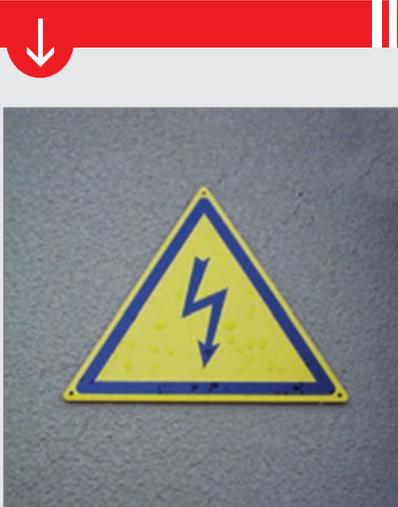


# Los riesgos de la corriente eléctrica



La utilización de la corriente eléctrica supone siempre unos riesgos para las personas, las instalaciones eléctricas y los propios receptores eléctricos.

Los dispositivos diferenciales residuales o diferenciales se encargan de proteger contra estos riesgos.

**E**l 30% de los incendios que se producen en los edificios domésticos e industriales son debidos a un defecto eléctrico. El defecto eléctrico más habitual es el que está causado por el deterioro de los aislantes de los cables de la instalación debido entre otras a estas causas:

- Rotura brusca accidental del aislante del conductor.
- Envejecimiento y rotura final del aislante de un conductor.
- Cables mal dimensionados, sometidos periódicamente a sobrecargas de corriente que recalientan excesivamente los cables en los que se acelera su proceso de envejecimiento.

Una corriente de fuga a tierra superior tan sólo a 300 mA, superpuesta a la corriente de carga normal del cable, puede efectivamente generar una sobreintensidad suficiente para que el aislante justo en el punto donde se produce la fuga se caliente, se vaya fundiendo, dejando poco a poco el conductor desnudo hasta provocar un accidente: la corriente de fuga que atraviesa el aislante deteriorado crea un arco eléctrico cuyo calor intenso inflama al aislante, y a cualquier material inflamable en contacto con el mismo, provocando así un incendio.

## Destrucción de receptores

El aislamiento de algunos receptores se deteriora a lo largo del tiempo debido a las siguientes causas posibles:

- Calor generado por el propio funcionamiento del aparato.
- Sobrecargas periódicas u ocasionales a las que puede estar sometido.
- Agresiones del entorno donde está funcionando el aparato.
- Desgaste del material y pérdidas de estanqueidad en los receptores.

Aparte de la destrucción del propio receptor existe el riesgo de electrocución para las personas e incendio de las instalaciones.

## Los efectos de la corriente eléctrica en las personas

Los efectos fisiopatológicos de la corriente eléctrica en las personas (tetanización, quemaduras externas, internas, fibrilación ventricular y paro cardíaco) dependen de diferentes factores: las características fisiológicas del ser humano afectado, el entorno (húmedo o seco, por ejemplo) y también las características de la corriente que atraviesa el cuerpo.

La función principal de los diferenciales es la protección de las personas, y por tanto es evidente que para una perfecta puesta en servicio de estos aparatos es necesario conocer los umbrales de sensibilidad de los seres humanos, y los riesgos a los que están expuestos.

El Comité Electrotécnico Internacional (IEC) ha estudiado el problema con el objetivo de unificar, a nivel mundial, las opiniones o puntos de vista. Muchos investigadores han aportado su colaboración en este campo y han contribuido a clarificar conceptos (Dalziell, Kisslev, Osypka, Bielgelmeier, Lee, Koeppen, Tolazzi, etc.).

## La impedancia del cuerpo humano

La norma internacional IEC 60479 partes 1 y 2, trata en detalle los efectos de la corriente que atraviesa el cuerpo humano.

Los daños sufridos por las personas que son atravesadas por una corriente eléctrica dependen esencialmente de su intensidad y del tiempo de paso. Esta corriente depende de la tensión de contacto que se aplica sobre la persona, así como de la impedancia que encuentra durante su recorrido a través del cuerpo humano. Esta relación no es lineal, pues esta impedancia depende del trayecto a través del cuerpo, de la frecuencia de la corriente y de la tensión de contacto aplicada, así como de la humedad de la piel.

A modo orientativo se suelen considerar los siguientes valores medios para la resistencia del cuerpo humano, a la frecuencia normal de 50 Hz:

- 1600  $\Omega$  en medio seco,
- 800  $\Omega$  en medio húmedo,
- 200  $\Omega$  si el cuerpo está sumergido.



### Los efectos de la corriente alterna en función de la intensidad

Los efectos de la corriente alterna en función de la intensidad, para frecuencias entre 15 y 100 Hz, se pueden ver resumidos en la tabla 1. Los umbrales más importantes son los siguientes:

- umbral o límite de percepción: valor mínimo de la corriente que provoca una ligera sensación sobre la persona por la que circula la corriente. Es del orden de 0,5 mA,

- umbral de "no soltar" o de agarrotamiento muscular: valor máximo de la corriente para la cual una persona que sostiene unos electrodos los puede soltar. Es del orden de 10 mA,

- umbral de fibrilación ventricular o cardíaca humana: este umbral depende de la duración del paso de la corriente. Se considera igual a 400 mA para una duración de exposición inferior a 0,1 s.

### Los efectos en función del tiempo de exposición

Los riesgos de agarrotamiento muscular, paro respiratorio o fibrilación cardíaca irreversible aumentan proporcionalmente con el tiempo de exposición del cuerpo humano a la corriente eléctrica (figura 1).

En el gráfico de la figura 1, en el que se ven los efectos de la intensidad de la corriente alterna de 15 a 100 Hz ante diferentes duraciones de paso, se deben distinguir sobretodo las zonas 3 y 4 en las cuales el peligro es real:

- Zona 3 (situada entre las curvas b y c1). Para las personas en esta situación no hay generalmente ningún daño orgánico.

Pero existe una probabilidad de contracciones musculares y de dificultades en la respiración, de perturbaciones reversibles, de la formación de impulsos en el corazón y de su propagación.

Todos estos fenómenos aumentan con la intensidad de la corriente y el tiempo.

- Zona 4 (situada a la derecha de la curva c1). Además de los efectos de la zona 3, la probabilidad de fibrilación

Tabla 1. Efecto de las corrientes eléctricas débiles en los seres humanos.

Efectos (para $t < 10$ s)	Intensidad de corriente (mA)		
	(continua)	50/60 Hz	10 kHz
Ligero cosquilleo, límite de percepción	3,5	0,5	8
Choque violento pero sin pérdida del control muscular	41	6	37
Nivel de agarrotamiento muscular (tetanización)	51	10	51
Fuerte dificultad respiratoria	60	15	61
Nivel de parálisis respiratoria		30	
Nivel de fibrilación cardíaca irreversible		75	
Paro cardíaco		1000	

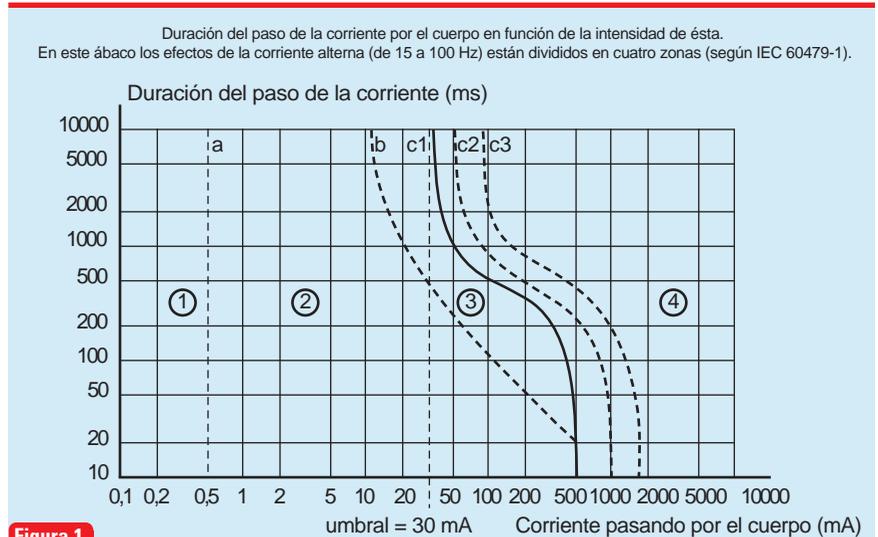


Figura 1.

ventricular es:

- de alrededor del 5 %, entre las curvas c1 y c2,
- inferior al 50 %, entre las curvas c2 y c3,
- superior al 50 %, más allá de la curva c3.

Los efectos fisiopatológicos, tales como paro cardíaco, paro respiratorio y quemaduras graves, aumentan con el valor de la intensidad y el tiempo de exposición. Por este motivo se admite que el empleo de los diferenciales con funcionamiento instantáneo con un umbral inferior a 30 mA impide alcanzar esta situación y evita estos riesgos. Efectuando una aproximación más general, la norma (basada en la norma IEC 60364) prescribe los tiempos de funcionamiento para los Dispositivos Diferenciales Residuales en función de la tensión de contacto; se recuerdan en la tabla 2.

### Tensión límite de seguridad ( $U_L$ )

Según las condiciones del entorno, particularmente en presencia o no de agua, la tensión límite de seguridad  $U_L$  (tensión por debajo de la cual no hay riesgo para las personas. según la norma IEC 60364) es, en alterna, de:

- 50 V para los locales secos.
- 25 V para los locales húmedos.
- 12 V para los locales mojados, por ejemplo, para las obras en el exterior.

En Argentina, la Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles, de la Asociación Electrotécnica Argentina establece una tensión límite para ambientes secos, húmedos y mojados de 24 VCA y 12 VCA para cuerpo sumergido (ver Anexo).



viene de página 13

### Contactos directos

Este tipo de contactos se produce cuando una persona entra en contacto directamente con elementos normalmente en tensión, son peligrosos para tensiones superiores a  $U_L$  y las principales protecciones a considerar son el distanciamiento y el aislamiento.

Para cualquier Esquema de Conexión de Tierra, en distribución terminal, a nivel nacional según la Ley de Seguridad e Higiene en el Trabajo N° 19.587 y de acuerdo a la Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles de la AEA, se debe utilizar un diferencial que pueda detectar una corriente de defecto que atraviese una persona como una protección complementaria. Su umbral de funcionamiento, según la tabla 1, debe ser inferior o igual a 30 mA y, además, su funcionamiento debe ser instantáneo puesto que el valor de la corriente de defecto, función de las condiciones de exposición, puede rebasar 1 A.

### Contactos indirectos

Cuando se produce un contacto con una masa puesta accidentalmente en tensión, el umbral de peligro viene determinado por la tensión límite de seguridad  $U_L$ .

Para que no exista peligro cuando la tensión de red es superior a  $U_L$ , la tensión de contacto debe ser inferior a  $U_L$ .

En el esquema de la figura 2 cuando el neutro de la instalación está puesto a tierra (esquema TT), con:

$R_A$  = resistencia de puesta a tierra de las masas de la instalación,

$R_B$  = resistencia de puesta a tierra del neutro,

hay que elegir un umbral de funcionamiento ( $\Delta n$ ) del diferencial tal que:

$$U_C = R_A \cdot I_d \leq U_L$$

en este caso  $I_d = \Delta n$   
por lo que  $\Delta n \leq U_L / R_A$

El tiempo de funcionamiento de la protección debe elegirse en función de la tensión de contacto  $U_C$ :

$$U_C = [R_A / (R_A + R_B)] \cdot U$$

$U$  = tensión fase-neutro

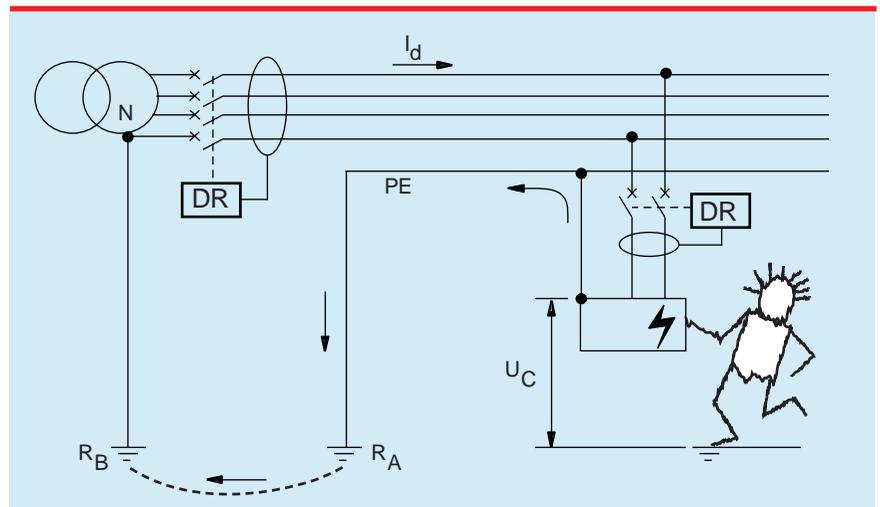
**Tabla 2.** Tiempo máximo que es posible mantener la tensión de contacto según la norma IEC60364.  
Nota: La norma IRAM 2281-3 especifica los valores válidos para Argentina coincidentes con la norma internacional. La ley de Higiene y Seguridad especifica 24 V para locales secos y húmedos. (ver ANEXO)

tensión de contacto $U_C$ (V)	Tiempo de corte máximo del dispositivo de protección (s)	
	corriente alterna	corriente continua
<b>locales o emplazamientos secos: <math>U_L \leq 50</math> V</b>		
< 50	5	5
50	5	5
75	0,60	5
90	0,45	5
120	0,34	5
150	0,27	1
220	0,17	0,40
280	0,12	0,30
350	0,08	0,20
500	0,04	0,10
<b>locales o emplazamientos húmedos: <math>U_L \leq 25</math> V</b>		
25	5	5
50	0,48	5
75	0,30	2
90	0,25	0,80
110	0,18	0,50
150	0,10	0,25
220	0,05	0,06
280	0,02	0,02

Los datos de la tabla 2 pueden representarse en forma de curvas (ver figura 3), que relacionan la tensión eficaz de contacto indirecto  $U_C$  con el tiempo máximo de corte de la protección, para CA y CC, en lugares secos (BB1),

húmedos (BB2) o mojados (BBS). Las asíntotas verticales de dichas curvas son las tensiones límite de seguridad  $U_L$  vistas anteriormente: 50 V, 25 V y 12 V, respectivamente.

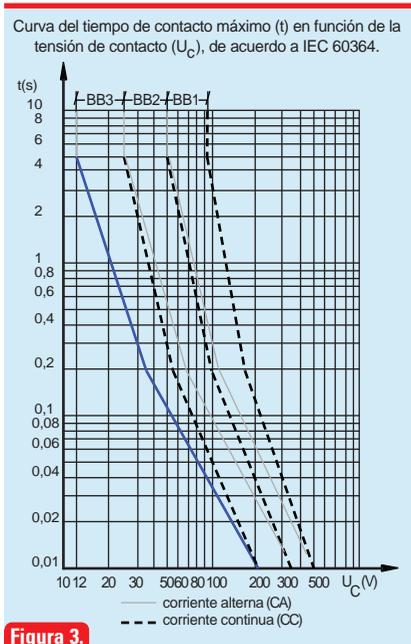
continúa en página 16



**Figura 2.** Principio de generación de la tensión de contacto  $U_C$ .



viene de página 14



### Los efectos de la corriente en función de la frecuencia

La norma internacional IEC60479 partes 1 y 2), trata sobre los efectos de la corriente alterna a diferentes frecuencias: la corriente continua, la corriente alterna hasta frecuencias de más de 10 kHz, las corrientes con formas de onda especiales y las corrientes impulsionales. A continuación se resumen los aspectos más destacados:

### Efectos de la corriente alterna de frecuencias superiores a 100 Hz

Cuanto más aumenta la frecuencia de la corriente, más disminuyen los riesgos de fibrilación ventricular; no obstante aumentan los riesgos de quemaduras. La impedancia del cuerpo humano disminuye al aumentar la frecuencia.

Generalmente se considera que las condiciones de protección contra los contactos indirectos son idénticos a 400 Hz que a 50 o 60 Hz, es decir, se pueden emplear los mismos dispositivos diferenciales a ambas frecuencias ya que aunque aumente el umbral de disparo del diferencial también disminuye la peligrosidad de la corriente, es decir, se necesita más corriente para hacer el mismo daño.

Por ejemplo, un diferencial de 30 mA nominales a 50 Hz sigue siendo igual

de seguro si se emplea en una red a 400 Hz aunque dispare a una intensidad muy superior a 30 mA.

La norma indica que el factor de frecuencia, que es la relación entre la corriente a la frecuencia  $f$  y la corriente a la frecuencia de 50/60 Hz para un mismo efecto fisiológico considerado, aumenta con la frecuencia.

La corriente produce un daño máximo a la frecuencia de 50/60 Hz. Por ejemplo, la intensidad de tetanización, que es de 10 mA a 50 Hz, pasa a 90 mA en corriente continua y a 80 mA a 5 kHz. Por otro lado, se ha constatado que de 10 a 100 kHz el umbral de percepción aumenta aproximadamente de 10 mA a 100 mA en valor eficaz.

Las normas aún no imponen una regla de funcionamiento particular aunque Schneider Electric, consciente de los riesgos potenciales que representan estas corrientes, vigila que los umbrales de los aparatos de protección que propone estén por debajo de la curva de fibrilación ventricular definida por la norma IEC 60479 de la figura 4.

### Efectos de la corriente continua

La corriente continua es menos peligrosa que la alterna. Es más fácil de soltar

la mano de objetos en tensión continua que de objetos en tensión alterna. En corriente continua, el umbral de fibrilación ventricular es mucho más elevado.

### Efectos de las corrientes con formas de onda especiales

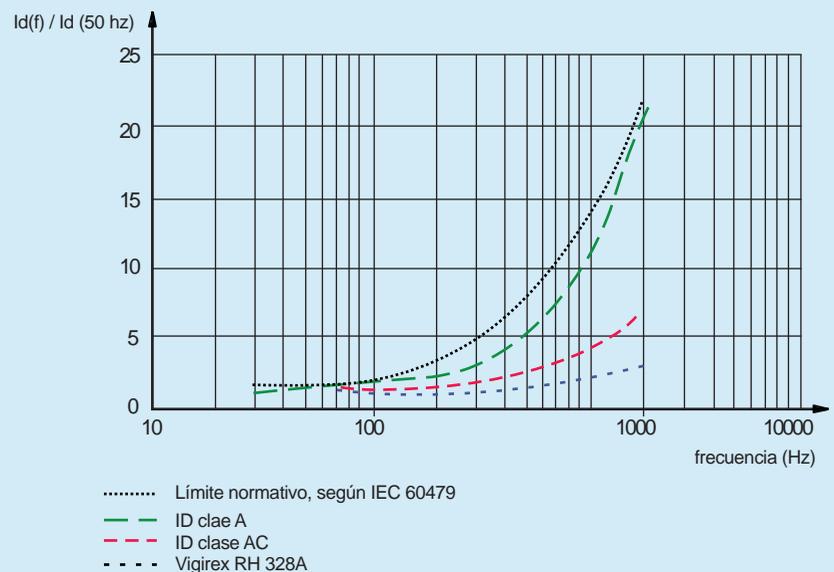
El desarrollo de la electrónica de mando, hace que se puedan crear, en caso de defecto de aislamiento, corrientes cuya forma se componga de corriente alterna a la cual se superponga una componente continua. Los efectos de estas corrientes sobre el cuerpo humano son intermedios entre los de la corriente alterna y los de la corriente continua.

### Efectos de las corrientes de impulsión única de corta duración

Proviene de las descargas de condensadores y pueden presentar ciertos peligros para las personas en caso de defecto de aislamiento.

El factor principal que puede provocar una fibrilación ventricular es el valor de la cantidad de electricidad ( $It$ ) o de energía ( $I^2t$ ) para duraciones de choque inferiores a 10 ms. El umbral de dolor depende de la carga del impulso y de su valor de cresta. De una forma general, es del orden de 50 a 100  $\cdot 10^{-6} A^2s$

Variaciones del umbral de fibrilación ventricular (según IEC 60479-2) y de los umbrales de los diferentes diferenciales de Schneider Electric regulados a 30 mA, para las frecuencias comprendidas entre 50/60 Hz y 2 kHz.



## Los riesgos de la corriente eléctrica

### Riesgos de quemaduras

Otro riesgo importante ligado a la electricidad son las quemaduras. Estas son muy frecuentes cuando se producen accidentes domésticos y sobre todo industriales (estos últimos suponen más del 80 % de las quemaduras provocadas por accidentes eléctricos).

Existen dos tipos de quemaduras:

- la quemadura por arco, que es una quemadura térmica debida a la intensa radiación calórica del arco eléctrico,
- la quemadura electrotérmica, es la única verdadera quemadura eléctrica, que es debida al paso de la corriente a través del organismo. ■

Por  
Schneider Electric  
[www.schneider-electric.com.ar](http://www.schneider-electric.com.ar)

### ANEXO

#### Clasificación de Locales

De acuerdo con la Reglamentación de la AEA, y en un todo de acuerdo con la Norma IEC 60364, se definen los tipos de local, en función de la presencia de agua, de la siguiente manera:

**Local seco:** Lugar en el cual las paredes no muestran generalmente trazas de agua, pero pueden aparecer en cortos periodos, por ejemplo en forma de vapor y que se seca rápidamente por ventilación.

**Local húmedo:** Lugar con posibilidad de caída vertical de agua ó caída de agua pulverizada, con ángulo superior a 60° con respecto a la vertical.

**Local mojado:** Lugar con posibilidad de proyecciones ó chorros de agua en todas direcciones.

**Cuartos de baños:** No están incluidos en la clasificación anterior y en la Reglamentación AEA conforman un capítulo aparte, con una clasificación por Zonas. (Sección 701)

#### Cuerpo Sumergido

En los volúmenes 0 y 1 la Reglamentación AEA establece como obligatoria la protección contra contactos directos e indirectos mediante el uso de fuentes y circuitos de Muy Baja Tensión de Seguridad (MBTS), por ejemplo piscinas, fuentes en general, juegos de agua ó similares, con luminarias o aparatos eléctricos sumergidos en el líquido (volumen 0). En dichos volúmenes solo se permite la MBTS de 12 VCA.

#### TENSIÓN DE SEGURIDAD

La ley N°19587 de Higiene y Seguridad del Trabajo establece en su capítulo 14, del Anexo VI, del Decreto Reglamentario N°351/79 en relación a la tensión de seguridad:

*... "En los ambientes secos y húmedos se considerará como tensión de seguridad hasta 24 V con respecto a tierra. En los mojados ó impregnados de líquidos conductores la misma será determinada, en cada caso, por el jefe del Servicio de Higiene y Seguridad del Trabajo de la empresa." ...*

# FACBSA

Fábrica Argentina de  
Conductores Bimetálicos S.A.

**Soldaduras copperSteel**  
IRAM 2315

**Jabalinas**  
IRAM 2309/01

**Conductores de Ao-Cu**  
IRAM 2466/7

**Parrayos**  
IRAM 2428

Exija seguridad,  
solicite materiales  
sello IRAM

**ConduWeld**

**copperSteel**

Herrera 2430 (C1295ACV) Cdad. de Bs. As.  
Tel: +54-11 4303-2121 - Fax: +54-11 4303-0666

e-mail: [facb@arnet.com.ar](mailto:facb@arnet.com.ar)  
[www.facbsa.com.ar](http://www.facbsa.com.ar)

DOMUS PUBLICIDAD / 4826-2628

