
FENOMENOS ELECTRICOS IMPREVISTOS Y COMO PROTEGERSE CONTRA ELLOS

JAIME GRU UCHITEL

Ingeniero eléctrico, Universidad de California, Berkeley, 1958. Magister en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Columbia, Nueva York, 1964. Ex-Decano Facultad de Ingeniería Eléctrica, Univalle. Consultor en Electrónica Médica. Profesor de Electrónica en la Universidad del Valle y el ICESI. Director del Departamento de Ciencias Físicas y Tecnología, ICESI. Docente - Autor. Miembro de Asociaciones profesionales.

Hace unos quince años, en una ciudad importante de los Estados Unidos, una señora entró en la bañera de su lujosa residencia y desde allí decidió llamar telefónicamente a una de sus amigas. En el momento de marcar el número, sufrió un choque eléctrico que acabó infortunadamente con su existencia.

Por otro lado, se conoce el caso de un criminal condenado para ser ajusticiado en la silla eléctrica, quien soportó la descarga de unos miles de voltios aplicados entre su cabeza y manos y pies. La gente se pregunta entonces: ¿Qué es lo que mata: el voltaje o la corriente?

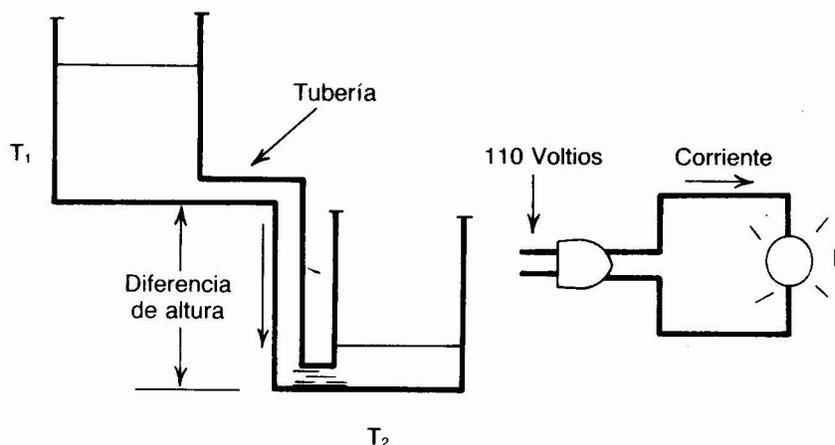
REPASO DE ALGUNOS CONCEPTOS BASICOS

Con el objeto de comprender con claridad este escrito, recordemos algunos

hechos fundamentales referentes a la electricidad. El voltaje es similar a la presión en un sistema hidráulico. En la Figura 1 se muestran dos tanques con agua a diferentes alturas. Se entiende que existe una diferencia de presión que hace que el agua circule desde T_1 hacia T_2 . En el caso eléctrico, se habla de diferencia de potencial o de voltaje, lo cual origina un flujo de carga eléctrica (electrones libres en los metales) por la lámpara L del dibujo, al enchufar el tomacorriente.

El voltaje en la mayoría de los "tomas" de Cali es de 110 voltios de corriente alterna, a diferencia de la corriente directa (unidireccional) que produce una pila de linterna de 1,5 voltios, o una batería para carro de 12 voltios. Entonces la denominación de "alterna" se debe a que la corriente cambia de dirección mu-

Figura 1.
Sistemas hidráulico y eléctrico comparados



chas veces por segundo. La frecuencia de 60 ciclos por segundo (o hercios) se relaciona con estos cambios de dirección.

La cantidad de líquido que baja, por unidad de tiempo, del tanque T_1 hacia el tanque T_2 depende no sólo de la diferencia de presión, sino también de las características de la tubería: su grosor, si es lisa o tiene sinuosidades internas que presenten dificultad al flujo de la corriente; en otras palabras, la cantidad de líquido que baja por segundo depende también de la resistencia del circuito. Algo similar sucede en el caso eléctrico: mientras mayor sea la resistencia conectada en el circuito, menor será la corriente, de acuerdo con la famosa Ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

En esta relación, I representa corriente (en amperios); V el voltaje (en voltios) y R la resistencia total del circuito (en ohmios).

Otra unidad importante en el trabajo eléctrico es el vatio. La corriente debe

efectuar un trabajo para vencer la resistencia del circuito. La fuente de voltaje provee la energía necesaria para ello y esta energía es igual al producto del voltaje por la corriente por el número de segundos en que esté circulando la misma. El vatio no es más que la cantidad de energía que entrega la fuente en cada segundo a un circuito con resistencias eléctricas o elementos de consumo.

$$P = V \times I \quad (2)$$

donde P es la potencia en vatios.

Combinando las ecuaciones (1) y (2), se obtiene:

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (3)$$

Esta última expresión se conoce con el nombre de "Ley de Joule". La energía eléctrica que entrega la fuente se convierte en energía luminosa, calor, trabajo mecánico, etc., según la naturaleza del dispositivo que se conecte en el circuito.

Vaiga la pena anotar que en corriente alterna, cuando la carga no es única-

mente de resistencias, la expresión (2) se modifica un poco. También debe aclararse que el consumo de energía que cancelamos a las Empresas Municipales se mide en una unidad híbrida denominada kilovatio-hora. Por ejemplo, una bombilla de 100 vatios que se use durante un total de 150 horas en el mes, consume:

$$\text{kilovatios-hora} = (0,100 \text{ kilovatios}) \times (150 \text{ horas}) = 15 \text{ kilovatios-hora en un mes}$$

Observe que 1 kilovatio es igual a 1000 vatios

Por la bombilla de 100 vatios circula una corriente igual a:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100}{110} = 0,9 \text{ amperios (aprox.)}$$

y presenta una resistencia al paso de la corriente dada por (1):

$$R = \frac{V}{I} = \frac{110}{0,9} = 122 \text{ ohmios}$$

EL CUERPO HUMANO Y SU RESISTENCIA ELECTRICA

Luego de este repaso, podremos tratar lo referente a los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano. La resistencia de éste al paso de la corriente no se mantiene constante, a diferencia de las bombillas. Observemos que el cuerpo contiene líquidos con iones, moléculas simples y complejas que permiten el flujo de la corriente con menor o mayor dificultad, dependiendo de muchos factores difíciles de determinar y cuantificar con exactitud. Los principales son: 1) Área y naturaleza del contacto entre conductores externos y el cuerpo. 2) Distancia y recorrido de la corriente; 3) tipo de piel, condición de la misma y estado de sudoración; 4) Volumen, peso y área corporal del individuo; 5) Concentración de elementos conductores de corriente en el organismo; 6) Humedad y temperatura ambiente.

Valores típicos de resistencia medida entre las dos manos, se encuentran en-

tre unos 5.000 a 10.000 ohmios por el lado bajo y por el alto puede llegar a 100.000 ó más ohmios, a 20 grados centígrados y 50% de humedad ambiente. Los valores menores corresponden a niñas con pieles delicadas; mientras que los mayores se registran entre obreros con manos callosas, apergaminadas y secas. Es importante anotar que estos registros corresponden a manos sin raspaduras, fisuras, etc., ya que cualquier escoriación o herida puede reducir grandemente la resistencia al paso de la corriente.

El impedimento (o impedancia) que ofrece el cuerpo a la circulación eléctrica, se simula como si se tuviera un núcleo compuesto por tejidos y electrolitos que presentan una resistencia total de unos 500 ohmios y la piel, cuya resistencia fluctúa entre unos 1.000 y 100.000 ohmios o más.

EFFECTOS DE LA CORRIENTE ELECTRICA EN ADULTOS

Es apenas obvio que los estudios sobre los efectos de la corriente en seres humanos se hayan hecho con voluntarios, para corrientes no letales; y apelando a datos que han podido recogerse, en casos de electrocutados accidentales por corrientes elevadas. El bulto de las investigaciones proviene de experimentos efectuados con animales, para fijar rangos de corrientes que afectan al corazón, sistema nervioso y muscular. Se ha hallado, como era de esperarse, que la magnitud de la corriente que circula por el cuerpo determina la severidad del choque.

El corazón es el órgano más susceptible a daño con corrientes muy bajas. Los movimientos normales de contracción y expansión de las fibras musculares del corazón que ocasionan la circulación de la sangre, se deben a impulsos eléctricos que se originan en el denominado nódulo sinoauricular, situado en la aurícula derecha y se propagan al resto del corazón. Una corriente alterna de magnitud tan pequeña como 100 microam-

perios (millonésimas de amperio) que circule por el miocardio en un determinado instante del ciclo cardíaco, puede impedir el subsecuente bombeo normal de la sangre. El efecto producido se denomina "fibrilación ventricular" y se manifiesta como una especie de aleteo sin el ritmo normal del corazón. De no tener asistencia apropiada e inmediata, siempre y cuando los daños no hayan sido irreversibles, se produce la muerte de la persona por falta de oxigenación de órganos vitales como el cerebro. La susceptibilidad de un individuo a la fibrilación ventricular en el caso de corrientes alternas, depende principalmente de los siguientes factores:

1) Voltaje; 2) resistencia eléctrica del cuerpo; 3) frecuencia de la corriente aplicada (60 Herzios en Cali); 4) trayectoria de la corriente por el organismo; 5) instante del ciclo cardíaco en el cual ocurre la descarga; 6) duración de la descarga; 7) estado general de salud. Otros factores que intervienen, según estudios realizados, incluyen los siguientes: heridas, enfermedad del miocardio, reducción del oxígeno, consumo de determinadas drogas, estado psicológico, etc.

La tabla que se presenta a continuación, resume los efectos de la corriente alterna de 60 Herzios, según la intensidad que circula por un cuerpo humano promedio. Son resultados estadísticos obtenidos por varios investigadores, entre ellos C.F. Dalziel de la Universidad de California.

Menos de 1 miliamperio
(un milésimo de amperio):
efecto imperceptible
Umbral de percepción:
alrededor de 1 miliamperio.
Máxima corriente que no produce
daño: 5 miliamperios
Máxima corriente que permite
soltar voluntariamente
el conductor:
10 a 15 miliamperios
Corrientes que producen dolor
y posible parálisis respiratoria:
a partir de unos 20 miliamperios.

Corrientes externas que producen
fibrilación ventricular en forma
prácticamente segura:
100 a 300 miliamperios.
Corrientes que producen
quemaduras serias:
a partir de 2 amperios.

Un ejemplo simple permite apreciar qué puede sucederle a una persona que recibe una descarga entre las dos manos al tocar la línea residencial de 110 voltios, suponiendo que en ese momento ofrece una resistencia de 20.000 ohmios. Aplicando la Ley de Ohm (exp. 1):

$$I = \frac{110 \text{ Voltios}}{20.000 \text{ ohmios}} =$$

$$5,5 \times 10^{-3} \text{ Amperios} = 5,5 \text{ miliamperios}$$

Es decir, esta persona tendrá una experiencia bastante desagradable, por lo menos. Si las manos están húmedas, la corriente alcanza niveles de gran peligro.

Es importante dejar establecido que la resistencia eléctrica del organismo varía grandemente no sólo cuando se comparan diversas personas, sino también en un mismo individuo, ya que la resistencia depende de numerosos factores tanto internos como externos. Se ha comprobado, en forma experimental, que se requieren valores mayores de corrientes directas (o continuas) que de corrientes alternas, para producir efectos similares. La máxima sensibilidad del cuerpo coincide, ¡desgraciadamente!, con corrientes que cambian de dirección 120 veces por segundo (frecuencia de 60 herzios).

PRIMEROS AUXILIOS EN CASO DE CHOQUE ELECTRICO

1. Proceder a desconectar de inmediato el aparato, en caso de que la persona no haya soltado el conductor.
2. Tener el mayor cuidado si el individuo entró en contacto con un cable de alta tensión en la calle (alambre caído, por ejemplo). Utilizar una varilla fuerte de plástico o un palo largo

de madera seca para separar el cable. ¡Evite que sea más de una la víctima, pero preste su ayuda de ser ello posible!

3. Si la persona está respirando pero sin sentido, colocarla acostada sobre un lado del cuerpo, luego de aflojar las ropas que cubren el tórax. Iniciar maniobras de reanimación.
4. En caso de dificultad o parálisis respiratoria, aplicar con la mayor prontitud respiración boca a boca. Llamar de inmediato ayuda médica.
5. En caso de extrema debilidad en el pulso, la situación es gravísima. Se requiere atención médica urgente. Mientras ésta se consigue, comenzar masaje cardíaco extracorpóreo y respiración boca a boca. No suspender estas maniobras hasta cuando llegue atención médica, aun cuando el individuo no dé señales aparentes de vida.
6. En general, debe evitarse el enfriamiento de la persona y procurar que tenga buena ventilación. Si la corriente ha producido quemaduras visibles, lavarlas con agua fría y limpia

y no cubrirlas con pomadas, vendas, etc., mientras se busca atención profesional adecuada.

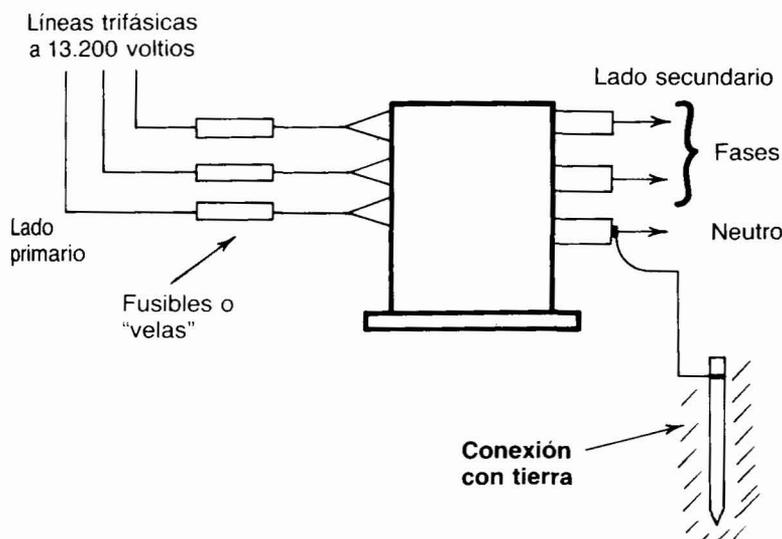
IMPORTANCIA DE INSTALACIONES ELECTRICAS CONFIABLES

A pesar del mayor peligro que ofrece la corriente alterna en comparación con la directa, se ha impuesto a esta última por las facilidades que ofrece en cuanto a producción, transmisión, utilización y economía. Cuando se requiere corriente directa, como en el interior de las computadoras, la alterna se "rectifica" en circuitos baratos y sencillos.

En general, las plantas productoras de electricidad se hallan donde existen embalses como Calima, Alto Anchicayá, etc. Para transmitir la energía hacia las ciudades y para reducir pérdidas; se construyen líneas a tensiones de 115.000, 220.000 y 500.000 voltios, sostenidas por torres con grandes aisladores y pararrayos. Cerca de las ciudades, existen estaciones reductoras de voltaje, de tal manera que en nuestras calles se observan las denominadas "líneas primarias" que se ven como tres

Figura 2.

Transformador de distribución domiciliaria



conductores horizontales o *fases*, con 13,200 voltios entre cualesquiera dos de ellos. Esto se denomina distribución trifásica.

Puesto que en las residencias y muchos edificios prácticamente todos los aparatos e implementos funcionan con 110 ó 220 voltios, se observan transformadores en los postes de energía o en instalaciones subterráneas o a nivel del piso, que se encargan de la reducción de voltaje a los niveles domiciliarios requeridos.

En las residencias se emplea comúnmente la denominada "instalación trifilar", que no debe confundirse con trifásica.

Trifilar significa tres hilos; trifásica, tres fases. En una instalación trifilar típica, se encuentran dos líneas mal llamadas "fases" y una tercera denominada neutro. La tensión entre fases es de 220 voltios, y entre una cualquiera de las fases y neutro, de 110 voltios.

El neutro es el conductor que provee el retorno de la corriente hacia el transformador, luego de que ésta circula por los diferentes dispositivos o aparatos de consumo. El neutro se conecta con tierra con varios propósitos: a) evitar que en caso de falla interna en el transformador de distribución, aparezcan en el lado secundario (residencial) tensiones tan altas como existen en el primario; b) en caso de rayos o de sobretensiones instantáneas severas, proporcionarles un retorno fácil; c) enviar a tierra tensiones indeseables inducidas por la corriente eléctrica en diferentes partes de la instalación.

Nunca deben pasarse por alto las conexiones con tierra de la mayoría de los electrodomésticos y menos las de computadoras y otros aparatos empleados en el procesamiento de la información. Los tomacorrientes modernos son polarizados; es decir, traen una ranura más ancha que la otra y a ella debe conectarse el alambre neutro de la instalación. Además, tienen una entrada en forma de medialuna para acomodar la pata re-

donda de los enchufes. A esta pata redonda llega un alambre que hace conexión con la carcasa, chasis o cubierta de los electrodomésticos. En todo tomacorriente aparece por lo menos una fase y el neutro. Cuando se toca la fase, estando con los pies descalzos o con zapatos húmedos, se recibirá una descarga que puede ser seria, ya que la corriente retornará a tierra a través del cuerpo del individuo.

En las Figuras 3a y 3b, se compara una instalación insegura con otra que protege al usuario.

De un análisis cuidadoso de ambas figuras, se deduce que por ningún motivo debe evitarse el uso de la clavija o enchufe con pata redonda, colocando adaptadores de 3 a 2 patas.

En cuanto a la toma de tierra: mientras menor sea la resistencia eléctrica entre la clavija redonda y el neutro de la instalación, mucho mejor. Valores aceptables pueden llegar hasta unos 5 ohmios como máximo. El voltaje entre esta clavija y neutro, debe ser inferior a los 2 voltios. Para una buena conexión a tierra, se emplean varillas denominadas "copperweld", que se fabrican en hierro y se recubren con cobre o una aleación conductora y resistente a la corrosión. La varilla mide más o menos 1,80 metros y tiene un grosor de casi una pulgada. Se entierra verticalmente, dejando un margen de unos cuantos centímetros por encima de tierra para hacer la conexión con un alambre de cobre cuyo calibre depende de la corriente que tomen los aparatos servidos por la tierra. En todo caso, el calibre mínimo corresponde a un alambre número 14. La conexión entre el alambre y la varilla debe ser firme y segura.

Con el objeto de garantizar una excelente conducción a tierra, se debe verter alrededor de la varilla y con cierta periodicidad, una solución de una media libra de sal de cocina ó de sulfato cúprico por cada 2 ó 3 litros de agua. La distancia entre los aparatos que se conectan a tierra y ésta debe ser la menor posible

Figura 3A.

En una instalación residencial insegura, una falla interna del aparato puede ocasionar una fuga de corriente desde la fase o conductor "vivo" y su retorno hacia el neutro a través del cuerpo del usuario y de tierra.

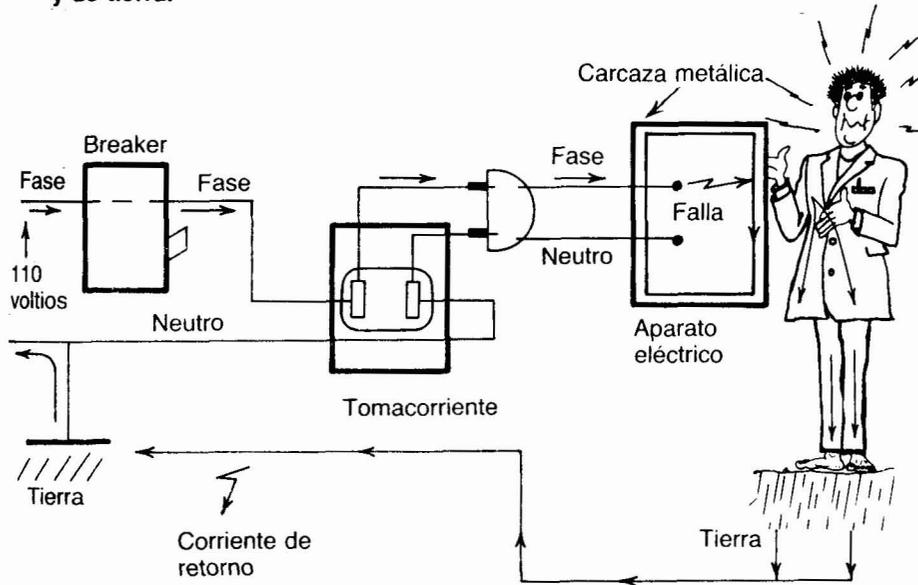
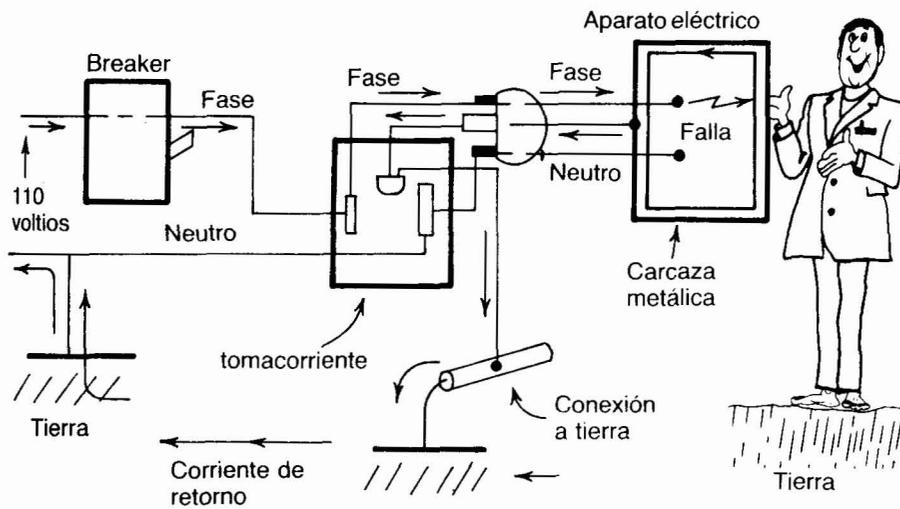


Figura 3B.

En una instalación bien protegida, en caso de falla interna en el aparato eléctrico, la corriente retorna a tierra por la clavija redonda y no a través del cuerpo del usuario, quien queda protegido.



(la resistencia a tierra aumenta con la longitud de la instalación).

Cuando el terreno es rocoso o arcilloso, o cuando se desea reducir la resistencia a tierra, pueden usarse tres o más varillas, conectadas entre sí y en configuración de triángulo equilátero o de cuadrado, etc. y separadas por distancias de 1 a 1,50 metros.

Dejando un poco el problema crucial de la seguridad de los usuarios, puede afirmarse que la conexión a tierra es algo *imprescindible* en toda instalación de cómputo. No es de extrañar el mal funcionamiento de las máquinas, la presencia de ruidos e interferencias y la susceptibilidad a daños graves en las memorias de los aparatos en presencia de ligeras tormentas eléctricas o inducciones debidas a motores y otros aparatos eléctricos de la edificación.

En toda instalación eléctrica se generan sobretensiones o picos de voltaje de corta duración, ocasionados por la conexión y desconexión de diferentes aparatos, especialmente de aquellos que tienen motores eléctricos. Por ello se requiere siempre el empleo de cortapicos o de filtros de línea. Además de éstos, las computadoras exigen el empleo de reguladores electrónicos de voltaje, para mantener la alimentación prácticamente constante en un valor de 110 voltios, a pesar de las fluctuaciones en la tensión de línea.

Existen estabilizadores llamados "automáticos" que no son electrónicos y que no deben emplearse en instalaciones de cómputo, puesto que son un poco lentos en el ajuste del voltaje. Se requieren los de respuesta rápida o sea los llamados "electrónicos".

La necesidad de estabilizar el voltaje puede apreciarse del hecho que en Cali no es raro registrar tensiones tan altas como 130 voltios en ciertas horas de la noche y en fines de semana, cuando el consumo de energía baja en la ciudad; y a veces se miden 90 voltios en línea en las horas "pico" o de alto consumo.

Estas fluctuaciones son perjudiciales para los circuitos de las computadoras.

Las unidades denominadas UPS (fuentes de alimentación que no se interrumpen), convierten la corriente directa de un banco de baterías en alterna a 110 voltios y mantienen el suministro de energía durante cierto período en caso de falla total en la red. Se trata de aparatos relativamente costosos que se justifican en sectores con apagones frecuentes o donde son muy perjudiciales las suspensiones imprevistas en el procesamiento de trabajos.

PRECAUCIONES EN EL USO DE LA ELECTRICIDAD

Cuando se trabaje con dispositivos eléctricos, es importante recordar algunas precauciones generales:

- 1) Asegurarse de que los cables, tomacorrientes y enchufes estén en buen estado: sin cortes, remiendos o partes flojas o sueltas.
- 2) No abrir ni trabajar en el interior de aparatos mientras se encuentren conectados, a menos que usted sea un verdadero experto. No olvide que en el interior de monitores de color se encuentran tensiones del orden de 28.000 voltios.
- 3) No trabaje descalzo ni con manos húmedas y absténgase de tener vasos o botellas con líquidos en las mesas cerca de los aparatos eléctricos. Los líquidos pueden conducir la corriente y en caso de un derrame accidental, hacer contacto con tensiones altas con inminente peligro para el usuario.
- 4) Cuando maneje equipos eléctricos o electrónicos que tengan partes conductoras, es conveniente quitarse anillos, relojes y pulseras metálicas.
- 5) No confíe en gente empírica para que efectúe sus instalaciones. Asegúrese de que sean personas entrenadas, con buenos conocimientos y experiencia.

- 6) Haga revisar con alguna frecuencia sus instalaciones y aparatos. Reemplace o repare inmediatamente todo dispositivo que presente alguna falla. Sea especialmente cuidadoso con estufas, neveras y otros electrodomésticos a los que les sienta cierto "cosquilleo" al tocarlos.
 - 7) Los circuitos eléctricos no deben sobrecargarse. No enchufar estufas, planchas o aparatos de alto consumo en tomacorrientes de alcobas, salas, etc. Mire los vatios en una plaquita que trae la mayoría de los aparatos por debajo o en la parte trasera. Aquellos que requieran 1.000 ó más vatios, deben tener instalación propia. Es un error gravísimo cambiar los breakers o tacos por otros de mayor amperaje al que tenían los anteriores, puesto que ello conduce al calentamiento de los conductores y la posibilidad de su deterioro con riesgo de cortocircuitos e incendios. Cuando un breaker se dispara es porque hay sobrecarga en el circuito que él protege, o hay un corto en algún dispositivo o equipo.
 - 8) Evite conectar y usar radios, teléfonos y otros implementos que puedan ofrecer peligro en lugares con altos niveles de humedad y buena conductividad como cuartos de baño.
 - 9) Nunca desconecte aparatos halando el cordón. Sujete bien el enchufe, mirando antes que no existan alambres descubiertos.
- Las siguientes recomendaciones deben tenerse en cuenta en caso de tormentas eléctricas:
- 1) Desenchufe todos los aparatos electrónicos: televisores, betamax, computadores, juegos, equipos de sonido mientras dure la tempestad, con el objeto de protegerlos contra posibles daños ocasionados por sobretensiones que entran por las líneas de energía.
 - 2) No utilice el teléfono.
 - 3) Evite tocar marcos metálicos de puertas, ventanas y en general, todo implemento metálico que haga parte de la estructura de la edificación.
 - 4) No guarecerse debajo de los árboles, ramadas, casitas de madera y alejarse de las líneas de alta tensión y postes de energía.
 - 5) Si está en lugares abiertos, evite ser la parte "alta" de los mismos. Busque hondonadas o tiéndase horizontalmente. Los rayos buscan el camino más fácil; caen sobre objetos o partes altas, en aristas y cosas agudas.
 - 6) El interior de un automóvil ofrece menos peligro que el exterior. Sin embargo, tiene riesgo bajarse del carro luego de una descarga atmosférica sobre el mismo, por la posibilidad de haber almacenado electricidad estática con respecto a tierra. En tal caso, alguien de afuera debe remover esa energía mediante un alambre u objeto metálico conectándolo primero a tierra por un extremo y luego por el otro a la carrocería.
 - 7) Es falsa la creencia de que el rayo no cae dos veces en el mismo lugar. Se sabe que antes de producirse la descarga, el aire se ioniza formando una especie de camino que permite el paso fácil de la chispa. Mucha gente ha reportado haber sentido que sus vellos y pelo se erizan durante una tormenta, especialmente cuando no está lloviendo o no hay una humedad elevada en el ambiente; este fenómeno se debe precisamente a la presencia de tensiones atmosféricas altas, que ocasionan la existencia de iones o cargas eléctricas en el aire y señalan la inminencia de rayos.
 - 8) No sobra recomendar la instalación de pararrayos en edificios y en residencias campestres situadas en lugares expuestos.

La electricidad ha demostrado ampliamente ser la forma de energía más eficiente, fácil de usar y que no produce

contaminación al no dejar residuos, al contrario de las energías térmica, mecánica, química o nuclear. Tiene además menos riesgos que las otras clases, como lo demuestran las estadísticas. Sin embargo debemos estar siempre prevenidos y no pecar por exceso de confianza. Sólo así podremos disfrutar sin contratiempos de sus grandes y múltiples beneficios.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Abbot & Smith, *National Electrical Code Handbook*, Novena edición, McGraw-Hill Book Company, New York.
2. Agudelo, Luis J, *Curso abreviado sobre instalaciones eléctricas, interiores, motores e iluminación*, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá, 1983.
3. Bahill, A.T., *Bioengineering: Biomedical, Medical and Clinical Engineering*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1981.
4. Dalziel, C.F. and Lee, W.R., *Lethal Electric Currents*, IEEE Spectrum, Feb. 1969.
5. Educar Cultural Recreativa, *Enciclopedia Familiar de la Salud*, tomo 11, Bogotá, 1984.
6. Webster, John G. (editor), *Medical Instrumentation: application and Design*, Houghton Mifflin Company, Boston, 1978.