

Table of Contents

1 Seguridad en instalaciones eléctricas.....2

1.1 Efectos fisiológicos de la electricidad.....2

1.2 Toma de tierra.....5

1.3 Ley de Ohm, aplicada a las descargas.....14

1.4 Soluciones.....15

# 1 Seguridad en instalaciones eléctricas

## 1.1 Efectos fisiológicos de la electricidad

La mayoría de nosotros hemos experimentado alguna forma de "descarga" eléctrica, en la que la electricidad provoca en nuestro cuerpo dolor. Si tenemos suerte, el alcance de esa experiencia se limita a cosquilleos o a descargas de electricidad. Cuando trabajamos con circuitos eléctricos capaces de suministrar grandes potencias a las cargas, las descargas eléctricas se convierten en un problema mucho más grave, y el riesgo de sufrirlas es mucho mayor. En estos casos, el dolor es la consecuencia menos grave de la descarga.

Cuando la corriente eléctrica se conduce a través de un material, cualquier oposición a ese flujo de electrones (resistencia) provoca una disipación de energía, normalmente en forma de calor. Este es el efecto más básico y fácil de entender de la electricidad en los tejidos vivos: la corriente hace que se calienten.

Si la cantidad de calor generado es suficiente, el tejido puede quemarse. El efecto es fisiológicamente el mismo que el daño causado por una llama abierta u otra fuente de calor a alta temperatura, salvo que la electricidad tiene la capacidad de quemar tejido por debajo de la piel, incluso quemar órganos internos.

Otro efecto de la corriente eléctrica sobre el cuerpo, quizá el más importante en términos de peligrosidad, afecta al sistema nervioso. Por "sistema nervioso" se entiende la red de células del cuerpo llamadas "células nerviosas" o "neuronas" que procesan y conducen la multitud de señales responsables de la regulación de muchas funciones corporales. El cerebro, la médula espinal y los órganos del cuerpo funcionan en conjunto, permitiendo sentir, moverse, responder, pensar y recordar.

Las células nerviosas crean y emiten señales eléctricas de muy baja tensión e intensidad en respuesta a ciertos compuestos químicos llamados neurotransmisores. También actúan a la inversa, liberando neurotransmisores al ser estimuladas con señales eléctricas.

Si se conduce una corriente eléctrica de magnitud suficiente a través de un ser vivo (humano u otro), su efecto será anular los pequeños impulsos eléctricos generados normalmente por las neuronas, sobrecargando el sistema nervioso e impidiendo que las señales reflejas y volitivas (son

las señales que provocan las contracciones voluntarias de los músculos) actúen sobre los músculos. Los músculos activados por una corriente externa (descarga) se contraen involuntariamente, sin que la víctima pueda hacer nada para evitarlo.

Este problema es especialmente peligroso si la víctima entra en contacto con un objeto bajo tensión con las manos. Los músculos del antebrazo responsables de doblar los dedos tienden a estar mejor desarrollados que los músculos responsables de extender los dedos, por lo que si ambos grupos de músculos intentan contraerse debido a una corriente eléctrica conducida a través del brazo de la persona, los músculos "flexores" ganarán, cerrándose el puño.

Esto hará que la víctima apriete fuertemente el cable con la mano empeorando así la situación al asegurar un excelente contacto con el cable. La víctima será incapaz de soltar el conductor.

Esta contracción muscular involuntaria se denomina tétanos. Los electricistas familiarizados con este efecto de la descarga eléctrica a menudo se refieren a una víctima inmovilizada de la descarga eléctrica como "congelada en el circuito". El tétanos inducido por descarga eléctrica sólo puede interrumpirse deteniendo la corriente a través de la víctima. Incluso cuando se detiene la corriente, es posible que la víctima no recupere el control voluntario de sus músculos durante un tiempo, ya que el equilibrio químico de los neurotransmisores se ha descompensado.

Este principio se ha aplicado a las pistolas aturdidoras, como las Taser, que electrocutan momentáneamente a la víctima con un impulso de alto voltaje suministrado entre dos electrodos. Una descarga bien colocada tiene el efecto de inmovilizar temporalmente (unos minutos) a la víctima.

Una descarga eléctrica también puede afectar el músculo del diafragma que controla los pulmones y el corazón quedando parados, en un estado de tétanos, por la corriente eléctrica. Incluso corrientes demasiado bajas para provocar el tétanos, son capaces de alterar las señales de las células nerviosas lo suficiente como para que el corazón no pueda latir correctamente, provocando un estado conocido como fibrilación.

Un corazón fibrilante es ineficaz para bombear sangre a los órganos vitales del cuerpo. La muerte por asfixia y/o paro cardíaco será el resultado de una corriente eléctrica lo suficientemente fuerte.

Curiosamente, el personal médico utiliza una fuerte descarga de corriente eléctrica en el pecho de una víctima para "reactivar" un corazón fibrilante y que este vuelva a latir a su ritmo normal.

La forma en que la corriente alterna afecta al organismo depende en gran medida de su frecuencia. La CA de baja frecuencia (50 a 60 Hz) se utiliza en los hogares estadounidenses (60 Hz) y europeos (50 Hz) y es de 3 a 5 veces más peligrosa que la corriente continua de la misma tensión y amperaje.

“La corriente alterna de baja frecuencia provoca contracción muscular prolongada (tetania), que puede congelar la mano a la fuente de corriente, prolongando la exposición.

La corriente continua suele provocar una única contracción convulsiva, que a menudo obliga a la víctima a alejarse de la fuente de corriente.”

#### Fuente

Robert S. Porter, MD, editor, “The Merck Manuals Online Medical Library”, “Electrical Injuries,” at <http://www.merck.com/mmpe/sec21/ch316/ch316b.html>

#### Resumen

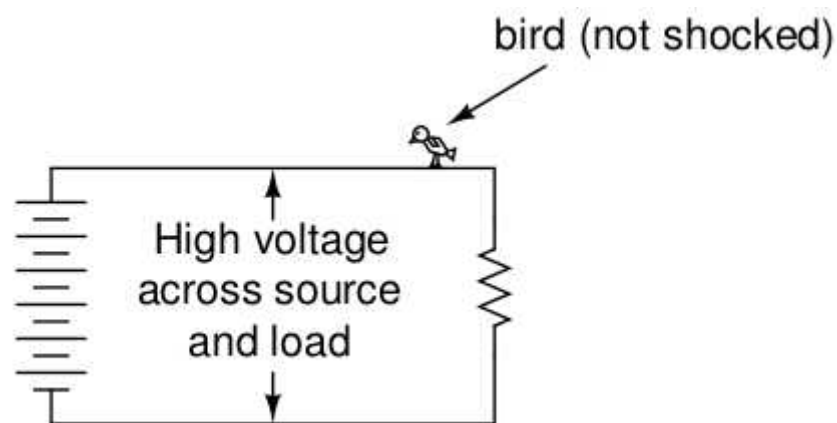
- La corriente eléctrica es capaz de producir quemaduras profundas y graves debido a la potencia eléctrica disipada a través de la resistencia del cuerpo.
- El tétanos es un estado en el que los músculos se contraen involuntariamente debido al paso de una corriente eléctrica por el cuerpo. La contracción involuntaria de los músculos de los dedos hace que la víctima no pueda soltar un conductor eléctrico. Se dice que la víctima está "congelada".
- Los músculos del diafragma (pulmón) y del corazón se ven afectados de forma similar por la corriente eléctrica. Incluso corrientes demasiado pequeñas para inducir el tétanos los pueden paralizar.
- La corriente continua (CC) presenta más probabilidades de provocar un tétanos muscular que la corriente alterna (CA), por lo que es más probable que la CC "congele" a una víctima en caso de descarga. Sin embargo, la CA provoca la fibrilación del corazón de la víctima con mayor probabilidad que la CC. La fibrilación puede manifestarse incluso pasado un tiempo tras recibir la descarga.

## 1.2 Toma de tierra

Como se ha visto anteriormente, la electricidad requiere un camino (circuito) entre dos puntos (polos) entre los que exista tensión, para que fluya una corriente.

La electricidad estática causa descargas momentáneas. El flujo de electrones es breve cuando las cargas estáticas se igualan entre dos objetos. Este tipo de descargas no suelen ser peligrosas.

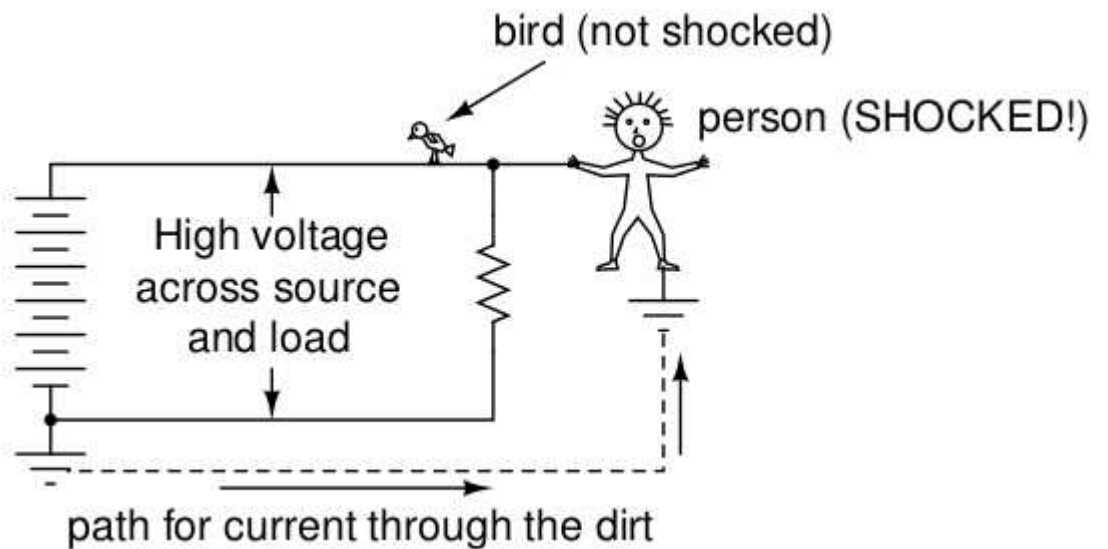
Son necesarios dos puntos de contacto del cuerpo para que entre y salga la corriente. Los pájaros pueden posarse sobre líneas de alta tensión sin sufrir una descarga, porque su contacto con el circuito es en un solo punto.



Para que los electrones circulen por un conductor, es necesaria una tensión que los mueva. La tensión, es siempre relativa a dos puntos. No tiene sentido hablar de tensión si se observa un único punto del circuito. Falta un segundo punto de referencia. El pájaro, está en contacto con un único punto del circuito, por eso no recibe una descarga. Aunque esté apoyando ambas patas sobre el cable, es el mismo cable y la tensión en las patas es la misma. Eléctricamente hablando, ambas patas del pájaro tocan el mismo punto, por lo tanto no hay tensión entre ellas para causar una corriente a través de su cuerpo.

Se podría pensar que es imposible recibir una descarga eléctrica tocando un sólo cable. Como los pájaros, que tocando un solo cable, no se electrocutan. Desgraciadamente, esto no es cierto. A diferencia de los pájaros, las personas suelen estar de pie sobre el suelo (tierra) cuando entran en contacto con un cable con tensión.

Generalmente, uno de los lados (polos) de un suministro eléctrico está intencionadamente conectado a tierra. Si la persona toca el cable que no está conectado a tierra, está haciendo una conexión a tierra con su cuerpo. Se trata de un contacto entre dos puntos del circuito, con diferente tensión, la del conductor y la de la toma de tierra.



El símbolo de tierra es el conjunto de tres rayas horizontales de anchura decreciente situadas en la parte inferior izquierda del circuito. El esquema muestra, que también los pies de la persona que recibe la descarga, tocan tierra.

La toma de tierra del sistema eléctrico consiste en algún tipo de conductor metálico enterrado profundamente en el suelo para hacer el máximo contacto con la tierra. El conductor enterrado está conectado eléctricamente al circuito mediante un cable grueso. La conexión a tierra de la víctima es a través de sus pies, que están en contacto con la tierra.

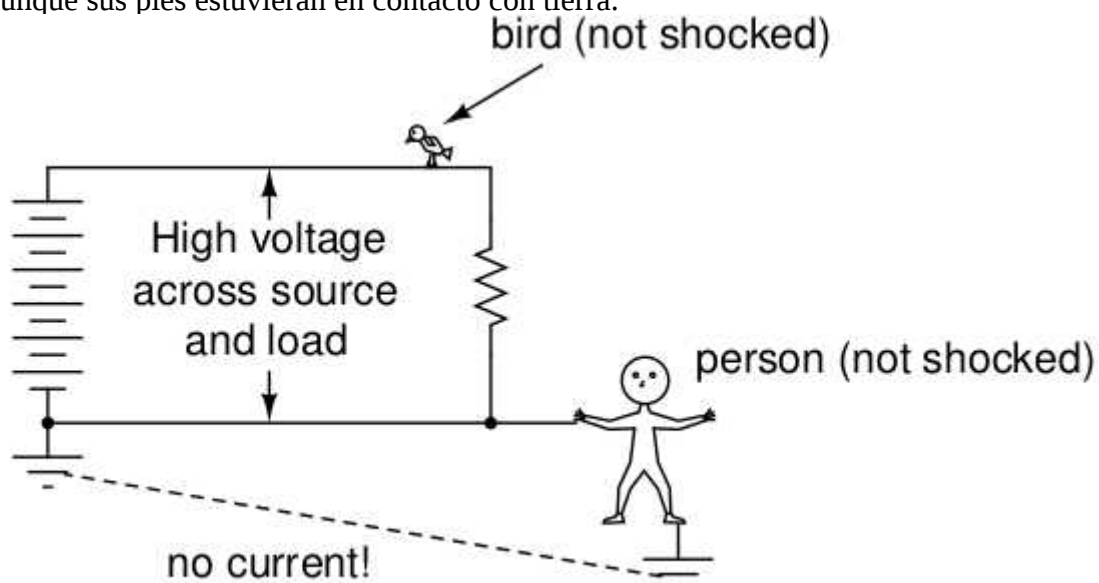
Observando el esquema anterior, surgen las siguientes preguntas:

¿Si la presencia de una toma de tierra es la razón por la que hay tensión entre el conductor del circuito y tierra, no sería mejor prescindir de la toma de tierra?

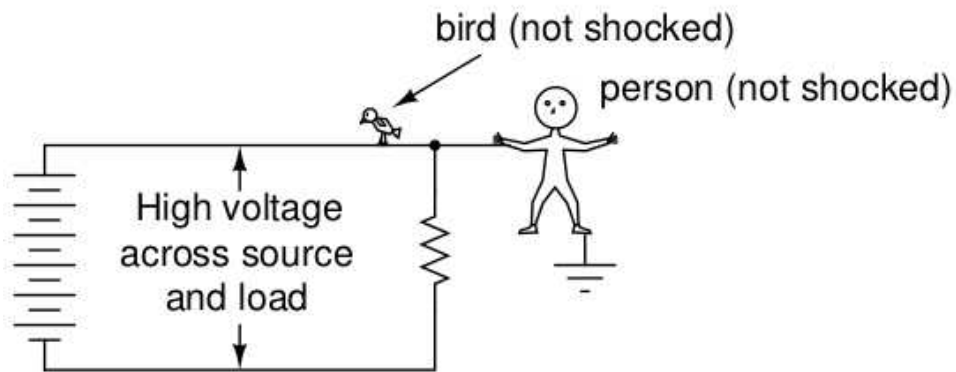
¿La víctima de la descarga, probablemente no ande descalza. Si los plásticos son aislantes, por qué los zapatos no la protegen de la descarga?

¿Es el suelo un buen conductor? ¿Si es posible recibir una descarga a través del suelo, porque no se utiliza tierra como material conductor en los circuitos eléctricos?

La respuesta a la primera pregunta es que un punto de conexión a tierra en un circuito eléctrico garantiza que uno de sus lados tenga el mismo potencial que la tierra y se puede tocar sin peligro de recibir una descarga. Si la persona del esquema tocara la parte inferior de la resistencia, no pasaría nada, aunque sus pies estuvieran en contacto con tierra:

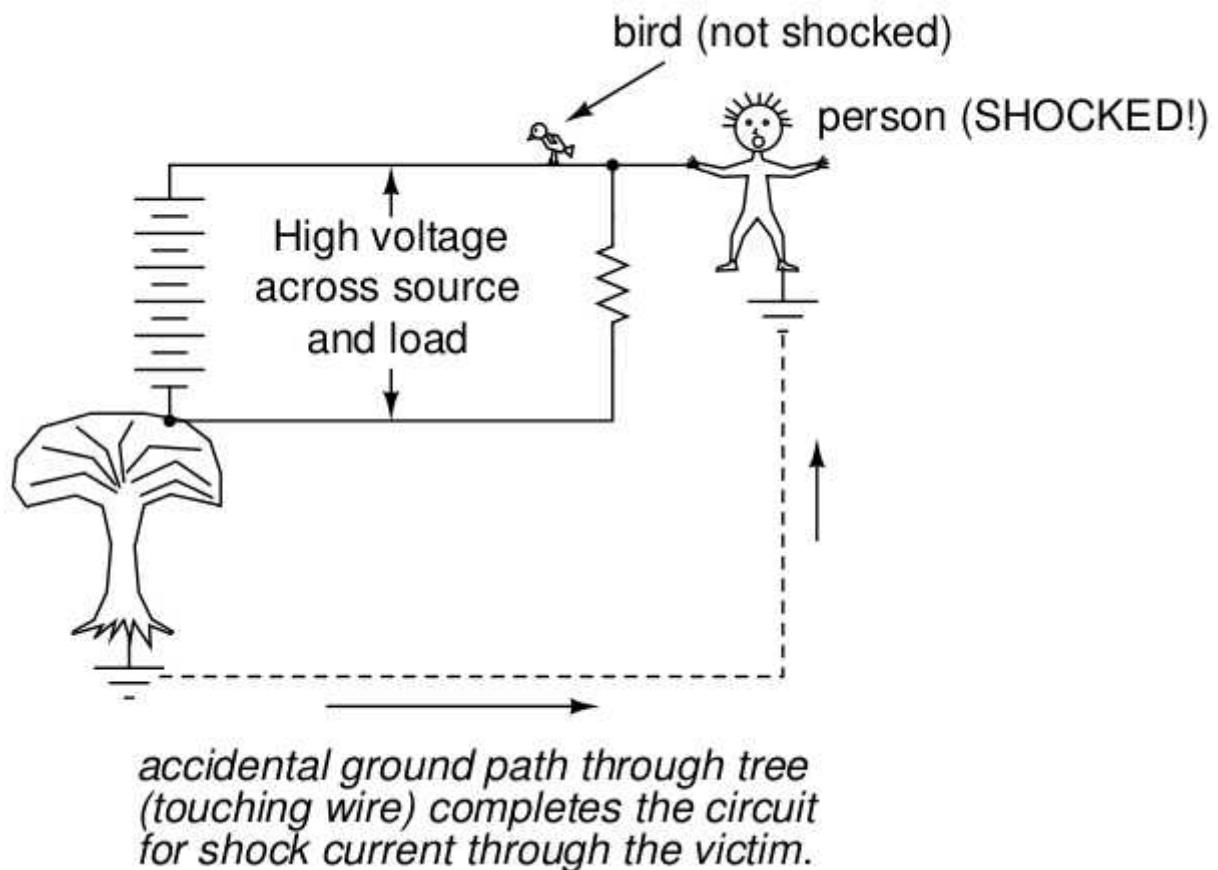


La conexión a tierra del circuito garantiza que al menos una parte del circuito será segura de tocar. Pero ¿qué pasa si se deja un circuito completamente sin conexión a tierra? ¿No haría eso seguro el circuito completo, pues sólo habría tensión entre los polos del generador, no hacía tierra? En teoría, sí. En la práctica, no. Sin conexión a tierra, la situación sería la siguiente:



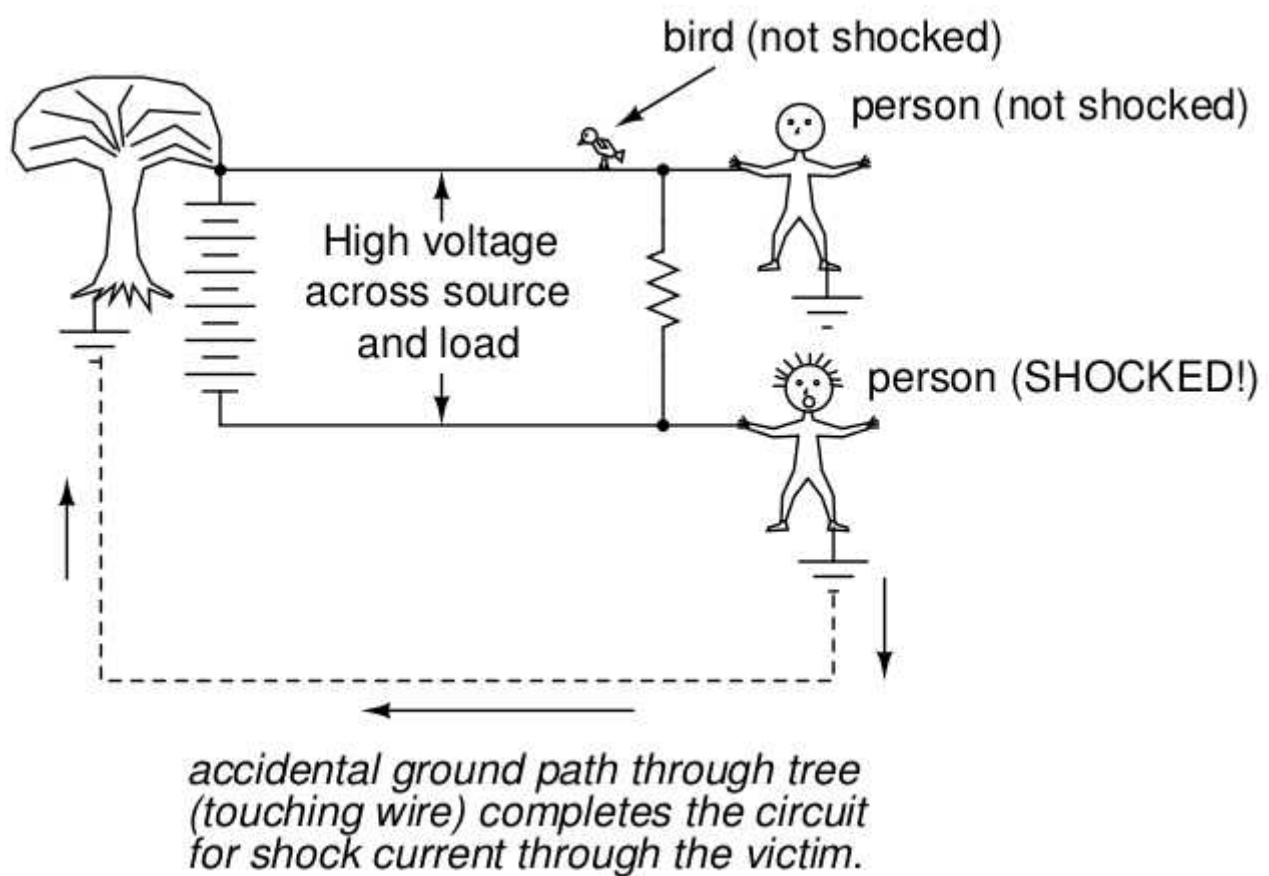


A pesar de que los pies de la persona están en contacto con tierra, cualquier punto del circuito debería poder tocarse sin peligro. Como no se ha cerrado el circuito entre los lados inferior y superior de la fuente de tensión, no circula corriente por la persona. Sin embargo, esta situación cambiaría con una toma de tierra accidental. Si la rama de un árbol tocara una línea eléctrica, la conectaría a tierra.



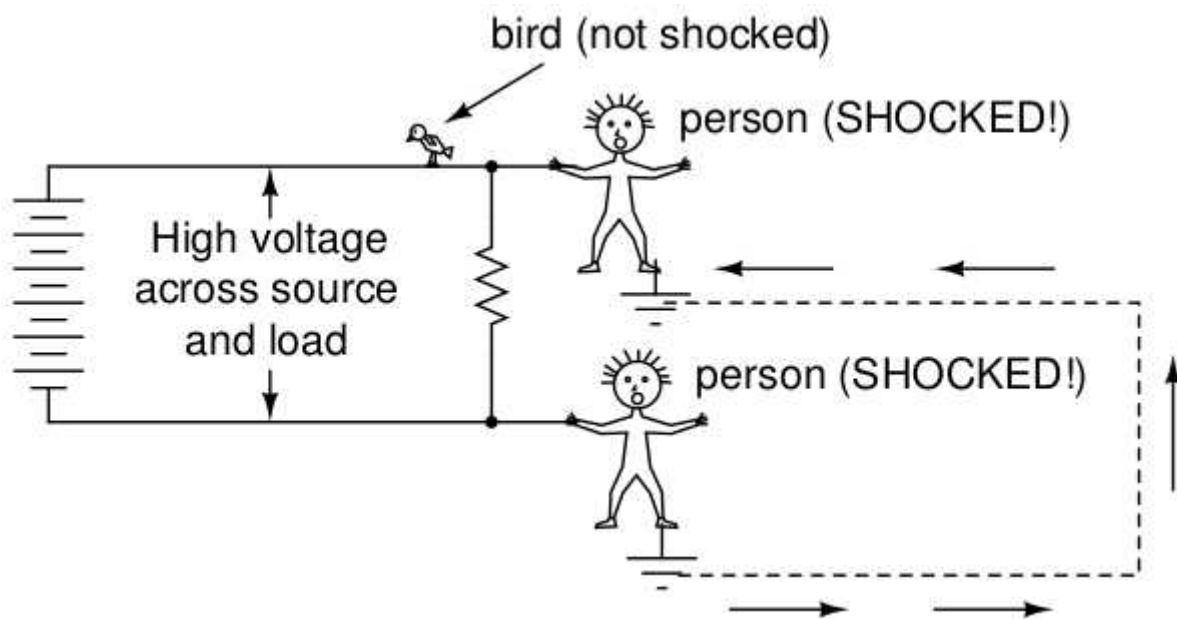
Una conexión accidental de este tipo entre un conductor del sistema eléctrico y la tierra se denomina falla a tierra. Las fallas a tierra pueden deberse a muchas causas, como la acumulación de suciedad en elementos de aislamiento de las líneas eléctricas, filtración de agua en los conductores subterráneos de las líneas eléctricas, pájaros que se posan en las líneas eléctricas, puenteando la línea con el poste con sus alas...

Las fallas a tierra suelen ser imprevisibles debido a sus múltiples causas. Por ejemplo el contacto del cable con las ramas de un árbol. Si un árbol rozara el cable superior del circuito, sería seguro tocar el superior y peligroso el inferior. Si el árbol toca el cable inferior, la situación se invierte y el peligro lo presenta el cable superior.



Con una rama de árbol en contacto con el cable superior, ese cable se convierte en el conductor a tierra en el circuito, haciendo de toma de tierra. Por lo tanto, no hay tensión entre ese cable y tierra, pero sí entre el cable inferior y tierra.

Se considera ahora un sistema eléctrico sin conexión a tierra y sin árboles, pero esta vez con dos personas tocando cables distintos:



Las personas están tocando cables de diferente potencial. A través de los pies de las personas, la tierra cierra el circuito y ambas reciben una descarga.

Aunque cada persona piense que está a salvo tocando un solo punto del circuito, sus acciones combinadas crean un escenario mortal.

Una persona tocando un cable del circuito actúa como la falla a tierra que hace que sea inseguro tocar un cable distinto para la otra persona. Esta es la razón por la que los sistemas eléctricos sin conexión a tierra son peligrosos. La tensión entre cualquier punto del circuito y tierra es impredecible, porque una falla a tierra puede darse en cualquier punto del circuito en cualquier momento. Únicamente el pájaro, que no tiene ninguna conexión a tierra se encuentra seguro. Gracias a la toma de tierra, todos aquellos componentes del circuito conectados a tierra dejan de ser peligrosos en lo que a descargas eléctricas se refiere, pues nunca presentarán tensión. Esta opción es mejor que ninguna toma de tierra.

En respuesta a la segunda pregunta, el calzado con suela de goma proporciona cierto aislamiento eléctrico que ayuda a proteger a las personas de la conducción de la corriente eléctrica a través de sus pies. Sin embargo, los diseños de calzado más comunes no están pensados para ser eléctricamente "seguros", sus suelas son demasiado finas y los materiales inadecuados. Además, cualquier humedad, suciedad o sales conductoras, procedentes del sudor corporal, en las suelas de los zapatos reducirán el poco valor aislante que tenga el zapato.

Se ofrecen zapatos fabricados específicamente para trabajos eléctricos peligrosos, así como gruesas alfombrillas de goma para trabajar en circuitos con tensión. Estos equipos especiales deben estar completamente limpios y secos para ser eficaces.

El calzado normal no es suficiente protección contra las descargas eléctricas.

Las investigaciones realizadas sobre la resistencia de contacto entre partes del cuerpo humano y puntos de contacto (como el suelo) muestran una amplia gama de valores de resistencia:

- Contacto de mano o pie, aislado con caucho: 20 MΩ típico.
- Contacto de pie a través de suela de zapato de cuero (seco): 100 kΩ a 500 kΩ
- Contacto del pie a través de suela de zapato de cuero (húmedo): 5 kΩ a 20 kΩ

Fuente

Robert S. Porter, MD, editor, "The Merck Manuals Online Medical Library", "Electrical Injuries," at <http://www.merck.com/mmpe/sec21/ch316/ch316b.html>

El caucho no sólo es un material mucho mejor aislante que el cuero, sino que la presencia de agua en una sustancia porosa como el cuero reduce considerablemente su resistencia eléctrica.

En respuesta a la tercera pregunta, la suciedad no es un buen conductor (¡al menos cuando está seca!).

No es un conductor adecuado para conducir una corriente que alimente una carga. Sin embargo, como veremos en el siguiente apartado, se necesita muy poca corriente para herir o matar a una persona, así que incluso la mala conductividad de la suciedad es suficiente para proporcionar un camino para la corriente mortal, habiendo tensión suficiente, como suele ocurrir en los sistemas eléctricos.

Algunas superficies de tierra son mejores aislantes que otras. El asfalto, por ejemplo, al estar compuesto por aceites, presenta una resistencia mucho mayor que la mayoría de los tipos de tierra o roca. El hormigón tiende a tener una resistencia bastante baja debido a su contenido de agua y electrolitos (sustancias químicas conductoras).

### Resumen

- Una descarga eléctrica sólo puede producirse cuando hay contacto con al menos dos puntos del circuito, con diferencia de tensión entre ellos.
- Los circuitos eléctricos deben tener un punto que está "conectado a tierra". La toma de tierra consta de barras o placas metálicas enterradas en el suelo, que garantizan que una parte del circuito está siempre a potencial de tierra.
- Una falla a tierra es una conexión accidental entre un conductor del circuito y la tierra.
- Se fabrican zapatos y alfombrillas aislantes especiales para proteger a las personas de las descargas por conducción a tierra, pero incluso estos equipos deben estar limpios y secos para ser eficaces.
- El calzado normal no presenta suficiente aislamiento para proteger a una persona de una descarga.
- Aunque la suciedad es un mal conductor, puede conducir suficiente corriente como para herir o matar a una persona.

### 1.3 Ley de Ohm, aplicada a las descargas

Una frase común que se oye en referencia a la seguridad eléctrica dice algo así: "No es el voltaje que mata, sino la corriente". Aunque hay algo de verdad en ello, no es tan simple. Si el voltaje no representara peligro, no se colocarían carteles advirtiendo: PELIGRO - ¡ALTA TENSIÓN!

El principio de que "la corriente mata" es esencialmente correcto. Es la corriente eléctrica la que quema los tejidos, congela los músculos y hace fibrilar los corazones. Sin embargo, la corriente eléctrica no se produce por sí sola, debe haber una tensión disponible para causar un flujo de electrones a través de una víctima. El cuerpo de una persona también presenta una resistencia a la corriente que hay que tener en cuenta.

Tomando la Ley de Ohm para la tensión, la corriente y la resistencia, y expresándola en términos de corriente para un voltaje y una resistencia dados, resulta esta ecuación:

$$I = \frac{E}{R} \qquad \text{corriente} = \frac{\text{tensión}}{\text{resistencia}}$$

La cantidad de corriente que atraviesa un cuerpo es igual a la cantidad de tensión aplicada entre dos puntos de ese cuerpo, dividida por la resistencia eléctrica que ofrece el cuerpo entre esos dos puntos.

Evidentemente, cuanto mayor sea el voltaje disponible para hacer que los electrones fluyan, más fácilmente lo harán a través de una resistencia dada. De ahí el peligro de la alta tensión. Tensión significa potencial para grandes flujos de corriente a través del cuerpo, lo que le causará lesiones o muerte. Por el contrario, cuanta más resistencia ofrezca un cuerpo a la corriente, más menor será el flujo a una tensión determinada. La peligrosidad de la tensión depende de la resistencia total que haya en el circuito para oponerse a ella.

La resistencia corporal no es una constante, varía de una persona a otra, incluso de un momento a otro.

Existe una técnica de medición de la grasa corporal basada en la medición de la resistencia eléctrica entre los dedos de los pies y de las manos. Diferentes porcentajes de grasa corporal proporcionan

diferentes resistencias. Esta es sólo una de las variables que afectan a la resistencia eléctrica en el cuerpo humano. Para que la medición sea precisa, la persona debe regular su ingesta de líquidos durante varias horas antes de la prueba, lo que indica que la hidratación corporal es otro factor que influye en la resistencia eléctrica del cuerpo.

La resistencia corporal también varía en función de la forma en que se produce el contacto con la piel: ¿es de mano a mano, de pie a pie, de mano a codo, etc.?

El sudor, al ser rico en sales y minerales, es un excelente conductor de electricidad por ser un líquido. También lo es la sangre, con un elevado contenido de sustancias químicas conductoras. Por lo tanto, el contacto con un cable hecho por una mano sudorosa o una herida abierta ofrecerá mucha menos resistencia a la corriente que el contacto realizado por una piel limpia y seca.

## **1.4 Soluciones**

Estos apuntes son una adaptación de “Lessons in electric circuits volume 1 DC” , del autor Tony R. Kuphaldt.

Traducción y adaptación Paulino Posada

Traducción realizada con la versión gratuita del traductor [www.DeepL.com/Translator](http://www.DeepL.com/Translator)