

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA

**NTC
4120**

1997-04-16

EFFECTOS DE LA CORRIENTE SOBRE LOS SERES HUMANOS Y LOS ANIMALES DOMÉSTICOS. PARTE 1. ASPECTOS GENERALES



E: EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND
LIVESTOCK. PART 1. GENERAL ASPECTS.

CORRESPONDENCIA: esta norma es equivalente (EQV) a la
IEC 479-1

DESCRIPTORES: seguridad personal; seguridad
industrial; efectos biomecánicos;
(cuerpo humano) descarga eléctrica;
efectos biomecánicos (animales).

I.C.S.: 13.100.00

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

Prohibida su reproducción

PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

ICONTEC es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 4120 fue ratificada por el Consejo Directivo de 1997-04-16.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en el Comité Técnico. 383908 Protección contra rayos.

EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ
EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN
ISA

ISAGEN
POLICÍA NACIONAL
UNIVERSIDAD NACIONAL

Además de las anteriores, en consulta pública el proyecto se puso a consideración de las siguientes empresas:

INGENIERÍA ESPECIALIZADA BLANDÓN
Y CÍA
INTEGRAL S.A.
MAPFRE SEGUROS

SOCIEDAD BIOELECTROMAGNÉTICA
COLOMBIANA
TECNOLOGÍA ALTERNATIVA.

ICONTEC cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

ÍNDICE

- INTRODUCCIÓN**
- 1.1 OBJETO**
- 1.2 REFERENCIAS NORMATIVAS**
- 1.3 DEFINICIONES**

- 2. IMPEDANCIA ELÉCTRICA DEL CUERPO HUMANO**
 - 2.1 IMPEDANCIA INTERNA DEL CUERPO HUMANO**
 - 2.2 IMPEDANCIA DE LA PIEL**
 - 2.3 IMPEDANCIA TOTAL DEL CUERPO HUMANO**
 - 2.4 RESISTENCIA INICIAL DEL CUERPO HUMANO**
 - 2.5 VALORES DE IMPEDANCIA TOTAL DEL CUERPO HUMANO**
 - 2.6 VALORE DE LA RESISTENCIA INICIAL DEL CUERPO HUMANO**
 - 2.7 DEPENDENCIA DE LAS IMPEDANCIAS DEL CUERPO, DEL ÁREA SUPERFICIAL DE CONTACTO PARA C.A. 50/60 HZ Y PARA C.C.**

- 3. EFECTOS DE LA CORRIENTE ALTERNA SENOSOIDAL EN EL INTERVALO DE 15 HZ A 100 HZ.**
 - 3.1 UMBRAL DE RECEPCIÓN Y UMBRAL DE REACCIÓN**
 - 3.2 UMBRAL DE SOLTAR**
 - 3.3 UMBRAL DE FIBRILACIÓN VENTRICULAR**
 - 3.4 OTROS EFECTOS DE LA CORRIENTE**
 - 3.5 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE TIEMPO - CORRIENTE**
 - 3.6 APLICACIÓN DEL FACTOR DE CORRIENTE DEL CORAZÓN**

- 4. EFECTOS DE LA CORRIENTE CONTINUA**
 - 4.1 UMBRAL DE PERCEPCIÓN Y UMBRAL DE REACCIÓN**

4.2 UMBRAL DE SOLTAR

4.3 UMBRAL DE FIBRILACIÓN VENTRICULAR

4.4 OTROS EFECTOS DE LA CORRIENTE

4.5 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE TIEMPO/CORRIENTE

Anexos

**Anexo A MEDICIONES REALIZADAS EN SERES HUMANOS Y
MUERTOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS**

**Anexo B INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA EN LA IMPEDANCIA
TOTAL DEL CUERPO**

Anexo C RESISTENCIA TOTAL DEL CUERPO EN CORRIENTE CONTINUA

**Anexo D MEDICIONES DE LA DEPENDENCIA DE LA IMPEDANCIA TOTAL DEL
CUERPO HUMANO, DEL ÁREA SUPERFICIAL DE CONTACTO**

**EFFECTOS DE LA CORRIENTE SOBRE LOS SERES
HUMANOS Y LOS ANIMALES DOMÉSTICOS.
PARTE 1. ASPECTOS GENERALES**

INTRODUCCIÓN

Esta norma tiene como fin proporcionar orientación básica sobre los efectos que tienen las corrientes de choque sobre los seres humanos y animales domésticos, para uso en el establecimiento de requisitos de seguridad eléctrica.

Con el fin de evitar errores en la interpretación de esta norma, se debe hacer énfasis en que los datos presentados aquí están basados principalmente en experimentos con animales, al igual que en información disponible a partir de observaciones clínicas. En seres humanos vivos solamente se han llevado a cabo algunos experimentos con corrientes de choque de corta duración.

Con base en la evidencia disponible, la mayoría en investigación en animales, los valores son tan conservadores, que esta norma se aplica a personas en condiciones fisiológicas normales, incluyendo niños, independientemente de su edad y peso.

Sin embargo, existen otros aspectos que se deben tomar en cuenta, tales como la probabilidad de fallas, probabilidad de contacto con partes energizadas o defectuosas, relación entre tensión de contacto y tensión de falla, experiencia obtenida, posibilidades técnicas y economía. Estos parámetros han sido estudiados cuidadosamente al establecer los requisitos de seguridad, por ejemplo, las características operativas de los dispositivos de protección para instalaciones eléctricas.

Se adoptó la forma de reporte, ya que resume los resultados logrados hasta el presente, y que son utilizados por el comité técnico 64 como la base para establecer los requisitos de protección contra choque. Estos resultados se han considerado lo suficientemente importantes para justificar una publicación IEC, que puede servir también como guía para otros comités IEC y países que necesitan esta información.

La primera edición de la norma IEC 479 fue publicada en 1974 y estaba basada en una extensa investigación de la literatura existente y en la evaluación de las respuestas recibidas a un cuestionario. Sin embargo, a partir de esa fecha se han realizado nuevos trabajos investigativos en la materia. El estudio de este trabajo y un análisis preciso de las publicaciones anteriores han permitido una mejor comprensión acerca de los efectos de la corriente eléctrica en los organismos vivientes y en particular, en los seres humanos y animales domésticos.

Se aplica específicamente a los límites de la fibrilación ventricular, que es la causa principal de fallecimiento por corriente eléctrica. El análisis de todos los resultados de los trabajos recientes y sobre el umbral de fibrilación, en conjunto, han hecho posible apreciar la influencia de los principales parámetros físicos y especialmente de la duración del flujo de corriente.

También se han realizado recientemente trabajos de investigación sobre otros parámetros de accidentes físicos, especialmente la forma de onda y la frecuencia de la corriente y la impedancia del cuerpo humano. Por lo tanto, esta nueva revisión de la norma se consideró necesaria y se debe considerar como el desarrollo y evolución lógica de la segunda edición.

EFFECTOS DE LA CORRIENTE EN LOS SERES HUMANOS Y ANIMALES DOMÉSTICOS

PARTE 1. ASPECTOS GENERALES

1.1 OBJETO

Para una trayectoria de corriente dada a través del cuerpo humano, el peligro existente para las personas depende principalmente de la magnitud y duración del flujo de corriente. Sin embargo, las zonas de tiempo/corriente especificadas en los siguientes numerales en muchos casos no se aplican en la práctica directamente para el diseño de protección contra choque eléctrico; el criterio necesario es el límite admisible de la tensión de contacto (es decir, el producto de la corriente a través del cuerpo y la impedancia del cuerpo) en función del tiempo. La relación entre corriente y tensión no es lineal porque la impedancia del cuerpo humano varía con la tensión de contacto y por lo tanto se requieren datos sobre esta relación. Las diferentes partes del cuerpo humano - piel, sangre, músculos, otros tejidos y articulaciones - presentan a la corriente eléctrica una determinada impedancia compuesta de elementos capacitivos y resistivos.

Los valores de estas impedancias dependen de muchos factores y en particular de la trayectoria de la corriente, la tensión de contacto, la duración del flujo de corriente, la frecuencia, el grado de humedad de la piel, el área superficial de contacto, la presión ejercida y la temperatura.

Los valores de impedancia presentados en la presente norma son el resultado de un examen minucioso de los resultados experimentales disponibles a partir de las mediciones realizadas principalmente en cadáveres y en algunas personas con vida.

El numeral 3 se basa principalmente en los hallazgos relacionados con los efectos de la corriente a frecuencias de 50 Hz ó 60 Hz , que son las más comunes en las instalaciones eléctricas. Sin embargo, los valores dados se consideran aplicables en una escala de frecuencia de 15 Hz a 100 Hz , y los valores críticos en los límites de esta escala son mayores que los valores a 50 Hz ó 60 Hz . Se considera principalmente el riesgo de fibrilación ventricular, que es la causa principal de accidentes fatales en esa escala de frecuencias.

Los accidentes con corriente continua son mucho menos frecuentes de lo que se esperaría por el número de aplicaciones este tipo; los accidentes fatales ocurren solamente en condiciones muy desfavorables, por ejemplo, en minas. Esto se debe en parte a al hecho de que con la corriente directa es más fácil soltar las partes agarradas y que para choques de duración más prolongada que el período del ciclo cardíaco, el límite crítico de fibrilación ventricular permanece considerablemente más alto que para la corriente alterna.

Las principales diferencias entre los efectos de la c.a y la c.c. en el cuerpo humano surgen del hecho de que las acciones excitadoras de la corriente (estimulación de nervios y músculos, inducción de fibrilación cardíaca atrial y ventricular) están ligadas a los cambios en la magnitud de la corriente, especialmente cuando se establece y se interrumpe la corriente. Para producir los mismos efectos de excitación, la magnitud del flujo de corriente continua de intensidad constante es de dos a cuatro veces mayor que la de la corriente alterna.

1.2 REFERENCIAS NORMATIVAS

La siguiente norma contiene disposiciones que, mediante su referencia en este texto constituye disposiciones del mismo. En el momento de la publicación eran válidas las ediciones indicadas. Todas las normas están sujetas a actualización. Se recomienda a las partes que realizan acuerdos con base en esta norma, a que investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las siguientes normas. Los miembros de ISO e IEC mantienen registros de las normas internacionales válidas actualmente.

IEC 479-2: 1987 Effects of Current Passing Through the Human Body - Part 2: Special Aspects.

1.3 DEFINICIONES

Para el propósito de la presente norma se aplican las siguientes definiciones.

1.3.1 Impedancia eléctrica del cuerpo humano.

1.3.1.1 Impedancia eléctrica del cuerpo humano (Z_i): impedancia entre dos electrodos en contacto con dos partes del cuerpo humano, sin tener en cuenta las impedancias de la piel.

1.3.1.2 Impedancia de la piel (Z_p): impedancia entre un electrodo sobre la piel y los tejidos conductores en la parte inferior.

1.3.1.3 Impedancia total del cuerpo humano (Z_T): suma vectorial de la impedancia interna y la impedancia de la piel (véase la Figura 1).

1.3.1.4 Resistencia inicial del cuerpo humano (R_o). Resistencia que limita el valor pico de la corriente en el momento en que se presenta la corriente de contacto.

1.3.2 Efectos de la corriente alterna senoidal en el intervalo de 15 Hz a 100 Hz

1.3.2.1 Umbral de percepción: valor mínimo de corriente que causa cualquier sensación a la persona a través de la cual fluye.

1.3.2.2 Umbral de reacción: valor mínimo de corriente que causa contracción muscular involuntaria.

1.3.2.3 Umbral de soltar: valor máximo de corriente al cual una persona que sostiene los electrodos los puede soltar.

1.3.2.4 Umbral de fibrilación ventricular; valor mínimo de corriente a través de una persona, que causa fibrilación ventricular.

1.3.2.5 Factor F de corriente cardíaca: relaciona la intensidad del campo eléctrico (densidad de la corriente) en el corazón para una trayectoria de corriente dada, con la intensidad del campo eléctrico (densidad de la corriente) en el corazón para una corriente de igual magnitud que fluye de la mano izquierda a los pies.

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

1.3.2.6 Período vulnerable: abarca una parte comparativamente pequeña del ciclo cardíaco durante el cual las fibras cardíacas se encuentran en un estado no homogéneo de excitación; la fibrilación ventricular ocurre si son excitadas por una corriente eléctrica de suficiente magnitud.

Nota. El período vulnerable corresponde a la primera parte de la onda T en el electrocardiograma, que es aproximadamente el 10% del ciclo cardíaco (véanse las Figuras 12 y 13).

1.3.3 Efectos de la corriente continua

1.3.3.1 Factor de equivalencia c.c/c.a (k): cociente de la corriente continua con su valor eficaz de corriente alterna equivalente que tiene la misma posibilidad de inducir la fibrilación ventricular.

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

Nota. Como ejemplo de duraciones de choque mayores que el período de un ciclo cardíaco y 50% de probabilidad para fibrilación ventricular, el factor de equivalencia es aproximadamente:

1.3.3.2 Corriente longitudinal: corriente que fluye longitudinalmente a través del tronco del cuerpo humano desde las manos a los pies.

1.3.3.3 Corriente transversal: corriente que fluye transversalmente a través del tronco del cuerpo humano, de mano a mano.

1.3.3.4 Corriente ascendente: corriente continua a través del cuerpo humano, para el cual los pies representan la polaridad positiva.

1.3.3.5 Corriente descendente: corriente continua a través del cuerpo humano, para el cual los pies representan la polaridad negativa.

2. IMPEDANCIA ELÉCTRICA DEL CUERPO HUMANO

Este numeral indica los valores de impedancia del cuerpo humano en función de la tensión de contacto, la frecuencia, el grado de humedad de la piel, la trayectoria de la corriente y el área superficial de contacto.

En la Figura 1 se presenta un diagrama de la impedancia del cuerpo humano.

2.1 IMPEDANCIA INTERNA DEL CUERPO HUMANO (Z_i)

La impedancia interna del cuerpo humano se puede considerar como resistiva principalmente. Su valor depende fundamentalmente de la trayectoria de la corriente y en menor grado, del área superficial de contacto.

Nota. Las mediciones indican que existe un componente capacitivo pequeño (líneas punteadas en la Figura 1).

En la Figura 2 se presenta la impedancia interna del cuerpo humano para sus diferentes partes, expresada como porcentajes de aquella para la trayectoria de la mano al pie.

Para trayectorias de corriente de una mano a otra o de una mano a los pies, las impedancias se encuentran localizadas principalmente en las extremidades (brazos y piernas). Si la impedancia del tronco es insignificante, se puede establecer un diagrama de circuito simplificado como el que se ilustra en la Figura 3.

Nota. Para simplificar el diagrama del circuito, se considera que la impedancia de los brazos y piernas tiene los mismos valores.

2.2 IMPEDANCIA DE LA PIEL (Z_p)

La impedancia de la piel se puede considerar como una red de resistencias y capacitancias. Su estructura está compuesta de una capa semiaislante y unos pequeños elementos conductivos (poros). La impedancia de la piel cae cuando se aumenta la corriente. Algunas veces se observan marcas de corriente (véase el numeral 2.5.4).

El valor de impedancia de la piel depende de la tensión, la frecuencia, la duración del flujo de corriente, el área superficial de contacto, la presión de contacto, el grado de humedad de la piel, la temperatura y el tipo de piel.

Para tensiones de contacto hasta aproximadamente 50 V c.a, el valor de la impedancia de la piel varía ampliamente con el área superficial de contacto, la temperatura, la transpiración, la rapidez de la respiración, etc., incluso en una sola persona.

Para tensiones de contacto mayores de aproximadamente 50 V c.a, la impedancia de la piel se reduce considerablemente y se hace insignificante cuando la piel se rompe.

En cuanto a la influencia de la frecuencia, la impedancia de la piel se reduce cuando aumenta la frecuencia.

2.3 IMPEDANCIA TOTAL DEL CUERPO HUMANO (Z_T)

La impedancia total del cuerpo humano está conformada por componentes resistivos y capacitivos.

Para tensiones de contacto hasta 50 V aproximadamente, a causa de las considerables variaciones en la impedancia de la piel Z_p , la impedancia total del cuerpo humano Z_T varía ampliamente de manera similar.

Para tensiones de contacto mayores, la impedancia total depende cada vez menos de la impedancia de la piel y su valor se acerca al de la impedancia interna Z_i .

En cuanto a la influencia de la frecuencia, teniendo en cuenta la variación de la impedancia de la piel en función de la frecuencia, la impedancia total del cuerpo humano es mayor para la corriente continua y se reduce cuando la frecuencia aumenta.

2.4 RESISTENCIA INICIAL DEL CUERPO HUMANO (R_o)

En el momento en que se presenta la tensión de contacto, las capacitancias en el cuerpo no están cargadas. Por lo tanto, las impedancias de la piel Z_{p1} y Z_{p2} son insignificantes y la resistencia inicial R_o es aproximadamente igual a la impedancia interna del cuerpo humano Z_i (véase la Figura 1). La resistencia inicial R_o depende principalmente de la trayectoria de la corriente y en menor grado del área superficial de contacto.

La resistencia inicial R_0 limita los picos de corriente de impulsos breves (por ejemplo, choques de cercas eléctricas controladas).

2.5 VALORES DE IMPEDANCIA TOTAL DEL CUERPO HUMANO (Z_T)

2.5.1 Corriente alterna senosoidal 50/60 Hz

Los valores de la impedancia total del cuerpo se presentan en la Tabla 1 y son válidos para seres humanos vivos y una trayectoria de corriente de una mano a otra para áreas superficiales de contacto grandes (5 000 mm² a 10 000 mm²) y condiciones secas.

A tensiones hasta de 50 V , los valores medidos con áreas de contacto humedecidas con agua fresca son del 10 % al 25 % menores que en condiciones secas; las condiciones secas y las soluciones conductivas reducen la impedancia considerablemente a la mitad de los valores medidos en condiciones secas.

A tensiones mayores de 150 V aproximadamente, la impedancia total del cuerpo depende cada vez menos de la humedad y del área superficial de contacto.

Las mediciones se han realizado con adultos, hombres y mujeres, se describen en el Anexo A. El intervalo de impedancia total del cuerpo para tensiones de contacto hasta de 5 000 V se presenta en la Figura 4, y para tensiones de contacto hasta de 220 V inclusive, se presentan en la Figura 5 (línea punteada).

Los valores de la Tabla 1 y las Figuras 4 y 5 representan el mejor conocimiento de la impedancia corporal total en adultos vivos. Con el conocimiento que se tiene en la actualidad, la impedancia corporal total en los niños se espera que sea un poco más alta pero del mismo orden de magnitud.

2.5.2 Corriente alterna senosoidal con frecuencias hasta de 20 kHz

Los valores de impedancias corporales totales para 50/60 Hz se reducen a frecuencias más altas, debido a la influencia de las capacitancias de la piel y se aproximan a la impedancia interna del cuerpo humano Z_i para frecuencias superiores a 5 kHz .

Las mediciones que se han llevado a cabo con frecuencias hasta de 20 kHz con tensiones de contacto de 10 V y de 25 V se describen en el Anexo B.

La Figura 6 muestra que la impedancia total del cuerpo Z_T , para un trayecto de corriente de una mano a la otra y áreas de contacto grandes para una tensión de contacto de 10 V, depende de la frecuencia que varía de 25 Hz a 20 kHz .

La Figura 7 muestra que la impedancia total del cuerpo humano Z_T para una trayectoria de corriente de una mano a la otra y de superficies de contacto considerables para una tensión de contacto de 25 V, depende de la frecuencia que varía de 25 Hz a 2 kHz . De los resultados se han derivado curvas que dan la dependencia de la impedancia total del cuerpo Z_T de una población para un rango porcentual del 50 % , para tensiones de contacto de 10 V a 1 000 V y un intervalo de frecuencia de 50 Hz a 2 kHz , para una trayectoria de corriente de una mano a otra o de la mano al pie. Las curvas se presentan en la Figura 8.

Tabla 1. Impedancia corporal total Z_T para una trayectoria de corriente alterna de 50/60 Hz de una mano a otra, para grandes áreas superficiales de contacto.

Tensión de contacto V	Valores para impedancia corporal total (Ω) que no son sobrepasados por un porcentaje de (rango porcentual) del		
	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	1200	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 mediciones indican que la impedancia corporal total para la trayectoria de corriente de la mano al pie es de alguna forma menor que para una trayectoria de corriente de una mano a otra (10 % a 30 %).

2.5.3 Corriente continua

La resistencia corporal total R_T para corriente continua es mayor que la impedancia corporal total Z_T para corriente alterna, para tensiones de contacto hasta de 150 V aproximadamente, debido al efecto de bloqueo de las capacitancias de la piel humana.

Las mediciones que se han realizado con corriente continua para superficies de áreas grandes de contacto se presentan en el Anexo C.

Los valores para resistencia corporal total R_T para corriente continua determinados en la forma descrita en el Anexo C, se presentan en la Tabla 2 (véase la Figura 5, línea continua).

2.5.4 Efectos de la corriente sobre la piel

La Figura 9 presenta la dependencia de las alteraciones de la piel humana sobre la densidad de la corriente y la duración del flujo de corriente.

Las alteraciones de la piel humana dependen de la densidad de corriente i_s (mA/mm²) y de la duración del flujo de corriente.

Se pueden presentar los siguientes valores, a manera de orientación:

- Por debajo de 10 mA/mm², en general no se observan alteraciones en la piel. Para duraciones mayores del flujo de corriente (varios segundos) la piel por debajo del electrodo puede ser de color blanco grisáceo con una superficie áspera (zona 0).
- Entre 10 mA/mm² y 20 mA/mm², ocurre enrojecimiento de la piel con una onda similar a una inflamación, de color blancuzco, a lo largo de los bordes del electrodo (zona 1).

- Entre 20 mA/mm² y 50 mA/mm², se desarrolla un color café debajo del electrodo que penetra en la piel. Para flujo de corriente de mayor duración (varias decenas de segundos) se van a observar marcas de corriente completas (ampollas) alrededor del electrodo (zona 2).
- Sobre 50 mA/mm², se puede presentar carbonización de la piel (zona 3).

En áreas de contacto grandes, las densidades de corriente pueden ser lo suficiente bajas como para no causar alteraciones en la piel a pesar de que sus magnitudes sean mortales.

Tabla 2. Resistencia corporal total R_T para una trayectoria de corriente de una mano a otra, en c.c., para áreas de contacto importantes.

Tensión de contacto V	Valores de resistencia total del cuerpo, R_T (Ω) que no son excedidos por un porcentaje del:		
	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
valores asintóticos	650	750	850

Nota. Algunas mediciones indican que la resistencia corporal total para la trayectoria de corriente de la mano al pie es de alguna forma menor que para una trayectoria de corriente de una mano a otra (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 una trayectoria de corriente de una mano a otra o de una mano a un pie y para áreas de contacto importantes se puede considerar como igual a 500 Ω para un rango porcentual del 5 % para una c.a de 50/60 Hz y para c.c.

Nota. El valor de 500 Ω para la resistencia inicial R_0 es un poco menor que el valor asintótico de 650 Ω para la impedancia corporal total Z_T para una corriente alterna de 50/60 Hz y la resistencia total del cuerpo humano R_T para corriente continua para un rango porcentual del 5% , porque en el momento del contacto las capacitancias de la piel y la capacitancia interna del cuerpo están descargadas.

2.7 DEPENDENCIA DE LAS IMPEDANCIAS DEL CUERPO, DEL ÁREA SUPERFICIAL DE CONTACTO PARA C.A 50/60 HZ Y PARA C.C.

Los valores de la impedancia corporal interna Z_i y de la resistencia corporal inicial R_0 dependen muy poco de las áreas superficiales de contacto.

Sin embargo, cuando el área superficial de contacto es muy pequeña, del orden de algunos milímetros cuadrados, los valores aumentan.

Los valores de la impedancia corporal total Z_T dependen del área superficial de contacto cuando la piel no se ha roto (para tensiones de contacto de aproximadamente 50 V) o se ha roto sólo parcialmente (para tensiones de contacto por encima de 50 V) .

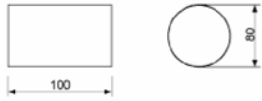
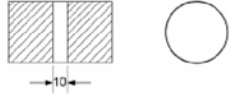



La dependencia de la impedancia corporal total Z_T para una trayectoria de corriente de una mano a otra en el área superficial de contacto (de 1 mm² hasta aproximadamente 8 000 mm²) para un intervalo de tensión de contacto de 25 V a 200 V, c.a 50 Hz se presenta en la Figura 10. Para tensiones de contacto inferiores a 100 V y áreas de contacto pequeñas, las desviaciones en las medidas pueden fácilmente alcanzar el orden de ± 50 % del promedio, dependiendo de la temperatura, presión, ubicación dentro de la palma de la mano, etc. Incluso una respiración rápida modifica la impedancia.

La dependencia de la impedancia corporal total Z_T entre las puntas de los índices derecho e izquierdo (área superficial de contacto aproximadamente 250 mm²) , de la tensión de contacto en c.a de 50/60 Hz y c.c para un intervalo de tensión de 25 V a 200 V, se presenta en la Figura 11.

La forma en la que se han hecho las mediciones se describe en el Anexo D. Las mediciones indican que la impedancia de un dedo está en el orden de 1 000 Ω .

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4120

Tabla 3. Electrodo usado para la medición de la dependencia de la impedancia del cuerpo humano Z_T , del área superficial de contacto.

Serie de ensayo	Forma del área de contacto	Área de contacto efectiva mm^2	Esquemas mm
A	Cilindro de latón	8 000 aproximadamente	
B	Forma de anillo con protección apropiada suministrada por una banda aislante	1 000 aproximadamente	
C	Forma cuadrada al cubrir apropiadamente con cinta aislante	100	
D	Cilindro de material aislante con electrodo circular	10	
E	Cilindro de material aislante con electrodo circular	1	

* Para este tipo, se usaron cuatro electrodos circulares de 1 mm^2 , situados en cruz a una distancia de 30 mm del electrodo en el centro de la superficie del cilindro, con el fin de medir las desviaciones de estos puntos en la palma de la mano.

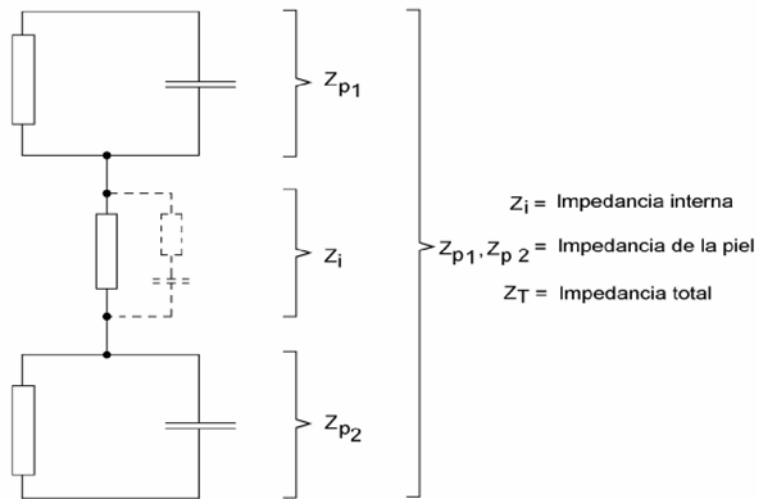
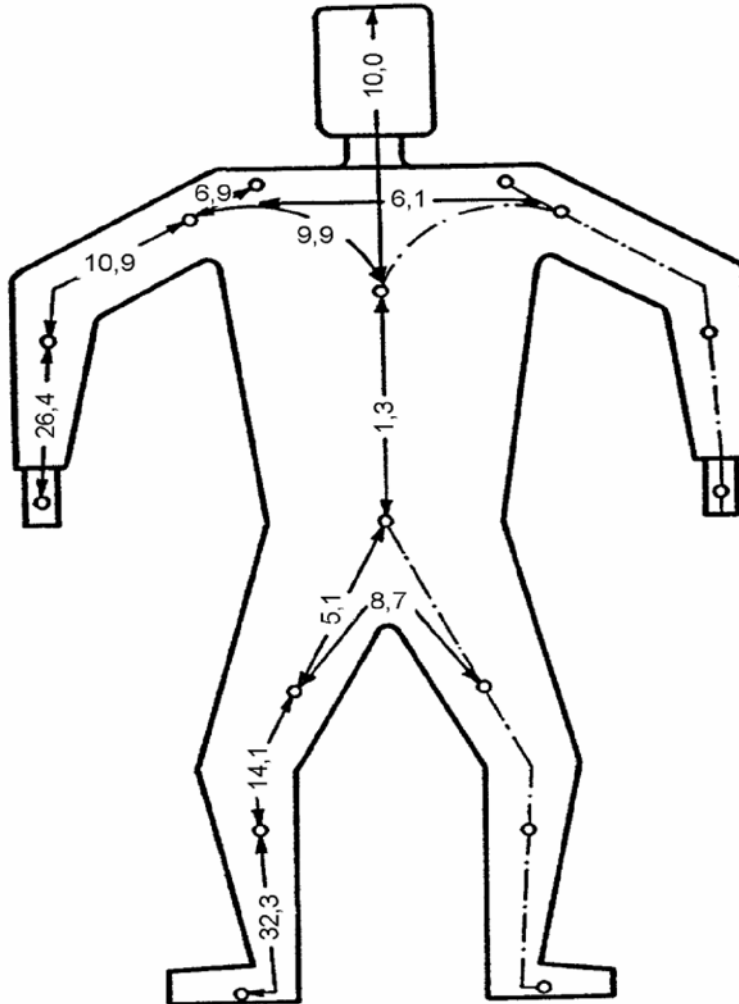


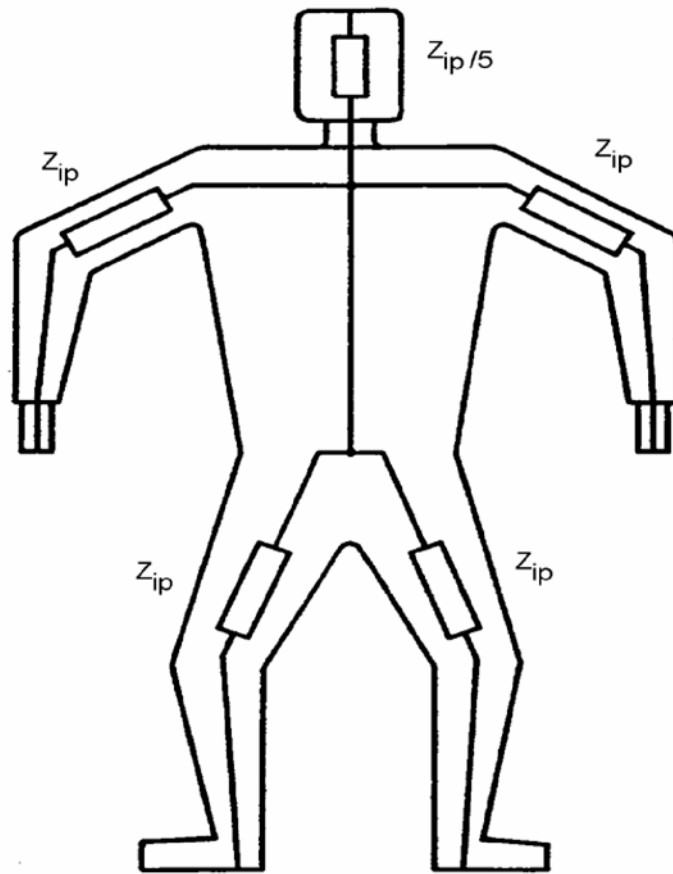
Figura 1. Impedancias del cuerpo humano



Las cifras indican el porcentaje de impedancia interna del cuerpo humano para la parte del cuerpo involucrada, en relación con la trayectoria de la mano al pie.

Nota. Con el fin de calcular la impedancia total del cuerpo Z_T para una trayectoria de corriente dada, se han adicionado las impedancias internas de todas las partes del cuerpo de la trayectoria dada, al igual que las impedancias de la piel de las áreas de contacto.

Figura 2. Impedancias internas del cuerpo humano



Z_{ip} impedancia interna parcial de una extremidad (brazo o pierna).

Nota. La impedancia interna de una mano a ambos pies es de 75% aproximadamente; la impedancia de ambas manos a ambos pies es del 50% y la impedancia de ambas manos al tronco es el 25% de la impedancia de una mano a otra o de una mano al pie.

Figura 3. Diagrama simplificado de las impedancias internas del cuerpo humano

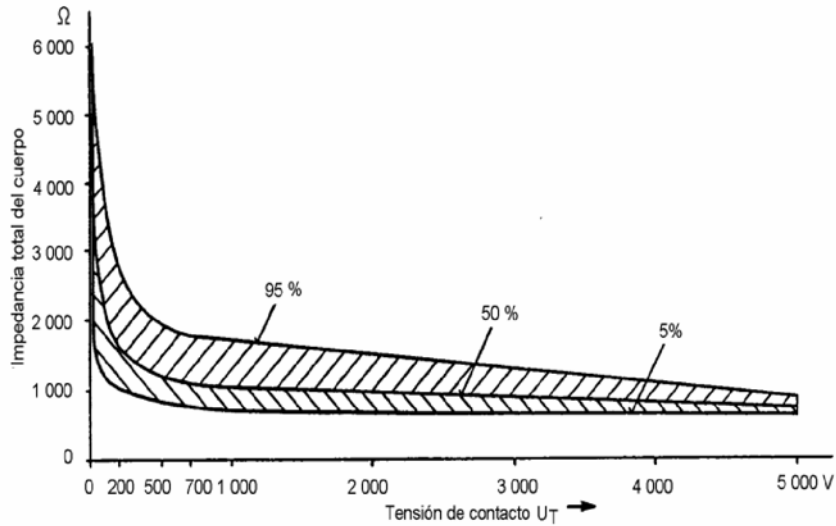


Figura 4. Valores estadísticos de las impedancias totales del cuerpo, válidas para seres humanos vivos, para trayectoria de corriente de una mano a otra o de la mano al pie, con tensiones de contacto hasta de 5 000 V para una c.a de 50/60 Hz .

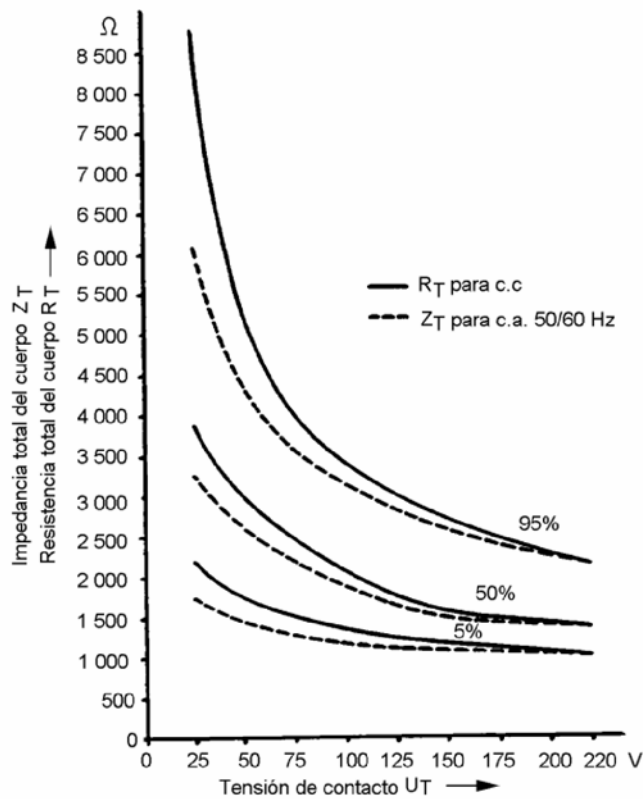


Figura 5. Valores estadísticos de las impedancias totales del cuerpo, válidas para seres humanos vivos, para una trayectoria de corriente de una mano a otra o de la mano al pie, para tensiones de contacto hasta de 220 V, y c.a de 50/60 Hz y c.c.

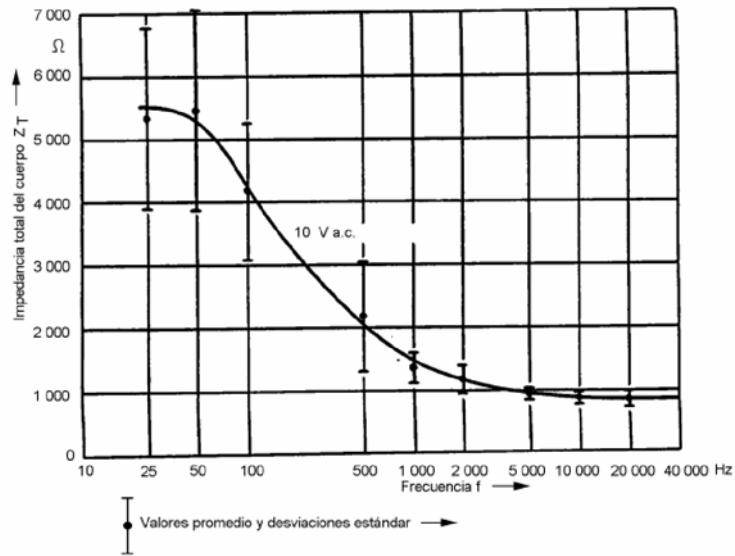


Figura 6. Valores de la impedancia total del cuerpo Z_T , medida en 10 seres humanos vivos, con una trayectoria de corriente de una mano a otra y áreas de contacto considerables para una tensión de contacto de 10 V y frecuencias desde 25 Hz a 20 kHz .

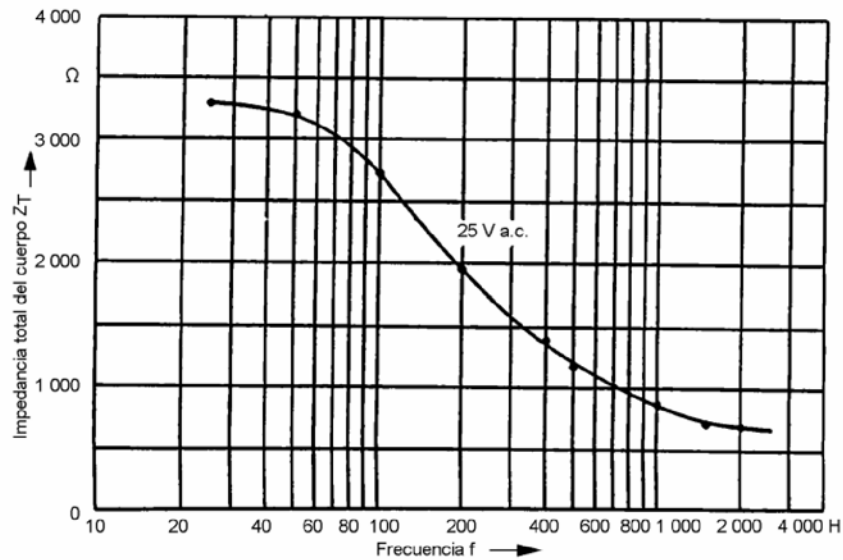


Figura 7. Valores de la impedancia total del cuerpo Z_T , medida en seres humanos vivos, con una trayectoria de corriente de una mano a otra y áreas de contacto considerables, para una tensión de contacto de 25 V y frecuencias desde 25 Hz a 2 kHz .

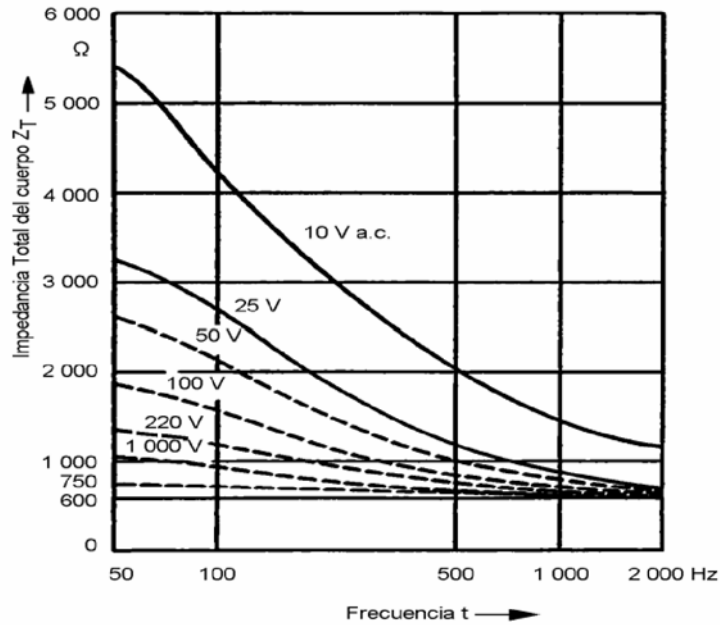


Figura 8. Dependencia en frecuencia de la impedancia total del cuerpo Z_T de una población para un rango porcentual del 50% para tensiones de contacto de 10 V a 1 000 y un intervalo de frecuencia de 50 Hz a 2 kHz, para una trayectoria de corriente de una mano a otra y de la mano al pie.

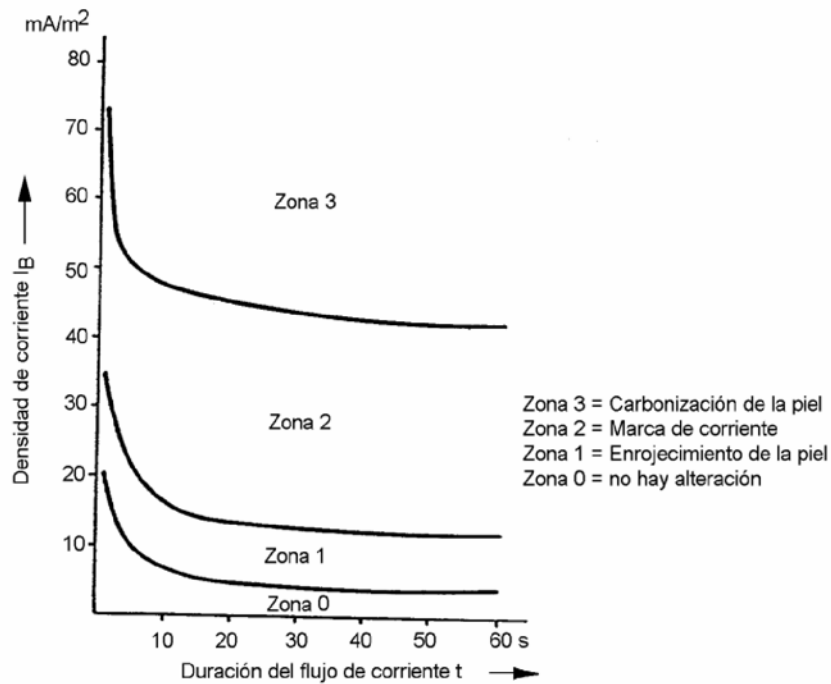


Figura 9. Dependencia de las alteraciones de la piel humana, de la densidad de la corriente y la duración del flujo de corriente (para una descripción detallada de las zonas, véase el numeral 2.5.4).

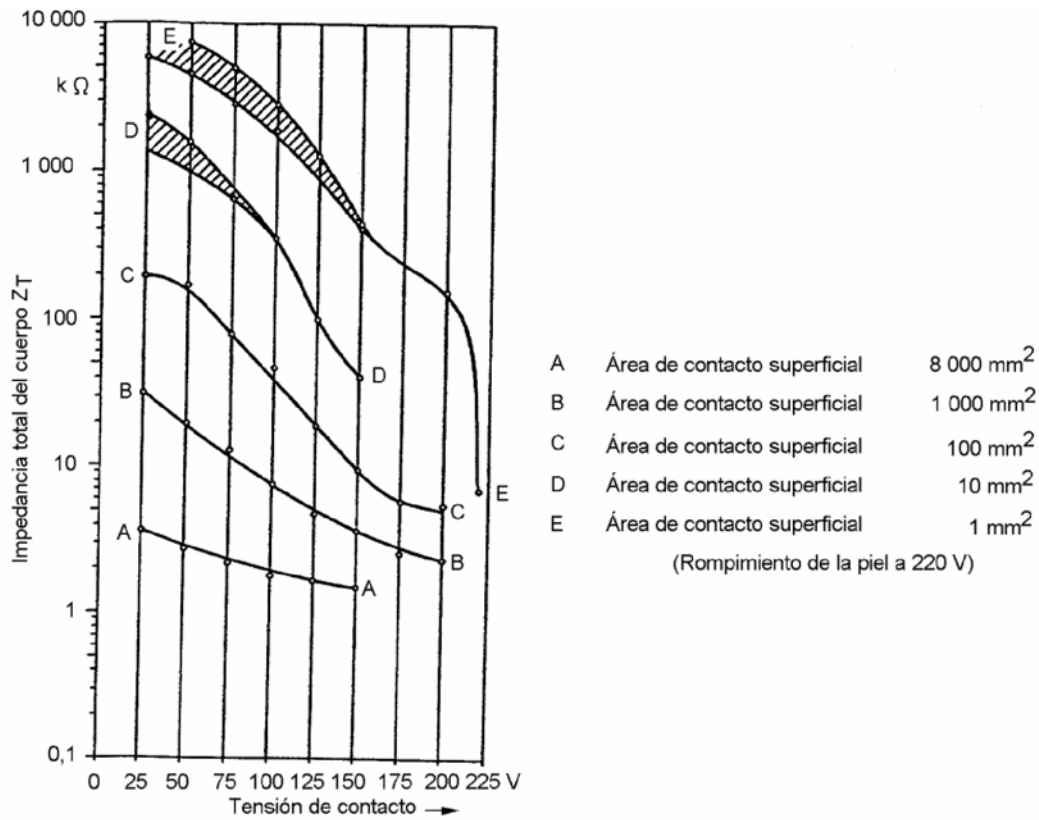
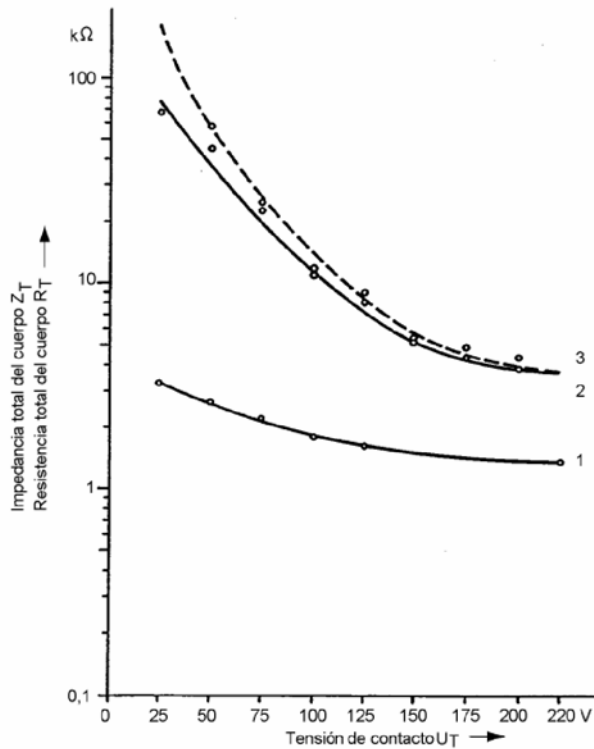


Figura 10. Dependencia de la impedancia total del cuerpo humano, del área superficial de contacto y la tensión de contacto (50 Hz) (para más detalles, consúltese el Anexo D).



1. Impedancia total del cuerpo humano para una trayectoria de corriente de una mano a otra de acuerdo con la Tabla 1, con c.a de 50 Hz , para un porcentaje del 50% de la población y áreas de contacto considerables (aproximadamente 8 000 mm²). En relación con la duración del flujo de corriente, consúltese el Anexo A.
2. La impedancia total del cuerpo humano para una trayectoria de corriente desde las puntas de los índices derecho e izquierdo, para una c.a de 50 Hz . Duración del flujo de corriente, 0,02 s .
3. Igual que 2, pero para c.c.

Figura 11. Dependencia de la impedancia total del cuerpo humano, de la tensión de contacto para una trayectoria de corriente de la punta del dedo índice derecho al izquierdo, para c.a de 50 Hz y c.c. para áreas superficiales de contacto de aproximadamente 250 mm²

3. EFECTOS DE LA CORRIENTE ALTERNA SENOSOIDAL EN EL INTERVALO DE 15 HZ A 100 HZ

En este numeral se describen los efectos de la corriente alterna senosoidal que pasa a través del cuerpo humano dentro de un intervalo de frecuencia de 15 Hz a 100 Hz .

Nota. A menos que se establezca algo diferente, los valores de corriente definidos de aquí en adelante son valores eficaces.

3.1 UMBRAL DE PERCEPCIÓN Y UMBRAL DE REACCIÓN

Los umbrales dependen de varios parámetros, tales como el área del cuerpo que está en contacto con el electrodo (área de contacto), las condiciones de contacto (seco, presión, temperatura) y también de las características fisiológicas del individuo.

En esta norma se toma en consideración un valor general de 0,5 mA , independiente del tiempo, para el umbral de reacción.

3.2 UMBRAL DE SOLTAR

El umbral de soltar depende de varios parámetros, tales como el área de contacto, la forma y tamaño de los electrodos y también las características fisiológicas del individuo.

En la presente norma se tiene en cuenta un valor aproximado de 10 mA .

3.3 UMBRAL DE FIBRILACIÓN VENTRICULAR

El umbral de fibrilación ventricular depende de parámetros fisiológicos (anatomía del cuerpo, estado de la función cardíaca), al igual que de parámetros eléctricos (duración y trayectoria de la corriente eléctrica, parámetros de corriente, etc.).

Con una c.a. senoidal (50 Hz ó 60 Hz) existe una reducción considerable en el umbral de fibrilación si el flujo de corriente se prolonga más allá de un ciclo cardíaco. Este efecto resulta del incremento de la heterogeneidad del estado excitatorio del corazón debido a extrasístoles inducidas por la corriente.

Para duraciones de choque por debajo de 0,1 s , se puede presentar fibrilación para magnitudes de corriente por encima de 500 mA y es posible que ocurra para magnitudes de corriente en el orden de varios amperios, solamente si el choque se produce durante el período vulnerable. Para choques de esta intensidad y duración superior a un ciclo cardíaco, se puede producir un paro cardíaco reversible.

Al adaptar los resultados de los experimentos en animales a los seres humanos, se trazó convencionalmente una curva c_1 (véase la Figura 14) para una trayectoria de corriente de la mano izquierda a ambos pies, por debajo de la cual no es posible que ocurra fibrilación. Se escogió el nivel alto para duraciones cortas de exposición entre 10 ms y 100 ms, como una línea descendente de 500 mA a 400 mA. Con base en información sobre accidentes eléctricos, el nivel menor para duraciones mayores de 1 s se escogió como una línea descendente de 50 mA en 1 s a 40 mA para duraciones superiores a 3 s . Ambos niveles se unen con una curva suave.

La evaluación estadística de los experimentos en animales, curva c_2 y curva c_3 (véase la Figura 14) se ha establecido definiendo una probabilidad de fibrilación del 5 % y 50 % respectivamente. Las curvas c_1 , c_2 y c_3 se aplican a trayectorias de corriente de la mano izquierda a ambos pies.

3.4 OTROS EFECTOS DE LA CORRIENTE

La fibrilación ventricular se considera como la causa principal de muerte por choque eléctrico. También existe evidencia de muerte por asfixia o paro cardíaco.

Los efectos patofisiológicos, tales como contracciones musculares, dificultad para respirar, elevación de la presión sanguínea, perturbaciones en la formación y conducción de impulsos en el corazón, que incluyen fibrilación atrial y paro cardíaco transitorio, pueden ocurrir sin fibrilación ventricular. Estos efectos no son mortales y normalmente son reversibles, pero se pueden producir marcas de corriente.

Para las corrientes de varios amperios que duran más de varios segundos, es posible que ocurran quemaduras profundas u otras heridas de gravedad, e incluso la muerte.

3.5 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE TIEMPO/CORRIENTE (VÉASE LA FIGURA 14)

Tabla 4. Zonas de tiempo/corriente para c.a de 15 Hz a 100 Hz

Designación de zona	Límites de zona	Efectos fisiológicos
AC-1	Hasta 0,5 mA línea a	Usualmente no hay reacción.
AC-2	0,5 mA hasta línea b*	Usualmente no hay efectos fisiológicos peligrosos.
AC-3	Línea B hasta curva c ₁	Usualmente no se espera daño orgánico. Probabilidad de contracciones musculares y dificultades respiratorias para flujo de corriente mayor de 2 s . Perturbaciones reversibles en la formación y conducción de impulsos en el corazón, incluyendo fibrilación atrial y paro cardíaco transitorio sin fibrilación ventricular, que aumentan con la magnitud de corriente y tiempo.
AC-4	Sobre la curva c ₁	Aumentan con la magnitud y el tiempo; se pueden presentar efectos patofisiológicos peligrosos tales como paro cardíaco, paro respiratorio y quemaduras severas, además de los efectos de la zona 3.
AC-4.1	c ₁ - c ₂	La probabilidad de fibrilación ventricular aumenta hasta aproximadamente un 5%
AC-4.2	c ₂ - c ₃	La probabilidad de fibrilación ventricular aumenta hasta aproximadamente un 50%
AC-4.3	Más allá de la curva c ₃	Probabilidad de fibrilación ventricular por encima del 50%
* Para flujos de corriente de menos de 10 s , el límite para la corriente del cuerpo para la línea b permanece constante en un valor de 200 mA .		

3.6 APLICACIÓN DEL FACTOR DE CORRIENTE DEL CORAZÓN (F)

El factor de corriente del corazón permite el cálculo de corrientes I_h a través de trayectorias diferentes de la mano izquierda a los pies, que representan el mismo peligro de fibrilación ventricular que el correspondiente a I_{ref} mano izquierda a pies, representado en la Figura 14.

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

Donde:

I_{ref} es la corriente del cuerpo para la trayectoria mano izquierda a pies, dada en la Figura 14.

I_h es la corriente del cuerpo para las trayectorias presentadas en la Tabla 5.

F es el factor de corriente del corazón presentado en la Tabla 5.

Nota. El factor de corriente del corazón se debe considerar solamente como una estimación aproximada del peligro relativo de las diferentes trayectorias de corriente en relación con la fibrilación ventricular.

Para las diferentes trayectorias de corriente, los factores de corriente del corazón se dan en la Tabla 5.

Tabla 5. Factor de corriente del corazón F para diferentes trayectorias de corriente

Trayectoria de corriente	Factor de corriente del corazón F
Mano izquierda a pie izquierdo, al derecho o a ambos pies	1,0
Ambas manos a ambos pies	1,0
Mano izquierda a mano derecha	0,4
Mano derecha a pie izquierdo, a pie derecho o a ambos pies	0,8
Espalda a mano derecha	0,3
Espalda a mano izquierda	0,7
Pecho a mano derecha	1,3
Pecho a mano izquierda	1,5
Nalgas a mano izquierda, a mano derecha o a ambas manos	0,7

EJEMPLO.

Una corriente de 200 mA de una mano a la otra tiene la misma posibilidad de producir fibrilación ventricular, que una corriente de 80 mA de la mano izquierda a ambos pies.

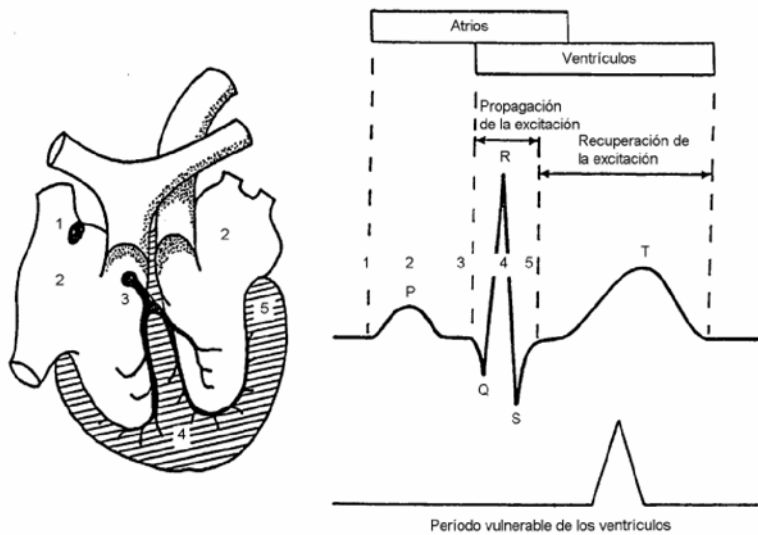


Figura 12. Situación del período vulnerable de los ventrículos durante el ciclo cardíaco. Las cifras designan las etapas posteriores de propagación de la excitación.

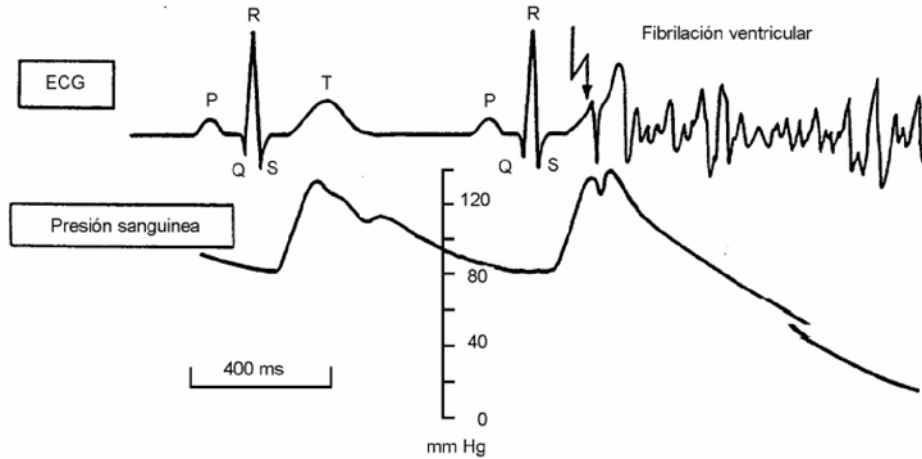
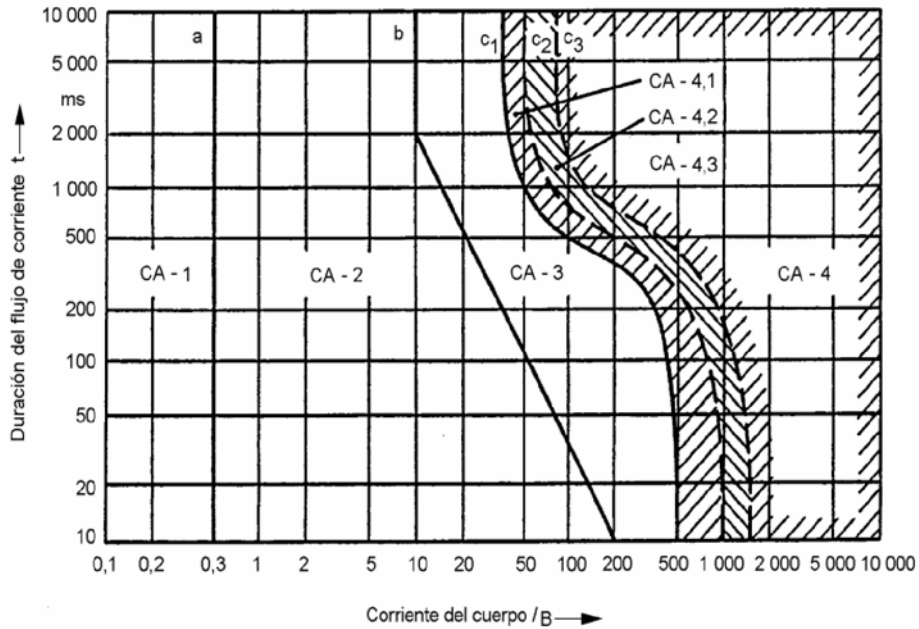


Figura 13. Accionamiento de la fibrilación ventricular en el período vulnerable. Efectos en un electrocardiograma (ECG) y la presión sanguínea.



Nota. En lo concerniente a la fibrilación ventricular, esta figura se relaciona con los efectos de la corriente que fluye en la trayectoria de la mano izquierda a ambos pies. Para otras trayectorias de corriente, véanse el numeral 3.6 y la Tabla 5. Los valores umbral para flujo de corriente de menos de 0,2 s se aplican solamente al flujo de corriente durante el período vulnerable del ciclo cardíaco.

Figura 14. Zonas de tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas de 15 Hz a 100 Hz . (Para más explicaciones, véase la Tabla 4).

4. EFECTOS DE LA CORRIENTE CONTINUA

En este numeral se describen los efectos de la corriente continua que pasa a través del cuerpo humano.

Notas:

- 1) El término "corriente continua" significa corriente continua sin ondulaciones. Sin embargo, en relación con los efectos de la fibrilación, los datos presentados en este numeral se consideran conservadores para corrientes continuas que tienen un contenido de ondulaciones senosoidales de máximo 10 % en valor eficaz.
- 2) La influencia de las ondulaciones se trata en el numeral 5 de la norma IEC 479-2.

4.1 UMBRAL DE PERCEPCIÓN Y UMBRAL DE REACCIÓN

Los umbrales dependen de varios parámetros, tales como el área de contacto, las condiciones de contacto (sequedad, humedad, presión, temperatura), la duración del flujo de corriente y las características fisiológicas del individuo. A diferencia de la c.a, sólo se percibe el establecimiento y la interrupción de la corriente durante el flujo de corriente a nivel del umbral de percepción. Bajo las condiciones comparables a las aplicadas en los estudios con c.a., se encontró que el umbral de reacción era aproximadamente de 2 mA .

4.2 UMBRAL DE SOLTAR

A diferencia de la c.a, para c.c no hay un umbral de soltar definible. Solamente el establecimiento e interrupción de la corriente conduce a contracciones musculares dolorosas en los músculos.

4.3 UMBRAL DE FIBRILACIÓN VENTRICULAR

Como se describió para c.a (véase el numeral 3.3), el umbral de fibrilación ventricular inducido por la c.c. depende de parámetros tanto fisiológicos como eléctricos.

La información derivada de accidentes eléctricos parece indicar que el peligro de la fibrilación ventricular generalmente existe para corrientes longitudinales. Sin embargo, para corrientes transversales los experimentos con animales han mostrado que a intensidades de corrientes mayores también se puede presentar fibrilación ventricular.

Tanto los experimentos con animales como la información derivada de accidentes eléctricos muestran que el umbral de fibrilación para una corriente descendente es aproximadamente el doble que para una corriente ascendente.

Para duraciones de choque mayores del ciclo cardíaco, el umbral de fibrilación para c.c es varias veces mayor que para c.a. Para duraciones de choque menores de 200 ms , el umbral de fibrilación es aproximadamente el mismo que para c.a expresado en valor eficaz.

En comparación con las zonas de tiempo/corriente para c.a (véase la Figura 14), se han establecido curvas adaptando los resultados obtenidos en experimentos con animales, a los seres humanos. Son aplicables a una corriente ascendente longitudinal. Por debajo de la curva c_1 (véase la Figura 15), es improbable que ocurra fibrilación. La curva c_2 y la c_3 (véase la Figura 15) definen una probabilidad de fibrilación del 5 % y 50 % respectivamente. Para una corriente descendente longitudinal, las curvas se deben variar hacia una magnitud de corriente mayor, por un factor de aproximadamente 2.

4.4 OTROS EFECTOS DE LA CORRIENTE

Aproximadamente por encima de 100 mA se puede experimentar una sensación de calor en las extremidades durante el flujo de corriente. Dentro del área de contacto, se experimentan sensaciones dolorosas en la piel.

Las corrientes transversales hasta de 300 mA que fluyen a través del cuerpo humano durante varios minutos podrían, aumentando el tiempo y la corriente, causar disrritmias cardíacas reversibles, marcas de corriente, quemaduras, vértigo y algunas veces inconsciencia. Por encima de 300 mA, con frecuencia se presenta inconsciencia.

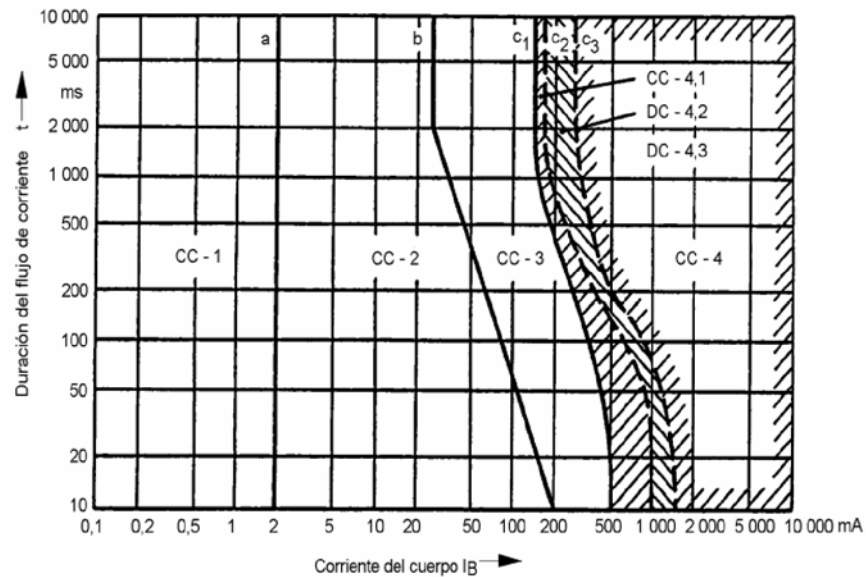
Con corrientes de varios amperios que duran más de varios segundos, es posible que ocurran quemaduras profundas u otras lesiones, e incluso la muerte.

4.5 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE TIEMPO/CORRIENTE (Véase la Figura 15)

Tabla 6. Zonas de tiempo y corriente (véase la Figura 15)

Designación de zona	Límites de zona	Efectos fisiológicos
DC-1	Hasta 2 mA línea A	Usualmente no hay reacción. Ligera sensación de picazón al establecer e interrumpir la corriente.
DC-2	2 mA hasta línea b*	Usualmente no hay efectos fisiológicos nocivos.
DC-3	Línea b hasta curva c1	Usualmente no se espera daño orgánico. El aumento en la magnitud de la corriente y el tiempo es susceptible de provocar perturbaciones reversibles de formación y conducción de impulsos en el corazón.
DC-4	Sobre curva c ₁	Además de los efectos de la zona 3, se debe esperar el aumento en la magnitud de corriente y el tiempo, efectos patofisiológicos peligrosos, por ejemplo, quemaduras severas.
DC-4.1	c ₁ - c ₂	Probabilidad de fibrilación ventricular hasta aproximadamente 5%
DC-4.2	c ₂ - c ₃	Probabilidad de fibrilación ventricular hasta aproximadamente 50%
DC-4.3	más allá de la curva c ₃	Probabilidad de fibrilación ventricular hasta aproximadamente 50%

* Para duraciones de flujo de corriente por debajo de 10 ms , el límite para corriente corporal para la línea b permanece constante a un valor de 200 mA .



Nota. En lo concerniente a la fibrilación ventricular, esta figura relaciona los efectos de la corriente longitudinal que fluye en la trayectoria de la mano izquierda a ambos pies y para corriente ascendente. Los valores umbral para duraciones de flujo de corriente por debajo de 0,2 s se aplican solamente a flujo de corriente durante el período vulnerable del ciclo cardíaco.

Figura 15. Zonas tiempo/corriente de efectos de corriente continua

DOCUMENTO DE REFERENCIA

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Effects of Current on Human Beings and Livestock. Part 1: General Aspects. Geneva: IEC, 1994. 63 p. (IEC 479-1).

Anexos**INTRODUCCIÓN**

El capítulo 1 de la norma IEC 479 (2a. edición 1984) relativo a la impedancia del cuerpo humano no contenía información sobre la impedancia para corriente alterna de una frecuencia más alta ni para corriente continua. Tampoco se conocía la dependencia del área superficial de contacto.

En cuanto a la impedancia interna, se necesitaban más datos para las diferentes trayectorias del cuerpo humano, con el fin de poder calcular las impedancias para trayectorias de corriente especiales (por ejemplo, del brazo al tronco) que ocasionalmente ocurren en accidentes eléctricos.

De otra parte, es necesario un diagrama sencillo para impedancia interna del cuerpo humano, que permita hacer estimaciones de accidentes que ocurren frecuentemente, con las diversas trayectorias de corriente, por ejemplo, de ambas manos al tronco.

Por lo tanto, fue necesario reescribir el capítulo 1 y agregar la información requerida subdividiendo el numeral 2.5. (Valores de impedancia total del cuerpo humano (Z_T)), como sigue:

2.5.1 Corriente alterna senosoidal 50/60 Hz .

2.5.2 Corriente alterna senosoidal con frecuencias hasta de 20 kHz .

2.5.3 Corriente continua.

2.5.4 Efecto de la corriente sobre la piel.

2.7 Dependencia de la impedancia del cuerpo, del área superficial de contacto para c.a de 50/60 Hz y para corriente continua.

Se ha comprobado que es difícil realizar mediciones con diferentes frecuencias. Debido al rápido descenso de la impedancia total del cuerpo, incluso a 25 V con frecuencias por encima de 500 Hz las sensaciones son desagradables, y a 25 V sólo algunas personas han sido medidas hasta 20 kHz. Cincuenta personas han sido medidas a una tensión de contacto de 10 V con frecuencias hasta de 20 kHz y también con corriente continua de 25 V.

Debido a las sensaciones desagradables y el peligro posible inherente a los experimentos, las mediciones solamente se han llevado a cabo con un adulto, utilizando áreas de contacto considerables de una mano a otra y una corriente continua hasta de 200 V. La misma persona fue sometida también a mediciones con diferentes áreas superficiales de contacto de una mano a otra y entre las puntas de los dedos, con c.a de 50 Hz hasta 200 V .

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4120

La serie de mediciones entre las puntas de los dedos (índice derecho e izquierdo) y entre las puntas de los pulgares de las manos derecha e izquierda se repitió con una c.c de hasta 200 V. Estas mediciones probaron que por encima de aproximadamente 150 V la impedancia corporal total con 50 Hz de c.a. difiere de una manera poco significativa de la resistencia total del cuerpo para corriente continua.

Todas las mediciones se describen brevemente en los anexos.

Anexo A (Normativo)

**Mediciones realizadas en seres humanos vivos y muertos y
análisis estadístico de los resultados**

Con el fin de obtener valores realistas de las impedancias totales del cuerpo en los seres humanos, se aplicó el siguiente procedimiento:

- 1) Las mediciones se llevaron a cabo en 50 personas vivas, a una tensión de contacto de 15 V, y en 100 personas vivas a 25 V con una trayectoria de corriente de una mano a otra, con electrodos cilíndricos grandes (aproximadamente 8 000 mm²) en condiciones secas.

Los valores de impedancia total del cuerpo para un rango porcentual del 5 %, 50 % y 95 % se determinaron mediante dos métodos estadísticos independientes que dieron aproximadamente los mismos resultados.

Las mediciones se hicieron 0,1 s después de aplicar la tensión.

- 2) La impedancia total del cuerpo de una persona viva se midió bajo las condiciones del numeral 1), con tensiones de contacto hasta de 150 V y además, con duraciones de choque de hasta 0,03 s para tensiones de contacto hasta de 200 V
- 3) Las mediciones se hicieron sobre un gran número de cadáveres bajo condiciones similares al numeral 1) para trayectorias de corriente de una mano a otra y de una mano al pie, con electrodos grandes (aproximadamente 9 000 mm²) para tensiones de contacto de 25 V a 5 000 V en condiciones secas y húmedas. Los valores de impedancia total del cuerpo humano para un rango porcentual del 5 %, 50 % y 95 % se determinaron de manera similar al numeral 1).

Las mediciones se llevaron a cabo 3 s después de aplicar la tensión.

- 4) Las impedancias totales del cuerpo medidas en los cadáveres (numeral 3), que para tensiones de contacto presentaron impedancias en la piel excesivamente altas, se modificaron ajustando las curvas a los valores medidos en las personas vivas.

Anexo B (Normativo)

Influencia de la frecuencia en la impedancia total del cuerpo (Z_T)

Con el fin de obtener valores realistas de la influencia de la frecuencia en la impedancia total Z_T de los seres humanos vivos, se aplicó el siguiente procedimiento:

- 1) Las mediciones se hicieron en 10 seres humanos vivos, a una tensión de contacto de 10 V para frecuencias de 25 Hz a 20 kHz con una trayectoria de corriente de una mano a otra, con electrodos cilíndricos grandes (aproximadamente 8 000 mm²) en condiciones secas.

Los valores de impedancia total del cuerpo humano para un rango porcentual del 5 %, 50 % y 95 % se determinaron por métodos estadísticos.

- 2) Debido a los importantes efectos musculares, las mediciones se realizaron solamente en una persona viva, a una tensión de contacto de 25 V para frecuencias desde 25 Hz a 2 kHz bajo las condiciones descritas en el numeral 1).

Las mediciones de los numerales 1) y 2) se realizaron 0,05 s después de aplicar la tensión.

En las Figuras 6 y 7 se presentan los resultados de estas mediciones.

- 3) Para un rango porcentual del 50%, para la Figura 8 se usó la Figura 6 a una tensión de contacto de 10 V y los valores de la Tabla 1 a 50 Hz y las tensiones de contacto de 25 V a 1 000 V. Esta figura muestra la dependencia de la impedancia total del cuerpo en relación con la frecuencia, para un intervalo de 50 Hz a 2 kHz para un rango porcentual del 50 % de una población, para tensiones de contacto de 10 V a 1 000 V c.a., con una línea recta entre los valores asintóticos de 750 a 50 Hz y 600 Ω a 2 kHz .

Las curvas para tensiones de contacto de 50 V a 1 000 V (líneas punteadas en la Figura 8) se trazaron por analogía con las curvas para 10 V y 25 V, que se basaron en las mediciones descritas bajo los numerales 1) y 2).

Anexo C (Normativo)

Resistencia total del cuerpo (R_T) en corriente continua

Para obtener valores realistas de la resistencia total del cuerpo R_T de los seres humanos vivos, se aplicó el siguiente procedimiento:

- 1) Las mediciones se hicieron en 50 personas vivas, a una tensión de contacto de 10 V en corriente continua pura, con una trayectoria de una mano a la otra con electrodos cilíndricos grandes (aproximadamente 8 000 mm²) en condiciones secas.

Los valores para resistencia total del cuerpo R_T para un rango porcentual del 5 %, 50 % y 95 % se determinaron por métodos estadísticos.

- 2) Los valores asintóticos para impedancias totales del cuerpo para c.a de 50 Hz a tensiones de contacto por encima de 1 000 V y los valores de 220 V de acuerdo con la Tabla 1, se usaron para ajustar las curvas a la resistencia total del cuerpo R_T en c.c., para tensiones de contacto entre 25 V y 220 V c.c (véase la Figura 5).

Los valores de la resistencia total del cuerpo R_T para corriente continua, determinados por el método descrito anteriormente, se presentan en la Tabla 2.

Las mediciones en 50 personas vivas, a una tensión de contacto de 25 V , se hicieron después de incrementar lentamente la tensión al valor de 25 V en algunos segundos, a fin de evitar sensaciones dolorosas.

Nota. Por encima de 1 000 V se puede suponer que la influencia de la impedancia de la piel es insignificante y por lo tanto Z_T y R_T tienen prácticamente los mismos valores.

Anexo D (Normativo)**Mediciones de la dependencia de la impedancia total del cuerpo humano (Z_T), del área superficial de contacto**

- 1) Debido a las sensaciones dolorosas y algún riesgo a tensiones de contacto más altas, las mediciones se han llevado a cabo solamente en un hombre adulto cuya impedancia corporal al compararla con la impedancia corporal de 100 personas vivas, a una tensión de contacto de 25 V 50 Hz c.a, probó acercarse al promedio de la población. Por lo tanto, se puede suponer que los valores presentados en las Figuras 10 y 11 corresponden aproximadamente al promedio o a los valores de probabilidad de 50 % , de una población de personas vivas.
- 2) Las impedancias totales del cuerpo se midieron para tensiones de contacto de 25 V hasta 200 V 50 Hz c.a, con una trayectoria de corriente de una mano a la otra en condiciones secas. Las mediciones se hicieron al fin de la duración del flujo de corriente. Las áreas superficiales de contacto usadas se presentan en la Tabla 3.

Para la trayectoria de corriente y duraciones de flujo de corriente se han usado las siguientes condiciones:

Ensayo de la serie A: Área de contacto 8 000 mm² , electrodos sujetos con ambas manos, duración del flujo de corriente 0,1 s .

Ensayo de la serie B: Área de contacto 1 000 mm² , electrodos sujetos con ambas manos, duración del flujo de corriente varios segundos hasta 75 V , 0,1 s por encima de 75 V .

Ensayo de la serie C: Área de contacto 100 mm² , electrodos presionados contra el centro de la palma de las manos, duración del flujo de corriente varios segundos hasta 75 V , 0,1 s hasta 0,3 s por encima de 75 V .

Ensayo de la serie D: Área de contacto 10 mm² , electrodos presionados contra el centro de la palma de las manos, duración del flujo de corriente varios segundos hasta 100 V , 0,1 s hasta 0,3 s por encima de 100 V .

Ensayo de la serie E: Área de contacto 1 mm² , electrodos presionados contra el centro de la palma de las manos, duración del flujo de corriente varios segundos hasta 150 V , 0,1 s hasta 0,2 s por encima de 150 V (a 220 V se observó rompimiento de la piel).

- 3) La impedancia total del cuerpo se midió para un intervalo de tensión de contacto de 25 V a 200 V c.a, 50 Hz y c.c entre las puntas de los dedos índices derecho e izquierdo (área superficial de contacto aproximadamente 250 mm²). Las mediciones se hicieron 20 ms después de aplicar la tensión. Para c.a., la tensión se aplicó en el paso a cero de la tensión de contacto.

Los resultados se presentan en la Figura 11, los valores de c.c se aproximan a los de c.a con tensiones de contacto crecientes.

De la Figura 11 también se deduce que la impedancia adicional de un dedo (área superficial de contacto 250 mm² aproximadamente) en comparación con una trayectoria de corriente que comienza en la palma de la mano (área superficial de contacto 8 000 mm² aproximadamente) a 200 V, 50 Hz c.a, es 1 000 Ω aproximadamente. Esto es conforme con las mediciones precedentes hechas en cadáveres.