

Agosto 1997

### TÍTULO

**Efectos de la corriente sobre el hombre y los animales domésticos**

**Parte 1: Aspectos generales**

*Effects of current on human beings and livestock. Part 1: General aspects.*

*Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques. Partie 1: Aspects généraux.*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es equivalente al Informe Técnico CEI 479-1:1994.

### OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE 20-572/1 de agosto 1992.

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 204 *Seguridad Eléctrica* cuya Secretaría desempeña AMYS.



ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN .....	4
<b>1 GENERALIDADES .....</b>	<b>5</b>
1.1 Objeto y campo de aplicación .....	5
1.2 Normas para consulta .....	5
1.3 Definiciones .....	6
<b>2 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPEDANCIA DEL CUERPO HUMANO .....</b>	<b>7</b>
2.1 Impedancia interna del cuerpo humano ( $Z_i$ ) .....	7
2.2 Impedancia de la piel ( $Z_p$ ) .....	7
2.3 Impedancia total del cuerpo humano ( $Z_T$ ) .....	8
2.4 Resistencia inicial del cuerpo humano ( $R_0$ ) .....	8
2.5 Valores de la impedancia total del cuerpo humano ( $Z_T$ ) .....	8
2.6 Valor de la resistencia inicial del cuerpo humano ( $R_0$ ) .....	10
2.7 Dependencia de las impedancias del cuerpo con la superficie de contacto, en corriente alterna 50/60 Hz y en corriente continua. ....	11
<b>3 EFECTOS DE LA CORRIENTE ALTERNA DE FRECUENCIAS COMPRENDIDAS ENTRE 15 HZ Y 100 HZ .....</b>	<b>20</b>
3.1 Umbral de percepción y umbral de reacción .....	20
3.2 Umbral de no soltar .....	20
3.3 Umbral de fibrilación ventricular .....	20
3.4 Otros efectos de la corriente .....	21
3.5 Descripción de las zonas tiempo/corriente (véase figura 14) .....	21
3.6 Aplicación del factor de corriente de corazón ( $F$ ) .....	22
<b>4 EFECTOS DE LA CORRIENTE CONTINUA .....</b>	<b>24</b>
4.1 Umbral de percepción y umbral de reacción .....	24
4.2 Umbral de no soltar .....	25
4.3 Umbral de fibrilación ventricular .....	25
4.4 Otros efectos de la corriente .....	25
4.5 Descripción de las zonas tiempo/corriente (véase figura 15) .....	26
<b>ANEXOS INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>28</b>
<b>ANEXO A MEDIDAS REALIZADAS SOBRE SERES VIVOS Y CADÁVERES Y EXPLOTACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
<b>ANEXO B INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA SOBRE LA IMPEDANCIA TOTAL DEL CUERPO HUMANO (<math>Z_T</math>) .....</b>	<b>30</b>
<b>ANEXO C RESISTENCIA TOTAL DEL CUERPO (<math>R_T</math>) EN CORRIENTE CONTINUA</b>	<b>31</b>
<b>ANEXO D MEDIDA DE LA DEPENDENCIA DE LA IMPEDANCIA TOTAL DEL CUERPO HUMANO (<math>Z_T</math>) CON LA SUPERFICIE DE CONTACTO ..</b>	<b>32</b>
<b>ANEXO E BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXO NACIONAL</b>	
<b>NORMAS PARA CONSULTA .....</b>	<b>35</b>

## INTRODUCCIÓN

Esta norma está destinada a suministrar las informaciones fundamentales sobre los efectos de la corriente eléctrica sobre el hombre y los animales domésticos, sirviendo de guía para el establecimiento de prescripciones de seguridad eléctrica.

Con objeto de evitar errores fundamentales en la interpretación de este informe, debe ser resaltado que los valores dados están esencialmente basados sobre experiencias realizadas sobre animales así como sobre las informaciones resultantes de las, observaciones clínicas. Solo algunas experiencias con corrientes de choque de corta duración han sido efectuadas sobre el hombre.

Según los conocimientos actuales, provenientes esencialmente de experiencias sobre animales, los valores son dirigidos en el sentido de la seguridad, de manera que esta norma se aplica a personas en condiciones fisiológicas normales, incluso comprendidos los niños, cualquiera que sea su edad y su peso.

Asimismo, otros aspectos deben ser tenidos en cuenta, tales como la probabilidad de defectos, la probabilidad de contacto con partes activas o con las partes en defecto, la relación entre la tensión de contacto y la tensión de defecto, la experiencia adquirida, las posibilidades técnicas y económicas. Estos parámetros deben ser cuidadosamente tomados en consideración al establecer las condiciones de seguridad, por ejemplo las características de funcionamiento de los dispositivos de protección en las instalaciones eléctricas.

En esta norma se ha seguido el orden que se corresponde con los resultados obtenidos y que son utilizados por el Comité de Estudios 64 como base de establecimiento de prescripciones para la protección contra los choques eléctricos. Estos resultados son considerados como suficientemente importantes para justificar una norma de CEI que puede igualmente servir como guía para otros comités de CEI y para otros países que tengan necesidad de tales informaciones.

La primera edición de la CEI 479, aparecida en 1974, estaba basada en una intensa búsqueda en la literatura y sobre evaluaciones de respuestas recibidas de un cuestionario. Sin embargo, después de esa fecha, se han realizado nuevos estudios experimentales. Su estudio y un análisis más preciso de las publicaciones anteriores han permitido hacerse una mejor idea de la acción de la corriente eléctrica sobre los organismos vivos y los animales domésticos.

Esto es particularmente cierto para los límites de la fibrilación ventricular, que constituye la causa principal de los fallecimientos debidos a la electricidad, y el análisis del conjunto de recientes trabajos sobre la fisiología cardíaca y sobre el umbral de fibrilación, ha permitido una mayor comprensión de la influencia de los principales parámetros físicos, en particular del tiempo de paso de la corriente.

También se han realizado recientes investigaciones sobre los otros parámetros físicos de los accidentes, en particular la forma y la frecuencia de la corriente y de la impedancia del cuerpo humano. Es por ello, que se ha considerado adecuado realizar esta revisión de la CEI 479 que debe ser considerada como el desarrollo y la evolución lógica de la segunda edición.

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 Objeto y campo de aplicación

Para un mismo trayecto de corriente a través del cuerpo humano, el peligro en que incurren las personas, depende esencialmente de la intensidad y de la duración de paso de la corriente. Sin embargo, las zonas tiempo/corriente especificadas en los capítulos siguientes, no son, en muchos casos, directamente aplicables en la práctica para concebir la protección contra los choques eléctricos; el criterio es el límite admisible de la tensión de contacto (es decir, el producto de la corriente que pasa por el cuerpo y de su impedancia) en función del tiempo. La relación entre la corriente y la tensión no es lineal porque la impedancia del cuerpo humano varía con la tensión de contacto. Por ello, es importante disponer de datos referentes a esta relación. Las diferentes partes del cuerpo humano -tales como la piel, la sangre, los músculos, otros tejidos y las articulaciones- presentan para la corriente eléctrica una cierta impedancia compuesta de elementos resistivos y capacitivos.

Los valores de estas impedancias dependen de varios factores y, en particular, del trayecto de la corriente, de la tensión de contacto, de la duración del paso de la corriente, de la frecuencia de la corriente, del estado de humedad de la piel, de la superficie de contacto, de la presión ejercida y de la temperatura.

Los valores de la impedancia indicados en este informe, son el resultado de un examen minucioso de los resultados experimentales disponibles de medidas efectuadas principalmente sobre cadáveres y sobre algunas personas vivas.

El capítulo 3 está fundamentalmente basado en los datos que conciernen a los efectos de la corriente eléctrica a la frecuencia de 50 Hz o 60 Hz, que es la corriente más utilizada en las instalaciones eléctricas. Los valores indicados son, no obstante, considerados como aplicables en la gama de frecuencias de 15 Hz a 100 Hz, los valores del umbral en los límites de esta gama son más elevados que a frecuencias de 50 Hz o 60 Hz. En esta gama de frecuencias, el riesgo de fibrilación ventricular del corazón, está considerado como la causa esencial de accidentes mortales.

Los accidentes con corriente continua son mucho menos frecuentes de lo que se podría creer en consideración al número de aplicaciones de la corriente continua y de los accidentes mortales que se producen únicamente en condiciones muy desfavorables, por ejemplo, en las minas. Esto es debido, en parte, al hecho de que para duraciones de choque superiores al período del ciclo cardíaco, el umbral de fibrilación ventricular es mucho más elevado que en corriente alterna.

Las principales diferencias entre los efectos de la corriente alterna y aquellos de la corriente continua sobre el cuerpo humano, proceden del hecho de que las excitaciones de corriente (estimulación de los nervios y de los músculos, provocación de la fibrilación auricular o ventricular del corazón) están unidas a las variaciones de intensidad de la corriente fundamentalmente cuando la corriente se establece o se interrumpe. Para producir una misma excitación, las intensidades constantes necesarias en corriente continua son de dos a cuatro veces superiores a aquellas que son necesarias en corriente alterna.

### 1.2 Normas para consulta

La norma que a continuación se relaciona contiene disposiciones válidas para esta Norma Internacional. En el momento de la publicación la edición indicada estaba en vigor. Toda norma está sujeta a revisión por lo que las partes que basen sus acuerdos en esta Norma Internacional deben estudiar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de la norma indicada a continuación. Los miembros de CEI e ISO poseen el registro de Normas Internacionales en vigor en cada momento.

CEI 479-2:1987 – *Efectos de la corriente eléctrica al pasar por el cuerpo humano. Parte 2: Aspectos particulares.*

### 1.3 Definiciones

Para la finalidad de esta norma, las definiciones siguientes son aplicables.

#### 1.3.1 Impedancia eléctrica del cuerpo humano

**1.3.1.1 impedancia interna del cuerpo humano ( $Z_i$ ):** Impedancia entre dos electrodos en contacto con dos partes del cuerpo humano suprimiendo las impedancias de la piel.

**1.3.1.2 impedancia de la piel ( $Z_p$ ):** Impedancia entre un electrodo situado sobre la piel y los tejidos conductores subyacentes.

**1.3.1.3 impedancia total del cuerpo humano ( $Z_T$ ):** Suma vectorial de la impedancia interna y de las impedancias de la piel (véase figura 1).

**1.3.1.4 resistencia inicial del cuerpo humano ( $R_0$ ):** Resistencia que limita el valor de cresta de la corriente en el momento en que la tensión de contacto es aplicada.

#### 1.3.2 Efectos de la corriente alterna de frecuencia comprendida entre 15 Hz y 100 Hz

**1.3.2.1 umbral de percepción:** Valor de la corriente que provoca una sensación en una persona a través de la cual pasa esa corriente.

**1.3.2.2 umbral de reacción:** Valor mínimo de la corriente que provoca una contracción muscular.

**1.3.2.3 umbral de no soltar:** Valor máximo de la corriente a la cual una persona que tenga sujetos los electrodos pueda soltarlos.

**1.3.2.4 umbral de fibrilación ventricular:** Valor mínimo de la corriente que al atravesar el cuerpo provoca la fibrilación ventricular.

**1.3.2.5 factor de corriente de corazón  $F$ :** Relación entre la intensidad del campo eléctrico (densidad de corriente) en el corazón para el trayecto de la mano izquierda a los dos pies y el campo eléctrico en el corazón para una corriente de la misma intensidad que siga un trayecto dado.

NOTA – En el corazón, la densidad de la corriente es proporcional a la intensidad del campo eléctrico.

**1.3.2.6 período vulnerable:** Concierne a una parte relativamente pequeña del ciclo cardíaco, durante la cual las fibras del corazón están en un estado no homogéneo de excitabilidad y la fibrilación ventricular se produce si ellas son excitadas por una corriente eléctrica de intensidad suficiente.

NOTA – El período vulnerable corresponde a la primera parte de la onda T en el electrocardiograma y representa alrededor del 10% del ciclo cardíaco (véase figuras 12 y 13).

#### 1.3.3 Efectos de la corriente continua

**1.3.3.1 factor de equivalencia entre la corriente continua y la corriente alterna ( $k$ ):** Relación entre la corriente continua y el valor eficaz equivalente de la corriente alterna que presenta la misma probabilidad de provocar la fibrilación ventricular.

NOTA – Por ejemplo, para duraciones de choque superiores a la duración de un ciclo cardíaco y una probabilidad de fibrilación ventricular del 50%, el factor de equivalencia es aproximadamente igual a:

$$k = \frac{I_{\text{c.c.-fibrilación}}}{I_{\text{c.a.-fibrilación (valor eficaz)}}} = \frac{300 \text{ mA}}{80 \text{ mA}} = 3,75$$

**1.3.3.2 corriente longitudinal:** Corriente que pasa en sentido longitudinal a través del tronco del cuerpo humano, por ejemplo entre mano y pies.

**1.3.3.3 corriente transversal:** Corriente que pasa en sentido transversal a través del tronco del cuerpo humano, por ejemplo entre mano y mano.

**1.3.3.4 corriente ascendente:** Corriente continua a través del cuerpo humano para la que los pies representan el polo positivo.

**1.3.3.5 corriente descendente:** Corriente continua a través del cuerpo humano para la que los pies representan el polo negativo.

## 2 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPEDANCIA DEL CUERPO HUMANO

Este capítulo indica los valores de la impedancia eléctrica del cuerpo humano en función de la tensión de contacto, de la frecuencia de la corriente, del estado de humedad de la piel, del trayecto de la corriente y de la superficie de la zona de contacto.

El esquema de la figura 1 representa las impedancias del cuerpo humano.

### 2.1 Impedancia interna del cuerpo humano ( $Z_i$ )

La impedancia interna del cuerpo humano puede ser considerada como principalmente resistiva. Su valor depende principalmente del trayecto de la corriente y, en menor medida, de la superficie de contacto.

NOTA – Las medidas indican que existe una pequeña componente capacitiva (trazos interrumpidos de la figura 1).

La figura 2, indica los valores de la impedancia interna del cuerpo humano para diferentes trayectos, expresados en porcentaje del valor para el trayecto mano a pie.

Para los trayectos de corriente mano a mano o mano a pies, las impedancias están esencialmente localizadas en las extremidades (brazos y piernas). Si la impedancia del tronco del cuerpo es despreciable, se puede representar un diagrama simplificado (véase figura 3).

NOTA – Con objeto de simplificar el diagrama, se supone que las impedancias de los brazos y de las piernas tienen el mismo valor.

### 2.2 Impedancia de la piel ( $Z_p$ )

La impedancia de la piel puede ser considerada como un conjunto de resistencias y de capacidades. Su estructura está constituida por una capa semiconductor y de pequeños elementos conductores (poros). La impedancia de la piel decrece cuando la corriente aumenta. A veces, se observan marcas de corriente (véase 2.5.4).

El valor de la impedancia de la piel depende de la tensión, de la frecuencia, de la duración del paso de la corriente, de la superficie de contacto, de la presión de contacto, del estado de humedad de la piel, de la temperatura y del tipo de piel.

Para tensiones de contacto de hasta 50 V aproximadamente en corriente alterna, el valor de la impedancia de la piel varía ampliamente, incluso para una misma persona, en función de la superficie de contacto, de la temperatura, de la transpiración, de una respiración rápida, etc.

Para tensiones de contacto crecientes (superiores a 50 V aproximadamente), la impedancia de la piel decrece rápidamente y se hace despreciable cuando la piel está perforada.

En lo que se refiere a la influencia de la frecuencia, la impedancia de la piel decrece cuando la frecuencia aumenta.

### 2.3 Impedancia del cuerpo humano ( $Z_T$ )

La impedancia total del cuerpo humano está constituida por componentes resistivas y capacitivas.

Para tensiones de contacto de hasta 50 V aproximadamente, debido a las importantes variaciones de la impedancia de la piel  $Z_p$ , la impedancia total del cuerpo humano  $Z_T$  varía entre amplios límites.

Para tensiones de contacto más elevadas, la impedancia total depende cada vez menos de la impedancia de la piel y su valor se aproxima después de la perforación de la piel, al de la impedancia interna  $Z_i$ .

En lo que se refiere a la influencia de la frecuencia, teniendo en cuenta la variación de la impedancia en la piel en función de la frecuencia, la impedancia total del cuerpo humano es más elevada en corriente continua y decrece cuando la frecuencia aumenta.

### 2.4 Resistencia inicial del cuerpo humano ( $R_o$ )

En el momento en que la tensión de contacto es aplicada, las capacidades del cuerpo humano no están cargadas, ya que las impedancias de la piel  $Z_{p1}$  y  $Z_{p2}$  son despreciables y la resistencia inicial  $R_o$  es aproximadamente igual a la impedancia interna del cuerpo humano  $Z_i$  (véase figura 1). La resistencia inicial  $R_o$  depende principalmente del trayecto de la corriente y, en menor medida, de la superficie de contacto.

La resistencia inicial  $R_o$ , limita los picos de corriente de impulsos breves (por ejemplo los choques debidos a los controladores de cercas eléctricas).

### 2.5 Valores de la impedancia total del cuerpo humano ( $Z_T$ )

**2.5.1 Corriente alterna sinusoidal 50/60 Hz.** Los valores de la impedancia total del cuerpo humano indicados en la tabla 1 son validos para seres vivos y un trayecto de mano a mano con superficies de contacto importantes (entre 5 000 mm<sup>2</sup> y 10 000 mm<sup>2</sup>) en condiciones secas.

Para tensiones de contacto de hasta 50 V, los valores medidos con superficies de contacto mojadas por agua fresca, son más débiles, de un 10% a un 25% con respecto a las condiciones secas y las soluciones conductoras disminuyen considerablemente la impedancia, hasta la mitad de los valores medidos en condiciones secas.

Para tensiones superiores a 150 V aproximadamente, la impedancia total del cuerpo humano depende poco de la humedad y de la superficie de contacto.

Las medidas han sido efectuadas sobre adultos de ambos sexos; se describen en el anexo A. El campo de valores de la impedancia total del cuerpo humano para tensiones de contacto de hasta 5 000 V se representa en la figura 4, y para las tensiones de hasta 220 V en la figura 5 (línea de puntos).

Los valores de la tabla 1 y de las figuras 4 y 5 representan actualmente el mejor conocimiento de la impedancia total del cuerpo humano para adultos vivos. El estado actual de los conocimientos hace pensar que la impedancia total del cuerpo de los niños debe de ser del mismo orden pero algo más elevada.

**Tabla 1**  
**Impedancia total del cuerpo humano  $Z_T$  para un trayecto de corriente mano a mano con corriente alterna 50/60 Hz para superficies de contacto importantes**

Tensión de contacto V	Valores de la impedancia total ( $\Omega$ ) del cuerpo humano que no son sobrepasadas por el		
	5% de la población	50% de la población	95% de la población
25	1 750	3 250	6 100
50	1 450	2 625	4 375
75	1 250	2 200	3 500
100	1 200	1 875	3 200
125	1 125	1 625	2 875
220	1 000	1 350	2 125
700	750	1 100	1 550
1 000	700	1 050	1 500
Valor asintótico	650	750	850

NOTA – Algunas medidas indican que la impedancia total del cuerpo humano para un trayecto de corriente mano a pie es un poco menor que para un trayecto mano a mano (10% a 30%).

**2.5.2 Corriente alterna sinusoidal hasta frecuencias de 20 kHz.** Los valores de las impedancias totales del cuerpo humano a 50/60 Hz disminuyen para frecuencias más elevadas debido a la influencia de las capacidades de la piel y están más próximas de la impedancia interna del cuerpo humano  $Z_i$  para frecuencias superiores a 5 kHz.

Las medidas que se han realizado hasta frecuencias de 20 kHz con tensiones de contacto de 10 V y de 25 V se describen en el anexo B.

La figura 6 indica la impedancia total del cuerpo humano  $Z_T$ , para un trayecto de corriente mano a mano, con importantes superficies de contacto, para una tensión de contacto de 10 V, en función de una variación de frecuencia comprendida entre 25 Hz y 20 kHz.

La figura 7 indica la impedancia total del cuerpo humano  $Z_T$ , para un trayecto de corriente de mano a mano, con importantes superficies de contacto, para una tensión de contacto de 25 V, en función de una variación de frecuencia entre 25 Hz y 2 kHz. A partir de los resultados, se han deducido curvas que dan la impedancia total del cuerpo humano  $Z_T$  para un rango del percentil del 50% de la población para tensiones de contacto que varían entre 10 V y 1 000 V y un campo de frecuencias de 50 Hz a 2 kHz para un trayecto de corriente mano a mano o mano a pie. Las curvas se representan en la figura 8.

**2.5.3 Corriente continua.** La resistencia total del cuerpo humano  $R_T$  en corriente continua es más elevada que la impedancia total del cuerpo humano  $Z_T$  en corriente alterna para tensiones de contacto hasta alrededor de 150 V con motivo del poder de bloqueo de las capacidades de la piel humana.

Las medidas efectuadas en corriente continua para importantes superficies de contacto, se describen en el anexo C.

Los valores de resistencia total del cuerpo humano  $R_T$  en corriente continua, determinadas según el método descrito en el anexo C, se indican en la tabla 2 (véase figura 5, línea continua).

**2.5.4 Efectos de la corriente sobre la piel.** La figura 9 indica la dependencia de las alteraciones de la piel humana en función de la densidad de corriente y de la duración del paso de la corriente.

Las alteraciones de la piel humana dependen de la densidad de corriente  $i_s$  (mA/mm<sup>2</sup>) y de la duración del paso de la corriente.

A título orientativo, se pueden dar los siguientes valores:

- por debajo de 10 mA/mm<sup>2</sup>, en general, no se observa ninguna alteración de la piel. Para duraciones más importantes de paso de corriente (varios segundos), la piel situada bajo el electrodo puede ponerse blanca-grisácea con una superficie rugosa (zona 0);
- entre 10 mA/mm<sup>2</sup> y 20 mA/mm<sup>2</sup>, aparece un enrojecimiento de la piel con un hinchamiento en forma de onda de color blanquecino a lo largo de los bordes del electrodo (zona 1);
- entre 20 mA/mm<sup>2</sup> y 50 mA/mm<sup>2</sup>, se produce un color pardo bajo el electrodo situado en la piel. Para duraciones más importantes de paso de corriente (varias decenas de segundos), se observan claras marcas de corriente (ampollas) alrededor del electrodo (zona 2);
- por encima de 50 mA/mm<sup>2</sup>, se puede producir una carbonización de la piel (zona 3).

Para zonas de contacto importantes, las densidades de corriente pueden ser suficientemente débiles, de manera que no se produzca ninguna alteración de la piel aunque las intensidades sean mortales.

**Tabla 2**  
**Resistencia total del cuerpo humano  $R_T$  para un trayecto de corriente mano a mano con corriente continua para superficies de contacto importantes**

Tensión de contacto V	Valores de la resistencia total $R_T(\Omega)$ del cuerpo humano que no son sobrepasados por el		
	5% de la población	50% de la población	95% de la población
25	2 200	3 875	8 800
50	1 750	2 990	5 300
75	1 510	2 470	4 000
100	1 340	2 070	3 400
125	1 230	1 750	3 000
220	1 000	1 350	2 125
700	750	1 100	1 550
1 000	700	1 050	1 500
Valor asintótico	650	750	850

NOTA – Algunas medidas indican que la resistencia total del cuerpo humano para un trayecto de corriente mano a pie es un poco menor que para un trayecto mano a mano (10% a 30%).

## 2.6 Valor de la resistencia inicial del cuerpo humano ( $R_0$ )

El valor de la resistencia inicial del cuerpo humano  $R_0$ , para un trayecto de corriente mano a mano o mano a pie y para importantes superficies de contacto, puede ser tomada como de 500  $\Omega$  para un rango del percentil del 5% de la población en corriente alterna de 50/60 Hz y en corriente continua.

NOTA – El valor de 500  $\Omega$  para la resistencia inicial  $R_0$  es un poco menor que el valor asintótico de 650  $\Omega$  de la impedancia total del cuerpo humano  $Z_T$  en corriente alterna de 50/60 Hz, y la resistencia total del cuerpo humano  $R_T$  en corriente continua para un rango del percentil del 5% de la población, porque en el momento del contacto, las capacidades de la piel y la capacidad interna del cuerpo están descargadas.

## **2.7 Dependencia de las impedancias del cuerpo con la superficie de contacto, en corriente alterna 50/60 Hz y en corriente continua**

Los valores de la impedancia interna del cuerpo humano  $Z_i$  y la resistencia inicial del cuerpo humano  $R_0$  dependen poco de las superficies de contacto.

Sin embargo, cuando la superficie de contacto es muy pequeña, del orden de algunos milímetros cuadrados, los valores crecen.

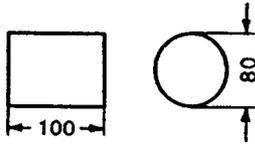
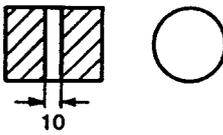
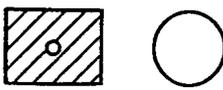
Los valores de la impedancia total del cuerpo humano  $Z_T$  dependen de la superficie de contacto mientras que la piel no esté destruida (para tensiones de contacto de hasta 50 V aproximadamente) o parcialmente destruida (para tensiones de contacto superiores a 50 V).

La dependencia entre la impedancia total del cuerpo  $Z_T$  para un trayecto de corriente mano a mano y la superficie de contacto (de 1 mm<sup>2</sup> a 8 000 mm<sup>2</sup> aproximadamente) para un campo de tensiones entre 25 V a 200 V, en corriente alterna de 50 Hz se indica en la figura 10. Para tensiones de contacto inferiores a 100 V y pequeñas superficies de contacto, las variaciones de medida pueden fácilmente ser del orden de  $\pm 50\%$  con respecto a la media, en función de la temperatura, de la presión, del lugar de la palma de la mano, etc. Incluso una respiración rápida modifica la impedancia.

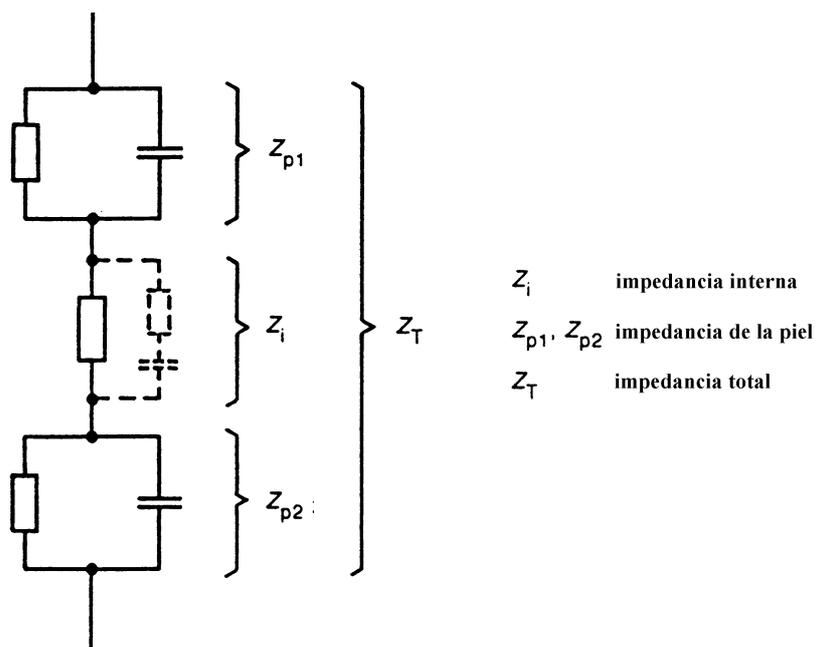
La dependencia entre la impedancia total del cuerpo  $Z_T$  y una tensión de contacto comprendida entre 25 V y 200 V, en corriente alterna de 50/60 Hz y en corriente continua, con una trayectoria entre la punta de los dedos derecho e izquierdo (superficie de contacto de 250 mm<sup>2</sup> aproximadamente), se indica en la figura 11.

El procedimiento seguido para tomar las medidas se describe en el anexo D. Las medidas indican que la impedancia de un dedo es del orden de 1 000  $\Omega$ .

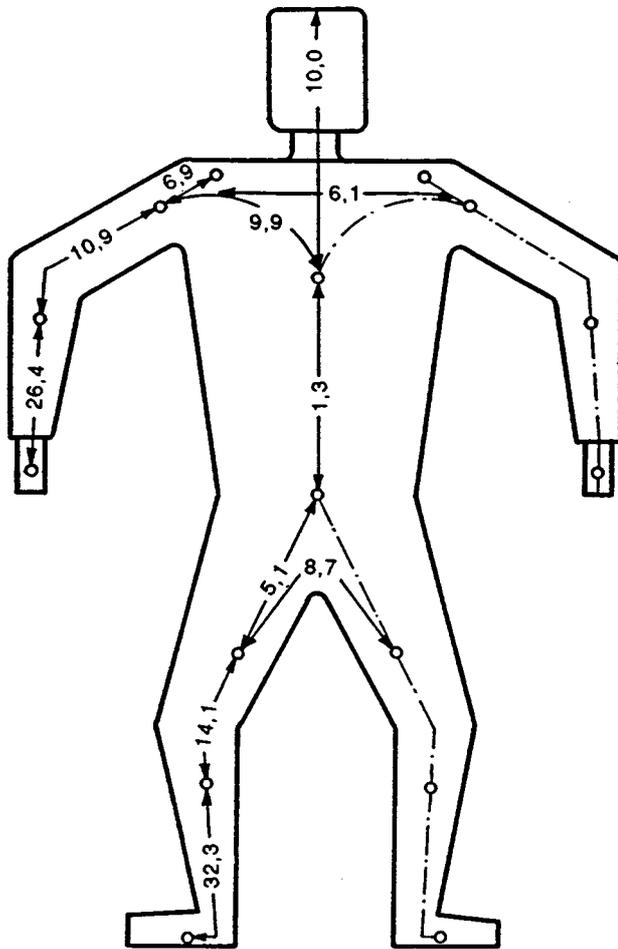
**Tabla 3**  
**Electrodos utilizados para la medida de la relación de la impedancia del cuerpo humano  $Z_T$  con la superficie de contacto**

Ensayo	Forma de la zona de contacto	Área de contacto efectiva $\text{mm}^2$	Esquemas mm
A	Cilindro de cuero	8 000 aproximadamente	
B	Forma en anillo con protección apropiada suministrada por una banda aislante	1 000 aproximadamente	
C	Forma cuadrada con protección apropiada suministrada por una banda aislante	100	
D	Cilindro en material aislante con un electrodo circular	10	
E	Cilindro de material aislante con electrodos circulares*	1	

\* Para este tipo, se han utilizado cuatro electrodos circulares complementarios de  $1 \text{ mm}^2$  dispuestos en cruz, a una distancia de 30 mm del electrodo central, con la finalidad de medir las desviaciones de estos puntos en el interior de la palma de la mano.



**Fig. 1 – Impedancias del cuerpo humano**



Las cifras indican el porcentaje de la impedancia interna del cuerpo humano para la parte del cuerpo implicada con respecto al trayecto de mano a pie.

NOTA - Con objeto de calcular la impedancia total del cuerpo  $Z_T$  para un trayecto de corriente dado, las impedancias internas de todas las partes del cuerpo recorridas por la corriente deben ser añadidas así como las impedancias de la piel de las superficies de contacto.

Fig. 2 - Impedancias internas del cuerpo humano

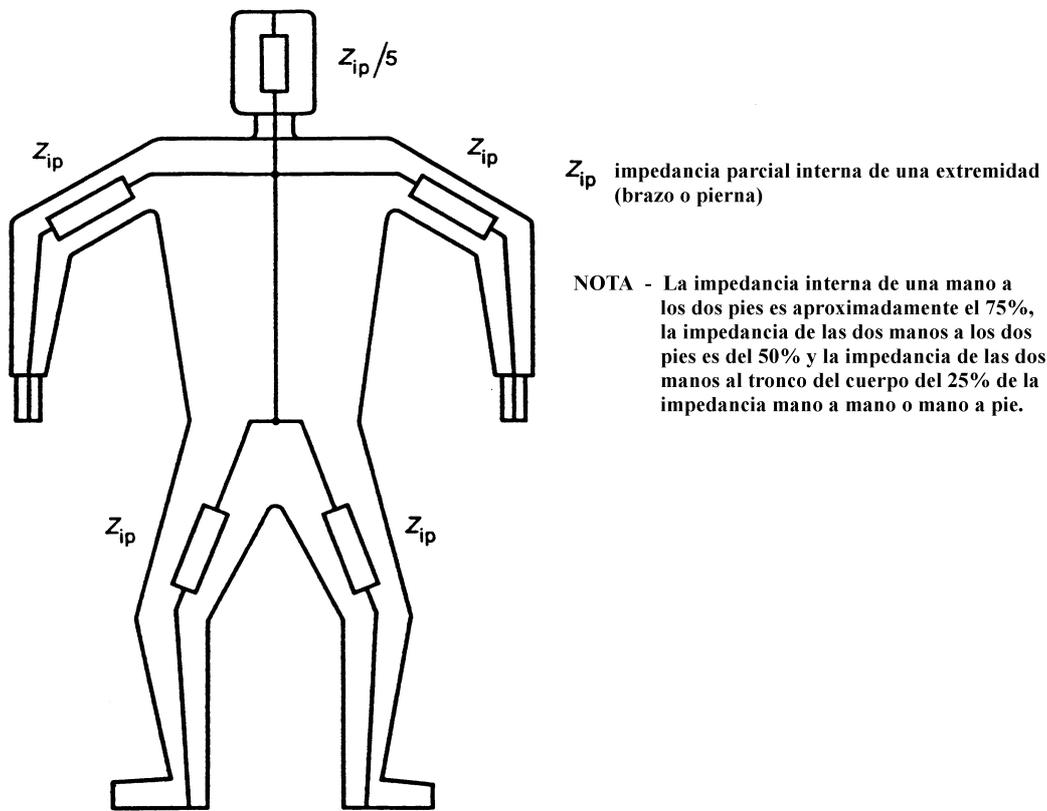


Fig. 3 – Esquema simplificado de las impedancias internas del cuerpo humano

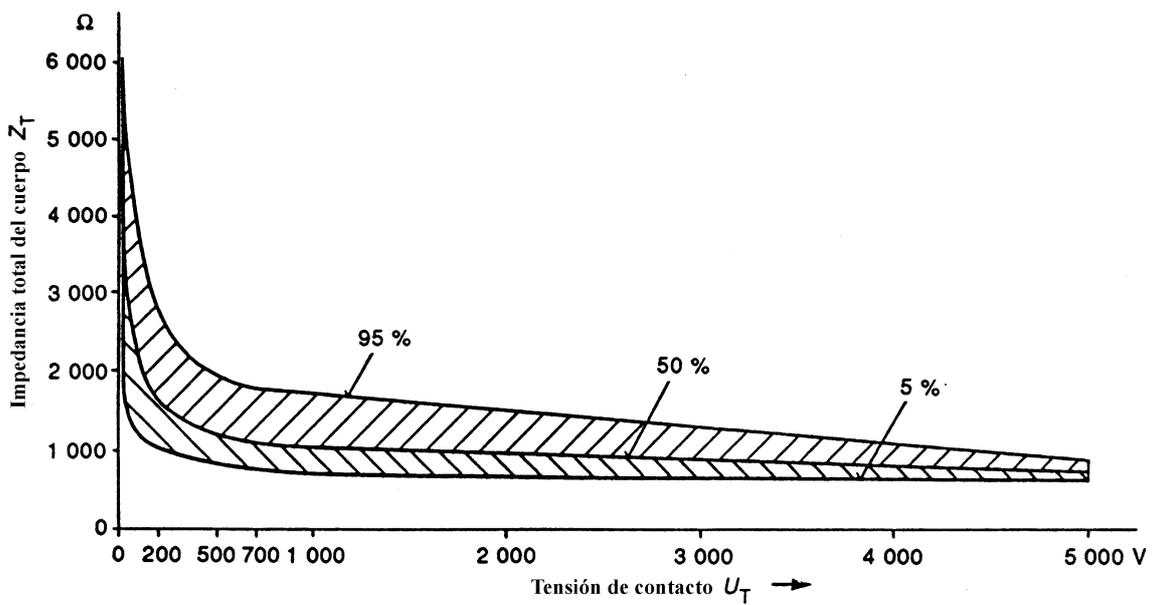


Fig. 4 – Valores estadísticos de las impedancias totales del cuerpo válidos para sujetos humanos vivos, para un trayecto de corriente de mano a mano o de mano a pie, para tensiones de contacto de hasta 5 000 V en corriente alterna 50/60 Hz

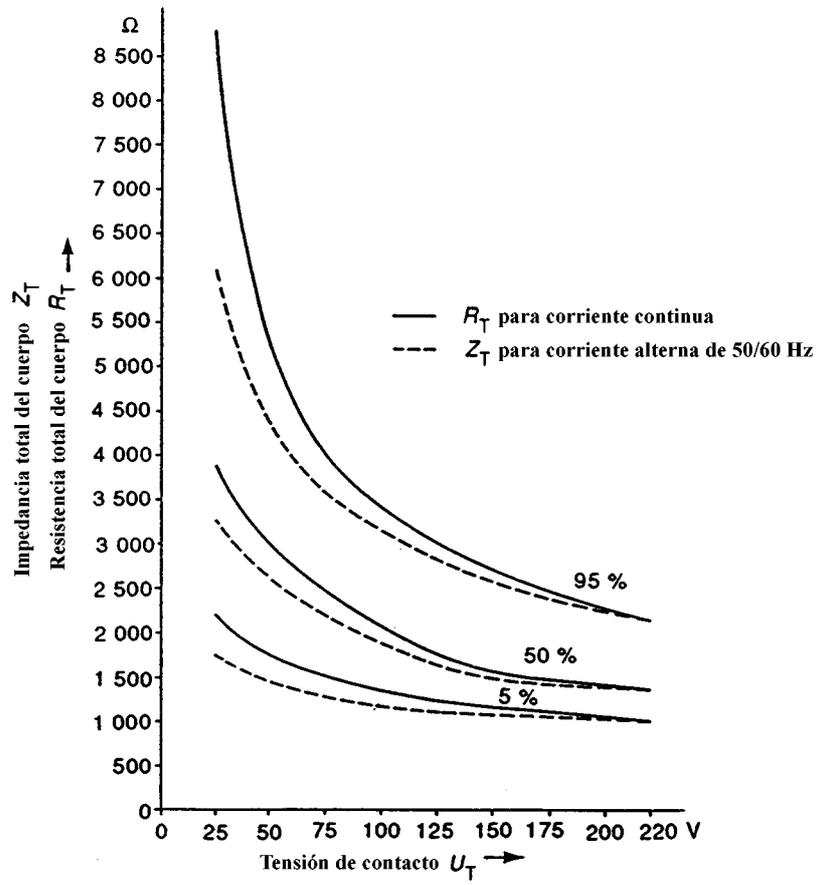


Fig. 5 – Valores estadísticos de las impedancias totales del cuerpo para sujetos humanos vivos, para un trayecto de corriente mano a mano o mano a pie, para tensiones de contacto hasta 220 V en corriente alterna 50/60 Hz y en corriente continua

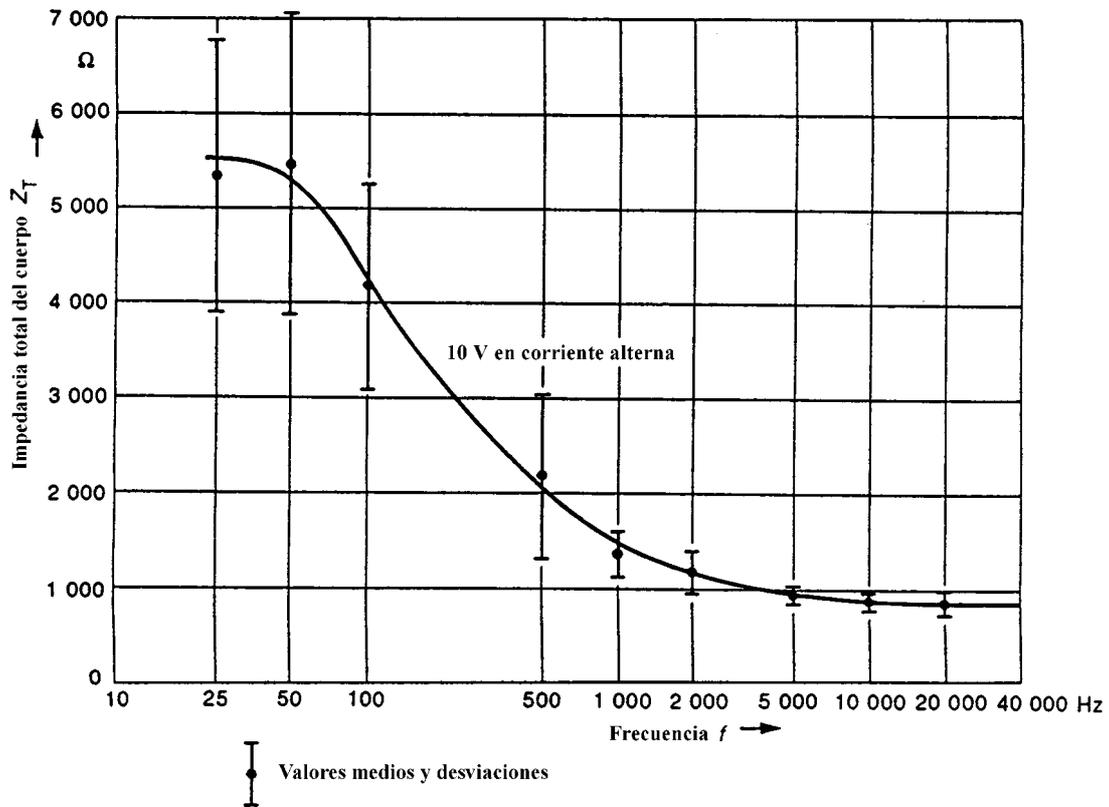


Fig. 6 – Valores de la impedancia total  $Z_T$  medida sobre 10 sujetos humanos vivos, con un trayecto de corriente de mano a mano y con importantes zonas de contacto, para una tensión de contacto de 10 V y frecuencias de 25 Hz a 20 kHz

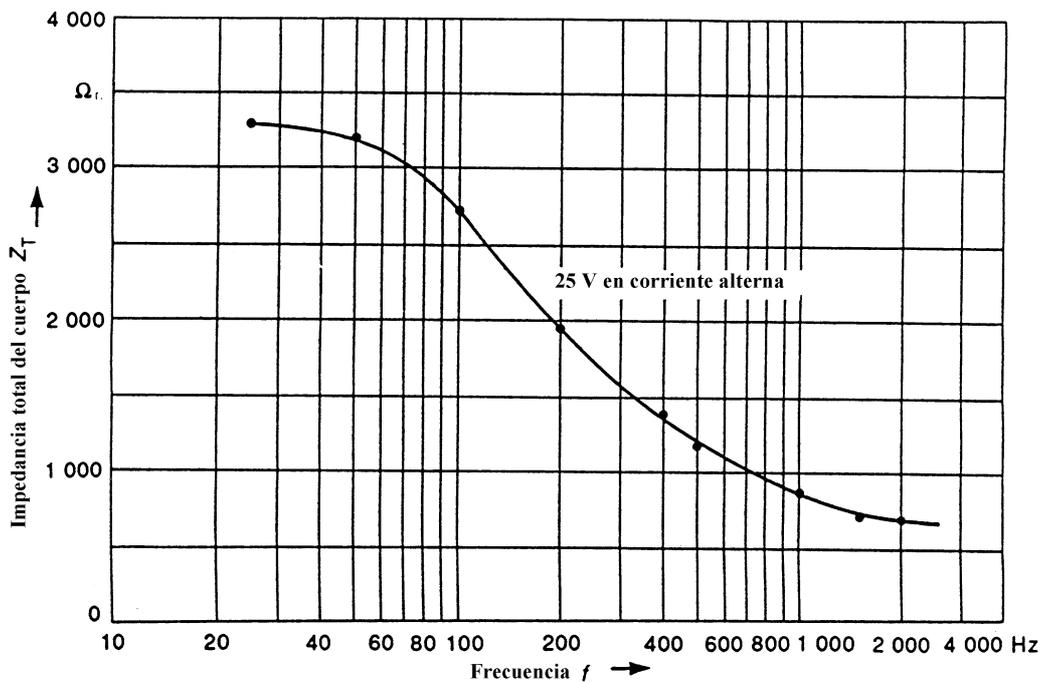


Fig. 7 – Valores de la impedancia total del cuerpo  $Z_T$  medidas sobre un sujeto humano vivo con un trayecto de corriente mano a mano, con importantes zonas de contacto, para una tensión de contacto de 25 V y frecuencias de 25 Hz a 2 kHz

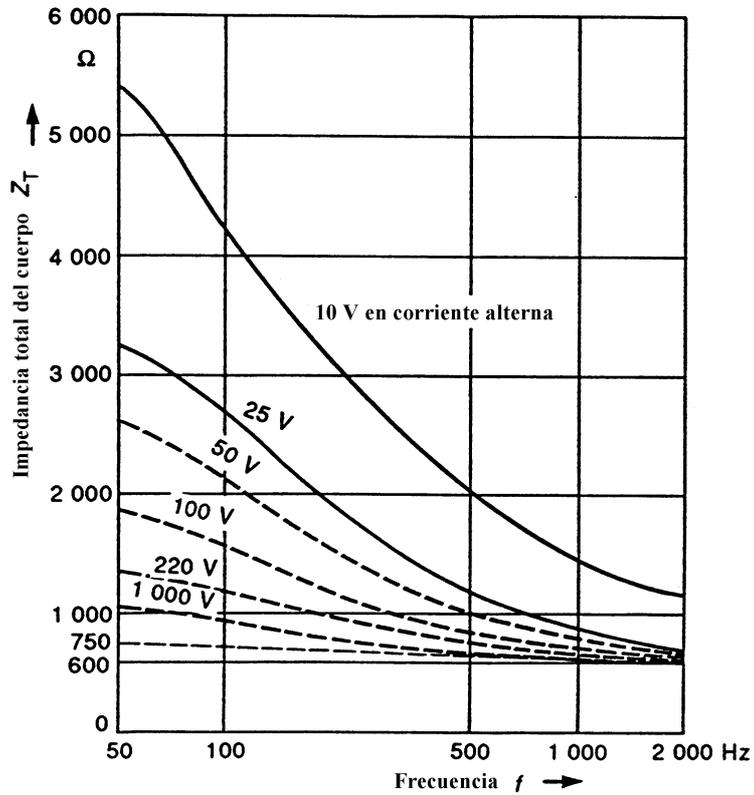


Fig. 8 – Dependencia de la impedancia total del cuerpo humano  $Z_T$  con la frecuencia, para un rango del percentil del 50% de la población, con tensiones de contacto entre 10 V y 1 000 V, para un campo de frecuencias entre 50 Hz y 2 kHz, con un trayecto de corriente mano a mano o mano a pie

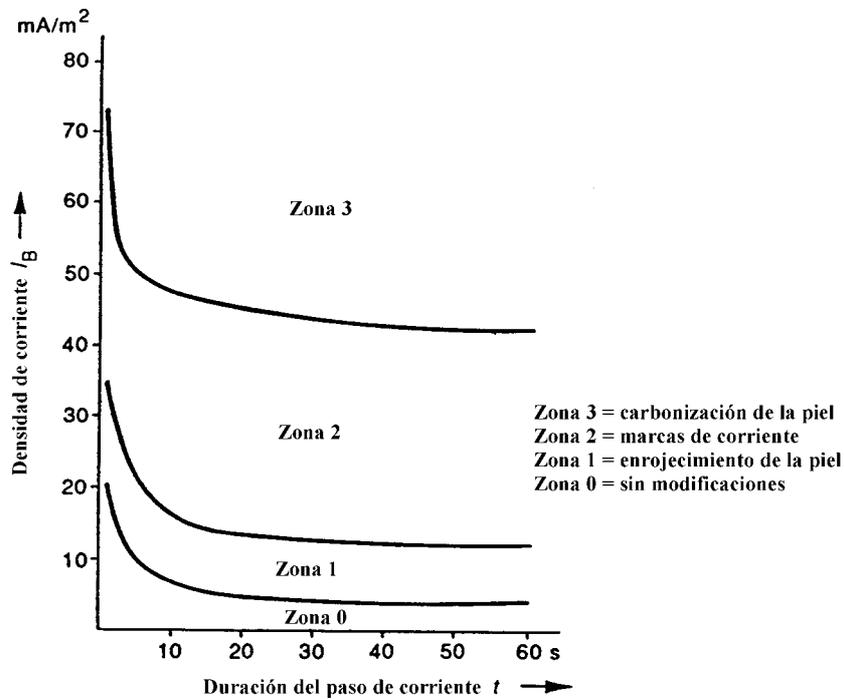
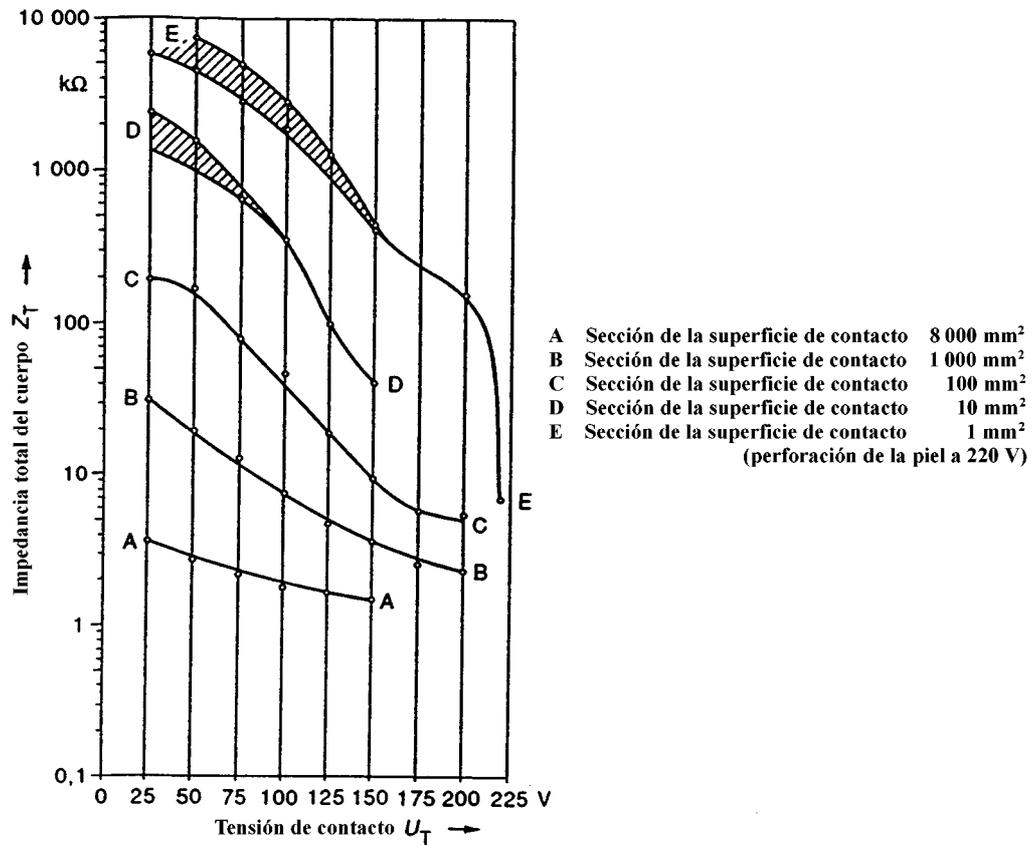
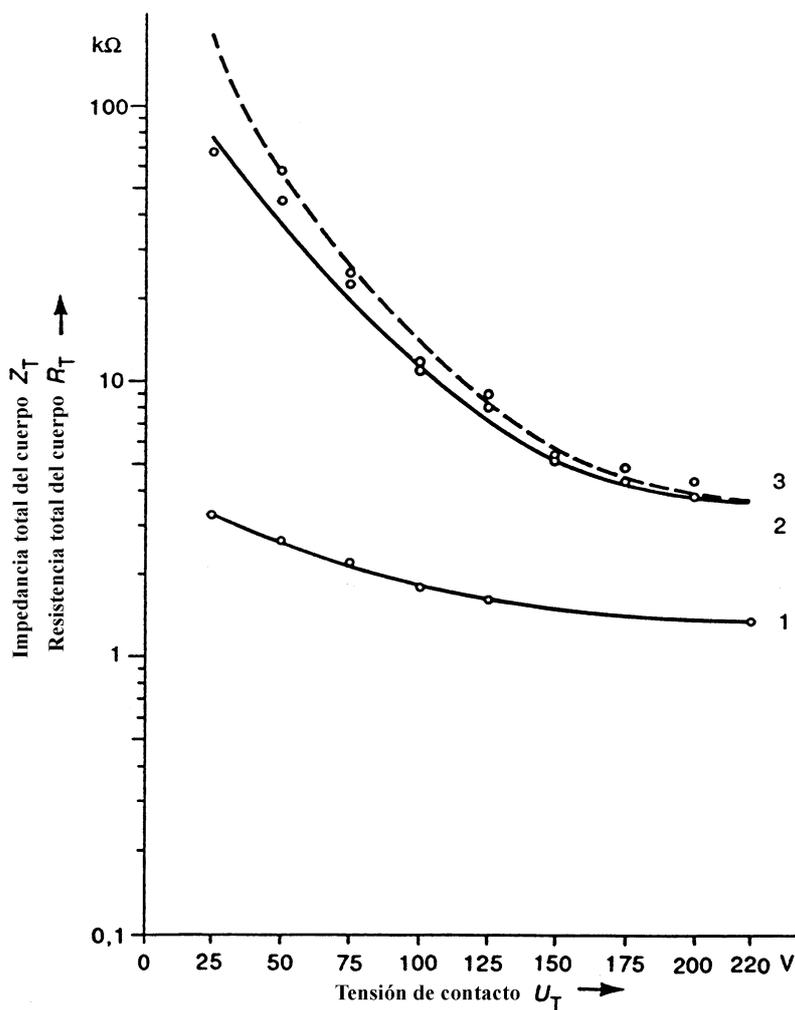


Fig. 9 – Dependencia de las modificaciones de la piel humana con la densidad de corriente y la duración del paso de la corriente  
(Para una descripción detallada de las zonas, véase 2.5.4)



**Fig. 10 – Dependencia de la impedancia total del cuerpo humano con la superficie de contacto y la tensión de contacto (50 Hz)**  
 (Para más detalles, véase el anexo D)



- 1 Impedancia total del cuerpo humano para un trayecto de corriente mano a mano conforme a la tabla 1 en corriente alterna de 50 Hz para el 50% de una población, e importantes superficies de contacto (aproximadamente 8 000 mm<sup>2</sup>). Para la duración de paso de corriente, véase anexo A.
- 2 Impedancia total del cuerpo humano para un trayecto de corriente de la punta del dedo índice derecho a la punta del dedo índice izquierdo con corriente alterna de 50 Hz. Duración del paso de corriente 0,02 s.
- 3 Igual que en 2, pero con corriente continua.

**Fig. 11 – Dependencia de la impedancia total del cuerpo humano con relación a la tensión, para un trayecto de corriente entre los dedos índices derecho e izquierdo, con corriente alterna de 50 Hz y con corriente continua, para superficies de contacto de 250 mm<sup>2</sup> aproximadamente**

### **3 EFECTOS DE LA CORRIENTE ALTERNA DE FRECUENCIAS COMPRENDIDAS ENTRE 15 HZ Y 100 HZ**

Este capítulo describe los efectos de la corriente eléctrica alterna de frecuencias comprendidas entre 15 Hz y 100 Hz al pasar por el cuerpo humano.

NOTA – A no ser que específicamente se indique, los valores de la corriente definidos a continuación, son valores eficaces.

#### **3.1 Umbral de percepción y umbral de reacción**

Estos umbrales dependen de varios parámetros, tales como la superficie del cuerpo en contacto con un electrodo (superficie de contacto), las condiciones de contacto (secas, húmedas, presión, temperatura), así como de las características fisiológicas del individuo.

En este informe se considera, para el umbral de reacción, un valor general de 0,5 mA, cualquiera que sea el tiempo.

#### **3.2 Umbral de no soltar**

El umbral de no soltar depende de varios parámetros, tales como la superficie de contacto, la forma y las dimensiones de los electrodos, así como de las características fisiológicas de la persona.

En este informe se considera, un valor aproximado de 10 mA.

#### **3.3 Umbral de fibrilación ventricular**

El umbral de fibrilación ventricular depende tanto de parámetros fisiológicos (anatomía del cuerpo, estado de las funciones cardíacas, etc.) como de parámetros eléctricos (duración y recorrido de la corriente, parámetros de la corriente etc.).

En corriente alterna (50 o 60 Hz), el umbral de fibrilación decrece considerablemente si la duración del paso de la corriente se prolonga más allá de un ciclo cardíaco. Este efecto es el resultado del aumento de heterogeneidad del estado de excitación del corazón debido a los extrasístoles producidos por la corriente.

Para duraciones de choque inferiores a 0,1 s, se puede producir la fibrilación con intensidades de corriente superiores 500 mA si el choque se produce durante el período vulnerable. Para choques de la misma intensidad y duración superior a un ciclo cardíaco, se puede producir un paro cardíaco reversible.

Adaptando los resultados de las experiencias efectuadas sobre animales a los seres humanos, se ha establecido una curva  $c_1$  (véase figura 14) para el trayecto de corriente que va de la mano izquierda a los dos pies, por debajo de la cual, la fibrilación ventricular no es susceptible de producirse. El nivel superior, para cortas duraciones de exposición entre 10 ms y 100 ms, se sitúan sobre una recta que va de 500 mA a 400 mA. Sobre la base de las informaciones acerca de los accidentes eléctricos, el nivel inferior para duraciones superiores a 1 s se sitúa sobre una recta que va de 50 mA para un segundo a 40 mA para duraciones superiores a 3 s. Los dos umbrales están unidos por una curva continua.

La evaluación estadística de las experiencias efectuadas sobre animales ha permitido trazar las curvas  $c_2$  y  $c_3$  (véase figura 14) definiendo las probabilidades respectivas de fibrilación del 5% y del 50%. Las curvas  $c_1$ ,  $c_2$  y  $c_3$  se aplican para un trayecto de corriente que va de la mano izquierda a los dos pies.

### 3.4 Otros efectos de la corriente

La fibrilación ventricular está considerada como la causa principal de muerte por choque eléctrico. También se tiene la evidencia de casos de muerte por asfixia o parada del corazón.

Efectos patofisiológicos tales como contracciones musculares, dificultades de respiración, aumento de la presión sanguínea, perturbaciones en la formación y la propagación de los impulsos en el corazón incluidos la fibrilación auricular y la parada provisional del corazón, pueden producirse sin fibrilación ventricular. Dichos efectos no son mortales y, habitualmente son reversibles, pero pueden producir marcas de corriente.

Para corrientes de varios amperios, se pueden producir quemaduras profundas que provocan serios daños que incluso pueden provocar la muerte.

### 3.5 Descripción de las zonas tiempo/corriente (véase figura 14)

**Tabla 4**  
**Zonas tiempo/corriente con tensión alterna de 15 Hz a 100 Hz**

Designación de la zona	Límites de la zona	Efectos fisiológicos
AC - 1	Hasta 0,5 mA línea a	Habitualmente ninguna reacción
AC - 2	De 0,5 mA hasta la línea b*	Habitualmente, ningún efecto fisiológico peligroso
AC - 3	De la línea b hasta la curva c <sub>1</sub>	Habitualmente ningún efecto orgánico. Probabilidad de contracciones musculares y dificultades de respiración para duraciones de paso de corriente superiores a 2 s. Perturbaciones reversibles en la formación y la propagación de impulsos del corazón, incluida la fibrilación auricular y paradas temporales del corazón sin fibrilación ventricular, aumentando con la intensidad de la corriente y el tiempo
AC - 4	Por encima de la curva c <sub>1</sub>	Pueden producirse efectos patofisiológicos tales como la parada cardíaca, parada respiratoria, quemaduras graves que aumentan con la intensidad y el tiempo en complemento con los efectos de la zona 3
AC - 4.1	c <sub>1</sub> - c <sub>2</sub>	Probabilidad de fibrilación ventricular aumentando hasta el 5%
AC - 4.2	c <sub>2</sub> - c <sub>3</sub>	Probabilidad de Fibrilación ventricular aumentando hasta el 50% aproximadamente
AC - 4.3	Por encima de la curva c <sub>3</sub>	Probabilidad de fibrilación superior al 50%

\* Para duraciones de paso de corriente inferiores a 10 ms, el límite de corriente que atraviesa el cuerpo por la línea b permanece constante e igual a 200 mA.

### 3.6 Aplicación del factor de corriente de corazón ( $F$ )

El factor de corriente de corazón permite calcular las corrientes  $I_h$  para recorridos diferentes del de mano izquierda a los dos pies, que representan el mismo peligro de fibrilación ventricular que aquellas que corresponden a la corriente de referencia  $I_{ref}$  entre mano izquierda y los dos pies, indicado en la figura 14:

$$I_h = \frac{I_{ref}}{F}$$

donde

$I_{ref}$  es la corriente de la mano izquierda a los dos pies, indicada en la figura 14;

$I_h$  es la corriente que pasa por el cuerpo para los trayectos indicados en la tabla 5;

$F$  es el factor de corriente de corazón indicado en la tabla 5.

NOTA – El factor de corriente de corazón, se considera como una estimación aproximada de los peligros que corresponden a los diferentes trayectos de la corriente, bajo el punto de vista de la fibrilación ventricular.

Para los diferentes trayectos de la corriente, el factor de corriente de corazón tiene el valor indicado en la tabla 5.

**Tabla 5**  
**Factor de corriente de corazón  $F$  para diferentes trayectos de corriente**

Trayecto de la corriente	Factor de corriente de corazón $F$
Mano izquierda a pie izquierdo, a pie derecho o a los dos pies	1,0
Dos manos a los dos pies	1,0
Mano izquierda a mano derecha	0,4
Mano derecha a pie izquierdo, a pie derecho o a los dos pies	0,8
Espalda a la mano derecha	0,3
Espalda a la mano izquierda	0,7
Pecho a la mano derecha	1,3
Pecho a la mano izquierda	1,5
Glúteos a la mano izquierda, a la mano derecha o a las dos manos	0,7

EJEMPLO: Una corriente de 200 mA de mano a mano tiene el mismo efecto que una corriente de 80 mA de mano izquierda a los dos pies.

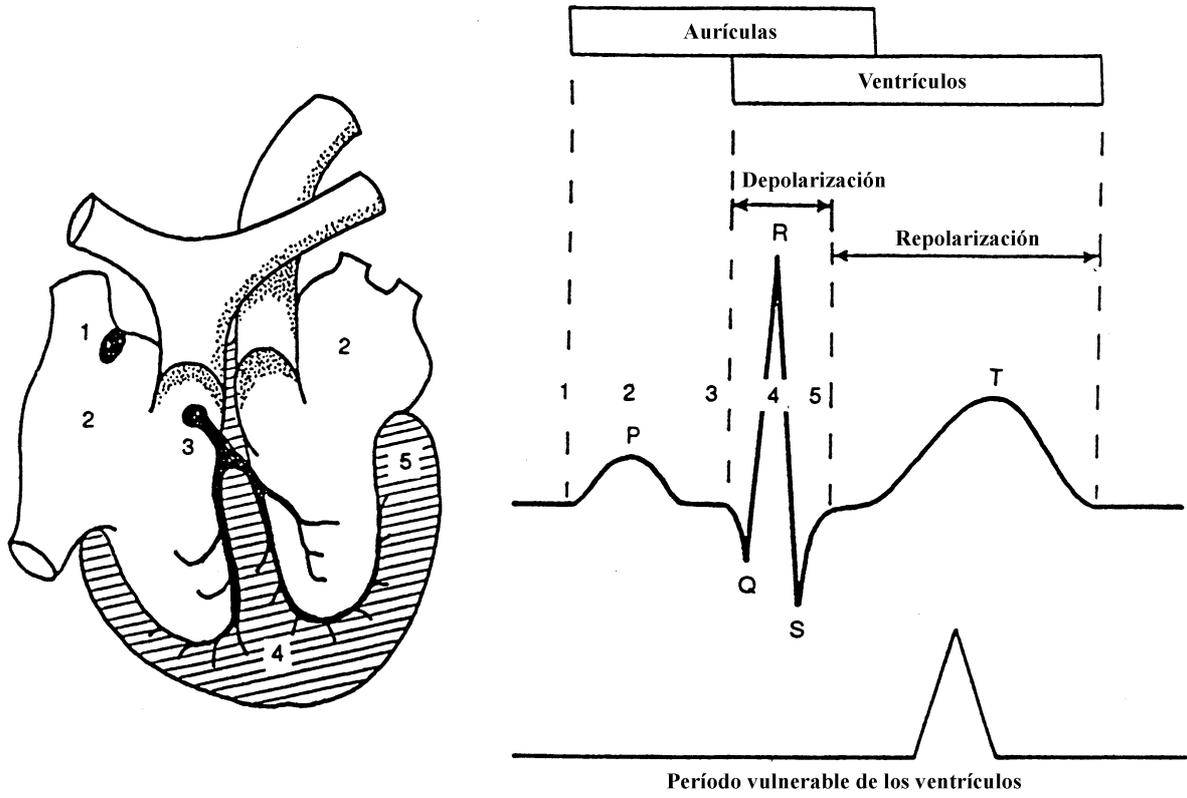


Fig. 12 – Situación del período vulnerable de los ventrículos durante el ciclo cardíaco  
Las cifras caracterizan las etapas consecutivas de la repolarización

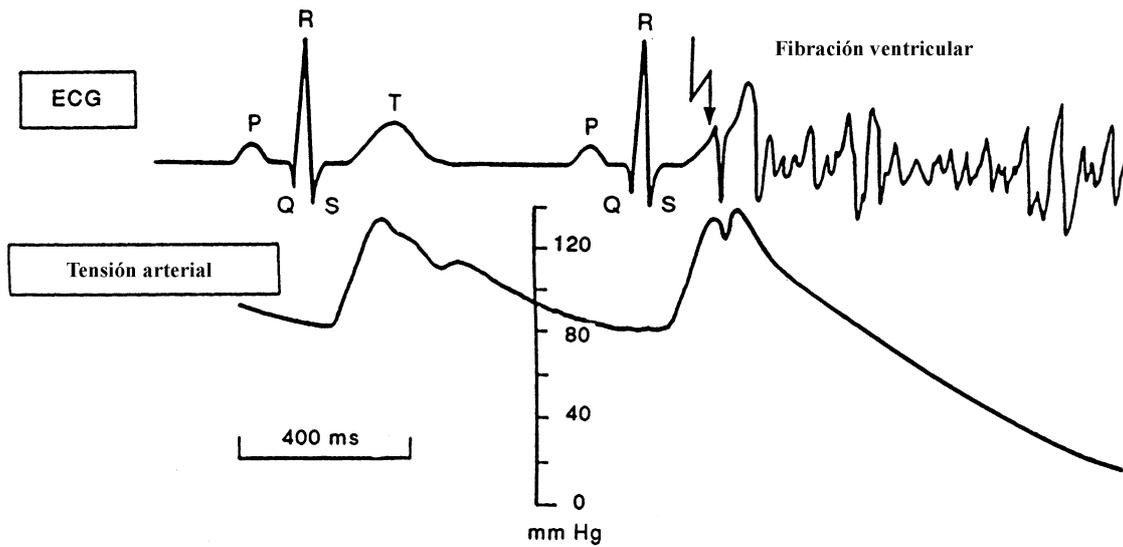
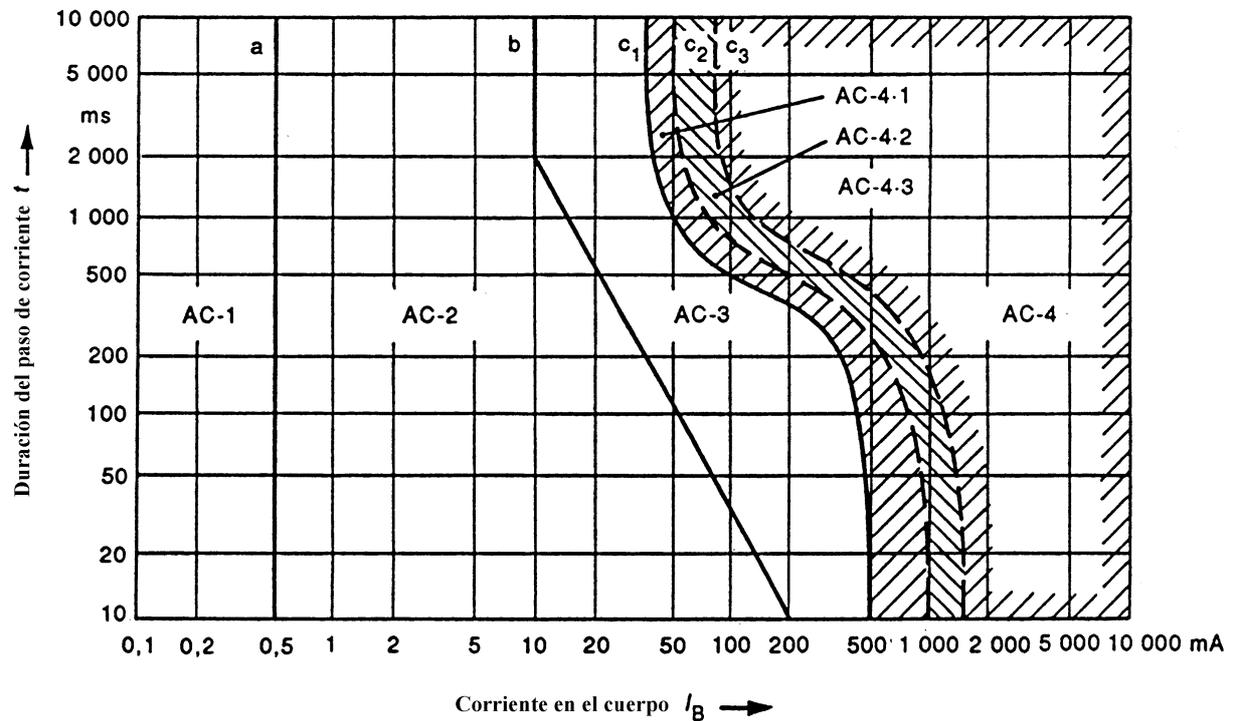


Fig. 13 – Desencadenamiento de la fibrilación ventricular en el período vulnerable  
Efectos sobre el electrocardiograma (ECG) y la tensión arterial



NOTA – En lo que concierne a la fibrilación ventricular, esta figura se refiere a los efectos de la corriente que pasa por el trayecto "mano izquierda a los dos pies". Para otros trayectos de corriente véase 3.6 y tabla 5. Los valores de umbral para una duración de paso de corriente inferior a 0,2 s no son aplicables, salvo durante el paso por el período vulnerable del ciclo cardíaco.

**Fig. 14 – Zonas tiempo/corriente de los efectos de la corriente alterna de 15 Hz a 100 Hz**  
(Para detalles véase la tabla 4)

#### 4 EFECTOS DE LA CORRIENTE CONTINUA

Este capítulo describe los efectos de la corriente continua que pasa a través del cuerpo humano.

##### NOTAS

- 1 El término "corriente continua" significa una corriente continua lisa. Sin embargo, en lo que se refiere a los efectos de la fibrilación, los valores indicados en este capítulo son considerados como válidos para las corrientes continuas cuya tasa de ondulación sinusoidal no sea superior al 10% en valor eficaz.
- 2 La influencia de las ondulaciones se trata en el capítulo 5 de la CEI 479-2.

##### 4.1 Umbral de percepción y umbral de reacción

Los umbrales dependen de varios parámetros tales como la superficie de contacto, las condiciones de contacto (sequedad, humedad, presión, temperatura), la duración del paso de la corriente así como de las características fisiológicas del individuo. A diferencia de la corriente alterna solo el establecimiento y la interrupción de la corriente son apercibidos y ninguna otra sensación se siente durante el paso de la corriente, a nivel de umbral de percepción. En condiciones parecidas a las definidas para la corriente alterna, el umbral de percepción es de aproximadamente 2 mA.

#### **4.2 Umbral de no soltar**

A diferencia de la corriente alterna, no es posible definir un umbral de no soltar en corriente continua. Únicamente el establecimiento y la interrupción de la corriente provocan dolores y contracciones musculares.

#### **4.3 Umbral de fibrilación ventricular**

Como se ha descrito para la corriente alterna (véase 3.3), el umbral de fibrilación ventricular producido por la corriente continua depende tanto de condiciones fisiológicas como de parámetros eléctricos.

La información obtenida de los accidentes eléctricos parece indicar que el peligro de fibrilación ventricular solo existe para las corrientes longitudinales. Para las corrientes transversales, la experiencia sobre animales indica que la fibrilación ventricular puede aparecer para intensidades más elevadas.

Las experiencias efectuadas sobre animales y la información procedente de accidentes eléctricos muestran que el umbral de fibrilación ventricular para una corriente descendente es aproximadamente dos veces mayor que para una corriente ascendente.

Para duraciones de choque superiores a la duración de un ciclo cardíaco, el umbral de fibrilación en corriente continua es varias veces superior que en corriente alterna. Para duraciones de choque inferiores a 200 ms, el umbral de fibrilación es aproximadamente el mismo que en corriente alterna expresado en valor eficaz.

Por analogía con las zonas tiempo/corriente en corriente alterna (véase figura 14), se han establecido unas curvas por adaptación de los resultados obtenidos sobre sujetos humanos. Estas curvas son validas para una corriente longitudinal ascendente. Por debajo de la curva  $c_1$  (véase figura 15), no es posible que se produzca la fibrilación. Las curvas  $c_2$  y  $c_3$  (véase figura 15) definen respectivamente una probabilidad de fibrilación del 5% y del 50%. Para una corriente longitudinal descendente, las curvas deben desplazarse hacia corrientes más elevadas con un factor de aproximadamente 2.

#### **4.4 Otros efectos de la corriente**

Por encima de aproximadamente 100 mA y durante el paso de la corriente, se puede sentir una sensación de calor en las extremidades. En el interior de la zona de contacto, se sienten sensaciones dolorosas en la piel.

Las corrientes transversales iguales o inferiores a 300 mA que pasan a través del cuerpo humano durante varios minutos pueden provocar arritmias cardíacas reversibles, marcas de corriente, quemaduras, vértigos y, a veces, inconsciencia. Por encima de 300 mA, frecuentemente se produce la inconsciencia.

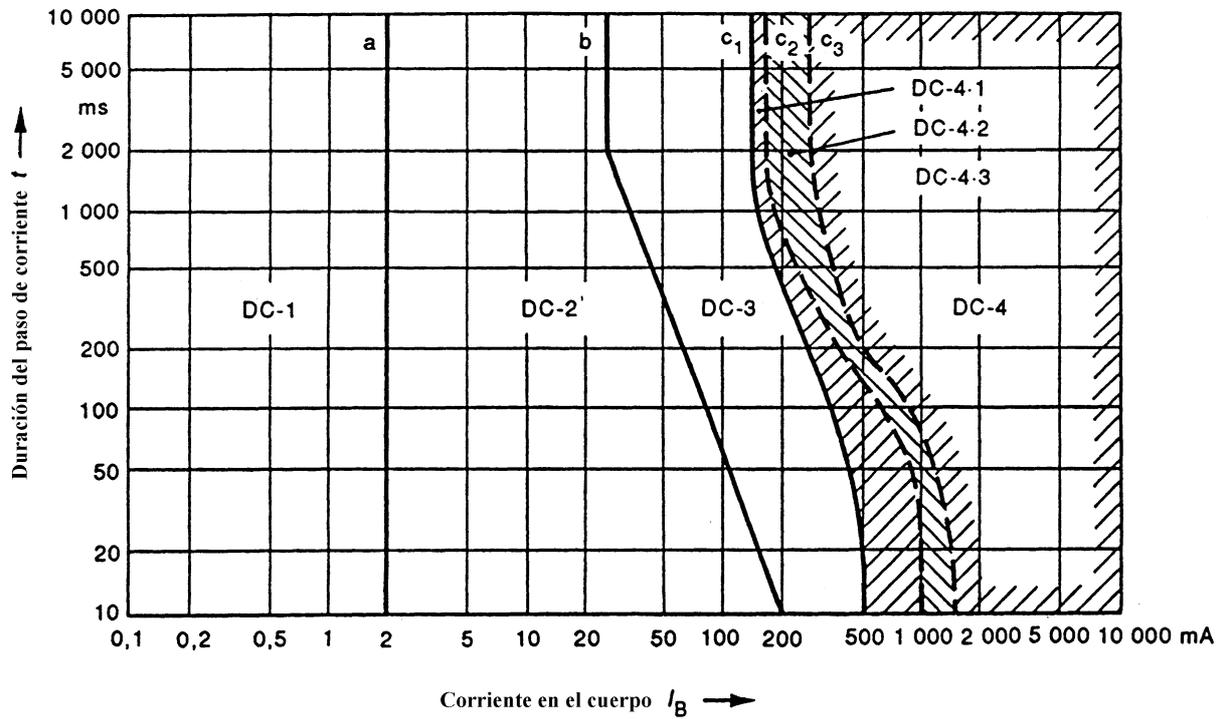
Para corrientes de varios amperios, durante varios segundos son susceptibles de formarse quemaduras profundas, heridas e incluso la muerte.

## 4.5 Descripciones de las zonas tiempo/corriente (véase figura 15)

**Tabla 6**  
**Zonas tiempo/corriente en corriente continua**

Designación de la zona	Límites de la zona	Efectos fisiológicos
DC - 1	Hasta 2 mA línea a	Habitualmente ninguna reacción. Ligera sensación de picazón cuando se establece y se interrumpe la corriente
DC - 2	De 2 mA hasta la línea b*	Habitualmente, ningún efecto fisiológico nocivo
DC - 3	De la línea b hasta la curva $c_1$	Habitualmente ningún daño orgánico. El aumento de la corriente y del tiempo es susceptible de provocar perturbaciones reversibles de formación y de conducción de impulsos en el corazón
DC - 4	Por encima de la curva $c_1$	El aumento de la corriente y del tiempo provoca efectos patofisiológicos peligrosos, por ejemplo quemaduras profundas añadiéndose a los efectos de la zona 3
DC - 4.1	$c_1 - c_2$	Probabilidad de fibrilación ventricular aumentando hasta el 5% aproximadamente
DC - 4.2	$c_2 - c_3$	Probabilidad de fibrilación ventricular aumentando hasta el 50% aproximadamente
DC - 4.3	Por encima de la curva $c_3$	Probabilidad de fibrilación superior al 50%

\* Para duraciones de paso de corriente inferiores a 10 ms, el límite de corriente que atraviesa el cuerpo por la línea b permanece constante e igual a 200 mA.



NOTA – Referente a la fibrilación ventricular, esta figura se refiere a los efectos de una corriente longitudinal ascendente con un trayecto de mano izquierda a los dos pies. Los valores del umbral para una duración de paso de corriente inferior a 0,2 s sólo son aplicables cuando el paso de corriente se produce durante el período vulnerable del ciclo cardíaco.

**Fig. 15 – Zonas tiempo/corriente de los efectos de la corriente continua**  
(Para explicaciones véase la tabla 6)

## ANEXOS

### INTRODUCCIÓN

El capítulo 1 de la CEI 479 (2ª edición, 1984) relativa a la impedancia eléctrica del cuerpo humano, no contenía información sobre la impedancia en corriente alterna a altas frecuencias, ni en corriente continua. Tampoco era conocida la dependencia de la impedancia con la zona de contacto.

Referente a la impedancia interna, se buscaron datos suplementarios para los diversos trayectos del cuerpo humano al objeto de ser capaces de calcular las impedancias para trayectos de corriente particulares (por ejemplo, del antebrazo al tronco del cuerpo) que se puedan producir en los accidentes eléctricos.

Por otro lado, es necesario un diagrama simple de la impedancia interna del cuerpo humano que permita estimaciones para accidentes frecuentes con diversos trayectos de corriente, por ejemplo de las dos manos al tronco del cuerpo.

El capítulo 1 ha sido revisado y se ha añadido la información necesaria dividiendo el apartado 2.5 (valores de la impedancia total del cuerpo ( $Z_T$ )) en:

- 2.5.1 Corriente alterna sinusoidal 50/60 Hz
- 2.5.2 Corriente alterna sinusoidal hasta frecuencias de 20 kHz
- 2.5.3 Corriente continua
- 2.5.4 Efectos de la corriente sobre la piel
- 2.7 Dependencia de la impedancia del cuerpo con la superficie de contacto en corriente alterna 50/60 Hz y en corriente continua

Las medidas con distintas frecuencias son difíciles de comprobar. Con motivo del decrecimiento rápido de la impedancia total del cuerpo humano, incluso a 25 V para frecuencias superiores a 500 Hz, las sensaciones son desagradables, e incluso a 25 V muy pocos individuos se han sometido hasta 20 kHz. Cincuenta individuos se han sometido a una tensión de contacto de 10 V con frecuencias de hasta 20 kHz así como con corriente continua con una tensión de contacto de hasta 25 V.

Con motivo de las sensaciones desagradables y del posible peligro inherente a los experimentos, las medidas se han realizado con un solo adulto, con superficies de contacto importantes, mano a mano, con corriente continua hasta 200 V. El mismo individuo se ha probado con diversas zonas de superficie de contacto mano a mano y entre la punta de los dedos en corriente alterna de 50 Hz hasta 200 V.

Las series de medida entre las puntas de los dedos (índice derecho e izquierdo) y entre los pulgares derecho e izquierdo se han repetido en corriente continua hasta 200 V. Estas medidas prueban que por encima de 150 V aproximadamente, las impedancias totales del cuerpo en corriente alterna de 50 Hz difieren poco significativamente de la resistencia total del cuerpo humano en corriente continua.

Todas las medidas están brevemente descritas en los anexos.

**ANEXO A (Normativo)**

**MEDIDAS REALIZADAS SOBRE SERES VIVOS Y CADÁVERES  
Y EXPLOTACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS**

Con objeto de obtener valores realistas de la impedancia total del cuerpo humano de los individuos vivos, se ha seguido el siguiente procedimiento:

- 1) Las medidas se han realizado sobre 50 personas vivas con una tensión de contacto de 15 V y sobre 100 personas a 25 V con trayecto de corriente de mano a mano y con grandes electrodos cilíndricos (alrededor de 8 000 mm<sup>2</sup>) en condiciones secas.

Los valores de la impedancia total del cuerpo, para un rango del percentil del 5%, 50% y 95% de la población se han determinado por dos métodos estadísticos independientes que han dado los mismos resultados.

Las medidas se han realizado 0,1 s después de la aplicación de la tensión.

- 2) Se han realizado medidas sobre una persona viva, en las condiciones del punto 1) anterior, con tensiones de contacto de hasta 150 V, y además, con duraciones de choque que alcanzan hasta los 0,03 s con tensiones de contacto de hasta 200 V.
- 3) Se han realizado medidas sobre un gran número de cadáveres en condiciones análogas a las del punto 1) anterior, con un trayecto de corriente mano a mano y mano a pie con grandes electrodos (aproximadamente 9 000 mm<sup>2</sup>) para tensiones de contacto de 25 V a 5 000 V en condiciones secas y húmedas. Los valores de la impedancia total del cuerpo humano para un rango del percentil del 5%, del 50% y del 95% de la población se han determinado según se indica en el punto 1).

Las medidas se han realizado 3 s después de la aplicación de la tensión.

- 4) Las medidas de la impedancia total de los cadáveres (punto 3) anterior) para tensiones de contacto de hasta 220 V muestran valores de la impedancia de la piel demasiado elevados; han sido modificados adaptando las curvas a los valores medidos sobre las personas vivas.

**ANEXO B (Normativo)****INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA SOBRE LA IMPEDANCIA TOTAL DEL CUERPO HUMANO ( $Z_T$ )**

Con objeto de obtener valores realistas de la influencia de la frecuencia sobre la impedancia total  $Z_T$  de los sujetos humanos, se ha seguido el siguiente procedimiento:

- 1) Se han realizado medidas sobre 10 personas vivas con una tensión de contacto de 10 V y frecuencias entre 25 Hz y 20 kHz, con trayecto de mano a mano y con grandes electrodos cilíndricos (alrededor de 8 000 mm<sup>2</sup>) en condiciones secas.

Los valores de la impedancia total del cuerpo humano para unos rangos de los percentiles del 5%, del 50% y del 95% de la población se han determinado por métodos estadísticos.

- 2) Como consecuencia de efectos musculares importantes, se han efectuado medidas sobre una sola persona viva bajo una tensión de contacto de 25 V para frecuencias de 25 Hz a 2 kHz en las condiciones descritas en el punto 1) anterior.

Las medidas de los puntos 1) y 2) se han realizado 0,05 s después de la aplicación de la tensión.

Los resultados de esta medidas se indican en las figuras 6 y 7.

- 3) En la figura 6, para el rango del percentil del 50% de la población, con una tensión de contacto de 10 V y los valores de la tabla 1 para 50 Hz y, en la figura 8 para tensiones de contacto de 25 V a 1 000 V. Esta figura muestra la dependencia de la impedancia total del cuerpo humano con la frecuencia para un rango desde 50 Hz a 2 kHz para un percentil del 50% de la población con tensiones de contacto que varían entre 10 V y 1 000 V en corriente alterna con una línea recta entre los valores asintóticos de 750  $\Omega$  a 50 Hz y de 600  $\Omega$  a 2 kHz.

Las curvas para las tensiones de contacto de 50 V a 1 000 V (líneas de puntos de la figura 8), se han trazado por analogía con las curvas de 10 V y 25 V, que están basadas en las medidas descritas en los puntos 1) y 2).

**ANEXO C (Normativo)**

**RESISTENCIA TOTAL DEL CUERPO ( $R_T$ ) EN CORRIENTE CONTINUA**

Con objeto de definir valores realistas de la resistencia total del cuerpo  $R_T$  de los sujetos humanos, se ha seguido el siguiente procedimiento:

- 1) Se han realizado medidas sobre 50 personas vivas con una tensión de contacto de 10 V en corriente continua para un trayecto de corriente mano a mano y con grandes electrodos cilíndricos (aproximadamente 8 000 mm<sup>2</sup>), en condiciones secas.

Los valores de la resistencia total del cuerpo  $R_T$  para los rangos de los percentiles del 5%, del 50% y del 95% de la población se han determinado por métodos estadísticos.

- 2) Los valores asintóticos de las impedancias totales del cuerpo en corriente alterna de 50 Hz con tensiones de contacto superiores a 1 000 V y los valores a 220 V conformes a la tabla 1, se han utilizado para ajustar las curvas de la resistencia total del cuerpo  $R_T$  en corriente continua para tensiones de contacto de 25 V a 220 V en corriente continua (véase figura 5).

Los valores de la resistencia total del cuerpo  $R_T$  en corriente continua determinadas por el método descrito anteriormente se indican en la tabla 2.

Las medidas sobre 50 sujetos vivos con una tensión de contacto de 25 V se han realizado aumentando lentamente la tensión hasta 25 V en algunos segundos, con objeto de evitar sensaciones dolorosas.

NOTA – Por encima de 1 000 V se debe considerar que la influencia de la impedancia de la piel es despreciable y, por consecuencia,  $Z_T$  y  $R_T$  tienen prácticamente el mismo valor.

**ANEXO D (Normativo)****MEDIDA DE LA DEPENDENCIA DE LA IMPEDANCIA TOTAL DEL CUERPO HUMANO ( $Z_T$ )  
CON LA SUPERFICIE DE CONTACTO**

- 1) Con motivo de las sensaciones dolorosas y del riesgo con tensiones de contacto elevadas las medidas se han realizado solamente sobre un adulto masculino en el cual la impedancia del cuerpo, comparada a aquella de una población de 100 sujetos vivos sometidos a una tensión de contacto de 25 V en corriente alterna de 50 Hz era cercana a la media de la población. Por lo tanto, puede suponerse que los valores dados en las figuras 10 y 11 corresponden aproximadamente a la media o a los valores probables del 50% de la población de las personas vivas.
- 2) Las impedancias totales del cuerpo se han medido con tensiones de contacto de 25 V a 200 V en corriente alterna de 50 Hz con un trayecto de corriente de mano a mano en condiciones secas. Las medidas se han realizado al final del paso de la corriente. Las superficies de las zonas de contacto utilizadas se indican en la tabla 3.

Se han utilizado las siguientes condiciones para el trayecto de la corriente y las duraciones de paso de la misma:

Ensayo de la serie A: Superficie de contacto 8 000 mm<sup>2</sup>, electrodos sujetos con las dos manos, duración del paso de la corriente 0,1 s.

Ensayo de la serie B: Superficie de contacto 1 000 mm<sup>2</sup>, electrodos sujetos con las dos manos, duración del paso de la corriente: algunos segundos hasta 75 V y 0,1 s por encima de 75 V.

Ensayo de la serie C: Superficie de contacto 100 mm<sup>2</sup>, electrodos apretados en el medio de la palma de las manos, duración del paso de la corriente: algunos segundos hasta 75 V y 0,1 s por encima de 75 V.

Ensayo de la serie D: Superficie de contacto 10 mm<sup>2</sup>, electrodos apretados en el medio de la palma de las manos, duración del paso de la corriente: algunos segundos hasta 100 V y de 0,1 s a 0,3 s por encima de 100 V.

Ensayo de la serie E: Superficie de contacto 1 mm<sup>2</sup>, electrodos apretados en el medio de la palma de las manos, duración del paso de la corriente: algunos segundos hasta 150 V y de 0,1 s a 0,2 s por encima de 150 V (a 220 V, se observó la perforación de la piel).

- 3) La impedancia total del cuerpo se ha medido en un rango de tensiones de contacto de 25 V a 200 V, en corriente alterna de 50 Hz y en corriente continua entre las extremidades de los dedos índice derecho e izquierdo (superficie de contacto de 250 mm<sup>2</sup> aproximadamente). Las medidas se han efectuado 20 ms después de poner bajo tensión. En corriente alterna, la tensión se aplica durante el paso a cero de la tensión de contacto.

Los resultados se representan en la figura 11, los valores en corriente continua se aproximan a aquellos de corriente alterna con tensiones de contacto crecientes.

De la figura 11, se deduce también, que la impedancia adicional de un dedo (superficie de contacto de aproximadamente 250 mm<sup>2</sup>) comparada con un trayecto de corriente con origen en la palma de la mano (zona de superficie de contacto de 8 000 mm<sup>2</sup>) con corriente alterna de 200 V y 50 Hz es de aproximadamente 1 000  $\Omega$ . Esto es conforme a las medidas precedentes efectuadas sobre los cadáveres.

ANEXO E (Informativo)

**BIBLIOGRAFÍA**

**CAPÍTULO 2**

- 1 Freiberger, H.: *Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers gegen technischen Gleich- und Wechselstrom*, Verlag Julius Springer, Berlin, 1934. Translated into English by Allen Translation Service, Maplewood, N.Y., U.S.A., No. 9005.
- 2 Biegelmeier, G.: *Report on the electrical impedance of the human body and on the behaviour of residual current-operated earth-leakage circuit-breakers in case of direct contact for tensions up to 200 V a.c., 50 Hz*, *Transactions: Symposium on electrical shock safety criteria*, Toronto, 1983. Pergamon Press, Toronto, 1984.
- 3 Biegelmeier, G.: "Über den Einfluss der Haut auf die Körperimpedanz des Menschen", *E.u.M.*, Vol.97 (1980) No. 9, p. 369-378.
- 4 Sam, U.: "Neue Erkenntnisse über die elektrische Gefährdung des Menschen bei Teildurchströmungen des Körpers", *VDRI-Jahrbuch 1969*, Nordwestl. Eisen-und Stahl-Berufsgenossenschaft, Hannover.
- 5 Osypka, P.: "Messtechnische Untersuchungen über Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier; Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlagen", *Elektromedizin*, Vol. 8, (1963), Nr. 3 et/and 4.
- 6 Wagner, E.Ch.: *Über die Diagnostik von Stromeintrittstellen auf der menschlichen Haut*. Dissertation Universität Erlangen, 1961, Bundesrepublik Deutschland/Federal Republic of Germany.
- 7 Biegelmeier, G., Mörx, H. et/and Bachl, H.: "Neue Messungen des Körperwiderstandes lebender Menschen mit Wechselstrom 50 Hz, sowie mit höheren Frequenzen und mit Gleichstrom", *e & i*, 108.Jg. (1991), H.3, p. 96-113.
- 8 Kieback, D.: *Ergebnisse von Forschungsarbeiten und statistischen Untersuchungen des Institutes zur Erforschung elektrischer Unfälle*, *e & i*, 106.Jg. (1989), H.1, p. 14-20.

**CAPÍTULO 3**

- 1 Ferris, L.P., King, B.G., Spence, P.W. et/and Williams, H.B.: "Effects of electric shock on the heart", *Electr. Eng.*, Vol.55 (1936), p. 498.
- 2 Dalziel, C.F.: "Dangerous electric currents", *AIEE transactions*, Vol.65 (1946), p. 579, *Discussion*, p. 1123.
- 3 Kouwenhoven, W.B., Knickerbocker, G.G., Chesnut, R.W., Milnor, W.R. et/and Sass, D.J.: "A.C. shocks on varying parameters affecting the heart", *Trans. Amer. Inst. Electr. Eng.* Part 1, Vol.78 (1959), p. 163.
- 4 Osypka, P.: "Messtechnische Untersuchungen über Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier: Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlagen", *Elektromedizin*, Vol.8, (1963), Nr.3 et/and 4.
- 5 O'Keefe, W., Ross, N.G. et/and Trethewie, E.R.: "Determining tolerable short duration electric shock potentials from heart ventricular fibrillation threshold data", *Elec. Eng. Trans. I.E.* Australia, Vol.EE8, No. 1, April 1972, p.9.

- 6 Buntenkötter, S., Jacobsen, J. et/and Reinhard, H.J.: "*Experimentelle Untersuchungen an Schweinen zur Frage der Mortalität durch sinusförmige phasenangeschnittene sowie gleichgerichtete elektrische Ströme*", Biomedizinische Technik, Vol.20 (1975), Nr.3, p. 99.
- 7 Biegelmeier, G. et/and Lee, W.R.: "*New considerations on the threshold of ventricular fibrillation for a.c. shocks at 50-60 Hz*", *I.E.E. Proc.*, Vol.127, No.2, Pt. A. March 1980, p. 103-110.
- 8 Antoni, H.: "*What is measured by the so-called threshold of fibrillation?*", *Progress in pharmacology*, Vol.2/4, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1979.
- 9 Raftery, E.G., Green, H.L. et/and Yacoub, M.H.: "*Disturbances of heart rhythm produced by 50 Hz leakage currents in human subjects*", *Cardiovascular research*, Vol.9 (1975), p. 263-265.
- 10 Kupfer, J., Bastek, R. et/and Eggert, S.: "*Grenzwerte zur Vermeidung von Unfällen durch elektrischen Strom mit tödlichem Ausgang*", *Z ges. Hyg.*, Vol.27 (1981), Nr. 1, p.9.
- 11 Bridges, J.E.: "*An investigation on low-impedance and low-voltage shocks*", *IEEE-Transactions*, Vol.PAS-100, Nr. 4, April 1981, p. 1529.
- 12 Biegelmeier, G.: "*Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere*", *Lehrbuch der Elektropathologie*, VDE-Verlag Berlin et/and Offenbach, 1986.
- 13 Kupfer, J., Funke, K. et/and Erkens, R.: *Elektrischer Strom als Unfallursache*, Verlag Tribüne Berlin, 1987.
- 14 Kieback, D.: "*Ergebnisse von Forschungsarbeiten und statistischen Untersuchungen des Institutes zur Erforschung elektrischer Unfälle*", *e & i*, 106. Jg. (1989), H.1, p. 14-20.

#### CAPÍTULO 4

- 1 Antoni, H. et/and Biegelmeier, G.: *Über die Wirkungen von Gleichstrom auf den Menschen*, *E und M.*, Vol.96 (1979), Nr. 2, p. 71.
- 2 Kilinger, J.: "*Vergleichende Untersuchungen von elektrischen Unfällen durch Gleichstrom bei Spannungen bis 1200 V in technischer Hinsicht*", *Elektromedizin*, Bd.4 (1959), H.5.
- 3 Antoni, H., Hohnloser, S. et/and Weiricht, J.: "*Worauf beruht der Unterschied in der biologischen Wirkung von Gleichstrom und von Wechselstrom am Herzen*", *Arbeits-medicin*, Bd.17 (1982), H.7., p. 167.
- 4 Brinkmann, K., Schaefer, H. (Hrsg): *Der Elektrounfall*, Berlin; Heidelberg; New York: Springer 1982.

## **ANEXO NACIONAL**

### **NORMAS PARA CONSULTA**

UNE 20572:1980 – *Efectos de la corriente eléctrica al pasar por el cuerpo humano.* (CEI 479:1974).

UNE 20572-1:1992 – *Efectos de la corriente eléctrica al pasar por el cuerpo humano. Parte 1: Aspectos generales.* (CEI 479-1:1984).

UNE 20572-2:1993 – *Efectos de la corriente eléctrica al pasar por el cuerpo humano. Parte 2: Aspectos particulares.* (CEI 479-2:1987).

---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono (91) 432 60 00

Fax (91) 310 40 32