

Indice

Temas paginas

¿Por qué es peligrosa la electricidad? . 1

Efectos De La Corriente. 1–2

Corriente alterna, efecto en el organismo. 2–3

Impedancia del cuerpo humano. 4

Tensión aplicada. 4–5

Frecuencia de la corriente alterna. 5–6

Los tendidos de alta y media tensión, con sus subestaciones

Y transformadores. 6

Las emisoras de radio y TV, así como las estaciones base de

Telefonía móvil. 6

Los electrodomésticos y las instalaciones eléctricas caseras 6–7

Las instalaciones y aparatos de uso industrial 7

Conceptos básicos. 7

Cómo nos afectan las microondas. 8

Investigaciones epidemiológicas. 9–12

Lesiones por la electricidad. 12–16

Mecanismos de contacto. 16–17

Mecanismos de lesión. 17–19

Introducción

La contaminación se ha convertido en un problema a escala planetaria, con consecuencias graves para el medio ambiente y la salud humana. Por desgracia, en vez de mejorarse en los últimos años, a los contaminantes ya conocidos se ha venido a sumar la contaminación electromagnética, como subproducto del desarrollo tecnológico masivo basado en la electricidad y las comunicaciones.

Cuando nos referimos a contaminación electromagnética o electropolución, hablamos de la contaminación producida por los campos eléctricos y electromagnéticos, como consecuencia de la multiplicidad de aparatos eléctricos y electrónicos que nos rodean por todas partes, tanto en nuestro hogar como en el trabajo. Son

radiaciones invisibles al ojo humano pero perfectamente detestables por aparatos de medida específicos.

Dada la proliferación incontrolada de fuentes de contaminación electromagnética a nuestro alrededor, son múltiples los científicos de renombre internacional que han mostrado su interés por el tema, advirtiendo del creciente riesgo a que nos vemos sometidos.

En el siguiente trabajo se tratarán los temas de los efectos de la corriente al paso por el cuerpo humano y los efectos de las ondas electromagnéticas.

Esperamos que este trabajo sea de su agrado y que cumpla con todas las prerrogativas a que está vinculado todo trabajo de investigación.

¿Por qué es peligrosa la electricidad?

La corriente eléctrica, al circular a través de cualquier objeto produce un aumento de temperatura que crece cuadráticamente con su magnitud, es decir, que cada vez que se duplica la corriente, se cuadruplica la energía producida, y esta corriente, dependiendo del material por el cual circule, puede causar desde un insignificante aumento en la temperatura de un alambre conductor hasta graves quemaduras en el cuerpo humano o un incendio en un bosque o en una edificación.

Una misma corriente, dependiendo del sitio por el cual circule, puede causar mayor o menor daño. Por ejemplo, si una corriente continua de 20 miliamperios (0.02 amperios) nos circula entre dos dedos de una misma mano, probablemente no nos cause más que una ligera molestia, sin embargo, nos puede causar la muerte si nos circula por el pecho y atraviesa el corazón. Igualmente, una corriente de 1 amperio apenas alcanza a encender una bombilla de 100 vatios, pero puede causar un incendio si atraviesa una viga de madera o un material inflamable.

Efectos De La Corriente

Las consecuencias del paso de la corriente por el cuerpo pueden ocasionar desde lesiones físicas secundarias (golpes, caídas, etc.), hasta la muerte por fibrilación ventricular.

Una persona se electriza cuando la corriente eléctrica circula por su cuerpo, es decir, cuando la persona forma parte del circuito eléctrico, pudiendo, al menos, distinguir dos puntos de contacto: uno de entrada y otro de salida de la corriente. La electrocución se produce cuando dicha persona fallece debido al paso de la corriente por su cuerpo.

La fibrilación ventricular consiste en el movimiento anárquico del corazón, el cual, deja de enviar sangre a los distintos órganos y, aunque esté en movimiento, no sigue su ritmo normal de funcionamiento.

Por tetanización entendemos el movimiento incontrolado de los músculos como consecuencia del paso de la energía eléctrica. Dependiendo del recorrido de la corriente perderemos el control de las manos, brazos, músculos pectorales, etc.

La asfixia se produce cuando el paso de la corriente afecta al centro nervioso que regula la función respiratoria, ocasionando el paro respiratorio.

Otros factores fisiopatológicos tales como contracciones musculares, aumento de la presión sanguínea, dificultades de respiración, parada temporal del corazón, etc. pueden producirse sin fibrilación ventricular.

Tales efectos no son mortales, son, normalmente, reversibles y, a menudo, producen marcas por el paso de la corriente. Las quemaduras profundas pueden llegar a ser mortales.

Para las quemaduras se han establecido unas curvas que indican las alteraciones de la piel humana en función de la densidad de corriente que circula por un área determinada y el tiempo de exposición a esa corriente.

Se distinguen las siguientes zonas:

Zona 0: habitualmente no hay alteración de la piel, salvo que el tiempo de exposición sea de varios segundos, en cuyo caso, la piel en contacto con el electrodo puede tomar un color grisáceo con superficie rugosa.

Zona 1: se produce un enrojecimiento de la piel con una hinchazón en los bordes donde estaba situado el electrodo.

Zona 2: se provoca una coloración parda de la piel que estaba situada bajo el electrodo. Si la duración es de varias decenas de segundos se produce una clara hinchazón alrededor del electrodo.

Zona 3: se puede provocar una carbonización de la piel.

Es importante resaltar que con una intensidad elevada y cuando las superficies de contacto son importantes se puede llegar a la fibrilación ventricular sin ninguna alteración de la piel.

Corriente alterna, efecto en el organismo

Principales Factores Que Influyen En El Efecto Eléctrico

Intensidad de la corriente

Es uno de los factores que más inciden en los efectos y lesiones ocasionados por el accidente eléctrico. En relación con la intensidad de corriente, son relevantes los conceptos que se indican a continuación.

Umbral de percepción:

Es el valor mínimo de la corriente que provoca una sensación en una persona, a través de la que pasa esta corriente. En corriente alterna esta sensación de paso de la corriente se percibe durante todo el tiempo de paso de la misma; sin embargo,

con corriente continua solo se percibe cuando varía la intensidad, por ello son fundamentales el inicio y la interrupción de; paso de la corriente, ya que entre dichos instantes no se percibe el paso de la corriente, salvo por los efectos térmicos de la misma. Generalizando, se considera un valor de 0,5 mA en corriente alterna y 2 mA en corriente continua, cualquiera que sea el tiempo de exposición.

Umbral de reacción:

Es el valor mínimo de la corriente que provoca una contracción muscular.

Umbral de no soltar:

Cuando una persona tiene sujetos unos electrodos, es el valor máximo de la corriente que permite a esa persona soltarlos. En corriente alterna se considera un valor máximo de 10 ma, cualquiera que sea el tiempo de exposición. En corriente continua, es difícil establecer el umbral de no soltar ya que solo el comienzo y la interrupción del paso de la corriente provoca el dolor y las contracciones musculares.

Umbral de fibrilación ventricular:

Es el valor mínimo de la corriente que puede provocar la fibrilación ventricular. En corriente alterna, el umbral de fibrilación ventricular decrece considerablemente si la duración del paso de la corriente se prolonga

más allá de un ciclo cardíaco.

Adecuando los resultados de las experiencias efectuadas sobre animales a los seres humanos, se han establecido unas curvas, por debajo de las cuales no es susceptible de producirse. La fibrilación ventricular está considerada como la causa principal de muerte por choque eléctrico.

En corriente continua, si el polo negativo está en los pies (corriente descendente), el umbral de fibrilación es de aproximadamente el doble de lo que sería si el polo positivo estuviese en los pies (corriente ascendente). Si en lugar de las corrientes longitudinales antes descritas fuese una corriente transversal, la experiencia sobre animales hace suponer que, solo se producirá la fibrilación ventricular con intensidades considerablemente más elevadas.

Impedancia del cuerpo humano

Su importancia en el resultado del accidente depende de las siguientes circunstancias: de la tensión, de la frecuencia, de la duración del paso de la corriente, de la temperatura, del grado de humedad de la piel, de la superficie de contacto, de la presión de contacto, de la dureza de la epidermis, etc.

Las diferentes partes del cuerpo humano, tales como la piel, los músculos, la sangre, etc., presentan para la corriente eléctrica una impedancia compuesta por elementos resistivos y capacitivos. Durante el paso de la electricidad la impedancia de nuestro cuerpo se comporta como una suma de tres impedancias en serie:

Impedancia de la piel en la zona de entrada.

Impedancia interna del cuerpo.

Impedancia de la piel en la zona de salida.

Hasta tensiones de contacto de 50 V en corriente alterna, la impedancia de la piel varía, incluso en un mismo individuo, dependiendo de factores externos tales como la temperatura, la humedad de la piel, etc.; sin embargo, a partir de 50 V la impedancia de la piel decrece rápidamente, llegando a ser muy baja si la piel está perforada.

La impedancia interna del cuerpo puede considerarse esencialmente como resistiva, con la particularidad de ser la resistencia de los brazos y las piernas mucho mayor que la del tronco. Además, para tensiones elevadas la impedancia interna hace prácticamente despreciable la impedancia de la piel. Para poder comparar la impedancia interna dependiendo de la trayectoria, en la figura 6 se indican las impedancias de algunos recorridos comparados con los trayectos mano–mano y mano–pie que se consideran como impedancias de referencia (100%).

Tensión aplicada

En sí misma no es peligrosa pero, si la resistencia es baja, ocasiona el paso una intensidad elevada y, por tanto, muy peligrosa. El valor límite de la tensión de seguridad debe ser tal que aplicada al cuerpo humano, proporcione un valor de intensidad que no suponga riesgos para el individuo.

Como anteriormente se mencionó, la relación entre la intensidad y la tensión no es lineal debido al hecho de que la impedancia del cuerpo humano varía con la tensión de contacto. Ahora bien, por depender la resistencia del cuerpo humano, no solo de la tensión, sino también de la trayectoria y del grado de humedad de la piel, no tiene sentido establecer una única tensión de seguridad sino que tenemos que referirnos a infinitas tensiones de seguridad, cada una de las cuales se correspondería a una función de las distintas variables anteriormente mencionadas.

Las tensiones de seguridad aceptadas por el CNE son 24 V para emplazamientos húmedos y 50 V para emplazamientos secos, siendo aplicables tanto para corriente continua como para corriente alterna de 60 Hz.

Frecuencia de la corriente alterna

Normalmente, para uso doméstico e industrial se utilizan frecuencias de 50 Hz (en U.S.A. de 60 Hz), pero cada vez es más frecuente utilizar frecuencias superiores, por ejemplo:

400 Hz en aeronáutica.

450 Hz en soldadura.

4.000 Hz en electroterapia.

Hasta 1 MHz en alimentadores de potencia.

Experimentalmente se han realizado medidas de las variaciones de impedancia total del cuerpo humano con tensiones comprendidas entre 10 y 25 Voltios en corriente alterna, y variaciones de frecuencias entre 25 Hz y 20 kHz.

Impedancia total en función de la tensión y la frecuencia

Para tensiones de contacto de algunas decenas de voltios, la impedancia de la piel decrece proporcionalmente cuando aumenta la frecuencia. Por ejemplo, a 220 V con una frecuencia de 1.000 Hz la impedancia de la piel es ligeramente superior a la mitad de aquella a 50 Hz. Esto es debido a la influencia del efecto capacitivo de la piel.

Sin embargo, a muy altas frecuencias disminuye el riesgo de fibrilación ventricular pero prevalecen los efectos térmicos. Con fines terapéuticos, es usual, en medicina el empleo de altas frecuencias para producir un calor profundo en el organismo. A partir de 100.000 Hz no se conocen valores experimentales que definan ni los umbrales de no soltar ni los umbrales de fibrilación; tampoco se conoce ningún incidente, salvo las quemaduras provocadas por intensidades de «algunos amperios» y en función de la duración del paso de la corriente.

La corriente continua, en general, no es tan peligrosa como la alterna, ya que entre otras causas, es más fácil soltar los electrodos sujetos con la mano y que para duraciones de contacto superiores al período del ciclo cardiaco, el umbral de fibrilación ventricular es mucho más elevado que en corriente alterna.

Recorrido de la corriente a través del cuerpo

La gravedad del accidente depende del recorrido de la misma a través del cuerpo. Una trayectoria de mayor longitud tendrá, en principio, mayor resistencia y por tanto menor intensidad; Sin embargo, puede atravesar órganos vitales (corazón, pulmones, hígado, etc.) provocando lesiones mucho más graves. Aquellos recorridos que atraviesan el tórax o la cabeza ocasionan los mayores daños.

Los tendidos de alta y media tensión, con sus subestaciones y transformadores:

Estos elementos son fuente de campos electromagnéticos de alta intensidad, cuyo alcance es variable y cuyos efectos pueden ser perjudiciales para la salud.

Las emisoras de radio y TV, así como las estaciones base de telefonía móvil:

La contaminación es en el nivel de radiofrecuencia y microondas (desde 100 KHz – 300 GHz). Los campos electromagnéticos producidos son pequeños, aunque en la cercanía de las antenas emisoras (dependiendo de su potencia y frecuencia) pueden alcanzarse niveles de densidad de potencia y campo eléctrico perjudiciales para la salud. Además, estas radiaciones tienen un gran alcance y están experimentando un crecimiento exponencial, por lo que afectan a un sector cada vez más amplio de la población.

Los electrodomésticos y las instalaciones eléctricas caseras:

El creciente uso de electrodomésticos nos somete a un mayor riesgo de irradiación en nuestras casas, en el caso de que los electrodomésticos no dispongan de las adecuadas medidas de seguridad: microondas, calefactores, vitrocerámicas; o de que las instalaciones eléctricas no posean una correcta toma de tierra.

Las instalaciones y aparatos de uso industrial:

En el medio industrial se puede fácilmente estar expuesto a elevados niveles de electropolución. A este respecto existe una normativa del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, que es el mínimo exigible a cumplir.

conceptos básicos

Las radiaciones electromagnéticas se dividen en dos grandes categorías dependiendo de su nivel de energía: las radiaciones ionizantes y las no ionizantes. Ejemplos de radiaciones ionizantes serían la radiactividad o los rayos X. Están admitidas como peligrosas y se gestionan con las medidas de seguridad apropiadas, por lo que ya no volveremos a tratarlas, y nos centraremos en las no ionizantes.

Las radiaciones no ionizantes son las producidas por la corriente eléctrica, transmisiones de radio y televisión, y telefonía móvil (también llamadas microondas). De estas radiaciones siempre se ha dicho que no perjudicaban porque no producían efectos de calentamiento celular (los llamados efectos térmicos"). Esta opinión nunca ha sido unánime entre los científicos, pero recientemente se vienen produciendo una serie de hechos que han sacado el tema a debate. Lo que ya muchas investigaciones han dejado claro es que también existen "efectos no térmicos", que hasta ahora no se han tenido en cuenta, pero que no por eso dejan de ser peligrosos.

Las radiaciones que hasta el momento se reconocen como más perjudiciales son, por un lado, las emitidas por los tendidos eléctricos de alta tensión y sus estaciones transformadoras, y por otro, las derivadas de la telefonía móvil, tanto las emitidas por los teléfonos móviles como las procedentes de sus antenas base.

Cómo nos afectan las microondas.

Son cientos las investigaciones de laboratorio que han encontrado relaciones positivas entre microondas y desórdenes de todo tipo. Estas investigaciones ya ha puesto de manifiesto cómo influyen las microondas sobre los tejidos de los seres vivos.

Los organismos animales utilizan electricidad para desarrollar sus funciones vitales. Lo que corre por los nervios son corrientes eléctricas. Pruebas como el electroencefalograma o el electrocardiograma lo que hacen es registrar la actividad eléctrica del cerebro o del corazón para detectar si existen irregularidades en su funcionamiento. El **Dr. Hyland**, de la **Universidad de Warwick** (GB), afirma que las ondas utilizadas por los teléfonos móviles son de la misma frecuencia que las ondas cerebrales alfa, por lo que, aunque la intensidad sea muy baja, el cerebro está especialmente sensibilizado a esta frecuencia.

Sintetizando mucho, citaremos algunas de las principales vías de influencia, aunque hay que decir que prácticamente cada día hay algún equipo de investigadores que descubre nuevas alteraciones: una de ellas es a través de un aumento de la permeabilidad de la barrera hemato-encefálica: Las neuronas, como todas las células, están recubiertas de una membrana que las protege del exterior. Las microondas provocan una dilatación de los poros de esa membrana, que se hace así permeable a determinadas sustancias que no deberían entrar en las neuronas. Este proceso permite relacionar las microondas con **tumor cerebral**, enfermedad de **Alzheimer** y **pérdidas de memoria**, como consecuencias más directas.

Otra vía de influencia es a través de la producción de melatonina. La melatonina es una hormona descubierta recientemente, producida por la glándula pineal, una de cuyas funciones conocidas es la de regular los ritmos de sueño y vigilia. Una alteración en su producción conlleva desarreglos del sueño y caracteriales, tales como depresión, cansancio y, en el extremo, propensión al suicidio.

Experimentos de laboratorio han demostrado que las radiaciones de baja intensidad producen roturas en el ADN. El ADN es el encargado de fabricar células especializadas, y su rotura puede provocar la fabricación de células no especializadas, es decir, cáncer.

Investigaciones epidemiológicas

Las investigaciones relatadas hasta ahora son de laboratorio, practicadas sobre animales, que casi siempre son ratas. Otra línea de investigación es la llamada epidemiológica: Estudios para averiguar la incidencia de una cierta enfermedad sobre la población.

El doctor **Siegal Sadetzki**, del **Centro Médico Chaim Sheba** en Tel Hashomer, Israel, ha informado que niños israelíes que emigraron a Estados Unidos en los años 50 –y que entonces fueron tratados con radiaciones para tratar una enfermedad del cuero cabelludo– están desarrollando en la actualidad meningiomas, un tipo de tumor. La incidencia de este cáncer entre la población que fue irradiada hace 30–35 años es de 4 a 5 veces mayor que en la población no irradiada. (**American Journal of Epidemiology**, Febrero 2000)

El **Instituto Militar de Higiene y Epidemiología de Varsovia** (Polonia), bajo la dirección del Profesor **Stanislaw Szmigielsky**, también ha avanzado información de la investigación que están llevando a cabo y que tienen previsto terminar en 2005. El estudio hace un seguimiento de los historiales médicos de los soldados que estuvieron expuestos a radiaciones de microondas (las mismas que utilizan los teléfonos móviles) entre los años 1970 y 1990, y los compara con historiales de otros soldados que no estuvieron expuestos. Algunos de los hallazgos reportados son:

- Los soldados expuestos son más propensos a desarrollar una larga lista de cánceres 10 años antes que los no expuestos.
- El grupo expuesto muestra una mayor incidencia de muerte por cáncer de piel, cerebro, sangre, aparato digestivo y sistema linfático que el grupo no expuesto.

El artículo se publicó en el **UK Sunday Mirror** el domingo, 26 de Marzo 2000.

Otro estudio encontró que la muerte por suicidio entre los trabajadores que están regularmente expuestos a radiaciones electromagnéticas fue doble que entre los trabajadores no expuestos, encontrando además que el riesgo más alto de suicidio se daba entre los que estaban sometidos a mayores niveles de exposición, particularmente durante el año que precedió al suicidio. La relación más fuerte se encontró entre los que murieron antes de los 50 años.

El estudio lo llevó a cabo un equipo de investigadores de la **Universidad de Carolina del Norte** (EE.UU.) y se publicó en el último número de **Occupational and Environmental Medicine**, Marzo 2000.

Como puede verse, la forma en que las microondas nos afectan es muy variada, y los plazos de tiempo en que sus efectos se hacen visibles pueden variar desde unos pocos días a 20 ó 30 años. Podemos decir con toda seguridad que si alguien pone la mano en el fuego se quemará. Pero si una persona con el virus de la gripe pasa un rato con un grupo de amigos, unos serán contagiados y otros no, dependiendo de la predisposición personal de cada uno o de cómo de cerca haya estado del griposo.

Algo similar sucede con las microondas. La investigación es complicada, pero eso no quiere decir que no sepamos nada al respecto, ni que tengamos que esperar hasta saberlo todo. Se desconocen los mecanismos precisos por los cuales el tabaco provoca cáncer, pero en cambio ya hay mucho legislado al respecto.

Daños conocidos o comprobados de los campos electromagnéticos sobre la salud. Las normas cautelares establecidas por la Unión Europea

El protocolo de Recomendaciones en su doble aspecto de Restricciones Básicas y Niveles de Referencia **está basado en los datos conocidos o comprobados relativos a los efectos de la corriente eléctrica en el organismo. Su base es limitar el nivel de corriente que se puede inducir en el interior de un organismo**

por el hecho de estar expuesto a un campo electromagnético. Se sabe que las corrientes naturales dentro de un organismo oscilan entre 1 y 10 mA/m². El umbral para producir claramente efectos nocivos es 100 mA/m², pero en el rango de 10 a 100 pueden producirse alteraciones biológicas no necesariamente nocivas. La Comisión ha establecido por tanto un primer margen de seguridad de 10 al decir que no deben superarse 10 mA/m²; más aún aumenta este margen de seguridad hasta 50 al establecer que no deben superarse 2 mA/m². Lo que pretende la Recomendación es proporcionar a todos los ciudadanos de la Comunidad Europea un alto nivel de protección de su salud frente a la exposición a los campos electromagnéticos medioambientales de modo que se evite la inducción de corrientes con intensidad de riesgo

Las corrientes eléctricas en un medio natural dependen de la conductividad del medio y del campo eléctrico que actúa sobre él. Comenzaremos por estimar los valores del campo eléctrico producido en la membrana de las células por los campos electromagnéticos de 50 Hz de la intensidad máxima producidos por LAT.

El cuerpo humano es conductor eléctrico para campos estáticos y de baja frecuencia como son los campos de 50 Hz. Cuando se introduce un conductor en un campo eléctrico las líneas del campo se distorsionan de tal modo que el campo en la superficie del conductor es perpendicular a ella y su valor se reduce varios ordenes de magnitud en el interior del conductor. El campo eléctrico es a su vez perpendicular a las superficies de potencial constante, por tanto estas superficies que eran paralelas a la superficie de la Tierra en ausencia de conductores se deforman en torno a los cuerpos conductores tomando su forma. En un campo eléctrico de 10 kV/m se produce por el cuerpo humano una reducción tal que en su interior la intensidad pasa a ser de 400 mV/m (donde mV significa microvoltio o millonésima parte de voltio. La disminución es de 104V a 10-4V o de ocho ordenes de magnitud. Debido a que la membrana de las células tienen una mayor resistividad su valor en esta zona fundamental para los procesos biológicos queda reducida a 1 V/m.

Un campo magnético de 50 Hz y de 100 microteslas de intensidad, produce por inducción electromagnética un campo eléctrico equivalente en promedio a 5mV/m (mV es milivoltio o milésima de voltio), tomando en la superficie celular o membrana un valor de 14 V/m.

Los dos valores de campo eléctrico producidos en la membrana celular por los campos eléctricos y magnéticos máximos asociado a una LAT son 1 y 14 V/m respectivamente, sin embargo el campo fluctuante que debido al ruido térmico aparece en las membranas celulares es muy superior, del orden de 300 V/m.

Las corrientes eléctricas pueden producir a su paso por el cuerpo daños en el sistema cardiovascular y en el sistema nervioso central. Según la Recomendación su límite de seguridad, para largas duraciones, es de 8 miliamperios (mA) por metro cuadrado (m²) para frecuencias inferiores a 1 Hz y de 2 mA/m² para frecuencias comprendidas entre 4 y 1000 Hz. En el rango de frecuencias de interés la corriente máxima es de 0.5 mA. La corriente de corta duración umbral que detecta un organismo medio como sensación de calambre es de 25 a 40 mA. A 50 mA hay daños graves en el tejido en contacto con el conductor que origina la corriente. Para alcanzar la seguridad de que la intensidad de corriente de larga duración se mantiene inferior a este valor de 0.5 mA la intensidad de campo magnético en el rango comprendido entre 0.025 kilohertzios y 0.8 kilohertzios debe mantenerse inferior a 5/f microteslas donde, como explica el cuadro 2 de la Recomendación, f es la frecuencia del campo en kilohertzios. **Al ser 50 herzios =0.05 kilohertzios, 5/f resulta ser 5/0.05 igual a 100 microteslas.**

Otro efecto comprobado de los campos electromagnéticos es el calentamiento que producen las microondas de frecuencia coincidente con la de oscilación interna de la molécula de agua en cuerpos que contengan agua. Este efecto de resonancia que permite absorber la energía de la radiación y transformarla en energía elástica de las moléculas es la base del calentamiento en hornos de microondas. Aunque su frecuencia se encuentra ocho órdenes de magnitud por encima de la frecuencia de la red de suministro industrial constituye un efecto de interés en el caso de la telefonía móvil donde la proliferación de uso podría llegar a plantear este tipo de problemas. En concreto se sabe que un aumento de la temperatura de 1 grado forzado por radiación

electromagnética produce daño en los tejidos. Para este incremento de temperatura es preciso que el organismo reciba una dosis de 4 W/kg ó 4 watos por kilogramo. Cuando la energía de la radiación de microondas que alcanza al cuerpo es inferior a 0.4 W/kg no se producen efectos de daño térmico de ningún tipo con un amplio margen de seguridad. Este valor de la densidad de energía por unidad de masa constituye el límite recomendado.

Lesiones por la electricidad

fisiopatología

Si bien la fisiopatología de la lesión eléctrica no se conoce completamente, si sabemos que existe una serie de factores relacionados directamente con la gravedad de la lesión. En las lesiones provocadas por alto voltaje, gran parte del daño que se produce es debido a la energía térmica desprendida; la histología de los tejidos dañados muestra generalmente necrosis y coagulación producidos por el calor. Cuando la carga eléctrica es insuficiente para producir un daño térmico, LEE y cols. Han propuesto la teoría de la electroporación, de manera que el paso de la corriente eléctrica produciría alteraciones en la configuración de las proteínas afectandose la integridad de la pared celular y su función.

Clase de circuito.

La corriente eléctrica puede ser liberada como corriente continua (DC) y sin otra frecuencia que la apertura y cierre de la misma o como corriente alterna (AC) y que puede variar de 1 a un millón de ciclos /s (Herz).

Generan DC los rayos, las baterías de los coches y desfibriladores.

La AC a 60 Hertz es la utilizada en la mayoría de los domicilios y fuentes comerciales de electricidad.

La AC a frecuencias > 40.000 Hz solo produce calor y se utiliza a 1 a 2 mA en electromedicina (bisturí eléctrico).

Existe una gran diferencia en el tipo y magnitud de la lesión causada por la AC en comparación con la DC.

La corriente continua de alto voltaje produce generalmente un simple espasmo muscular, la víctima frecuentemente es proyectada desde la fuente eléctrica por lo que la exposición es corta, aumentando por el contrario la posibilidad de lesión traumática.

Se admite que la corriente alterna al mismo voltaje es tres veces más peligrosa que la continua, pues al estimular las fibras musculares entre 40 y 100 veces por segundo produce una contracción muscular tetánica. La mano es el sitio más común de contacto con la fuente eléctrica y como sabemos los flexores de la mano y antebrazo son más fuertes que los extensores por lo que esta contracción tetánica impide a la víctima soltar voluntariamente la fuente de corriente, prolongando la duración de la exposición. Este fenómeno de flexión tetánica se produce con intensidades de corrientes por encima del umbral de 6 a 9 mA.

Habitualmente usamos los términos de "entrada" y "salida" para describir las lesiones eléctricas. Sin embargo cuando se trata de lesiones producidas con corriente alterna son términos inadecuados y deberíamos hablar de "fuente" y "tierra".

Resistencia

La resistencia es la tendencia de un material a resistir el flujo de corriente y es especifica para cada tejido, dependiendo de su composición, temperatura y de otras propiedades físicas.

Cuanto mayor es la resistencia (R) de un tejido al paso de la corriente, mayor es el potencial de transformación de energía eléctrica en energía térmica (P) como se describe por la ley de Joule

$$P = I^2 \times R.$$

La resistencia de los tejidos humanos al paso de una corriente es muy variable; Los nervios, encargados de transmitir señales eléctricas, los músculos, y los vasos sanguíneos con su alto contenido en electrolitos y agua son buenos conductores. Los huesos, los tendones y la grasa tienen una gran resistencia y tienden a calentarse y coagularse antes que transmitir la corriente.

La piel es la primera resistencia al paso de la corriente al interior del cuerpo. Gran parte de la energía es disipada por la piel produciendo quemaduras, pero evitando lesiones profundas más graves a las esperadas si se aplicara directamente sobre los tejidos profundos. La piel presenta pues la primera barrera al paso de corriente, y su resistencia puede variar desde 100 ohmios en las membranas mucosas, hasta 1000.000 de ohmios /cm² en unas palmas callosas. El sudor puede reducir la resistencia de la piel a 2500–3000 ohmios. La inmersión en agua la reduce de 1500 a 1200 ohmios, por lo que pasaría mayor cantidad de corriente eléctrica a través del cuerpo presentándose en estos casos parada cardíaca sin que se aprecien quemaduras en la superficie de la piel, como es el caso de electrocución en la bañera.

Al bajar la resistencia de la piel, una corriente de bajo voltaje puede convertirse en una amenaza para la vida.

Duración

En general, a mayor duración de contacto con la corriente de alto voltaje, mayor grado de lesión tisular.

La tetania que produce la AC a 60Hz incrementa el tiempo de exposición aumentando también el grado de daño tisular.

A pesar de que existe un extraordinario alto voltaje y amperaje durante la fulguración, la extremadamente corta duración de la exposición y las características físicas del rayo dan como resultado un flujo interno de corriente muy corto, con pequeñas, si algunas, lesiones en la piel y casi inmediata llamarada de la corriente por todo el cuerpo, produciendo generalmente mínimas, si algunas, quemaduras tisulares.

Intensidad de la Corriente

La corriente expresada en amperios, es una medida de la cantidad de energía que fluye a través de un objeto. El amperaje es directamente proporcional al voltaje en el sistema e inversamente proporcional a la resistencia en el trayecto de la corriente (Ley de Ohm $I = V/R$). Existe un estrecho rango de seguridad con la corriente eléctrica entre el umbral de percepción (0.2–0.4 mA) y aquel que impide por tetania muscular soltar la fuente de corriente (6 a 9 mA). La tetania torácica puede producirse justo por encima de este nivel (10–20 mA) pudiéndose producir una parada respiratoria. La fibrilación ventricular se estima que ocurre con amperajes de 50 a 100 mA –

Voltaje

En su origen las líneas de alta tensión pueden exceder los 100.000 voltios. Los transformadores reducen el voltaje a 7000 u 8000 voltios en las líneas de distribución; al llegar a nuestros hogares la corriente en la pared tiene 220 voltios y en algunos países 120 voltios.

El voltaje es una medida de diferencia de potencial entre dos puntos.

La cantidad de calor que puede producirse por una descarga eléctrica y por tanto el grado de lesión térmica

depende en primer lugar del amperaje y segundo lugar de la resistencia de los tejidos y duración del contacto (Ley de Joule $E_c = I^2 \times R \times t$). Sin embargo, raramente podemos conocer el amperaje de las descargas eléctricas sobre los tejidos y por ello utilizamos el voltaje de la fuente de descarga, que generalmente podemos conocer, para clasificar las lesiones eléctricas.

Las lesiones eléctricas se dividen convencionalmente en alto y bajo voltaje usando como línea divisoria de 500 a 1000 V. Si bien ambos presentan una importante morbimortalidad, las lesiones por alto voltaje tienen un mayor potencial de destrucción tisular y son responsables de lesiones severas con amputaciones y pérdidas tisulares, aunque pueden producirse electrocuciones con resultado de muerte con 120–220 voltios.

Trayecto de la corriente

El trayecto que toma la corriente determina el territorio tisular en riesgo, tipo de lesión y el grado de conversión de la energía eléctrica en térmica independientemente de que se trate de bajo, alto voltaje o un rayo.

Cuando la corriente vence la resistencia de la piel, pasa indiscriminadamente a través de los tejidos considerando al cuerpo como un conductor y con el riesgo potencial de daño tisular en su trayecto. Esta lesión de las estructuras internas suele ser irregular, con áreas de apariencia normal junto a tejidos quemados y lesiones en estructuras aparentemente distantes de las zonas de contacto.

La corriente que pasa a través del corazón o del tórax puede causar arritmias y/o lesión directa miocárdica y está asociada a una mortalidad del 60%. La corriente que pasa a través del cerebro puede producir un paro respiratorio, lesión directa cerebral y parálisis y también está asociada a una mortalidad muy elevada. A través de los ojos puede producir cataratas.

El flujo eléctrico que pasa a través de la cabeza o el tórax puede causar FV o parada respiratoria con más facilidad que cuando pasa a través de los miembros inferiores.

Hablamos de trayecto horizontal cuando la corriente fluye de mano a mano atravesando el tórax horizontalmente, y de trayecto vertical cuando esta lo hace verticalmente, ya sea mano–pie, cabeza– pie o viceversa.

En un estudio experimental en perros, el umbral requerido para provocar fibrilación ventricular al aplicar una corriente de 60 Hertz fue menor cuando se colocaba el electrodo en la cara anterior del tórax, seguido por un trayecto cabeza–pié.

En los seres humanos la corriente eléctrica alcanza más fácilmente el corazón cuando el electrodo se localiza sobre el ápex del mismo, donde los ventrículos están más cerca de la superficie del tórax.

Numerosos estudios clínicos sugieren que la muerte súbita por fibrilación ventricular se produce más fácilmente en el trayecto horizontal que en el vertical mano–pie.

Por el contrario, CHANDRA y cols. Encuentran que los pacientes con un trayecto vertical tienen mayor incidencia de daño muscular cardíaco que los pacientes con paso horizontal de la corriente. Los autores postulan que el flujo vertical se asociaba con mayor tránsito de electricidad por los tejidos; más ancha propagación de la corriente a través del cuerpo, y un incremento del riesgo de lesión de órganos internos.

Mecanismos de contacto

La gravedad de las lesiones producidas por la electricidad depende también de las circunstancias que envuelven al sujeto en el momento en que se presenta el accidente, y de como aquél entra en contacto con la

fuentes eléctrica.

Los mecanismos de contacto por electricidad son: Contacto directo, arco eléctrico y flash.

La lesión indirecta más destructiva ocurre cuando una persona forma parte de un arco eléctrico, ya que la temperatura que se puede alcanzar en el arco es de 2500 °C. El arco puede producir la ignición de las ropas y quemaduras térmicas secundarias.

El flash generalmente origina quemaduras superficiales.

La fulguración puede ocurrir por 4 mecanismos: Golpe directo, contacto, flash por cercanía y corriente por tierra.

La acción directa del rayo sobre la cabeza hace que la corriente fluya a través de orificios como ojos, oídos y boca al interior del cuerpo, lo que explicaría los innumerables síntomas oculares y de oído que presentan los sujetos alcanzados por un rayo.

La lesión por contacto se presenta cuando el individuo está tocando un objeto por el que transcurre la corriente del rayo, como un árbol o el palo de una tienda de campaña.

Flash por cercanía o "splash" (salpicadura) ocurre cuando la corriente salta de su trayecto a otra persona cercana tomándola como trayecto.

La corriente por tierra se presenta como resultado de la propagación radial de la corriente a través de la tierra. Una persona que tenga un pie más cerca que el otro del punto de impacto tiene una diferencia de potencial entre los pies así que la corriente puede ser inducida a las piernas y el cuerpo. Esto frecuentemente mata a reses y caballos a causa de la distancia entre sus patas traseras y delanteras.

mecanismos de lesión

Cuatro mecanismos han sido implicados en las lesiones producidas por la electricidad:

- 1) La energía eléctrica a su paso por el organismo causa tetania muscular o arritmias que pueden provocar una fibrilación ventricular, o un paro respiratorio primario como consecuencia de la tetania de la musculatura torácica, como puede suceder en la fulguración.
- 2) La energía térmica conduce a una destrucción tisular masiva, coagulación y necrosis.
- 3) Lesiones traumáticas como consecuencia de contracciones musculares violentas o de la proyección y caída de la víctima, que sufre un politraumatismo asociado.
- 4) La corriente destruye las células dañando la integridad y alterando el potencial de las membranas celulares; la consecuencia es el edema celular y el daño celular irreversible. Este proceso es conocido por electroporación.

Cuando una parte o la totalidad del organismo entra a formar parte de un circuito eléctrico, circulará una corriente eléctrica que cumple la ley: $I(\text{intensidad en Amperios}) = V(\text{voltaje})/R(\text{resistencia})$. Como comentamos anteriormente la resistencia de los tejidos varía mucho, e incluso un mismo tejido como la piel ofrece resistencias muy diversas. Cuando la exposición es mantenida, esta resistencia al paso de la corriente va disminuyendo de forma rápida, a la vez que se produce un aumento proporcional de la intensidad que atraviesa los tejidos. La intensidad aumenta gradualmente hasta alcanzar un valor máximo, y de forma exponencial aumenta el calor producido, hasta que llega un momento en que, cuando la resistencia ha sido

vencida (es prácticamente cero), el calor que se produce también pasa a ser súbitamente cero. De esta manera una tensión de 250 voltios puede generar en los tejidos temperaturas de hasta 95°C tras solo 5 segundos de exposición.

El calor desprendido por el paso de la corriente cumple la ley de Joule $E_c = I^2 \times R \times t$

La temperatura alcanzada es un factor crítico que determina la extensión y gravedad de las lesiones. Si alcanza los 60°C o más se asociará a lesión muscular, sobre todo en los tejidos más cercanos a la "fuente" de corriente.

La corriente alterna (AC) al provocar contracción tetánica de los músculos de la mano aumenta el tiempo de exposición y por tanto originará lesiones más severas que la corriente continua (DC).

Al examinar el músculo las lesiones son parcheadas, apreciando áreas viables y no viables dentro del mismo grupo muscular. El peristio se daña incluso cuando el tejido muscular cercano parece estar normal.

El daño vascular es mayor en la media, probablemente debido a la difusión del calor desde la intima por el flujo sanguíneo, pero puede retrasar la aparición de hemorragia cuando el vaso se rompa. La lesión de la intima conduce a la trombosis y oclusión vascular, formando edemas y coágulos en la superficie interna del vaso durante un periodo de varios días. Esta lesión es más severa en las ramas pequeñas musculares donde el flujo sanguíneo es más lento. Esta lesión de las pequeñas arterias en un músculo con lesiones parcheadas no es apreciable a simple vista, da la impresión de necrosis tisular progresiva.

La lesión del tejido nervioso se produce por varios mecanismos. El tejido nervioso puede presentar tanto una caída en la conductividad como padecer una necrosis por coagulación similar a la observada en el músculo. Además, puede sufrir un daño indirecto en su suministro vascular o lesión en la vaina de mielina. Los signos de lesión neuronal pueden aparecer inmediatamente o retrasarse durante horas o días.

El cerebro se afecta frecuentemente ya que el cráneo es un punto común de contacto. Los estudios histológicos del cerebro han revelado ptequias focales, cromatolisis y edema cerebral.

Históricamente se consideraba que el único mecanismo de daño tisular en el trauma eléctrico era la lesión térmica. Sin embargo, este mecanismo no explicaba los patrones de lesión que se encontraban en puntos distantes de la fuente eléctrica y que en ocasiones víctimas con signos externos mínimos de daño térmico en la piel manifestaran por el contrario lesiones musculares y nerviosas severas. LEE y cols. y BHATT y cols, demostraron que la corriente eléctrica produce una disrupción permanente en células aisladas de músculo esquelético y altera las propiedades del músculo intacto, incluso en ausencia de efecto térmico de Joule. Los autores sugieren que la disrupción de la membrana celular inducida por potenciales eléctricos transmembrana amplios pueden ayudar a explicar la presencia de lesiones tisulares en lugares distantes de los puntos de contacto con la fuente eléctrica. Para que se origine una diferencia de potencial a lo largo de la célula lo suficientemente grande como para producir la ruptura de su membrana, se requiere un tamaño mínimo de la misma. Esto explicaría la lesión de células grandes como las nerviosas y las musculares.

Más recientemente BLOCK y cols. Han reproducido en ratas vivas lesiones por electroporación que cuantificaron mediante técnicas de captación de Fosfato de Tecnecio.

Estos autores sugieren por los hallazgos histológicos (hipercontracción de bandas con degeneración de las miofibrillas), que la electroporación puede conducir a un influjo de Ca^{++} al interior del sarcoplasma, similar al observado en la hipertermia maligna.

El calor, por otra parte, parece actuar sinérgicamente aumentando la probabilidad de la ruptura de la membrana por electroporación.

Hay evidencias clínicas que sugieren la ruptura de las membranas musculares, como la liberación de grandes cantidades de mioglobina desde el espacio intracelular y los niveles elevados de ácido araquidónico derivados de las membranas fosfolípicas.

La muerte inmediata por electricidad es debida a asistolia, FV, o parálisis respiratoria dependiendo del voltaje y del trayecto.

El trauma puede presentarse como consecuencia de la proyección de la persona tras la contracción opistótona causada por la corriente que pasa a través del cuerpo y por la explosión/implosión producida como consecuencia del calentamiento instantáneo del aire y su rápido enfriamiento. Este calentamiento por si mismo es lo suficientemente prolongado como para producir severas quemaduras y produce una expansión del aire seguido por implosión del aire frío que lo proyecta hacia atrás pudiendo caer al vacío.

La lesión traumática también puede producirse cuando el sujeto es proyectado como consecuencia de la intensa contracción muscular precipitándose desde cierta altura. Asimismo los espasmos violentos musculares generados por la corriente alterna pueden producir fracturas y dislocaciones.

Conclusión

Hoy día está comprobado que:

- *Corrientes eléctricas, en el rango de frecuencias comprendido entre 5 Hz y 1 kHz, cuando superiores en densidad a 10 mA/m², pueden afectar las funciones normales del cuerpo humano.*
- *El aumento de temperatura por encima de 1 grado puede producir efectos biológicos adversos. El efecto de daño térmico solo puede ser generado por frecuencias del orden de gigahertzios o microondas y la restricción se define respecto a la potencia absorbida por unidad de masa que debe permanecer por debajo de 0.4 W/kg².*

En resumen la medida de la respuesta biológica en laboratorio y en voluntarios ha mostrado la inexistencia de efectos adversos producidos por campos de baja frecuencia a los niveles de intensidad a los que normalmente se encuentra expuesto el público. Los efectos más consistentes apreciados por los voluntarios son la aparición de imágenes fosforescentes y la reducción temporal del ritmo cardiaco, sin que ambos síntomas parezcan guardar relación con trastornos de salud de largo alcance.