

**Evolución del Conocimiento Sobre los Efectos de la
Corriente Eléctrica en el Cuerpo Humano
Julio de 2009**

**TRABAJO PRESENTADO EN EL TERCER CONCURSO CIENTÍFICO TÉCNICO INTERNACIONAL
BIEL LIGHT+BUILDING 2009 DE LA REPÚBLICA ARGENTINA**

Por el Ing. Carlos A. Galizia

Secretario del Comité de Estudios CE-10 de la Asociación Electrotécnica Argentina

Consultor en Instalaciones Eléctricas de BT y MT

Consultor en Seguridad Eléctrica de BT y MT

Auditorías Eléctricas, Proyectos,

Asesoramientos y Dirección de Obra

Dictado de Cursos de Capacitación

1-Resumen

El objetivo de este trabajo es efectuar una revisión histórica de cómo han evolucionado los conocimientos de los efectos de la corriente en el cuerpo de los seres humanos y de los animales domésticos y de cría y cómo con su evolución se han modificado ciertas interpretaciones tomadas como paradigmas en la aplicación de las medidas de seguridad.

El mismo se desarrolla haciendo un repaso de los documentos técnicos IEC 60479¹ desde la primera edición originada en 1974 hasta las actuales ediciones. Esos documentos, que son los que tratan los efectos de la corriente en el cuerpo de los seres humanos y de los animales domésticos, son los documentos reconocidos a nivel internacional para establecer los parámetros de seguridad en las instalaciones eléctricas, tanto de baja tensión como de media y alta tensión, salvo en algunos pocos países.

Entre los países donde no se tiene como referencia normativa a los documentos IEC 60479, está Estados Unidos que está alineado con sus normas locales. En dichas normas prevalece el contenido del texto elaborado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers de EEUU, conocido como IEEE. Dicho Instituto ha elaborado una Guía (Documento Técnico) sobre Puestas a Tierra en Subestaciones llamado "Guide for Safety in AC Substation Grounding" cuya primera edición es de 1961 y la última es del año 2000. Ese documento técnico es conocido mundialmente como IEEE 80 y si bien el mismo trata fundamentalmente del cálculo de instalaciones de puesta a tierra en estaciones y subestaciones transformadoras, incluye también algunas cláusulas sobre los efectos de la corriente en el cuerpo humano desde un punto de vista diferente a los de IEC, por lo que no será tratado aquí.

2-Introducción

Estamos en el año 2009 y muchos de los actores del mercado eléctrico vinculados con las instalaciones eléctricas y con la seguridad desconocen todavía como se comporta el cuerpo de un ser humano al estar recorrido por la corriente eléctrica.

Todavía subsisten varios mitos.

- hay quienes creen que la CC es más peligrosa que la CA,
- hay quienes creen que un cuerpo sumergido en agua puede ser protegido con los mismos principios que un cuerpo seco, húmedo o mojado,
- hay quienes creen que la tensión de paso es tan peligrosa como la tensión de contacto y que debe ser tenida en cuenta en las instalaciones de BT y por ello, medida,
- hay quienes creen que la electrólisis de la sangre es la principal causa de muerte.

Y hay muchas otras creencias que se han convertido en **mitos pero están muy lejos de ser verdaderas**.

Todo esto ocurre pese a que ya llevamos 35 años desde que la IEC desarrolló el primer documento técnico vinculado con el tema.

¹ IEC es la International Electrotechnical Comisión con sede en Ginebra, Suiza y con la que la República Argentina está alineada.

En efecto; en 1974 IEC redactó y publicó a través del “TC² N° 64 Electrical Installations of Buildings” (Comité Técnico N° 64 de la IEC “Instalaciones eléctricas en inmuebles”), la 1ª Ed. del IEC Report-Publication 479 “Effects of current passing through the human body” (así se numeraba y denominaba entonces), no definido como una “Norma” sino como un “Reporte” o “Informe”. En castellano se lo puede traducir como “Efectos de la corriente (eléctrica) que pasa por el cuerpo humano”.

El objetivo del IEC Report 479 de 1974 fue servir de base para suministrar las informaciones fundamentales de los efectos de la corriente eléctrica sobre el ser humano, sirviendo de guía para el establecimiento de prescripciones de seguridad eléctrica. Allí se resalta que con el objeto de evitar errores fundamentales en la interpretación del documento, se debe tener en cuenta que los datos incorporados al mismo se refieren exclusivamente a los aspectos fisiológicos de los efectos de la corriente eléctrica al atravesar el cuerpo de un ser humano. Por eso el Reporte indica que ese análisis de los “efectos fisiológicos” es sólo uno de los aspectos a ser tenidos en consideración, señalándose que no deben dejar de ser tenidos en cuenta otros aspectos, tales como la probabilidad de defectos de aislación, la probabilidad de contacto con partes activas o con las partes en defecto, la relación entre la tensión de contacto y la tensión real debida al defecto, la experiencia del operador y las posibilidades técnicas y económicas³ entre otras. Por lo dicho el Documento de IEC indica que cuando se deban establecer las características de funcionamiento de los dispositivos de protección en las instalaciones eléctricas los parámetros mencionados deben ser prolijamente tomados en cuenta.

Ese documento de 1974, que basó sus fundamentos en una extensa investigación desarrollada por el TC 64 en la literatura técnico-científica disponible en la época y en el análisis que el comité efectuó de las respuestas que se recibieron a un cuestionario elaborado al efecto, permaneció sin cambios hasta 1984, año en el que el mismo TC 64 de la IEC hizo pública la 2ª Edición.

En esa nueva publicación se volcó la experiencia recogida en los 10 años transcurridos desde la primera edición de 1974, ya que después de ese año, se realizaron nuevos estudios experimentales, que luego de análisis y evaluaciones más precisas permitieron hacerse una mejor idea de la acción de la corriente eléctrica sobre los organismos vivos y en particular sobre el hombre.

Además se resaltaba en 1984 que los valores obtenidos estaban fundamentalmente basados en experiencias realizadas sobre animales así como en las informaciones resultantes de las observaciones clínicas y que sobre el hombre sólo se habían efectuado algunas pocas experiencias con corrientes de choque de corta duración.

Según los conocimientos de la época, provenientes esencialmente de experiencias sobre animales, los valores eran conservadores y estaban orientados en el sentido de la seguridad, de manera que ese documento de 1984 se podía aplicar a personas en condiciones fisiológicas normales, comprendiendo incluso, los niños de cualquier edad y peso.

Lo mencionado era particularmente cierto para los límites de la fibrilación ventricular, que constituía y constituye la causa principal de muerte debida a la electricidad, y el análisis de los trabajos de investigación de esos años sobre la fisiología cardíaca y sobre el umbral de fibrilación, permitieron una mayor comprensión de la influencia de los principales parámetros físicos, en particular del tiempo de circulación de la corriente.

También se realizaron en esos años investigaciones sobre otros parámetros físicos de los accidentes, en particular de la impedancia del cuerpo humano y de la forma de onda y la frecuencia de la corriente.

Pero a esa 2ª Edición, a diferencia de la primera, se la dividió en Partes. Así, en ese año 1984 IEC publicó la Parte 1 que llamó IEC Report- Publication 479-1 “Effects of current passing through the human body. Part 1: General aspects”, y allí se trataron tres capítulos:

Chapter 1: Electrical impedance of the human body (Capítulo 1: Impedancia eléctrica en el cuerpo humano).

Chapter 2: Effects of alternating current in the range of 15 Hz to 100 Hz (Capítulo 2: Efectos de la corriente alterna de frecuencias comprendidas entre 15 Hz y 100 Hz).

Chapter 3: Effects of direct current (Capítulo 3: Efectos de la corriente continua).

Tres años después, en 1987, IEC publicó la segunda Parte que llamó IEC Report Publication 479-2 “Effects of current passing through the human body. Part 2: Special aspects”, y allí se trataron otros tres capítulos con una numeración que continuaba a la anterior:

Chapter 4: Effects of alternating current with frequencies above 100 Hz (Capítulo 4: Efectos de la corriente alterna con frecuencias superiores a 100 Hz)

Chapter 5: Effects of special waveforms of current (Capítulo 5: Efectos de la corriente de formas de onda especiales)

Chapter 6: Effects of unidirectional single impulse currents of short duration (Capítulo 6: Efectos de las corrientes unidireccionales de impulso único de corta duración).

² Technical Comité.

³ Muchos de los cuales pasan por la calidad de las instalaciones y los reglamentos que se elaboran.

¿Porqué fue necesario desarrollar una Parte 2 que tratara los temas indicados en los Capítulos 4, 5 y 6?

El mismo documento IEC 479-2 lo aclara en su **Cláusula 1-Generalidades**. Allí se indica que este estudio era necesario debido a la mayor utilización que se estaba haciendo de CA de frecuencias superiores a 50/60 Hz en equipos eléctricos modernos, y citaba por ejemplo a los 400 Hz empleados en los aviones, a las herramientas portátiles, a la soldadura eléctrica (principalmente hasta 450 Hz), a la electroterapia (utilizada principalmente entre 4000 Hz y 5000 Hz) y a las alimentaciones a través de fuentes conmutadas (switching mode power supplies) desde 20 kHz hasta 1 MHz).

Para la elaboración de ese documento se disponían a esa fecha pocos datos experimentales de forma que la información que se brindaba en el reporte se debía considerar provisoria, no obstante lo cual, se podían emplear para estimar los riesgos en el margen de frecuencia considerado.

La segunda edición de la llamada Parte 1 originada en 1984, permaneció publicada durante 10 años hasta que, en 1994 IEC publicó la tercera edición de la Parte 1 y realizó un importante cambio en el estudio de este tema. El documento continuó sin llamarse Norma pero comenzó a denominarse Technical Report–Type 2 (Reporte Técnico–Tipo 2) y además modificó su título: comenzó a llamarse “Effects of current on human beings and livestock Part 1: General Aspects” (Efectos de la corriente sobre los seres humanos y sobre los animales domésticos). Habiendo efectuado esta introducción pasamos a desarrollar ahora en forma sintética, los puntos más salientes de las diferentes ediciones.

La tarea principal de los TC de IEC es preparar Normas Internacionales. En circunstancias excepcionales un TC puede proponer la publicación de un Reporte Técnico de tipo 1, de tipo 2 o de tipo 3

Los TR de tipo 2 se publican cuando el tema está todavía en desarrollo técnico o cuando, por cualquier otra razón existe posibilidad de un acuerdo sobre una norma internacional en el futuro pero no en lo inmediato.

Actualmente muchos TR han sido reemplazados por TS (Technical Specification o Especificaciones Técnicas).

3-IEC Report Publication IEC 479 del año 1974

Como ya se anticipó en la Introducción, en 1974 IEC publicó, a través del “TC N° 64 Electrical Installations of Buildings”, la primera edición del IEC Report-Publication 479 “Effects of current passing through the human body”.

En oposición a lo que IEC hace actualmente, que es incorporar en los documentos las definiciones de los aspectos claves que luego son empleados en el desarrollo del mismo, en el Report IEC 479 de 1974 se definía un único concepto que se podía traducir como **“Corriente límite de control muscular”** que significaba **“Valor máximo de la corriente eléctrica que puede soportar una persona que sostiene un electrodo y puede soltarlo por acción de los músculos directamente excitados por esa corriente”**.

En las siguientes ediciones ese concepto pasó a llamarse **“Umbral de no soltar”**.

Esa manifestación de **no poder soltar** se debe a la contracción de los músculos de la mano, fenómeno fisiológico que fue llamado en la literatura técnica como **“Tetanización”**.

Si bien el concepto de **tetanización** recién fue mencionado en el 2007 en la IEC/TS 60479-2, el mismo forma parte de la Norma IEC 60050 “International Electrotechnical Vocabulary”, (Vocabulario Electrotécnico Internacional, **VEI** de aquí en adelante) en dos de sus partes

En la Parte 195: “Earthing and protection against electric shock” en la cláusula 195-03-02 y en la Parte 891 “Electrobiology” en la cláusula 891-01-12. En ambas cláusulas se define:

“Tetanización Eléctrica” es **“La contracción muscular máxima o cercana a la máxima provocada por estimulación eléctrica”**.

Asimismo también se define en el **VEI** el **“Umbral de Tetanización”**. En la Parte 195, en la cláusula 195-03-08 y en la Parte 891, en la cláusula 891-02-70. En ambas cláusulas se define:

“Umbral de Tetanización” es **“Para una frecuencia y una forma de onda determinada, valor mínimo de la corriente eléctrica para el cual se produce una contracción muscular insuperable, involuntaria y continua”**.

3.1-Zonas tiempo/corriente para corriente alterna de 50 a 60 Hz (CA)

¿Qué otro concepto aportaba IEC en el año 1974 en su primer documento Report 479, además de la definición de **“Corriente límite de control muscular”** recién comentada?

Definió cuatro curvas para CA de 50 a 60 Hz en un diagrama tiempo-corriente a partir de las cuales se establecieron **cinco zonas** con diferentes riesgos eléctricos.

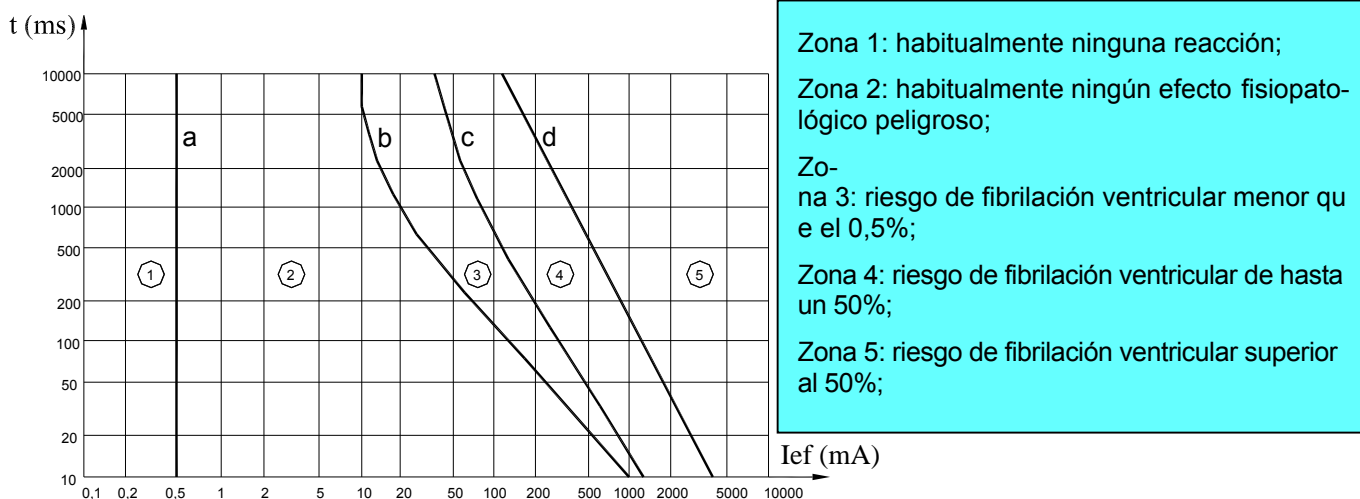


Figura 1: Efectos de la CA con 50/60 Hz en personas adultas según IEC 479/74

El estudio se consideró válido para personas con masas de 50 kg o más y para el paso de la corriente por las extremidades (mano-mano o mano-pies). Este fue el único documento en el IEC hizo mención explícita a la masa corporal de la persona.

En esos años se definía que en la **zona 1** (hasta la recta vertical **a**) no se manifestaba ninguna reacción. Esa zona estaba debajo del llamado límite de percepción que se consideraba de 0,5 mA. Se decía que en la zona 2 (entre la recta vertical **a** y la **curva b**) se podían esperar reacciones pero las mismas no implicaban efectos patofisiológicos.

La **curva b** (separadora de las zonas 2 y 3) respondía a la ecuación siguiente

$$I = I_L + \frac{K}{t}$$

Donde:

I es en mA, la corriente que atraviesa el cuerpo, en valor eficaz;

I_L es la corriente límite de control muscular o corriente de no soltar, en valor eficaz (igual a 10 mA);

t es el tiempo en segundos;

K es una constante igual a 10 μC

En la **zona 3** (entre las curvas **b** y **c**) existía un riesgo de fibrilación ventricular prácticamente despreciable (los riesgos de fibrilación esperables eran inferiores a 0,5%) aunque la corriente podía provocar otros efectos no peligrosos siempre que la circulación de corriente no tuviera una gran duración. Ya en esos años se indicaba que en la **zona 3** podían aparecer riesgos de asfixia o de problemas respiratorios cuando la circulación de la corriente era de duración significativa.

Ese riesgo se debe a la tetanización del diafragma, el músculo más importante en el proceso respiratorio. Debemos saber que dado que los pulmones no poseen músculos propios, el esfuerzo respiratorio lo realizan principalmente el diafragma y, en menor escala, los músculos intercostales.

En la **zona 4** (entre la **curva c** y la **curva d**) se podía esperar que los choques eléctricos provocaran fibrilación ventricular con probabilidad desde el 0,5% (**curva c**) hasta el 50% (**curva d**).

En la **zona 5** (por encima de la **curva d**) existían probabilidades ciertas de fibrilación ventricular, superior al 50%.

Adicionalmente, el documento de IEC de 1974 ya indicaba que dentro de cada una de las diferentes zonas los efectos se iban agravando a medida que aumentaba la intensidad de corriente con lo cual se presentaba una evolución continua sin transiciones entre las zonas.

Hasta aquí se ha mencionado varias veces la palabra fibrilación ventricular pero no se la ha definido. Tampoco la definía IEC 479 en esa época.

La palabra "**Fibrilación**" está definida en el **VEI**, Sección 195-03-03 y Sección 891-01-13 como "**Contracciones repetidas y no coordinadas de fibras musculares individuales**".

También se definen en el **VEI** otras fibrilaciones:

Fibrilación Cardíaca (195-03-04 y 891-01-14) como **“Fibrilación de los músculos de una o más cavidades del corazón, que conduce a una perturbación de la función cardíaca”**.

Fibrilación Auricular (891-01-15) como **“Fibrilación cardíaca limitada a la aurícula y que generalmente conduce a la arritmia ventricular”**.

Y la más importante de las fibrilaciones es la **Fibrilación Ventricular** (195-03-05 y 891-01-16) se la define como **“Fibrilación cardíaca, limitada a los ventrículos, que provoca una insuficiencia circulatoria y entonces una deficiencia cardíaca. La fibrilación ventricular conduce a la detención de la circulación sanguínea”**.

3.2-Zonas tiempo/corriente para corriente continua (CC)

En esa época existían una serie de datos recopilados por varios investigadores, para CA, pero para CC era mucho más difícil establecer en un gráfico los efectos.

No obstante se identificaron y graficaron las curvas **A, B, C, D** y las zonas **1, 2, 3 y 4**.

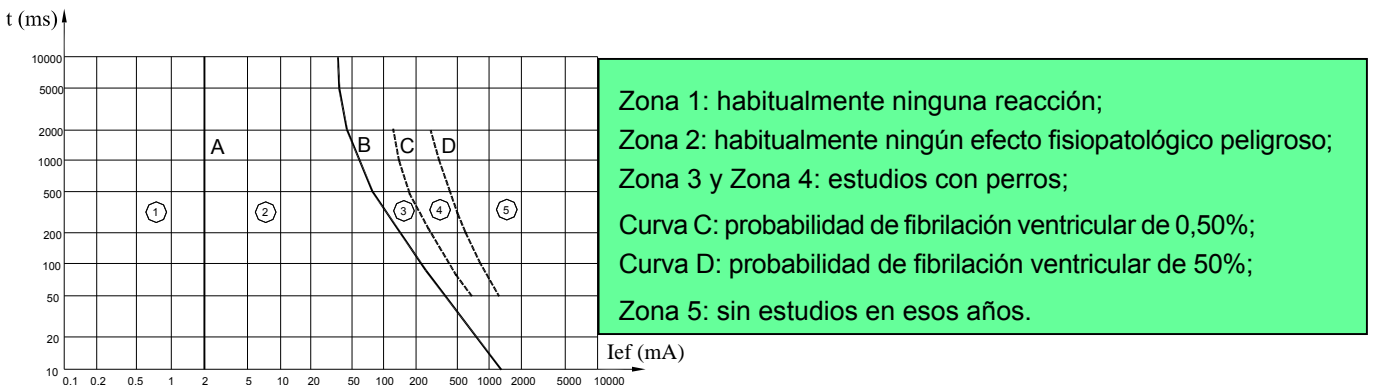


Figura 2: Efectos de la CC en personas adultas

La **zona 1** definida por la línea **A**, en 2 mA era un dato ampliamente conocido por los estudios científicos realizados en esos años.

Para definir la **zona 2** se tuvo en cuenta que los estudios realizados indicaban que la relación de riesgos entre CC y CA era de alrededor de 4 para bajas corrientes y grandes duraciones de circulación de la corriente (10 s). En cambio se conocía que con altas corrientes y pequeñas duraciones de circulación (tiempos del orden de los 10 ms) la relación de riesgos era cercana a 1.

La curva B se podía representar por la siguiente ecuación:

$$I_{cc} = I_{ca} \times \log_{10} t$$

Donde

t es el tiempo en milisegundos (entre los límites de 10 ms y 10 s);

I_{ca} es, en mA, la corriente alterna, en valor eficaz;

El documento de IEC del año 1974 no aclaraba las razones del diferente comportamiento entre la CC y la CA. Hoy podemos saber que eso es debido al efecto capacitivo de la piel (ver desplazamiento de la **curva B** hacia la derecha en la Figura 2 respecto a la **curva b** en la Figura 1).

Para poder determinar las zonas siguientes (curvas **c** y **d**) se tomaron datos de investigaciones de G. Guy Knickerbocker que estudió los parámetros de la fibrilación en CC y en CA en perros de masas de 10 a 16 kg con 20 Hz por separado y combinadas.

3.3-Efectos de de la corriente en el cuerpo humano en función de la frecuencia

Con relación a los estudios de los efectos de la corriente en el cuerpo humano con frecuencias distintas a las de 50/60 Hz o CC, en esos años y por falta de estudios adecuados, no se llegó a establecer un diagrama de zonas de corrientes-tiempos en función de diferentes frecuencias similar al obtenido para CA de 50/60 Hz (figura 1).

En su lugar se graficó lo indicado a continuación en la figura 3, que permitía evaluar los riesgos a diferentes frecuencias

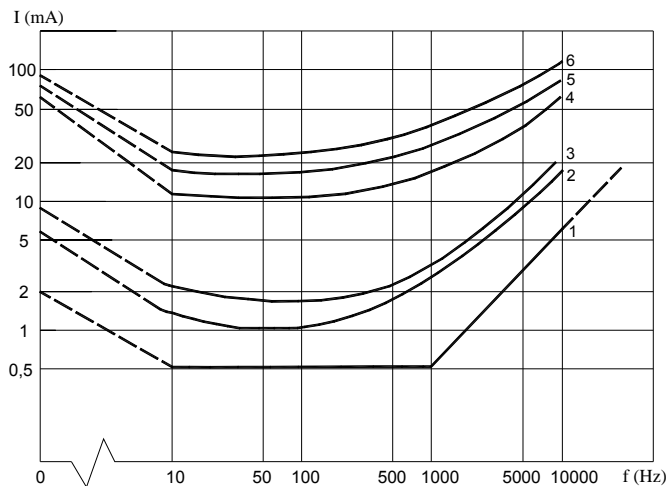


Figura 3: Influencia de la frecuencia y los umbrales de percepción y de no soltar

- Curva 1: límite convencional de los valores de corriente que no dan lugar normalmente, a ninguna reacción;
- Curva 2: umbral de percepción para el 50% de las personas examinadas (las otras no han percibido nada);
- Curva 3: umbral de percepción para el 99,5% de las personas examinadas (las otras no han percibido nada);
- Curva 4: corriente límite de "soltar" para el 99,5% de las personas examinadas (el 0,5% restante no podía soltar el electrodo);
- Curva 5: corriente límite de "soltar" para el 50% de las personas examinadas (el 50% restante no podía soltar el electrodo);
- Curva 6: corriente límite de "soltar" para el 0,5% de las personas examinadas (el 99,5% restante no podía soltar el electrodo);

3.4-Resistencia del cuerpo humano

Para la época en que IEC elaboró el documento 479 de 1974, y luego de los años de estudios previos, se tenía pleno conocimiento de que el peligro para los seres humanos, dependía, para el mismo recorrido de la corriente, del valor de esa intensidad de corriente.

Pero también se comprendió que utilizar las zonas tiempo-corriente para cada proyecto era poco práctico y por eso se decidió que lo mejor era definir valores de tensión considerados "**convencionalmente seguros**" en función del tiempo en que dichas tensiones podían ser soportadas por las personas.

Para poder efectuar ese análisis se imponía tener en cuenta el valor de la Resistencia del cuerpo humano.

Pero ese valor no era un valor único y constante ya que la relación entre la corriente y la tensión no es lineal debido a que la resistencia del cuerpo humano depende de muchos factores, entre ellos el más importante en ese momento era el valor de la tensión de contacto (en ese estudio todavía no se había considerado ni la superficie de contacto ni si la piel estaba seca, húmeda o mojada, ni el tipo de electrodo, etc.).

Utilizando los resultados experimentales disponibles para esa época se pudieron obtener valores de la Resistencia del cuerpo humano, para una pequeña serie de tensiones, con corriente circulando entre ambas manos o entre una mano y un pie (si bien no se aclara se puede suponer que se trataba del pie opuesto), estando la piel húmeda⁴ y seleccionando del total de resultados, los resultados obtenidos para el 5% de los cuerpos estudiados que ofrecían la menor resistencia corporal (cuerpos más comprometidos frente al efecto de la corriente). De dicho estudio se descartó el 95% restante por ofrecer una mayor resistencia corporal para cada valor de tensión.

Las resistencias obtenidas se reflejan en la Tabla 1

Tabla 1

Tensión de contacto U_T vs. Resistencia R_T del cuerpo humano en condiciones de piel húmeda

Tensión de contacto U_T (V)	Resistencia R_T del cuerpo humano en condiciones de piel húmeda (Ω)
25	2500
50	2000
250	1000
Valor asintótico	650

El valor de tensión a partir del cual la resistencia del cuerpo R_T se hace prácticamente constante (asintótica) no se indica en el documento pero se puede deducir por otras informaciones que es un valor de tensión cercano a 1000 V.

En las investigaciones realizadas por IEC se aceptó que la forma en que fueron llevados a cabo los estudios son las condiciones que por convención ("**condiciones convencionales**") se consideran las normales en un choque eléctrico: la piel húmeda y corriente entre las dos manos o entre una mano y un pie.

Por las mismas razones se aceptó, que los valores de la Tabla 1 son, por convención, los valores mínimos probables de resistencia del cuerpo.

⁴ En el documento no se definió qué se requería para considerar la piel húmeda

Quizás por falta de estudios de casos suficientes no se plasmó en el Documento IEC 479 de 1974 ni tabla ni gráfico que reflejara el comportamiento del cuerpo humano con piel seca (es decir sin humedad y sin sudor), limitándose a indicar que en el caso de piel seca serían esperables valores cercanos al doble de aquellos indicados en la Tabla 1.

De forma similar indica que si la superficie de contacto es pequeña (sin definir superficie pequeña) y no estando el electrodo sostenido con la mano, la resistencia del cuerpo será también mayor. En contraposición el informe de IEC dice, sin brindar un sustento técnico científico comprobable, que si la corriente no pasa por las extremidades o si el cuerpo estuviera sumergido⁵, deberán tenerse en cuenta menores valores de resistencia.

En la parte final de su estudio, IEC 479 indica que a la fecha (1974) no existían evidencias de experiencias internacionales de que hubieran ocurrido accidentes eléctricos graves en condiciones normales con tensiones de 50 V eficaces o menores de CA o 75 V o menores de CC.

Ese valor de 50 VCA fue definido años después como la **“tensión convencional límite de contacto”** (en lugares secos o húmedos) cuando se trata la **protección contra los contactos indirectos por el método de la desconexión automática de la alimentación**.

Pese a estos estudios, Alemania, país líder en normativa de seguridad eléctrica, empleaba en su Reglamento de Instalaciones Eléctricas (Norma VDE 100) el valor de 65 V como la “tensión convencional límite de contacto”, valor que recién redujo a 50 V en 1997 cuando se alineó con CENELEC. Algo parecido ocurrió en Chile, donde su NCh4 de 1984 establecía 65 V como tensión “no peligrosa” hasta que en el 2003, la nueva edición de la NCh4 reconoció 50 V.

El IEC Report Publication IEC 479 de 1974 fue traducido por IRAM en 1983, con algunos agregados, como Norma IRAM 2371 si bien en rigor no correspondía que se lo llamara Norma pues se basó en un Documento IEC que no era Norma.

4-IEC Report Publication IEC 479-1 del año 1984

Diez años después de la 1ª Ed., IEC editó la 2ª Ed. del **IEC Report Publication 479**. Esa 2ª Ed, IEC la dividió en dos partes como ya se ha dicho antes: la que llamó **IEC Report Publication 479-1** que tituló **“Effects of current passing through the human body” Part 1 “General Aspects”** publicada en 1984 y la que llamó **IEC Report Publication 479-2 “Effects of current passing through the human body” Part 2 “Special aspects”** publicada en 1987.

La **Parte 1, “Aspectos Generales”** IEC la dividió en tres capítulos:

Capítulo 1 “Impedancia del cuerpo humano”,

Capítulo 2 “Efectos de la corriente alterna en el rango de 15 Hz a 100 Hz”,

Capítulo 3 “Efectos de la corriente continua”.

La **Parte 2, “Aspectos Especiales”** IEC también la dividió en tres capítulos:

Capítulo 4 “Efectos de la corriente alterna con frecuencias por encima de 100 Hz”,

Capítulo 5 “Efectos de corrientes de forma de onda especiales”,

Capítulo 6 “Efectos de corrientes unidireccionales de impulsión única de corta duración”.

La Parte 1 del año 1984 tuvo cambios notables con relación a la publicación de 1974, que ya se manifiestan, como se dijo antes, desde la introducción. En efecto; allí se enfatiza que *“con el fin de evitar errores de interpretación, los datos disponibles fueron obtenidos principalmente de animales y de observaciones clínicas y que sólo unos pocos experimentos fueron realizados sobre seres humanos vivos”*, y que esos son valores conservadores que se han aplicado a las personas sanas (con condiciones fisiológicas normales) incluyendo niños con independencia de su edad y peso. Esta es una diferencia fundamental con relación al estudio de 1974, donde se definía un peso de referencia.

Esos nuevos estudios junto con un análisis más pormenorizado de las publicaciones anteriores, han permitido obtener un conocimiento de mayor profundidad de los efectos de la corriente en el cuerpo humano, principalmente **en lo concerniente a los límites de fibrilación ventricular** que es lejos, la principal causa de muerte de origen eléctrico.

Adicionalmente, el análisis de trabajos de investigación sobre fisiología del corazón y sobre los umbrales de fibrilación ventricular tomados en conjunto permitieron comprender más a fondo la influencia de los principales parámetros físicos y especialmente **lo relacionado con los tiempos que una persona puede soportar la corriente que circula por su cuerpo**.

Independientemente de los aspectos señalados en los párrafos anteriores ¿Que otros conceptos novedosos incorporó el Report IEC 479-1 de 1984 con relación al Report IEC 479 de 1974?

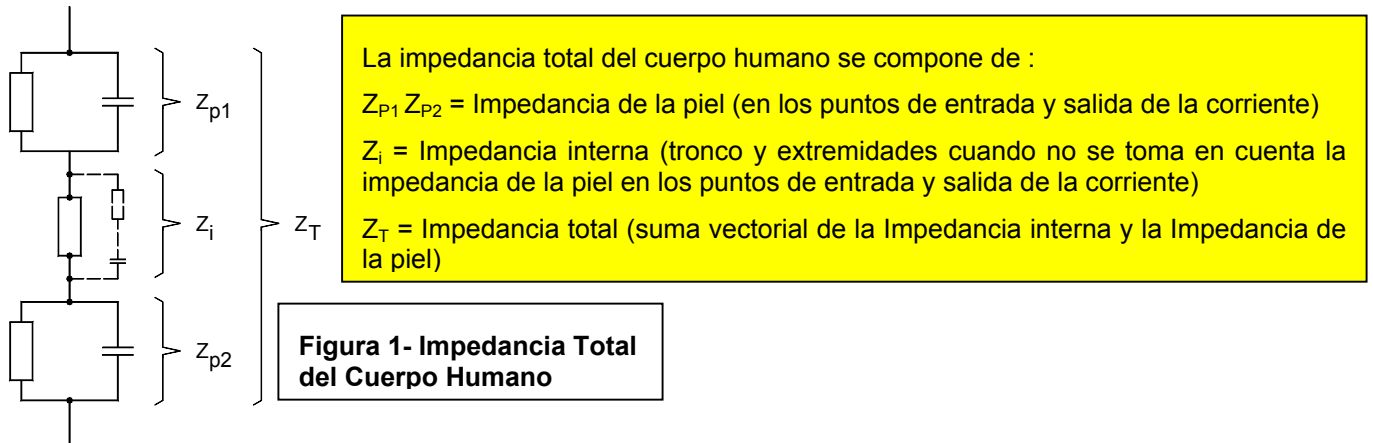
⁵ Recién se disponen algunos datos de parámetros eléctricos de cuerpos sumergidos en la IEC/TS 60479-2 (5-2007)

En principio IEC reitera algunos principios básicos, tales como que los gráficos con las zonas tiempo/corriente no son prácticos a la hora de proyectar las protecciones contra los choques eléctricos, manteniéndose el criterio ya establecido en 1974, sobre la necesidad de trabajar con la tensión límite de contacto en función del tiempo.

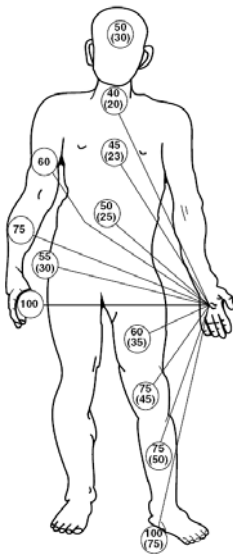
Pero en el documento de 1984 aparecen mencionados en forma explícita diferentes partes y órganos del cuerpo como la piel, la sangre, los músculos, diferentes tejidos, las articulaciones, de las que se indica que presentan a la corriente eléctrica una impedancia formada por componentes resistivos y capacitivos. En este documento se mencionan conceptos no indicados en su antecedente como que **el valor de la impedancia depende de varios factores** entre otros **el recorrido de la corriente, de la tensión de contacto, de la duración de la circulación de corriente, de la frecuencia, de la humedad de la piel, de la superficie de contacto, de la presión de contacto ejercida, de la temperatura**, etc.

En esta segunda edición se definen una serie de conceptos que hasta aquí habían sido soslayados:

A partir de los nuevos estudios realizados en esos años, se pudo construir un esquema eléctrico equivalente a la impedancia del cuerpo humano para CA de 50 Hz (ver Figura 1) basado en investigaciones de H. Freiberger.



4.1-Impedancia interna del cuerpo humano Z_i :



El Documento indica que la **Impedancia interna del cuerpo humano Z_i** puede ser considerada prácticamente resistiva, dependiendo su valor del recorrido de la corriente y en menor medida de la S de contacto. Indica también que cuando la superficie de contacto es muy pequeña, de unos pocos mm^2 , la impedancia interna aumenta y que también se comprueba que existe una pequeña componente capacitiva (línea de trazos en la figura 1).

El mismo Reporte IEC 479 de 1984 incorporó las diferentes impedancias que el cuerpo humano le ofrecía a la corriente para diferentes recorridos de la corriente de contacto (ver figura 2). Para ello se emplearon las investigaciones de U. Sam.

Los números sin paréntesis indican el porcentaje de la impedancia interna del cuerpo humano para el trayecto marcado en relación a la impedancia entre las dos manos (mano a mano).

Los números entre paréntesis indican el porcentaje de la impedancia interna del cuerpo humano entre el punto considerado y las dos manos sosteniendo un electrodo con relación a la impedancia entre las dos manos (mano a mano).

Figura 2-(Figura 2 de IEC 479-1 de 1984)
Impedancia interna del cuerpo en función del camino de la corriente

Con relación a la Figura 2, allí se puede visualizar que para un choque eléctrico entre la cabeza y la mano izquierda, ese camino de la corriente encuentra una impedancia interna del 50% del valor de la impedancia interna que se le presentaría a la corriente cuando circula entre las dos manos, lo cual se puede traducir de esta otra forma:

- para la misma tensión de contacto la corriente de choque eléctrico entre la cabeza y la mano izquierda es el doble que la corriente de contacto entre las dos manos.

De los datos volcados en la figura se puede también deducir que si la corriente circula entre la cabeza y las dos manos, la impedancia interna es el 30% de la que se le presentaría a la corriente cuando circula entre las dos manos. Esto también puede ser visto de otra forma: para la misma tensión de contacto la corriente de choque eléctrico entre la cabeza y las dos manos es 3,3 veces mayor que la corriente de contacto entre las dos manos. Esas mismas investigaciones permitieron comprobar que la impedancia interna del cuerpo entre una mano y los dos pies representaba un 75% de la impedancia entre las dos manos y que entre las dos manos y los dos pies la impedancia interna mostraba un valor del 50% del que presentaba la impedancia entre ambas manos. Es interesante tener presentes esos porcentajes porque se han mantenido a lo largo de las diferentes ediciones y se emplean luego para determinados cálculos de corriente en el cuerpo en diferentes situaciones de contacto.

Si bien los porcentuales indicados por el Reporte son los de la impedancia interna y han sido evaluados en ausencia de la piel, el mismo indicaba que esos mismos porcentajes podían aplicarse para conocer la impedancia total del cuerpo.

4.2-La impedancia de la piel Z_p

En el estudio presentado por IEC en el año 1984 se indicaba que a la piel se la podía considerar como una red de resistencias y capacitores y que su estructura estaba formada por una capa semiconductor y pequeños elementos conductores (los poros). Se comprobó que la impedancia de la piel decrecía cuando la corriente aumentaba.

Además se verificó que la impedancia de la piel dependía de la tensión aplicada, de la frecuencia, de la duración de la circulación de la corriente, de la superficie de contacto, de la presión de contacto, del grado de humedad de la piel y de la temperatura.

Para tensiones de contacto de aproximadamente 50 V CA se encontró que el valor de la impedancia de la piel variaba ampliamente, incluso para la misma persona, en función de la superficie y de la presión de contacto, de la temperatura, de la respiración, etc.

Para mayores tensiones (en esas investigaciones se hablaba de valores entre 50 y 100 V), se comprobó que la impedancia de la piel decrecía sensiblemente, haciéndose despreciable en el momento en que la piel era perforada.

Con relación a la influencia de la frecuencia los estudios llevados a cabo indicaron que la impedancia de la piel disminuía cuando la frecuencia aumentaba.

4.3-La impedancia total del cuerpo humano Z_T

Combinando los efectos de las impedancias interna Z_i y de la piel Z_p se pudo establecer que la impedancia total Z_T del cuerpo humano está formada por componentes resistivos y por componentes capacitivos.

Dado que la impedancia de la piel Z_p para tensiones de contacto del orden de los 50 V se mueve dentro de un amplio rango, la impedancia total Z_T se comporta de la misma forma. Para mayores tensiones la impedancia total depende cada vez menos de la impedancia de la piel y después de la ruptura o perforación de la piel la impedancia total Z_T se aproxima a la impedancia interna Z_i .

Con relación a la influencia de la frecuencia y considerando la dependencia de la impedancia de la piel con la frecuencia, se afirmaba en esos años que la impedancia total del cuerpo humano es mayor en corriente continua y que va decreciendo a medida que aumenta la frecuencia.

4.4-Resistencia inicial del cuerpo humano R_i

Además de haber incorporado los conceptos de impedancia interna, impedancia de la piel e impedancia total del cuerpo humano, el documento IEC 479 de 1984 propuso la idea de *Resistencia inicial del cuerpo humano*. ¿En qué consiste este concepto?

En el momento que el cuerpo es energizado a partir de una tensión de contacto, las capacidades del cuerpo (en la piel) están descargadas por lo que la impedancia de la piel Z_p es despreciable y la única impedancia presente es la impedancia interna del cuerpo Z_i que es la que se presenta como la resistencia inicial R_i tal como se puede apreciar en la Figura 1. La resistencia inicial R_i que depende principalmente del camino de la corriente y en menor medida de la superficie de contacto es además la que limita la corriente de pico cuando un cuerpo está sometido a corrientes de impulsos cortos.

4.5-Valores de la impedancia total del cuerpo humano Z_T

En la edición anterior de IEC (la de 1974) se comenzó a tabular la resistencia del cuerpo humano en función de la tensión de contacto, pero se indicaban en aquel momento apenas 4 valores: para 25 V, 50 V, 250 V, y un valor asintótico (ver Tabla 1).

En el tiempo transcurrido hasta la edición de 1984, las investigaciones realizadas permitieron mejorar sensible-mente el conocimiento en este tema por lo cual se publicó la Tabla 2 que se indica a continuación (Tabla I en IEC 479 de 1984).

Tabla 2 (Tabla I IEC 479-1 de 1984)

Para un recorrido de la corriente entre mano y mano o entre una mano y un pie con superficies de contacto importantes (de 5000 mm² a 10000 mm²). Condiciones de piel seca

Tensión de contacto V	Valores de la impedancia total Z_T (Ω) del cuerpo humano que no es superada por el		
	5% de la población	50% de la población	95% de la población
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
Valor asintótico	650	750	850

Esta tabla indica que los valores son considerados válidos para un recorrido de la corriente entre mano y mano o entre una mano y un pie. El documento indica que los estudios se efectuaron con superficies de contacto consideradas importantes (de 5000 mm² a 10000 mm²) si bien no indica el formato de los electrodos ni define particularmente la superficie. También indica que los ensayos se realizaron en condiciones de piel seca, aunque no indica que se entiende por condición seca, condición húmeda y condición mojada (esta diferenciación tampoco fue explicitada en la siguiente edición de IEC 60479-1 de 1994 y recién fue indicada en la edición IEC 60479-1 del año 2005).

En la edición de 1984 que se está analizando en esta parte del trabajo se indica un aspecto interesante que no había sido mencionado antes: se establece que con valores de tensión de contacto de hasta 50 V los valores de la impedancia del cuerpo medidos con la piel mojada con agua normal (se debe inferir, por lo que se ha dicho en la edición del 2005, que agua normal es agua del servicio público o agua de la canilla) son desde un 10% hasta un 25% menores que las mediciones realizadas con piel seca. Asimismo se indica que cuando la piel está mojada con soluciones conductoras (no se indica la composición de la solución conductora como sí se hizo en la edición de 2005) la impedancia decrece considerablemente hasta alcanzar valores del orden del 50% de los medidos cuando la piel está seca.

A tensiones cercanas a 150 V y mayores, donde se supone que la piel ha sido perforada, la impedancia total del cuerpo depende muy poco de la humedad de la piel y de la superficie de contacto.

Para el valor de la resistencia inicial del cuerpo humano para corriente mano a mano o mano a pie para grandes superficies de contacto, los estudios de esa época indicaron que podía ser tomado el valor de 500 Ω para el 5% de la población con menor impedancia corporal.

Las mediciones fueron hechas sobre personas adultas del sexo masculino y del sexo femenino.

En la Figura 3 (Figura 3 de IEC 479-1 de 1984) se muestra la forma en que varía la impedancia total del cuerpo para un amplio rango de tensiones de contacto hasta 5000 V, y en la figura 4 (Figura 4 del mismo documento IEC) se muestra la variación de la impedancia total para un rango de tensiones menor (hasta 700 V).

Los valores de la Tabla I de IEC 479-1 de 1984 representaban hasta ese momento los mejores conocimientos sobre la impedancia total del cuerpo humano para adultos vivos. A esa fecha se consideraba que la impedancia total del cuerpo de los niños estaba dentro del mismo orden de valores.

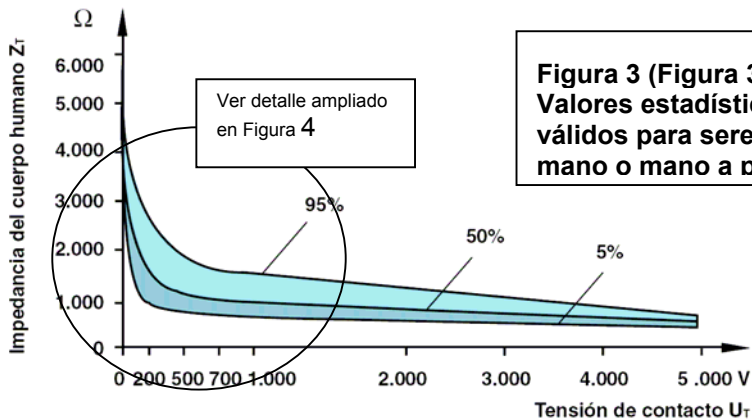


Figura 3 (Figura 3 de IEC 479-1 de 1984)
Valores estadísticos de la impedancia total del cuerpo humano válidos para seres vivos, para un trayecto de la corriente mano a mano o mano a pie, con tensiones de contacto de hasta 5.000 V.

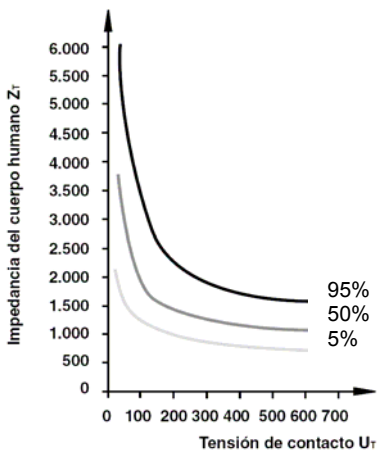


Figura 4 (Figura 4 de IEC 479-1 de 1984)
Valores estadísticos de la impedancia total del cuerpo humano válidos para seres vivos, para un trayecto de la corriente mano a mano o mano a pie, con tensiones de contacto de hasta 700 V.

Las mediciones para obtener los valores anteriores fueron realizadas en diferentes situaciones:

a) Con 15 V de tensión de contacto fueron analizadas 50 personas, y con 25 V fueron estudiadas otras 100 personas, en ambos casos vivas, entre ambas manos y con electrodos de gran superficie ($\approx 8000 \text{ mm}^2$) en condición de piel seca. Las mediciones se realizaron 100 ms después de la aplicación de la tensión.

Los valores de la impedancia total del cuerpo para los percentiles del 5%, 50% y 95% fueron determinados por dos métodos estadísticos independientes que dieron aproximadamente los mismos resultados.

b) Con tensiones de hasta 150 V se estudió una sola persona viva en condiciones iguales a las de a), y además se estudió la misma persona con tensión de hasta 200 V en iguales condiciones que en a) pero con una duración de 30 ms en la aplicación de la tensión.

c) Se efectuaron una gran cantidad de mediciones sobre cadáveres en condiciones similares a las indicadas en a) con electrodos de superficie importante ($\approx 9000 \text{ mm}^2$) y para dos tipos de recorrido de la corriente: entre ambas manos y entre una mano y un pie. Las mediciones se realizaron con tensiones de contacto que abarcaron el rango entre 25 V y 5000 V en condiciones de piel seca y piel mojada. Las mediciones fueron efectuadas 3 s después de aplicada la tensión.

Los valores de la impedancia total del cuerpo para los percentiles del 5%, 50% y 95% fueron determinados igual que en a).

d) La impedancia total del cuerpo medida en cadáveres (ver ítem c)), para tensiones de contacto de hasta 220 V han mostrado una impedancia de la piel exageradamente alta y han tenido que ser modificadas para ajustar las curvas a los valores medidos en las personas vivas.

e) Las diferencias que han surgido en los estudios para los dos caminos de la corriente (mano-mano y mano-pie) han sido despreciadas debido a su prácticamente nulo efecto desde el punto de vista práctico.

Los estudios efectuados entre 1974 y 1984, año de edición de IEC 479-1, intentaron mostrar el comportamiento de los valores eficaces de la corriente en el cuerpo humano en 50 y 60 Hz, que son las frecuencias más comunes en las instalaciones eléctricas a largo del mundo.

Sin embargo, a los valores obtenidos se los consideró válidos también dentro del rango 15 a 100 Hz, con la salvedad que se verificó que los **umbrales** en los **límites o extremos del rango son más elevados** que en 50 o 60 Hz.

En la edición de 1984 se definieron con propiedad una serie de conceptos que hasta el momento se empleaban sin haber sido claramente definidos. Entre ellos están los siguientes tres conceptos:

4.6-Umbral de percepción (“Threshold of perception en inglés”)

Es el valor mínimo de la corriente que provoca una sensación en una persona a través de la cual circula la corriente.

El umbral de percepción depende de varios factores, tales como el área de contacto, las condiciones del contacto (seco, húmedo o mojado, presión, temperatura), y también de las características fisiológicas del individuo.

En el documento IEC 479-1 de 1984 se consideró que **0,5 mA** reflejaba el umbral de percepción sin importar el tiempo.

En la edición de 1994 se definió este umbral como “**Umbral de reacción**”, concepto que ha sido mantenido hasta la actualidad, si bien se han agrupado los dos conceptos como “**Umbral de percepción y de reacción**”.

4.7-Umbral de no soltar (“Threshold of let-go” en inglés y “Seuil de non-lâcher” en francés)

Es el valor máximo de corriente para el cual una persona que sostiene electrodos, puede soltarlos.

El umbral **de no soltar** depende de varios factores, tales como el área de contacto, la forma y dimensiones de los electrodos y también de las características fisiológicas del individuo.

En la edición de 2005 se efectuó en esa definición una pequeña modificación, quedando de la siguiente manera “**Máximo valor de la corriente de contacto para el cual una persona que sostiene electrodos, puede soltarlos**”. Con pequeñas diferencias esos conceptos están definidos en el **VEI** tanto en la Parte 891 “Electrobiology” como en la Parte 195: “Earthing and protection against electric shock”.

En el documento IEC 479-1 de 1984 se consideró que **10 mA** reflejaban con cierta aproximación el **Umbral de no soltar**, sin distinción de sexos.

4.8-Umbral de fibrilación ventricular

Es el valor mínimo de corriente que provoca la 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 trayecto de la corriente, parámetros de la corriente, etc).

En CA sinusoidal (50 Hz o 60 Hz), **el umbral de fibrilación disminuye considerablemente** (es decir que la fibrilación se alcanza con un menor valor de corriente) si la duración de paso de la corriente se prolonga más allá de un ciclo cardíaco⁶. Este efecto resulta del aumento de la falta de homogeneidad en el estado de excitación del corazón debido a las **extrasístoles**⁷ producidas por la corriente.

Para choques eléctricos de duración inferiores a **0,1 s**, la fibrilación puede producirse para corrientes superiores a **500 mA**. Para corrientes de varios amperes la fibrilación puede ocurrir sólo si el choque se produce durante el **período vulnerable**⁸. Para choques eléctricos con corrientes similares y de duración superior a un ciclo cardíaco, pueden producirse paros cardíacos reversibles.

Adaptando los resultados de los experimentos sobre animales a los seres humanos, se construyó (para un trayecto de la corriente de la mano izquierda a los dos pies) una curva por debajo de la cual se estableció que la fibrilación ventricular no puede producirse. El umbral superior, para cortos períodos de descargas, entre **10 ms** y **100 ms**, se situó sobre una recta que se desarrolló desde **500 mA** a **400 mA**. Sobre la base de información sobre accidentes eléctricos, el umbral inferior para duraciones superiores a **1 s** fue elegido como una línea descendente desde **50 mA** para **1 s** a **40 mA**⁹ (**punto de menor corriente a partir de la cual puede producirse fibrilación ventricular**) para duraciones superiores a **3 s**. Ambos umbrales fueron unidos por una curva continua deducida de resultados experimentales.

Todos estos efectos fueron graficados en la Figura 5 siguiente (Figura 5 de IEC 479-1 de 1984).

⁶ **Ciclo cardíaco:** Se lo considera de 800 ms.

⁷ **Extrasístole:** La extrasístole es un latido anormal e irregular del corazón, seguido de una pausa en las contracciones y acompañado, por lo común, de sensación de choque o de angustia.

⁸ **Periodo vulnerable:** El periodo vulnerable es una parte relativamente pequeña del ciclo cardíaco, durante el cual las fibras del corazón están en un estado no homogéneo de excitabilidad y durante el cual se produce la fibrilación ventricular si ellas son excitadas por una corriente eléctrica de intensidad suficiente.

⁹ Algunos textos técnicos le adjudican erróneamente a este punto de la curva el valor de 30 mA.

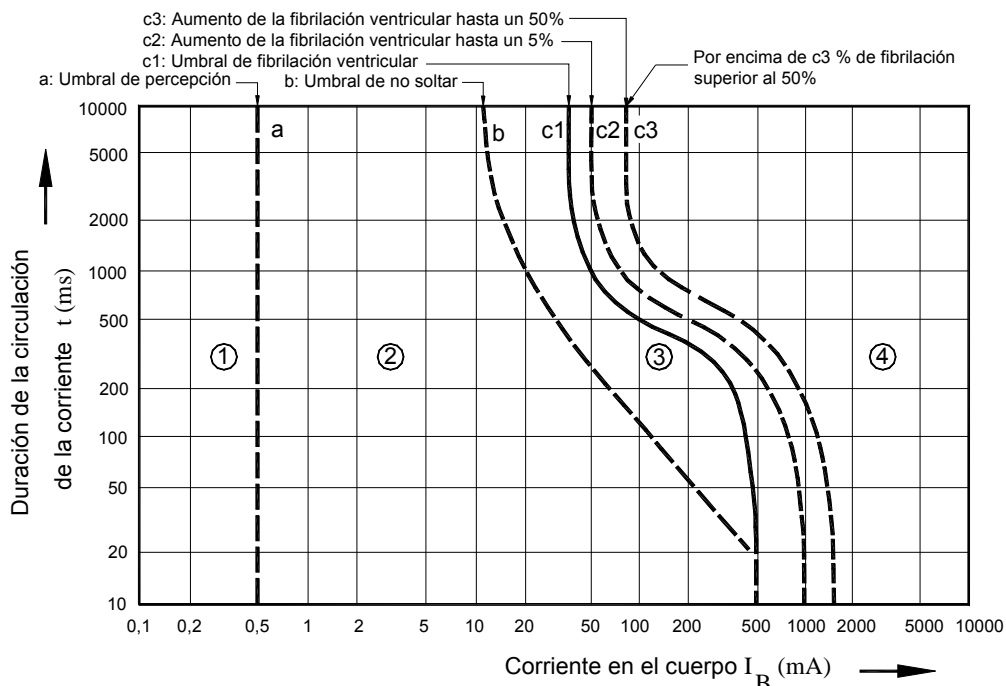


Figura 5 (Figura 5 de IEC 479-1 de 1984)

Zonas tiempo-corriente de los efectos de la corriente alterna (15 a 100 Hz) sobre las personas

En ese gráfico se distinguen las zonas 1, 2, 3 y 4 mencionadas en la Tabla 3 (Tabla II de IEC 479-1 de 1984), que se muestra a continuación.

Tabla 3 (Tabla II de IEC 479-1 de 1984)

Zona	Efecto fisiológico
Zona 1	Habitualmente ninguna reacción.
Zona 2	Habitualmente ningún efecto fisiológico peligroso.
Zona 3	Habitualmente ningún daño orgánico. Probabilidad de contracciones musculares y de dificultades de respiración. Probabilidad de perturbaciones reversibles en la formación y propagación de impulsos en el corazón, incluyendo fibrilación atrial y paradas cardíacas transitorias sin fibrilación ventricular, todo ello aumentando con el valor de la corriente y el tiempo.
Zona 4	Además de los efectos de la zona 3, existe probabilidad de fibrilación ventricular por encima de la curva c1, probabilidad que puede aumentar: hasta alrededor de un 5% entre c1 y c2, hasta alrededor de un 50% entre c2 y c3 y por encima del 50% más allá de la curva c3. También pueden ocurrir efectos patofisiológicos (aumentando con la corriente y con el tiempo) tales como parada cardíaca, parada respiratoria y quemaduras graves.

Además en ese documento se aclaran dos cosas:

- 1) que ese gráfico relaciona los efectos de la corriente que circula entre la mano izquierda y los dos pies y su relación sobre la fibrilación ventricular.
- 2) establece que el punto identificado por la intersección de **500 mA** con **100 ms** corresponde a una probabilidad de fibrilación ventricular del orden de **0,14 %**. Si bien este porcentaje aparece en mucha documentación técnica moderna, IEC no lo volvió a mencionar en las siguientes ediciones.

La fibrilación ventricular fue considerada como la principal causa de muerte por choque eléctrico. También existieron evidencias de muertes debidas a asfixia o paradas cardíacas y también se pueden presentar otros efectos patofisiológicos sin la presencia de la fibrilación ventricular. Dichos efectos pueden ser contracciones musculares, dificultades respiratorias, aumentos de la presión sanguínea, perturbaciones en la formación y en la conducción de los impulsos cardíacos incluyendo la fibrilación auricular y paradas cardíacas transitorias. Tales efectos no son mortales y generalmente son reversibles y pueden dejar marcas debidas a la corriente.

Para poder estimar el riesgo con tensiones de hasta 50 V eficaces en CA se les solicitó opinión a varios países, a través de un cuestionario. De las respuestas recibidas se concluyó que **no existía a nivel mundial, ninguna evidencia** concluyente que indicara la existencia de accidentes eléctricos en circunstancias normales con tensiones de alimentación de hasta 50 V eficaces en CA y causadas por corrientes que atravesaban el cuerpo.

Con corrientes de varios amperes, se comprobó que se pueden producir quemaduras profundas y otras serias lesiones que pueden llevar inclusive a la muerte.

4.9-Factor de corriente en el corazón

El Factor de corriente en el corazón es la relación entre la intensidad del campo eléctrico en el corazón, para una corriente que siga un trayecto dado, y la intensidad de campo eléctrico en el corazón para una corriente de contacto de la misma intensidad que circule entre la mano izquierda y los dos pies.

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

El factor de corriente en el corazón permite el cálculo de la corriente I_h , que recorra el cuerpo a través de cualquier trayecto **distinto del camino de referencia “mano izquierda-ambos pies”**, pero que represente el **mismo peligro de fibrilación ventricular** que le corresponde al trayecto **de referencia “mano izquierda-ambos pies”** (I_{ref}) que se muestra en la Figura 5 (Figura 5 de IEC 479-1 de 1984).

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

I_h = corriente por el cuerpo según un trayecto dado;

I_{ref} = corriente que circula entre la mano izquierda y los dos pies (ver Figura 5 de IEC 479-1 de 1984);

F = es el factor de corriente de corazón [ver Tabla 4 (Tabla III de IEC 479-1 de 1984)].

Para esto el documento IEC 479-1 de 1984 estableció la citada Tabla 4 (Tabla III de IEC 479-1) en la que indicaba el factor de corriente en el corazón para diferentes trayectos de la corriente.

Utilizando los factores dados en la Tabla 4 siguiente se puede calcular por ejemplo que una corriente “mano a mano” de 200 mA (I_h) tiene el mismo efecto (sobre el corazón y la fibrilación ventricular) que una corriente de 80 mA de mano izquierda a ambos pies (I_{ref}), ya que el factor $F=0,4$.

Tabla 4 (Tabla III de IEC 479-1 de 1984)

Factor de corriente en el corazón para diferentes trayectos de la 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
Dos manos a los dos pies	1
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

Es oportuno señalar en este momento algo muy interesante. Ni la 2ª Ed. del Documento IEC 479-1 (del año 1984), que estamos analizando en este punto, ni el Documento que lo reemplazó (la 3ª Ed.) IEC 479-1 de 1994 trataron ni introdujeron el factor de corriente de corazón F que permitiera calcular los efectos de la corriente sobre el corazón (fibrilación ventricular) cuando la corriente iba de un pie a otro (lo que permitiría conocer y/o calcular la tensión de paso). Si bien siempre se decía que la tensión de paso (tensión entre dos pies separados por un metro) era mucho menos perjudicial que la tensión de contacto entre la mano izquierda y los dos pies, esa aseveración recién se vio respaldada por IEC en el año 2005 cuando emitió la 4ª Ed. del documento 60479-1 en el que se incluyó el factor F para el recorrido “Pie izquierdo a pie derecho”.

Allí se mantuvieron sin cambios todos los otros factores F mostrados en la Tabla 4 pero se incorporó una última fila en la que apareció el Factor F para el recorrido "Pie izquierdo a pie derecho" con un valor de 0,04.

<i>Pie izquierdo a pie derecho (2005)</i>	$F = 0,04$
---	------------

Eso ¿Qué representa en la práctica? Que cuando el contacto se produce entre los dos pies (tensión de paso) se requiere una corriente de pie a pie 25 veces mayor que una corriente entre la mano izquierda y los dos pies para producir el mismo efecto de fibrilación ventricular sobre el corazón.

A resultados similares había llegado la IEEE¹⁰ en su documento **IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, conocido como IEEE 80**, pero por otros caminos.

4.10-Periodo vulnerable

El Periodo vulnerable es una parte relativamente pequeña del ciclo cardíaco, durante el cual las fibras del corazón están en un estado no homogéneo de excitabilidad y durante el cual se produce la fibrilación ventricular si ellas son excitadas por una corriente eléctrica de intensidad suficiente.

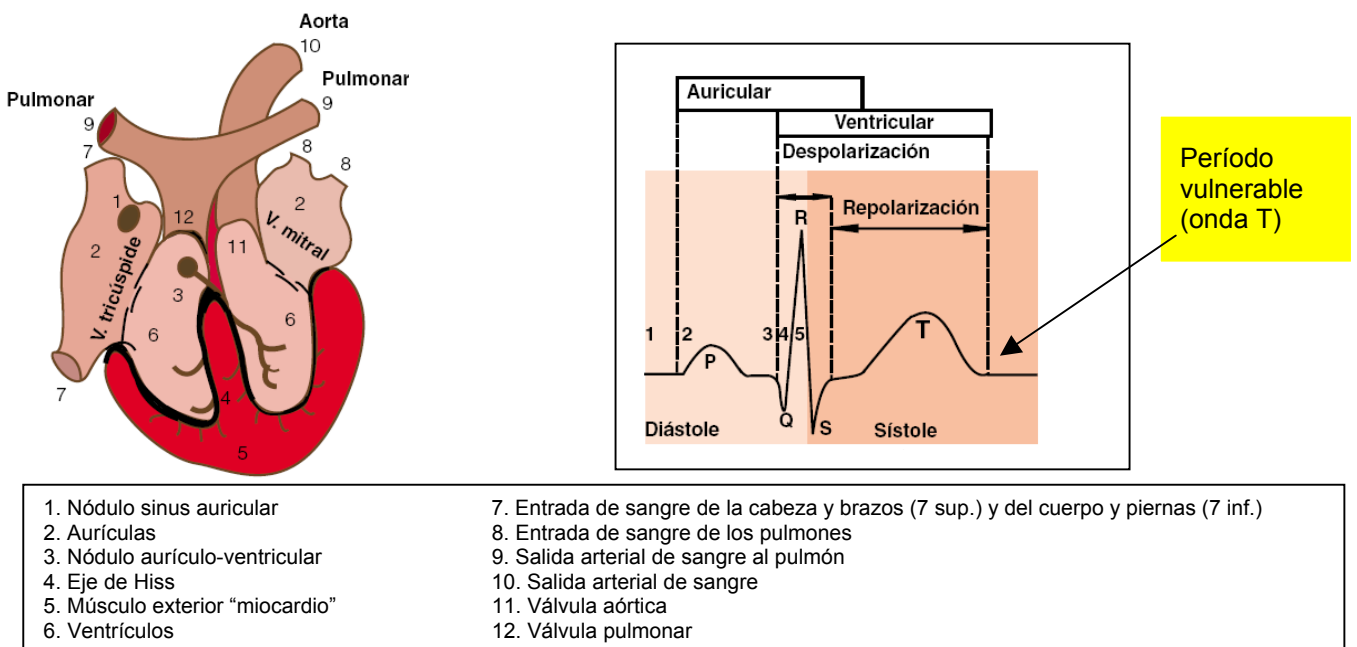
El período vulnerable corresponde a la primera parte de la onda T en el electrocardiograma y representa alrededor del 10% al 20% del ciclo cardíaco (ver las dos siguientes figuras que son las Figuras 6 y 7 de IEC 479-1 de 1984).

En el año 1984 IEC hizo importantes avances en el estudio de los efectos de la corriente continua en el cuerpo de los seres humanos con relación a lo que se conocía desde 1974.

Por un lado indicó algo que estaba a la vista, que era la muy baja existencia de accidentes con CC frente a lo que cabría esperar teniendo en cuenta la gran cantidad de aplicaciones de CC y se señala que los accidentes fatales ocurren sólo frente a condiciones muy desfavorables, por ejemplo en las minas.

Se explicaba en parte, que en gran medida eso se debía a que con CC es más fácil liberar o soltar un elemento sostenido con la mano que si estuviera sometido a CA, y que para choques eléctricos de mayor duración que el periodo del ciclo cardíaco el umbral de fibrilación ventricular es mucho más elevado que con CA.

Las principales diferencias entre los efectos de la CA y la CC sobre el cuerpo humano provienen del hecho de que las acciones de la corriente de excitación (estimular a los nervios y a los músculos, provocar las fibrilaciones auriculares y ventriculares del corazón) están vinculadas a las variaciones de la intensidad de la corriente, fundamentalmente cuando la corriente es establecida (cuando se cierra el circuito) y cuando la corriente es interrumpida (cuando se abre el circuito). Para producir una misma excitación se requiere la circulación de una intensidad constante de CC, del orden de dos a cuatro veces superior a aquellas intensidades que son necesarias en CA.



**Figura 6 (Figura 6 de IEC 479-1 de 1984)
Ocurrencia del período vulnerable de los ventrículos durante el ciclo cardíaco.
Los números indican las etapas consecutivas**

¹⁰ IEEE: "The Institute of Electrical and Electronics Engineers" de EEUU.

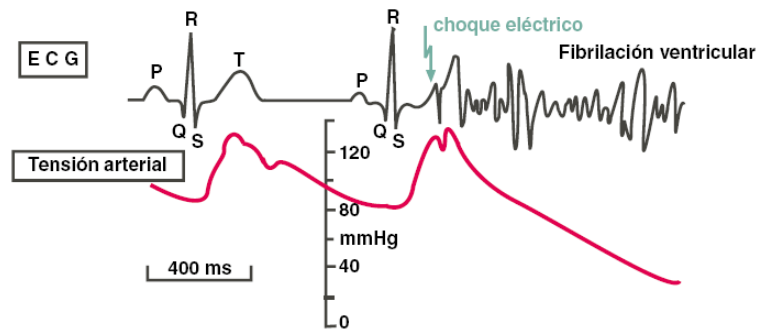


Figura 7 (Figura 7 de IEC 479-1 de 1984)
Iniciación de la fibrilación ventricular en el periodo vulnerable (onda T)
Efectos mostrados en un ECG y comportamiento de la presión (tensión) arterial

Entre los nuevos conceptos que el documento IEC 479-1 de 1984 introdujo, está el llamado **Factor de equivalencia entre corriente continua y corriente alterna (k)**, que se lo define como la relación de la **CC** a su equivalente valor eficaz de **CA** que tenga la misma probabilidad de provocar la fibrilación ventricular.

Y para certificar la diferente acción de la **CC** y de la **CA** se indica que para corrientes de choque de duración superior a un ciclo cardíaco el factor de equivalencia k es aproximadamente:

$$k = \frac{I_{CC \text{ FIBR. VENTRIC.}}}{I_{CA \text{ v.ef. FIBR. VENTRIC.}}} = \frac{300 \text{ mA}}{80 \text{ mA}} = 3,75$$

Si bien este ejemplo numérico aparece en la edición 1984, los datos para calcular el mismo no surgen claramente de dicha edición de IEC, ya que en la misma se graficaron las curvas para los diferentes porcentajes de probabilidad de fibrilación ventricular sólo para CA, mientras que en CC sólo se graficó el comienzo de la probabilidad de fibrilación ventricular. En la figura 5 mostrada anteriormente se puede comprobar que la probabilidad de fibrilación superior al 50 % en CA se obtiene en la intersección del tiempo de 10000 ms con la curva C3. Allí se comprueba que la fibrilación ventricular se produce con 80 mA. Pero en la figura 8 que da las curvas para CC, IEC no indica la curva para un % de fibrilación superior al 50 %, por lo que el valor de 300 mA en CC para 10000 ms en la intersección con la curva C3 no estaba disponible en esa edición.

Esto se aclara en la edición IEC 479-1 de 1994 donde se indica el gráfico completo para CC y de allí sí se obtienen los 300 mA que se utilizan para el cálculo del factor de equivalencia (corriente continua en el cuerpo a los 10 segundos y con una probabilidad de fibrilación ventricular del 50 %).

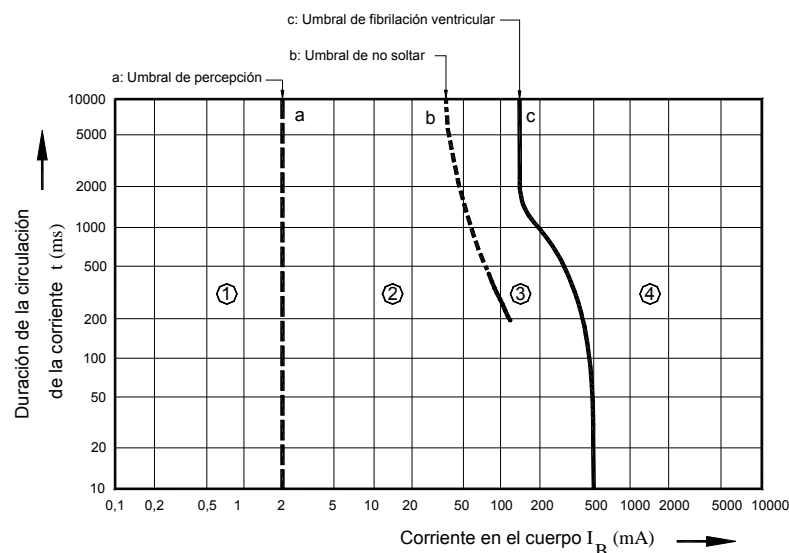


Figura 8 (Figura 8 de IEC 479-1 de 1984)
Zonas tiempo-corriente de los efectos de la corriente continua sobre las personas

Las zonas de la Figura 8 (Figura 8 de IEC 479-1 de 1984) que indicadas arriba, se describen y resumen en el siguiente cuadro:

Zona	Efecto fisiológico
Zona 1	Habitualmente ninguna reacción.
Zona 2	Habitualmente ningún efecto fisiológico peligroso.
Zona 3	Habitualmente ningún daño orgánico. Perturbaciones reversibles en la formación y propagación de impulsos en el corazón, aumentando con el valor de la corriente y el tiempo.
Zona 4	Además de los efectos de la zona 3, existe probabilidad de fibrilación ventricular. También pueden ocurrir efectos patofisiológicos (aumentando con la corriente y con el tiempo) tales como quemaduras graves.

La figura anterior indica con relación a la fibrilación ventricular, los efectos de la corriente ascendente en un trayecto mano izquierda a ambos pies.

En la misma figura, para tiempos menores de 500 ms, los límites entre las zonas 2 y 3 no se conocen.

4.11-Umbral de percepción en corriente continua

El Umbral de percepción en corriente continua depende, como en CA, de varios factores, tales como el área de contacto, las condiciones del contacto (seco, húmedo o mojado, presión, temperatura), de la duración de la circulación de la corriente y también de las características fisiológicas del individuo. En cambio, a diferencia de lo que ocurre con CA, en CC sólo se perciben sensaciones en dos momentos: cuando se establece la corriente (cierre del circuito) y cuando se interrumpe la circulación de la corriente (apertura del circuito) y no se experimenta ninguna otra sensación durante la circulación de corriente al nivel del umbral de percepción.

El umbral de percepción en CC se determinó que se produce alrededor de los 2 mA, bajo condiciones comparables a aquellas empleadas en los estudios con CA. En la figura 8 se ha graficado con una línea recta dicho umbral de percepción, que como se ve es cuatro veces más alto que el de CA.

4.12-Umbral de no soltar en CC

El Umbral de no soltar en CC, a diferencia de lo que ocurre con CA, no puede ser definido para corrientes de un valor aproximadamente inferior a 300 mA. En CC sólo se provocan dolores y contracciones musculares cuando se establece la corriente (cierre del circuito) y cuando se interrumpe la circulación de la corriente (apertura del circuito).

En el Documento IEC de 1984 se indicaba que por encima de aproximadamente 300 mA de CC podía no ser posible la acción de “soltar” o bien podía ser posible la “liberación del electrodo” en presencia de un choque eléctrico, **sólo después de varios segundos o minutos**.

En las posteriores ediciones de IEC, es decir en el TR 479-1 de 1994 y en la TS 60479-1 del 2005, desaparecieron las menciones a las corrientes de 300 mA, por lo que las consecuencias que planteaban dichas corrientes dejaron de tenerse en cuenta en este **Umbral** y en particular en la edición de 2005 IEC pasó a definir este umbral como **“Umbral de inmovilización y de no soltar”**.

4.13-Umbral de fibrilación ventricular producido por la CC,

El Umbral de fibrilación ventricular producido por la CC, de la misma forma que se indicaba para CA, depende tanto de parámetros fisiológicos como de parámetros eléctricos.

Experimentos realizados sobre animales e informaciones derivadas de accidentes eléctricos mostraban en esos años que el umbral de fibrilación ventricular para una corriente descendente¹¹ era aproximadamente dos veces mayor que para una corriente ascendente¹². Este concepto sigue vigente hasta estos días incluyendo la 3ª Ed. (2005) del TS 60479-1. En la 2ª Ed. (1984) se indicaba que cuando una corriente continua circulaba entre ambas manos, (corriente transversal¹³) no era susceptible de producir fibrilación ventricular. Este criterio, en cambio, no se ha mantenido en el tiempo y las investigaciones posteriores (TR IEC 479-1 de 1994 y TS IEC 60479-1 de 2005) han indicado que, a partir de experimentos con animales, se puede producir fibrilación ventricular con corrientes transversales de valor elevado, sin que se indiquen dichos valores en los documentos IEC.

¹¹ La corriente descendente está definida en IEC 479-1 de 1984 como “la corriente continua a través del cuerpo humano para la cual los pies representan el polo negativo”.

¹² La corriente ascendente está definida en IEC 479-1 de 1984 como “la corriente continua a través del cuerpo humano para la cual los pies representan el polo positivo”.

¹³ La corriente transversal está definida en IEC 479-1 de 1984 como “la corriente que circula en el sentido transversal a través del tronco (a lo ancho) del cuerpo humano, por ejemplo entre mano y mano”.

Para choques eléctricos de duración superior a la duración del ciclo cardíaco, el umbral de fibrilación en CC es varias veces mayor que en CA. Para choques eléctricos de duración inferior a 200 ms el umbral de fibrilación es aproximadamente el mismo que para CA expresada en valor eficaz.

Por comparación con las zonas tiempo-corriente de CA (ver figura 5) se ha construido una curva separando la zona donde hay probabilidades de que se produzca la fibrilación, de la zona donde son esperables menos efectos dañinos (ver figura 8). Esta curva se aplica a las corrientes longitudinales¹⁴ ascendentes. Con una corriente longitudinal descendente, la curva debe desplazarse hacia corrientes mayores con un factor cercano a 2.

En las ediciones de 1994 y 2005 este gráfico fue modificado a partir de nuevas investigaciones y se graficaron rectas y curvas similares a las de CA pero desplazadas, en la zona de las bajas corrientes, hacia la zona de mayores corrientes poniendo en evidencia que la CC es menos dañina que la CA en esos rangos. Esto se explica por el hecho que con bajas tensiones de CC, y antes que la piel sea perforada, el efecto capacitivo de la piel limita la circulación de CC.

4.14-Otros Efectos.

Además de los efectos mencionados con CC y a la luz de los conocimientos de esos años, se mencionaban **Otros Efectos**, tales como que, con corrientes aproximadamente inferiores a 300 mA se siente una sensación de calor en las extremidades durante la circulación de la corriente. Este efecto se mantuvo válido en las ediciones posteriores de IEC 479 pero con una variante: el valor "inferior a 300 mA" fue reemplazada por "superior a 100 mA". Otro efecto que se comprobó que se manifestaba era que las corrientes transversales de hasta 300 mA circulando por el cuerpo durante varios minutos pueden provocar arritmias cardíacas reversibles, marcas de corriente, quemaduras, vértigo y a veces inconsciencia. También se comprobó que por encima de 300 mA frecuentemente se produce inconsciencia. Las ediciones de 1994 y del 2005 agregaron algunos conceptos nuevos a lo recién enunciados, producto de las nuevas investigaciones.

5-IEC/TR 479-1 Ed.3.0 del año 1994

Esta nueva Edición incorpora muchos cambios y mejoras frente a la anterior de 1984.

¿Dónde se manifiestan los cambios más importantes?

Uno de los temas nuevos, es haber definido los tipo de electrodos empleados en cada uno de los ensayos definiéndose cinco modelos de electrodos (con superficies de contacto desde 8000 mm² hasta 1 mm²).

En lo que hace a la impedancia total del cuerpo humano para un trayecto de la corriente mano a mano, para CA con corrientes de 50/60 Hz, con superficies de contacto importantes (5000 mm² a 10000 mm²) y en condiciones de piel seca, no hubo cambios significativos, y la Tabla I de IEC 479-1 de 1984, se mantuvo igual en 1994 (Tabla 5 de este trabajo y Tabla 1 de IEC 479-1 de 1994).

Una de las pocas novedades que se indicaron en esa nueva edición es que se estableció que algunas mediciones arrojaron valores entre un **10% y un 30% menores** para los **trayectos de corriente de una mano a un pie** en comparación con **los valores de mano a mano**.

Otra novedad importante es la evaluación de la impedancia del cuerpo para CA con corrientes de hasta 20 kHz. En estos nuevos estudios se indicó que debido al efecto capacitivo de la piel, a medida que la frecuencia aumenta la impedancia disminuye y apenas por encima de 5 kHz la impedancia alcanza su mínimo que es la impedancia interna Z_i .

Es oportuno prestar atención a los valores de impedancia del cuerpo de las personas comprendidas dentro de la franja del 5% de la población con menor impedancia corporal, ya que las impedancias de las personas de esa franja son (**ERAN**) las empleadas para los cálculos de la tensión de contacto, las corrientes admisibles y los tiempos de desconexión mientras estuvo vigente la edición de 1994 de IEC 479-1.

Cuando se dice *eran* es porque a partir de 2005 IEC adoptó, **para los análisis de seguridad frente a los choques eléctricos**, la impedancia de las personas comprendidas dentro de la franja del 50% de la población **debido a la confiabilidad estadística de esos valores** (ver más adelante el análisis de TS 60479-1 de 2005).

La nueva edición de 1994 que se está analizando en esta parte del trabajo incorporó una tabla (Tabla 2 de IEC 479-1 de 1994) con las Resistencias totales del cuerpo humano en CC con un trayecto de mano a mano para grandes superficies de contacto (ver Tabla 6).

¹⁴ La corriente longitudinal está definida en IEC 479-1 de 1984 como "la corriente que circula en el sentido longitudinal a través del tronco (a lo largo) del cuerpo humano, por ejemplo entre mano y pies".

Tabla 5 (Tabla 1 de IEC 479-1 de 1994)

Impedancia total del cuerpo humano Z_T para un trayecto de corriente, mano a mano, con CA 50/60 Hz, para superficies de contacto importantes

Tensión de contacto V	Valores de la impedancia total (Ω) del cuerpo humano que no son sobrepasadas por el		
	5% de la población	50% de la población	95% de la población
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
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%).

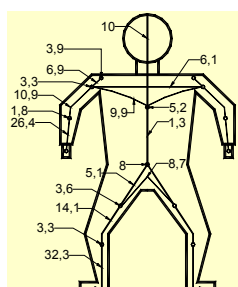
Tabla 6 (Tabla 2 de IEC 479-1 de 1994)

Resistencia total del cuerpo humano R_T para un trayecto de corriente, mano a mano, con CC para superficies de contacto importantes

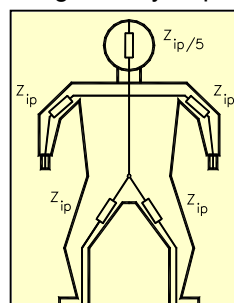
Tensión de contacto V	Valores de la impedancia total (Ω) del cuerpo humano que no son sobrepasadas por el		
	5% de la población	50% de la población	95% de la población
25	2200	3875	8800
50	1750	2990	5300
75	1510	2470	4000
100	1340	2070	3400
125	1230	1750	3000
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
Valor Asintótico	650	750	850

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%).

La figura 2 de la edición 1984 se reemplazó en 1994 por las figuras 2 y 3 que se muestran a continuación:



Los N° indican el % de la Z_i del cuerpo para la parte correspondiente del cuerpo con relación al camino de la corriente mano a pie



Z_{ip} impedancia interna parcial de una extremidad (pierna o brazo).
Nota: La Z_i desde una mano a los dos pies es aprox. el 75%. La Z_i desde las dos manos a los dos pies es del 50% y la Z_i desde las dos manos al tronco del cuerpo es del 25% de la Z_i mano a mano o mano a pie

Figura 9 (Figura 2 de IEC 479-1 de 1994)

Figura 10 (Figura 3 de IEC 479-1 de 1994)

En la edición de 1994 se mantuvo válida la figura 1 de 1984 (también figura 1 de 1994).

La figura 3 de IEC 479-1 de 1984 se mantuvo en 1994 pero pasó a ser la figura 4.

La figura 4 de IEC 479-1 de 1984 se mantuvo en 1994 pero se le agregaron los valores estadísticos de la resistencia total del cuerpo humano en corriente continua y se limitó su análisis hasta los 220 V (en el año 1984 se estudió hasta 700 V y además pasó a ser la figura 5).

La edición de 1994 incorporó una gran familia de curvas (inexistentes en la edición de 1984) para mostrar los diferentes parámetros eléctricos del cuerpo en función de ciertas variables.

Así en 1994 se han indicado los siguientes nuevos gráficos:

Figura 5 IEC 479 de 1994: Valores estadísticos de Z_T para humanos vivos mano-mano o mano-pie para U_t de hasta 220 V CA 50Hz y en CC;

Figura 6 IEC 479 de 1994: Impedancia vs frecuencia. Valores de Z_T en 10 humanos vivos mano-mano para superficie de contacto importante para U_t de 10 V CA $f= 25$ Hz a 20 kHz en piel seca;

Figura 7 IEC 479 de 1994: Impedancia vs frecuencia (1994 y 2005) Valores de Z_T en un humano vivo mano-mano para superficie de contacto importante para U_t de 25 V CA $f= 25$ Hz a 2 kHz en piel seca;

Figura 8 IEC 479 de 1994: Impedancia vs frecuencia. Valores de Z_T para el 50% población mano-mano o mano-pie para CA $f= 50$ Hz a 2 kHz U_t de 10 a 1000 V;

Figura 9 IEC 479 de 1994: Dependencia de las alteraciones de la piel humana con la densidad de corriente y la duración del paso de la corriente;

Figura 10 IEC 479 de 1994: Dependencia de la Impedancia total del cuerpo humano sobre la superficie de contacto y la tensión de contacto (50 Hz);

Figura 11 IEC 479 de 1994: Dependencia de la Impedancia total del cuerpo humano con relación a la tensión para un trayecto de corriente entre los dedos índice derecho e izquierdo con CA 50 Hz y con CC para superficie de contacto de ≈ 250 mm²;

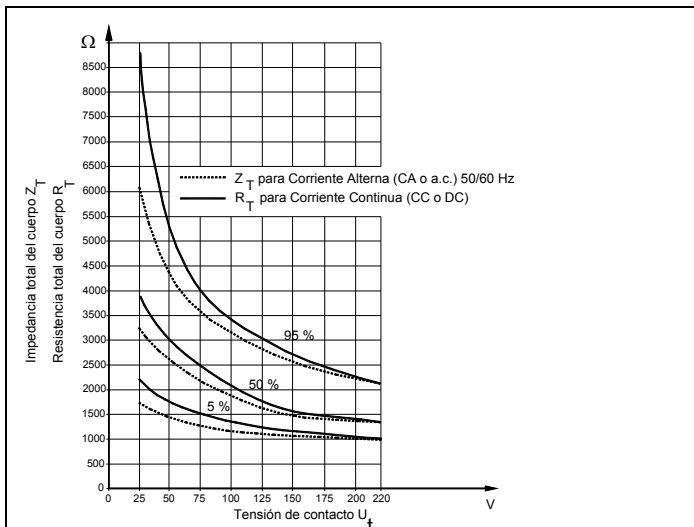


Figura 11 (Figura 5 IEC 479 de 1994)
Valores estadísticos de Z_T para humanos vivos mano-mano o mano-pie para U_t de hasta 220 V CA 50Hz y en CC

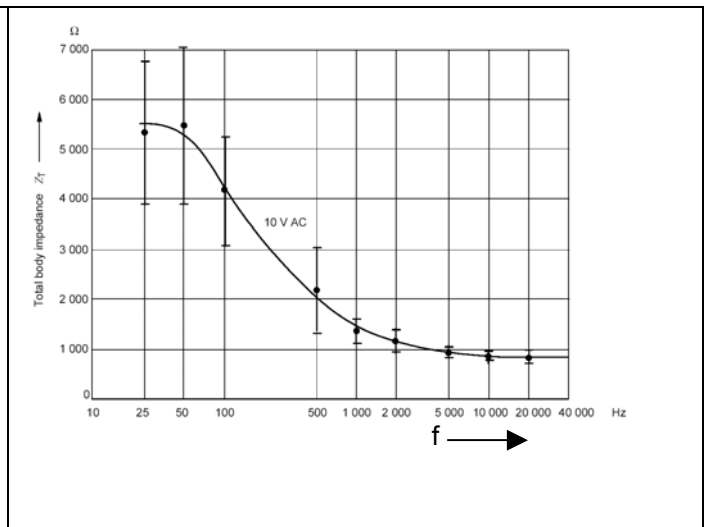


Figura 12 (Figura 6 IEC 479 de 1994)
 Z vs f . Valores de Z_T en 10 humanos vivos mano-mano para S de contacto importante para U_t de 10 V CA $f= 25$ Hz a 20 kHz en piel seca

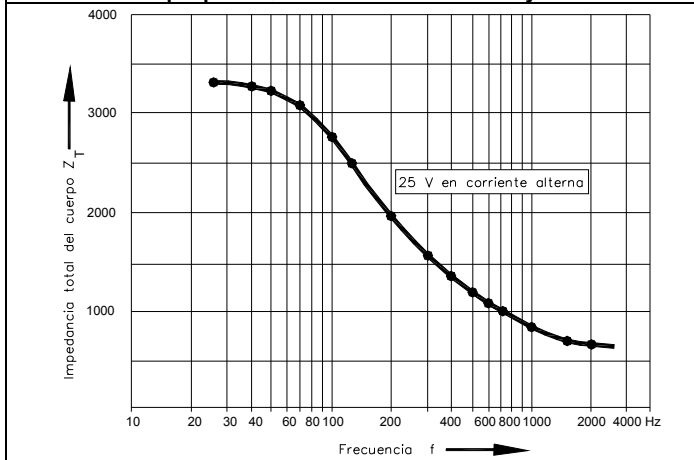


Figura 13 (Figura 7 IEC 479 de 1994)
Impedancia vs frecuencia (1994 y 2005)
Valores de Z_T en un humano vivo mano-mano para superficie de contacto importante para U_t de 25 V CA $f= 25$ Hz a 2 kHz en piel seca

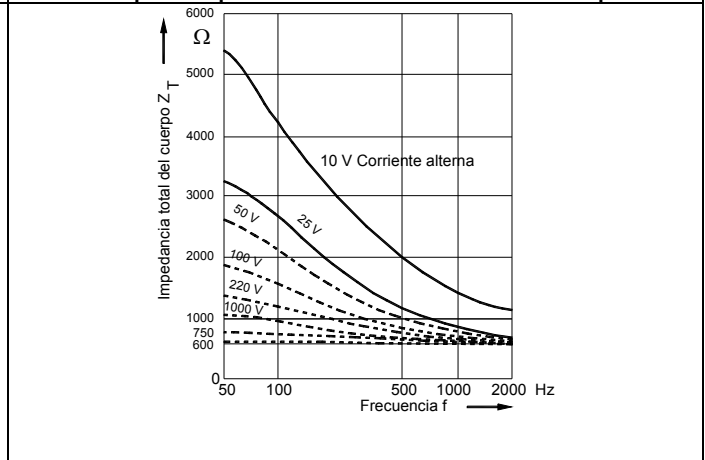


Figura 14 (Figura 8 IEC 479 de 1994)
Impedancia vs frecuencia
Valores de Z_T para el 50% población mano-mano o mano-pie para CA $f= 50$ Hz a 2 kHz U_t de 10 a 1000 V

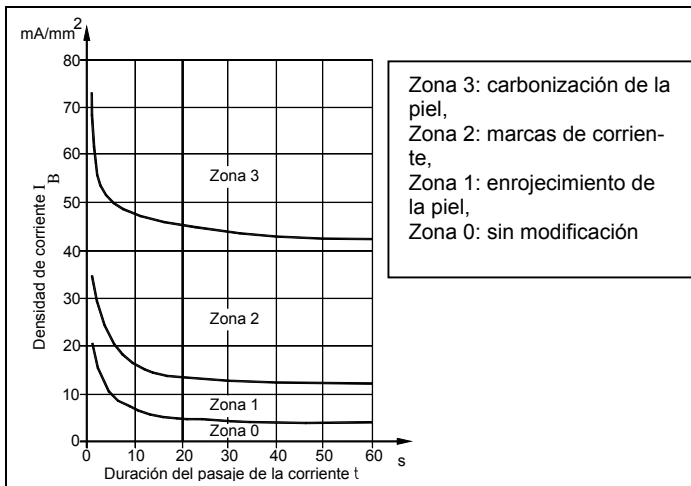


Figura 15 (Figura 9 IEC 479 de 1994)
Dependencia de las alteraciones de la piel humana con la densidad de corriente y la duración del paso de la corriente

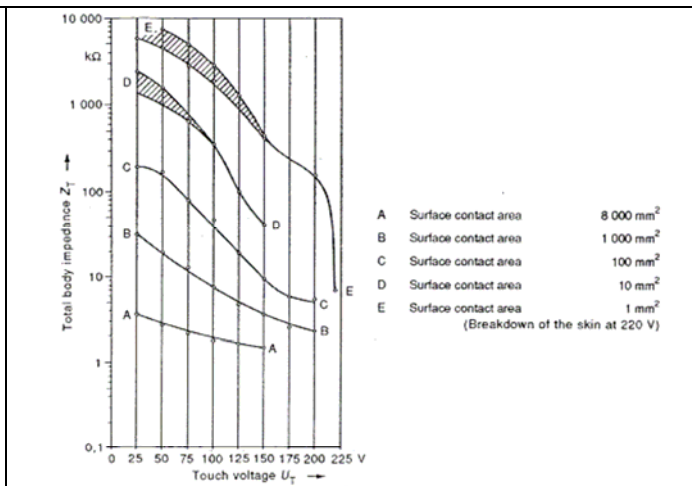
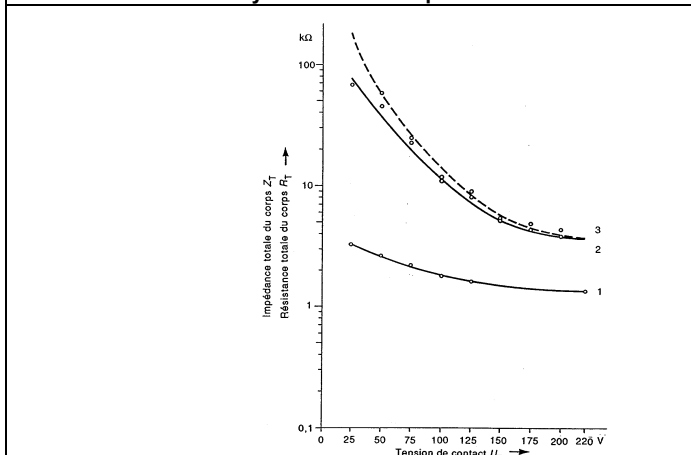


Figura 16 (Figura 10 IEC 479 de 1994)
Dependencia de la Impedancia total del cuerpo humano sobre la superficie de contacto y la tensión de contacto (50 Hz)



- 1) Impedancia total del cuerpo humano para una corriente mano a mano de acuerdo con la Tabla 1 para CA 50 Hz, para un 50 % de la población para grandes áreas de contacto ($\approx 8000 \text{ mm}^2$);
- 2) Impedancia total del cuerpo humano para trayecto de corriente de la punta del dedo índice derecho a la punta del dedo índice izquierdo con CA 50 Hz y duración del paso de la corriente 0,02 s;
- 3) Igual que en 2) pero con CC.

Figura 17 (Figura 11 IEC 479 de 1994).- Dependencia de la Impedancia total del cuerpo humano con relación a la tensión para un trayecto de corriente entre los dedos índice derecho e izquierdo con CA 50 Hz y con CC para superficie de contacto de $\approx 250 \text{ mm}^2$

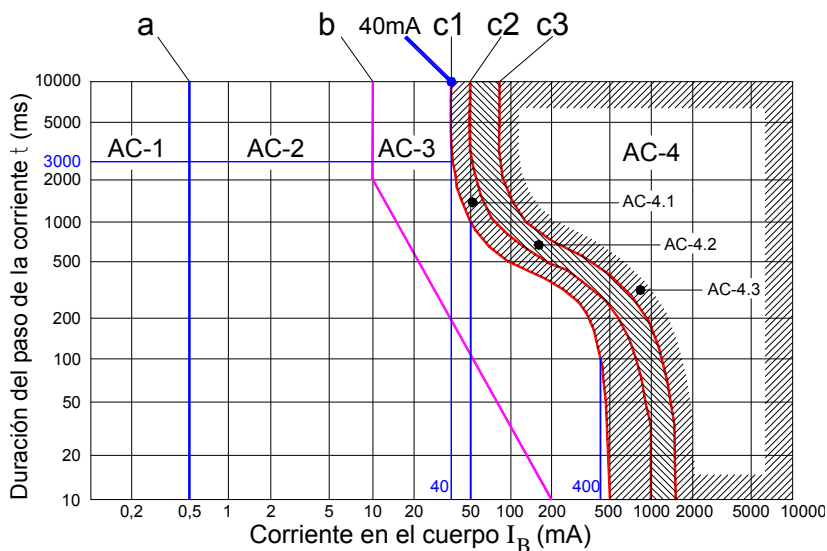


Figura 18 (Figura 14 de IEC 479-1 de 1994) - Zonas Tiempo/corriente de los efectos de la CA de 15 Hz a 100 Hz mano izquierda a dos pies

En la edición de 1994 los umbrales de percepción, tanto para CA como para CC, dejaron de ser estimados y en cambio pasó a ser evaluado el “**umbral de reacción**” que se lo definió como “**el valor mínimo de la corriente que provoca una contracción muscular involuntaria**”. En CA al umbral de reacción se le adjudicó el valor de 0,5 mA.

El umbral de no soltar en CA se mantuvo en 10 mA en 1994 al igual que en 1984, pero se modificó la curva b que separa la zona 2 de la zona 3.

Ello se puede contrastar observando la Figura 5 (Figura 5 de IEC 479-1 de 1984), que se graficó al comienzo de este trabajo con lo que se visualiza en la Figura 18 (Figura 14 de IEC 479-1 de 1994) mostrada unas líneas atrás.

Esas dos figuras (5 y 18) se repiten a continuación para facilitar la comparación (Zonas Tiempo/corriente de los efectos de la CA de 15 Hz a 100 Hz mano izquierda a dos pies).

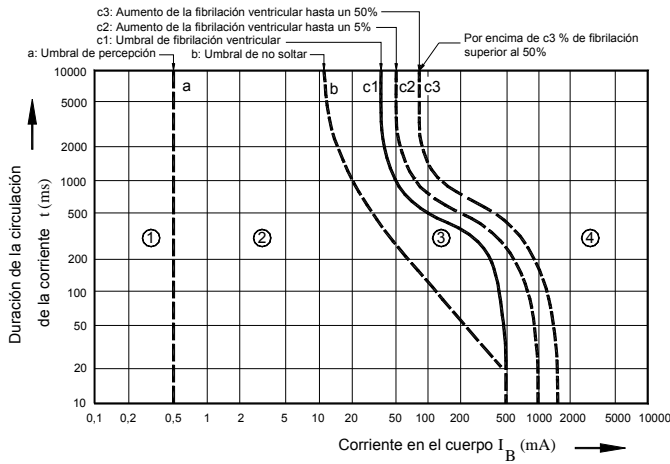


Figura 5 (Figura 5 de IEC 479-1 de 1984 Zonas Tiempo/corriente de los efectos de la CA de 15 Hz a 100 Hz mano izquierda a dos pies

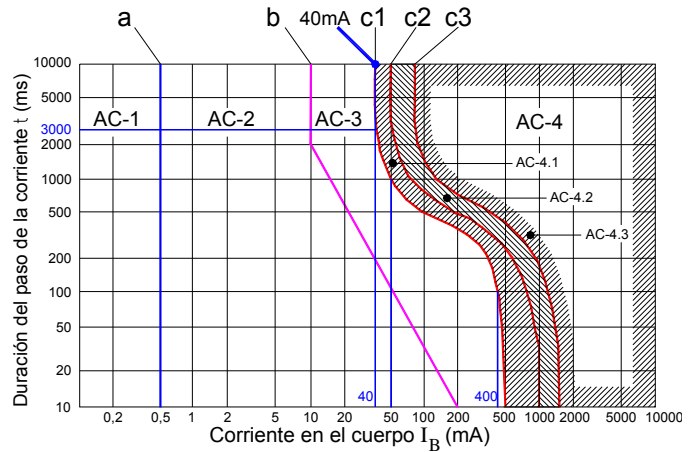


Figura 18 (Figura 14 de IEC 479-1 de 1994 Zonas Tiempo/corriente de los efectos de la CA de 15 Hz a 100 Hz mano izquierda a dos pies

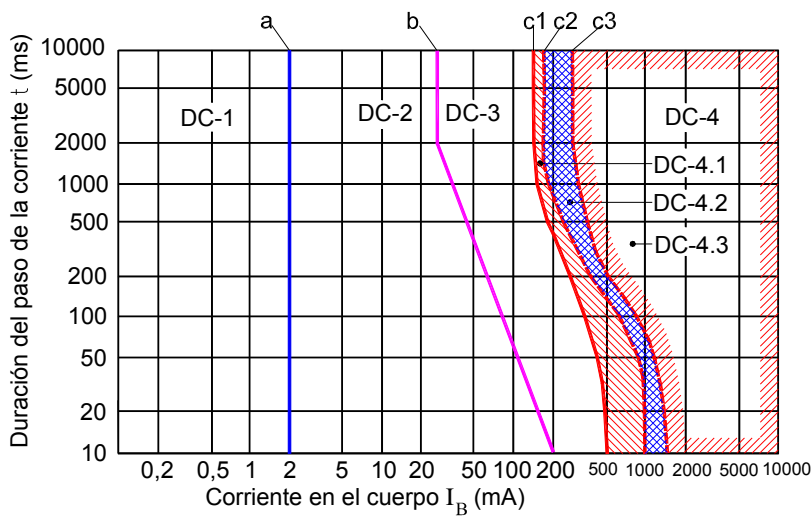


Figura 19 (Figura 15 de IEC 479-1 de 1994). Zonas Tiempo/corriente de los efectos de la CC de mano izquierda a dos pies

Los umbrales de fibrilación ventricular en CA y su interpretación entre lo establecido en 1984 y 1994 no han mostrado diferencias, como se visualiza en los gráficos anteriores.

En cambio, las Zonas Tiempo/corriente que definen los efectos de la CC mostraron, en algunos aspectos, grandes cambios entre lo conocido hasta 1984 y lo planteado en 1994 (ver Figura 19, o Figura 15 de IEC 479-1 de 1994).

Los gráficos para CC de 1984 y de 1994 se muestran para su comparación, a continuación:

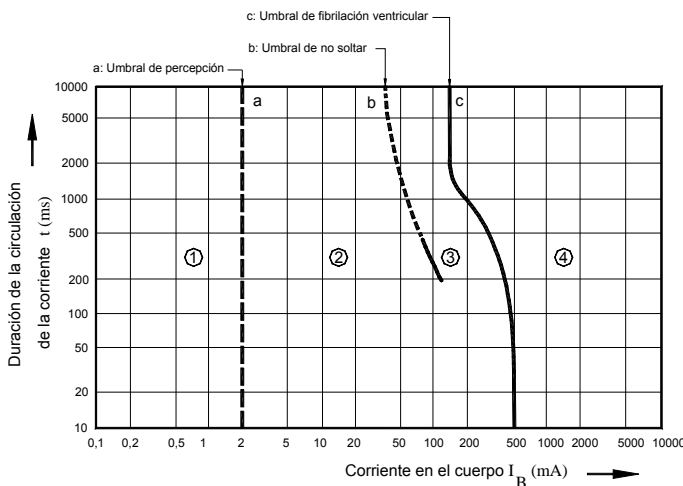


Figura 8 de IEC 479-1 de 1984. Zonas Tiempo/corriente de los efectos de la CC de mano izquierda a dos pies

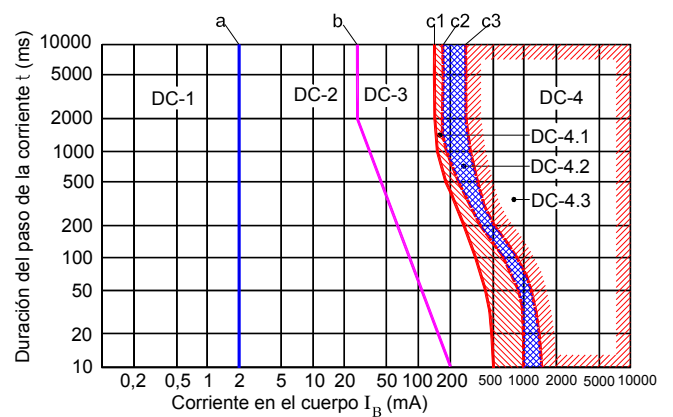


Figura 15 de IEC 479-1 de 1994. Zonas Tiempo/corriente de los efectos de la CC de mano izquierda a dos pies

Como se ha dicho antes para CA, en la edición de 1994 para CC tampoco se midió el valor del umbral de percepción y en cambio se evaluó el "Umbral de reacción" y a este umbral se le adjudica el valor de 2 mA que en la edición anterior se había establecido para el umbral de percepción.

El “**Umbral de no soltar**” en CC también sufrió cambios en 1994. En la edición de 1984 se indicaba que no podía ser definido para corrientes de un valor cercano e inferior a 300 mA y se indicaba también que por encima de aproximadamente 300 mA de CC podía no ser posible la acción de “soltar” o bien podía ser posible la “liberación del electrodo” en presencia de un choque eléctrico, sólo después de varios segundos o minutos. En 1994 desaparecieron las menciones a las corrientes de 300 mA, por lo que las consecuencias que planteaban dichas corrientes dejaron de tenerse en cuenta en este **Umbral a partir de 1994** y solo se mantuvo el criterio de que en CC no se puede establecer el umbral de no soltar y que sólo se provocan dolores y contracciones musculares cuando se establece la corriente (cierre del circuito) y cuando se interrumpe la circulación de la corriente (apertura del circuito).

Se verificó también en los estudios que se llevaron a cabo para arribar a la edición 1994, un cambio importante en la curva **b** que separa la **zona 2** de la **zona 3**, como se visualiza en los gráficos anteriores.

En cuanto al “**Umbral de fibrilación ventricular**” en CC, en la edición de 1994 se mantuvieron los principales conceptos de la edición 1984, pero donde se manifestó el principal cambio es en la curva **c**.

En la **edición 1984**, como ya indicamos oportunamente se decía que “Por comparación con las zonas tiempo-corriente de CA se ha construido una curva separando la zona donde hay probabilidades de que se produzca la fibrilación, de la zona donde son esperables menos efectos dañinos (ver Figura 8 de IEC 479-1 de 1984). Esta curva se aplica a las corrientes longitudinales ascendentes. Con una corriente longitudinal descendente, la curva debe desplazarse hacia corrientes mayores con un factor cercano a 2.”

En 1994 se estableció de forma similar que “Por analogía con las zonas tiempo/corriente en corriente alterna, se han establecido unas curvas por adaptación de los resultados obtenidos sobre sujetos humanos. Estas curvas son validas para una corriente longitudinal ascendente. Con relación a la fibrilación ventricular (observando la figura 15 de IEC 479-1 de 1994) se indica que por debajo de la curva c_1 , no es posible que se produzca la fibrilación. Las curvas c_2 y c_3 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”.

6-IEC/TS 60479-1 Ed.4.0 del año 2005

En el 2005 como ya se anticipó, IEC publicó una nueva edición del documento donde se estudia el efecto de la corriente sobre el cuerpo humano. Esa nueva edición, que es la 4ª, es la vigente al día de la fecha, y pasó a llamarse TS 60479-1 (TS significa Technical Specification).

¿Cuáles son los principales cambios?

- 1) La adopción, para los análisis de seguridad frente a los choques eléctricos, de los valores de la impedancia total del cuerpo humano que no son sobrepasados por el 50% de la población, debido a la confiabilidad estadística de esos valores. En las ediciones anteriores se empleaba la franja poblacional cuyos valores de la impedancia total del cuerpo humano no eran sobrepasados por el 5% de la población (es decir que antes se consideraban a las personas con menor impedancia corporal para ponerse más del lado de la seguridad);
- 2) Estudio de las impedancias en condiciones de piel seca, piel húmeda (o mojada) y en condición de piel mojada con agua salada;
- 3) Estudio de las impedancias con superficies de contacto grandes, pequeñas y mojadas;
- 4) Obtención de nuevos valores de impedancia para ciertas tensiones de contacto;
- 5) Modificación de la curva **b** que expresa el umbral de no soltar pasando de 10 mA a 5 mA.

Entre las novedades que introdujo IEC en esta nueva edición se encuentran las definiciones de lo que se entiende por piel seca, piel mojada y piel mojada con agua salada.

- **Piel en condición seca:** Condición de la superficie de contacto de la piel de una persona viva en reposo, con relación a la humedad, bajo condiciones ambientales de interior normales;
- **Piel en condición mojada (con agua de canilla):** Condición de la piel, cuya superficie de contacto se somete durante 1 minuto al agua del suministro público (agua de la canilla) (resistencia media $\rho=3500 \Omega \text{ cm}$, $\text{pH}=7$ a 9);
- **Piel en condición mojada con agua salada:** Condición de la piel, cuya superficie de contacto se somete durante 1 minuto a una solución del 3 % de NaCl en agua (resistencia media $\rho = 30\Omega \text{ cm}$, $\text{pH} = 7$ a 9). En estas condiciones se supone que la condición de la piel mojada con agua salada, simula la condición de la piel de una persona que transpira o de una persona después de la inmersión en agua de mar.

Es interesante observar qué cambios se han considerado en la impedancia total en la nueva edición. Así por ejemplo se pueden ver en la Tabla 7 siguiente (corresponde a la Tabla 1 de la 4ª Ed. de IEC TS 60479-1 de 2005) los nuevos valores de Z_T para algunas tensiones de contacto y se los puede comparar con los tabulados en la Tabla 5 (Tabla 1 de IEC 479-1 de 1994) de páginas anteriores.

Tabla 7 - (Tabla 1 de la 4ª Ed. de IEC TS 60479-1 de 2005)
Impedancia total del cuerpo humano Z_T para un trayecto de corriente mano a mano en CA 50/60 Hz para grandes superficies de contacto en condiciones secas

Tension de contacto V	Valores de la impedancia total Z_T (Ω) del cuerpo humano que no son sobrepasados por		
	5 % de la población	50 % de la población	95 % de la población
25	1750	3250	6100
50	1375	2500	4600
75	1125	2000	3600
100	990	1725	3125
125	900	1550	2675
150	850	1400	2350
175	825	1325	2175
200	800	1275	2050
225	775	1225	1900
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1 000	575	775	1050
Valor asintótico = impedancia interna	575	775	1050
Nota 1: Algunas mediciones indican que la impedancia total del cuerpo para el trayecto de la corriente mano a pie es un poco más baja que para el trayecto mano a mano (10% a 30%).			
Nota 2: Para las personas vivas los valores de Z_T corresponden a una duración de la circulación de la corriente de alrededor de 0,1 s. Para duraciones superiores los valores de Z_T pueden disminuir (alrededor del 10 % al 20 %) y después que se completa la ruptura de la piel, Z_T se aproxima a la impedancia interna Z_i del cuerpo humano.			
Nota 3: Para los valores normalizados de tensión de 230 V (redes de distribución -3N ~ 230/400 V) cabe suponer que los valores de la impedancia del cuerpo son los mismos que para una tensión de contacto de 225 V..			
Nota 4: Los valores de Z_T están redondeados a 25 Ω .			

El cambio más significativo fue quizás el de la Z_T para 225 V. En la edición de 1994 se tenía un valor de **1000 Ω** para esa tensión y para la franja del 5% de la población (la más comprometida) y dicho valor se vino empleando todos estos años como una referencia confiable para cálculos de seguridad. Incluso la IEEE 80 lo toma como base para sus cálculos aunque en ese documento el tema se trata sin la misma profundidad que en la IEC. En la cuarta edición de la IEC 60479-1 el valor de la Z_T para 225 V y para el mismo percentil, es ahora de **775 Ω** .

Además, de la comparación de ambas tablas se puede observar que en la 4ª Ed. se agregan 3 notas (la 2, la 3 y la 4) en las que la Nota 2 es la más significativa.

Además, de la comparación de ambas tablas se puede observar que, para 25 V los valores de Z_T para el 5% y el 50 % de la población no han cambiado .

Para 50 V los estudios publicados en el 2005 arrojan una pequeña disminución cercana al 5% en ambos porcentajes de población. Para 100 V la reducción es algo mayor: aprox. 17,5% y 8% respectivamente.

Para 230 V la reducción es algo mayor todavía: 22,5% y 9,3% respectivamente.

En corriente continua los cambios que se visualizan son mayores. Para el 5% en 25V y en 50 V se observa que los valores de 2005 son algo menores que los de 1994 y que para el 50% en 25V y en 50 V se observa que los valores de 2005 son prácticamente iguales que los de 1994.

En cambio desde los 100 V CC hacia los mayores valores de tensión las resistencias publicadas en 2005 son todas menores que las publicadas en 1994, comprobándose también que a partir de 200 V VCC los valores de resistencia de la Tabla 8 (Tabla 10 de la 4ª Ed. de IEC TS 60479-1 de 2005 para CC) coinciden con los valores de impedancia de la Tabla 7 (Tabla 1 de la 4ª Ed. de IEC TS 60479-1 de 2005 para CA) .

En la edición de 2005 se define como novedad a la **inmovilización**.

Se indica que, “una inmovilización significa que los efectos de la corriente eléctrica son tales que el cuerpo humano (o una parte del cuerpo) no puede moverse voluntariamente. Los efectos sobre los músculos pueden deberse a una circulación de la corriente en los músculos afectados o en los nervios asociados o en la parte asociada del cerebro. Los valores de la corriente que causan una inmovilización dependen del volumen de los músculos afectados, del tipo de nervios vinculados y de las partes del cerebro afectadas por la corriente”.

Sobre el **umbral de no soltar** se indica que **10 mA** es un valor que puede ser tomado en cuenta para los adultos varones y **que si se debe cubrir a toda la población se deben tomar 5 mA** (en la edición de 1994 se tomaban 10 mA sin diferenciar por sexo).

Tabla 8 - (Tabla 10 de la 4ª Ed. de IEC TS 60479-1 de 2005)
Resistencia total del cuerpo humano R_T para un trayecto de corriente mano a mano en CC para grandes superficies de contacto en condiciones secas

Tension de contacto V	Valores de la resistencia total R_T (Ω) del cuerpo humano que no son sobrepasados por		
	5 % de la población	50 % de la población	95 % de la población
25	2 100	3 875	7 275
50	1 600	2 900	5 325
75	1 275	2 275	4 100
100	1 100	1 900	3 350
125	975	1 675	2 875
150	875	1 475	2 475
175	825	1 350	2 225
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050
Valor asintótico = impedancia interna	575	775	1050

Nota 1 Algunas mediciones indican que la resistencia total del cuerpo para el trayecto de la corriente mano a pie es un poco más baja que para el trayecto mano a mano (10% a 30%).

Nota 2 Para las personas vivas los valores de R_T corresponden a una duración de la circulación de la corriente de alrededor de 0,1 s. Para duraciones superiores los valores de R_T pueden disminuir (alrededor del 10 % al 20 %) y después que se completa la ruptura de la piel, R_T se aproxima a la resistencia inicial R_0 del cuerpo humano.

Nota 3: Los valores de Z_T están redondeados a 25 Ω .

En el TS 60479-1 de 2005, IEC ha incorporado una gran cantidad de tablas con la impedancia del cuerpo humano entre mano y mano para distintas tensiones (como en las tablas 7 y 8 recién mostradas) pero haciendo diferentes combinaciones: con piel seca, y superficie de contacto grande (como en la Tabla 7), con superficie media y con superficie pequeña. Lo mismo se hizo con piel mojada con agua de canilla y con piel mojada con agua salada, representando estas tablas un avance muy grande con relación a lo establecido en 1994.

El gráfico donde se aprecian los diferentes umbrales para CC en el TS del 2005 no ha sufrido cambios respecto a los de 1994 (ver figura 19 de este trabajo en páginas anteriores).

La **Figura 20 (Figura 20 de TS 60479-1 de 2005)** que se indica a continuación pone de manifiesto la nueva curva **b** en CA en la 4ª edición, donde ni el umbral de reacción ni los umbrales de fibrilación han sufrido cambios:

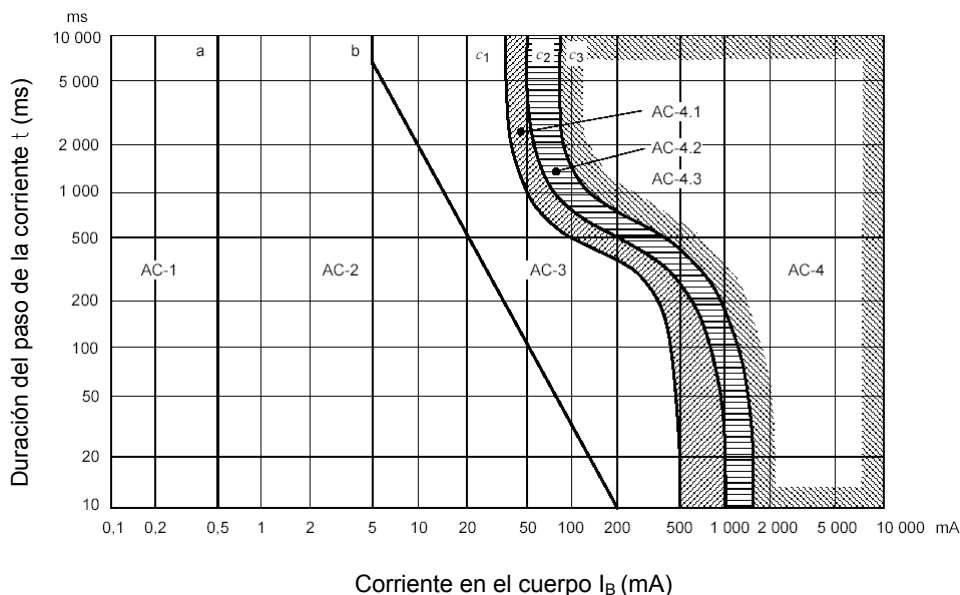


Figura 20 (Figura 20 de TS 60479-1 de 2005). Zonas Tiempo/corriente de los efectos de la CA (15 a 100 Hz) de mano izquierda a dos pies

7-Utilización de lo analizado en los cálculos de seguridad

A partir de lo visto hasta aquí, se puede plantear ahora una pregunta fundamental ¿cómo se procede para poder determinar las condiciones de seguridad de las personas en forma práctica en una instalación?

Para ello se debe determinar la tensión de contacto admisible, como una forma más práctica de evaluar la seguridad, en lugar de determinar en cada caso la corriente que circula por el cuerpo.

Como hemos visto, los efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano han sido objeto de numerosos estudios y experiencias, algunos de cuyos resultados han sido reunidos en tablas y gráficos resumidos en este trabajo.

En el TR 479-1 de 1994 se analizaron dos conceptos:

- En gráficos, mediante curvas, se observan los efectos sobre el cuerpo humano de corrientes eléctricas de diferentes magnitudes y duraciones circulando a través del cuerpo, (ver por ejemplo la Figura 18) y
- la impedancia eléctrica del cuerpo humano como una función de la tensión de contacto (ver Tabla 5).

Estos dos conceptos son los que nos permiten establecer la relación que debe existir entre la tensión de contacto presunta y su duración, para que en condiciones normales no produzca efectos fisiológicos dañinos sobre cualquier persona sometida a esa tensión de contacto.

Para comenzar con esa relación, en CA entre 15 y 100 Hz, deberíamos comenzar por hacer uso de los datos que nos proporciona la Figura 18 en la zona AC-3 (entre las líneas b y c1) dentro de la cual no son esperables daños orgánicos.

Por encima de la curva c1 (en la zona AC-4) existen, como se ha mostrado, riesgos de efectos fisiológicos peligrosos tales como fibrilación ventricular, paro cardíaco, paro respiratorio y quemaduras profundas y la probabilidad de los mismos se incrementa con la magnitud de la corriente y el tiempo hasta cerca de un 5% en la línea c2.

La situación que se planteaba en 1994 fue definir una relación tiempo-corriente adecuada dentro de la zona AC-3 que pudiera servir de base de cálculo para proyectar una curva "**tensión de contacto-tiempo admisible de contacto**" de la que se pudieran obtener límites prácticos de utilización de la **tensión de contacto y su duración**.

En 1996, en IEC se interpretó que ninguno de los límites de la zona AC-3 proporcionaban una aceptable solución al problema, dado que el límite superior, era considerado peligroso (curva **c1**, probable inicio de la fibrilación ventricular) y el límite inferior (curva **b**) era considerado como una curva exageradamente prudente. Dado que la precisión de los datos disponibles era relativa, estaba claro que la relación ideal tiempo-corriente deseada para trabajar debía incorporar un adecuado margen de seguridad entre esos datos.

Teniendo en cuenta estos puntos, IEC adoptó (en función de las experiencias recogidas) la curva designada por **Lc** en la Figura 21, debido a que ella "**cae**" en la zona "**segura**" AC3 y ofrece un adecuado margen por debajo del límite con la zona AC-4.

Se consideró que esta curva **Lc** era una curva de referencia razonable para la definición de los tiempos de corte o de desconexión de la alimentación en función de la tensión de contacto presunta y serviría para definir los métodos de protección contra los contactos indirectos por corte automático de la alimentación.

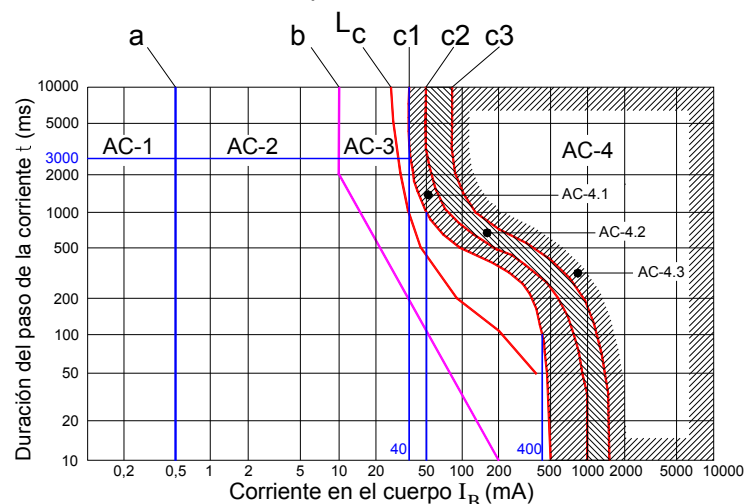


Figura 21 (Figura 14 de IEC 479-1 de 1994 con el agregado de la curva Lc de seguridad) Zonas Tiempo/corriente de los efectos de la CA de 15 Hz a 100 Hz mano izquierda a dos pies

Para poder efectuar el análisis y llegar a la relación deseada (**tensión de contacto-tiempo admisible**) se debía contar con la impedancia eléctrica del cuerpo humano para lo cual había que considerar dos aspectos importantes:

- el recorrido más probable de la corriente por el cuerpo de una persona;
- las condiciones del medio ambiente en el que se encontraba la persona, principalmente con relación a la presencia de agua y el contacto de la persona con el potencial de tierra.

Las impedancias de las diversas partes del cuerpo humano, por ejemplo de mano a mano, o de mano a pie, son las que se han indicado en este documento, sean que provengan del IEC Report 479-1 2ª Ed. o sea que provengan del IEC TR 479-1 3ª edición. Como se vio los valores dependen de las tensiones aplicadas y también se dijo que la condición o el estado de la piel es responsable en gran proporción de la impedancia. Con el fin de que los valores límites de la tensión de contacto, obtenidos a partir de los valores de la impedancia del cuerpo humano estuvieran del lado seguro, se eligieron en esos años, los menores valores de impedancia dados en la Tabla 5 (correspondiente a la **Tabla 1** de IEC 479-1 de 1994: **Valores de la impedancia total Z_T (Ω) del cuerpo humano que no es superada por el 5% de la población**) que nos daba la 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.

Para aumentar el margen de seguridad en el análisis de las situaciones que se pretendía estudiar, se supuso un recorrido de la corriente entre las dos manos y los dos pies (situación menos común que el recorrido de la corriente entre una mano y los dos pies). El recorrido elegido es el que presenta la menor resistencia y además es el que permite involucrar a los músculos del corazón en una mayor proporción.

Tomando en cuenta las condiciones encontradas en la práctica, se definió una **situación normal**, a la que se la caracterizó con las siguientes particularidades:

- persona ubicada en lugares, o sitios secos o húmedos (humedad natural y propia del cuerpo);
- persona parada sobre pisos o suelos que presentan elevadas resistencias.

Las condiciones de protección en las situaciones normales fueron establecidos teniendo en cuenta una impedancia eléctrica Z_n :

$$Z_n = 1000 + 0,5 Z_{T5\%} \text{ (en } \Omega \text{)} \quad (1)$$

Se acordó un valor de 1000 Ω para cubrir tanto la presencia de la resistencia del calzado como la del piso (los ensayos y mediciones en lugares secos dan en la práctica una amplia gama de valores; los calzados y las superficies de los pisos, típicos, tienen valores de por lo menos 1000 Ω). Se consideró que la adopción de ese valor proporcionaba un sustancial margen de seguridad.

Cuando las condiciones del medio ambiente son muy desfavorables, tal como estar expuestos a condiciones mojadas, se debe emplear una impedancia de menor valor, como luego se indica.

En la expresión (1), $Z_{T5\%}$ es el valor de la impedancia total del cuerpo establecido en el TR IEC 479-1 de 1994, (tabla 5 de este trabajo), que no es superada por el 5% de la población (es decir que se han tomado las personas más comprometidas frente al riesgo de choque eléctrico ya que registran los menores valores de Z de la tabla).

El valor de $Z_{T5\%}$ tiene en cuenta que la resistencia del cuerpo es dependiente del valor de la tensión de contacto presunta U_t ¹⁵. Cuando el cuerpo ya es recorrido por la corriente (es decir que ya se tiene aplicada una tensión de contacto), esa tensión de contacto es la tensión de contacto efectiva U_c , que debería ser medida con un voltímetro de 3000 Ω de resistencia interna para tener en cuenta que el valor de la tensión de contacto puede ser influenciado por la impedancia de la persona en contacto con las partes bajo tensión).

La U_c en general es más baja de forma tal que la hipótesis de trabajar con la U_t (tensión de contacto presunta) implica un margen de seguridad adicional en la determinación del valor de la tensión de contacto efectiva U_c .

El coeficiente 0,5 en la ecuación (1) toma en cuenta el doble contacto de las dos manos a los dos pies (el paralelo), ya que los valores de la Z del TR IEC 479-1 3ª Ed. están dados para un contacto entre una mano y un pie.

Utilizando los datos de IEC en la forma explicada arriba, la relación requerida entre la tensión de contacto presunta y el tiempo de desconexión para las situaciones normales fueron determinados como se muestra en la tabla 9 y se ilustra en la Figura 22.

Los valores específicos dados en la Tabla 9 como una función de la tensión de contacto presunta U_t son:

- la impedancia eléctrica Z_n determinada como se indicó precedentemente;
- la intensidad de corriente eléctrica I que atraviesa el cuerpo humano;
- el tiempo de desconexión t determinado por la curva Lc de la figura 21.

¹⁵ La tensión de contacto presunta U_t es la tensión de contacto más elevada que es susceptible de aparecer durante un defecto de impedancia despreciable en la instalación eléctrica y es la tensión que podría ser aplicada al cuerpo humano antes que circule la corriente de choque y se la debe medir con un voltímetro de resistencia interna de 40000 Ω .

Tabla 9 Relación entre la Tensión de Contacto Presunta y el tiempo máximo de desconexión en condiciones normales

Tensión de contacto presunta U_t (V)	Z_n (Ω)	I_n (mA)	t (s)
≤ 50	1725	29	∞
75	1625	46	0,6
100	1600	62	0,4
125	1562	80	0,33
220	1500	147	0,18
300	1460	205	0,12
400	1425	280	0,07
500	1400	350	0,04

El valor de 50 V se definió como la tensión límite convencional (U_L) para las **situaciones normales** y es el que ha sido adoptado internacionalmente (observar que para las condiciones planteadas como normales la corriente no llega a los 30 mA para 50 V).

En situaciones particulares, las influencias externas o las condiciones del medio ambiente, pueden requerir condiciones más severas para la protección de las personas que aquellas que se definieron para las situaciones normales recién descritas.

Por ello, en las instalaciones donde las personas están expuestas a condiciones mojadas (piel y piso), las condiciones de seguridad exigen tiempos de desconexión más cortos que aquellos requeridos en las condiciones normales.

Para llevar a cabo ese análisis y determinar la relación entre la tensión de contacto presunta y el tiempo máximo de desconexión para esas **situaciones particulares más exigentes** se consideran las siguientes características de influencias externas o del medio ambiente:

- lugar mojado,
- piel mojada,
- piso de baja resistencia.

Para esas condiciones particulares se toma en cuenta una impedancia eléctrica de la persona Z_p :

$$Z_p = 200 + 0,5 Z_{T5\%} \text{ (en } \Omega \text{)} \quad (2)$$

El valor de 200 Ω representa la menor resistencia del piso y considera a la persona sin calzado.

El valor de $Z_{T5\%}$ es el valor de la impedancia del cuerpo humano según TR IEC 479-1 de 1994, (tabla 5 de este trabajo), que no es superada por el 5% de la población, y el coeficiente 0,5 toma en cuenta el doble contacto de las dos manos y los dos pies (el paralelo).

La tabla siguiente da los valores de la impedancia eléctrica del cuerpo humano Z_p y de la corriente I_p que circula por el cuerpo humano, en función de la tensión presunta de contacto U_t

Tabla 10-Relación entre la Tensión de Contacto Presunta y el tiempo máximo de desconexión en condiciones particulares

Tensión de contacto presunta U_t (V)	Z_p (Ω)	I_p (mA)	t (s)
≤ 25	1075	23	
50	925	54	0,48
75	825	91	0,30
100	800	125	0,22
125	762	164	0,17
220	700	314	0,05
300	575	521	0,025

El valor de 25 V se definió como la tensión límite convencional (U_L) para las **situaciones particulares y es el que ha sido adoptado internacionalmente para ambientes con mayor riesgo (instalaciones intemperie, obradores, plantas frutihortícolas, etc.). Se debe observar que para las condiciones planteadas como particulares la corriente no llega a los 30 mA para 25 V de tensión de contacto).**

Los valores tabulados en las Tablas 9 y 10 se han graficado en la siguiente figura donde se reflejan las máximas duraciones permitidas de la tensión de contacto presunta:

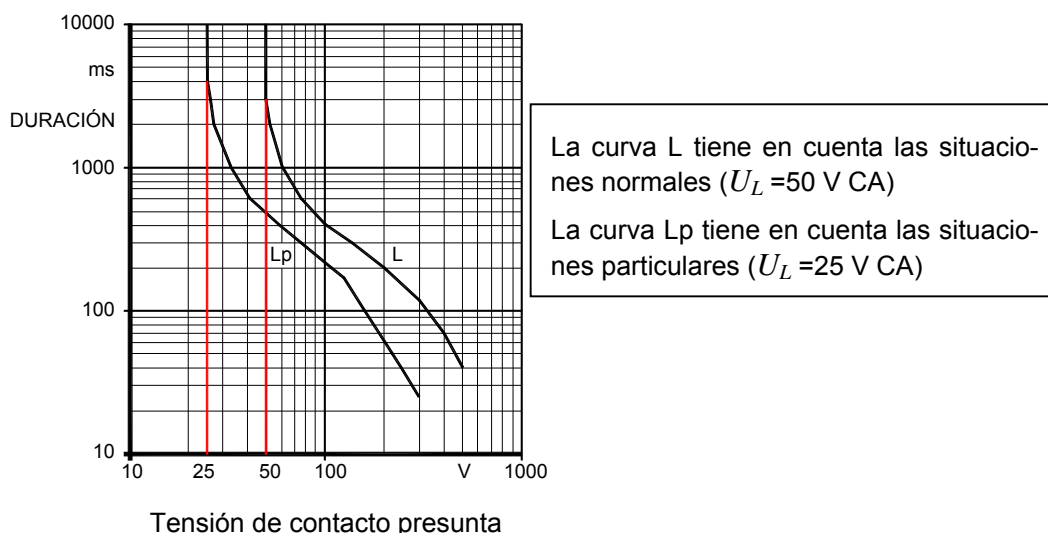


Figura 22 Máximas duraciones permitidas de la tensión de contacto presunta

A partir de estas curvas se determinan los tiempos **máximos de desconexión que se permiten** en la protección contra los contactos indirectos por corte automático de la alimentación, tanto en el esquema de conexión a tierra (ECT) TT como en el ECT TN-S, ya sea cuando se emplea como tensión convencional límite de contacto $U_L = 50$ V CA (en situaciones normales en prácticamente todo el mundo que sigue a IEC y según lo establece IEC 60364), como cuando se emplea como $U_L = 25$ V CA (en situaciones particulares en prácticamente todo el mundo que sigue a IEC y según lo establece IEC 60364). En nuestro país se adoptó como $U_L 24$ V CA.

En el ECT TT, en redes de 220 o 230 V con respecto a tierra, se considera como valor probable de la tensión de contacto presunta el valor de 200 V.

En el ECT TN-S, en redes de 220 o 230 V con respecto a tierra, se considera como valor probable de la tensión de contacto presunta el valor de 100 V.

Ingresando al gráfico con 200 V (U_i en TT) se obtienen 200 ms si se trabaja con $U_L = 50$ VCA y 60 ms si se trabaja con $U_L = 25$ VCA (o 24 V). Este último valor de **60 ms** ha sido adoptado por la Reglamentación AEA 90364 para los circuitos terminales de hasta 32 A siguiendo el criterio de IEC 60364, solo que en esa Norma IEC sólo se estableció el tiempo para 50 V CA, es decir 200 ms.

De forma similar, ingresando al gráfico con 100 V (U_i en TN-S) se obtienen 400 ms si se trabaja con $U_L = 50$ VCA y 200 ms si se trabaja con $U_L = 25$ VCA (o 24 V). Este último valor de **200 ms** ha sido adoptado por la Reglamentación AEA 90364 para los circuitos terminales de hasta 32 A siguiendo el criterio de IEC 60364.

El estudio de las situaciones particulares y de las situaciones normales, junto con sus tablas y gráficos, analizados en los párrafos precedentes han sido desarrollados a partir del TR 61200-413 de 1996, documento que ha sido retirado en el 2009 por IEC.

El último trabajo de IEC sobre los efectos de la corriente en el cuerpo humano, es como ya se mencionó, el documento TS IEC 60479-1 del año 2005, sobre el cual se han hecho ya en este trabajo varios comentarios. Quedaría por decir, en este resumen, que el enfoque que realizó IEC en ese trabajo del 2005 ha sido diferente al que realizó en 1994 en conjunto con el análisis de IEC 61200 de 1996.

En efecto; en el **TS 60479-1 de 2005 analiza cuatro ejemplos de contactos** en diferentes situaciones y empleando los parámetros obtenidos para el **50% de la población** y no para el 5% como vimos en el desarrollo del trabajo.

En todos los ejemplos se aplicó:

$$I_T = U_T / Z_T$$

Donde

I_T es la Corriente de Contacto

U_T es la Tensión de Contacto

Z_T es la Impedancia total del cuerpo para el trayecto dado de la corriente, para la superficie de contacto dada y para la condición de contacto especificada.

Los cálculos se realizaron utilizando las tablas del TS 60479-1 4ª Ed. tomando los valores dados para el 50% de la población. El percentil del 50% se adoptó debido a que se los considera, como ya se dijo, valores estadísticamente más confiables.

Dado que por razones de espacio no se volcaron todas las tablas del TS 60479-1 4ª Ed, para confirmar ciertos valores de impedancia que se utilizarán en los ejemplos se deberá recurrir a la IEC mencionada.

En el primer ejemplo se considera **piel seca, corriente manos a pies, superficie media de contacto de manos** ($\approx 1000 \text{ mm}^2$), y **superficie grande de contacto de pies**, para dos tensiones de contacto: **100 V** y **200 V**.

En el segundo ejemplo toma **las mismas tensiones y tipo de piel** que en el ejemplo anterior, **corriente mano a mano y superficies de contacto pequeñas** ($\approx 100 \text{ mm}^2$).

En un tercer ejemplo adopta $U_t = 25 \text{ V CA}$, **piel mojada con agua salada, corriente entre las dos manos y el tronco, superficie de contacto grande para las manos** ($\approx 10000 \text{ mm}^2$) y **muy grande para el tronco del cuerpo** (despreciando la impedancia de la piel). Con este ejemplo se quiere simular una persona sentada en el suelo y sosteniendo un equipo de clase III con falla, con ambas manos.

Y un cuarto ejemplo con una **tensión de contacto superior a 1000 V**, no se consideran ni superficie de contacto, ni condición de humedad, ya que en este valor de tensión esas características no alteran la resistencia del cuerpo. Se desea simular el recorrido de la corriente en una persona sentada en el suelo tocando con su cabeza un conductor con alta tensión.

En el **primer ejemplo se** llega a las siguientes conclusiones.

Tabla 11a-Valores de la impedancia total del cuerpo para un 50% de la población para un trayecto de corriente manos a pies, superficie de contacto media para las manos y grande para los pies, factor de corrección 0,8, condiciones secas, corrientes de contacto y efectos electrofisiológicos

Tensión de Contacto U_T (V)	Impedancia mano-tronco Z_{M-T} (Ω)	Impedancia tronco-pie Z_{T-P} (Ω)	Impedancia manos-pies Z_T (Ω)	Corriente de Contacto I_T (mA)	Efecto electrofisiológico para una duración de la circulación de corriente $t = 10 \text{ ms a } 30 \text{ ms}$
100	2600	520	1560	65	Sensación liviana de "sacudida"
200	1100	385	740	270	Importante corriente de choque eléctrico que implica el levantamiento del cuerpo y calambre en los brazos

Aquí se puede apreciar el hecho que con una tensión de contacto $U_T = 200 \text{ V}$ se tiene una corriente de contacto I_T cuatro veces mayor que a 100 V . Si con una tensión de contacto $U_T = 200 \text{ V}$, la duración de la circulación de corriente fuera algo superior a 200 ms , habría una alta probabilidad de fibrilación ventricular.

En el **segundo ejemplo se** llega a las siguientes conclusiones. La impedancia total del cuerpo para pequeñas superficies de contacto con piel seca y las corrientes de contacto son:

Tabla 11b-Valores de la impedancia total del cuerpo para un 50% de la población para un trayecto de corriente manos a pies, superficie de contacto pequeña para las manos y grande para los pies, factor de corrección 0,8, condiciones secas, corrientes de contacto y efectos electrofisiológicos

Tensión de Contacto U_T (V)	Impedancia total Z_T (k Ω)	Corriente de Contacto I_T (mA)	Efecto electrofisiológico para una duración de la circulación de corriente
100	40 k Ω	2,5	Sensación liviana de "sacudida"
200	5,4	37	Este valor de corriente está por debajo del umbral de fibrilación ventricular (que es de 40 mA). Para una circulación de cierta duración (algunos segundos) y luego de la ruptura de la piel la Z_T cae drásticamente y la corriente de choque eléctrico puede sobrepasar

Los valores de Z_T indicados se han obtenido de la tabla 7 de TS 60479-1 (no proporcionada en este trabajo).

En el ejemplo 3 el cálculo también es simple. De la tabla 3 de TS 60479-1 (no proporcionada en este trabajo) se obtiene para el percentil del 50% el valor de $Z_T = Z_{M-M} = 1300 \Omega$. Como se requiere el valor de impedancia entre ambas manos en paralelo con el tronco se debe aplicar la Nota de la figura 3 de este trabajo que indica para esa combinación un 25% de la impedancia mano-mano. Es decir:

$$Z_T = Z_{M-M} / 4 = 1300/4 = 325 \Omega, \text{ con el que se obtiene para } U_T = 25 \text{ V una } I_T = 77 \text{ mA.}$$

Este ejemplo indica que a pesar de haber empleado una MBTS de 25 V, ocurre un choque eléctrico con fuerte contracción muscular muy por arriba del umbral de no soltar.

En el ejemplo 4, el valor asintótico de la Z_T asociado con un recorrido de corriente de mano a mano para tensiones de 1000 V o superiores para un 5%, un 50 % y un 95% de la población (percentiles) son respectivamente 575 Ω , 775 Ω y 1050 Ω teniendo en cuenta que en esos valores de tensión los valores de Z_T son iguales para cualquier configuración de humedad y de tamaño de superficie de contacto (ver por ejemplo Tablas 7 y 8 de este trabajo).

En estos valores de tensión la impedancia de la piel es despreciable. Con el fin de emplear los porcentajes indicados en la Figura 9 de este trabajo (porcentajes de cada parte del cuerpo con relación a la impedancia mano-pie) se requiere primero ajustar los valores de la impedancia mano-mano indicados en el párrafo anterior a impedancia mano-pie. Para ello se hace uso de los porcentajes de reducción indicados en la Nota 1 de la Tabla 7 de este trabajo (del 10 al 30%). Si se toma un promedio del 20% las impedancias mano-pie resultan 460 Ω , 620 Ω y 840 Ω respectivamente.

Ahora sí se pueden aplicar los factores dados en la Figura 9 de este documento (0,10 para la cabeza y 0,013 para el tronco) para poder calcular la impedancia total Z_T de una persona situada sobre el suelo tocando un conductor de alta tensión con la cabeza es directamente:

Para el 5%

$$Z_T = 460 \times (0,10 + 0,013) = 52 \Omega$$

Para el 50%

$$Z_T = 620 \times (0,10 + 0,013) = 70 \Omega$$

Para el 95%

$$Z_T = 840 \times (0,10 + 0,013) = 95 \Omega$$

En este ejemplo se verifica que la corriente de contacto resultante es del orden de las decenas de amperes y aumentaría para mayores tensiones.

8-Conclusiones

La intención de este trabajo ha sido pasar revista a las Normas más importantes de IEC que tratan los efectos de la corriente en el cuerpo humano para las aplicaciones habituales.

No se han tratado porque no era el objetivo planteado las otras normas IEC que tratan sobre estos temas.

Alguna ya fue mencionada

IEC/TS 60479-2 (2007-05) Ed. 3.0

Effects of current on human beings and livestock - Part 2: Special aspects

Y otras tres no lo han sido:

IEC/TS 60479-3 (1998-09) Ed. 1.0

Effects of current on human beings and livestock - Part 3: Effects of currents passing through the body of livestock

IEC/TR 60479-4 (2004-07) Ed. 1.0

Effects of current on human beings and livestock - Part 4: Effects of lightning strokes on human beings and livestock

IEC/TR 60479-5 (2007-11) Ed. 1.0

Effects of current on human beings and livestock - Part 5: Touch voltage threshold values for physiological effects

Con el trabajo se ha querido mostrar como fue avanzando en pocos años el conocimiento de los efectos de la corriente en el cuerpo de los seres humanos, y como a partir de estas investigaciones comprendemos hoy con bastante claridad como reacciona nuestro organismo ante los choques eléctricos y que herramientas podemos emplear para protegernos.

9-Bibliografía

IEC Report-Publication 479 "Effects of current passing through the human body" 1ª Ed. de 1974;

IEC Report- Publication 479-1 "Effects of current passing through the human body. Part 1: General aspects" 2ª Ed. de 1984;

IEC/TR 479-1 "Effects of current on human beings and livestock Part 1: General Aspects" 3ª Ed. de 1994;

IEC/TS 60479-1 "Effects of current on human beings and livestock Part 1: General Aspects" Ed.4.0 de 2005;

IEEE 80 "Guide for Safety in AC Substation Grounding" del año 2000.