

Seguridad eléctrica: efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano

M. Villarrubia

Facultad de Física. Universidad de Barcelona

1. Contactos eléctricos

Se denomina contacto eléctrico al contacto de una persona con cualquier parte en tensión de una instalación o de un sistema eléctrico. La tensión de contacto (V_c) es la tensión que hay en el punto de contacto antes de que lo toque el individuo y que en consecuencia, éste deberá soportar cuando se produzca el contacto. En general se distinguen dos tipos de contactos: directos e indirectos (Fig. 1).

El contacto directo se origina cuando la persona toca directamente un conductor o una parte activa bajo tensión. En general, cuando una persona entra en contacto directo entre una parte activa bajo tensión y tierra o una masa unida a tierra, la tensión de contacto (V_c) adquiere un valor muy próximo a la tensión simple o de fase ($V = 230\text{ V}$), según se muestra en la figura 2

Se produce contacto indirecto cuando el individuo entra en contacto con una masa o una carcasa envolvente de un receptor que accidentalmente presen-

ta un fallo de aislamiento (Fig. 3). Debido al fallo, una fase puede entrar en contacto con la envolvente del aparato, presentando este circuito una resistencia (R_i) debida a la carcasa, pintura, material, etc., del aparato. El fallo de aislamiento provoca la aparición de una corriente de defecto (I_d) y una tensión de contacto (V_c) dadas por:

$$I_d = \frac{V}{R_i + R_T} \rightarrow V_c = R_T \times I_d = R_T \times \frac{V}{R_i + R_T} \quad (1)$$

en donde:

- I_d : intensidad de defecto producida por el fallo de aislamiento.
- V_c : tensión de contacto.
- V : tensión simple o de fase (siendo $V = U / \sqrt{3}$; $U = 400\text{ V}$; $V = 230\text{ V}$).
- R_i : resistencia del fallo de aislamiento.
- R_T : resistencia de puesta a tierra.



www.energuia.com

En este artículo se presentan los efectos de la corriente eléctrica, alterna y continua, sobre el cuerpo humano, así como los factores que influyen sobre los mismos, tales como la intensidad, tiempo de contacto, tensión de contacto, frecuencia, etc. Así mismo, se incluyen los valores de la impedancia del cuerpo y su variación respecto a las distintas variables antes citadas.

Todos estos factores deben tenerse en cuenta para garantizar las adecuadas medidas de seguridad mediante los diferentes sistemas de protección (por ejemplo uso de interruptores diferenciales).

Figura 1. Contacto directo e indirecto

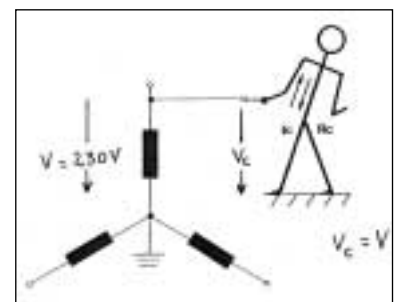
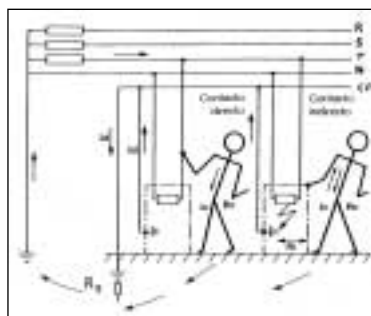


Figura 2. Tensión de contacto (V_c) en el caso de contacto directo

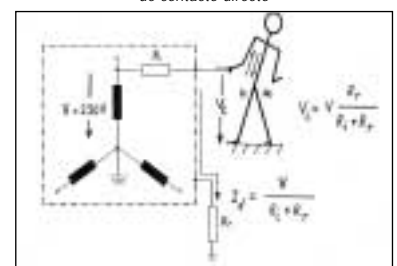


Figura 3. Tensión de contacto (V_c) e intensidad de defecto (I_d) en el caso de contacto indirecto

rra (según MIBT 023, como máximo 37 Ω en instalaciones cuya protección frente a contactos indirectos esté basada en la puesta a tierra de masas y uso de interruptores diferenciales).

Si no existiese la unión o puesta a tierra de la carcasa, R_T sería nula y en consecuencia la persona se encontraría sometida a una tensión de contacto similar a la de un contacto directo (salvo la caída de tensión a través de la resistencia R_p). Cuanto menor es la resistencia de puesta a tierra (R_T) menor es la tensión de contacto V_C a la que se ve sometido el individuo cuando toca la carcasa o masa bajo tensión. De ahí, la importancia de que la resistencia de puesta a tierra sea lo menor posible.

Además la puesta a tierra facilita la circulación de la corriente de defecto (I_d) antes de que la persona llegue a tocar la carcasa, y en consecuencia permite detectar la presencia del defecto a través del uso de interruptores diferenciales. Para cualquier tipo de los contactos anteriormente indicados, la intensidad (I_C) que circula por el cuerpo humano viene dada por la expresión (2):

$$I_C = \frac{V_C}{R_C} \quad (2)$$

en donde R_C : resistencia o impedancia del cuerpo humano (2.500 Ω según MIBT 021)

Ejemplo

a) Contacto directo

Una persona entra en contacto directo con un elemento bajo tensión ($V = 230$ V). Si la resistencia del individuo (R_C) es igual a 2.500 Ω, la intensidad que recorre el cuerpo viene dada por: $I_C = V_C / R_C = 230 / 2.500 = 92$ mA

b) Contacto indirecto

La misma persona entra en contacto con una carcasa de un aparato eléctrico que accidentalmente está bajo tensión. La resistencia fase - carcasa (R_i) tiene por valor 23 Ω y la resis-

Tabla I. Tensiones máximas de contacto según el vigente REBT

Locales secos: 50 V	Locales húmedos: 24 V	Instalaciones sumergidas: 12 V
---------------------	-----------------------	--------------------------------

tencia de puesta a tierra (R_p) vale 37 Ω. La tensión de fase: $V = 230$ V

La tensión de contacto (V_C) viene dada por la expresión (1) y vale: $V_C = 142$ V, y la intensidad que circula por el individuo, dada por (2) será: $I_C = 57$ mA.

Como se pone de manifiesto en estos ejemplos, la tensión de contacto (V_C) y la resistencia del cuerpo humano (R_C) influyen en el valor de la intensidad (I_C) que recorre el cuerpo del individuo bajo contacto. Por esta razón el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) limita la máxima tensión de contacto permitida en función de las condiciones del local, según se indica en la Tabla I. Las condiciones de mayor humedad provocan una disminución de la resistencia del cuerpo por lo que por seguridad debe disminuir la máxima tensión de contacto permitida

Próximamente está prevista la aprobación del nuevo Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT). De acuerdo a la terminología del vigente REBT, se establecen las siguientes definiciones:

- Contacto directo: contacto de una persona con una parte activa de material o equipamiento eléctrico.
- Contacto indirecto: contacto de una persona con una masa puesta bajo tensión accidentalmente.
- Corriente de contacto: corriente que pasa a través del cuerpo humano cuando se le somete a una tensión (tensión de contacto).
- Corriente de defecto o de falta: corriente que circula por causa de un defecto de aislamiento.
- Choque eléctrico: efecto fisiológico debido al paso de la corriente por el cuerpo.

- Tensión de contacto: diferencia de potencial que durante un defecto puede resultar aplicada entre la mano y el pie de una persona, que toque con la mano una masa o un elemento metálico, normalmente sin tensión. Para determinar este valor se considera que la persona tiene los pies juntos; a un metro de la masa o elemento metálico que toca y que la resistencia del cuerpo entre la mano y el pie es de 2.500 Ω.

- Tensión de defecto: tensión debida a un defecto de aislamiento entre dos masas, entre una masa y un elemento conductor o entre una masa y tierra.

2. Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano

La corriente eléctrica a su paso por el cuerpo humano produce diversos efectos que pueden provocar lesiones físicas (quemaduras, contracciones musculares, dificultades respiratorias, paros cardiacos, caídas, etc.) hasta el fallecimiento por fibrilación ventricular. Entre los efectos que produce la corriente eléctrica se distinguen:

- Asfixia: si el centro nervioso que regula la respiración se ve afectado por la corriente, puede llegar a producirse un paro respiratorio.
- Electrización: la persona forma parte del circuito eléctrico, circulando la corriente por el cuerpo. Como mínimo se presenta un punto de entrada y otro de salida de la corriente.
- Electrocutión: fallecimiento debido a la acción de la corriente en el cuerpo humano.
- Fibrilación ventricular: movimiento arrítmico del corazón

Tabla II. Efectos fisiológicos producidos por el paso de una intensidad eléctrica (50/60 Hz)

Intensidad	Efectos fisiológicos que se observan en condiciones normales
0 - 0,5 mA	No se observan sensaciones ni efectos. El umbral de percepción se sitúa en 0.5 mA
0,5 - 10 mA	Calambres y movimientos reflejos musculares. El umbral de no soltar se sitúa en 10 mA
10-25 mA	Contracciones musculares. Agarrotamiento de brazos y piernas con dificultad de soltar objetos. Aumento de la presión arterial y dificultades respiratorias.
25-40 mA	Fuerte tetanización. Irregularidades cardiacas. Quemaduras. Asfixia a partir de 4 s
40 - 100 mA	Efectos anteriores con mayor intensidad y gravedad. Fibrilación y arritmias cardiacas.
~ 1 A	Fibrilación y paro cardiaco. Quemaduras muy graves. Alto riesgo de muerte.
1 - 5 A	Quemaduras muy graves. Parada cardiaca con elevada probabilidad de muerte

que puede ocasionar el fallecimiento de la persona.

- Tetanización: movimiento incontrolado de los músculos debido a la acción de la corriente eléctrica, con pérdida de control generalmente en brazos y piernas.

Los efectos que produce la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano dependen fundamentalmente de los siguientes factores:

- Intensidad de la corriente eléctrica.
- Tiempo de contacto o de paso de la corriente.
- Tensión o diferencia de potencial.
- Resistencia o impedancia del cuerpo entre los puntos de contacto.
- Trayectoria o recorrido de la corriente a través del cuerpo.
- Frecuencia (Hz) de la corriente.
- Condiciones fisiológicas de la persona.

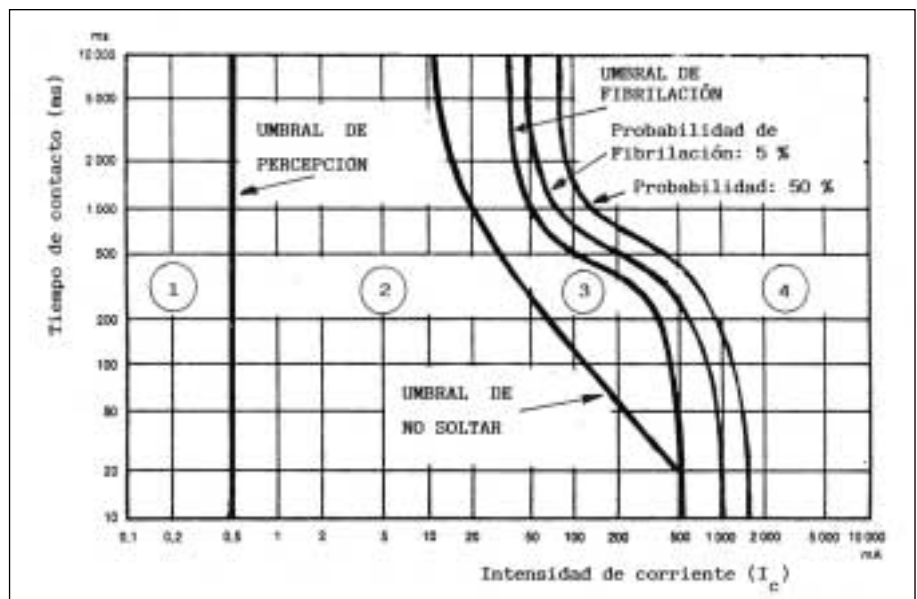
2.1. Influencia de la intensidad de la corriente eléctrica

Si R_c es la resistencia del cuerpo humano, la intensidad que circula para una diferencia de potencial V , viene dada por la ley de Ohm: $I = V/R_c$. Los efectos fi-

siológicos producidos sobre una persona adulta, con un peso mínimo de 50 kg, suponiendo que la corriente circula cuando los dos puntos de contacto corresponden a dos extremidades, para una frecuencia de 50/60 Hz, se resumen en la Tabla II.

Los efectos de la intensidad eléctrica están directamente relacionados con el tiempo de paso de la misma por el cuerpo (tiempo de exposición) y son diferentes en corriente alterna y en continua, siendo los efectos de esta última menores que los de la corriente alterna para intensidades

Figura 4. Curvas de seguridad (I-t) para corriente alterna (50-100 Hz) Trayectoria mano izquierda-pies. Estado de humedad normal BB1 (según CEI 479 - 84)



y tiempos de exposición iguales (exceptuando los efectos electrolíticos que produce la corriente continua). Los efectos de la intensidad y tiempo de exposición se ponen de manifiesto en las figuras 4 (corriente alterna 50 - 60 Hz) y figura 5 (corriente continua). Se distinguen los siguientes umbrales:

- Umbral de percepción

Es el valor mínimo de la intensidad de corriente que provoca una sensación en una persona. En corriente alterna la sensación se percibe durante toda la duración del paso de la misma mientras que en continua, la percepción se tiene sólo cuando varía la intensidad. La norma CEI 479 considera un umbral de percepción de 0.5 mA en corriente alterna y 2 mA en corriente continua. Para valores iguales de la intensidad y del tiempo de contacto o exposición, los efectos de la corriente continua son menores que los de la corriente alterna.

- Umbral de reacción

Valor mínimo de la corriente que provoca una contracción muscular.

- Umbral de no soltar

Valor máximo de la corriente que permite a una persona soltar

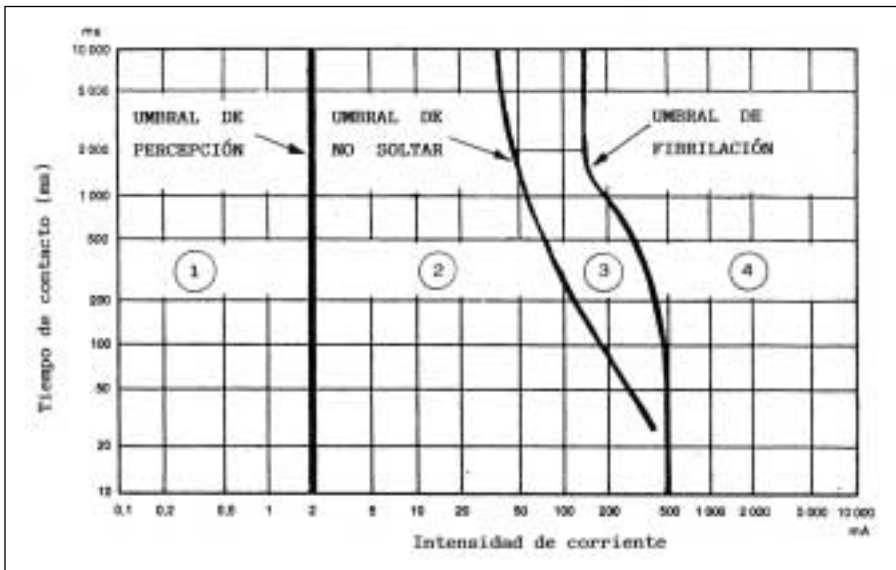


Figura 5. Curvas de seguridad (I-t) para corriente continua (50-100 Hz) Trayectoria mano izquierda-pies. Estado de humedad normal BB1 (según CEI 479 - 84)

unos electrodos. Este umbral depende del tiempo de exposición. En corriente alterna este umbral se sitúa en 10 mA para cualquier valor del tiempo de exposición y en corriente continua en unos 25 mA aunque en este caso es difícil establecer este umbral ya que sólo el inicio y final del paso de la corriente provoca el dolor y la contracción muscular.

- Umbral de fibrilación ventricular

Corresponde al menor valor de la intensidad que puede causar la fibrilación ventricular, considerada como la causa principal de la muerte por choque eléctrico. En la figura 4 se muestra para corriente alterna este umbral y la influencia sobre el mismo del tiempo de exposición. En corriente continua (Fig. 5), si la corriente es descendente (polo negativo situado en los pies de la persona), el umbral de fibrilación es aproximadamente el doble del correspondiente a corriente ascendente (polo positivo en los pies). De todas formas, tal como se puede apreciar en las figuras 4 y 5, el umbral de fibrilación para corriente continua es notablemente mayor que para corriente alterna.

2.2. Influencia del tiempo de contacto

El tiempo o duración del contacto eléctrico es junto con la in-

tensidad uno de los factores de mayor influencia en el tipo y magnitud de las lesiones que puede producir la electricidad. Según CEI 479-2 se distinguen un conjunto de curvas que definen las diferentes zonas de riesgo de la corriente eléctrica en función de la intensidad y el tiempo de exposición y que se indican en la Tabla III.

En las figuras 4 y 5 se han representado estas cuatro zonas. En dichas figuras puede observarse la importancia del tiempo de exposición. Por ejemplo los efectos del paso de una corrien-

te de 200 mA durante 50 ms son equivalentes a los de una corriente de 20 mA actuando durante 1 s.

Respecto a las quemaduras que la intensidad eléctrica provoca en la piel, en función de la densidad de corriente y del tiempo de exposición, las curvas de la figura 6 definen cuatro zonas, cuyas características se definen en la Tabla IV.

2.3. Influencia de la tensión e impedancia del cuerpo humano

La intensidad de la corriente es función directa de la tensión, pero también lo es de la impedancia o resistencia del cuerpo humano. Esta última depende de diversos factores (internos y externos) tales como:

- Tensión de contacto.
- Condiciones de contacto: presión y área de contacto.
- Condiciones fisiológicas y estado, dureza y espesor de la piel.
- Recorrido de la corriente por el organismo y estado fisiológico del mismo.

Los tejidos de la piel pueden compararse con un dieléctrico formado por la dermis y epider-

Tabla III. Efectos fisiológicos de la corriente alterna (50 - 60 Hz) sobre el cuerpo humano

Zona	Características y efectos fisiológicos
1	Hasta 0.5 mA. No se presenta reacción alguna y es independiente del tiempo de acción
2	Zona definida entre la recta $I = 0.5 \text{ mA}$ y aproximadamente la curva $I = I_0 + (10 / t)$, siendo I_0 la corriente límite del umbral de control muscular de no soltar ($I_0 = 10 \text{ mA}$) y el tiempo t expresado en segundos
3	Aunque no presenta riesgo de fibrilación ventricular en cambio presenta riesgo de asfixia, de tetanización muscular y de perturbaciones en el ritmo cardíaco, agravándose los efectos con el tiempo de exposición. El choque eléctrico es muy doloroso
4	Presenta riesgos de fibrilación ventricular agravados en función de la intensidad y del tiempo de actuación. Los efectos de corriente continua son unas cuatro veces menores que los correspondientes a corriente alterna a 50 Hz, pero sin embargo hay que tener en cuenta los fenómenos electrolíticos que puede originar la corriente continua

Tabla IV. Efectos sobre la piel derivados del paso de una densidad de corriente

Zona	Quemaduras: efectos fisiológicos
0	No hay alteración apreciable de la piel, salvo casos de largas exposiciones
1	Hinchazón y enrojecimiento alrededor del punto de contacto con el electrodo
2	Notable cambio de coloración e hinchazón con quemaduras incipientes
3	Quemadura grave de la piel, con carbonización de la misma

Tabla V. Impedancia del cuerpo humano en función de la tensión de contacto, para corriente alterna (CA) y corriente continua (CC)

Tensión de contacto (Voltios)	Impedancia (Ω) del cuerpo humano que cumplen como mínimo el porcentaje de la población que se indica					
	Trayectoria mano-mano o mano-pie, con piel seca (Estado BB1), tiempo de medida 0,1 s para 25 V y 0,03 s para 150 V y superficie de contacto 50 - 100 cm ²					
	95% de la población		50% de la población		5% de la población	
	CA(50Hz)	CC	CA(50Hz)	CC	CA (50Hz)	CC
25	1750	2200	3250	3875	6100	8800
50	1450	1750	2625	2990	4375	5300
75	1250	1510	2200	2470	3500	4000
100	1200	1340	1875	2070	3200	3400
125	1125	1230	1625	1750	2875	3000
220	1000	1000	1350	1350	2125	2125
700	750	750	1100	1100	1550	1550
1.000	700	700	1050	1050	1500	1500
∞	600	650	750	750	850	850

mis, formando un sistema capacitivo similar a un condensador.

La impedancia del cuerpo humano está muy influenciada por

las condiciones de humedad de la piel. Así, en este campo, se acostumbra a considerar tres posibles estados de humedad normalizados (CEI 364-3), definidos

Tabla VI. Estados de humedad normalizados según CEI 364-3 para determinar la resistencia del cuerpo humano

Estados de humedad	Características
BB1 (Normal)	Estado seco o húmedo. La persona tiene la piel seca o húmeda de sudoración normal sin que esté cubierta de sudor, el suelo presenta una resistencia notable y se considera el individuo calzado. En cualquier caso la corriente de contacto está limitada por una resistencia adicional a la corporal
BB2 (Reducido)	Estado mojado. La persona tiene la piel recubierta de sudor o agua, el suelo presenta una baja resistencia y no se consideran los zapatos. La corriente de contacto no está limitada por resistencias notables
BB3 (Muy reducido)	Estado de inmersión. La persona está inmersa en agua, parcial o totalmente, la resistencia de la piel es nula así como también la resistencia del suelo o paredes del emplazamiento

Figura 6. Efectos sobre la piel (quemaduras) de la corriente eléctrica en función de la densidad de corriente y del tiempo de contacto

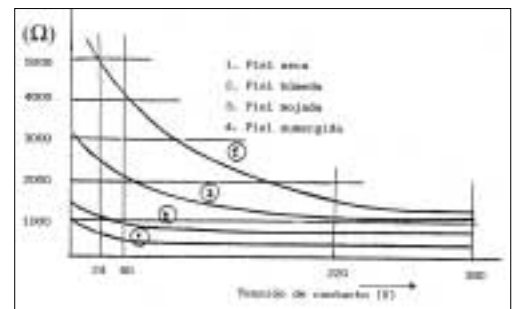
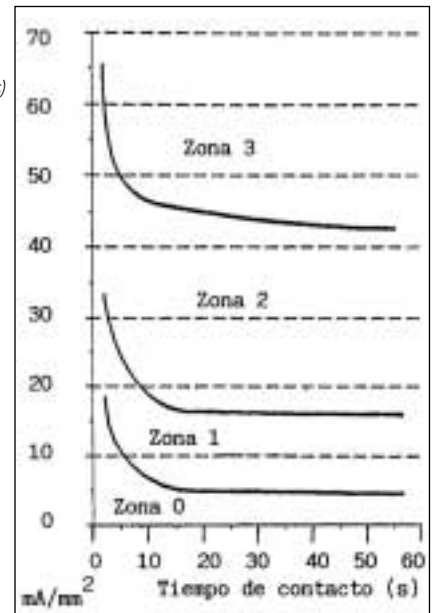
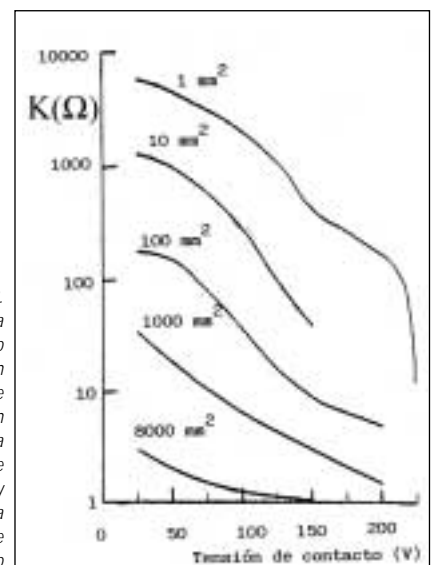


Figura 7. Variación de la impedancia del cuerpo humano en función de la tensión de contacto y del estado de la piel

según los criterios expuestos en la Tabla VI. En la figura 7 se muestra la variación de la impedancia del cuerpo humano en función para diversos estados de humedad.

Otro factor que influye sobre la impedancia del cuerpo humano

Figura 8. Impedancia del cuerpo humano en miles de ohmios en función de la tensión de contacto y de la superficie de contacto



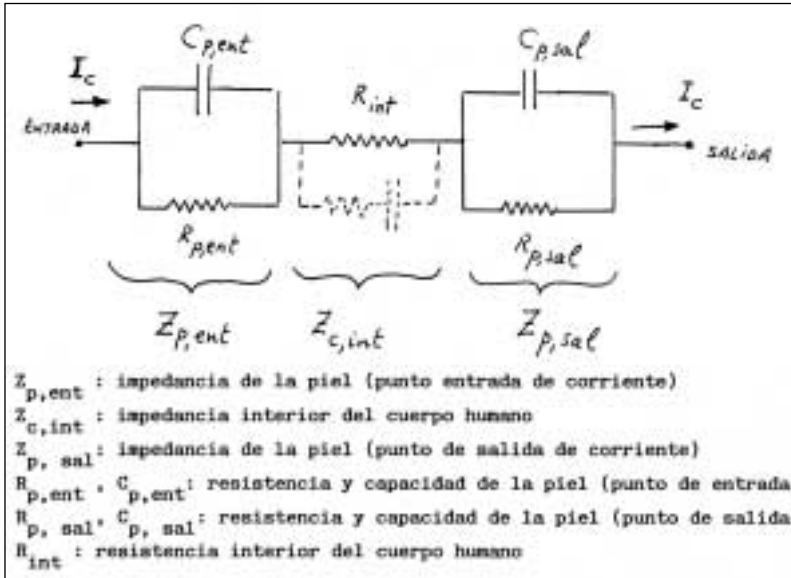


Figura 9. Modelo de impedancia corporal según CEI 479-84, entre los puntos de entrada y salida de la corriente eléctrica en el cuerpo humano

impedancias en serie, según se muestra en la figura 9:

- Impedancia de la piel correspondiente al punto de entrada de la corriente: $Z_{p,ent}$.
- Impedancia interna del propio cuerpo: $Z_{c,int}$.
- Impedancia de la piel correspondiente al punto de salida de la corriente: $Z_{p,sal}$.

Las impedancias de los puntos de entrada y salida del cuerpo humano (piel) presentan una parte resistiva y otra capacitativa, mientras que la del interior del cuerpo humano es prácticamente resistiva con un valor próximo a unos 500 Ω . Por ello, es la impedancia de la piel, muy influida por el estado de la misma, la que tiene la contribución más importante a la impedancia total del cuerpo humano. El carácter resistivo es debido a los poros de la piel mientras que el capacitativo a la membrana semiconductora. La impedancia total de la piel viene dada por la impedancia equivalente de un circuito paralelo R-C, según la expresión:

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1+(RC\omega)^2}} \quad (3)$$

En donde: R, C son la resistencia y capacidad de la piel ($\omega = 2\pi f$). En consecuencia, tal como puede deducirse de la expresión (3) la impedancia de la piel tiende a disminuir con la frecuencia (f), de tal forma que para altas frecuencias, prácticamente es despreciable, quedando como impedancia total del cuerpo, únicamente la interna del mismo (alrededor de unos 500 Ω). Los valores de la impedancia del cuerpo humano, en condiciones de estado de humedad normal (BB1) se muestran en la Tabla VII en función de la frecuencia y la tensión de contacto.

El riesgo de fibrilación disminuye para frecuencias muy altas ya que a partir de unos 100 kHz los efectos peliculares son apreciables. Para estas frecuencias no se conocen umbrales de no soltar ni de fibrilación cardiaca y sólo se aprecian efectos térmicos (quemaduras) si la tensión

es la superficie de contacto con el electrodo o parte activa bajo tensión. En la figura 8 se muestra la variación de la impedancia ($k\Omega$) en función de la tensión y área de contacto. El área de contacto tiene una notable influencia, ya que por ejemplo un contacto puntual de unos 100 mm^2 (dedo), presenta una impedancia del orden de 50 veces menor que para un contacto de unos 8.000 mm^2 (correspondiente a la superficie de toda una mano).

2.4. Influencia de la frecuencia

Las frecuencias usuales son 50 Hz en Europa, 60 Hz en USA y ambas en Japón según la zona

geográfica. Aunque la mayoría de aplicaciones de la electricidad se realizan para estos valores de la frecuencia, existen otros usos que utilizan otras frecuencias, tal como: electrónica militar y aeronáutica (400 Hz), electrosoldadura (450 Hz), electroterapia (4.000 Hz) y alimentación de potencia (1 MHz).

La impedancia del cuerpo humano depende no sólo de la tensión de contacto sino también de la frecuencia. La impedancia tiende a disminuir a medida que aumenta la frecuencia, hecho que puede explicarse según el siguiente modelo de CEI 479-84.

La impedancia total que presenta el cuerpo humano al paso de corriente se compone de tres

Tabla VII. Impedancia (Ω) del cuerpo humano en función de la tensión de contacto y de la frecuencia de la corriente (valores para el 50 % de la población)

Frecuencia (Hz)	Tensión de contacto (Voltios)					
	10 (V)	25 (V)	50 (V)	100 (V)	220 (V)	1000 (V)
50	5325	3250	2625	1875	1350	1050
100	4375	2725	2200	1725	1325	950
200	3250	2125	1650	1350	1000	825
300	2675	1675	1350	1050	850	750
400	2300	1425	1175	900	775	725
500	2000	1225	1000	825	675	675
1000	1475	825	825	675	650	650
2000	1200	675	675	650	650	650

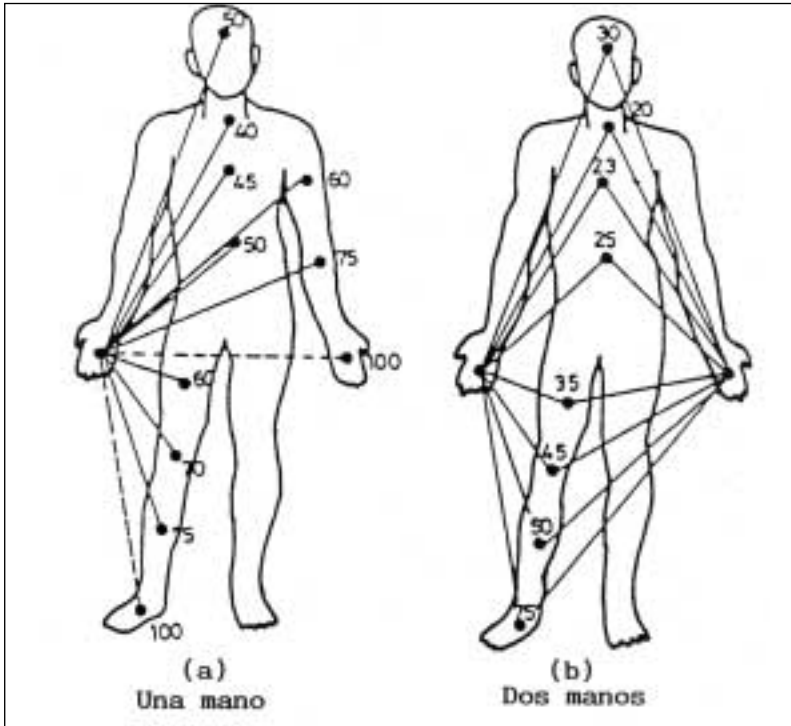


Figura 10. Valores porcentuales relativos de la impedancia del cuerpo humano para diferentes trayectorias. La trayectoria de referencia corresponde al recorrido mano-mano y se le asigna el valor 100

En la figura 10 se muestran los porcentajes del valor de la impedancia entre una mano y diferentes partes del cuerpo (Fig. 10a) y entre dos manos y distintas partes del cuerpo (Fig. 10b) respecto a la impedancia correspondiente a la trayectoria mano-mano. Así, una trayectoria mano-cabeza con un índice 30, tendrá una impedancia de tan sólo un 30% de la impedancia que corresponde a una trayectoria mano-mano.

Las curvas que indican los efectos sobre el organismo de la intensidad de corriente y el tiempo de contacto y que se muestran en las figuras 4 y 5 (corriente alterna y continua) están trazadas para el recorrido "mano izquierda - dos pies". Para otras trayectorias diferentes, la intensidad (I_{eq}) que produce un riesgo equivalente se determina a través de un factor F, denominado factor de corriente de corazón, que tiene presente la variabilidad de la impedancia del cuerpo según el recorrido de la corriente. Para el cálculo de la intensidad equivalente se usa la siguiente expresión:

$$I_{eq} = \frac{I_{ref}}{F} \quad (4)$$

en donde:

- I_{ref} : intensidad correspondiente al trayecto mano izquierda - dos pies.
- F: factor de corriente de corazón (Tabla VIII).

Así por ejemplo, una corriente de 30 mA con un recorrido mano izquierda - pecho con $F = 1,5$, presenta un riesgo equivalente a una corriente de 45 mA con un recorrido mano izquierda - dos pies, dado este último por las figuras 4 y 5.

de contacto es lo suficientemente elevada como para que pase una intensidad importante por el individuo. De hecho, se trabaja con altas frecuencias (450 kHz) en aparatos electroquirúrgicos donde se utilizan los efectos térmicos de la electricidad.

2.5. Influencia del recorrido de la corriente

Entre otros factores, la gravedad de un accidente depende de la trayectoria recorrida por la corriente eléctrica a través del cuerpo humano. En gene-

ral, el recorrido de la corriente corresponde a la trayectoria que presenta menor impedancia. Los trayectos que pasan por órganos vitales (cerebro, corazón, pulmones, etc.) presentan un mayor riesgo, por lo que los efectos de los recorridos que pasan por la cabeza y el tronco revisten mayor gravedad.

Otros factores que pueden agravar los efectos de la corriente corresponden al sexo, a la edad o bien al estado del organismo (cansancio, miedo, ingesta de alcohol, etc.)

Tabla VIII. Influencia del recorrido de la corriente por el cuerpo humano

Trayectoria de la corriente (entrada-salida)		Factor de corriente de corazón (F)
Mano izquierda - pecho		1.5
Mano derecha - pecho		1.3
Mano izquierda-pie derecho	Mano izquierda-dos pies	1
Mano izquierda-pie izquierdo	Dos manos - dos pies	
Mano derecha - pie izquierdo	Mano derecha - dos pies	0.8
Mano derecha - pie derecho		
Mano izquierda - nalgas	Mano izquierda - espalda	0.7
Mano derecha - nalgas	Dos manos - nalgas	
Mano - mano		0.4
Mano derecha - espalda		0.3

3. Valores convencionales de seguridad. Tiempos de corte

Según se ha expuesto anteriormente, los efectos de la corrien-

Tabla IX. Tiempos de seguridad en función de la tensión de contacto. Locales secos

Tensión de contacto (V)	< 50	50	75	90	110	150	220	280
Tiempo máximo de seguridad (ms)	∞	5000	1000	500	200	100	50	30

Tabla X. Tiempos máximos de corte en función de la tensión de contacto, para los estados de humedad normal BB1 y mojado BB2 según la norma NF 15100

Estado de la piel de humedad normal BB1			Estado de piel mojada BB2		
Tensión de contacto (V)	Tiempo máximo de corte (s)		Tensión de contacto (V)	Tiempo máximo de corte (s)	
	C.Alterna	C.Continua		C.Alterna	C.Continua
< 50	5	5	25	5	5
50	5	5	50	0.48	5
75	0.60	5	75	0.30	2
90	0.45	5	90	0.25	0.80
120	0.34	5	110	0.18	0.50
150	0.27	1	150	0.12	0.25
220	0.17	0.40	230	0.05	0.06
280	0.12	0.30	280	0.02	0.02
350	0.08	0.20			
500	0.04	0.10			

Tabla XI. Condiciones de seguridad recogidas en el vigente REBT

Magnitud	Instrucción	Valores			
Tensión máxima de contacto ($V_{\text{máxima de contacto}}$)	MIBT 039	24 V locales húmedos; 50 V resto locales 12 V locales sumergidos y condiciones especiales			
Receptores de clase III	MIBT 031	50 V tensión máxima			
Intensidad de contacto	MIBT 021	Máximo 1 mA			
Resistencia corporal	MIBT 021	2.500 Ω			
Tiempo de contacto	MIBT 021	Máximo 5 s			
Aislamiento suelo	MIBT 001	50.000 Ω			
Resistencia puesta a tierra	MIBT 021	$R_T \leq V_{\text{máxima de contacto}} / I_{\Delta N}$			
Resistencia del cuerpo en función de tensión de contacto	UNE 20572-80	25 V	50 V	250V	∞
		2.500 Ω	2.000 Ω	1.000 Ω	650 Ω

Tabla XII. Valores máximos de la resistencia de puesta a tierra (Ω)

Tensiones máximas de contacto según el vigente REBT	Sensibilidad del interruptor diferencial ($I_{\Delta N}$)					
	10 mA	30 mA	300 mA	500 mA	1 A	3 A
50 V	5000	1666	167	100	50	17
24 V	2400	800	80	48	24	8
12 V	1200	400	40	24	12	4

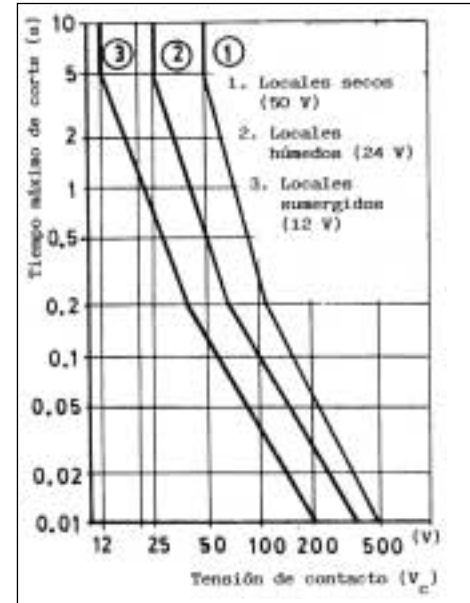


Figura 11. Tiempos máximos de corte (seguridad) en función de la tensión de contacto para las diferentes tensiones máximas de contacto permitidas por el vigente REBT (según norma NFC15.100)

te eléctrica se agravan a medida que aumenta la intensidad eléctrica y el tiempo de contacto. Por ello, a medida que la tensión de contacto (V_c) sea mayor, debe ser inferior el tiempo que puede permanecer activo el defecto, por lo que cualquier dispositivo de corte (por ejemplo un interruptor diferencial) debe cortar el circuito en un tiempo que sea cada vez menor a medida que aumente la tensión de contacto. La intensidad que puede llegar a circular por el cuerpo (I_c) viene dada por la expresión (2) y dado que la impedancia del cuerpo humano (R_c) disminuye con la tensión de contacto, la intensidad (I_c) crece mucho más rápidamente que la tensión de contacto. Los valores máximos del tiempo de seguridad o tiempo máximo admisible que puede permanecer la tensión de contacto activa vienen dados por la norma CEI 364-4 y se indican en la Tabla IX para el caso de humedad normal (corresponde a la situación de locales secos con tensiones máximas de contacto permisibles de 50 V según el vigente REBT). En la figura 11 se muestran los valores de los tiempos máximos de corte para las tensiones máximas de contacto correspondientes a las tres situaciones contempladas en el vigente REBT según las características del local (Tabla I).

Nuevos tiempos máximos de seguridad (corte) se recogen en normas posteriores, tales como la NF15100, que en general son algo más restrictivos para tensiones bajas y algo más permisivos para tensiones altas. En la Tabla X se muestran estos valores para dos estados de humedad (normal y mojado) y para corriente alterna y continua. Puede observarse que en continua se permiten tiempos de corte mayores debido a su menor peligrosidad.

4. Condiciones de seguridad en el vigente REBT

La Tabla XI recoge las condiciones más destacadas de seguridad

del vigente REBT).

Cuando la instalación incorpora interruptores diferenciales para la protección contra contactos indirectos, la resistencia a tierra (R_T) debe cumplir la condición de ser menor o igual al cociente entre la tensión máxima de contacto ($V_{\text{máxima de contacto}}$) y la sensibilidad del interruptor diferencial ($I_{\Delta N}$), es decir:

$$RT \leq \frac{V_{\text{máxima de contacto}}}{I_{\Delta N}} \quad (5)$$

La resistencia a tierra debe ser menor o igual que los valores de la Tabla XII, en función de la sensibilidad del diferencial y de la máxima tensión de contacto permitida.

5. Bibliografía

- [1] Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) e Instrucciones Complementarias (MIBT).
- [2] CEI 479-74 y CEI 479-84.
- [3] Norma UNE 20.572. Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano.
- [4] Normas NFC15100.
- [5] Catálogos técnicos de Hager, Medex y ABB.

