

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.....21

# 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

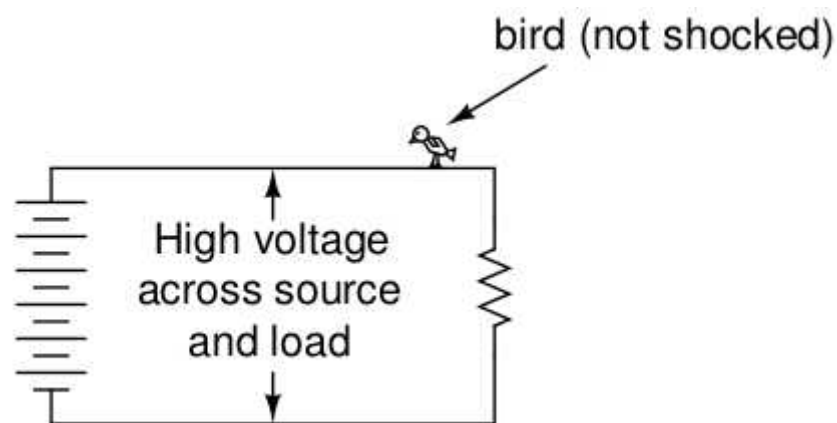
- La corriente eléctrica es capaz de producir quemaduras profundas y graves debido a la potencia eléctrica disipada a través de la resistencia del cuerpo.
- El tétanos es un estado en el que los músculos se contraen involuntariamente debido al paso de una corriente eléctrica por el cuerpo. La contracción 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.

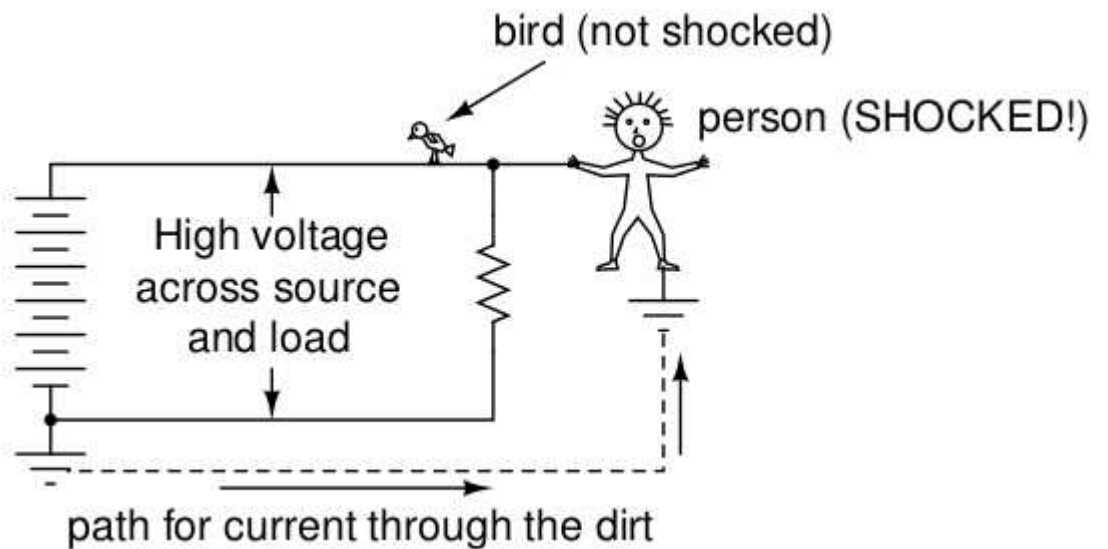
Son necesarios dos puntos de contacto del cuerpo para que entre y salga la corriente. Los pájaros pueden posarse sobre líneas de alta tensión sin sufrir una descarga, porque su contacto con el circuito es en un solo punto.



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.

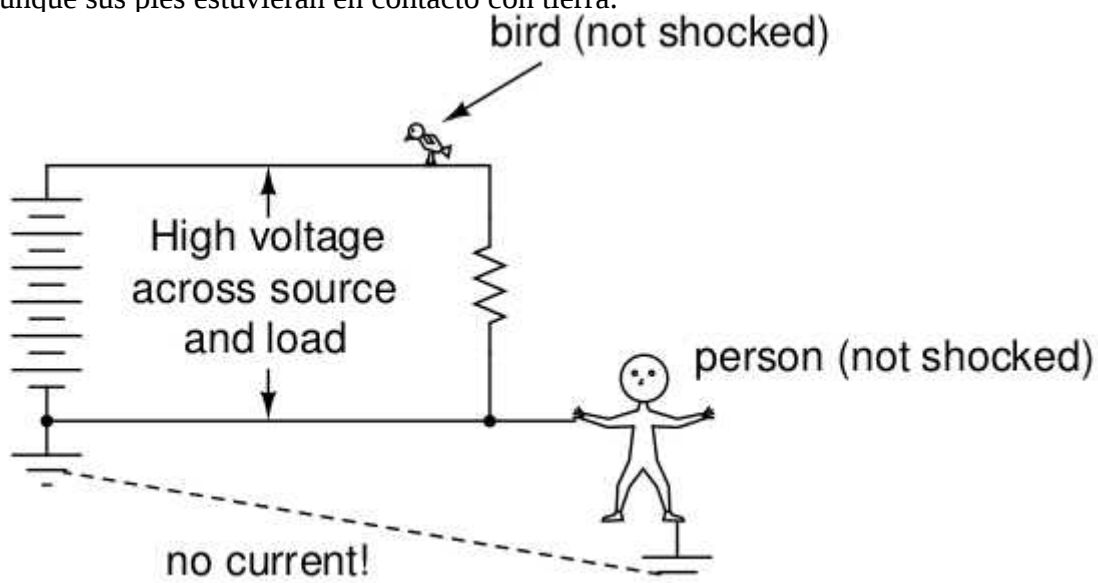
Observando el esquema anterior, surgen las siguientes preguntas:

¿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?

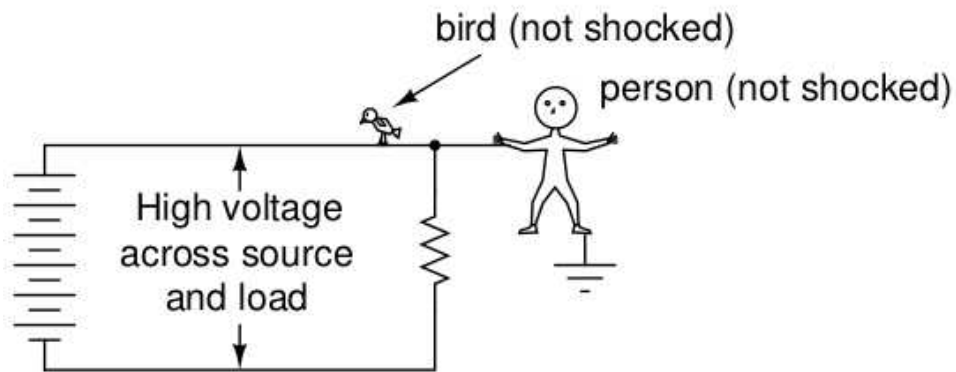
¿La víctima de la descarga, probablemente no ande descalza. Si los plásticos son aislantes, por qué los zapatos no la protegen de la descarga?

¿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:

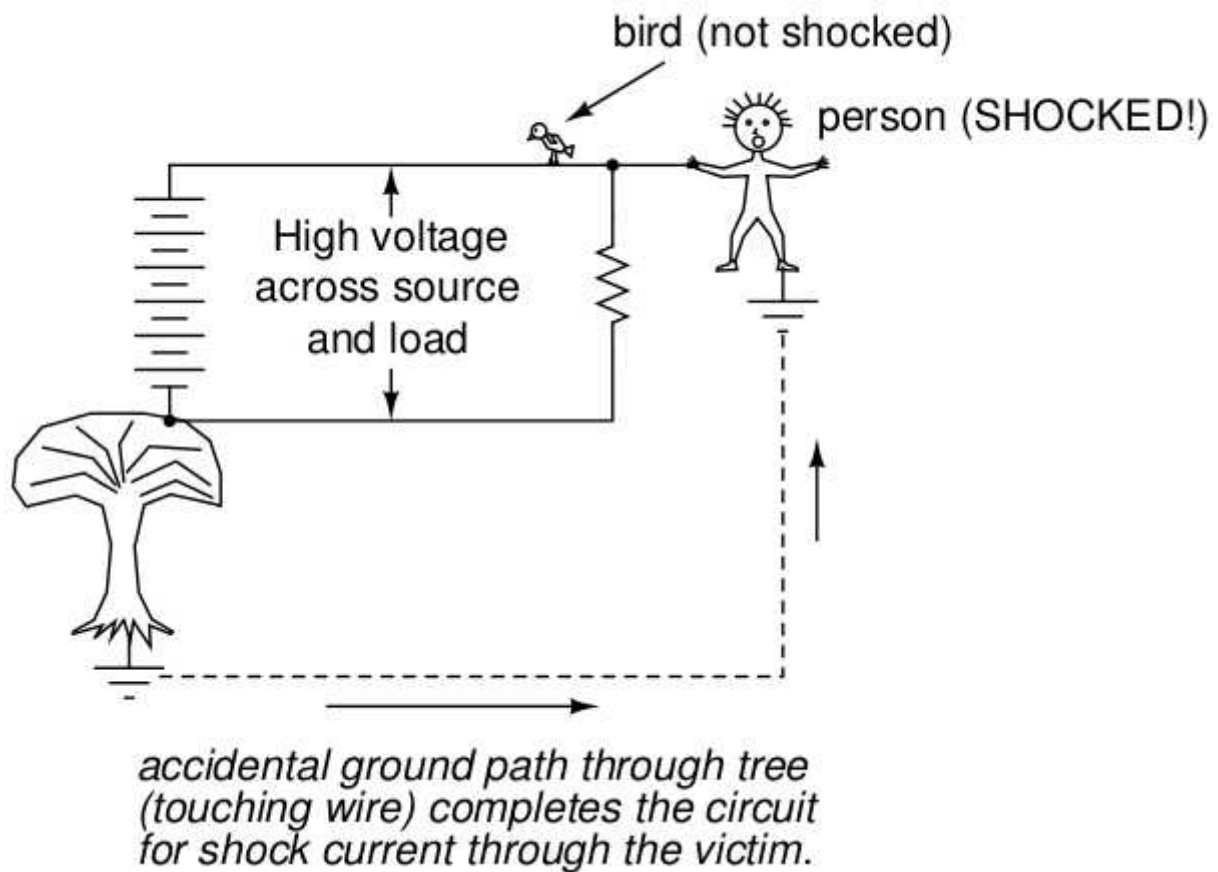


La conexión a tierra del circuito garantiza que al menos una parte del circuito será segura de tocar. Pero ¿qué pasa si se deja un circuito completamente sin conexión a tierra? ¿No haría eso seguro el circuito completo, pues sólo habría tensión entre los polos del generador, no hacía tierra? En teoría,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



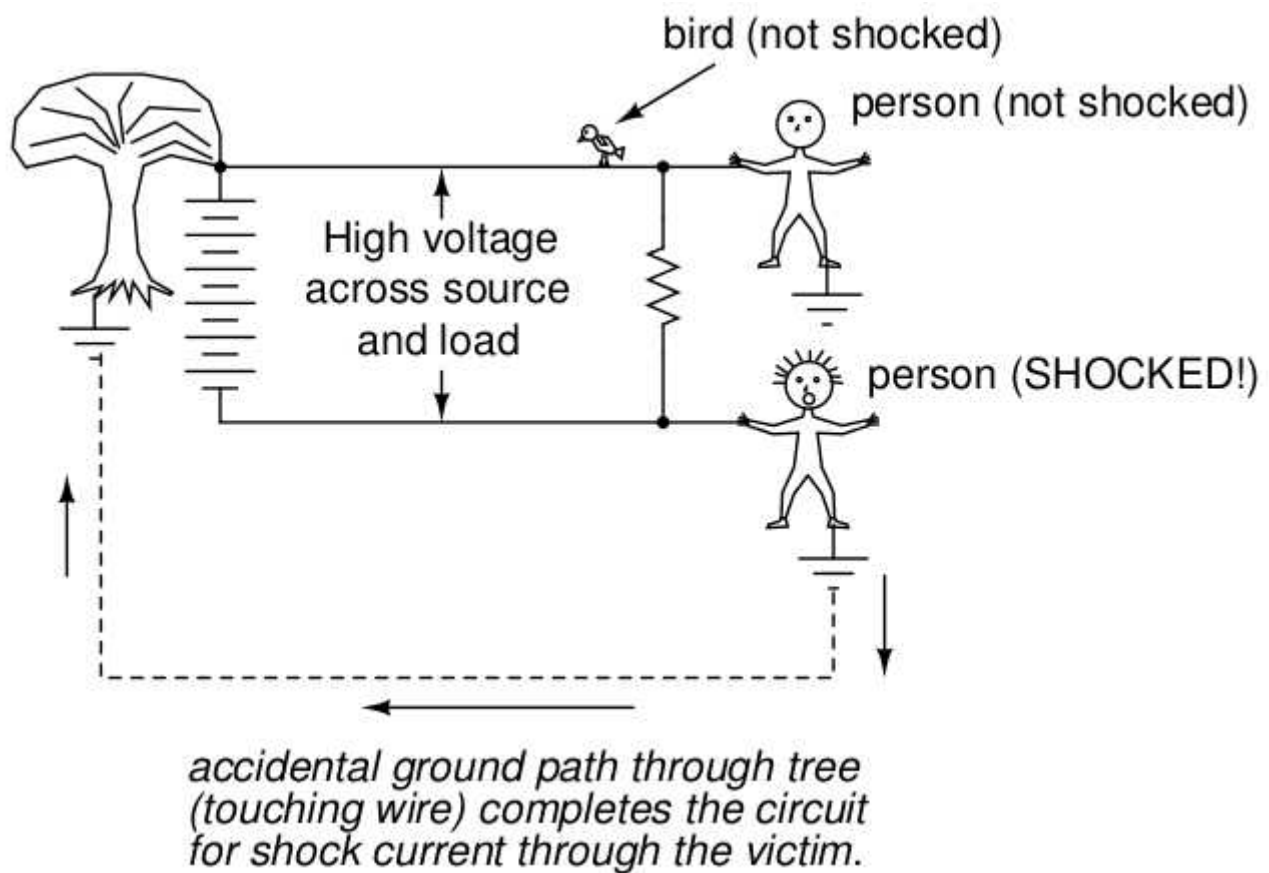


A pesar de que los pies de la persona están en contacto con tierra, cualquier punto del circuito debería poder tocarse sin peligro. Como no se ha cerrado el circuito entre los lados inferior y superior de la fuente de tensión, no circula corriente por la persona. Sin embargo, esta situación cambiaría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



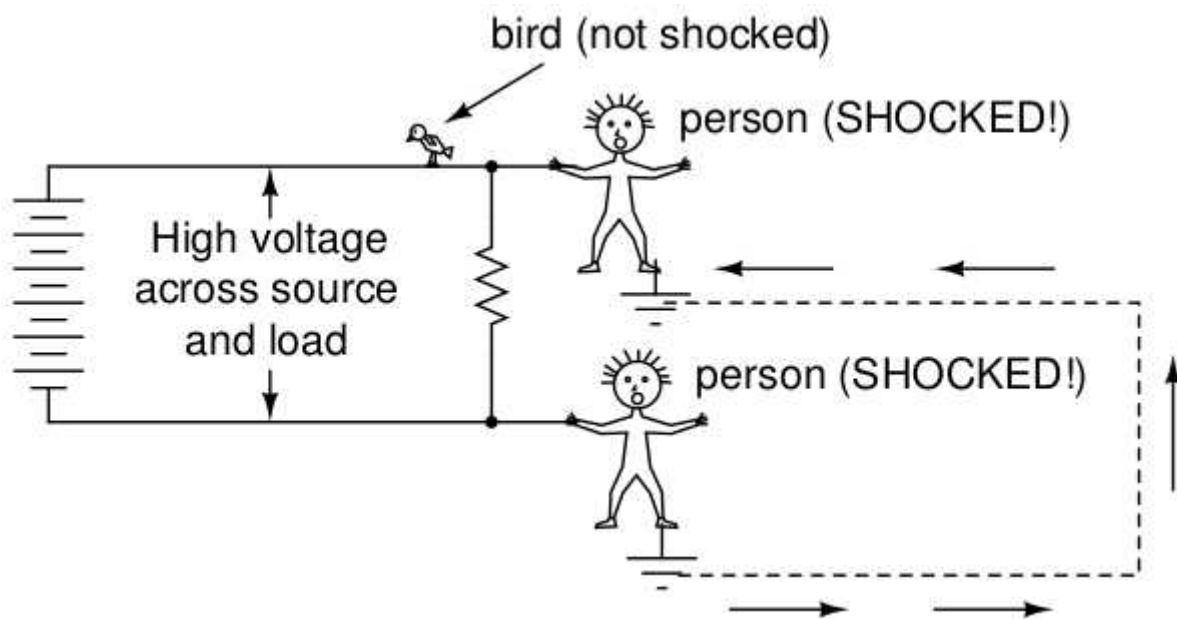
Una conexión accidental de este tipo entre un conductor del sistema eléctrico y la tierra se denomina falla a tierra. Las fallas a tierra pueden deberse a muchas causas, como la acumulación de suciedad en elementos de aislamiento de las líneas eléctricas, filtración de agua en los conductores subterráneos 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, cuanto 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 influyen 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 con la piel limpia y seca.

Sujetando una sonda del polímetro en cada mano con los dedos (manos limpias y secas), la resistencia que se mide es de aproximadamente 1 millón de ohmios de resistencia (1 MΩ). El medidor indica menos resistencia al apretar las sondas con fuerza y más resistencia sin apretarlas. Trabajando en un entorno industrial caluroso y sucio, la resistencia entre las manos probablemente sería mucho menor, presentando menos resistencia y una mayor amenaza de descarga eléctrica. ¿Cuál es la corriente perjudicial?

El efecto de la corriente sobre el cuerpo depende de varios factores. La química corporal individual tiene un impacto significativo en cómo la corriente eléctrica afecta a un individuo. Algunas personas son muy sensibles a la corriente y sufren espasmos musculares con las descargas de electricidad estática. Otras personas apenas perciben una descarga de electricidad estática y mucho menos experimentar un espasmo muscular. A pesar de estas diferencias, se han desarrollado directrices aproximadas a través de pruebas que indican que se necesita muy poca corriente para manifestar efectos nocivos.

Las cifras de corriente de la siguiente tabla se indican en miliamperios:

BODILY EFFECT	DIRECT CURRENT (DC)	60 Hz AC	10 kHz AC
Slight sensation felt at hand(s)	Men = 1.0 mA Women = 0.6 mA	0.4 mA 0.3 mA	7 mA 5 mA
Threshold of perception	Men = 5.2 mA Women = 3.5 mA	1.1 mA 0.7 mA	12 mA 8 mA
Painful, but voluntary muscle control maintained	Men = 62 mA Women = 41 mA	9 mA 6 mA	55 mA 37 mA
Painful, unable to let go of wires	Men = 76 mA Women = 51 mA	16 mA 10.5 mA	75 mA 50 mA
Severe pain, difficulty breathing	Men = 90 mA Women = 60 mA	23 mA 15 mA	94 mA 63 mA
Possible heart fibrillation after 3 seconds	Men = 500 mA Women = 500 mA	100 mA 100 mA	

Estas cifras son sólo aproximadas, ya que personas con diferente química corporal pueden reaccionar de forma diferente. Se ha sugerido que una corriente alterna a través del tórax de sólo 17 miliamperios es suficiente para inducir la fibrilación en determinadas condiciones.

La mayoría de los datos relativos a la fibrilación inducida proceden de ensayos con animales.

Supongamos que se colocan las manos sobre los terminales de una fuente de tensión alterna a 60 Hz . ¿Cuánta tensión sería necesaria, teniendo las manos limpias y secas, para producir una corriente de 20 miliamperios (suficiente para provocar tétanos y ser incapaz de soltar la fuente de tensión)?

Con la Ley de Ohm ( $E=IR$ ) se calcula:

$$E = IR$$

$$E = (20 \text{ mA})(1 \text{ M}\Omega)$$

$$E = 20.000 \text{ voltios, o } 20 \text{ kV}$$

Se ha de tener en cuenta que se trata del "mejor de los casos" (piel limpia y seca) desde el punto de vista de la seguridad eléctrica, y que esta cifra de tensión representa la cantidad necesaria para inducir una descarga eléctrica necesaria para inducir el tétanos. Se necesitaría mucha menos tensión para provocar una descarga dolorosa. Además, los efectos fisiológicos de una determinada cantidad de corriente pueden variar significativamente de una persona a otra. Estos cálculos no son más que estimaciones aproximadas.

Con agua rociada en los dedos para simular el sudor, se ha medido una resistencia de mano a mano de sólo 17.000 ohmios (17 k $\Omega$ ). Esto teniendo en cuenta que las puntas de las sondas de medición se están tocando sólo con un dedo de cada mano. Calculando la tensión necesaria para provocar una corriente de 20 miliamperios, se obtiene:

$$E = IR$$

$$E = (20 \text{ mA})(17 \text{ k}\Omega)$$

$$E = 340 \text{ voltios}$$

En esta condición, más cercana a la realidad, sólo harían falta 340 voltios de potencial de una de mis manos a la otra para provocar 20 miliamperios de corriente. Sin embargo, aún es posible recibir una descarga mortal con una tensión menor. Siempre que la resistencia del cuerpo sea mucho



menor. Por ejemplo un anillo metálico reduce la resistencia en caso de contacto con un objeto metálico grande como una tubería metálica o una herramienta. En este caso, la resistencia corporal podría descender hasta los 1.000 ohmios (1 k $\Omega$ ), lo que hace que una tensión aún menor represente un peligro potencial:

$$E = IR$$

$$E = (20 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega)$$

$$E = 20 \text{ voltios}$$

En estas condiciones, 20 voltios son suficientes para producir una corriente de 20 miliamperios a través de una persona. Esta corriente sería suficiente para inducir el tétanos. Se ha indicado que una corriente de sólo 17 miliamperios puede inducir fibrilación ventricular (corazón). Con una resistencia de mano a mano de 1000  $\Omega$ , bastarían 17 voltios para crear esta peligrosa situación:

$$E = IR$$

$$E = (17 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega)$$

$$E = 17 \text{ voltios}$$

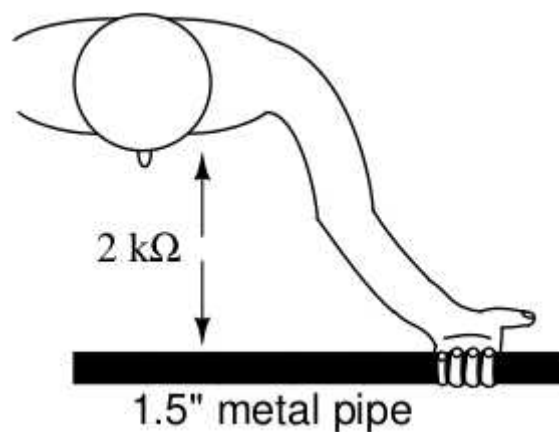
Diecisiete voltios no es mucho en lo que a sistemas eléctricos se refiere. Es cierto que se refiere a una tensión alterna de 60 Hz y una excelente conductividad del cuerpo, pero demuestra que incluso tensiones muy bajas puede representar una amenaza grave en determinadas condiciones.

Las condiciones necesarias para producir 1.000  $\Omega$  de resistencia corporal (piel sudorosa con el contacto hecho en un anillo de oro) no tienen por qué ser tan extremas. La resistencia corporal puede disminuir con la aplicación de voltaje (especialmente si el tétanos hace que la víctima agarre con más fuerza un conductor), de modo que con una tensión constante la descarga puede aumentar en gravedad tras el contacto inicial. Lo que comienza como una descarga leve, lo suficiente para "congelar" a una víctima, que no pueda soltarse, se puede convertir en una descarga mortal, al disminuir la resistencia del cuerpo y aumentar la corriente durante la descarga.

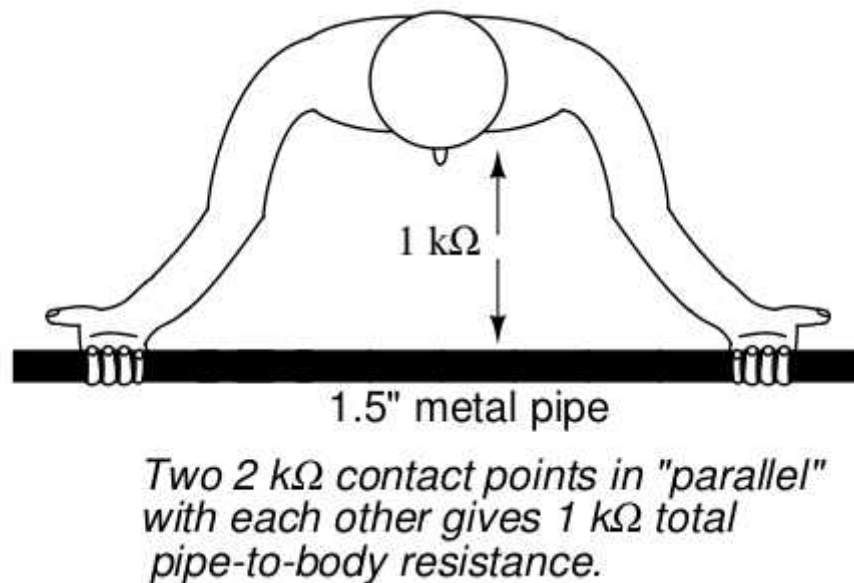
Valores para la resistencia eléctrica de una persona, en diferentes condiciones:

- Alambre tocado con el dedo: 40.000  $\Omega$  a 1.000.000  $\Omega$  en seco, 4.000  $\Omega$  a 15.000  $\Omega$  en húmedo.
- Alambre cogido con la mano: 15.000  $\Omega$  a 50.000  $\Omega$  en seco, 3.000  $\Omega$  a 5.000  $\Omega$  en húmedo.
- Alicates metálicos cogidos con la mano: 5.000  $\Omega$  a 10.000  $\Omega$  en seco, 1.000  $\Omega$  a 3.000  $\Omega$  en húmedo.
- Contacto con la palma de la mano: 3.000  $\Omega$  a 8.000  $\Omega$  en seco, 1.000  $\Omega$  a 2.000  $\Omega$  en húmedo.
- Tubo metálico de 35 mm agarrado con una mano: 1.000  $\Omega$  a 3.000  $\Omega$  en seco, 500  $\Omega$  a 1.500  $\Omega$  en húmedo.
- Tubo metálico de 35 mm agarrado por dos manos: 500  $\Omega$  a 1.500 k $\Omega$  en seco, 250  $\Omega$  a 750  $\Omega$  en húmedo.
- Mano sumergida en líquido conductor: 200  $\Omega$  a 500  $\Omega$ .
- Pie sumergido en líquido conductor: 100  $\Omega$  a 300  $\Omega$ .

E valor de resistencia agarrando una tubería con las dos manos es exactamente la mitad de cuando la tubería se agarra con una sola mano.



Con dos manos, el área de contacto es el doble que con una mano. Esta es una lección importante: la resistencia eléctrica entre objetos en contacto disminuye con el aumento de la superficie de contacto. Con las dos manos sujetando el tubo, los electrones tienen dos rutas paralelas por las que fluir del tubo al cuerpo (o viceversa).



Se verá más adelante que los conductores en paralelo siempre dan como resultado una resistencia total menor que cualquier conductor considerado aisladamente.

En la industria, se suele considerar peligrosas tensiones que superen los 30 voltios.

Una persona precavida debe evitar el contacto con objetos bajo tensión superior a 30 voltios, y no confiar en la resistencia normal del cuerpo para protegerse de una descarga. Dicho esto, sigue siendo una excelente idea mantener las manos limpias y secas y quitarse todo adorno metálico al trabajar con electricidad. Incluso con voltajes bajos, los adornos metálicos pueden suponer un peligro al conducir suficiente corriente como para quemar la piel, si se ponen en contacto entre dos puntos de un circuito. Los anillos de metal, especialmente, han sido la causa de más de un dedo quemado al hacer de puente entre dos puntos de un circuito de baja tensión.

Además, las tensiones inferiores a 30 V pueden ser peligrosas, ya que la persona se puede asustar por una descarga y hacer un movimiento brusco que, accidentalmente, la ponga en contacto con un punto de tensión superior o cause algún otro peligro.

Recuerdo una vez trabajando arreglando automóvil un caluroso día de verano. Yo llevaba pantalones cortos y mi pierna desnuda estaba en contacto con el parachoques cromado del vehículo, mientras apretaba las conexiones de la batería. Cuando toqué con una llave metálica el lado positivo (no conectado a tierra) de la batería de 12 voltios, sentí un hormigueo en la pierna (en el punto donde mi pierna tocaba el parachoques). La combinación del contacto firme con el metal y mi piel sudorosa hizo posible sentir una descarga con sólo 12 voltios de potencial eléctrico.

Afortunadamente, no pasó nada, pero si el motor hubiera estado en marcha y la descarga la hubiera sentido en la mano en lugar de en la pierna, podría haber sacudido el brazo por reflejo y haberlo puesto en la trayectoria del ventilador, o haber dejado caer la llave metálica sobre los bornes de la batería, causando un cortocircuito.

La corriente eléctrica puede ser una causa indirecta de lesiones al provocar movimientos incontrolados.

Del camino de la corriente tome a través del cuerpo, depende su peligrosidad.

La corriente afectará a todos los músculos que encuentre en su recorrido. Dado que los músculos del corazón y los pulmones (diafragma) son probablemente los más importantes para la supervivencia, las descargas que atraviesan el pecho son las más peligrosas. Por eso, la corriente de una mano a otra es muy peligrosa y frecuentemente causa de lesión o muerte.

Para evitar que esto ocurra, es aconsejable utilizar una sola mano trabajando en circuitos con tensión peligrosa, guardando la otra mano en un bolsillo para no tocar nada accidentalmente.

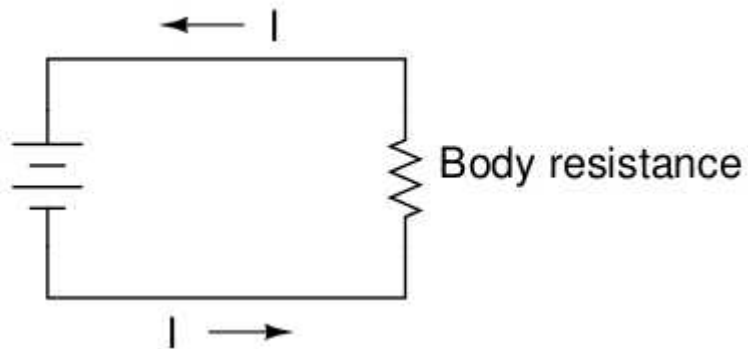
Por supuesto, siempre es más seguro trabajar en un circuito sin tensión, pero esto no siempre es práctico o posible. Para trabajar con una sola mano, se suele preferir la mano derecha en lugar de la izquierda por dos razones: la mayoría de las personas son diestras (lo que les permite una mayor coordinación a la hora de trabajar) y el corazón suele estar situado en el lado izquierdo del pecho.

Para los zurdos, este consejo puede no ser válido. Si una persona tiene poca coordinación con la mano derecha, puede ponerse en mayor peligro si utiliza esta mano.

Conviene utilizar la mano con la que uno se sienta más cómodo, incluso si la corriente de descarga a través de esa mano representa un mayor peligro para el corazón.

La mejor protección contra las descargas de un circuito bajo tensión es la resistencia y la resistencia se puede aumentar mediante el uso de herramientas, guantes, botas y otros equipos aislantes. La

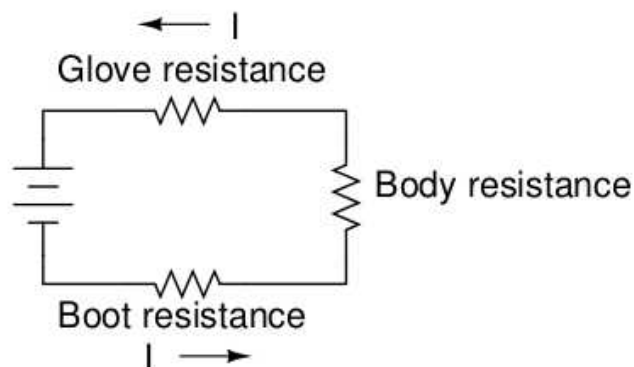
corriente en un circuito es una función del voltaje disponible dividido por la resistencia total en la trayectoria del flujo. Como se verá con más detalle más adelante, las resistencias se suman cuando sólo hay un camino para que fluyan los electrones:



Person in direct contact with voltage source:  
current limited only by body resistance.

$$I = \frac{E}{R_{\text{body}}}$$

El siguiente es el circuito equivalente para una persona con botas y guantes de protección:



Person wearing insulating gloves and boots:  
current now limited by *total* circuit resistance.

$$I = \frac{E}{R_{\text{glove}} + R_{\text{body}} + R_{\text{boot}}}$$

Dado que la corriente eléctrica debe atravesar las botas, el cuerpo y los guantes para completar su circuito de vuelta a la batería, la suma de estas resistencias opone al flujo de electrones mayor resistencia que cualquiera de las resistencias consideradas individualmente.

La seguridad es una de las razones por las que los cables eléctricos suelen estar recubiertos de material aislante.

Sin embargo, el aislamiento de los conductores de alta tensión no es suficiente para garantizar la seguridad en caso de contacto accidental. Por eso, estas líneas se mantienen fuera del alcance público.

### Resumen

- La gravedad de las lesiones dependen del valor de la corriente de descarga. Un voltaje más alto causa corrientes mayores y por tanto más peligrosas. La resistencia se opone al paso de la corriente, reduciéndola, por lo que es una buena medida de protección contra las descargas.
- Se considera que cualquier tensión superior a 30 V puede causar descargas peligrosas.
- No es recomendable llevar objetos metálicos como anillos, collares, reloj, pulseras o pendientes cuando se trabaja cerca de circuitos eléctricos, ya que pueden facilitar un accidente.
- Los voltajes bajos pueden ser peligrosos aunque sean demasiado bajos para causar directamente una lesión. Una descarga inofensiva puede asustar a la víctima, haciendo que se sobresalte y sufra un accidente.
- Cuando sea necesario trabajar en un circuito bajo tensión, es conveniente utilizar sólo una mano a fin de evitar que se produzca una descarga eléctrica mortal de mano a mano (a través del pecho).

## 1.4 Procedimientos de seguridad

Siempre que sea posible, desconectar la alimentación de un circuito antes de realizar cualquier trabajo. Todas las fuentes de energía deben ponerse en Estado de Energía Cero, es decir, en un estado en el que no puedan liberar energía. Esta lección se centra en la seguridad eléctrica, sin embargo, muchos de estos principios también se aplican a sistemas no eléctricos.

Asegurar algo en un Estado de Energía Cero significa desconectarlo de cualquier tipo de energía potencial o energía almacenada, incluyendo pero no limitado a:

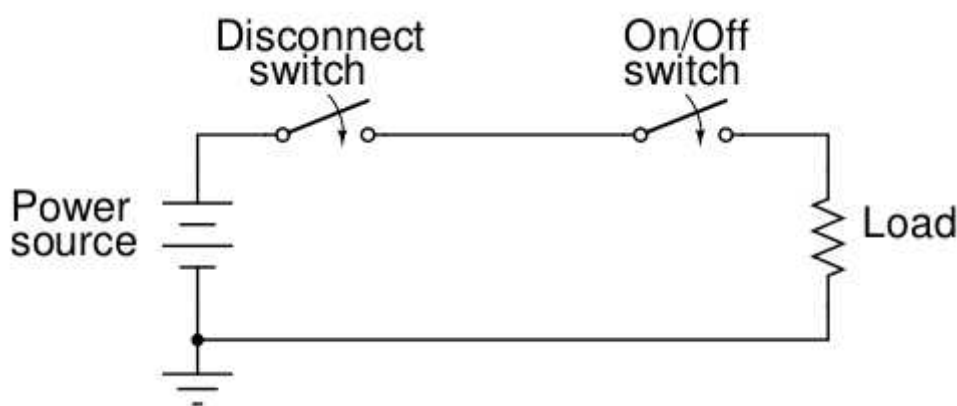
- Tensión peligrosa
- Presión de muelles
- Presión hidráulica (líquido)
- Presión neumática (aire)
- Peso en suspensión
- Energía química (sustancias inflamables o reactivas)
- Energía nuclear (sustancias radiactivas o fisibles)

La tensión, por su propia naturaleza, es una manifestación de la energía potencial. En un apartado anterior de estos apuntes se utilizó un líquido elevado como analogía de la energía potencial de la tensión, que tiene la capacidad (potencial) de producir corriente (flujo), pero que únicamente desarrolla ese potencial al establecerse un camino para la corriente entre los polos de la fuente de tensión.

Un par de cables con alta tensión entre ellos no parecen peligrosos aunque alberguen suficiente energía potencial entre ellos para causar una corriente mortal a través de una persona. Aunque el voltaje no se perciba, tiene el potencial de causar lesiones, y ese potencial debe ser neutralizado antes de que sea seguro manipular los cables.

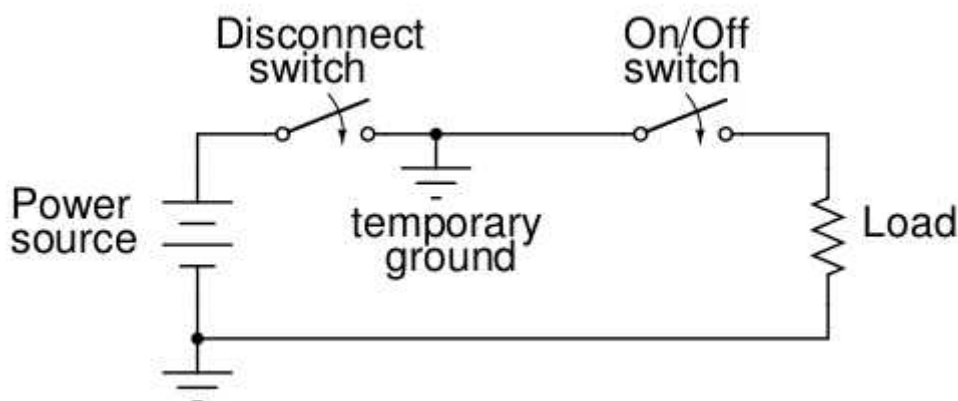
Todos los circuitos bien diseñados tienen un mecanismo de desconexión. A veces estos "desconectores" tienen la doble función de abrirse automáticamente a causa de corrientes excesivas, en este caso se llaman "disyuntores". Otras veces, los seccionadores son dispositivos estrictamente manuales sin función automática.

En cualquier caso, deben utilizarse correctamente. El dispositivo de desconexión debe ser independiente del interruptor utilizado para encender y apagar un dispositivo o alimentar un circuito. Se trata de un interruptor de seguridad, que sólo debe utilizarse para poner el sistema en un estado de energía cero:



Con el interruptor de desconexión en la posición "abierto" como se muestra (sin continuidad), el circuito está abierto y no circulará corriente. Habrá tensión cero a través de la carga, y la tensión de la fuente caerá en los contactos abiertos del interruptor de desconexión. No es necesario desconectar el conductor inferior, ya que está a potencial de tierra, y es mejor dejarlo así.

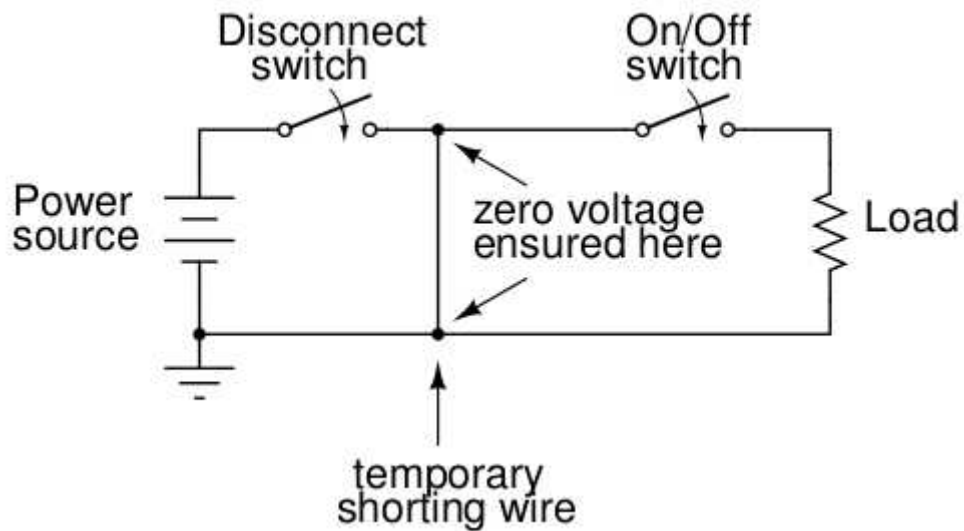
Para la máxima seguridad del personal que trabaja en este circuito, podría establecerse una conexión a tierra temporal en el lado superior de la carga, para garantizar que nunca se produzca una caída de tensión a través de la carga:





Con una conexión a tierra temporal, ambos lados del cableado de carga están conectados a tierra, asegurando un estado de energía cero en la carga.

Una conexión a tierra realizada a ambos lados de la carga es eléctricamente equivalente a un cortocircuito de la carga con un cable. Ésta es otra forma de reducir la energía a cero.



## 1.5 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)