

Electricidad. Baja tensión

INTRODUCCION

Todo tipo de industria, independientemente de su volumen y actividad, dispone de suministro de corriente eléctrica, de hecho no se concibe ningún tipo de actividad fabril en la cual no se utilice energía eléctrica en mayor o menor grado. Ello ha llevado a que a este tipo de energía tan utilizada y difundida en industrias y viviendas se le haya perdido el miedo en su utilización, llegando en muchas ocasiones a hacer uso de ella sin el más mínimo conocimiento de las normas básicas de seguridad.

En este capítulo efectuamos una descripción de los riesgos inherentes al uso incorrecto de la electricidad, para posteriormente describir los sistemas usuales de protección y las revisiones periódicas a las que éstos deben ser sometidos con objeto de garantizar su correcto funcionamiento.

ACCIDENTABILIDAD

A pesar de ser la energía eléctrica una de las más utilizadas, los porcentajes de siniestralidad y la incidencia de este tipo de accidentes es muy baja frente a otros tipos de causas. Ello ha llevado a que se le pierda el respeto y a relacionar en algunas ocasiones el accidente eléctrico con el azar o la mala suerte, pero no es así. Todo accidente tiene una causa o un grupo de causas y con la electricidad ocurre lo mismo. En la Tabla 1 reflejamos la distribución de accidentes por causas con objeto, de ver la representatividad del número de accidentes eléctricos frente a otro tipo de eventos.

Como podemos apreciar, el valor porcentual del número de accidentes por corriente eléctrica respecto al número total de accidentes de trabajo es del or-

TABLA I
Accidentes por causas

Concepto	% varios años
<i>In itinere</i>	2,18
Sobreesfuerzos	15,1
Incendios	0,12
Electricidad	0,4
Otros	82,1

den de 0,4 por 100, valor que coincide con el dado por el INHST (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) para el periodo comprendido entre 1976 y 1982 (ref.: Estadísticas sobre accidentes por contacto con la corriente eléctrica en España 1983/9).

Con respecto a la mortalidad de los accidentes de tipo eléctrico, cabe indicar que es del orden de un 6 por 100, es decir que de cada 100 accidentes de trabajo mortales tan sólo seis son debidos a la electricidad; como referencia, indicar que los accidentes mortales *in itinere* son del orden de seis a siete veces superiores a los de tipo eléctrico.

Lesiones más frecuentes

La lesión más común en un accidente de tipo eléctrico la constituyen las quemaduras que representan alrededor de un 55 por 100 siendo normalmente leves; tan sólo el 2,3 por 100 están considerados como graves y un porcentaje muy pequeño inferior al 1 por 100 originarían quemaduras mortales.

Normalmente la parte del cuerpo lesionada son las manos y los ojos, siendo los porcentajes de un 43 y 20 por 100 respectivamente.

En cuanto a la forma en cómo se produjo el accidente, podemos establecer la siguiente clasificación (Tabla II):

En otras ocasiones (normalmente en las menos) el accidente será debido, no a la conducta o a los métodos de trabajo del operario, sino a algún defecto de la instalación o del sistema de protección (Tablas III y IV).

TABLA II

Contacto directo	34,5%
Contacto indirecto	17,5%
Arco eléctrico	48,0%

TABLA III
Defectos en instalaciones

Concepto	Porcentaje %
Inexistencia de puesta a tierra	15,4
Cable de puesta a tierra seccionado o no conectado	28,8
Inexistencia de dispositivos diferenciales	3,8
Fallo del dispositivo diferencial	23,1
Aislamiento de protección defectuoso	1,9
Sistema de protección contra contactos indirectos no adecuados	26,9

TABLA IV
Faltas operativas del accidentado

Causa	Porcentaje %
Sabía que existía tensión	26,8
No sabía que había tensión	9,9
Desconocía las características de la instalación	8,6
Utilización de herramientas no aisladas	11,9
Manipulación incorrecta	20,0
Otros (reposición de fusibles, instalación de dispositivos eléctricos...)	22,8

CONCLUSIONES

1. Los accidentes eléctricos representan un porcentaje muy bajo frente a otro tipo de causas.
2. La no utilización del adecuado material de protección personal como herramientas aislantes (norma MT-26), guantes (norma de homologación MT-4), ropa adecuada (art. 70 OGHST Ordenanza General de Higiene y Seguridad en el Trabajo), banquetas aislantes (norma MT-6), caperuzas aislantes, pantallas faciales de protección (sin homologar) o en su defecto unas gafas de protección ocular con cristales securizados transparentes y cerramiento lateral y superior adecuado (clasificación clase 777 según MT-16), implican que incidentes pasen a ser accidentes, produciendo quemaduras de mayor o menor grado.

3. Los porcentajes más altos en cuanto a la forma en cómo se produce el accidente se dan en los contactos directos y arcos eléctricos, ello es debido a la realización de trabajos sin desconectar la tensión o al no tomar las medidas convenientes (poca formación) para la realización de trabajos en tensión.
4. Como vemos en la Tabla III, la instalación aunque esté protegida, puede fallar, de ahí la necesidad de un mantenimiento preventivo y revisiones periódicas de los dispositivos de seguridad.
5. En un porcentaje alto (del orden de un 26,8 por 100) (Tabla IV) el operario sabía que trabajaba en tensión y efectuaba una manipulación en la instalación incorrecta; ello nos lleva a insistir en que la formación y capacitación de los operarios antes de realizar un trabajo es fundamental para evitar el accidente.

CRITERIOS LEGALES Y TECNICOS DE REFERENCIA

Las referencias legales en cuanto a seguridad eléctrica de instalaciones y equipos está contemplada entre otras en:

- Ordenanza General de Higiene y Seguridad en el Trabajo (9/3/71).
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e ITC (9/10/73).
- Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (1/12/82).
- Reglamento técnico de líneas eléctricas aéreas de alta tensión (27/12/68).
- Norma UNE-009. Clasificación de zonas.
- Normas Tecnológicas de Edificación.
- Referencias al Reglamento de Aparatos a Presión (29/5/79).
- Referencias al Reglamento de Instalaciones Frigoríficas (8/9/77).
- Referencias al Reglamento sobre gases licuados del petróleo (29/1/86).
- También se pueden utilizar a nivel de información las normas VDE-0100.
- Normas UNE 20-060-79. Herramientas manuales portátiles accionadas por motor eléctrico.
- UNE-20-416-81. Equipo eléctrico de máquinas herramientas. Hoy (EN-60204).
- UNE-20-460-90. Instalaciones eléctricas en edificios (HD-384).
- Normas UNE de obligado cumplimiento publicadas por IRANOR.
- Normas de homologación de material de protección personal, herramientas y aislantes:

- MT-29: Pértigas aislantes.
- MT-4: Guantes aislantes.
- MT-6: Banquetes de maniobra.
- MT-26: Herramientas manuales aislantes BT.

RESPONSABILIDADES

Las normas referentes a seguridad en instalaciones eléctricas, deberán ser contempladas tanto por el personal que trabaja en la propia empresa como por operarios de otras empresas que estén realizando algún tipo de trabajo en la empresa (personal externo de mantenimiento, subcontratistas, etc.).

El artículo 40 de la Ley de Infracciones y Sanciones del Orden Social, Ley 8/1988 cita al respecto:

«Los empresarios que contraten o subcontraten la realización de obras o servicios correspondientes a la propia actividad responden del incumplimiento de las obligaciones establecidas en materia de seguridad e higiene durante el periodo de vigencia de la contrata, siempre que la infracción se haya producido en el centro de trabajo del empresario principal, aun cuando afecte a los trabajadores del contratista o subcontratista».

Asimismo en: *Responsabilidades en materia de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, publicación escrita por Benigno Pendás leemos:

«El Tribunal Central de Trabajo, en repetidas sentencias, tiene declarado que el responsable de que se cumplan las medidas de seguridad adecuadas en el trabajo, es la empresa donde presta servicios el trabajador».

Como podemos apreciar, la legislación nos obliga a contemplar las normas de seguridad y a exigir que se cumplan tanto por parte de los operarios como por parte del personal externo.

Caso de ocurrir un accidente existirá una responsabilidad que incluso puede ser compartida.

En la publicación antes indicada podemos encontrar amplias referencias y jurisprudencia aplicadas al tema que nos ocupa.

DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES

Se definen a continuación una serie de conceptos a los que más adelante nos referiremos en repetidas ocasiones.

Conductores activos: Se consideran conductores activos a los conductores de fase y al neutro en corriente alterna y a los conductores polares y al compensador en corriente continua.

Contacto directo: Contacto de personas con partes activas de los materiales y equipos.

Contacto indirecto: Contacto de personas con masas puestas accidentalmente bajo tensión.

Corriente de contacto: Corriente (intensidad) que pasa a través del cuerpo humano, cuando está sometido a una tensión.

Corriente de defecto o de falta: Corriente que circula debido a un defecto de aislamiento.

Defecto franco: Conexión accidental, de impedancia despreciable, entre dos puntos a distintos potenciales.

Defecto a tierra: Defecto de aislamiento entre un conductor y tierra.

Doble aislamiento: Aislamiento que comprende a la vez un aislamiento funcional y un aislamiento de protección o suplementario.

Resistencia global o total de tierra: Es la resistencia de tierra medida en un punto considerando la acción conjunta de la totalidad de las puestas a tierra.

Resistencia de tierra: Relación entre la tensión que alcanza con respecto a un punto a potencial cero una instalación de puesta a tierra y la corriente que la recorre.

Suelo no conductor: Suelo que presenta una resistencia igual a 50.000 Ω como mínimo.

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 aquella una masa o elemento metálico normalmente sin tensión.

Para determinar este valor se considerará que la persona tiene los pies juntos, a un metro de la base de la masa o elemento metálico que toca y que la resistencia del cuerpo entre mano y pie es de 2.500 Ω (según REBT).

El RCE (Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación) en la definición de tensión de contacto da como resistencia del cuerpo humano 1.000 Ω.

Baja tensión: Se considera como baja tensión, aquella cuyo valor eficaz es inferior o igual a 1.000 voltios en alterna y de 1.500 voltios en continua.

Las tensiones usuales son normalmente las de 380 voltios entre fases y las de 220 voltios entre fases y neutro.

Definiéndose como pequeñas tensiones las inferiores a 50 voltios, usuales las comprendidas entre 50 y 500 voltios y especiales las superiores a 500 voltios e inferiores o iguales a 1.000 voltios.

EFFECTOS DE LA CORRIENTE ELECTRICA SOBRE EL CUERPO HUMANO

VARIABLES QUE INTERVIENEN EN UNA ELECTROCUCION: REANIMACION

Podemos clasificarlos en directos e indirectos, entre los primeros tendremos los efectos inmediatos y los secundarios y entre los segundos las caídas, pérdidas de equilibrio, etc., debidos a movimientos imprevistos (reflejos) efectuados al sufrir el contacto eléctrico en determinadas posiciones y circunstancias (subidos a una escalera).

Efectos	Directos	Efectos térmicos	Quemaduras por arco Quemaduras por contacto Calambres.	
		Efectos inmediatos	Efectos musculares nerviosos	Contracciones musculares. Tetanicación de músculos respiratorios. Fibrilación ventricular. Inhibición de centros nerviosos.
	Indirectos	Efectos secundarios	Precoces	Cerebral. Motor. Circulatorios (gangrenas) Problemas renales.
		Tardíos	Neuróticos. Transtornos mentales.	

Estos efectos dependerán de una serie de factores o variables, entre los que podemos citar:

- Tipo de corriente.
- Intensidad.
- Tiempo de contacto.
- Resistencia del cuerpo.

- Tensión.
- Recorrido de la corriente a través del cuerpo.

Pasamos a continuación a desarrollar cada uno de los anteriores factores.

TIPO DE CORRIENTE

Hay dos tipos de corriente, la alterna y la continua. Para intensidades de nivel similar, es menos peligrosa la continua que la alterna siendo el umbral de percepción para la corriente continua del orden de 5,2 mA y de sólo 1,1 mA para la corriente alterna (Tabla V). La corriente continua puede producir

TABLA V
Efectos cuantitativos de la corriente eléctrica en el hombre

Efecto	INTENSIDAD mA					
	Corriente continua		Corriente alterna			
	Hombres	Mujeres	60 Hz	50 Hz	10.000 Hz	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Ligera sensación en la mano	1	0,6	0,4	0,3	7	5
Umbral de percepción . . .	5,2	3,5	1,1	0,7	12	8
Choque indoloro sin pérdida del control muscular	9	6	1,8	1,2	17	11
Choque doloroso sin pérdida del control muscular	62	41	9	6	55	37
Choque doloroso umbral de corriente límite	76	51	16	10,5	75	50
Choque doloroso y grave, contracciones musculares y dificultad de respiración .	90	60	23	15	94	63
Fibrilación ventricular eventual						
Choques de 3 segundos .	500	500	100	100	—	—
Choques de corta duración (t en segundos)	—	—	$\frac{165}{\sqrt{t}}$	$\frac{165}{\sqrt{t}}$	—	—
Fuertes sobretensiones . .	50*	50*	13,6*	13,6*	—	—

* Energía en vatios-seg.

una electrolisis de la sangre con el consiguiente riesgo de embolia y muerte, pensemos que la composición interna del organismo y de la sangre es similar a la de un electrolito pues hay sales disueltas.

Normalmente la frecuencia de la corriente alterna en Europa será de 50 cps o Hz y hay que indicar que el riesgo disminuye conforme aumenta la frecuencia. Así para unos 5 KHzs, la corriente no penetra en el cuerpo sino que se propaga por la superficie del mismo produciendo un calentamiento (efecto Kelvin).

Normalmente el accidente eléctrico ocurre mientras se trabaja con corriente alterna, alrededor de un 78 por 100 de las veces frente a un 22 por 100 que ocurren en continua.

No obstante, no por ello hay que perderle el respeto a la corriente continua pues en algunos casos que trataremos cuando comentemos los sistemas de protección contra contactos indirectos requerirán la utilización de dispositivos diferenciales especiales.

INTENSIDAD

La intensidad es el factor más influyente en una electrocución. En seguridad, cuando hablamos de intensidades de seguridad lo hacemos empleando los miliamperios (mA) en vez de los amperios (A) que es una unidad muy grande.

Cuando tocamos un elemento activo de la instalación eléctrica o un elemento puesto accidentalmente en tensión, se establece una diferencia de potencial (a no ser que hayamos tomado las medidas oportunas de aislamiento, conexión equipotencial...) entre la parte de nuestro cuerpo que ha tocado y la parte puesta a tierra, normalmente mano-pie. Esta ddp hace que circule una corriente por nuestro cuerpo (corriente de contacto) en función de la resistencia que éste presente, es decir, el cuerpo responde a la ley de Ohm.

$$\text{Intensidad que nos recorre} = \frac{\text{Diferencia de potencial aplicada}}{\text{Resistencia cuerpo}}$$

En la anterior Tabla V podemos comprobar que manteniendo constante la frecuencia (por ejemplo 60 Hz) a 0,4 mA se empieza a notar algo y a partir de 23 mA la situación ya es peligrosa (de hecho los dispositivos diferenciales de alta sensibilidad utilizados en sistemas de protección abren el circuito antes de que se superen los 30 mA de intensidad de defecto).

El paso de la corriente puede producir desde un cosquilleo hasta la muerte por asfixia o quemaduras pasando antes por una fibrilación ventricular (arritmia del corazón) y paro respiratorio.

Una forma de reducir la intensidad será evidentemente disminuyendo la ddp, es decir haciendo que esta tensión tenga unos valores bajos como a continuación veremos, a la vez que aumentamos la resistencia, hecho que podemos

Contacto directo: Contacto de personas con partes activas de los materiales y equipos.

Contacto indirecto: Contacto de personas con masas puestas accidentalmente bajo tensión.

Corriente de contacto: Corriente (intensidad) que pasa a través del cuerpo humano, cuando está sometido a una tensión.

Corriente de defecto o de falta: Corriente que circula debido a un defecto de aislamiento.

Defecto franco: Conexión accidental, de impedancia despreciable, entre dos puntos a distintos potenciales.

Defecto a tierra: Defecto de aislamiento entre un conductor y tierra.

Doble aislamiento: Aislamiento que comprende a la vez un aislamiento funcional y un aislamiento de protección o suplementario.

Resistencia global o total de tierra: Es la resistencia de tierra medida en un punto considerando la acción conjunta de la totalidad de las puestas a tierra.

Resistencia de tierra: Relación entre la tensión que alcanza con respecto a un punto a potencial cero una instalación de puesta a tierra y la corriente que la recorre.

Suelo no conductor: Suelo que presenta una resistencia igual a 50.000 Ω como mínimo.

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 aquélla una masa o elemento metálico normalmente sin tensión.

Para determinar este valor se considerará que la persona tiene los pies juntos, a un metro de la base de la masa o elemento metálico que toca y que la resistencia del cuerpo entre mano y pie es de 2.500 Ω (según REBT).

El RCE (Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación) en la definición de tensión de contacto da como resistencia del cuerpo humano 1.000 Ω.

Baja tensión: Se considera como baja tensión, aquélla cuyo valor eficaz es inferior o igual a 1.000 voltios en alterna y de 1.500 voltios en continua.

Las tensiones usuales son normalmente las de 380 voltios entre fases y las de 220 voltios entre fases y neutro.

Definiéndose como pequeñas tensiones las inferiores a 50 voltios, usuales las comprendidas entre 50 y 500 voltios y especiales las superiores a 500 voltios e inferiores o iguales a 1.000 voltios.

EFFECTOS DE LA CORRIENTE ELECTRICA SOBRE EL CUERPO HUMANO

VARIABLES QUE INTERVIENEN EN UNA ELECTROCUCION: REANIMACION

Podemos clasificarlos en directos e indirectos, entre los primeros tendremos los efectos inmediatos y los secundarios y entre los segundos las caídas, pérdidas de equilibrio, etc., debidos a movimientos imprevistos (reflejos) efectuados al sufrir el contacto eléctrico en determinadas posiciones y circunstancias (subidos a una escalera).

Efectos	Directos	Efectos térmicos	Quemaduras por arco Quemaduras por contacto
		Efectos inmediatos	Calambres. Contracciones musculares. Tetanización de músculos respiratorios. Fibrilación ventricular. Inhibición de centros nerviosos.
		Efectos secundarios	Cerebral. Motor. Circulatorios (gangrenas) Problemas renales.
	Indirectos	Precoces	Neuróticos. Transtornos mentales.
		Tardíos	
		Caídas. Golpes contra objetos. Cortes. Quemaduras al golpear o tocar elementos no protegidos.	

Estos efectos dependerán de una serie de factores o variables, entre los que podemos citar:

- Tipo de corriente.
- Intensidad.
- Tiempo de contacto.
- Resistencia del cuerpo.

realizar utilizando guantes, calzado adecuado (no de cuero y sin clavos) y aumentando la resistencia del suelo (resistencia de emplazamiento).

Hay que indicar que los efectos que puede producir la intensidad o corriente están íntimamente relacionados con el tiempo que ésta recorre nuestro organismo, incluso a nivel de quemaduras, éstas serán más suaves a igual intensidad y resistencia del organismo a medida que disminuya el tiempo; esto se expresa físicamente por la conocida *ley de Joule*:

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

En un local con riesgo de incendio, también será muy importante limitar el tiempo de la corriente de fuga pues a mayor tiempo más energía y más calorías, lo cual puede generar un foco de ignición.

Como hemos indicado, es casi imposible a partir de más de 20 mA no tener en cuenta el tiempo o la duración del contacto, por ello todas las curvas y gráficas que consultemos, independientemente de su fuente de referencia, relacionarán la intensidad con el tiempo; así tenemos la curva propuesta por CEI (Comité Electrotécnico Internacional 1972) (ver Fig. 1).

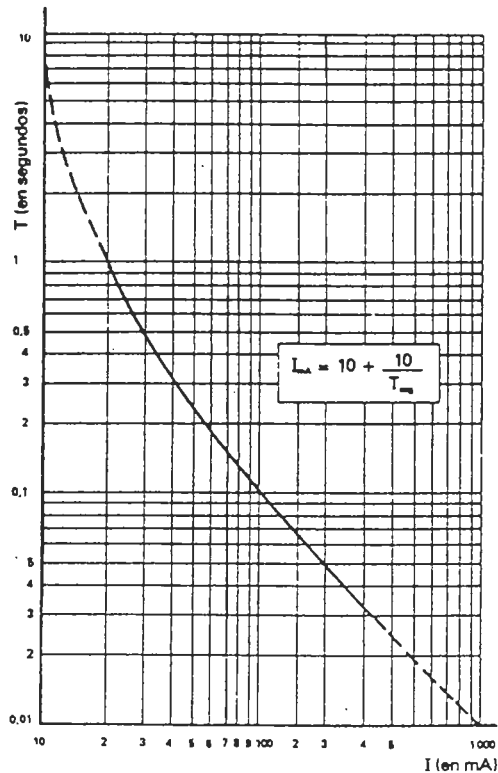


Figura 1

Esta curva responde a la función $I_{mA} = 10 + \frac{10}{t_{sgd}}$

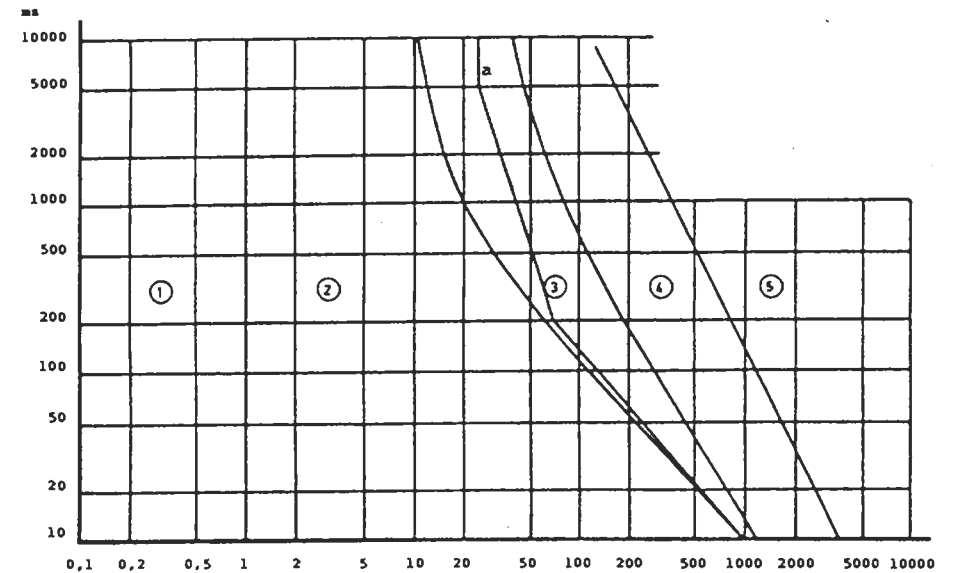
o bien: $t_{sgd} = \frac{10}{I_{mA} - 10}$

(Esta curva para 30 mA da como límite 0,5 segundos).

Otras curvas según norma UNE-20572 que relacionan la intensidad con el tiempo en función del tipo de corriente se dan a continuación (ver Figs. 2 y 3).

Otra fórmula que relaciona la intensidad que puede soportar el cuerpo humano en función del tiempo la dio DALZIEL para choques con una duración inferior a tres segundos y es la siguiente:

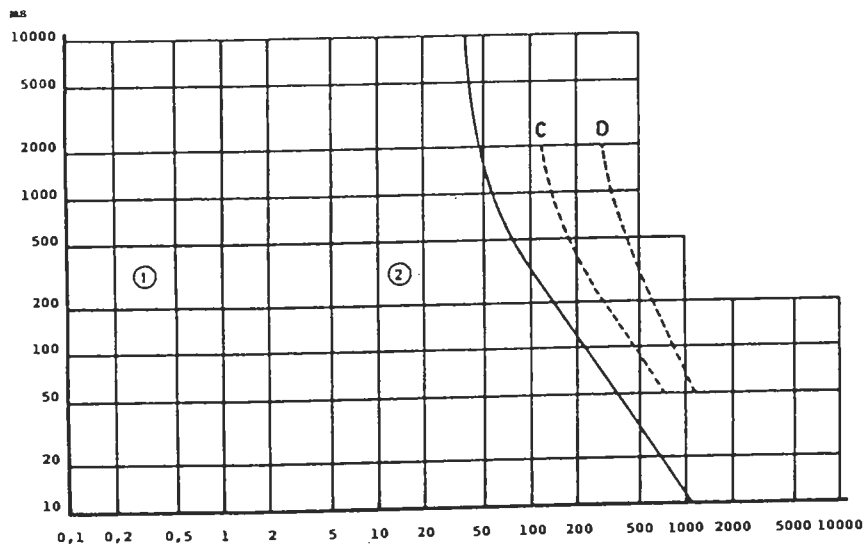
$$I = \frac{K}{\sqrt{t}}$$



Siendo:

- Zona 1: Habitualmente ninguna reacción.
- Zona 2: Habitualmente ningún efecto fisiopatológico peligroso.
- Zona 3: Habitualmente ningún riesgo de fibrilación.
- Curva a: Curva de seguridad, convencionalmente aceptada, intensidad-tiempo.
- Zona 4: Fibrilación posible (probabilidad hasta 50%).
- Zona 5: Riesgo de fibrilación (probabilidad superior al 50%).

Figura 2.—Curvas intensidad-tiempo. Según norma UNE 20-572. Corriente alterna.



Siendo:

Zona 1: Habitualmente ninguna reacción.

Zona 2: Habitualmente ningún efecto fisiopatológico peligroso.

Curvas C y D.

Ensayo con perros por G. Knicherbocker.

Curva C: Probabilidad de fibrilación 0,5%.

Curva D: Probabilidad de fibrilación 50%.

Figura 3.—Curvas intensidad-tiempo. Corriente continua.

siendo «K» un coeficiente que varía entre 165 y 185 (en función de las características físicas de la persona) y «t» el tiempo de paso de la corriente en segundos.

Otras curvas nos delimitan el grado de riesgo en tres zonas, éstas son las de KOEPPEN-TOLAZZI (ver Fig. 4).

Los efectos del contacto según las zonas serían:

Zona I: Percepción de la corriente hasta el momento en que no es posible soltarse voluntariamente del punto de contacto. No hay repercusión sobre el ritmo cardíaco ni sobre el sistema nervioso.

Zona II: Intensidad soportable. Aumento de la presión sanguínea. Irregularidad del ritmo cardíaco y sistema nervioso. Paro cardíaco reversible (se presenta el estado de coma por encima de 50 mA).

Zona III: Se presenta la fibrilación ventricular y el estado de coma.

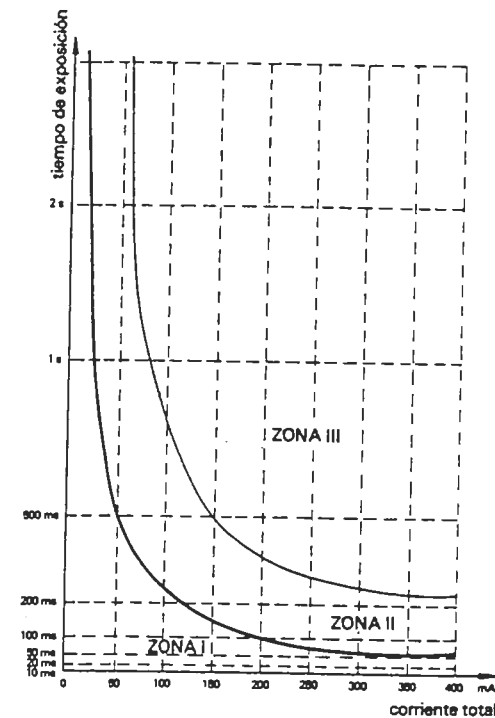


Figura 4

TIEMPO DE CONTACTO

Como hemos indicado existe una relación directa entre la lesión y el tiempo durante el cual la persona está expuesta al contacto eléctrico.

$$\text{Para DALZIEL: } \text{tsgd} = \left(\frac{K}{I_{mA}} \right)^2 \quad K \approx (165 + 185)$$

$$\text{y: (tiempo de seguridad} = \left(\frac{80}{I_{mA}} \right)^2 \text{ hasta 5 sgds. para personas de 60 kg).}$$

$$\text{Para el CEI: } \text{tsgd} = \frac{10}{I_{mA} - 10}$$

(CEI: Comité Electrotécnico Internacional).

El único sistema de corte rápido de la corriente ante un defecto es el inte-

ruptor diferencial. Según la UNE-20-383-75 el diferencial debe disparar con una corriente de defecto nominal en menos de 0,2 segundos y en menos de 0,1 segundos cuando la intensidad de defecto es del orden de dos veces de la del diferencial (sensibilidad del diferencial) (ver Tablas VI y XXX).

TABLA VI

Tiempo de seguridad para diferentes resistencias de piel y tensiones de contacto

Tensión de contacto				Tiempo de contacto en sgdos.	Intensidad de contacto en mA
Piel seca	Piel húmeda	Piel mojada	Piel sumergida		
75 V	50 V	24 V	12 V	5	25
100 V	75 V	40 V	21 V	1	43
175 V	150 V	96 V	55 V	0,1	120
220 V	220 V	145 V	82 V	0,05	210
350 V	350 V	250 V	135 V	0,02	—

UNE-20-460-90/4-41.

Una interrupción del circuito eléctrico en un tiempo inferior a 200 milisegundos se considera como segura si cumple con las ecuaciones referidas. Indicar al respecto que muchos de los aparatos de comprobación y verificación disponen de un piloto que indica si el disparo del interruptor diferencial ha sido superior o inferior a este valor.

En el caso de que la corriente de contacto sea de valor suficiente y de muy corta duración, por ejemplo inferior a la del ciclo cardíaco, la fibrilación se producirá cuando esta corriente entre durante la fase crítica del ciclo cardíaco, fase que representa alrededor de un 20 por 100 del propio ciclo (Fig. 5).

RESISTENCIA DEL CUERPO HUMANO Y TENSION DE CONTACTO

El cuerpo humano no tiene una resistencia constante; para BOISSELIER la resistencia del cuerpo es función de la tensión a que está sometido y de la mayor o menor humedad relativa del emplazamiento.

Debemos distinguir entre la resistencia de la piel-cuerpo y la de los órganos internos, de hecho un contacto en una herida, lengua, etc. será siempre mucho más peligroso que sobre la piel. En general los factores que influyen en la resistencia de la piel (que será el contacto normal) son:

- Humedad de la piel (gráfica de Tanabé) (Fig. 6).
- Superficie de contacto (Fig. 7).

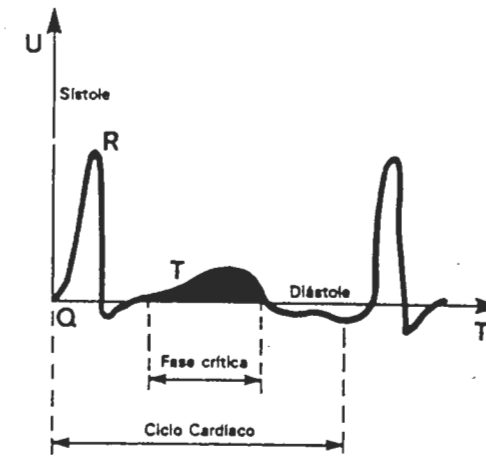


Figura 5

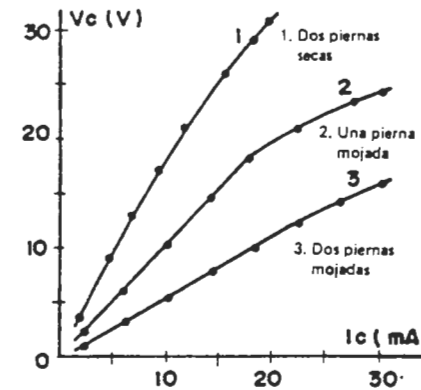


Figura 6

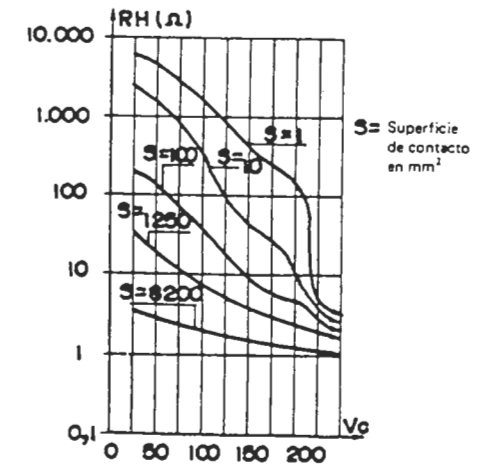


Figura 7

- Tiempo de contacto.
- Tensión de contacto.
- Presión de contacto.

Humedad de la piel: En general, la piel seca y callosa tendrá más resistencia que la húmeda y fina (ver Fig. 6).

Superficie de contacto: A mayor superficie, menor resistencia (ver Fig. 7). Aunque para tensiones de orden de 220 V la influencia de la superficie de contacto es mínima.

Tiempo de contacto: Al cabo de más milisegundos del contacto, la resistencia disminuye con el tiempo de contacto.

Tensión de contacto: La resistencia de la piel varía con la tensión de contacto (Tabla VII).

La CEI-479 da una relación de la resistencia del cuerpo más extensa (considera el estado de la piel) (Tabla VIII).

TABLA VII
Resistencia del cuerpo humano
UNE-20572

V. Tensión de contacto	Rh Ω
25 V	2.500 Ω *
50 V	2.000 Ω
250 V	1.000 Ω
Asintota	650 Ω

* Valor que coincide con el indicado en el REBT.

TABLA VIII

Tensión de contacto	Humedad			
	Piel seca	Piel húmeda	Piel mojada	Piel sumergida
Voltios				
25	5.000	2.500	1.000	500
50	4.000	2.000	875	440
250	1.500	1.000	650	325
Asintota	1.000	1.000	650	325

CEI-479.

El Reglamento Eléctrico de Baja Tensión da como tensiones de seguridad las de:

- 24 V para locales húmedos.
- 50 V para locales secos.

Una forma de obtener estas tensiones sería la de aplicar la ley de Ohm, tomando la intensidad límite de 10 mA (0,01 A) y la resistencia del cuerpo humano de 2.400 y 5.000 Ω para ambientes húmedos o secos.

$$V = IR$$

$$V_{\text{seg. zona seca}} = 0,01 \cdot 5.000 = 50 \text{ V}$$

$$V_{\text{seg. zona húmeda}} = 0,01 \cdot 2.400 = 24 \text{ V}$$

(Las normas VDE-0100 consideran como peligrosas las tensiones superiores a 65 V). Las curvas de seguridad para tensiones alternas, según CEI 364 quedan referidas en la Figura 8.

Podemos obtener un valor de tensión de seguridad para corriente continua operando de la siguiente forma:

Para un tiempo = 200 milisegundos.

Intensidad límite en alterna = 10 mA.

$$I_{cc} = I_{ca} \cdot \log t = 10 \cdot \log 200 = 23 \text{ mA.}$$

$$V_{\text{seguridad}} = I \cdot R = 0,023 \cdot [2.400 + 5.000]/2 = 75,1 \text{ voltios.}$$

(Si consultamos manuales, es frecuente encontrar como tensión de seguridad para continua la de 75 voltios).

PRESION DE CONTACTO

Es evidente que cuanto mayor sea la presión estamos mejorando el contacto entre la mano y el conductor con lo cual será menor la resistencia de contacto y mayor el riesgo de electrocución; a partir de unos 10 mA (límite de control muscular) será difícil soltar el conductor.

RECORRIDO DE LA CORRIENTE A TRAVES DEL CUERPO

La gravedad del contacto eléctrico dependerá también del punto de entrada y de salida (de la trayectoria) de la corriente.

Una trayectoria mano-pie, por ejemplo, tendrá una resistencia de unos 1.000 Ω ; en cambio una trayectoria manos-pecho, una resistencia de 250 Ω (piel húmeda). Se recogen a continuación los valores obtenidos por SAM. U en 1968 (Tabla IX).

Normalmente la trayectoria que más se repite es la de mano-pie, que precisamente es la más peligrosa pues atraviesa el corazón con el consiguiente riesgo de fibrilación que ello puede conllevar; al respecto podemos comentar que WEIS efectuó experiencias con perros haciéndoles pasar 400 mA entre el cráneo y el maxilar inferior con el resultado de una parada respiratoria.

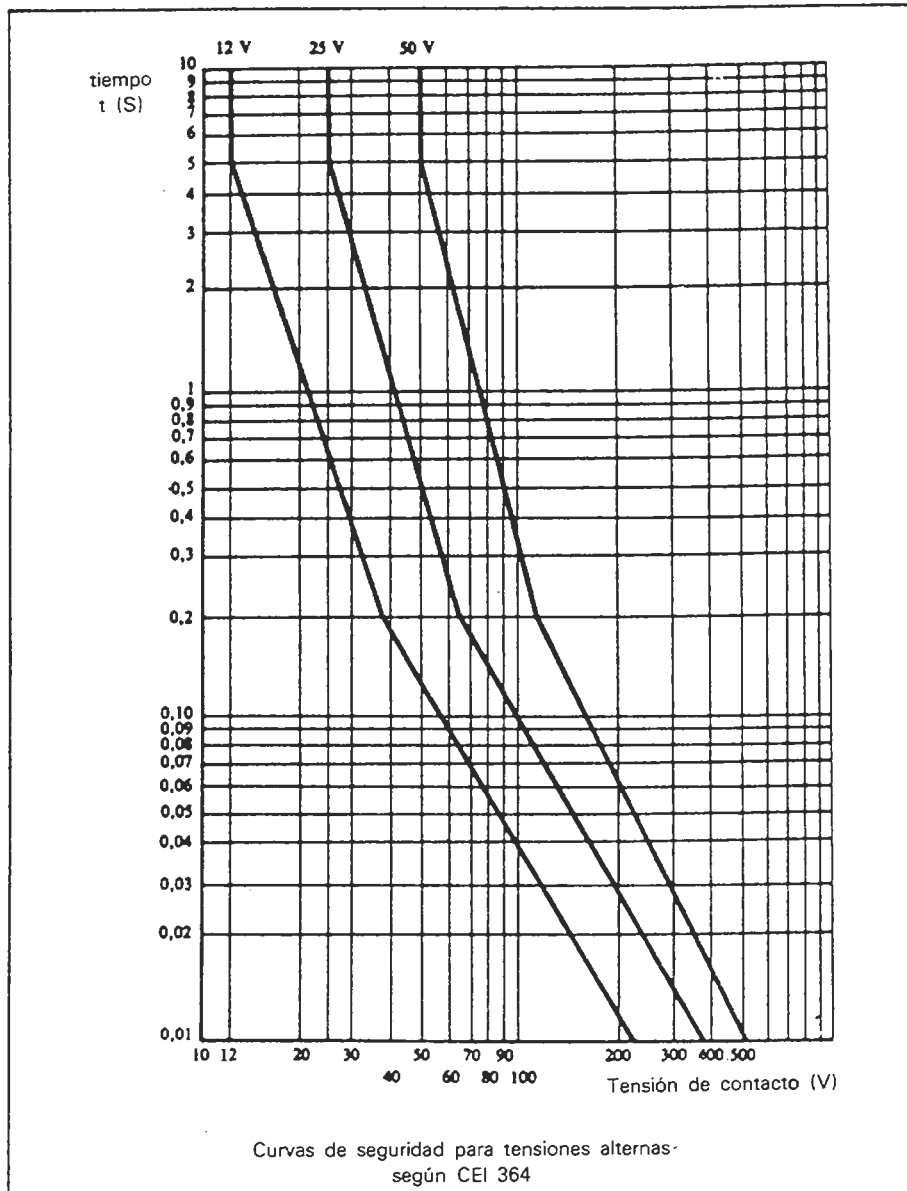


Figura 8.—Curva de la tensión de contacto máxima en función del tiempo.

TABLA IX
Resistencias del cuerpo para diferentes trayectorias de corriente

Tipo de trayectoria	Resistencia (Ω)	
	Piel húmeda	Piel mojada
Mano-mano	1.000	650
Mano-pie	1.000	650
Mano-2 pies	750	487
2 manos-2 pies	500	325
Pie-pie	1.000	650
2 manos-pecho	250	162

La misma intensidad entre cráneo y una pata provocó la muerte del perro por fibrilación al ser atravesado el órgano cardíaco por la corriente eléctrica.

Otro concepto a veces utilizado es el del factor de corriente del corazón; este factor se utiliza para conocer el efecto que tendría una corriente con una trayectoria distinta a la de mano-pie, que es la trayectoria usual a la que se refieren los estudios de intensidad-tiempo (Tabla X).

Ejemplo de uso: Una intensidad de 300 mA con trayectoria mano-mano tendrá el mismo efecto que:

$$I_e = F \cdot I_t = 0,4 \cdot 300 = 120 \text{ mA}$$

Una corriente de 120 mA entre mano-pie.

TABLA X

Trayectoria de la corriente	Factor de corriente (F)
Mano-pie	1
Mano-mano	0,4
Mano derecha-pie derecho	0,8
Mano derecha-espalda	0,3
Mano derecha-pecho	1,3
Mano derecha-nalgas	0,7

REANIMACION DEL ELECTROCUTADO

Cuando el corazón se fibrila, pierde su capacidad de bombear la sangre, impidiendo que ésta acuda a los alveolos y vesículas pulmonares a oxigenarse y efectuar el intercambio de gases (hematosis), de tal forma que se impide a los glóbulos rojos que formen la oxihemoglobina menguando notablemente el transporte de oxígeno; el electrocutado se asfixia (síncope azul) y de no aplicarle técnicas de reanimación (respiración artificial y masaje cardíaco) es bastante probable y así lo demuestran los estudios de DALZIEL y DRINKER que en un plazo de tiempo de unos tres minutos pueda, debido a la anoxia, sufrir lesiones cerebrales de tipo irreversible. Al cabo de cinco minutos sin practicar la reanimación las probabilidades de recuperar al electrocutado son casi nulas. DINKER representó en una sigmoide la posibilidad de recuperación de un individuo electrocutado en función del tiempo transcurrido en efectuarle prácticas de reanimación (Fig. 9).

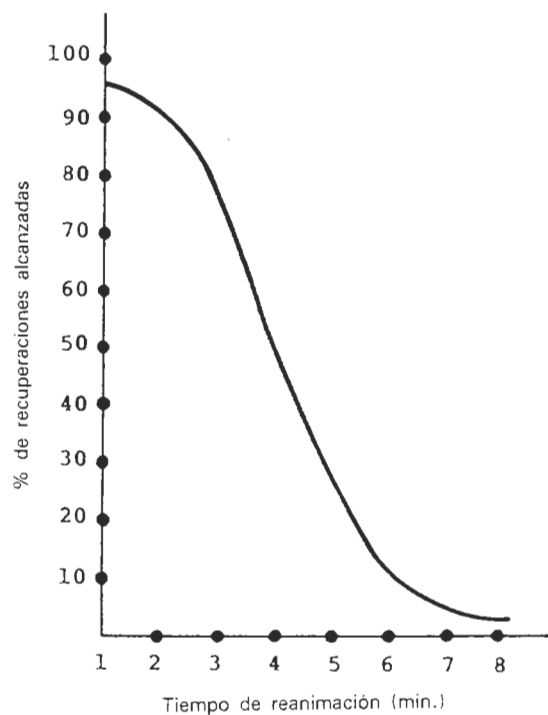


Figura 9

TIPOS DE CONTACTOS

- Efectos de tipo inductivo (campos electromagnéticos en proximidades de instalaciones de alta tensión).
- Efectos capacitivos (poco importantes a las frecuencias industriales).
- Efectos conductivos (son los más frecuentes).

Por regla general, en la mayoría de los casos el accidente se va a producir debido a un contacto físico con un elemento a distinto potencial; este contacto puede ser directo o indirecto.

El Reglamento Eléctrico de Baja Tensión define el contacto directo como contacto de personas con partes activas de los materiales y equipos, y al indirecto como un contacto de personas con masas puestas accidentalmente bajo tensión.

Si el receptor o el equipo presenta un defecto franco, el contacto indirecto tendrá las mismas consecuencias que el directo.

En las Figuras 10-13 se representan una serie de ejemplos de contactos directos.

Algunas situaciones en las que se contempla un contacto indirecto están representadas en las Figuras 14-16.

Contacto directo entre dos conductores activos (dos fases), la persona toca con cada mano una fase distinta de la línea y se encuentra sometido a la tensión compuesta entre fases; la trayectoria de la corriente pasa por el corazón con el consiguiente riesgo grave de electrocución (Fig. 10).

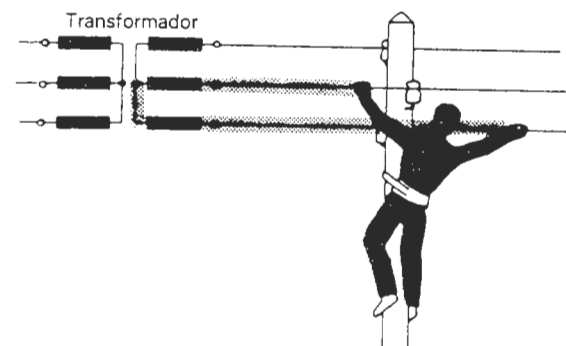


Figura 10

Este contacto puede ocurrir (de hecho tenemos registros de accidentes ocurridos de esta forma) cuando se procede a instalar una acometida; el operario se sube al poste y se sujeta con un cinturón de seguridad, procede a efectuar las conexiones en la fase «T» y para efectuar las conexiones en «S» y «R» sube el anclaje del cinturón y lo coloca entre «S» y «T», entonces resbala y se apoya con las manos en las dos fases, sufriendo una electrocución. El accidente se habría evitado trabajando sin tensión o bien colocando vainas o fundas sobre los cables (interposición de obstáculos).

Contacto directo entre una fase (conductor activo) y tierra en una red de baja tensión, con transformador con neutro puesto a tierra (Fig. 11).

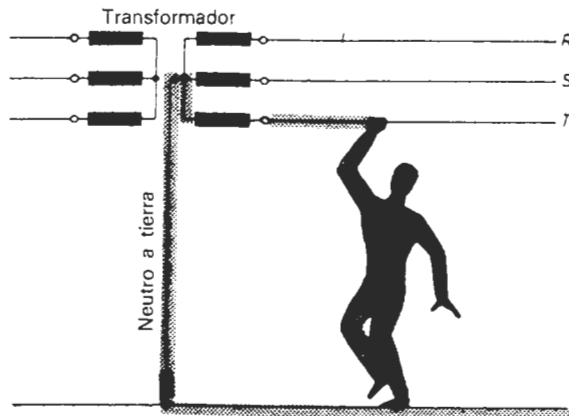


Figura 11

La persona toca con una mano una fase (cable) y con los pies, que están en tierra, el neutro (cerrando el circuito a través de tierra). La tensión entre mano y pies es la tensión simple entre fase y tierra, también en este caso la corriente sigue una trayectoria que atraviesa el corazón con el consiguiente riesgo grave de electrocución.

Contacto directo entre un conductor y tierra, en una red de baja, con neutro no puesto a tierra pero por avería, con una fase en el secundario puesta a tierra. La persona que toca una de las fases la «S» o la «R» estando con los pies puestos en tierra, estará sometida a una tensión próxima a la compuesta entre fases; la trayectoria de la corriente es igual que en los casos anteriores (Fig. 12).

En este caso, tensiones fase-tierra del orden de 50 V que no serían peligrosas podrían, por un defecto similar al descrito, pasar casi a 100 V siendo ya peligrosas.

Contacto directo en distribución con neutro aislado:

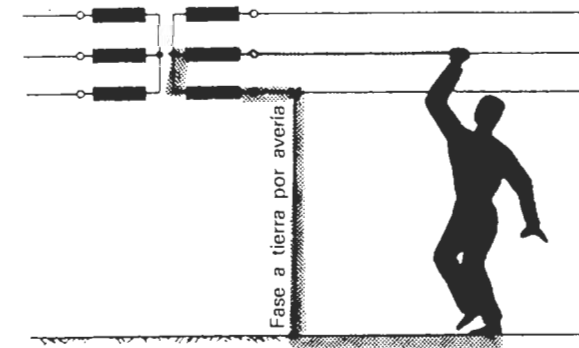


Figura 12

La tensión de contacto en el primer defecto será nula, ya que no se cierra el circuito por tierra, pero en el segundo defecto (2), al estar las masas puestas a la misma tierra, se producirá un cortocircuito y de no dispararse los sistemas de corte, la persona quedará sometida a tensiones peligrosas (Fig. 13).

Contacto indirecto con una masa o armario de distribución por pérdida de aislamiento de alguna fase en su interior, la tensión de contacto será la de fase tierra, siendo la trayectoria de la corriente similar a los casos anteriores (Fig. 14).

Contacto indirecto al tocar la carcasa o masa de un receptor con un defecto de aislamiento interno. El receptor no está puesto a tierra y la tensión a la que se verá sometida la persona será (si el defecto no es franco) menor que la de fase tierra (Fig. 15).

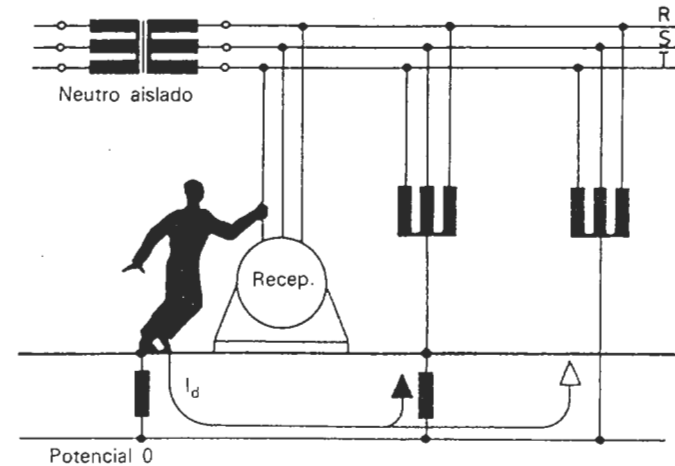


Figura 13

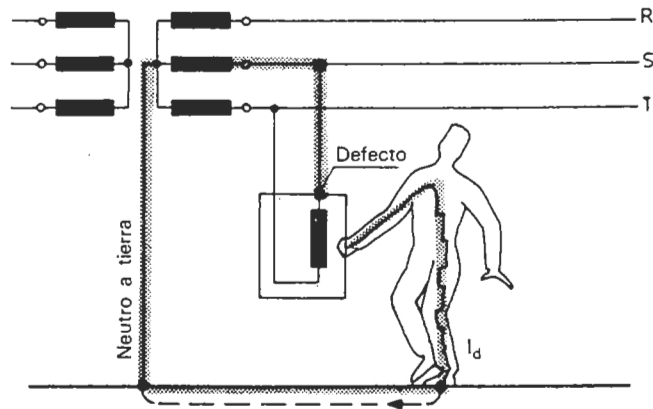


Figura 14

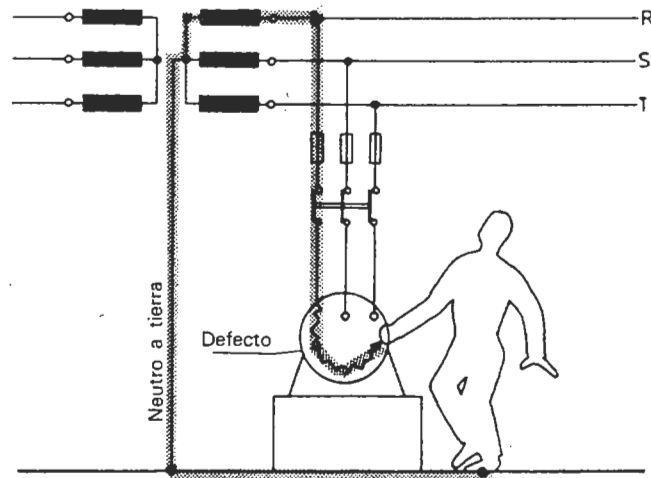


Figura 15

Contacto indirecto con la carcasa de un receptor puesto a tierra; de no saltar los sistemas de seguridad, la intensidad de contacto siempre será menor que la intensidad de defecto (posteriormente se estudiará detenidamente este tipo de circuito) (Fig. 16).

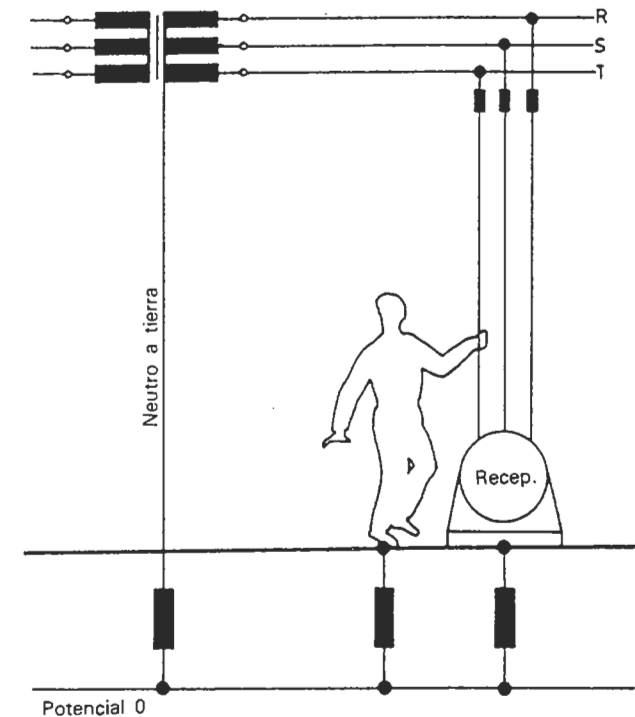


Figura 16

TIPOS Y FORMAS DE DISTRIBUCION Y SUMINISTRO DE LA CORRIENTE ELECTRICA

La elección del sistema y dispositivos de protección vendrá definida o aconsejada en función del tipo de esquema de distribución del que dispongamos y en concreto dependerá del sistema de neutro que utilicemos. Se describen a continuación los tres sistemas que normalmente se presentan indicando algunas características relevantes de cada uno de ellos.

Estos esquemas y prescripciones están contemplados y descritos en la Instrucción MIE-BT-008 del REBT concerniente a: «Puesta a neutro de las masas en redes de distribución de energía eléctrica».

Los esquemas de distribución se establecen en función de las conexiones a tierra de la red de distribución o de la alimentación, por un lado y de las masas de la instalación receptora por otro.

La notación se efectúa mediante un código de letras donde:

Primera letra: Indica la situación de la alimentación con respecto a tierra.

(T) = Conexión directa de un punto de la alimentación a tierra.

(I) = Aislamiento de todas las partes activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a tierra a través de una impedancia.

Segunda letra: Indica la situación de las masas de la instalación receptora con respecto a tierra.

(T) = Masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la eventual puesta a tierra de la alimentación.

(N) = Masas conectadas directamente al punto de la alimentación puesta a tierra.

(En corriente alterna, este punto es normalmente el punto neutro).

También nos podemos encontrar con las letras «S» y «C» en los códigos, siendo su significado el siguiente:

(S) = Las funciones de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados.

(C) = Las funciones de neutro y de protección están combinadas en un solo conductor (conductor CPN).

ESQUEMA TN

El neutro está puesto a tierra y las masas de la instalación receptora están conectadas a dicho punto mediante conductores de protección. Hay tres tipos de distribuciones (TN) en función de la disposición relativa del conductor neutro del conductor de protección.

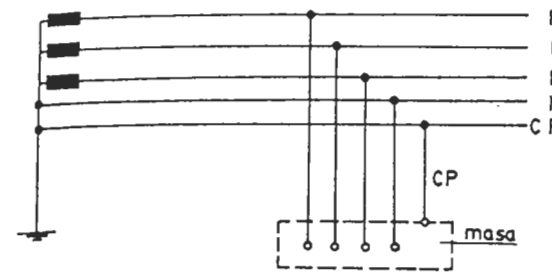
Esquema TN-S: El conductor neutro y el de protección son distintos en todo el esquema (Fig. 17).

Esquema TN-C: En él, las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor en todo el esquema (Fig. 18).

Esquema TN-C-S: En él, las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor en una parte del esquema (Fig. 19).

En estos esquemas (TN) cualquier intensidad de defecto que funciona con fase-masa será una intensidad de cortocircuito.

Esquema TT: El esquema TT tiene un punto de alimentación, generalmente el neutro o compensador conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación (Fig. 20).



Esquema TN-S

Figura 17

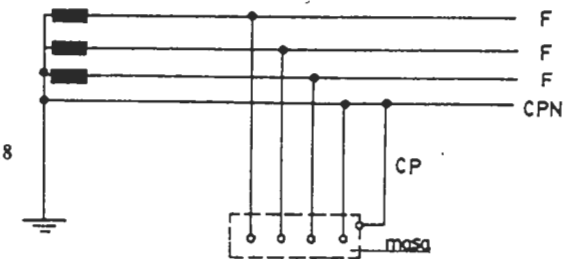
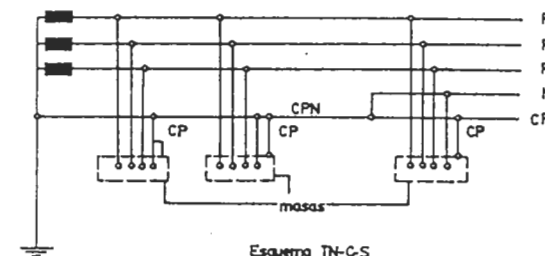


Figura 18

Esquema TN-C



Esquema TN-C-S

Figura 19

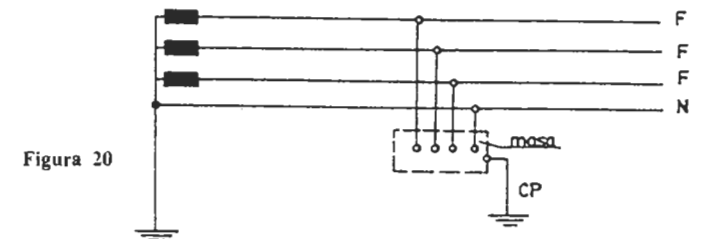
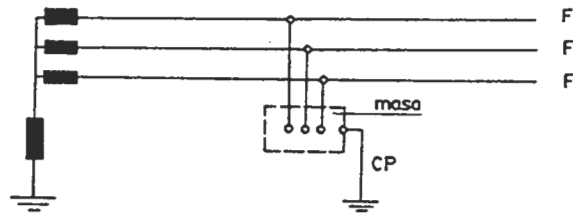


Figura 20

Esquema TT

En este esquema, las intensidades de defecto fase-masa o fase-tierra tienen valores inferiores a los de cortocircuito, pero pueden ser suficientes para provocar la aparición de tensiones peligrosas.

Esquema IT: El esquema IT no tiene ningún punto de la alimentación puesta directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están puestas directamente a tierra (Fig. 21).



Esquema IT
Figura 21

En este esquema, la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase-tierra tiene un valor lo suficientemente reducido como para no provocar la aparición de tensiones de contacto peligrosas.

En este tipo de esquema se recomienda no distribuir el neutro.

(Posteriormente veremos en ejemplos qué problemas se pueden presentar en el caso de existir un segundo defecto).

Las redes de distribución pública de baja tensión ($V \leq 1.000$ V) tienen un punto puesto directamente a tierra por prescripción reglamentaria. Por regla general, el esquema más común será el TT y en casos especiales en los que no interese que se corte el suministro ante un defecto inicial el IT.

Para la aplicación del esquema TN el REBT impone las siguientes prescripciones:

Para que las masas de la instalación receptora puedan estar conectadas al neutro como medida de protección contra contactos indirectos, la red de alimentación debe cumplir las siguientes prescripciones especiales:

- a) La sección del conductor neutro debe, en todo su recorrido, ser igual a la indicada en la Tabla XI, en función de la sección de los conductores de fase.
- b) En las redes de distribución subterráneas, cuando se utilicen conductores con envuelta protectora de aluminio, podrá utilizarse ésta como conductor neutro, siempre que su sección sea por lo menos eléctricamente equivalente a la sección de los conductores de fase.

TABLA XI

Sección en mm ² de los conductos	Sección nominal del conductor neutro (mm ²)	
	Redes aéreas	Redes subterráneas
16	16	16
25	25	16
35	35	16
50	50	25
70	50	35
95	50	50
120	70	70
150	70	70
185	95	95

- c) Además, de las puestas a tierra de los neutros, para las líneas principales y derivaciones serán puestas a tierra igualmente en los extremos de éstas cuando la longitud de las mismas sea superior a 200 metros.
- d) La resistencia de tierra del neutro del centro de transformación no será superior a 5 Ω.
- e) La resistencia global de tierra de todas las tomas de tierra del neutro, no será superior a 2 Ω.
- f) Debe procurarse en las redes subterráneas la unión del conductor neutro en las cajas con las canalizaciones metálicas de agua próximas al emplazamiento de estas cajas.
- g) Las masas de las instalaciones receptoras deberán conectarse al conductor neutro mediante conductores de protección.

ESTUDIO Y EJEMPLOS DE CIRCUITOS DE DEFECTO

Tensión de defecto: Es la tensión que se origina al presentarse una avería entre elementos conductores accesibles al contacto, que no forman parte del circuito de servicio, o entre éstos y la tierra de referencia (Fig. 22).

Tensión de contacto: Normalmente la tensión que durante un defecto puede resultar aplicada entre la mano y pie de una persona, que toque con aquella una masa o elemento conductor, normalmente sin tensión (Fig. 23).