

Efectos de la corriente eléctrica en las personas y en los animales domésticos

Efecto de los rayos en las personas y en los animales domésticos (IEC/TR 60479-4:2011 MOD)

Juan Carlos Arcioni
Instituto Argentino de Normalización
IRAM

Este artículo técnico es una versión argentina del informe técnico 60479-4:2011 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC/TR 60479-4:2011, *Effects of current on human beings and livestock. Part 4: Effects of lightning strokes on human beings and livestock*).

Dicho informe técnico fue preparado por el comité de estudios TC 64: Instalaciones eléctricas y protección contra choques eléctricos. La tarea principal de los comités de estudios de la IEC es elaborar normas internacionales. Sin embargo, un comité de estudios puede proponer la publicación de un informe técnico cuando ha reunido datos de diferente naturaleza de los que

normalmente se publican como normas internacionales que pueden comprender, por ejemplo, las informaciones sobre "el estado del arte" (estado de la técnica). Así, el TC 64 elaboró este informe técnico IEC-TR 60479-4.

Introducción

La serie de publicaciones IEC 60479 de IEC en sus partes 1, 2 y 3 trata de la influencia y los efectos del paso de la corriente eléctrica en el cuerpo humano y en el cuerpo de los animales domésticos, es decir, trata del choque eléctrico, que es el efecto fisiológico o patológico causado por el paso de esa corriente en el organismo humano o animal.

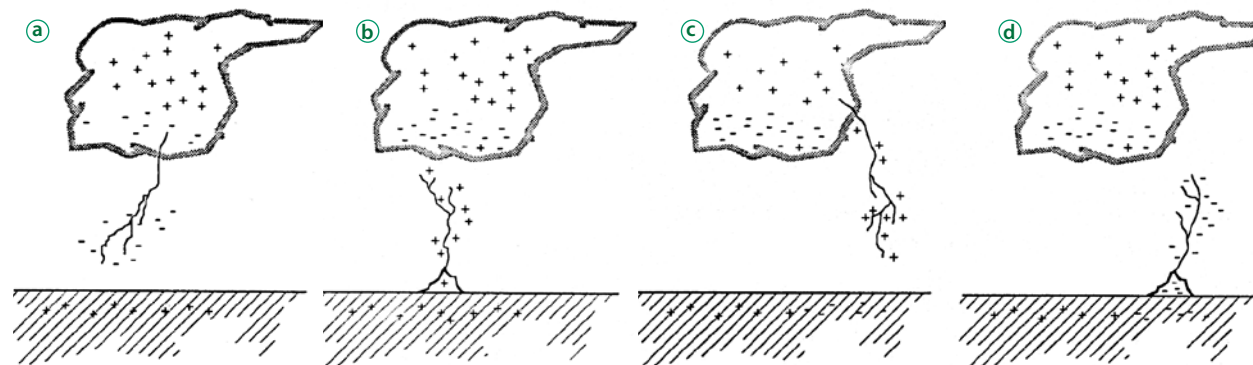


Figura 1. Clasificación de los rayos (a tierra)

- a) El rayo comienza con un precursor (trazador) descendente con cargas negativas (descendente negativo)
- b) El rayo tiene una carga positiva en un precursor (trazador) ascendente y, en consecuencia, este tipo de rayos disminuye la carga negativa del suelo
- c) Las descargas se inician mediante un precursor (trazador) positivo descendente
- d) Un precursor (trazador) negativo ascendente realmente disminuye la carga positiva de las nubes

La parte 4 del mismo informe describe la influencia y los efectos de la electricidad natural en la forma de rayos que caen durante las tormentas eléctricas.

La corriente de un rayo puede comprender varios impulsos unipolares y/o bipolares que presenten distintos valores de cresta y duraciones.

El capítulo 6 de la IEC 60479-2 (Efectos de corrientes de un solo impulso de corta duración) no trata de los efectos de las corrientes de los rayos en los cuerpos humanos o animales.

La interacción entre el impacto de un rayo y el cuerpo de una víctima es muy diferente de la experimentada habitualmente en los choques eléctricos causados por las corrientes alternas de cincuenta o de sesenta hertz (50 o 60 Hz).

El camino de paso de la corriente del rayo muchas veces incluye la cabeza durante los accidentes causados por los rayos (ver figura 2). Este camino implica una probable inclusión del cerebro y, en consecuencia, del centro respiratorio, en contraste con los caminos de paso corporal de la corriente alterna que produce el choque eléctrico habitual (camino mano-pies, mano-mano).

En particular, se deben resaltar las diferencias existentes entre los accidentes causados por rayos directos de los accidentes que provocan las tensiones del paso humano en corriente alterna. Aún los "rayos simples cortos" de muy escasa duración pueden causar los paros cardiopulmonares ([5], [6], [12] y [13] de la bibliografía del TR 60479).

Las intensas interacciones con los organismos humanos son muy peligrosas, pero felizmente no son siempre letales. Se admite que más del noventa por ciento (90%) de los accidentes causados por los rayos no son mortales (ver [1] y [9]). Los datos correspondientes para los animales no son conocidos. Existe una variabilidad muy grande, debida a los distintos medioambientales, a las diversas actividades de la gente, al conocimiento de los primeros auxilios y a la calidad de la atención y cuidados médicos ([1] y [5]).

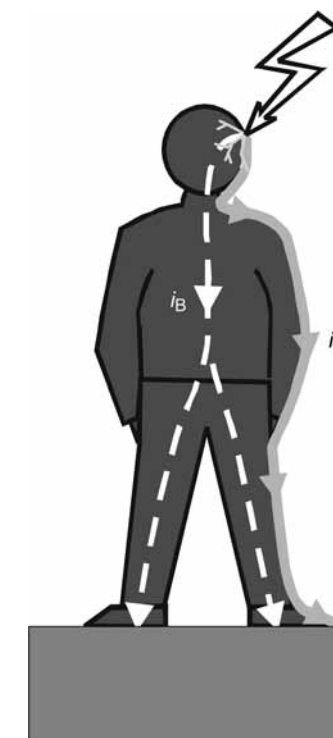


Figura 2. Impacto directo (de un rayo a tierra sobre una persona)
 i_B : corriente en el cuerpo humano
 i_S : la corriente de contorneo sobre la superficie corporal humana

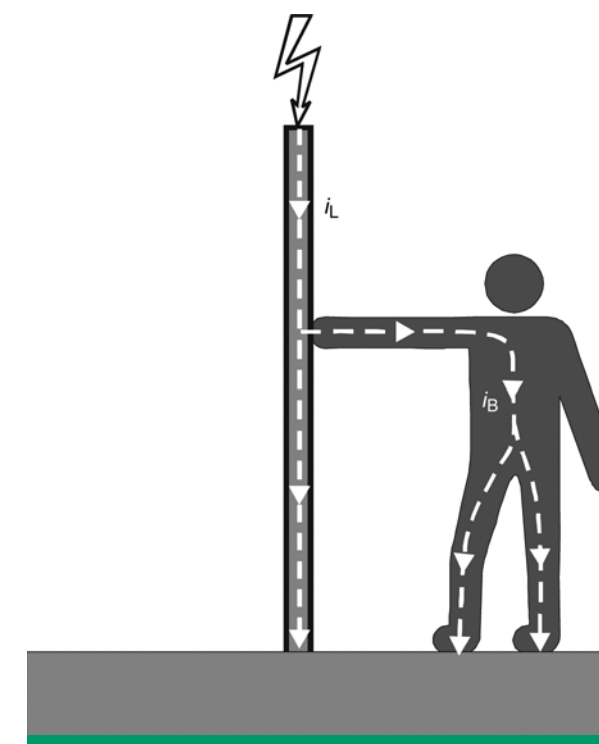


Figura 3. Tensión de contacto (mano-pies)
 i_L : corriente del rayo a tierra
 i_B : corriente en el cuerpo humano

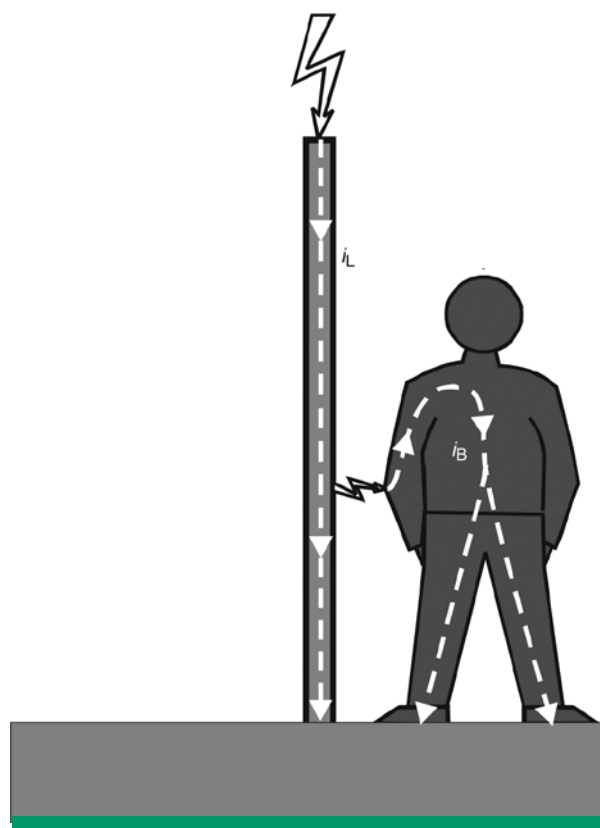


Figura 4. Impacto lateral
 i_L : corriente del rayo
 i_B : corriente en el cuerpo humano

Por estas razones, la IEC consideró necesario crear un documento separado acerca de los aspectos particulares de los impactos de los rayos. En la primera parte de este TR 60479-4 se describe el aspecto físico fundamental de los rayos; en la segunda parte se trata de su interacción con el cuerpo humano y en la tercera parte se trata de sus consecuencias sobre la vida humana.

Objeto de campo y aplicación

Este informe técnico IEC TR 60479-4:2011 resume los parámetros esenciales del rayo y su variabilidad con respecto a la dirección de los impactos, a su duración, a la pendiente del frente de la onda de corriente y a su valor de cresta.

Se indican las probables interacciones directas e indirectas entre el rayo y el cuerpo humano.

Se describen los efectos resultantes causados por la corriente del rayo en el organismo.

El objeto de este informe técnico es el de mostrar las diferencias existentes entre los efectos causados por el rayo sobre el cuerpo humano y sobre el de los animales en comparación con los choques eléctricos habituales (a frecuencia industrial, cincuenta o sesenta hertzios).

Documentos normativos para consulta

El documento normativo que se menciona a continuación es indispensable para la posible aplicación de este artículo técnico.

IEC TS 60479-1 Efectos de la corriente sobre el hombre y los animales domésticos. Parte 1: Aspectos generales.

Definiciones

Definiciones de términos técnicos

Rayo a tierra. Descarga eléctrica atmosférica que comprende uno o varios impulsos de corriente componentes (rayos simples).

Rayo simple (componente). Descarga eléctrica atmosférica simple (de un solo impulso de corriente) en rayo a tierra.

Canal del rayo. Camino conductor eléctrico de la corriente del rayo.

Precursor. Descarga inicial (con una corriente baja y una baja emisión de luz) que abre un canal del rayo mientras crece.

Rayo principal, rayo de retorno. La parte iluminada con más brillo que presenta una alta corriente de descarga y que se inicia cuando el precursor entra en contacto con la tierra.

Rayo descendente. Rayo iniciado por un precursor descendente desde una nube hacia tierra.

Rayo ascendente. Rayo iniciado por un precursor ascendente desde la tierra hacia la nube.

Corriente continuativa. Valor medio de la componente de mayor duración de la corriente del rayo.

Valor de cresta. Valor máximo de la corriente del rayo. Este valor tiene entre cuatro y 250 kiloamperes

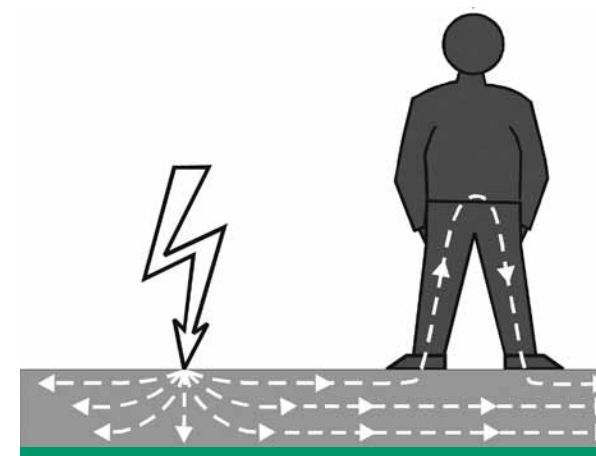


Figura 5. Tensión del paso humano

para la mayoría de los rayos simples (componentes) positivos y negativos. [7]

Carga (eléctrica) del rayo. Integral, en el tiempo, de la corriente del rayo para la duración total del rayo. Este valor varía entre 0,2 y 350 C para la mayoría de los rayos positivos y negativos.

Carga de impulso, carga de un rayo "corto". Integral, en el tiempo, de la corriente del rayo para la "punta de impulso" de la duración del rayo. Este valor varía entre 0,22 y 150 C para la mayoría de los rayos positivos y negativos.

Energía específica. Energía disipada por la corriente del rayo en una resistencia de valor unitario (un ohm). Integral del cuadrado de la corriente del rayo para la duración total del rayo. Este valor varía entre 6×10^3 y $1,5 \times 10^7$ J/ Ω para la mayoría de los rayos positivos y negativos. [7]

Pendiente promedio. Promedio de variación temporal de la corriente calculada entre el diez y el noventa por ciento (10-90%) de la amplitud (valor de cresta) del frente de la onda. Este valor varía entre 0,2 y 99 kA/ μ s para la mayoría de los rayos positivos y negativos.

Duración del rayo simple (componente). Varía entre quince y 2.000 μ s para la mayoría de rayos simples (componentes) positivos y negativos. [7]

Intervalo entre rayos simples (componentes). Intervalo de tiempo entre el rayo simple (componente) inicial y los componentes consecutivos.

Duración total del rayo. Varía entre 0,1 y 1.100 milisegundos, para la mayoría de los rayos a tierra positivos y negativos. [7]

Nota 1. Las experiencias prueban que la distribución estadística de los parámetros de los rayos indicados en este apartado se puede aproximar a una "distribución logarítmica normal". [7]
 Nota 2. Un rayo está compuesto por un cierto número de rayos simples (componentes). Puede haber una corriente continuativa que dure algún tiempo. Por lo tanto, la duración total del rayo depende de la duración de sus componentes, de su cantidad en el rayo y de la duración de cualquier corriente continuativa. Todos estos elementos son variables y descriptibles estadísticamente.

Definiciones de las interacciones (entre rayos a tierra y personas o animales)

Rayo directo (impacto de rayo directo). Interacción en la que la extremidad o punta del precursor toca directamente al cuerpo humano (ver figura 2).

Tensión de contacto (personal o animal). Tensión que hay entre las partes conductoras (accesibles) en el momento cuando las tocan simultáneamente una persona o un animal (ver figura 3).

Rayo lateral. Arco eléctrico entre una estructura y un ser humano que está próximo a la estructura donde "cae" el rayo (ver figuras 4 y 7).

Tensión del paso (humano o animal). Tensión entre dos puntos sobre la superficie del suelo (del terreno). [IEC 60050-195:195-05-12 modificada (25)].

Nota. Ver las figuras 5 y 6 donde se indican las probables corrientes resultantes de las tensiones del paso.

Corriente de descarga de un trazador precursor (streamer). Corriente que fluye a través de un individuo mientras que ese individuo sirve como el punto de arranque para un trazador precursor ascendente (*upward streamer*) que finalmente no se junta con un trazador conector a pasos (*stepped leader*) descendente para formar un canal conductor del rayo (ver figura 8).

Cebado (de un arco eléctrico). Arco eléctrico sobre la superficie del cuerpo que transporta una parte significativa de la corriente. Se puede producir en combinación con los efectos antes mencionados (ver figura 2).

Definiciones de los efectos de los rayos sobre los organismos

Efectos fisiológicos. Estimulación eléctrica externa de células excitables, tales como toda clase de músculos, músculos lisos de las arterias y de las venas, músculos que mantienen el esqueleto, músculo cardíaco, los nervios y todas las estructuras del cerebro. Estos efectos son transitorios.

Efectos patofisiológicos. Efectos de estimulación o de inhibición que conducen a disfunciones reversibles o irreversibles de las estructuras afectadas del organismo. Estos efectos son de larga duración.

Efecto térmico. Efecto de la corriente que produce un calentamiento local y transitorio de las estructuras afectadas hasta las temperaturas con las que aparecen las destrucciones de las células. Los efectos de la evaporación quedan por probarse. [14]

Fenómenos de los rayos (física del rayo)

Es muy compleja o complicada la explicación de los mecanismos físicos básicos para la aparición y el desarrollo de los rayos.

Las explicaciones más recientes toman en cuenta la generación de una nube de capas tripolares mediante una transferencia de cargas microscópicas entre las partículas del granizo blando, *graupel*, y los cristales de hielo [3].

El rayo es una descarga eléctrica transitoria de altas corrientes cuyos caminos electroconductores se miden en kilómetros.

Más de la mitad de los rayos ocurren dentro de las mismas nubes y se llaman descargas intranubes (IC, por sus siglas en inglés).

Los rayos nube-tierra (CG, por sus siglas en inglés) se estudiaron con mayor extensión que otras formas de los rayos, particularmente, en virtud de que su importancia práctica es esencial, por ejemplo, como causa de lesiones y de muertes, de perturbaciones (disturbios) en redes eléctricas de energía (baja tensión, alta, media, etcétera) y en redes de telecomunicaciones y de incendios en bosques o forestas; y porque los rayos debajo de las nubes son más fáciles de estudiar con técnicas ópticas.

Las descargas entre nubes y entre nubes y aire son menos frecuentes que las descargas intranubes y entre nubes y tierra. Todas las demás descargas (salvo las de nubes a tierra) muchas veces se reagrupan o combinan dentro del término general de "descargas de nubes".

Se identifican cuatro tipos diferentes de descargas entre nubes y el suelo (ver figura 1). Los rayos negativos probablemente son del orden del noventa por ciento (90%) de las descargas nube-tierra en todo el mundo (figura 1a), y menos del diez por ciento (10%) de las descargas de rayos se inician por un precursor positivo descendente (figura 1c).

Las descargas tierra-nubes se inician por los precursores ascendentes (figuras 1b y 1d). Estos rayos ascendentes (tierra-nubes) son relativamente raros y aparecen sobre los picos de las montañas y las estructuras de gran altura (construidas por el hombre) [3].

Otros parámetros físicos importantes son la energía específica de cada rayo simple (componente), la velocidad media de crecimiento de la corriente, así como la duración del rayo simple (componente) y la duración total del rayo con varias componentes (rayos simples) en este mismo rayo.

Los efectos mecánicos del rayo se relacionan con el valor de cresta de la corriente y con la energía específica.

Los efectos térmicos se relacionan con la energía específica si existe un acoplamiento resistivo y si se desarrollan arcos eléctricos voltaicos debidos a la carga eléctrica total o a la carga del impulso. En los rayos positivos se registran los mayores (más altos) valores de las crestas, de la energía específica y de la energía del impulso.

El acoplamiento inductivo se relaciona con la pendiente del frente de la corriente del rayo. El máximo valor de esta pendiente aparece en los subsiguientes rayos simples negativos [5].

El trueno acompaña al rayo y se genera por el aire sobrecalentado al nivel del canal del rayo que provoca las ondas de presión del aire.

Interacción de los impactos de rayos (a tierra) con las personas y los animales domésticos

Generalidades

La eventual interacción de los rayos sobre las personas o los animales es función del tiempo del pasaje y del camino eléctrico recorrido por la corriente dentro del cuerpo y por su superficie.

Los efectos de los organismos vivos son diferentes porque varían las distribuciones temporales y espaciales de las corrientes de los impactos de los rayos. Los efectos de los campos magnéticos producidos por el componente de un rayo (rayo simple) sobre un organismo vivo no se consideran significativos.

Descripción de un rayo directo

Cuando el extremo de un precursor descendente alcanza una altura de algunos centenares de metros sobre el nivel del suelo (figura 1a), el campo eléctrico resultante tiene un valor crítico tal que se puede iniciar un precursor ascendente desde un conductor (eléctrico) vertical o desde una víctima. La corriente total de la descarga pasa directamente a través del cuerpo de la víctima (figura 2).

Más adelante, la descripción de una interacción directa del rayo.

Descripción de la tensión de contacto personal humano

Si un objeto (aunque no sea necesariamente metálico) es impactado por un rayo, aparece una tensión (ddp) entre dos puntos de su superficie. Si una persona está en contacto eléctrico con uno de estos dos puntos y también con algún otro (posiblemente, la tierra eléctrica), esa persona cierra el circuito y, entonces, una parte de la corriente del rayo atravesará el cuerpo de esa persona.

La tensión resultante del contacto de la persona en el punto del contacto personal (figura 3) está determinada por los componentes resistivo e inductivo [5], según la ecuación siguiente:

$$u = i_l \times R + L (di_l/dt)$$

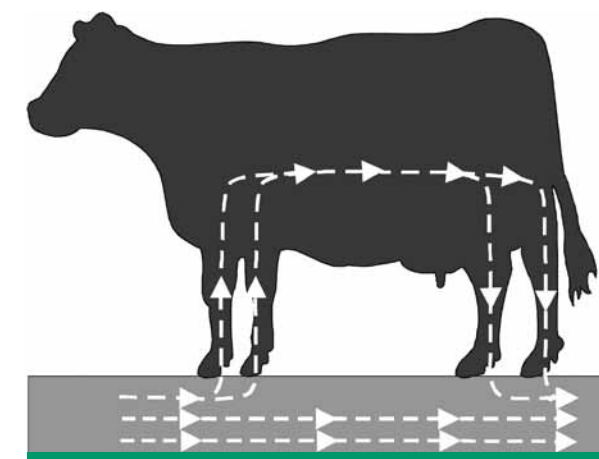


Figura 6. Tensión de los pasos animales para un cuadrúpedos

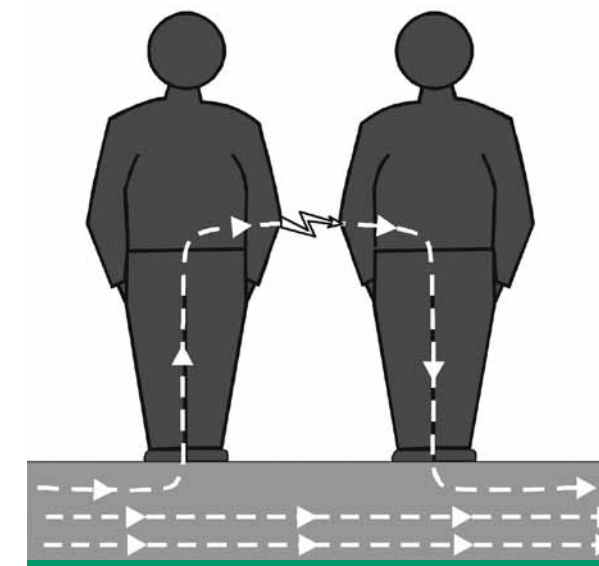


Figura 7. Tensión del paso humano en el caso de un impacto lateral de un rayo a tierra-nube

en donde:

- » u: tensión de contacto resultante
- » i_l : corriente que atraviesa la estructura vertical (figura 3)
- » R: resistencia entre los puntos de contacto personal
- » L: inductancia entre los puntos de contacto personal

Descripción de un rayo lateral

Si una persona está cerca pero no está en contacto (tocando) una estructura vertical conductora de la corriente del rayo (figura 4), en esa estructura aparece un potencial, como en el caso de la tensión de contacto. La diferencia de potencial resultante puede exceder la tensión de cebado de un arco (tensión disruptiva) entre la estructura y la persona cercana.

Entonces puede aparecer un rayo lateral (figura 4).

Descripción de la tensión del paso (humano y animal de los cuadrúpedos)

El encaminamiento eléctrico de la corriente del rayo en los cuadrúpedos incluye al corazón (figura 6). Otra razón que explica por qué los cuadrúpedos son susceptibles de ser frecuentemente afectados y morir por los rayos es que se paran en tierras vegetales húmedas (quizá barrosas), de modo que sus patas quedan en buen contacto eléctrico con la tierra. Aun en el caso de los bípedos, la corriente del rayo puede pasar por el corazón (figura 7) [5].

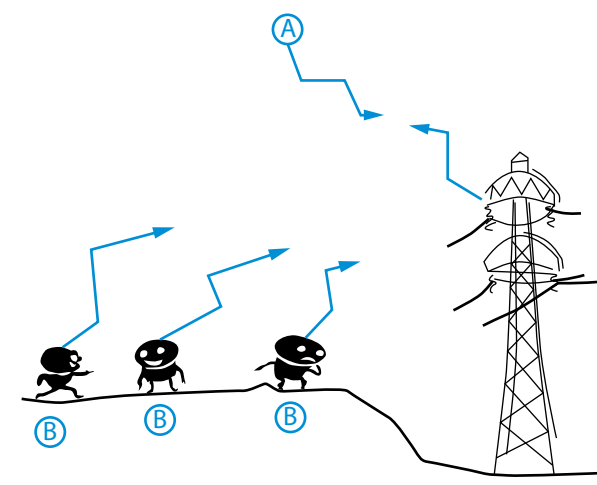


Figura 8. Corrientes de descarga de trazadores conectores ascendentes (streamers)
 A: Trazador conector descendente a pasos (polaridad negativa)
 B: Corrientes que atraviesan los individuos pero que sus trazadores precursores ascendentes no se conectan finalmente con el trazador conector descendente a pasos (stepped leader) señalado con A

Generalmente, si el encaminamiento eléctrico de las tensiones del paso humano para las personas no comprende (o incluye) al corazón, estas personas, en muchos casos, son temporariamente paralizadas desde la cintura hacia abajo por la parálisis ceráunica.

Descripción del choque eléctrico de la descarga de un trazador precursor (streamer)

Cuando una víctima está dentro del campo eléctrico de un trazador conector a pasos descendente (downward stepped leader) se puede generar desde la víctima un corto trazador conector ascendente pero que finalmente no se junta con el trazador conector a pasos descendente para formar así un canal conductor del rayo. La corriente necesaria fluye a través de la víctima durante un corto periodo y es capaz de producirle lesiones (figura 8).

La distribución de la corriente del rayo puede ser muy irregular, dependiendo de la distribución no uniforme de la resistividad del suelo.

Descripción del cebado (contorneo de un arco eléctrico, flashover)

Los cebados aparecen rápidamente después de que se desarrollan estos dos fenómenos físicos:

- » Una corriente de bajo valor de cresta fluye durante casi unos cincuenta microsegundos (50 μs).
- » Después aparece, durante unos cinco microsegundos (5 μs), una corriente de mayor valor de cresta, provocada por la corriente de retorno tierra-nube.

Entonces, sobre el cuerpo ocurre un cebado de un arco externo (contorneo) que reduce la tensión y el pasaje de la corriente interna (del cuerpo humano o animal).

Este cebado externo (contorneo) es un camino de la corriente del rayo sobre la superficie del cuerpo y actúa como un cortocircuito para las partes internas del cuerpo (humano o animal). Un campo de plasma entre los puntos de contacto (10-20 V/cm) dura unos 0,1 segundos aproximadamente. La diferencia de potencial entre los puntos de contacto

del cuerpo es suficientemente elevada como para provocar un cebado continuo en el aire.

Después del cebado (contorneo), la corriente que atraviesa el cuerpo se reduce a unos pocos amperes (figura 2).

Efectos del rayo en el cuerpo humano y en el de los animales domésticos

Si una corriente eléctrica pasa a través del cuerpo humano o de los animales domésticos, pueden aparecer daños o disfunciones.

Los rayos directos provocan los mayores daños y la caída de tensión debida a las diferencias de potencial contra tierra es la causa de otros daños menores.

Una interacción debida a la tensión de contacto y a los rayos laterales se puede considerar como una de las variantes de los rayos directos pero de mucho menor magnitud de importancia [15].

Efectos fisiológicos

Los estímulos eléctricos externos causados por los rayos inducen una actividad en todas las

estructuras neuromusculares, incluyendo los espasmos vasculares, el paro cardíaco (predominante en asístole o, muy raramente, en fibrilación).

Una ausencia de coordinación eléctrica cardíaca conduce a una falla de la función esencial de bomba de sangre del corazón [19].

Un paro respiratorio también ocurre y dura mucho más tiempo que un paro cardíaco. Mientras que el corazón puede volver a latir, puede aparecer un paro cardíaco secundario causado por la falta de oxígeno y se vuelve a perder la función de bomba de sangre, salvo si se aporta una ventilación.

Pueden aparecer reacciones musculares involuntarias que pueden conducir a fuertes contracciones y convulsiones que pueden resultar en efectos secundarios.

Efectos patofisiológicos

Estos efectos comprenden los datos de naturaleza no térmica sobre las células excitables o no excitables. Es posible una ruptura o una perforación de la membrana.

Muertes provocadas por rayos	Esencialmente asistólica, algunas fibrilaciones ventriculares. Progresión cardiorrespiratoria. Desmayos secundarios multisistémicos.
Lesiones cardiopulmonares	Arritmia. Variaciones de presión simpáticas cardíacas inducidas y arteriales. Falla cardíaca. Contusión pulmonar y edema.
Efectos neurológicos inmediatos	Pérdida de la conciencia. Disfunción cerebral y de los ganglios basales. Espasmos neurovasculares periféricos. Parálisis ceráunica. Hemorragia intercerebral. Convulsiones.
Efectos neurológicos a largo plazo	Parestecia. Parálisis. Síndrome de dolor. Neuropatía. Enfermedad de Parkinson (parkinsonismo). Modificación de la columna vertebral.
Efectos psiquiátricos inmediatos	Confusión. Amnesia. Ansiedad. Afasia y cambios histéricos.
Efectos psiquiátricos a largo plazo	Depresión orgánica eventual. Estados de ansiedad. Fobias. Enfermedad psicótica por creación y alteración de enfermedades existentes. Pérdida de memoria. Pérdida del sueño. Pérdida de la capacidad cognitiva. Astemia y fatiga. Trastornos tensionales postraumáticos.
Quemaduras y marcas cutáneas	Quemaduras internas y externas (frecuentemente profundas y muy circunscritas). Manchas rojas. Quemaduras lineales. Quemaduras arborescentes (figuras de Lichtenberg, forma de helecho). Florecimiento puntual como quemadura (variante eventual de quemaduras arborescentes). Quemaduras de contacto.
Lesiones por contusión	Vestimentas rasgadas, arrancadas y retorcidas. Contusiones sobre el cuerpo (piel, cerebro, pulmones, intestinos, etcétera).
Traumatismos	Laceración, desgarró. Fracturas (las dos se pueden deber al choque inicial o a los efectos inducidos secundarios).
Sentidos particulares (oído, vista, etcétera)	Rotura del tímpano. Sordera. Vértigo. Ceguera. Retinitis. Desprendimiento de retina perforación macular y retinal.

Tabla 1. Causas de muerte debidas a los rayos y los consecuentes trastornos informados (los más típicos) [11-16 y 20]

Parámetros	Baja tensión	Alta tensión	Rayos
Tensión	< 1.000 Vca o < 1.500 Vcc	> 1.000 Vca o > 1.500 Vcc	Compleja e impulsiva con o sin contorno
Localización	Residencial, industrial, incluyendo puestos de trabajo rural. Presencia de niños.	Industrial (en su mayoría, electricistas).	Exterior, comúnmente durante actividades recreativas. Líneas telefónicas o de comunicación en el interior.
Mecanismos comunes	Interferencias con electrodomésticos u otros equipamientos eléctricos. Electrodomésticos defectuosos. Canalizaciones, en particular las extensiones. Contacto eléctrico de escaleras con conductores activos (con tensión).	Servicios de reparación y de mantenimiento de instalaciones. Métodos o procedimientos de su seguridad inadecuados.	Impacto directo. Impacto lateral o tensión de contacto. Tensión de paso. Iniciación del arco (de un coronizador o de un precursor).
Tipo de corriente	50 o 60 Hz, corriente alterna	50 o 60 Hz, corriente alterna	Descarga impulsiva, frecuentemente múltiple y con posibles componentes de corriente continuativa
Fuente	Tomacorrientes domésticas o profesionales	Redes, instalaciones. Mecanismos de alimentación	Descarga eléctrica atmosférica natural
Duración del contacto (personal o animal)	Puede ser prolongado si el umbral de soltar se excede	Corto, probablemente menor si hay caída personal	Ultracorto e impulsivo aún si hay una corriente continuativa
Causa del deceso	Fibrilación ventricular (VF)	VF más probable que asístole	Asístole mucho más probable que VF (también parálisis respiratoria)
Quemaduras	Frecuentemente severas, profundas y extensas que necesitan una amputación y/o una faciotomía	Pueden ser tan severas como en baja tensión	Menores
Figuras de Lichtenberg [5]	Ausentes	Probables	Comunes
Electroporación	Desmostrada	Desmostrada	Aún por determinar
Daños musculares	Comunes	Probables	Raros
Consecuencias renales	Mioglobinuria común	Mioglobinuria conocida	Raras
Traumatismos directos. Daños a los tejidos (causados por la corriente)	Comunes	Comunes	Conocidos
Traumatismos secundarios. Daños a los tejidos de una caída	Comunes	Comunes	Conocidos pero raros
Prevención	Diseños y dispositivos de protección. Práctica personal	Diseños y dispositivos de protección	Reglas de seguridad y de comportamiento de las personas. Protección de la estructura
Primeros auxilios	Evitar las lesiones para el rescata: a) separando a la víctima de la fuente; b) cortando la corriente. Resucitación cardiopulmonar (RCP) con la ayuda médica.		RCP inmediata. Intervención médica de auxilio.

Tabla 2. Comparación de los parámetros entre las lesiones causadas por la electricidad y las producidas por los rayos [11-16 y 20]

La recuperación puede no ocurrir inmediatamente o no tendrá lugar jamás.

Los efectos secundarios pueden tener serias consecuencias. En la tabla 1 se resume la progresión de las lesiones causadas por los rayos y sus consecuencias fisiológicas.

La tabla 1 también resume la gama de lesiones observadas a causa de los rayos e indica los cambios patofisiológicos.

Comparación entre los efectos de los rayos y los choques eléctricos

Respecto de los efectos en el cuerpo humano de las corrientes eléctricas a frecuencias industriales desde cero hasta cuatrocientos hertzios (0-400 Hz) y sus armónicas hasta unos cuantos kilohertz, se ha estudiado e informado que las lesiones causadas por los rayos son muy diferentes a las que provoca un choque eléctrico en baja o en alta tensión.

En la tabla 2 se sintetizan estas diferencias. Sin embargo, aún no existe una base científica para el dogma "puede ocurrir la recuperación después de un paro cardíaco más prolongado que el normal".

En la bibliografía ([11], [13], [15], [16] y [19]) se tratan detalles sobre la naturaleza específica de las lesiones causadas por los rayos.

Porcentajes de ocurrencias

Los conocimientos actuales sugieren que los distintos mecanismos del choque eléctrico causado por el rayo presentan los siguientes porcentajes de ocurrencias:

- » Impactos directos de rayos: 3-5%
- » Rayos laterales: 20-25%
- » Tensión de contacto: 15-20%
- » Tensión del paso: 40-50%
- » Descarga del trazador precursor ascendente (upward streamer): 10-15%

Los conocimientos actuales sugieren que la tasa de mortalidad es aproximadamente del diez por ciento (10%).

Bibliografía

- [1] López, R. E., Holle, R. L. "Changes in the nature of lightning deaths in the United States during the Twentieth century", *Journal Climate* (1997) 11, 2070-2077
- [2] Berger, K., "Blitzforschung und Personen-Blitzschutz", *ETZ* (1971) A92, 508-511
- [3] Williams, E. R. "The electrification of thunderstorms", *Scientific American* (1988) Noviembre, 47-95
- [4] Uman, M. A., Krider, E. P., "Natural and artificial initiated lightning", *Science* 246, 457-464, 1989
- [5] Golde, R. H., Lee, W. R., "Death by Lightning", *Proc. IEE* (1976) 123, 1163-1180
- [6] Karobath, H. *Der Blitzunfall*, Verlag Gerhard Witzstock, Baden-Baden, 1975
- [7] IEC 62305-1:2010, Protection against lightning – Part 1: General principles
- [8] IEC 62305-1:2010, Protection against lightning – Part 2: Risk management
- [9] IEC 62305-1:2010, Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard
- [10] IEC 62305-1:2010, Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures
- [11] Andrews, C., Cooper, M. A., et al., *Disease-a-month* (1997) 43, 871-891
- [12] Berger, K., Biegelmeier, G., Karobath, H., "Über die Wahrscheinlichkeit und den Mechanismus des Todes bei Blitzeinwirkungen", *Bull. SEV* (1978) 69.8, 361-366
- [13] Andrews, C., Darveniza, M., Mackerras, D. "Lightning injury - Review of clinical aspects, pathophysiology and treatment", *Adv Trauma* 4 (1989), Year Book Medical Publishers Inc., 241-287, YBMP, III, EE. UU.
- [14] Gourbiere, E., "Lightning injuries to humans in France", *11th International Conference on Atmospheric Electricity*
- [15] Andrews, C., Cooper, M. A., "Lightning injuries", en Auerbach, P. (ed.), *Management of wilderness and environmental emergencies*, ed. 4, Mosby Will Wilk, 2000
- [16] Andrews, C., Cooper, M. A., *Lightning injuries: electrical, medical and legal aspects*, CRC Press, Boca Ratón, 1992
- [17] Lee, W. R., Carvalho, E., Burke, J. F., *Electric trauma*. Cambridge UP, Cambridge, 1992
- [18] Ishikawa, T. "Prevention against lightning accidents in Japan", *Nihon Univ. J. Med.*, 24:1-14, 1982
- [19] Andrews, C. J., "Structural changes after lightning strike, with special emphasis on special sense orifices as portals of entry", *Semin., Neurol., Thieme Med. Publ.*, 15(3):296-303, 1995
- [20] Gourbiere, E., Lambrozo, J., Folliot, D., Gary, C., "Complications et séquelles des accidents dus a la foudre", *Rean Soins Intens Med Urg*, 11:138-161, 1995
- [21] Cooper, M. A., "A fifth mechanism of lightning injury", *9 Acad Emerg Med* 172-4, 2002
- [22] Anderson, R. B., Jandrell, I., Nematswerani, H., "The upward streamer mechanism versus step potentials as a cause of injuries from close lightning discharges", 2002, *Trans SA Inst. Elect. Eng.* 33-43
- [23] Andrews, C., Cooper, M. A., Kitagawa, N., Mackerras, D. Kotsos, T., "Magnetic effects of lightning return stroke current", *J. Lightn. Rsch.*, 1(1)
- [24] IEC 60479-2, Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects
- [25] IEC 60050-195:1998, International Electrotechnical Vocabulary – Part 195: Earthing and protection against electric shock