(R_{\text{PUENTE}})}{(R_{\text{HOMBRE}} + R_{\text{PUENTE}})} \times I_{\text{DISPONIBLE}}$$

Si despejamos R_{PUENTE} :

$$R_{\text{PUENTE}} = R_{\text{HOMBRE}} \times [I_{\text{HOMBRE}} / (I_{\text{FALLA}} - I_{\text{HOMBRE}})]$$

$$R_{\text{PUENTE}} = 1.000 \text{ ohmios} \times [0,091 \text{ amperios} / (12.000 \text{ amperios} - 0,091 \text{ amperios})] = 0,0076 \text{ ohmios o } 7,6 \text{ miliohmios}$$

Por tanto:

$$V_{\text{HOMBRE}} = I_{\text{PUENTE}} \times R_{\text{PUENTE}}$$

$$= (12.000 \text{ amperios} - 0,091 \text{ amperios}) \times 0,0076 \text{ ohmios} = 91,2 \text{ voltios}$$

Por lo que se cumple el requisito.

Con esto se cumplirán los dos requisitos especificados. Ahora será necesario seleccionar los componentes para cada uno de los juegos de puesta a tierra.

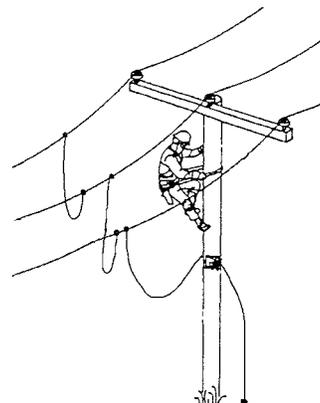
Es importante tener en cuenta que la resistencia que calcularemos es el valor máximo permitido para el/los juegos de tierra completo(s) colocados en paralelo con el trabajador. Cuando el trabajador pasa de tocar una fase a otra, la cantidad de puentes en paralelo con su cuerpo puede variar, dependiendo de las características de la instalación. Deberá tomarse en cuenta el número máximo que puedan estar en paralelo en un determinado momento. En una instalación trifásica, el trabajador, si no se posiciona cuidadosamente, podría colocar su cuerpo en paralelo con hasta tres puentes en serie, como puede verse en las Figuras 9-2 y 9-3.

El cable se selecciona de la Tabla 8-1. La intensidad de cortocircuito máxima de 12.000 amperios durante 20 ciclos rebasa el régimen de corriente del AWG #2, por lo que se selecciona el AWG 1/0. Las tablas de características nos indican que el cable de tierra de cobre AWG 1/0 tiene 0,33 miliohmios/metro. Vamos a suponer una resistencia conjunta de 0,5 miliohmios. Por lo que tenemos tres puentes de 3 metros a 1,98 miliohmios cada uno, es decir, 5,94 miliohmios en total.

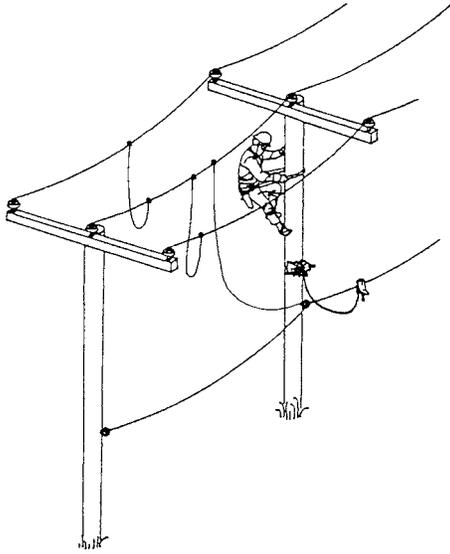
Con una cuidadosa colocación de puentes en el lugar de trabajo, nos aseguramos de que nunca haya más de dos juegos de tierra en serie en paralelo con el cuerpo del trabajador. De esta manera se satisfacen las especificaciones de seguridad.

La corrosión en la línea puede añadir la suficiente resistencia en los puntos de conexión del trayecto paralelo al trabajador como para exceder la intensidad de corriente a través de este considerada segura por su compañía.

Si es preciso utilizar puentes más largos, deberá plantearse la conveniencia de utilizar cable de mayor calibre para mantener la resistencia bajo el límite establecido.



En paralelo con hasta tres puentes en serie
 Figura 9-2



En paralelo con hasta dos puentes en serie
Figura 9-3

Las resistencias de las puestas a tierra de protección que aseguran la conexión a tierra y al neutro deberán dimensionarse adecuadamente para evitar su fusión por la intensidad de cortocircuito máxima previsible. Estas puestas a tierra aumentan la seguridad de la zona de trabajo al proporcionar un camino de retorno, pero no están en paralelo con el trabajador, por lo que su caída de tensión no se suma a la tensión a través del trabajador.

Múltiples puestas a tierra en paralelo

Toda puesta a tierra que no tenga otra en paralelo deberá tener un régimen de corriente suficiente para soportar la totalidad de la intensidad de cortocircuito previsible. En algunos casos podrán precisarse múltiples puestas a tierra en paralelo para soportar la intensidad de cortocircuito previsible. Esto también se hace para mayor comodidad de los trabajadores cuando los equipos se vuelven tan pesados que resultan difíciles de colocar. Para que la intensidad a través de cada puesta a tierra en paralelo sea igual, estos juegos deberán ser idénticos para que cada camino ofrezca la misma resistencia. Las grapas se colocarán lo más cerca posible entre sí. Puesto que se esperan intensidades de cortocircuito más elevadas, los cables deberán atarse al apoyo para minimizar latigazos o daños mecánicos a las grapas. Cuando se utilice este método y se aten los cables entre sí, se rebajará en un 10% el régimen de corriente de cada una de las puestas a tierra dispuestas en paralelo. Se evitará enrollar los cables alrededor del apoyo ya que esto aumenta el acoplamiento entre los cables y el apoyo y aumenta la intensidad o tensión inducida en el apoyo.

Por ejemplo:

Supongamos que la intensidad de cortocircuito máxima previsible es 40.000 amperios mantenida previsiblemente durante 15 ciclos. Los puentes de protección personal disponibles están formados por grapas de clasificación ASTM 5 y cable AWG 2/0. Cada juego tiene un régimen de 27.000 amperios durante 15 ciclos.

Las opciones son aumentar la sección del cable a AWG 4/0 o colocar dos juegos en paralelo. Si consultamos la Tabla 8-1 (Capítulo 8) vemos que el régimen de corriente soportada del cable AWG 4/0 es de 43.000 amperios durante 15 ciclos. Para cables en paralelo, el régimen rebajado de corriente soportada de los juegos originales con cable 2/0 es de 24.300 amperios cada uno. Por tanto si colocamos dos juegos en paralelo tenemos un régimen de corriente de 48.600 amperios. Esto cumple los requisitos en cuanto a régimen de corriente y la colocación de las puestas a tierra resultará más aceptable. Debe tenerse en cuenta que no existe protección durante la colocación de las puestas a tierra hasta que no se haya colocado por completo el segundo juego en paralelo ya que la corriente excede el régimen de un solo juego.

Puesta a tierra de doble punto o a ambos lados

Durante muchos años se acostumbraba a colocar los puentes de protección en apoyos a ambos lados de la zona de trabajo, uno hacia la fuente de alimentación, y el otro hacia la carga. A esto se le denomina “trabajar entre puestas a tierra” y se considera bastante seguro. Un comentario que se podía oír frecuentemente es que si la corriente viene de la derecha, la corriente retornará a través de las puestas a tierra de la derecha. Y si la corriente viene de la izquierda, la corriente retornará a través de las puestas a tierra de la izquierda. ¡Esto es totalmente absurdo! Pasará algo de corriente por cada uno de los posibles caminos. En una de las modalidades, los dos juegos de puesta a tierra se colocaban en apoyos distintos a ambos lados del trabajador. Si se analiza detenidamente este método veremos que no siempre resulta seguro. De hecho, en algunos casos es el más peligroso.

Primero vamos a considerar una línea trifásica con equipos de puesta a tierra trifásicos conectados entre los conductores de fase y el neutro, o tierra. Hay diversas variables que afectan a este planteamiento de protección. Una de ellas es el equilibrio relativo entre las fases, el requisito de que la falla sea trifásica para que el trabajador esté seguro, y la ubicación de la zona de trabajo

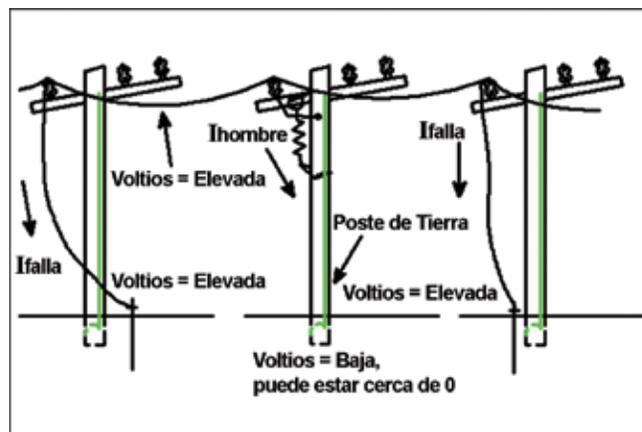
respecto al punto central entre las dos puestas a tierra a los lados.

La corriente de cortocircuito resultante de una falla trifásica en un sistema equilibrado retorna a la fuente de alimentación a través de los conductores de fase. Únicamente la corriente resultante de un desequilibrio en el sistema pasa por el puente de conexión al neutro o a tierra. Pero el trabajador no tiene manera de saber lo bien equilibrado que está el sistema, y generalmente no está bien equilibrado.

Ahora vamos a considerar una falla monofásica, mucho más común que una falla trifásica. Normalmente los dos juegos de puestas a tierra a los lados están colocados en apoyos contiguos o incluso más alejados del lugar de trabajo. Si una línea puesta en descargo resulta energizada accidentalmente, la tensión del conductor asciende hasta el nivel de tensión que puede soportar el sistema antes de que los equipos de detección de fallas actúen y despejen la tensión de la línea. Las puestas a tierra de protección tienen resistencias muy bajas, por lo que la tensión alcanzada en la línea es transmitida desde el punto de conexión de la puesta tierra al punto de conexión del neutro y/o tierra en los apoyos próximos. Esto hace que las bases de las torres donde se hace la conexión a tierra alcancen un nivel de tensión casi igual al de la línea. Pero como en la zona de trabajo delimitada por las puestas a tierra de protección no hay conexión alguna entre el conductor y tierra, no se produce un aumento de la tensión en la Tierra ni en la base de la torre bajo el lugar de trabajo. La tensión de la Tierra o base de la torre se mantendrá próxima a cero. Si la estructura del apoyo es conductora (acero) o si hay un tirante próximo al trabajador en un poste de madera, el potencial junto a los pies de este permanece próximo a cero. Si el trabajador está en contacto con el conductor en el momento en que la línea resulta energizada, su cuerpo quedará expuesto a toda la tensión alcanzada por la línea. Recordemos, cuanto mayor sea la resistencia, mayor será la caída de tensión desarrollada a través de la resistencia. Consulte la Figura 5.7 y su texto asociado si es preciso. En este tramo del circuito en serie, la resistencia del trabajador (que se supone igual a 1.000 ohmios) es la más grande con diferencia en la mayoría de los casos. Suponiendo una resistencia de la Tierra de 25 ohmios, esto significa que la casi totalidad de la caída de tensión es a través del trabajador, representando una fracción igual a $V_{\text{fuente}} \times [1000 / (1000 + 25)]$.

En la Figura 9-4 se ilustra esta situación. Esta situación puede provocar lesiones o la muerte a

tensiones de distribución, ya que no existe ningún camino de baja resistencia por el que pueda derivarse la corriente evitando su paso por el trabajador. Por tanto el trabajador forma parte del camino entre la línea, a través de su cuerpo, y el retorno a través de Tierra.



**Puesta a tierra a ambos lados,
apoyos contiguos
Figura 9-4**

Si el trabajador está en un poste de madera sin tirantes, el poste y su cuerpo pasan a formar parte del circuito en serie entre el conductor y la Tierra. La fracción de la tensión a través del trabajador dependerá tanto de la resistencia de su cuerpo como de la del poste. En algunos casos, esto aumenta la protección del trabajador. En otros, podría no ser así.

Recordemos que la tensión en un circuito se divide en la misma proporción que la resistencia de cada elemento sobre la resistencia total del circuito. ¿Cuál es la resistencia del poste? Los valores medidos de resistencia de postes oscilan entre unos pocos miles de ohmios y varios megaohmios. Así pues, podría haber una amplia variación de la tensión a través del trabajador si no se toman otras precauciones. En una torre de acero se produce una situación similar. ¿Cuál es la resistencia de la torre y cómo se divide la tensión? Hay que tener en cuenta la falla de un neutro en la instalación considerada en nuestro supuesto. Esto deja al trabajador como conexión directa a tierra. En otras instalaciones puede haber un neutro. Las puestas a tierra conectadas entre las fases y el neutro ofrecen un camino de baja resistencia para el retorno de la corriente a la fuente. Esto constituye un camino de baja resistencia en paralelo con el camino de alta resistencia a través de tierra. Si el trabajador sigue estando en un camino distinto de retorno de la corriente (por ejemplo, si el neutro está montado sobre un aislador) la resistencia del neutro suele ser tan baja que la mayor parte de

la corriente retorna por el neutro, reduciendo la cantidad de corriente que pasaría por el trabajador. En algunos casos, esto puede ofrecer una cierta protección al trabajador, gracias a la suerte más que a la planificación.

A menudo las puestas a tierra a ambos lados están colocadas a gran distancia entre sí, para permitir al trabajador ir desplazando la zona de trabajo dentro de este intervalo. A medida que la zona de trabajo se aproxima a la fuente, dentro del tramo delimitado por las puestas a tierra, aumenta la intensidad de corriente a través del trabajador. A la inversa, a medida que la zona de trabajo se traslada al extremo más distante del tramo delimitado por las puestas a tierra, disminuye la intensidad de corriente a través del cuerpo del trabajador. Al trasladar la zona de trabajo hacia la fuente de alimentación disminuye la resistencia entre la puesta a tierra del lado de la fuente y el trabajador, motivando el aumento de la corriente a través del trabajador. Al desplazarse en sentido opuesto, se añade más resistencia, reduciendo así la corriente que pasa por el trabajador. Véase el circuito en paralelo que se muestra en la Fig. 5-6. Al variar la resistencia de cualquiera de los caminos en paralelo se alterará la división de la corriente en el circuito en paralelo.

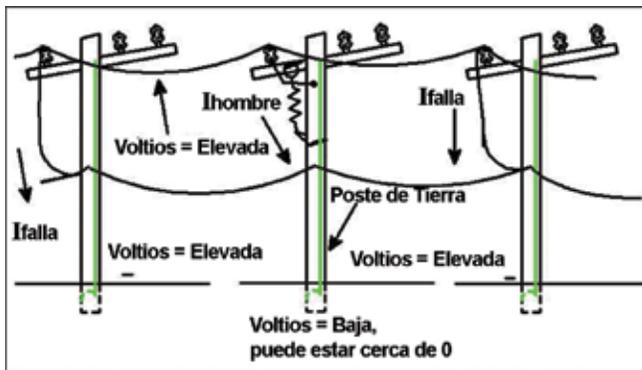
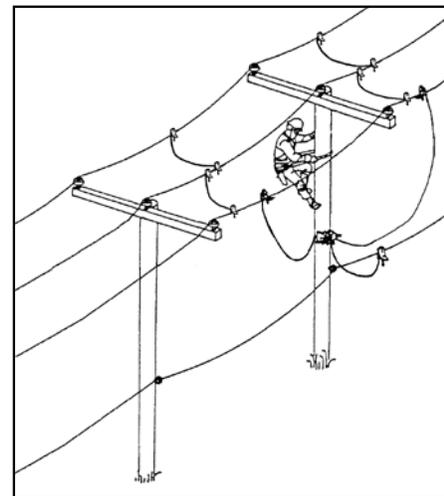


Figura 9-5

Aquí, el trabajador deberá aplicar su buen juicio para analizar la zona de trabajo y las variables y condiciones existentes. Dado que tantas de las situaciones posibles en las puestas a tierra a ambos lados exigen la evaluación por parte del trabajador de las condiciones específicas de la zona de trabajo, se recomienda desarrollar un método de trabajo adecuado que evite la necesidad de dichas evaluaciones in situ.

Vamos a considerar ahora la situación en la que se colocan dos juegos de puesta a tierra de protección sobre el mismo apoyo, uno a cada lado del trabajador. Esta modalidad es una adaptación del Método de doble punto, descrito anteriormente,

y del Método equipotencial. En la Figura 9-6, las fases se han conectado entre sí y a una barra de soporte múltiple debajo de los pies del trabajador. El trabajador está protegido por los juegos de tierra de baja resistencia directamente en paralelo con su cuerpo, y no por el hecho de que haya un juego a cada lado. Esta técnica tiene una ventaja asociada. Si la intensidad de cortocircuito máxima previsible es muy elevada, pueden utilizarse puentes con cables de menor sección puesto que la corriente se divide ahora entre los dos juegos. Esto posiblemente facilite su colocación, redundando en una mayor aceptación por parte del trabajador debido al menor peso. Deberá prestarse atención al dimensionamiento de cualquier conexión única de esta configuración que deba soportar la totalidad de la corriente. Es decir, si puede usarse un cable de menor calibre para unir eléctricamente las fases a una barra de soporte múltiple desde ambos lados del trabajador, el único cable de conexión entre dicha barra y tierra o el neutro deberá ser de mayor sección para soportar la totalidad de la corriente.



Puesta a tierra a ambos lados, mismo apoyo
Figura 9-6

A menudo se precisa la puesta a tierra a ambos lados para reparar averías por tormentas. Se utiliza cuando hay un conductor roto caído en el suelo. En tal caso, es preciso colocar puestas a tierra en los apoyos a cada lado de la avería. Pero si la línea resulta energizada y el trabajador está en el suelo a potencial de tierra, este también ofrece un camino de retorno. En tal caso, el trabajador debería trabajar sobre una alfombrilla conductora unida eléctricamente a los dos extremos del conductor mientras realiza la reparación, a fin de mantener la misma tensión entre manos y pies.

Hay otras situaciones de mantenimiento que no se prestan a la puesta a tierra de punto único

(o equipotencial de la zona de trabajo). En la mayoría de tales casos resultaría viable la puesta a tierra en dos puntos siempre que se combine con un medio adecuado de protección del trabajador (véase Puesta a tierra combinada más adelante).

Juego único de puesta a tierra en bypass - Requisito mínimo de protección del trabajador

En esta configuración se utilizaría únicamente un solo puente junto con una barra de soporte múltiple. Dicho puente uniría el conductor sujeto a mantenimiento a la barra de soporte múltiple bajo los pies del trabajador. El puente asegura el camino necesario de baja resistencia en paralelo con el cuerpo del trabajador. Como en todos los circuitos en paralelo, la totalidad de corriente disponible se divide entre el puente y el trabajador si este último se encuentra en contacto en el momento de paso de la corriente.

El que se desvíe suficiente corriente del camino del cuerpo del trabajador para mantener un entorno seguro dependerá de las respectivas resistencias del cuerpo y del puente. Para utilizar este método, primero deberá contarse con ciertos datos o estimaciones. Se precisa conocer la intensidad de cortocircuito máxima previsible en la zona de trabajo, el valor supuesto de resistencia del trabajador y del juego de tierra de la longitud requerida, así como la resistencia del camino restante a tierra (poste o torre) ya que este sería el camino de retorno. Con estos datos, se pueden realizar los cálculos oportunos de dimensionamiento del puente de protección. Puede utilizarse la Ecuación 7, una repetición de la Ecuación 5a, para dicho cálculo.

$$I_{\text{HOMBRE}} = I_{\text{DISPONIBLE}} \times \frac{(R_{\text{PUENTE}})}{(R_{\text{HOMBRE}} + R_{\text{PUENTE}})} \quad \text{Ec. 7}$$

Nuevamente puede usarse la teoría de circuitos en paralelo para hallar la resistencia máxima del juego de tierra que permite mantener la intensidad de corriente a través del cuerpo por debajo del nivel predeterminado. Aun cuando la corriente sea muy pequeña debido a una resistencia elevada del poste y la tierra, la división porcentual entre los caminos de paso de corriente sigue estando en la relación calculada. Evidentemente, a mayor intensidad de corriente, menor deberá ser la resistencia del juego de tierra de protección para que la corriente a través del cuerpo no rebase el umbral de seguridad.

Si el trabajador está sobre un poste de madera con solo un juego de tierra de protección colocado, la resistencia del poste y del retorno a través de tierra son las que limitan la corriente. La puesta a tierra protegería al trabajador, pero la intensidad de corriente puede ser tan baja que los dispositivos de protección de la instalación no detecten la falla, dejando energizada la línea durante largo tiempo.

Esta solución es incompleta puesto que los equipos de protección de la instalación podrían no detectar la existencia de la falla, o porque las estimaciones podrían estar totalmente equivocadas. Por tanto, no se recomienda dicho método. No obstante, si se desarrolla, puede obtenerse un método válido.

Puesta a tierra combinada

Una modalidad aceptable del método de único juego de tierra en bypass es la utilización de un único juego de tierra en bypass y ADEMÁS las puestas a tierra a ambos lados. Las puestas a tierra a ambos lados comunican a los equipos de protección la existencia de una falla en la instalación. El puente único de tierra en bypass, denominado juego de tierra de protección, va conectado entre la barra de soporte múltiple y el conductor que se va a tocar. Asegura un camino paralelo de baja resistencia sin precisar la colocación en el lugar de trabajo de todo un juego de puestas a tierra en todas las fases, neutros, etc. Este método combinado permite garantizar la seguridad del trabajador cuando la zona de trabajo se desplaza de un apoyo a otro, dentro de la zona de trabajo delimitada por los dos juegos de puesta a tierra a ambos lados.

Es importante que el trabajador no toque ningún conductor salvo el conectado al puente único de derivación a tierra. Por ejemplo, si el operario entrara en contacto con la fase B cuando el puente de tierra está conectado a la fase A, el recorrido de derivación de la corriente sería ahora el tramo de la fase B hasta la puesta a tierra a un extremo y volviendo al lugar de trabajo por la fase A hasta la barra de soporte múltiple. La resistencia añadida de los tramos adicionales de conductor podría resultar mortal, dependiendo de la resistencia de los conductores.

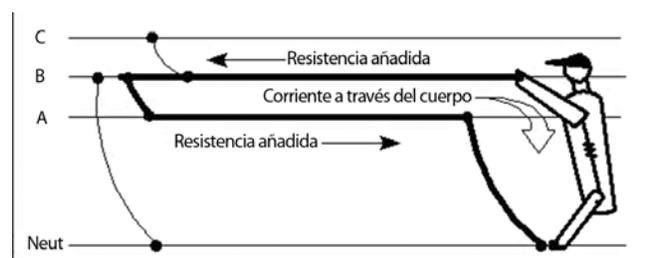


Figura 9-7