

POR QUE MATA LA ELECTRICIDAD

por el

DR. JULIO MUT Y GIL

Madrid

La electricidad, cuya esencia se desconoce ha entrado tan a fondo en nuestros usos y necesidades, que es muy raro que exista una sola persona que no la utilice en alguna de sus modalidades. Lo corriente es que forme parte de nuestra vida de relación, de nuestras comodidades y lujos, y es, en suma, ya una necesidad. Así, lo mismo la utilizamos para hacer de la noche día, que para arrastrar cientos de toneladas o para descomponer el átomo.

Y aunque parece que la dominamos, que la obligamos a ser nuestra esclava, que está a nuestro servicio, la electricidad nos reserva sorpresas y venganzas, que se traducen en muchísimas muertes de tipo súbito, de las que, aparentemente al menos, no existe explicación. Y, sin embargo, la tiene. Intentaremos en esta somera nota aclarar el misterio de estas muertes frecuentes e inesperadas, o, por lo menos, sentar los fundamentos científicos que explican la razón de por qué mata la electricidad.

No podemos evitar el conocimiento de nociones básicas, y para su más fácil comprensión nos valdremos del símil hidráulico, en el cual se considera la electricidad como un líquido, ya que nuestra inteligencia no se detiene nunca ante nuestra ignorancia.

Potencial eléctrico

Consideremos un vaso A lleno de agua y colocado a un nivel superior de otro vaso B, que también contiene algo de líquido. Paralelamente, en la misma imagen, concibamos dos esferas, S. S', la primera de las cuales la suponemos a un *nivel eléctrico* superior al de la S', como así lo demuestra el electroscope aplicado a cada una de ellas (ángulo alfa mayor que el beta). De este modo tenemos creado un *potencial* (hidráulico o eléctrico) dispuesto a manifestarse en ocasión propicia.

Corriente eléctrica

Esta ocasión la obtenemos uniendo los dos depósitos considerados (vasos A y B) por medio de un tubo conductor, o las esferas por medio de un alambre asimismo conductor. En ambos casos se establecerá una *corriente*: hidráulica en el primero, eléctrica en el segundo. Esta corriente continuará hasta que lleguen a igualarse los niveles del líquido en los vasos A y A', o de la electricidad en las dos esferas S y S', señalando entonces los electros copios de médula de saúco iguales ángulos de separación (alfa igual a beta).

Fuerza electromotriz

En los casos arriba expuestos, la corriente cesará al igualarse o agotarse las diferencias de nivel, tanto hidráulico como eléctrico, en los sistemas; pero si por un medio mecánico renovamos el agua en el vaso superior o la electricidad en la esfera S, manteniendo siempre las diferencias de nivel, la corriente seguirá ininterrumpidamente, habiendo creado una fuerza: hidráulica en el primer tiempo; en el segundo caso *electromotriz*, en el de la electricidad.

Conocidas ya esquemáticamente las nociones básicas de la electricidad, debemos explicar a continuación las unidades arbitrarias eléctricas, inventadas para poder manejar este fluido imponderable y misterioso.

Unidad de potencia

La altura a que está colocado el vaso A considerado puede ser muy variable; las diferencias de potencial entre las esferas S y S' también pueden ser mayor o menor; es preciso determinarlas en cada caso, medirlas. Para ello ha sido preciso inventar una unidad y se la ha denominado *voltio* en recuerdo del físico italiano Volta, que fué quien ideó el primer electrogenerador de corriente (la pila eléctrica). Esta unidad de potencial corresponde, aproximadamente, a la diferencia de potencial que existe entre los dos polos de la pila eléctrica clásica. Así, cuando decimos que una corriente tiene 110 voltios de tensión, queremos expresar que la *diferencia de nivel eléctrico* de dicha corriente es parecida a la 110 elementos de pila Daniell, como tipo.

En el lenguaje técnico se hacen sinónimas las palabras de fuerza electromotriz, caída de potencial, tensión eléctrica, nivel eléctrico y, más corrientemente aún, voltaje.

Unidad de cantidad

La cantidad de agua que sale del vaso A hacia el vaso B, independientemente de la altura a que se halle colocado, puede ser pequeña o grande. En el primer caso, su fuerza será mínima (caso del fino chorro que lanza la aguja de una jeringa), y en el segundo puede ser inconmensurable (cataratas del Niágara). Se impuso la necesidad de tener una unidad de cantidad y se denominó *culombio* (en honor del físico francés Coulomb) a la cantidad de electricidad que se necesita para poner en libertad 0,327 miligramos de cobre en un voltímetro electroquímico.

Unidad de intensidad

Este culombio puede haber atravesado la solución electroquímica y haber efectuado la descomposición del electrolito en un minuto, en una hora, en un día. La cantidad de electricidad que ha pasado es fija; es el factor tiempo el que ha variado. Tenemos que admitir de este modo otra nueva medida: el *ampère*, que es el producto de un culombio por un segundo. El físico lyonés Ampère dió origen a este nombre de la unidad de intensidad.

Unidad de resistencia

Volviendo al símil hidráulico, unamos los vasos comunicantes por medio de un doble sistema de tubos; en el primer caso, los dos sistemas de tubos tienen igual calibre, pero distinta longitud (T más corto que T'). La resistencia que opone al paso del líquido el tubo T' es mayor que la del T.

En el segundo caso, los tubos diferéncianse en el calibre, pero tienen igual longitud; por esa razón la resistencia del tubo delgado es mayor que la del grueso. He aquí intercalado un concepto nuevo que, aplicado a la electricidad, puede exponerse así: el paso de la electricidad por un conductor estará condicionado por el diámetro y la longitud del alambre que una las esferas S y S' o los vasos A y B.

Esto se expresa por una ley eléctrica que dice: "*La resistencia (R) de un conductor eléctrico es proporcional a su longitud (l) y está en razón inversa a su sección (s).*" Que expresado en fórmula matemática:

$$R = \frac{l}{s}$$

La fórmula anterior es demasiado simplista, ya que es preciso añadir otro factor muy importante: la resistencia específica de cada cuerpo, ya que no ofrece la misma resistencia el paso de la corriente en un alambre de cobre que en otro de plomo, por ejemplo. Esta resistencia específica, muy variable en el cuerpo humano, veremos luego el papel tan importante que juega en la génesis de los graves accidentes eléctricos.

La unidad de resistencia, a la que se ha dado el nombre del físico alemán Ohm, es el ohmio, y se la define como la resistencia que ofrece al paso de la corriente eléctrica un alambre de cobre recocido de 50 metros de longitud y un milímetro de diámetro. Hay una relación entre las tres magnitudes eléctricas que acabamos de enumerar y que se conoce con el nombre de ley de Ohm:

$$I = \frac{E}{R}$$

Siendo I la intensidad de la corriente en amperios; E, la diferencia de potencial en voltios, y R, la resistencia del conductor en ohmios. Esta ley es muy importante para calcular y aplicar la electricidad y tendremos que hacer uso de ella para estudiar el porqué de las muertes por electricidad.

Variando los términos de la ecuación anterior y dando valores a las letras, encontramos estos datos interesantes:

$$R = \frac{1 \text{ voltio}}{1 \text{ amperio}} = 1 \text{ ohmio.}$$

$$I = \frac{1 \text{ voltio}}{1 \text{ ohmio}} = 1 \text{ amperio.}$$

$$E = 1 \text{ ohmio} \times 1 \text{ amperio} = 1 \text{ voltio.}$$

CLASES DE CORRIENTE ELÉCTRICA

La corriente eléctrica puede ser continua o *constante* y *alterna* o *alternativa*. La primera tiene su genuina representación en la corriente que generan las pilas eléctricas. Se la puede representar por la figura 1, en la que la línea vertical O A señala las intensidades, y la abscisa O T, los tiempos. La corriente estará representada por la línea A A', y la intensidad en cualquier momento (i t, i' t') será siempre igual a O A.

La corriente alternativa es una corriente periódica cuyo período está compuesto de dos semiperíodos iguales, pero de signo contrario (+ y —), según expresa la figura 2. Se llama *frecuencia* de una corriente alternativa al *número de períodos por segundo*. Así, al decir que la corriente alterna de Madrid tiene 50 períodos, expresamos el número de veces que en un segundo pasa un potencial cero a su máximo positivo, vuelve a cero y pasa a máximo negativo y retorna nuevamente a cero. Cuando el número de períodos por segundo no pasa de unos 200, las corrientes son de baja frecuencia, y cuando los períodos son más numerosos, de *alta frecuencia* (150.000, 200.000 y más). La alternancia de una corriente corresponde, como ya hemos dicho, a un semiperíodo. Un período es, pues, la suma de dos alternancias (una + y otro —). Al aplicar esta corriente al organismo hay una excitación por alternancia, o sea, dos por período.

ACCIÓN DE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS

Continuas.—Si aplicamos unos electrodos esponjosos humedecidos sobre el cuerpo humano y hacemos pasar una corriente continua cuya intensidad vamos aumentando progresivamente, la corriente pasará del electrodo unido al polo + del generador, al polo —, siguiendo una dirección que será la más corta entre los dos electrodos. Pero este paso no tiene lugar por *conducción* como en los conductores metálicos, sino por *convención*, o sea transportando cierto número de sustancias que se denominan *electrolitos* y que, según la afinidad que tengan con el polo + o el —, se les conoce por *aniones* (de anión: re-

montar) o *cationes* (de catión: descender). A los primeros se les supone cargados de electricidad negativa, y de positiva, a los segundos.

El cuerpo humano es un electrolito cuya sustancia electrolizable es el cloruro sódico. Pero es preciso resaltar que los fenómenos electrolíticos no se verifican aquí por desplazamientos iónicos en un medio líquido, sino en un medio sólido embebido de líquido. La velocidad de los iones estará, pues, condicionada a la resistencia que a su desplazamiento opone el medio electrolítico orgánico.

La piel es la parte humana que mayor resistencia opone al paso de la corriente eléctrica. Esto ha sido demostrado por Jolly aplicando dos electrodos a la piel sana y midiendo su resistencia; después desnudó la superficie dérmica por medio de un vejigatorio y comprobó que esta resistencia había disminuído enormemente.

Al paso de la corriente galvánica por el organismo tenemos un desplazamiento iónico que estará en relación con la fuerza electromotriz y la intensidad de la corriente. Esta propiedad ha sido utilizada en Medicina para la penetración de medicamentos en el organismo (iontoforesis, cataforesis). Si aumentamos la intensidad o el potencial de esta corriente galvánica, produciremos la electrólisis de los tejidos en el punto de contacto de los electrodos, precedido de sensaciones de picor, calor y dolor, con apariencias de verdaderas quemaduras.

La capa córnea de la piel, como ya hemos dicho, es, por tanto, cuando está seca e intacta, un aislante análogo al cristal o a la parafina, ya que esta capa es muy pobre en iones y está impregnada por el producto oleoso de las glándulas sebáceas. Si la piel se empapa de iones se hace mejor conductora eléctrica, siendo las glándulas sudoríparas las encargadas de suministrar a la piel esta humedad cargada de cloruro sódico. He aquí, en pocas palabras, explicada la diferencia de acción de las corrientes eléctricas sobre el cuerpo seco y húmedo, e igualmente explicada la resistencia eléctrica de las pieles gruesas y poco ricas en glándulas.

Aumentando el potencial de la corriente continua que atraviesa el organismo, o disminuyendo la resistencia de éste por las circunstancias que acabamos de enumerar, aplicando simplemente la ley de Ohm ya citada, podremos explicarnos fácilmente la peligrosidad de las corrientes usuales en ocasiones definidas.

De este modo podemos explicar varios casos de muerte por la electricidad, aparentemente sorprendentes. Un caso dió motivo a un comentario hecho por nosotros en "Vida Médica" (15 de octubre 1932).

y fué el siguiente: Un enfermo tenía aplicada una almohadilla eléctrica conectada a una corriente de 200 voltios; la abundante sudoración provocada por el calor de la misma hizo descender el factor R de la ley de Ohm, y la intensidad I llegó a un amperaje no soportable por el organismo, ocasionando la muerte del sujeto:

$$\frac{E = 200 \text{ V}}{R = 1.200 \text{ O}} = 166 \text{ mA}$$

que es una intensidad mortal.

Otro caso presenciado por nosotros fué el de un minero que subía de la mina por la rampa interior con las ropas húmedas; al escurrirse, se asió a los cables que conducían el fluido para el alumbrado del interior de la mina, fluido que era fabricado por un pequeño grupo electrógeno que en el momento del accidente trabajaba con solo 100 voltios. El minero fué electrocutado instantáneamente. La explicación de esta muerte es idéntica a la del caso anterior. Por cierto que la viuda de este desgraciado obrero lo era ya antes de otro que igualmente murió electrocutado al colocar una lámpara en un portalámparas de su domicilio.

Otro caso más podemos referir, por haberlo igualmente "vivido". Un operario estaba cavando un pozo para cimentación de una obra; se alumbraba con una lámpara conectada a la corriente urbana, de 125 voltios; como la humedad le provocaba abundante sudoración, trabajaba desnudo de cuerpo; en uno de sus movimientos, la bombilla tocóle en la espalda, exhaló un pequeño grito y cayó muerto.

Y todos los casos similares tienen la misma explicación (los electrocutados en el baño al tocar un timbre son abundantes); o sea, la alteración del factor I de la ley de Ohm al disminuir el factor R.

El mecanismo de esta muerte parece que es por *inhibición respiratoria por acción bulbar y por parálisis cardíaca por fibrilación ventricular*.

Alternativas.—La acción fisiopatológica de las corrientes eléctricas alternativas está ligada con su *frecuencia*. Si ésta es de la que hemos denominado *baja*, tienen acción sobre la sensibilidad, sobre los músculos de fibra lisa principalmente, y sobre la nutrición. Si la frecuencia es *alta*, las sensaciones son nulas, por haberse sobrepasado el dintel de esta sensibilidad; hay aumento de los cambios respirato-

rios, de la termogénesis, disminución de la tensión arterial, aumento del metabolismo azoado, etc. La relación entre la acción de la corriente alterna y su frecuencia está expresada gráficamente en el dibujo de Prévost y Batelli, donde se observa que la peligrosidad del voltaje es mayor entre las frecuencias de 50 y 100 períodos por segundo, que son, precisamente, las más usadas industrialmente.

El mecanismo de la electrocución por las corrientes alternativas es muy similar al de las corrientes continuas, pero con inversión de las acciones: primero parálisis cardíaca; segundo, inhibición respiratoria.

DEDUCCIONES

De todo ello se deduce que toda corriente eléctrica debe ser considerada siempre peligrosa; no existen *inmunidades* especiales, aun cuando haya personas que resistan descargas estoicamente; cualquier disminución de la resistencia por humedad, ya hemos visto que hace elevar el término I de la fórmula y convierte en mortal a una corriente inocua generalmente. El buen aislamiento del sujeto, la sequedad de sus manos y las callosidades de las mismas son las condiciones óptimas para impedir que disminuya esta resistencia. Debe vulgarizarse esta peligrosidad de la corriente eléctrica urbana para que llegue a conocimiento de todo el mundo y no se trate con indiferencia y hasta desprecio un arma cargada que se dispara inopinadamente y, casi siempre, con resultados mortales.

(Per "Clín. y Lab.", 268, 1954.)