



## **UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA CLÍNICA PROFESIONAL EN MEDICINA LEGAL**

**CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA DE LAS MUERTES POR  
ELECTROCUCIÓN Y LA IMPORTANCIA DEL ESTUDIO MICROSCÓPICO  
PARA CORROBORAR SU DIAGNÓSTICO DESDE EL PUNTO DE VISTA  
MÉDICO LEGAL**

**DR. JUAN CARLOS RODRÍGUEZ ARCIA**

**PRESENTADO COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS CLÍNICAS PROFESIONALES EN  
MEDICINA LEGAL**

**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2011**

27 FEB 2012 ST.

Obsequio del Autor

**DEDICATORIAS:**

***A Dios.***

*Por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida profesional y haberme dado salud para lograr mis objetivos.*

***A mi madre Fidelita.***

*Por haberme apoyado en todo momento durante estos cuatro años, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.*

***A mi padre Juan Bosco.***

*Por los ejemplos de perseverancia, responsabilidad y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre y por el valor mostrado para salir adelante.*

## **AGRADECIMIENTOS:**

*Al Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses y a la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Panamá, en donde tuve la oportunidad de culminar mi formación profesional.*

*A mis maestros por respeto con las pautas, las enseñanzas y el estímulo constante en el desaliento.*

*De igual forma, quiero agradecer la Dra. Victzela Aguirre Valdés, mi compañera y amiga, que en todo momento estuvo anuente a compartir conocimientos y experiencias para la realización del trabajo y me ayudó cada día en mi camino.*

*Al Dr. Armado Ríos Andrade, nunca olvidaré mis primeras autopsias y los consejos que me llevaron a comprender que estaba en el lugar indicado.*

*Entre los médicos del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses, a pesar que con todos he tenido una excelente relación, debo destacar al Dr. Humberto Mas Calzadilla y al Dr. Carlos de Bernard, por creer en mí y permitirme expresarme científica y personalmente, a pesar de no tener una consolidada trayectoria y experiencia. El apoyo me ayudó a crecer profesionalmente, mil gracias.*

*Al personal que labora en la Morgue Judicial de Panamá, principalmente a la Sra. Denis Cedeño, a la Dra. Yariela Morales y al Dr. Jorge Hidalgo, por brindarme un ambiente de trabajo cálido y lleno de sonrisas, a pesar de las circunstancias inherentes al trabajo cotidiano con las que nos enfrentamos día a día.*

# INDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	<b>Pág.1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>Pág. 2</b>
<b>1. ELECTROCUCIÓN: ASPECTOS HISTÓRICOS</b>	<b>Pag.3</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
<b>2.1 Electricidad: Nociones</b>	<b>Pág. 5-14</b>
<i>2.1.1 Ley de cargas eléctricas</i>	
<i>2.1.2 Campo electrostático</i>	
<i>2.1.3 Corriente eléctrica y movimiento de los electrones</i>	
<i>2.1.4 Flujo de la corriente eléctrica</i>	
<i>2.1.5 Características de la corriente eléctrica</i>	
<i>2.1.6 Efectos físicos de la corriente eléctrica</i>	
<i>2.1.7 Magnetismo, el electrón y las líneas de fuerza</i>	
<i>2.1.8 Electromagnetismo</i>	
<i>2.1.9 Magnitudes eléctricas</i>	
<i>2.1.10 Tipos de circuito</i>	
<b>2.2 Efectos de la energía eléctrica sobre el organismo</b>	<b>Pág. 14-19</b>
<i>2.2.1 Influencia de la tensión</i>	
<i>2.2.2 Influencia de la intensidad</i>	
<i>2.2.3 En relación al tipo de corriente</i>	
<i>2.2.4 La influencia de la resistencia</i>	
<i>2.2.5 Resistencia del organismo al paso de la corriente eléctrica</i>	
<i>2.2.6 Marcha de la corriente eléctrica a través del cuerpo</i>	

<b>2.3 Riesgo eléctrico</b>	<b>Pág. 19</b>
<b>2.4 Electrocuación</b>	<b>Pág. 20-26</b>
2.4.1 <i>Definición y epidemiología</i>	
2.4.2 <i>Mecanismos por los que se produce electrocuación y mecanismo de muerte.</i>	
2.4.3 <i>Etiología médico legal de las muertes por electrocuación (manera de la muerte).</i>	
2.4.4 <i>Teorías sobre lesión eléctrica</i>	
2.4.5 <i>La piel: mayor órgano del cuerpo</i>	
<b>2.5 Lesiones por paso de la corriente eléctrica</b>	<b>Pág. 26-34</b>
2.5.1 <i>La marca electro-específica</i>	
2.5.2 <i>Lesiones microscópicas a nivel cutáneo</i>	
2.5.3 <i>Lesiones locales secundarias</i>	
2.5.4 <i>Lesión en las mucosas por el paso de la corriente eléctrica</i>	
2.5.5 <i>Lesiones musculares por el paso de la corriente eléctrica</i>	
2.5.6 <i>Lesión ósea por el paso de la corriente eléctrica</i>	
<b>2.6 Hallazgos presentes en el electrocutado</b>	<b>Pág. 35-40</b>
<b>3. ASPECTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>Pág. 41-43</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>Pág. 44-58</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>Pág. 59-60</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>Pág. 61-63</b>
<b>7. ANEXOS</b>	<b>Pág. 64-70</b>

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

<b>A</b>	Amperio
<b>E</b>	Energía
<b>Fr</b>	Frecuencia
<b>Hz</b>	Hertz o Hertzio
<b>I</b>	Intensidad
<b>IAM</b>	Infarto agudo al miocardio
<b>IMELYCF</b>	Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>mA</b>	Miliamperio
<b>N</b>	Norte
<b>Q</b>	Calor
<b>R</b>	Resistencia
<b>S</b>	Sur
<b>T</b>	Tensión
<b>V</b>	Voltaje
<b>W</b>	Watio
<b><math>\Omega</math></b>	Ohmio

## **RESUMEN**

La electrocución es la muerte que se presenta por el paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano, es una infrecuente causa de muerte de índole traumática, prácticamente de etiología accidental. Predomina en varones en edad reproductiva, y en trabajadores de la construcción.

Es una entidad que produce en el cadáver lesiones externas como lo son quemaduras por paso de corriente eléctrica de “entrada y salida”, cianosis cervicofacial, petequias conjuntivales; en los hallazgos internos de autopsia se encuentran, petequias subpericárdicas y subpleurales; así como el signo de Piacentino en el piso del IV ventrículo y congestión visceral generalizada.

Lo que se busca con el presente trabajo es resaltar la importancia que tienen los estudios de histopatología para este tipo de muerte traumática; ya que en la mayoría de los casos plasmados en este trabajo no fueron solicitados. En el trabajo se analizaron 32 casos de electrocución en cadáveres a quienes se les realizó la autopsia médico legal en el IMELYCF, entre los años 2008 y 2010, con la finalidad de obtener los datos macroscópicos y específicamente los hallazgos microscópicos; en donde se determinó que de los 32 casos analizados, en solo 12 (37,5%) de ellos se solicitaron los estudios histopatológicos; se analizó cada estudio histopatológico, y se observó claramente la detección de hallazgos microscópicos de relevancia en diversos órganos; compatibles con la electrocución, apoyando de esta forma la causa de la muerte.

El presente trabajo propone que la determinación de la causa de muerte por electrocución no solo se debe realizar apoyándose en los hallazgos macroscópicos encontrados en el cadáver sino también; con los estudios histopatológicos; ya que ambos estudios deben complementarse de manera que nuestra necropsia sea completa, metódica y científica.

***Palabras clave: Autopsia, electrocución, histopatológico, quemaduras por corriente eléctrica.***

## INTRODUCCIÓN

En el área forense las muertes por electrocución ocupan un espacio importante. El estudio de este tipo de muerte traumática infrecuente, nos hace remontarnos a los aspectos históricos y a las bases físicas de esta entidad, para comprender como suceden estas muertes.

En nuestro país, las muertes traumáticas han aumentado considerablemente en los últimos años, 1944 a nivel nacional para el 2010 de las cuales el 27 (1.4%) fueron por electrocución. Es interesante comprobar que aún en nuestros días, la etiología principal de la electrocución es el patrón accidental, que en niños y mujeres predomina en el hogar y en los hombres en edad productiva, a nivel laboral; es importante mencionar que al tratarse de un fenómeno accidental, la prevención no se está realizando adecuadamente.

La lesiones macroscópicas, que externamente e internamente presenta el electrocutado son múltiples; de igual forma es importante mencionar los aspectos microscópicos, que desde el punto de vista histopatológico, son detectables por este método; y cuya función es el corroborar este tipo de muerte traumática y ayudar al perito en su actuar científico, para lograr una buena impartición de justicia.

Al hablar de aspectos microscópicos en el electrocutado, es de vital importancia en los casos en que las lesiones macroscópicas no son visibles o acarrear la duda.

Espero, con este aporte, aunar el conjunto de esfuerzos que se realizan en nuestra institución por mejorar la pertinencia y la calidad de los peritajes.



## **1. ELECTROCUCIÓN: ASPECTOS HISTÓRICOS**

En 1624 a 1547 A.C Tales de Mileto tenía conocimientos de la propiedad de la atracción de los elementos diminutos por medio de una varilla (el ámbar), que habría sido previamente frotado con seda y que denominó electrón (1). La energía misteriosa que obtuvo de esa manera era precisamente una forma de corriente eléctrica.

En el año de 1879 en Francia sucedió el primer caso de muerte por electrocución industrial, cuando un trabajador recibió 250 voltios de corriente alterna (2). El caso fue encontrado en el British Medical Journal y desde entonces ha aparecido un gran número de publicaciones sobre lesiones eléctricas (3).

En el siglo XVIII se dio la aplicación de la electricidad en estudios médicos, en donde se destacó Alessandro Volta, quien fue un físico italiano, famoso por haber desarrollado la pila eléctrica y Luigi Galvani, médico fisiólogo que se dedicó a estudiar la naturaleza eléctrica de los impulsos nerviosos.

En el siglo XIX las investigaciones sobre electricidad con mayores connotaciones medico-legales fueron realizadas por el francés Jacques Arsene D' Arsonval biofísico e inventor del amperímetro y fue un importante estudioso en el campo de la electrofisiología, el estudio de los efectos de la electricidad en los organismos biológicos (1)

En el siglos XX, el vienés Stephan Jellinek a lo largo de sus noventa y siete años, estudió las principales lesiones por entrada y pasaje de corriente eléctrico y realizó

aporte macro y microscópicos en numerosas publicaciones científicas en los años 1909 y 1964. Para el año 1927 Jellinek diferenció entre una lesión electro específica y

una quemadura eléctrica con diferencias macro y micro específicas.

En 1927 Simonin y posteriormente Piga en 1928 clasifican la quemadura eléctrica de acuerdo a su extensión y profundidad en tres variantes o tipos (4). Simonin plantea que las quemaduras por electricidad son frecuentes en el trabajo.

Polson en el año 1955, dio valor médico legal en patología forense en la metalización, en donde el conductor metálico se integra a los tejidos. Para el año de 1970, Bonnet y Pedaze, asignaron un valor casi patognomónico para macro y micro hemorragias romboencefálicas.

Para el año 1970 Honorio Juan Domingo Piacentino, describe un puntillero hemorrágico petequiral en el área subependimaria del piso del cuarto ventrículo, entre el bulbo y la protuberancia (5).

Newsome en el año 1972 describe hallazgos histológicos de necrosis en las muertes por electrocución debido a corrientes de alta tensión.

A partir de los años ochenta en adelante se discute el nivel de participación que podría llegar a tener el calor por efecto Joule y el probable modo de incidencia en la génesis de aquellos.

Desde 1996 hasta mediados del 2001 estudiosos angloamericanos como Knight y Di Maio no consideran importante las hemorragias en romboencéfalo descritas por Bonnet en el año 1970 (6).

Anders y colaboradores en el año 2001 describen una observación negra en pleura parietal entre punto de entrada y salida en un electrocutado. Pero histológicamente no se relaciona con corriente eléctrica.

## 2. MARCO TEÓRICO

Se define la electricidad como un agente físico presente en cualquier tipo de materia con la forma de una energía potencial. En condiciones especiales, la energía potencial se convierte en real y dinámica; surge, entonces, la corriente eléctrica (1).

La Electricidad es un fenómeno físico cuyo origen son las cargas eléctricas y cuya energía se manifiesta en fenómenos mecánicos, térmicos, luminosos y químicos.

Es un agente natural poderoso que se manifiesta por atracciones o repulsiones, por chispas luminosas (7). Se produce por partículas muy pequeñas llamadas electrones y protones.

### **2.1 Electricidad: Nociones**

Para comprender la fisiopatología de este tipo de muerte traumática, es indispensable conocer los aspectos fundamentales de la electricidad. El objetivo es brindar conocimientos elementales de física y electrónica, adaptados a la interpretación médico legal sobre las lesiones por electricidad industrial.

#### ***2.1.1 Ley de cargas eléctricas***

La carga negativa de un electrón es igual, pero opuesta a la carga positiva de un protón; estas cargas se llaman electrostáticas. La línea de fuerza asociada con cada partícula produce campos electrostáticos debido a la forma en que interactúan estos

campos, las partículas cargadas pueden atraerse o repelerse entre sí.

La ley de las cargas eléctricas dice que las partículas que tienen cargas del mismo tipo se repelen y las que tienen cargas diferentes se atraen.

Los cuerpos cargados también pueden conectarse con un alambre para descargarlo pero, si las cargas en ambos materiales son suficientemente grandes pueden descargarse a través de un arco como sucede en el caso del rayo (8).

### ***2.1.2 Campo electrostático***

El campo eléctrico es un campo físico que es representado mediante un modelo que describe la interacción entre cuerpos y sistemas con propiedades de naturaleza eléctrica. La fuerza de atracción y repulsión entre los cuerpos cargados se deben a las líneas de fuerzas electrostáticas que existe alrededor de los mismos.

En un objeto cargado negativamente, las líneas de fuerza de los electrones se suman para producir un campo electrostático, el cual consta de líneas de fuerza que llegan al objeto de todas las direcciones. En un objeto cargado positivamente faltan electrones y esto ocasiona que las líneas de fuerza de los protones que quedaron el exceso se sumen, para producir un campo electrostático cuyas líneas de fuerza salen del objeto, hacia otras direcciones.

La intensidad de la fuerza de repulsión y de atracción dependen de dos factores: de la cantidad de carga que está en cada objeto y de la distancia entre los objetos.

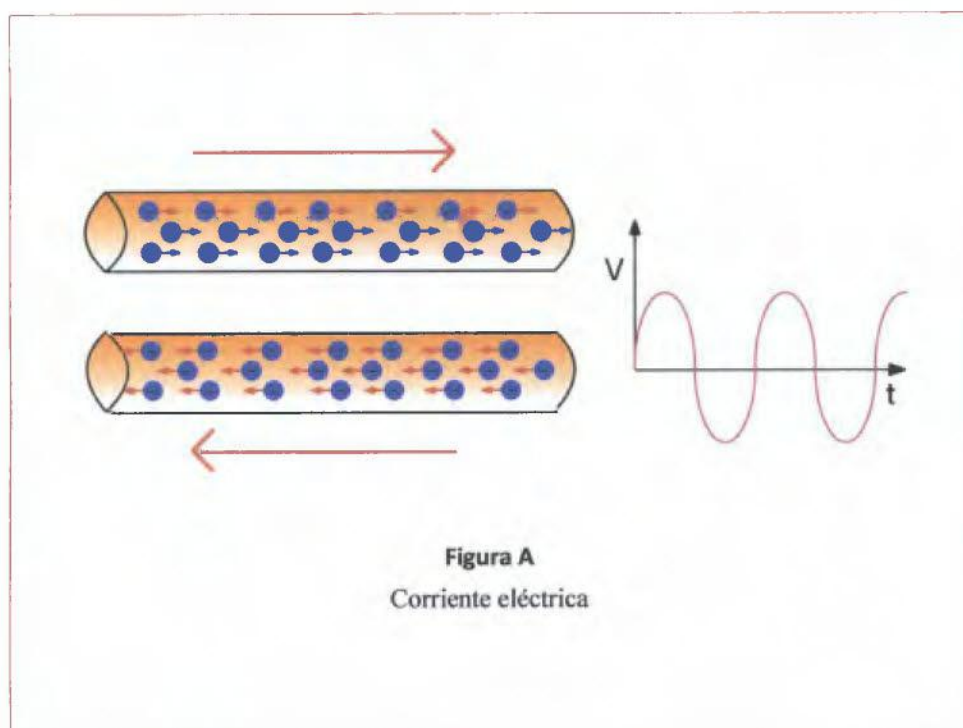
Cuanto mayores sean las cargas eléctricas y más próximos estén los objetos mayor será la fuerza electrostática.

Un átomo es completamente estable cuando tiene completa de electrones su última órbita o al menos dispone en ella de ocho electrones (8).

### 2.1.3 Corriente eléctrica y movimiento de los electrones

La corriente eléctrica es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe a un movimiento de los electrones en el interior del material.

La producción de la corriente eléctrica es necesario que en un conductor haya muchos electrones libres que se muevan en la misma dirección (*figura A*)



Los electrones libres en el conductor se mueven en la misma dirección porque se aplican cargas eléctricas a cada extremo del alambre; una carga negativa y una carga positiva en el otro.

Puesto que los electrones son negativos, la carga negativa los repele y los atrae hacia la carga positiva, haciendo que se produzca una corriente eléctrica en esta dirección.

#### **2.1.4 Flujo de corriente eléctrica**

Aunque a veces es más fácil considerar que los electrones se mueven libremente, es importante recordar que esto *no es exacto*. El movimiento del electrón libre produce la corriente.

Esto se entiende mejor, si se compara la velocidad de un electrón con la de la corriente. La velocidad del electrón puede variar según el material conductor y el número de cargas eléctricas usadas. Pero la velocidad de la corriente siempre será la misma; la velocidad de la corriente es igual a la de la luz 300000 Km/s.

*La corriente eléctrica, en realidad es el impulso de energía eléctrica que transmite un electrón a otro; al cambiar de órbita.*

Cuando el electrón liberado entra a la nueva órbita, su carga negativa reacciona con la carga negativa del electrón que se encontraba en la órbita y, a la vez, trasmitiéndole su energía. El segundo electrón al encontrarse en la órbita siguiente repite lo que hizo el primero. Este proceso continua en todo el alambre. El impulso de energía, transferido de un electrón a otro constituye la corriente eléctrica (8).

Existen dos condiciones para que haya flujo de corriente: cargas eléctricas para mover los electrones libres y un circuito completo para que pueda fluir la corriente eléctrica.

#### **2.1.5 Características de la corriente eléctrica**

Las corrientes eléctricas pueden ser básicamente de dos tipos, según el sentido de los electrones: continua y alterna.

Es continua cuando la intensidad y el sentido del desplazamiento permanecen invariables, es decir, el flujo de electrones tiene el mismo caudal. Es alterna cuando la intensidad y el sentido del desplazamiento varían en forma periódica y regular, se dirige oscilante.

La corriente eléctrica se puede dividir en:

**Por su tensión:** La tensión eléctrica es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se define como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas. También se le denomina como voltaje cuando se expresa en voltios (V) (5,8).

Con mayor precisión y adaptado a la medicina legal y forense, de acuerdo con el voltaje, las corrientes eléctricas se dividen en los siguientes grupos: baja tensión (110-120 V) es la utilizada para la iluminación y aparatos domésticos, media tensión (500-800 V) se utiliza en las industrias y alta tensión (500-5000 V) utilizada en ferrocarriles (1).

**Por su frecuencia (Fr):** Frecuencia es la cantidad de ciclos completos en una corriente eléctrica y se calculan por segundos. La unidad para medir estos ciclos es el Hertz (Hz) y debe su nombre al físico alemán Heinrich Rudolf Hertz, quien en 1888 demostró la existencia de las ondas electromagnéticas. Por ejemplo un Hertz o Hertzio es un ciclo por segundo. Se puede clasificar en baja y alta frecuencia.

**Por períodos:** Considerando a su vez los ciclos, si se toma en ellos el espacio intervalado de tiempo que existe entre dos valores iguales presentes en ellos y correspondientes a un valor de variación periódica, dicho espacio configura un período (1).

Cuando dos corrientes alternas de igual período e intensidad se hallen dispuestas en conjunto, de manera tal que, cada cuarto de período, una tenga una intensidad máxima y la otra nula, constituirán una corriente bifásica; cuando tres corrientes alternas de igual período e intensidad se hallen dispuestas de forma tal que, en cada tercio de período, tengan intensidades máximas y nulas, constituirán una corriente trifásica; y si esto se multiplica conformarán una corriente polifásica (1,8).

### ***2.1.6 Efectos físicos de la corriente eléctrica***

Los efectos de la electricidad se producen de la actividad química, presión, calor, luz y magnetismo. (8)

- **Luz:** Al atravesar la corriente eléctrica, el filamento de una bombilla, lo calienta hasta tal extremo que lo pone incandescente y como consecuencia de ello produce luz.
- **Calor:** Cuando un conductor es atravesado por una corriente eléctrica se produce un calentamiento del mismo que es debido a su resistencia eléctrica. En este fenómeno se basa el funcionamiento de muchos de nuestros aparatos eléctricos como lo son: plancha, estufa eléctrica, horno, secador ect.
- **Movimiento:** Si hacemos circular una corriente eléctrica por un conductor en forma de espiral situado dentro de un campo magnético podemos conseguir que gire. Gracias a este fenómeno electromagnético, que constituye el principio de funcionamiento de los motores eléctricos, es posible transformar la electricidad en movimiento y viceversa.

### ***2.1.7 Magnetismo, el electrón y las líneas de fuerza***

Cada electrón es, por su naturaleza, un pequeño imán. Ordinariamente, innumerables electrones de un material están orientados aleatoriamente en diferentes direcciones, pero en un imán casi todos los electrones tienden a orientarse en la misma dirección, creando una fuerza magnética grande o pequeña dependiendo del número de electrones que estén orientados.

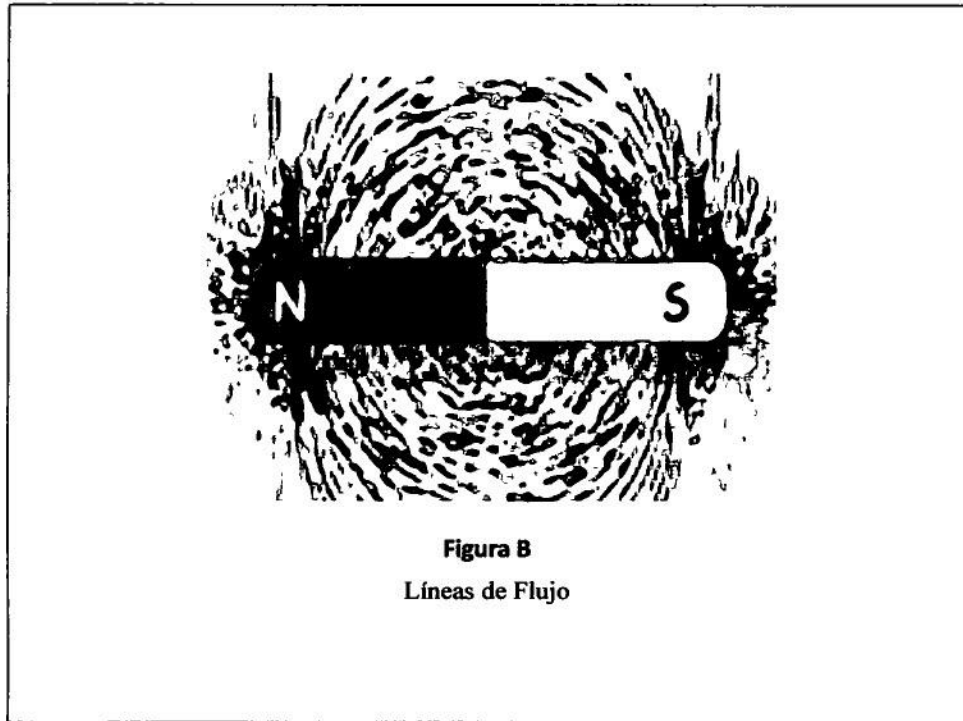
Además del campo magnético intrínseco del electrón, algunas veces hay que contar también con el campo magnético debido al movimiento orbital del electrón alrededor del núcleo. De nuevo, en general el movimiento de los electrones no da lugar a un campo magnético en el material, pero en ciertas condiciones los



movimientos pueden alinearse y producir un campo magnético total medible.

*El comportamiento magnético de un material depende de la estructura del material y, particularmente, de la configuración electrónica*

El campo magnético de un imán está formado por líneas de fuerza que se extienden en el espacio partiendo del polo N del imán y dirigiéndose al polo S. Estas líneas de fuerza no se cruzan y se van apartando al alejarse del imán. Cuando más cercanas sean las líneas de fuerza y sean mayor el número de ellas, más intenso será el campo electromagnético. También llamado líneas de flujo (Figura B).



### **2.1.8 Electromagnetismo**

Puesto que el campo magnético de un electrón forma una trayectoria cerrada a su alrededor, los campos de los electrones se combinan para formar una serie de trayectorias alrededor del alambre.

La dirección del campo magnético depende de la dirección del flujo de corriente. Al mover una brújula alrededor del alambre este se alineará con la línea de flujo (8).

### 2.1.9 *Magnitudes eléctricas*

- **Intensidad (I):** La intensidad de corriente o corriente eléctrica se define como la cantidad de electrones (carga eléctrica) que pasa por un conductor en la unidad de tiempo  $I=Q/R$ . Su unidad de medida es el Amperio (A) y el aparato con que se mide recibe el nombre de amperímetro.
- **Tensión (T):** La diferencia de potencial o tensión de una corriente eléctrica define la diferencia de concentración eléctrica existente entre dos puntos de un conductor. También se conoce como fuerza electromotriz. La unidad de medida es el Voltio (V).
- **Resistencia (R):** Se define la resistencia eléctrica como la mayor o menor dificultad que opone un cuerpo al paso de la corriente eléctrica. Los materiales que presentan una gran oposición al paso de la electricidad reciben el nombre de aislantes, y en consecuencia tienen una elevada resistencia eléctrica.

Por el contrario, llamamos conductores a los materiales que apenas oponen resistencia al paso de la corriente eléctrica.

La unidad de medida de la resistencia eléctrica es el OHMIO ( $\Omega$ ) y su aparato de medida es el ohmiómetro. Lo opuesto a la resistencia es la conductividad, grado de facilidad de un conductor para que pase la corriente.

- **Potencia (P):** La potencia eléctrica define la fuerza o energía eléctrica y representa el trabajo eléctrico realizado en la unidad de tiempo (1). La potencia eléctrica es la capacidad que tiene un aparato para transformar la energía eléctrica en otro tipo de energía. Cuanto más rápido sea capaz de

realizar esta transformación mayor será la potencia del mismo.

Su unidad de medida es el Watio (W) y el aparato de medida es el watímetro.

- **Energía (E):** Es la potencia consumida por unidad de tiempo. Se mide en Kilowatio-hora, mediante el contador de la luz instalado por la compañía eléctrica.
- **Ley de Ohm:** Establece la relación entre las magnitudes vistas. *Expresa que la intensidad de una corriente es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia.*

La Ley de Ohm afirma que la corriente que circula por un conductor eléctrico es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia siempre y cuando su temperatura se mantenga constante.

La ecuación matemática que describe esta relación es:  $I=V/R$

Específicamente, la ley de Ohm dice que la Resistencia en esta relación es constante, independientemente de la corriente.

- **Ley de Joule:** Establece que, al circular corriente eléctrica por un conductor, la energía que posee esa corriente se transforma en calor, esto es, energía térmica.

Expresa que el calor (Q) desarrollado por una corriente eléctrica, al pasar por un conductor, es directamente proporcional a la resistencia el conductor, al cuadrado de la intensidad de la corriente y al tiempo durante el cual pasa por el conductor.

El efecto Joule: Todo pasaje de una corriente eléctrica por un conductor genera calor, efecto electrotérmico (1).

### **2.1.10 Tipos de Circuito**

- **Circuito en serie:** Decimos que un circuito eléctrico está en serie cuando sus elementos se encuentran conectados uno a continuación del otro.
- **Circuito en Paralelo:** Decimos que un circuito eléctrico está en paralelo cuando todos los elementos se encuentran conectados entre el polo positivo y negativo del generador. Es una conexión donde los bornes o terminales de entrada de todos los dispositivos (generadores, resistencias, condensadores, etc.) conectados coincidan entre sí, lo mismo que sus terminales de salida.
- **Circuito Mixto:** Decimos que un circuito es mixto cuando en él podemos encontrar elementos conectados en serie y otros en paralelo (8).

## **2.2 Efectos de la energía eléctrica sobre el organismo**

El daño que se produce en la persona se debe a que al pasar la corriente eléctrica a través del cuerpo se provoca un calentamiento y destrucción de los tejidos (9).

Según el tiempo de exposición y la dirección del paso de la corriente eléctrica para una misma intensidad pueden producirse lesiones graves tales como: asfixia traumática, fibrilación ventricular, quemaduras, etc.

### **2.2.1 Influencia de la tensión**

La tensión en si no es peligrosa, sino que cuando se aplica una resistencia baja permite el paso de una intensidad elevada, que puede llegar a ser perjudicial (10,11).

Diferentes voltajes se clasificaron en: Casa (120-240 Voltios, Industrial (347-1000 Voltios) y transporte (mayor de 2000 voltios) (10)

### **2.2.2 Influencia de la Intensidad**

*El daño biológico por corriente eléctrica depende de la intensidad que circula por el cuerpo, además de tiempo de duración del choque.* En éste contexto el cuerpo se comporta como una resistencia por lo que se cumple la Ley de Ohm (intensidad, resistencia y tensión).

Básicamente depende de dos factores: el recorrido de la corriente eléctrica por todo el cuerpo y la frecuencia de la corriente.

La corriente eléctrica circulará entre los puntos en donde se establece el contacto, por la trayectoria mas corta y de menos resistencia dentro del cuerpo. Lógicamente serán más peligroso los caminos que incluyan órganos vitales.

La corriente de alta frecuencia es menos peligrosa que la de baja frecuencia. A 10 Khz como, a partir de 100 Khz, el efecto peculiar en la piel dificulta la circulación de la corriente por el interior del cuerpo haciéndolo preferentemente por la piel. Este efecto incrementa con la frecuencia.

Para lograr este flujo de corriente, la tensión suele ser superior a 100 v, aunque la muerte se ha registrado a 50 V y hasta 24 V, aunque el tiempo de flujo pasó mucho tiempo. La mayoría de las electrocuciones se producen de la tensión de la oferta interna de 240 V, la muerte puede ser inmediata como se observa con voltajes superiores a 5000 V por paro respiratorio, o tardía, como en los bajos voltajes que causan fibrilación ventricular (12).

El paso de una corriente eléctrica a tres de cuerpo puede no dar lugar a ningún efecto; puede causar la muerte súbita por interrupción por inhibición de los impulsos regulares (paro cardiaco), puede producir lesión térmica en los órganos interpuestos en la trayectoria de la corriente (2, 13).

### **2.2.3 En relación al tipo de corriente**

- Cuando la corriente es continua la causa de muerte generalmente es por fibrilación ventricular, cuando la corriente alcanza una intensidad variable, entre los 40 y 600 mili ampere.
- Cuando la corriente es alternada la acción letal varía según se trate de una corriente de baja o alta. Cuando la frecuencia es baja la muerte se puede dar por fibrilación y tetanización, cuando la corriente posea una intensidad variable entre los 20 y 150 mA. Cuando la corriente es de alta frecuencia, la muerte se da por fibrilación auricular, cuando la corriente posee una intensidad superior a los 150 mA, pudiendo ser su límite máximo 350 ampere, porque en estos casos las quemaduras graves que determina la corriente “resisten” considerablemente el paso de la corriente. En términos generales, una corriente continua o alternada de 100 mA es peligrosamente mortal (4).

### **2.2.4 La influencia de la Resistencia**

Para una tensión fija la intensidad dependerá de la resistencia que encuentre en su camino.

Estas pueden ser múltiples y de varios tipos

- Resistencia del contacto de la mano con la masa
- Resistencia del contacto de los pies con el suelo
- Resistencia del cuerpo que incluye la piel de manos y pies y la parte interna del cuerpo.
- Resistencia de la derivación de la masa.

La impedancia corporal ( $R_t$ ) se refiere a la posición de los tejidos corporales al paso de una corriente eléctrica.

Otros factores que influyen en la resistencia del cuerpo son: la superficie del contacto, la duración del contacto, el estado de la piel ya sea seca o húmeda, la presión del contacto y estado fisiopatológico del organismo.

### ***2.2.5 Resistencia del organismo al paso de la corriente eléctrica***

Principalmente resulta de la suma de dos resistencias parciales que constituye la superficial o cutánea en los puntos de entrada y salida y la profunda o interna. En esta última, comparada con la cutánea; es tan pequeña que puede considerarse como prácticamente nula. (4)

La piel proporciona la resistencia superficial estimada entre 12000 a 14000 Ohmios en condiciones ideales secas. Lo opuesto a la resistencia es la conductancia o conductividad que es la facilidad de conducir los electrones.

Existen los factores intrínsecos propios de la piel que aumentan la resistencia y son inherentes a su estructura como por ejemplo: la sequedad, hiperqueratosis, callosidades y grosor aumentadas de las palmas y plantas. Mientras otros factores intrínsecos como son: la sudoración y la lesiones dérmicas rezumantes disminuyen la resistencia corporal. (14)

Los factores extrínsecos de la piel que aumentan la resistencia son: vestimenta de cuero, piso seco, calzado de suela dura y dentro de estos, los que disminuyen la resistencia son: la vestimenta húmeda, la piel mojada, el uso de productos cosméticos untuosos, el piso mojado, etc. (14).

Como principal ejemplo se considera que un cuerpo humano sumergido en una bañera tiene una resistencia nula, es decir de 0 Ohmios.

### **2.2.6 Marcha de la Corriente eléctrica a través del cuerpo**

La corriente eléctrica sigue el trayecto de menor resistencia es decir, el de mayor conductividad (la corriente sanguínea) (14).

La sangre al ser el conductor de mejor conductividad eléctrica, y al llegar de forma instantánea a los núcleos bulboprotuberenciales explica la presencia del signo de Piacentino (micro hemorragias del romboencéfalo y particularmente el piso del IV ventrículo) (14)

La fibrilación ventricular se define como "caótica", por la actividad asincrónica de los ventrículos debido a la excitación repetitiva por una descarga eléctrica repentina. El mecanismo fisiopatológico de fibrilación ventricular se produce cuando la corriente eléctrica pasa por el corazón y su efecto en el organismo se traduce en un paro circulatorio por rotura del ritmo cardíaco. La fibrilación se produce cuando el shock eléctrico tiene una duración superior a 0.15 segundos, el 20% de la duración del ciclo cardíaco medio del hombre, que es de 0.75 segundos (4).

En un estudio realizado a corazones postmortem, que murieron por electrocución, se tuvo atención particular hacia las arterias coronarias, el sistema de conducción y a las estructuras nerviosas del corazón. En cada corazón había necrosis focal extendida en todo el miocardio, en la senda de conducción de las células del músculo liso y en los trayectos de comunicación de las tunicas de las arterias coronarias. Se demostró además la presencia de anomalías cardíacas y esto explica la patogénesis de la inestabilidad eléctrica que ocurre (15).

La contracción de los músculos respiratorios se dará con corrientes de intensidad variable entre 25 a 50 miliamperios. La parálisis bulbar, cardio-circulatoria y respiratoria se dará con corrientes de intensidad variable entre 25 a 50 miliamperios y con corrientes de alta tensión que sobrepasen los 5000 voltios (4,16).

Cuando se superan los 10 miliamperios se anula la capacidad de reacción muscular, lo que impide la separación voluntaria del punto de contacto. Esta



contracción muscular o tetanización hace que la víctima quede pegada con sus pies si pisa la fuente eléctrica o al conductor si lo toma con sus manos.

Cuando la corriente eléctrica atraviesa el tórax, se tetaniza el diafragma torácico lo que produce una asfixia (suspensión de los fenómenos respiratorios). Este efecto se produce a partir de los 25 miliamperios (Figura F).

Las quemaduras externas e internas por el paso de la corriente a través del cuerpo se debe a la energía disipada por efecto Joule, que puede provocar la coagulación irreversible de la célula de los músculos estriados e incluso la carbonización de las mismas.

La congestión general ocurre por el estasis sanguíneo a nivel del corazón provocando la dilatación de las cavidades derechas del mismo produciendo un estasis venoso generalizado. Los pulmones por lo general, sufren de enfisema, congestión y edema.

### **2.3 Riesgo eléctrico**

Se denomina riesgo eléctrico al riesgo originado por la energía eléctrica. Dentro de este tipo de riesgo se incluyen los choques eléctricos por contacto directo, los choques eléctricos por contacto indirecto, las quemaduras, las caídas o golpes a consecuencia del choque eléctrico, los incendios o explosiones originados por la electricidad.

Los principales factores que influyen en el riesgo eléctrico: la intensidad de la corriente, la duración del contacto, la impedancia, la tensión aplicada y la frecuencia de la corriente eléctrica (2).

## **2.4 Electrocuación**

### ***2.4.1 Definición de electrocuación y epidemiología***

La electrocuación es la muerte causada por el paso de corriente eléctrica por el cuerpo humano. El daño que se produce en la persona se debe a que al pasar la corriente eléctrica a través del cuerpo se provoca un calentamiento y una destrucción de los tejidos. *El agente etiológico en la electrocuación es la electricidad industrial. (1,4,8)*

Si un individuo toma contacto con un circuito de alta tensión, se produce una tetanización muscular brusca, y violenta que es común que resulte en una proyección y alejamiento del sitio de contacto (choque eléctrico) con caída y frecuentes contusiones, incluso fracturas (lesiones secundarias).

A la inversa puede suceder que, ante un contacto con un circuito de media tensión -220 voltios (red domiciliaría) se produzca abrupta tetanización generalizada del individuo sin desplazamiento, con una predilección sobre los grupos musculares de la puerta de entrada de la corriente eléctrica (por ej., espasmo tetánico de la mano) que haga difícil o hasta imposible desprenderse del elemento fuente o conductor.

Se estima que aproximadamente 1000 personas mueren de exposición a electricidad anualmente en los Estados Unidos. La edad de distribución de pacientes que fueron electrocutados es bimodal, la primera ocurre en niños menores de 6 años de edad, y el segundo ocurre en personas jóvenes. La electrocuación en niños normalmente ocurre en casa. La mayoría de las muertes en adultos debido a la electrocuación relacionada en el trabajo. Mineros y obreros de la construcción consideran para la mayoría de estos casos (17).

Para que se produzca la circulación de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano (electrocuación) es necesaria una relación que permita la entrada efectiva de la electricidad. Una vez que el organismo humano quede incluido en el circuito como conductor es atravesado por el flujo de electrones.(1,8).

Cuando se produce una descarga eléctrica, el individuo que la recibe se convierte en conductor, ofreciendo una resistencia, según la ley de Ohm. *En consecuencia, serán tantos mayores los efectos generales de la corriente, cuando mayor sea el voltaje y menor la resistencia de la piel, que es la capa con la que contacta la corriente eléctrica.*

A su vez, el paso de la corriente eléctrica a través de un conductor genera calor, siendo este proporcional a la resistencia que el conductor opone, al cuadrado de la intensidad y al tiempo durante el cual pasa por el conductor; la producción de calor por este mecanismo es llamado “Efecto Joule”.

#### ***2.4.2 Mecanismos por los que se produce electrocución y mecanismo de muerte***

El amperaje es el factor más importante en la electrocución. Dado que la tensión suele ser constante, el principal factor en la determinación de la cantidad de amperaje que entra al cuerpo es la resistencia. La mínima cantidad de amperaje perceptibles a un ser humano como un cosquilleo es de 1 mA (0,001 A). (6,16)

Una corriente de 5 mA produce temblores de la musculatura, mientras que 15 a 17 mA causará contractura de los músculos, lo que impide la liberación de la fuente de energía eléctrica. A 50 mA, ocurre parálisis respiratoria y muerte si se mantiene. (6,16).

En la electrocución de alto voltaje, pueden producirse lesiones electro térmicas irreversibles. Mientras que el corazón puede empezar de nuevo espontáneamente tras la detención, la respiración no puede reanudar a causa de la parálisis de los centros respiratorios. Esto es probablemente causado por daños en el centro respiratorio del tronco cerebral por los efectos de la hipertermia (18)

Cuando la víctima toca el conductor y a través de su cuerpo la corriente deriva hacia la tierra, en la que descarga. A esto se le llama contacto directo (contacto con un solo polo de la derivación de corriente)

## Cuadro A

### SINOPSIS DE LOS MECANISMOS DE MUERTE DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

- Fibrilación ventricular
- Tetanización muscular general y respiratoria en particular
- Mecanismo mixto (combinado de las dos anteriores)
- Lesión de centros neurológicos bulbares
- Efecto electrotérmico
- Mecanismo conjunto con participación de todos

PATITÓ J. Tratado de Medicina Legal y Elementos de Patología Forense: Lesiones por electricidad industrial y atmosférica. Argentina: Editorial Quorum: 2003. p. 630.

En el contacto bipolar o por “cortocircuito” el cuerpo de la víctima no está en contacto con la tierra, pero se conecta a su vez entre dos conductores.

Cuando la fuente de corriente eléctrica no está en contacto con el cuerpo de la víctima, si no que en un momento determinado se establece un conductor que la vehiculiza formándose un arco voltaico (contacto a distancia) . Esto ocurre cuando la tensión es muy elevada y la distancia entre el conductor y la víctima es muy reducida.

Los campos eléctricos y magnéticos, sin necesidad de estar en contacto directo con ningún conductor o corriente, pueden provocar un movimiento de las cargas eléctricas libres que tenemos en el organismo. Las corrientes que generan estos movimientos se conocen como corrientes inducidas. (8).

En resumen, los mecanismos de muerte de la corriente eléctrica los podemos apreciar en el siguiente cuadro (Cuadro A), tomado del “Tratado de Medicina Legal y Elementos de Patología Forense” de José Ángel Patitó (1).

### ***2.4.3 Etiología médico legal de las muertes por electricidad (Manera de la muerte)***

- **Suicida:** Poco frecuente. Se han descrito casos de personas que colocan aparatos eléctricos en bañeras, con notas en donde explican los motivos de sus decisiones (1,2,31).
- **Accidental:** Es el caso más frecuente en la práctica médico forense. En general se produce el contacto con un único conductor, originándose la derivación a tierra. En mujeres predominan los accidentes con electrodomésticos y en varones lo más frecuentes son accidentes laborales con conductores (de tensiones bajas y medias). Se subdivide en: doméstico, laboral, y vía pública (1).
- **Homicida:** Es excepcional. Se ha descrito el que arrojó a una víctima sobre la fuente de la corriente (cable, riel electrificado, etc.).
- **Erótica:** Es una variante accidental. El sujeto, generalmente masculino, trata de tener orgasmo mientras un dispositivo de estimulación genital ó ano perineal, ó de otras zonas erógenas, utilizando el fugaz paso de una corriente eléctrica (maniobras ipsativas) (ipse: “el mismo”) que significa sobre si mismo según la psiquiatría forense sexológica de Pellegrini (1965).
- **Otro panorama son los apremios ilegales, o tortura o tormentos:** De universal difusión en muchos países.

Suele utilizarse una batería de auto a los que se le conectan 2 electrodos mecánicos. También se utiliza la corriente directa de la red; aquí la corriente eléctrica se aplica directamente al cuerpo (1).

- **Judicial o suplicio:** En algunos estados de Norte América la electrocución es la forma legal de ejecución (silla eléctrica) (2,31).

#### **2.4.4 Teorías sobre lesión eléctrica.**

La teoría de calor hace pensar en lesión térmica al tejido del cerebro como el mecanismo para los hallazgos patológicos. Temperaturas fluidas cerebroespinales tan alto como se han registrado a 145°F 5 horas después de la electrocución legal.

La teoría mecánica sugiere que la lesión es causada por un efecto violento produciendo un daño en el tejido por la corriente eléctrica. Los pacientes críticos por quemadura poseen tres factores predisponentes asociados con trombosis venosa: como es la inmovilización prolongada, hipercoagulabilidad, cambios en el volumen de sangre y vasos sanguíneos permeables (19)

La teoría de calor hace pensar en lesión térmica al tejido del cerebro como el mecanismo para los hallazgos patológicos. Temperaturas fluidas cerebroespinales tan alto como se han registrado a 145°F 5 horas después de la electrocución legal.

#### **2.4.5 La piel: mayor órgano del cuerpo**

La piel es un órgano complejo, varía según la talla y complexión; una persona que peso 70 Kg. y midió 170 cm, está cubierta por 1.85 m<sup>2</sup> de piel, con un peso de 4,200 kg; lo que equivale al 6% de peso corporal, contiene 1,800 cm<sup>3</sup> de sangre; el 30 % de la sangre total del organismo. Un cm<sup>3</sup> de piel posee 5 folículos pilosos, 15 glándulas sebáceas, 100 glándulas sudoríparas, 4 metros de nervios, un metro de vasos, 100 organelos sensitivos y 6 millones de células. (20, 21)

Se hace mención de la piel; puesto que es el órgano y la vía en que la electricidad fluye para que se presente una electrocución; esto debido a su gran contenido de electrolitos que actúan como conductores. (20)

Capas de la piel (Figura C): La piel está formada por tres capas. La más superficial se denomina epidermis, la capa media dermis, y la capa profunda hipodermis. (21).

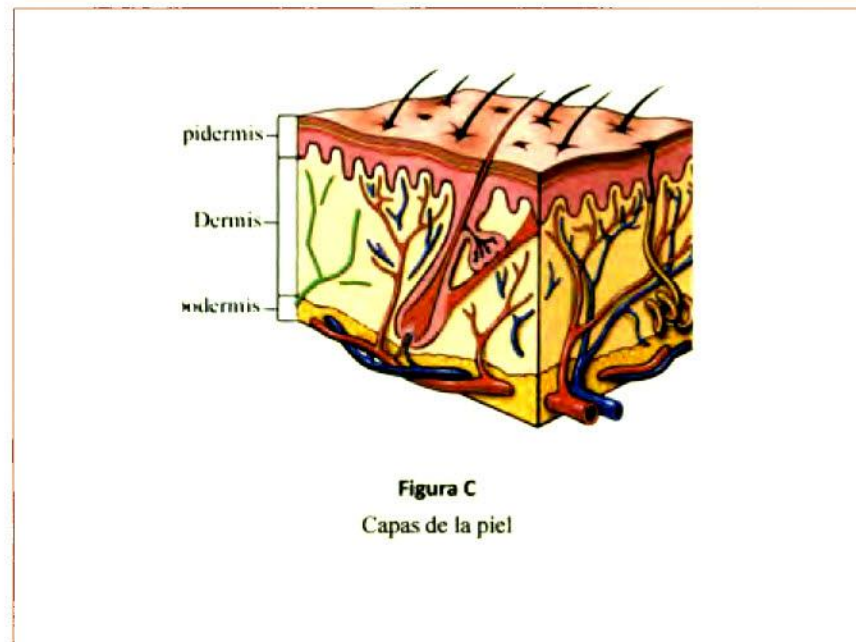


Figura C  
Capas de la piel

- Epidermis. El espesor de esta región varía según el sitio estudiado, siendo más compleja y más gruesa en la planta y en la palma, donde alcanza un espesor de 1,5 mm.
  - Estrato Córneo: La capa superior de la piel. Esta capa actúa como una barrera que provee protección mecánica y química.
  - Estrato lúcido: Aporta elasticidad en los puntos de estrés mecánico particularmente intensos, como ser la palma de las manos o la planta de los pies, donde se encuentra engrosada.
  - Estrato granuloso: Conforman una sustancia aceitosa que determinan que las capas subyacentes se nutran y sirvan como barrera de los fluidos corporales.
  - Estrato espinoso: Los espacios intersticiales contienen fluido linfático.
  - Estrato basal: Es la responsable de la renovación de la epidermis y participa del intercambio celular molecular entre los dos tejidos. Se estima que la epidermis se renueva en un período de entre 20 y 30 días. (20)

- Dermis. Tiene un espesor variable, que alcanza los 3 mm en la planta de los pies. Es tejido conjuntivo sobre el que descansa la epidermis y que consiste principalmente en fibras (colágenas), células de tejido conectivo (fibroblastos), fagocitos inmunológicamente activos (macrófagos) y mastocitos que median reacciones alérgicas e inflamatorias.
- Hipodermis. Está compuesta por tejido conjuntivo laxo, uniendo de manera poco firme la dermis con los órganos subyacentes y está formada por una capa variable de tejido adiposo con una función de aislamiento, que permite que la piel se modifique y proteja contra la pérdida de calor y traumatismos superficiales.

## **2.5 Lesiones por paso de corriente eléctrica.**

### ***2.5.1 La marca electro-específica.***

También llamada “Marca Eléctrica” de Jellinek; Esta lesión, es producto exclusivo de la entrada de la corriente eléctrica en el cuerpo del individuo. En las mucosas no resulta particularmente evidente (1,8).

Se encuentra la marca en la piel o mucosa en el sitio de ingreso de la corriente eléctrica en el organismo. Puede ser bastante evidente macroscópicamente y otras veces, en casos de escasa resistencia cutánea, ser muy pequeña incluso utilizando una lupa, también existe la posibilidad de su ausencia o marcada atenuación en caso de que haya habido un material interpuesto entre la piel y la fuente o conductor de la electricidad como por ejemplo un papel húmedo, un trapo mojado; *por lo que en algunos casos pasar inadvertida, al examen visual directo y es necesario el examen histológico (4)*

La lesión de entrada (Figura D) se produce por el calor que se genera en el punto de entrada y consecuentemente por la resistencia que opone la piel. Son



frecuentes en los miembros superiores.



**Figura D**

Lesión de entrada por paso de corriente eléctrica en la palma de la mano

Fuente: Morgue Judicial, IMELYCF - 2010

Las características morfológicas de la lesión de entrada son:

- **Forma:** Una escara seca y negra, apergaminada e indurada, con límites netos dados por los bordes sobreelevados y anfractuosos (1). No está acompañada de signos inflamatorios; es decir no hay eritema local y en ocasiones la piel se puede ver amarilla (9,14). Su forma reproduce la superficie de contacto de la fuente o del conductor que la origino.
- **Tamaño:** Su tamaño es variable. Lo más común es que no exceda los 4 a 5 mm (1).
- **Consistencia:** Es firme, al tacto. Indurada.
- **Superficie:** Es seca y no se observa costra. Si existe supervivencia puede encontrarse una tenue costra serohemática (1).
- **Bordes:** Engrosados y sobreelevados con respecto al centro de la lesión deprimido y retraído con un aspecto umbilicado. “cráter”

- **Profundidad:** Es neta, de color gris azulado, rodeada de una zona blanquecina. Cuando es superficial: Tiene un aspecto necrótico, sin zonas de transición, llegando hasta el tejido óseo.

Cuando es profunda: Muchas veces presenta un defecto de sustancia central y crateriforme, con agrietamiento y ruptura de tejidos profundos, por donde se puede llegar a visualizar el plano subcutáneo, muscular e incluso óseo. (1,3,22,23)

- **Color:** Oscila entre blanquecino-grisáceo, grisáceo-amarillento, o blanquecino amarillento, con fondo nacarado. Rodeada la lesión de un halo pálido blanquecino circundado por piel normal, o muy frecuentemente, por un halo periférico concéntrico rojizo que resalta la blancura del primero.
- Reproduce el objeto conductor causante de la marca eléctrica.

Con las lesiones de salida, el aspecto de la lesión cambia considerablemente (Figura E). Ante una exposición corta y voltaje no muy elevado, se encuentra una lesión tipo ulcera, con centro deprimido y bordes elevados.

Si la corriente es muy intensa, se pueden apreciar múltiples salidas, de aspecto explosivo y con pérdidas de sustancia. (24)

Aunque es una lesión específica de electrocución que debe buscarse exhaustivamente hasta con lupa; su ausencia no descarta el paso de electricidad.

Las lesiones electro-específicas de electrocución se engloban en tres variables según Simonin (1927) y posteriormente ratificado por Piga (1928).

- **Poroso:** Semeja las imágenes alveolares pulmonares. Cuando lo vemos al microscopio se observan alvéolos adosados unos a otros (panal de miel) e irregulares. Entre los alvéolos se observan numerosos filamentos que forman arcos y puentes en la superficie de la piel quemada y hay tabicaciones. A nivel muscular, los tejidos se observan pálidos (como carne cocida) (8).
- **Anfractuoso:** Las paredes de los alvéolos se encuentran en algunas ocasiones

destruidas (4). PIGA habla; de aspecto de “esponja gastada y rota”. Es una modalidad anatomopatológica, en la cual las alteraciones están más marcadas que en el estado anterior.(8)

- **Cavitario:** Aquí ya no existe disposición alveolar; sino una formación crateriforme, más o menos extensa, que es expresión de la intensa carbonización de los tejidos.



**Figura E**

Lesión de salida de corriente eléctrica en pie

Fuente: Morgue Judicial, IMELYCF - 2009

### ***2.5.2 Lesiones microscópicas a nivel cutáneo.***

En muchas ocasiones en médico forense enfrenta la dificultad de encontrarse frente a muerte “por supuesta electrocución” en donde no hay marcas perceptibles en la piel por lo que hacen más difícil la autopsia. La evidencia microscópica (histopatología) es de gran ayuda en estos (25)

En las lesiones eléctricas histológicamente podemos encontrar: separación intraepidérmica y subepidérmica, necrosis de la coagulación en la epidermis,

alargamiento nuclear en la epidermis y del epitelio de los folículos del pelo, formación de micro vesículas y separación de la epidermis de la capa papilar dérmica, desnaturalización de las fibras de colágeno en la dermis, entre otras.

Se dice que hay una distribución segmentaria en lesiones eléctricas desde que hay áreas de tejido con volumen electrolítico y resistencia diferentes y las corrientes eléctricas se mueven a través de áreas de resistencia más débiles. Debido a esta distribución segmentaria, puede haber áreas intactas ocasionales en lesiones eléctricas (25)

*La marca eléctrica muestra distorsión y estrechamiento del contorno nuclear dando una apariencia de “palizada”.*

En la capa media de los vasos sanguíneos, el núcleo es retorcido y las fibras elásticas se rompen y favorecen la formación de trombos.

La quemadura eléctrica muestra la formación de vesículas dentro del epitelio y la capa cornea, que son el resultado de la “cocción” del tejido y representan puntos de salida de la corriente (8,11)

Histológicamente la marca eléctrica no presenta signos de naturaleza congestiva, lo que permite diferenciarla de las quemaduras por calor.

Histológicamente hay características que permiten el diagnóstico positivo:

- Capa cornea: Pequeñísimas costras serohemáticas en la superficie y “clavos córneos” en la profundidad de esta capa y las subyacentes, por traslado.
- Cuerpo mucoso de Malpighi: Desorganización tectónica por el cambio de forma y posición de las células que se disponen perpendicularmente a la superficie de la piel, reuniéndose en grupos que se llaman en “haz de trigo” o “en palizada”
- Capa basal: Ruptura e infiltración edematosa (1)
- En la dermis: Disgregación de las fibras colágenas y elásticas que toman el aspecto de “rulos: rodillos”. Además por emigración de los planos

epidérmicos a los dérmicos, se observan también los “nidios” de células corneas. Así mismo se observa pigmento melánico proveniente de células homónimas destruidas (6).

- Microscópicamente la epidermis muestra apariencia de queso Suizo (6,25).

En las lesiones por aparatos de tortura, a nivel histológico en la capa mucosa ocurren desprendimientos celulares con coagulaciones citoplasmáticas y visualización de nidios celulares; así como modificación de la arquitectura celular, que de la posición horizontal pasan a la vertical, configurando los denominados “haces de trigo” o “células en empalizada” (7).

### ***2.5.3 Lesiones locales secundarias.***

Estas son las quemaduras, metalizaciones, salpicaduras y pigmentaciones o precipitados de los tejidos; configuran la microscopia de un lesión indicativa de puerta de entrada y pasaje de corriente eléctrica. Incluso se ha descrito ausencia de las mismas.

En la metalización eléctrica de la zona de entrada de la corriente se observa impregnación de los extractos superficiales epidérmicos (epiteliales y córneos) desaparece con la descamación cutánea en el mismo tiempo que esta, es decir entre 3 y 5 días.

Es un valioso elemento diagnóstico de entrada de la corriente eléctrica en el organismo, ya que la metalización proviene de la volatilización de pequeñas partículas del conductor.

Para identificar los fragmentos metálicos del conductor en una marca eléctrica, son útiles las pruebas espectrográficas e histoquímicas.

Las salpicaduras son partículas metálicas de mayor tamaño, se ubican de forma dispersa.

Las Chispas eléctricas son generadas por un arco voltaico, dejan lesiones en la piel que son milimétricas o incluso hasta 1 cm., numerosas y superficiales, dan el aspecto de “piel de cocodrilo”.

Producidas por la energía termoeléctrica de una explosión eléctrica (instalación o caja de luz).

En cuanto a las pigmentaciones o precipitaciones, la definición es similar a la salpicadura pero el elemento en cuestión no es metal, sino que consiste en el depósito de elementos provenientes del fundido de las cubiertas del conductor o de cuerpos extraños sobre él (8).

Como se ha mencionado anteriormente, la quemadura por corriente eléctrica es el resultado del efecto Joule o sea, de la producción de calor por la resistencia del conductor al paso de la electricidad. Es el resultado local, directo, en el sitio del contacto con el conductor (11).

Las características de la quemadura eléctrica cutánea son las de una escara seca y negra, apergaminada e indurada, con límites netos dados por los bordes sobreelevados y anfractuosos. Su tamaño es variable. También tiene en la periferia un halo pálido blanquecino rodeado de piel normal o de otro halo rosado o rojizo

A nivel histológico, las quemaduras eléctricas consisten en una necrosis de coagulación, la que ha presentado afinidad tintorial para el rojo de Congo.

La observación histológica de las heridas debidas a temperatura baja, la lesión térmica, consistía en la separación dermo-epidérmica, la elongación de queratinocitos, y la homogenización de colágeno dérmico se notaron en todos los casos donde la histología fue tomada.

El efecto electrotérmico por encima de 4 amperios produce quemaduras y carbonización local constante (1,4).

#### ***2.5.4 Lesión en las mucosas por paso de corriente eléctrica.***

En las mucosas no es común observar la quemadura por paso de corriente eléctrica.

La quemadura por paso de corriente eléctrica a nivel de las conjuntivas no es común, puesto que su mecanismo de producción escapa a la conducción normal del paso de la corriente eléctrica a través del organismo; mas sin embargo a continuación se presenta un caso de esta situación.

#### ***2.5.5 Lesiones musculares por paso de corriente eléctrica.***

Este tipo de quemaduras, con frecuencia, son más graves de lo que aparentan en la superficie. La diferencia en pérdida de calor desde la superficie hasta los tejidos profundos, es la causa de que se observe una piel relativamente normal; coexistiendo con necrosis muscular profunda.

La rabdomiolisis causa liberación de mioglobina, la cual puede producir insuficiencia renal aguda (13, 26).

En la autopsia, al realizar el examen externo, se observan lesiones en forma de parches, debido a las diferentes resistencias que presenta la piel (necrosis del tejido muscular). Además, por fenómenos de trombosis e isquemia ocurre afección de la íntima de los vasos (desvascularización).

Otras lesiones asociadas son: fracturas, luxaciones, espasmos musculares, destrucción ósea por temperaturas elevadas, etc. (27)

Otro hallazgo de importancia médico legal, es el aceleramiento del rigor mortis durante la escena de levantamiento. Las contracciones musculares acelera el rigor mortis por depresión de ATP 30

El tiempo es característico antes de que predomine el daño por calor, y es

probablemente una función del campo eléctrico y la resistencia del tejido. Si el daño es predominantemente por calor, entonces es improbable que la lesión sea reversible. Por lo contrario, si las células sobreviven transitoriamente hay ruptura de membrana.

#### ***2.5.6 Lesión ósea por paso de corriente eléctrica.***

Se llegan a presentar fracturas de los huesos del carpo, de la porción distal del cubito y radio; así como de la columna vertebral; en casos en que la corriente eléctrica penetra a través de la mano (1,8,27). Esto debido a dos factores: tetanización de los músculos del antebrazo, la mano o las correderas vertebrales y por la arquitectura ósea debilitada.

Cuando la acción calórica de la electricidad obra sobre el plano óseo, en razón de la considerable resistencia que presenta este tejido, llega a producir una fusión, determinando que pequeñas partículas del hueso licuadas, al enfriarse, adopten una forma esférica, que recuerdan a las perlas, lo que ha hecho que Jellinek; las haya llamado “perlas óseas” de Jellinek (4).

Las perlas óseas son detectables macroscópicamente y mejor por medios radiológicos, son como gotas de cera fundidas (4).

El hueso tiene la resistencia eléctrica más alta y experimenta las lesiones electrotérmicas más severas, incluso quemaduras del periostio, destrucción de matriz del hueso, y osteo-necrosis. Las reducciones tetánicas poderosas o caídas pueden causar fracturas y dislocación. La lesión electrotérmica de la musculatura puede manifestarse en forma de edema y necrosis del tejido y puede llevar al síndrome compartimental y rhabdomiolisis.

La magnitud de daño de tejido de músculo puede evaluarse con medición de suero de creatininkinasa (17).



## **2.6 Hallazgos presentes en el electrocutado.**

Es de vital importancia conocer los hallazgos que se presentan en el electrocutado; puesto que son grandes orientadores que nos auxilian para la certeza de esta entidad; como lo son las petequias subconjuntivales, cianosis de cara y cuello; que son datos de asfixias y/o de falla cardiaca; el chamuscamiento; que nos indica la presencia de fuego directo (28). (Figura F).



**Figura F**

Petequias subconjuntivales y enrojecimiento de las escleras

Fuente: Morgue Judicial, IMELYCF - 2008

Cuando nos encontramos frente a un “electrocutado azul (cianosis cervicofacial)” sugiere que hubo predominio o importante participación de la tetanización respiratoria. El rostro azul puede tener cianosis facio-cervico-torácica (mascara de Morestín), cuando es predominantemente facial (4).

El electrocutado blanco (palidez facial) se observa en los casos en los que el mecanismo es preponderantemente arrítmico cardíaco o por lesión directa de los centros neurológicos.

Signos como rostro “azulado” (“electrocutado azul”) si hay tetanización de los músculos respiratorios (80%) o rostro “blanco” (“electrocutado blanco”) si hay paro cardíaco (20%); y además espuma serosanguinolenta por labios y nariz (“falso hongo de espuma”) el cual es el producto de la exteriorización y salida de las secreciones respiratorias y del líquido de edema pulmonar (1,11)

Se ha descrito la presencia de las hemorragias petequiales en el 74% de los casos y los sitios habituales son la piel de los párpados, conjuntivas, pleura visceral y el epicardio. La presencia de petequias no depende curso del voltaje en el corazón. Por consiguiente, se sugiere que las petequias no son causadas por asfixia; pero sí por una combinación de congestión venosa debido al secuestro cardíaco y a un levantamiento súbito en la presión de sangre, inducida por contracciones del músculo. Por consiguiente, "las petequias eléctricas" representan un hallazgo no-específico pero típico en la electrocución, independientemente del mecanismo que lleva a la muerte (28).

Se establece que las petequias ocurren de manera temprano en la electrocución.

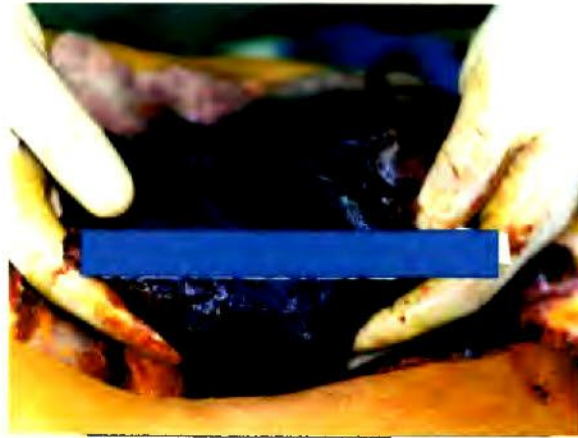
Puede haber evisceración por daño en la pared abdominal con daño visceral: perforaciones, úlceras de stress, íleo paralítico (24).

El trauma visceral directamente causado por lesión eléctrica; suele ser raro y ocurre en menos del 1% de los casos.

A nivel pulmonar se encuentran datos de tipo asfítico, pulmones congestionados y edematizados llenos de sangre negruzca, hay manchas de Tardieu. (Figura G y Figura H).

En el encéfalo y corazón hemorragias pequeñísimas y dilatación cardíaca. Presentan signos de asfixia y equimosis (1,29).

A nivel de serosas pleurales, pericárdicas y en leptomeninges existe un petequiado sufusional hemáticos (manchas de Tardieu); también en el plano subaponeurótico epicraneano (1, 24).



**Figura G**  
Petequiado hemático en la serosa pleural

Fuente: Morgue Judicial, IMELYCF - 2008



**Figura H**  
Pulmones edematizados llenos de sangre negra

Fuente: Morgue Judicial, IMELYCF - 2009

A nivel cardíaco, se observa un incremento en la separación de las fibras del músculo cardíaco y ruptura desordenada de estas. Se describen hallazgos de infartos agudos del miocardio y hemorragias subendocárdicas.

*Se dice que la causa principal de muerte por shock eléctrico es una perturbación en la conducción cardíaca eléctrica que lleva a fibrilación ventricular.*

En un artículo se demostró que la frecuencia de ruptura de miofibras era máxima en casos de electrocución (90%), La limitación obvia del estudio es lo que puede encontrarse únicamente en la autopsia raramente correlacionado con registros electrocardiográfico terminal (30).

Otros mecanismos descritos incluyen espasmo coronario que lleva a isquemia y arritmias que inducen hipotensión y secundariamente hipoperfusión coronaria. El diagnóstico de lesión del miocardio puede ser difícil (principalmente debido a la naturaleza difusa de necrosis del miocardio) (17).

Las quemaduras provocan hipertensión arterial por descarga de catecolaminas lo que puede desencadenar trombosis, ruptura de pared de vasos y formación de aneurismas (24).

El alto-voltaje en una lesión eléctrica puede causar trombosis de la vena cerebral con significancia lesión del cerebro incluso cuando el cerebro queda fuera de la senda actual (19)

Las corrientes de menor voltaje pueden calentar, coagular ó romper los vasos, dando lugar a hemorragias, o bien, en los órganos sólidos como el bazo y los riñones, pueden producir infarto o ruptura (13).

Honorio Piacentino describió el puntilleo hemorrágico “típico” en el área subependimaria del piso del IV ventrículo, entre el bulbo y la protuberancia (6).

En la observación macroscópica, la hemorragia con dimensiones puntiformes (1.5 mm), lenticulares (2 mm), en forma de napa radiada abarcando un área de 10 por

difusa, cubriendo todo el piso del IV ventrículo, en cuyo caso se ubica en su parte inferior (60%), parte media (30%) y en la superior (10%).

En todos los casos la ubicación de estas hemorragias es subependimaria y en un mínimo porcentaje (4-5%) puede presentarse el epéndimo desprendido del piso por muy pequeñas hemorragias desecantes.

Este signo es importante cuando no resulta posible visualizar la entrada de la corriente eléctrica, conformando la lesión electroespecífica de Jellinek. En el encéfalo hay hemorragias pequeñísimas. Son micro extravasaciones hemáticas en el piso del IV ventrículo (1). La corriente eléctrica produce edema cerebral.

Histológicamente se observa vacuolización perivascular, hemorragias, cromatólisis, fragmentación de axones, lesiones disruptivas (1,8). Se observa fragmentación de los axones y cambios en la vaina de mielina de los nervios periféricos.

En el cerebro se pueden observar hemorragias focales por la ruptura de vasos de pequeño calibre (13).

La Hemorragia del IV ventrículo (signo de Piacentino) tiene una morfología micro hemorrágica bien definida. Adoptan configuraciones de 1 a 2 mm, aisladas, en pequeños grupos o con agrupamiento múltiple, de mapa geográfico con contornos difusos de varios mm cuadrados lineales simples, con ramificaciones y arborescencias sinuosas.

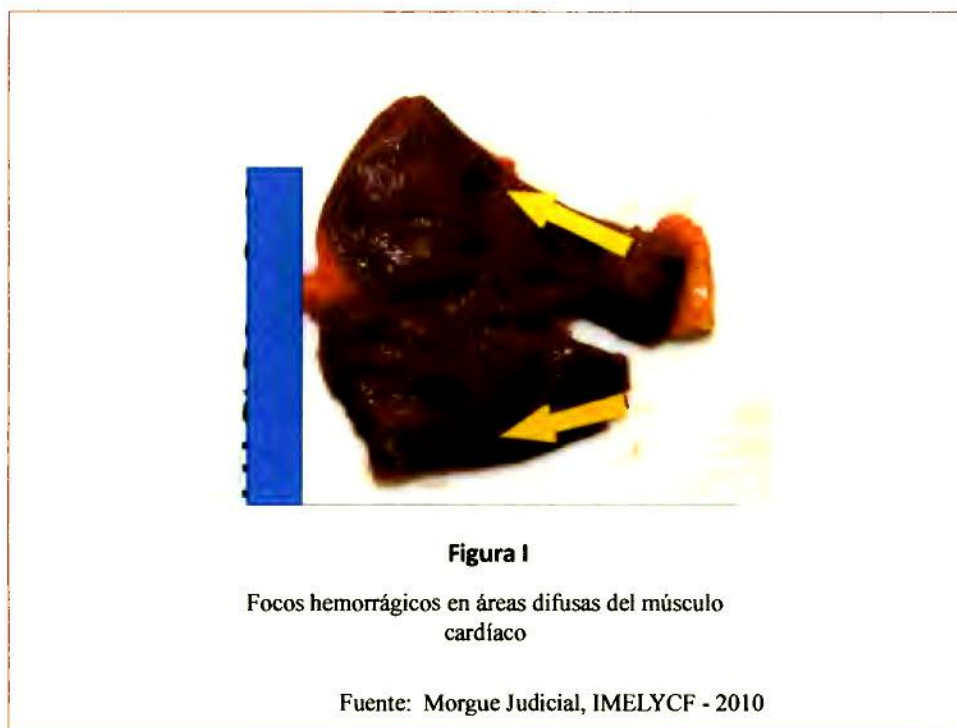
Histopatológicamente se observan edema, acentuada dilatación y congestión micro vascular, con efracción parietal o sin ella.

Cuando existe ruptura parietal vascular, se observa micro infiltración y micro extravasación hemorrágica perivascular. Hay desorganización de la histoarquitectura general del tejido nervioso con grados diversos de daño neuronal; lo más común es la disrupción axónica.

Otros cambios neuropatológicos son vacuolizaciones neuronales, necrosis gliay micro hemorragias en el espesor de la sustancia blanca de los hemisferios cerebrales; los 2 primeros están relacionados con el efecto Joule (1).

A nivel cardíaco se observan pequeños focos hemorrágicos, en áreas difusas, en la mayoría de las regiones cardíacas (Figura I). Esto plantea la cuestión de si los cambios observados fueron el sustrato de las arritmias mortales o si su presencia no era más que un fenómeno, que ocurre al mismo tiempo, pero sin relación causal (32,33).

Los efectos clínicos cardiovasculares de una descarga eléctrica incluyen la insuficiencia cardíaca inmediata, necrosis miocárdica, la isquemia de miocardio con o sin necrosis, arritmias, pericarditis hemorrágica, hipertensión aguda por vasoespasmo periférico. En una muerte rápida debido a al choque eléctrico, se encuentran las típicas lesiones cardíacas, que se caracteriza por una ruptura de las fibras miocárdicas (33).



### **3. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1 Justificación**

En medicina legal, es común encontrar hallazgos macroscópicos durante la autopsia de un caso de electrocución y muchas de las lesiones se producen en lugares anatómicos comunes.

El cuerpo humano actúa como conductor. Se requiere el contacto con una fuente de corriente y el contacto con una superficie (tierra); de esta forma, se cierra el campo electromagnético y se presenta la electrocución.

Si el ser humano es un conductor, cobra importancia explicar, ilustrar y correlacionar los resultados histopatológicos que se presentan en dicha entidad, ya que en la literatura forense se hace referencia a estas lesiones, de una forma simple y muy poco ilustrativa.

El que se estudie y difunda a la electrocución como un fenómeno que se puede prevenir, tiene una gran magnitud social, ya que en la mayoría de los casos es de etiología accidental en cualquier grupo de edad, predominando en el adulto joven.

#### **3.2 Hipótesis.**

En la Morgue Judicial de Panamá, las autopsias de electrocución se basan principalmente en los hallazgos macroscópicos externos e internos; por lo que los estudios histopatológicos serán de gran utilidad para corroborar con mayores elementos científicos nuestra causa de muerte.

### **3.3 Objetivo General**

- Explicar la importancia de las lesiones y alteraciones que aparecen en el electrocutado, desde el punto de vista microscópico y macroscópico.

### **3.4 Objetivos Específicos.**

- Recabar información bibliográfica acerca de electrocución
- Identificar el número de autopsias realizadas que tienen como causa de muerte electrocución en los archivos de la Morgue Judicial de Panamá, de los años 2008 al 2010.
- Realizar un estudio estadístico de electrocutados (2008-2010) referente con las siguientes variables: edad, sexo, ocupación, mecanismo de la muerte, etiología de la muerte, lugar en donde ocurrió la muerte, área de la provincia en donde ocurrió la muerte, mes y año en que se dio el hecho traumático.
- Recabar vistas fotográficas de los hallazgos macroscópicos encontrados en las autopsias con causa de muerte de electrocución, de los años 2008 al 2010.
- Ilustrar fotográficamente las lesiones macroscópicas del electrocutado.
- Describir los hallazgos macroscópicos encontrados en las autopsias de cadáveres con electrocución.
- Describir los hallazgos microscópicos encontrados en las autopsias de cadáveres con electrocución.
- Explicar la importancia desde el punto de vista microscópico y macroscópico de las lesiones y alteraciones que aparecen en el electrocutado.



### **3.5 Materiales y Métodos**

- Expedientes completos de autopsias de electrocutados que existen en los archivos de la Morgue Judicial de Panamá del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses de los años 2008 al 2010.
- Vistas fotográficas de las autopsias de electrocutados de los años 2008 al 2010.
- Informes de histopatológicos que existen en el archivo de la unidad de Patología Forense, de los casos de autopsias por electrocución de los años 2008 al 2010.
- Tabla de registro.
- Computadora con programas de recolección de datos y de análisis estadístico EpiInfo 2008 versión 3.5.1, Epidat y la hoja de cálculo Excell 2007.

### **3.6 Tipo de Estudio**

Estudio descriptivo, retrospectivo y transversal.

### **3.7 Universo de trabajo**

Se tomaron todos los registros y datos correspondientes a los cadáveres por electrocución, en los archivos de la Morgue Judicial de Panamá, en el periodo del año 2008 al 2010.

### **3.8 Plan de Análisis de Resultados**

Se realizarán análisis descriptivos para pruebas de hipótesis: pruebas de proporciones, de moda y media.

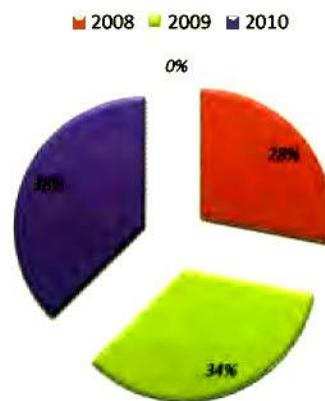
#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tabla No.1 Número de casos de electrocución por año 2008 a diciembre de 2010**

AÑO	FRECUENCIA	PORCENTAJE
2008	9	28,10%
2009	11	34,40%
2010	12	37,50%
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Archivo IMELCF

**Gráfica No.1 Número de casos de electrocución por año 2008 a diciembre de 2010**



Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

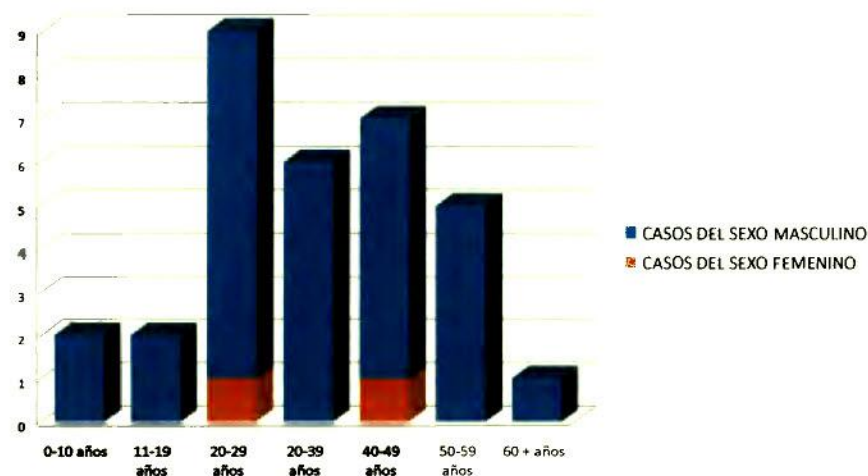
En la tabla y gráfico No.1 podemos observar el aumento progresivo de los casos de muertes por electrocución en la Provincia de Panamá.

**Tabla No.2 GENERAL POR GRUPOS DE EDAD Y SEXO DE MUERTES POR ELECTROCUCIÓN DEL AÑO 2008 A DICIEMBRE DE 2010**

EDAD	FRECUENCIA DE CASOS DE SEXO FEMENINO	FRECUENCIA DE CASOS DE SEXO MASCULINO
<b>0-10</b>	0	2
<b>11-19</b>	0	2
<b>20-29</b>	1	8
<b>20-39</b>	0	6
<b>40-49</b>	1	6
<b>50-59</b>	0	5
<b>60 +</b>	0	1
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>30</b>

Fuente: Archivo IMELCF

**Gráfico No. 2 POR GRUPOS DE EDAD Y SEXO DE ELECTROCUTADOS DEL 2008 A DICIEMBRE DEL 2010**



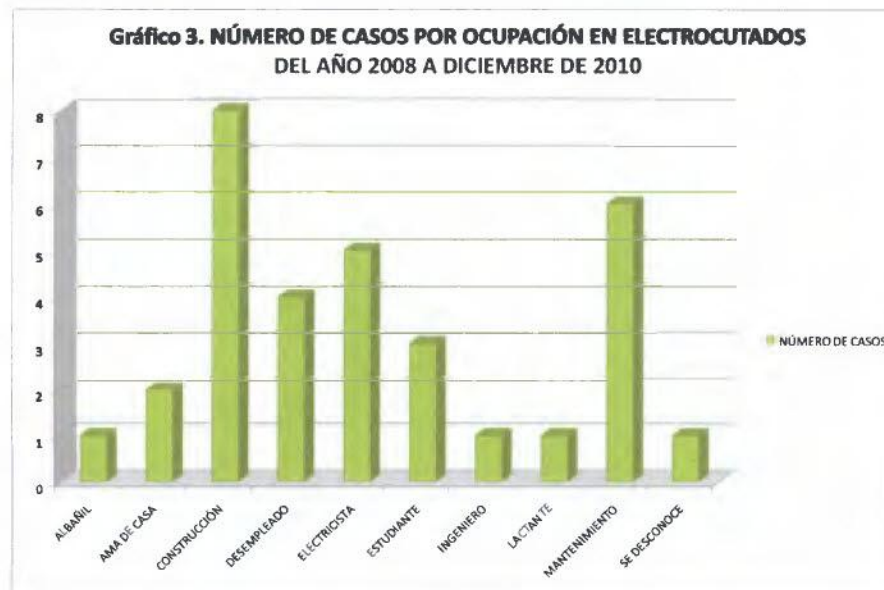
Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

En la tabla y gráfico No. 2 podemos observar que la electrocución predominó en el sexo masculino en un 30 (93.75%) de los casos. En la mayoría de los casos predominó en el rango de edad de 20 a 29 años, reconocido como edad productiva en el aspecto laboral.

**Tabla No.3 GENERAL POR OCUPACIÓN EN ELECTROCUTADOS DEL AÑO 2008 A DICIEMBRE DE 2010**

OCUPACION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Albañil	1	3,10%
Ama de casa	2	6,30%
Construcción	8	25,00%
Desempleado	4	12,50%
Electricista	5	15,60%
Estudiante	3	9,40%
Ingeniero electromecánico	1	3,10%
Lactante	1	3,10%
Mantenimiento	6	18,80%
Se desconoce	1	3,10%
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Archivo IMELCF



Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

En la tabla y gráfico No. 3 podemos observar que la mayoría de los casos de electrocución ocurrieron en la clase trabajadora en un 23 (71.87%), siendo los trabajadores de la construcción el grupo de mayor riesgo.

**Tabla No.4 MANERA DE LA MUERTE POR CASO DE ELECTROCUCIÓN DEL 2008 A DICIEMBRE DEL 2010**

MANERA DE LA MUERTE	CANTIDAD DE CASOS	PORCENTAJE
SUICIDA	0	0,00%
HOMICIDIO	0	0,00%
ACCIDENTAL	32	100,00%
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Archivo IMELCF

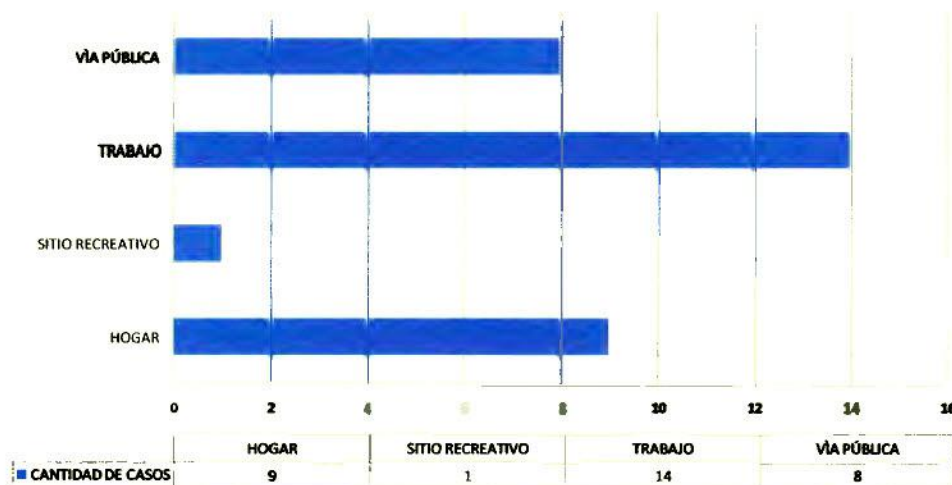
En esta tabla (Tabla No.4) podemos observar que el 100% de las electrocuciones ocurrieron de manera accidental.

**Tabla No.5 MECANISMO COMO OCURRIÓ LA ELECTROCUCIÓN DEL 2008 A DICIEMBRE DEL 2010**

MECANISMO COMO OCURRIÓ LA ELECTROCUCIÓN	Frecuencia
Trepando un poste de luz eléctrica mientras jugaba	1
Estaba cortando un árbol cerca de cable de alta tensión	2
Mientras lijaba una lancha en la playa	1
Estaba midiendo el terreno y toca un cable eléctrico	1
Estaba revisando cable eléctrico de su casa	2
Mientras robaba cable eléctrico	3
Mientras trabajaba en un poste de luz	2
Sufre descarga al tratar de conectar cable mientras llovía	1
Sufrió descarga mientras soldaba sobre un techo lloviendo	1
Fue a colocar luces en un árbol de navidad	1
Mientras trapeaba el piso mojado sufre descarga en casa	1
Sufre descarga al estar estibando en un container	1
Sufre descarga mientras arreglaba unas antenas	1
Sufre descarga mientras soldaba en el trabajo	2
Sufre descarga al tratar de reparar cable en su casa	1
Toca cable eléctrico suelto mientras corría y sufre caída	1
Sufre descarga al caer sobre unos cables dentro de su casa	1
Recogiendo un cable de tendido eléctrico mientras llovía	1
Arreglando el cable de un abanico	1
Arreglando cable eléctrico de la compañía	2
Revisando la caja del medidor eléctrico	1
Arreglando un transformador en un poste eléctrico	1
Arreglando el cableado eléctrico en su casa mientras llovía	1
Retirando cableado eléctrico de una vía pública	1
Mientras arregla cableado eléctrico ocurre una explosión	1

Fuente: Archivo IMELCF

**Gráfico No.4 SEGÚN EL LUGAR EN DONDE OCURRIÓ LA ELECTROCUCIÓN DEL 2008 A DICIEMBRE DEL 2010**



Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

En el gráfico No. 4 se puede observar que un 43.75% de los casos, las muertes por electrocución, ocurrieron en el lugar de trabajo. Esto relacionado al hecho que la clase trabajadora son los más afectados por este tipo de muerte traumática tan infrecuente.

**Gráfica No.5 DE TRABAJADORES DE LA CONSTRUCCIÓN SEGÚN EL MECANISMO DE PRODUCCIÓN DE LA MUERTE POR ELECTRICIDAD DEL 2008 A DICIEMBRE DEL 2010**



Fuente: Archivo IMELCF

**Tabla No.6 ÁREA DE LA PROVINCIA DE PANAMÁ EN DONDE OCURRIÓ LA MUERTE POR ELECTRICIDAD DEL 2008 A DICIEMBRE DEL 2010**

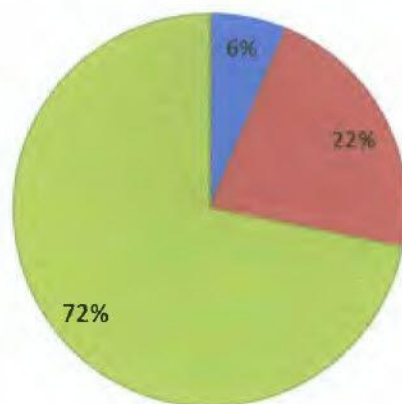
ÁREA DE LA PROVINCIA EN DONDE OCURRIÓ EL HECHO	FRECUENCIA
PANAMA CENTRO	20
PANAMA ESTE	1
PANAMA OESTE	11
<b>Total</b>	<b>32</b>

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

En la mayoría de los casos, las muertes ocurren en los corregimientos pertenecientes a Panamá Centro.

**Gráfico No. 6 RELACIÓN DE LAS DROGAS DE ABUSO CON LAS MUERTES POR ELECTRICIDAD DEL 2008 A DICIEMBRE DEL 2010**

■ COCAÍNA ■ ETANOL ■ TOXICOLOGÍA NEGATIVA



**Tabla No.7 GENERAL POR OCUPACIÓN Y PRESENCIA DE DROGAS DE ABUSO DEL 2008 A DICIEMBRE DEL 2010**

TOXICOLOGÍA			
OCUPACION	COCAÍNA	ETANOL	TOXICOLOGÍA NEGATIVA
ALBAÑIL	0	0	1
AMA DE CASA	0	0	2
CONSTRUCCIÓN	0	2	6
DESEMPLEADO	1	0	3
ELECTRICISTA	0	1	4
ESTUDIANTE	0	0	3
INGENIERO	0	0	1
LACTANTE	0	0	1
MANTENIMIENTO	1	3	2
SE DESCONOCE	0	1	0
<i>TOTAL</i>	<i>2</i>	<i>7</i>	<i>23</i>

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

En la gráfica No. 6 y tabla No. 7 se observa que en los casos estudiados se encontró la presencia de drogas de abuso en 9 (28%) de los casos, siendo el etanol el encontrado con mayor frecuencia en los trabajadores de la construcción y empleados de mantenimiento general de empresas.

**Tabla No.8 HALLAZGOS MACROSCÓPICOS DE AUTOPSIA EN MUERTES POR ELECTROCUCIÓN DEL 2008 A DICIEMBRE DEL 2010**

HALLAZGO MACROSCÓPICOS EXTERNOS E INTERNOS	FRECUENCIA
Quemaduras de entrada y salida	27
Quemaduras por fuego directo	5
Signo de Piacentino	1
Petequias subpleurales	21
Petequias subepicárdicas	17
Edema cerebral	10
Edema pulmonar	30
Congestión visceral generalizada	23
Petequias conjuntivales	23
Cianosis cervicofacial	16
Lesiones acompañantes	22

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá



Los hallazgos macroscópicos, tanto externos como internos, más frecuentemente encontrados durante las autopsias por electrocución fueron las quemaduras de entrada y salida, las petequias subconjuntivales, el edema agudo de pulmón, las petequias subpleurales y la congestión visceral generalizada.

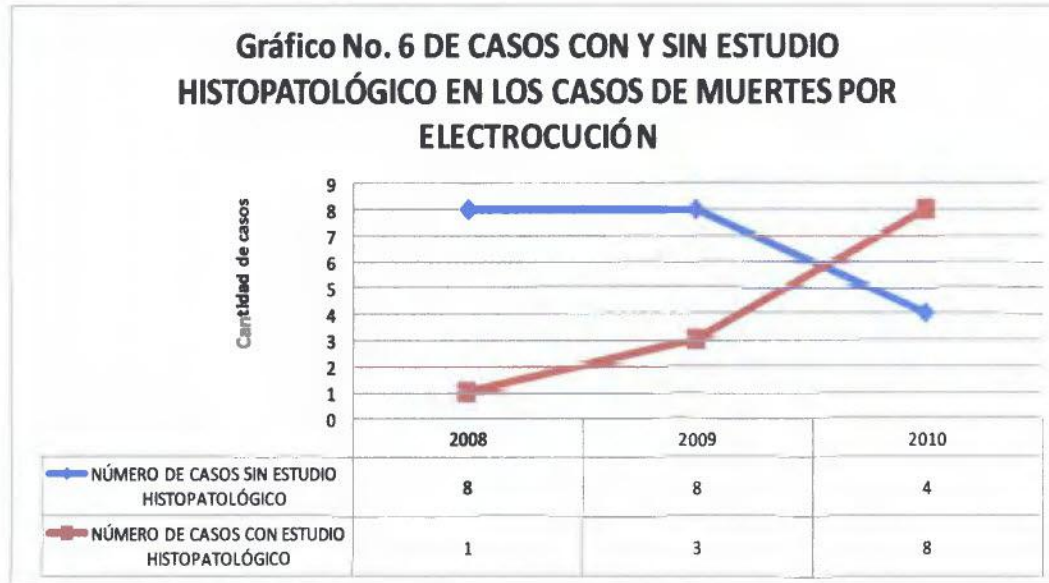
**Tabla No.9. General de estudios histopatológicos en autopsias por electrocución del año 2008 a diciembre del 2010**

<b>AÑO</b>	<b>NÚMERO DE CASOS SIN ESTUDIO HISTOPATOLÓGICO</b>	<b>NÚMERO DE CASOS CON ESTUDIO HISTOPATOLÓGICO</b>
<b>2008</b>	8	1
<b>2009</b>	8	3
<b>2010</b>	4	8
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>12</b>

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

En la tabla No. 9 podemos observar que la mayor cantidad de solicitudes para estudios histopatológicos se realizó en el año 2010. Ocurrió un incremento exponencial de los casos con informes de histopatológicos que corroboraban los diagnósticos.

En la mayoría de los casos la quemadura eléctrica es una entidad macroscópica y por lo tanto son pocas ocasiones en que se solicita este tipo de estudio; en tres años de los 32 casos estudiados, solo se enviaron 12 (37.5%) muestras para estudio histopatológico.



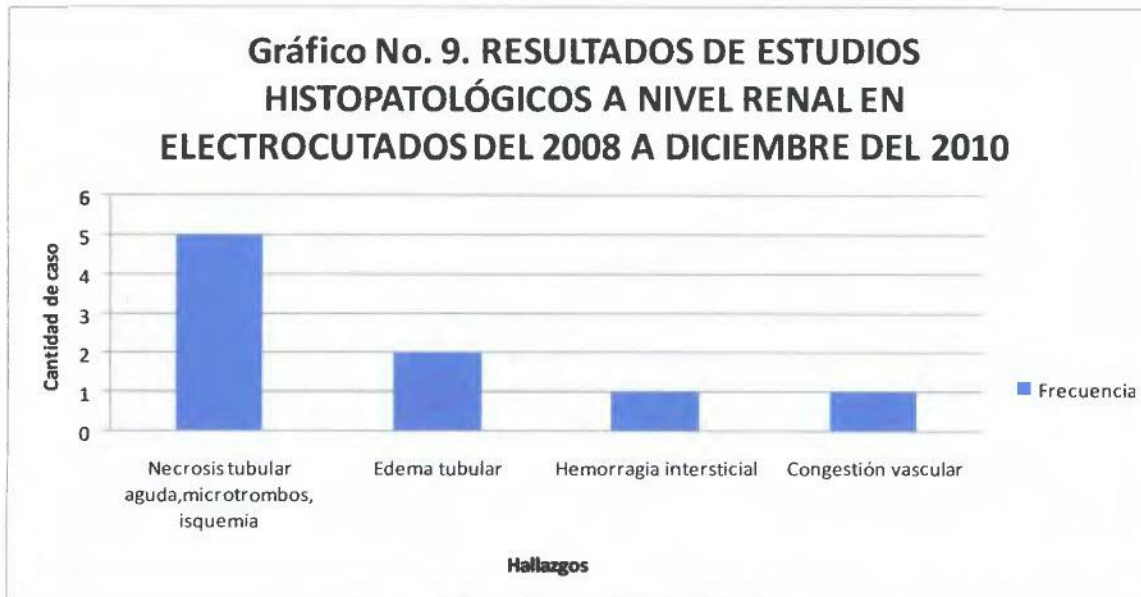
Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá



En este gráfico se observa que los hallazgos a nivel encefálico: edema cerebral, hemorragia puntiforme, isquemia, congestión vascular y sitios de infarto hemorrágico; justifican la fisiopatología de esta entidad y los hallazgos están relacionados con los encontrados durante la autopsia.



Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

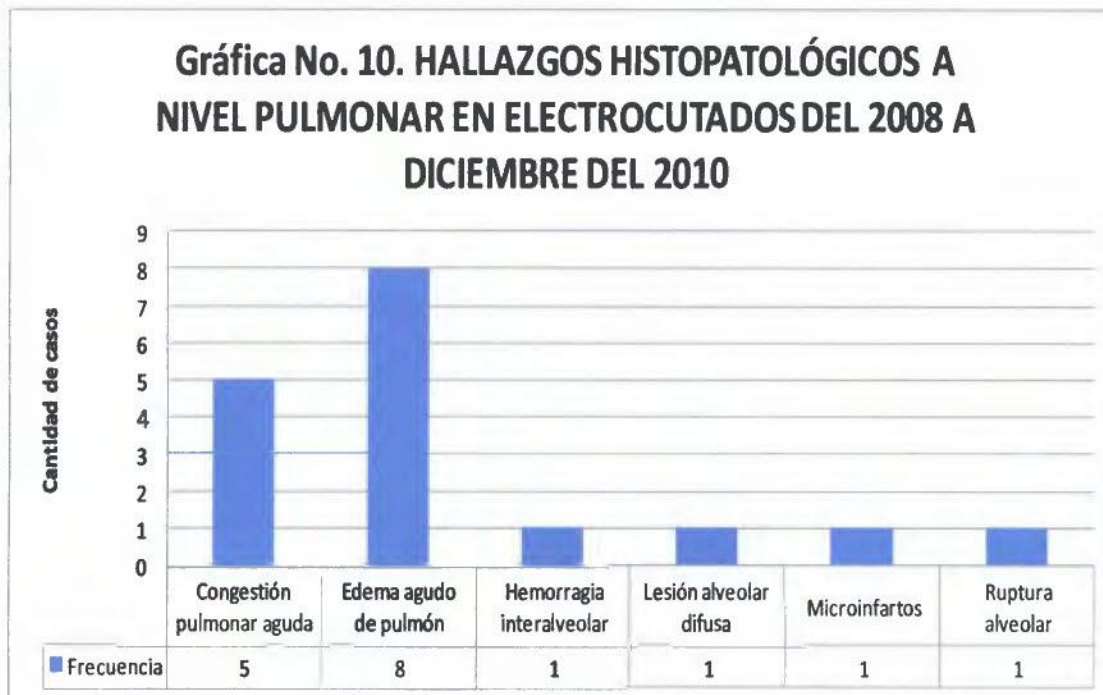


Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

En el gráfico No.8 se observa claramente que histológicamente el corazón del electrocutado cursa con alteraciones como lo son: isquemia, infarto agudo al miocardio, hemorragias y necrosis; lo que justifica desde el punto de vista

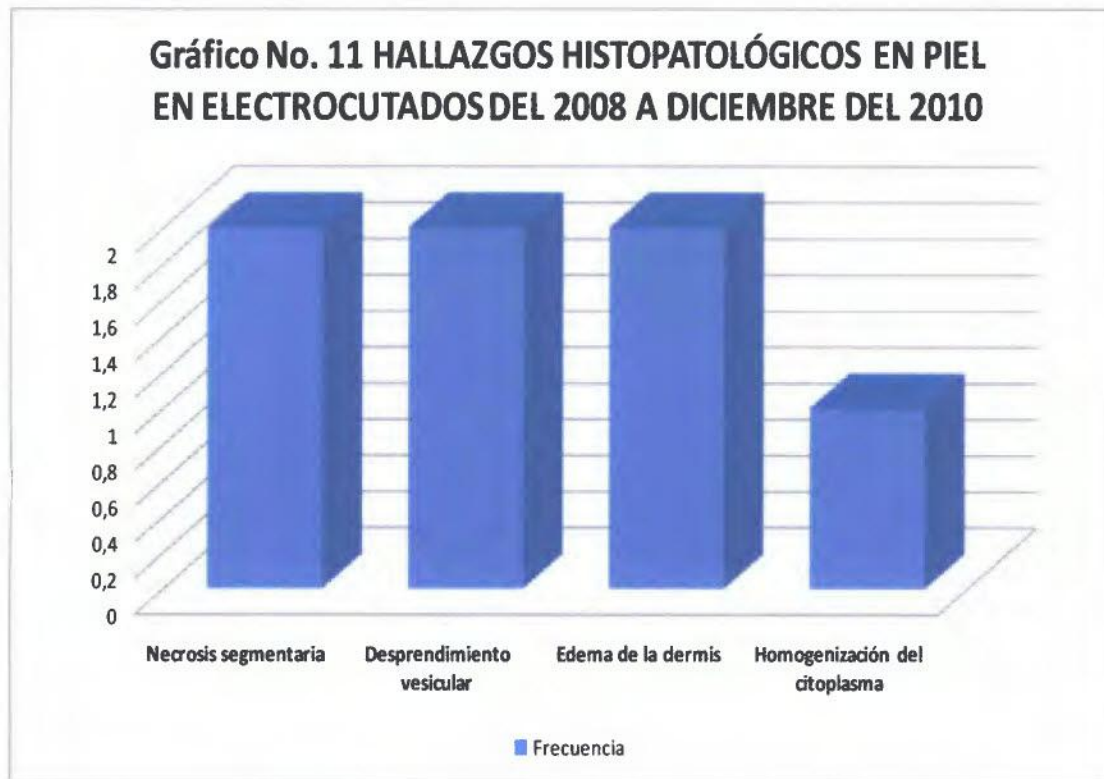
fisiopatológico que el corazón es un órgano blanco para esta entidad.

Los hallazgos encontrados a nivel renal, que se pueden observar en el gráfico No.9, son debidos a la presencia de la rabdomiolisis; esto ubica los riñones como órganos indirectamente blancos de esta entidad.



**Fuente:** IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

En el gráfico No. 10 se puede observar los hallazgos histopatológicos a nivel pulmonar en los casos de electrocutados estudiados, a quienes se les solicitó este tipo de estudio. Se aprecia que los pulmones de los electrocutados histopatológicamente curan con: congestión, edema y hemorragia; lo que avala la fisiopatología de la entidad y coloca a este órgano vital, como un órgano blanco en dicha patología traumática.



**Fuente:** IMELYCF – Morgue Judicial de Panamá

En el gráfico No. 11 se observan hallazgos histopatológicos en piel como lo son: la necrosis segmentaria (debido a esta distribución segmentaria, puede haber áreas intactas ocasionales en lesiones eléctricas), desprendimiento vesicular y edema de la dermis. Estos hallazgos microscópicos son importantes en los casos en donde no es posible determinar a simple vista la lesión de entrada o salida de la corriente eléctrica en un cadáver, por lo que el estudio histopatológico en estos casos es de vital importancia para el médico forense.

La electrocución es la muerte que se presenta por el paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano.

En Panamá existen dos tipos de plantas generadoras: las hidroeléctricas y las térmicas. La principal planta hidroeléctrica en Panamá es Bayano localizada en el Distrito de Chepo, la cual utiliza las aguas del lago Bayano y, la principal planta termoeléctrica es COPESA.

Existen varias compañías contratistas y subcontratistas las cuales se ganan los proyectos de instalación y colocación de tendidos eléctricos por medio de licitaciones públicas solicitadas por el gobierno nacional, ganadas a la menor cuantía.

En el presente trabajo se analizaron 32 casos de electrocución en cadáveres a quienes se les realizó la autopsia en la Morgue Judicial de la Provincia de Panamá, en el periodo comprendido entre los años 2008 a diciembre del 2010, con la finalidad de obtener los datos macroscópicos y específicamente los hallazgos microscópicos encontrados en los estudios histopatológicos; que en algunos casos se solicitaron; en donde se determinó que de los 32 casos analizados, en solo 12 de ellos se solicitaron.

Nuestra investigación ha establecido un incremento exponencial en la mortalidad asociada a este tipo de muertes en la provincia de Panamá, principalmente en Panamá Centro, lo cual constituye un hallazgo importante, ya que en muchos de los casos se pudo prevenir estas fatalidades.

Esta muerte traumática sucede con alta frecuencia en el grupo del sexo masculino y en edad productiva (Tabla y Gráfico No. 2), predomina en los trabajadores de la construcción en el 25% de los casos (Tabla No. 3) y de etiología accidental en el 100% de los casos (Tabla 4). Estos hallazgos concuerdan con lo descrito por otros autores (1,2,8,17).

Los resultados obtenidos en el estudio deben tomarse en cuenta, a nivel de medicina laboral, como parte de la orientación y del programa de seguridad en el lugar de trabajo. Se deben identificar los causales de este tipo de muertes accidentales que se pueden prevenir, sobre todo a nivel de los trabajadores de la construcción, que

son las víctimas más frecuentes de electrocución en nuestro país.

En los resultados de hallazgos macroscópicos (hallazgos externos e internos), durante la realización de las autopsias (Tabla No.8); concuerdan con lo descrito por otros autores a nivel internacional (1,4,6,11,13,24,28,29).

El hallazgo externo más comúnmente encontrado fueron las quemaduras de entrada y salida (27 casos). El edema agudo de pulmón fue reportado en 30 de los casos estudiados, convirtiéndose en la lesión interna más común encontrada durante las autopsias por electrocución.

Es muy importante aclarar que los 12 estudios histopatológicos que se solicitaron apoyaron claramente la causa de muerte denominada electrocución; más sin embargo, en la realización de las autopsias de cadáveres que cursaron con electrocución; el Perito Médico Forense se guía en gran medida por los antecedentes brindados por las autoridades o familiares y, principalmente por las lesiones y hallazgos que éste presenta externamente.

En los resultados de hallazgos histopatológicos, resultados citados en los Gráficos No.6, 7, 8,9, 10 y 11; se observa claramente que se detectaron datos histopatológicos en el encéfalo, corazón, pulmón, piel y riñones compatibles con la electrocución, tal y como ha sido descrito en la bibliografía referente a esta entidad (1,6,7,8,13,25,32,33).

A nivel histopatológico el edema cerebral, la isquemia cardíaca, la necrosis tubular aguda, la isquemia renal y el edema agudo de pulmón, son los hallazgos más comúnmente encontrados durante el estudio microscópico de los tejidos obtenidos de cadáveres que mueren a causa de electrocución (Gráficos 7,8,9 y 10).

Lo que se busca con este trabajo es lograr una causa de muerte fehaciente, no solo apoyándose en las lesiones y hallazgos encontrados en el exterior e interior del cadáver; si no también; con los estudios histopatológicos, estudios que casi no son solicitados para esta entidad y que de los casos estudiados, solo a 12 de ellos se les solicitaron dichos estudios que corresponde al 37.5%; por lo que los hallazgos

encontrados en el cadáver deben de complementarse con los estudios histopatológicos.

Este trabajo es un importante antecedente para la realización de investigación de la electrocución en nuestro país, ya que se cuenta con la infraestructura y los recursos humanos para este fin. No existen estudios en nuestro país acerca de esta entidad y se demuestra claramente un atraso evidente en materia científica con relación a los otros países.



## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente estudio se analizaron 32 casos de electrocución en cadáveres a quienes se les realizó la autopsia en la Morgue Judicial de la Provincia de Panamá, del IMELYCF, en el periodo comprendido entre los años 2008 al 2010, de todos estos casos el grupo de edad de mayor en donde se observó con mayor frecuencia fue de 20 a 29 años, de predominio en el sexo masculino. La manera de la muerte en que se presentó el hecho de la electrocución fue accidental en un 100%, de índole laboral y específicamente en trabajadores de la construcción.

Con los datos obtenidos en estos estudios histopatológicos, estadísticamente se corroboró la causa de muerte de la electrocución, lo que nos indica que estos estudios deben de complementar la autopsia; ya que son de gran utilidad, están a nuestro alcance y llegan a ser grandes auxiliares cuando existe duda o cuando no está claramente sustentada la causa de muerte.

Las nuevas definiciones médico legales que implementa el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses en Panamá, implican la urgente necesidad de difundir conocimientos relacionados a la determinación de este tipo de muerte violenta, tanto en sus concepciones legales como forenses. Actualmente, y ante el advenimiento de un nuevo sistema penal en nuestro país, el médico legista y forense deberá estar en capacidad de brindar todos los conocimientos médicos científicos y prácticos, necesarios para la resolución de problemas jurídicos, motivo por lo cual siempre debemos recordar que la autopsia de un cadáver debe de ser completa, metódica, descriptiva y principalmente científica.

## **RECOMENDACIONES**

La información teórica científica utilizada como marco teórico para la realización de este estudio es de origen extranjero. Es necesario realizar investigaciones de tipo analíticas que complementen este estudio y, de esa manera, disminuir las muertes por electrocución en nuestro país y obtener estudios histopatológicos nacionales que avalen este tipo de muerte.

La información obtenida de la frecuencia en presentación de este tipo de muerte en los trabajadores de la construcción y de etiología accidental, aunado al hecho de que en varios de los casos se encontró en el sistema drogas de abuso, me lleva a sugerir que se deben reforzar las legislaciones a nivel del Código de Trabajo, Salud Ocupacional y en los sistemas de salud principales ( MINSA y CSS).

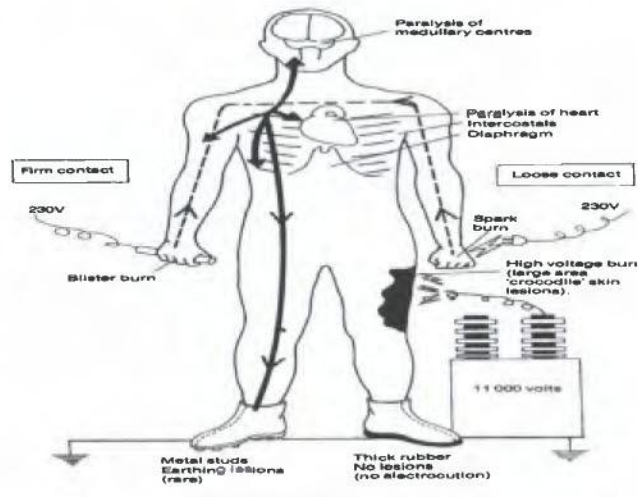
## 1. BIBLIOGRAFÍA

1. PATITÓ J. Tratado de Medicina Legal y Elementos de Patología Forense: Lesiones por electricidad industrial y atmosférica. Argentina: Editorial Quorum: 2003. p. 621.
2. SORIANO M. Maldonado y MARTINEZ P. "Muerte por electrocución". Cuadernos de Medicina Forense. España 2003. p. 71-74.
3. WRIGHT RK, BROISZ HG, and SHUMAN M. The investigation of electrical injuries and deaths. Presented at the meeting of the American Academy of Forensic Science, Reno, NV, February 2000.
4. BONNET E. Medicina Legal. 4 ed. (Argentina): Editorial López Librero Editores: 1967. P. 178.
5. BONNET E, PIACENTINO H, PEDACE E. Muerte por descarga eléctrica: Estudio macroscópico y microscópico del romboencéfalo. Bol. Nac.Ac. Med: 1970. 48:81-95.
6. DI MAIO V. Forensic Pathology. 2ª ed. CRC Press: 2001. 16: 423-429.
7. BASILE, A. Fundamentos de Medicina Legal. (Argentina): Editorial El Ateneo: 1991. P. 73.
8. MILEAF H. Electricidad. 1ª ed (México): Editorial Limusa: 2000. p. 113
9. CALABUIG G. Medicina Legal y Toxicología. Sexta Edición España: Editorial Masson: 2005. p. 419.
10. BENNOIT B, FORGET S, GRAUDEAULT P. Prevalencia de los factores de riesgo en las víctimas de electrocución. Canada 2001 p.58-62.
11. TARQUINIO T, WEINSTEIN ME. Bilateral scapular fractures from accidental electric shock. J. Trauma. 1979. 19: 132-133.
12. SORNOGYI E and TEDESCHI CG, Injury by electrical force: Forensic Medicine. Philadelphia 1977. p 645-676.
- 13.ROBBINS. Patología Estructural y Funcional. 6ª Ed. Mc-Graw-Hill-Interamericana. 2000. p. 460.
- 14.Vargas ALVARADO. Medicina Legal. 3ª edición Costa Rica: Liman Editores. 1983. p 197-199.

15. THOMAS J .“Cardiac abnormalities demonstrated postmortem in four cases of accidental electrocution and their potential significance relative to nonfatal electrical injures of de heart”. American Heart Journal Vol. 120 No.1. Texas 1990. p. 143 - 155.
16. FERRIS LP, et al., Effect of electroshock and health. AIEE Trans 1936. 55:498.
- 17.SPIES C, and TROHMAN R “Narrative Review: Electrocution and life-threatening Electrical Injures”. Annals of Internal Medicine, vol. 145, No. 7. October, 2006. pp. 531.
18. WERNER AH. Death by electricity, NY Med J, 1923. 118:498-500.
19. PATEL A, and R. L., “Electric injury with cerebral venous thrombosis” Case report and review of the literature”. American Stroke Association. Department of Medicine, McMaster University Medical Centre, Hamilton. Canadá, 1993.
20. ARENAS R. Dermatología, Atlas diagnostico y tratamiento. 2ª edición: Editorial Mc Graw-Hill Interamericana.
21. AMADO S. Lecciones de Dermatología. 14ª Edición: Méndez editores México. 2001.
22. WETLI CV, “Keraunopathology: An analysis of 45 fatalities”, American Journal F. Med Path 1996; 17: 89-98.
- 23.MARTÍNEZ MURILLO. Medicina Legal. Librería de Medicina. México.1950. p. 158-160.
- 24.GARCÍA CRIADO M, TORRES TRILLO J“Actitud ante la electrocución en atención primaria”. Semergen25 (3); España. pp. 229-233.
- 25.YE W, MIN L, WEI-BO Ch, et al. “Endothelial cell membrane perforation of aorta and pulmonary artery in the electrocution victims”. Forensic Science International 2008, 178(2-3) May 20 China, pp.204-206.
- 26.Curso Avanzado de Apoyo Vital en Trauma para Médicos. (ATLS) 7ª Ed. 2004. pp. 244.
- 27.SHAHEEN MA and SABET NA. “Bilateral simultaneous fracture of the femoral neck following electrical shock. Injury. 1984; 16: 13-14.
- 28.KARGER B, SÜGGELER O, BRINKMANN B, “Electrocution: autopsy study with emphasis on Electrical petechiae” Forensic Science International. 2002 May 23; Vol. 126 No.3 Germany, pp. 210 - 213.
29. WEINBERGER L N, HOLENA D.POWEL E, GRACIAS V. ”Arc Determination equals injury identification: trauma mantra applied to electrocution”. Injure Extra (2008) 39, agosto 2008 ELSEVIER. Pennsylvania, 2008. p. 389-391.
- 30.FINESCHI V, B D'ERRICO S “Cardiac pathology in death from electrocution”. Int J. Leg. Med. 2006. 120 USA. p. 79 - 82.

31. WRIGHT RK, JH D. The investigation of electrical deaths: a report of 220 fatalities. *J Forensic Sci* 1980 25:514–521.
32. VIANELLO F. A man in the thunderstorm: coronary injuries and electric shock. *Cardiology* 1997. 88:486.
33. FINESCHI V, KARCH S, D'ERRICO S, POMARA C, RIEZZO I, TURILLAZZI E. Cardiac pathology in death from electrocution. *Int J Leg Med* (2006) 120: 79–82.

# **ANEXO**



*Clinical effects of electrocution*

**Figura F**

Marcha de la Corriente eléctrica a través del cuerpo

KNIGHT B. Lawyers Guide to Forensic Medicine. Cavendish publishing, London, UK. 1998.



**FALSO HONGO DE ESPUMA**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial



### **CHAMUSCAMIENTO POR ALTA TENSIÓN**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial



### **CIANOSIS UNGUEAL**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial





**CIANOSIS CERVICO FACIAL - MÁSCARA DE MORESTÍN**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial



**LESIONES DE SALIDA DE CORRIENTE ELÉCTRICA**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial



**LESIONES DE ENTRADA DE CORRIENTE ELÉCTRICA**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial



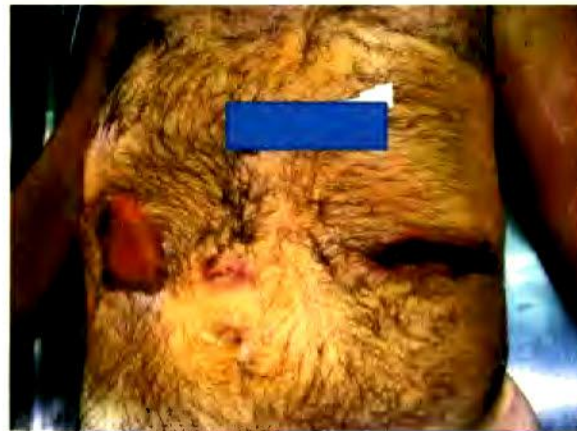
**PETEQUIAS SUBCONJUTIVALES**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial



**CHAMUSCAMIENTOS DE VELLAS (SACACORCHOS)**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial



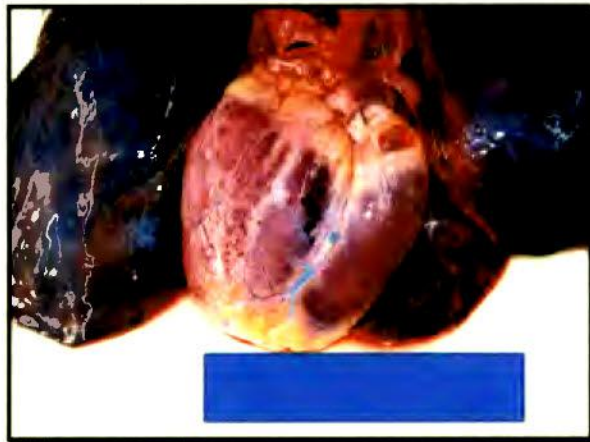
**FLASH ELÉCTRICO**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial



**LESIÓN ÓSEA CON AMPUTACIÓN TRAUMÁTICA DE  
EXTREMIDADES INFERIORES POR PASO DE CORRIENTE  
DE ALTA TENSIÓN**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial



**PETEQUIAS Y EQUIMOSIS SUPEPICÁRDICAS**

Fuente: IMELYCF – Morgue Judicial