



Seguridad en las instalaciones electrotécnicas

El uso de la electricidad está cada vez más extendido en nuestro medio de vida, en la industria, en la vivienda, en el transporte, etc., de tal forma que es difícil pasar un solo día de nuestra vida sin que tengamos que recurrir a ella. Esto, por supuesto, nos aporta innumerables beneficios, sin olvidar que el uso de aparatos y sistemas eléctricos puede presentar un riesgo inminente de accidente eléctrico para las personas, animales y cosas y que, por lo tanto, es necesario tomar las medidas de seguridad adecuadas para evitarlos en todo momento.



Contenido

- 21.1. Riesgo eléctrico
- 21.2. Efectos fisiológicos producidos por la corriente eléctrica
- 21.3. Factores que influyen en el riesgo eléctrico
- 21.4. Tipos de contactos eléctricos y sistemas de protección
- 21.5. Riesgos de la electricidad sobre los materiales
- 21.6. Normativa sobre seguridad
- 21.7. Normas de seguridad para la realización de trabajos eléctricos
- 21.8. Primeros auxilios en los accidentes eléctricos

Objetivos

- Identificar los riesgos de choque eléctrico en las personas y sus efectos fisiológicos, así como sus factores relacionados.
- Conocer los tipos de accidentes eléctricos.
- Identificar los sistemas de protección contra contactos directos e indirectos.
- Identificar las protecciones necesarias para una instalación contra sobrecorrientes y sobretensiones.
- Interpretar las cinco reglas de oro para la realización de trabajos sin tensión.
- Manejar el REBT y la normativa de aplicación en materia de prevención de riesgos laborales.

21 Seguridad en las instalaciones electrotécnicas

21.1 Riesgo eléctrico

Cuando una persona se expone al contacto de la electricidad, se originan los accidentes eléctricos. En la mayoría de los casos, estos accidentes se producen por ignorancia, falta de prevención, imprudencia, exceso de confianza, reducidos conocimientos de la Electrotecnia, fallos técnicos y humanos, así como el incumplimiento de las normas básicas de *seguridad técnica y personal*.

La prevención de riesgos en las instalaciones eléctricas debe de ser máxima. La electricidad no se percibe. No se ve y, pero ocasiona importantes daños en la salud de los trabajadores y las personas

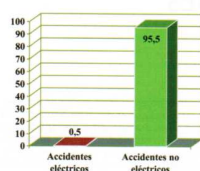


Figura 21.1. Estadística de accidentes.

Los accidentes eléctricos representan el 0,5% del total de accidentes, pero este bajo porcentaje se corresponde con el 8% de los accidentes mortales en los centros de trabajo, lo cual indica que se asocian a lesiones muy graves.

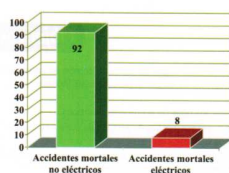


Figura 21.2. Accidentes eléctricos.

Los riesgos que origina el uso de la energía eléctrica son:

- Riesgo de electrocución por el paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano.
- Riesgo de incendio provocado por la instalaciones eléctricas al sufrir una sobrecarga o cortocircuito.

352

El riesgo de incendio se puede reducir realizando las instalaciones eléctricas según la legislación y normativa vigente, así como utilizando materiales eléctricos de calidad que sean homologados por organismos oficiales. Por supuesto, estos materiales habrá que seleccionarlos y dimensionarlos en función de las características propias de cada instalación. Además los usuarios de las instalaciones deberán hacer un uso adecuado de las mismas según el fin al que han sido destinadas, debiendo respetar las normas de seguridad básicas que hagan que su uso sea fiable y seguro.

El riesgo de electrocución es la posibilidad de que la corriente eléctrica fluya a través del cuerpo humano. Para que esto ocurra es necesario que el cuerpo humano sea conductor, que forme parte del circuito y que exista una tensión entre dos puntos de contacto.

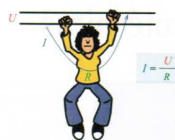


Figura 21.3. La intensidad de corriente que atraviesa el cuerpo humano depende de la ley de Ohm.

Cuanto mayor sea la intensidad de corriente eléctrica que recorra el cuerpo humano mayor será la posibilidad de sufrir daños, que pueden ser graves e incluso llegar a provocar la muerte.

Según la ley de Ohm, esta intensidad de corriente irá en aumento cuanto mayor sea la tensión de contacto del accidentado y cuanto menor sea la resistencia del cuerpo del mismo. De aquí se deduce que cuando se aumenta la tensión de contacto aumenta el riesgo de sufrir un accidente eléctrico; además la resistencia del cuerpo humano se reduce drásticamente en condiciones de humedad, lo que hace que aumente también en estos casos dichos riesgos.

21.2 Efectos fisiológicos producidos por la corriente eléctrica

En la norma UNE 20572 se definen los efectos fisiológicos de la corriente eléctrica por el cuerpo humano. En la Tabla 21.1 se definen los mismos en función de la intensidad

Tabla 21.1. Calor específico de diferentes sustancias.

Intensidad	Efectos fisiológicos en el cuerpo
1-3 mA	Percepción de picor. Umbral de percepción.
5-8 mA	Movimientos bruscos si se produce un contacto prolongado.
8-25 mA	Contracciones musculares y tetanización de los músculos de la mano y brazo.
25-30 mA	Tetanización del músculo del pecho (paso de la corriente por el corazón), en contactos prolongados (más de 2 minutos), que pueden provocar asfixia.
30-50 mA	Fibrilación ventricular, consecuencia del paso de corriente por la región cardíaca. Muerte si no se facilita atención adecuada en pocos minutos.
2-3 A	Parada respiratoria. Inconsciencia.
3 A o más	Quemaduras graves. Muerte.

de la corriente y del tiempo de contacto con la misma para una corriente alterna de 50 Hz.

En la Figura 21.4 se pueden observar como aumenta la gravedad de los efectos que produce el paso de la corriente eléctrica según aumenta la intensidad de la misma.

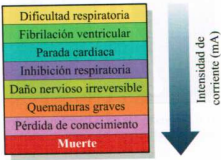


Figura 21.4. El aumento de la intensidad de corriente por el cuerpo humano aumenta la posibilidad de sufrir daños cada vez más graves.

- **Umbral de percepción:** es el valor mínimo de la intensidad de corriente que al paso por el cuerpo humano produce una sensación de cosquilleo no dolorosa y que se sitúa en 0,5 mA, cualquiera que la duración del contacto.
- **Corriente máxima de control muscular:** al aumentar el paso de la corriente eléctrica por el organismo, ésta interfiere en el sistema nervioso y tiende a provocar contracciones involuntarias de los músculos (tetanización). Cuando esta corriente se sitúa cerca de los 10 mA la persona accidentada todavía tiene el suficiente control muscular para poder soltarse de la fuente del contacto eléctrico.

- **Umbral de no soltar (tetanización):** para corrientes por encima de los 10 mA y hasta los 25 mA, la contracción involuntaria de los músculos sea hace muy violenta y la persona se siente incapaz de soltarse de los conductores de contacto, a no ser que se corte la corriente eléctrica. El choque eléctrico recibido es muy doloroso, y puede ir acompañado de dificultades en la respiración y alteraciones en el ritmo cardíaco.
- **Fibrilación ventricular:** ésta se puede producir para tiempos largos de exposición al contacto eléctrico y a partir de unos 25 mA de intensidad de corriente. La fibrilación ventricular consiste en una acción involuntaria de las fibras musculares, cuando son recorridas por la corriente eléctrica, y que altera el funcionamiento del corazón. Las consecuencias de la misma pueden ser muy graves, pudiendo llegar a producirse el paro cardíaco del accidentado con el consiguiente riesgo de muerte.
- **Paro respiratorio. Asfixia:** se da en torno a los 25 o 30 mA. Si la corriente eléctrica recorre la cabeza a través del centro nervioso se puede producir un paro respiratorio. En el caso de que la corriente atraviese el tórax se puede producir la contracción involuntaria de los músculos del diafragma, alterándose el ritmo respiratorio y pudiendo llegar a la asfixia, con el consiguiente riesgo de muerte.
- **Quemaduras:** si el paso de la corriente por el organismo es lo suficientemente intenso y se mantiene en el tiempo de forma considerable, se produce una elevación de temperatura por efecto Joule en la piel y en los músculos que da lugar a quemaduras y que incluso puede llegar a la carbonización de los tejidos. Por otro lado, cuando el accidentado se expone a los efectos de un arco eléctrico de alta temperatura (hasta 4.000 °C), se pueden llegar a producir quemaduras externas (piel, ojos, etc.).

21.3 Factores que influyen en el riesgo eléctrico

Además de los valores de la intensidad de corriente y del tiempo de duración del contacto eléctrico, otros factores que influyen en el riesgo eléctrico y que habrá que tener en cuenta para poner las medidas de prevención necesarias que eviten los accidentes eléctricos, son:

- Intensidad de la corriente.
- Tiempo de duración del contacto.
- Recorrido o trayectoria de la corriente a través del cuerpo.
- Impedancia o resistencia del cuerpo humano.
- Tensión de contacto.
- Tipo de corriente y frecuencia.

21 Seguridad en las instalaciones electrotécnicas

21.3.1. Intensidad de la corriente y tiempo de duración del contacto

En la Figura 21.5 se muestra los efectos fisiológicos que produce el paso de una corriente eléctrica, en función de su intensidad y de la duración del contacto, para una corriente alterna comprendida entre 15 y 100 Hz y según se expone en la norma UNE 20572.

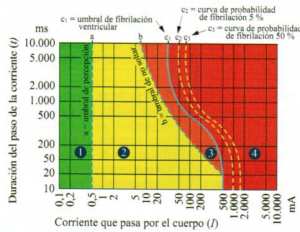


Figura 21.5. Efectos fisiológicos que produce una corriente alterna de 15 a 100 Hz en función del tiempo.

En la Tabla 21.2 se explican los efectos fisiológicos para cada una de las zonas que aparecen en la Figura 21.5.

21.3.2. Recorrido o trayectoria de la corriente a través del cuerpo

Los efectos del contacto eléctrico dependerán de los órganos del cuerpo humano que atraviese la corriente. Las trayectorias más peligrosas son las que recorren el corazón, la cabeza y los pulmones, y las mayores lesiones se producen cuando la corriente circula en las siguientes direcciones (Figura 21.6):

- Mano izquierda – pie derecho.
- Mano derecha – pie izquierdo.
- Manos – cabeza.
- Mano derecha – toráx (corazón) – mano izquierda.
- Pie derecho – pie izquierdo.

354

Tabla 21.2. Zonas de riesgo para las curvas de la Figura 21.5.

Zonas	Efectos fisiológicos
Zona 1	Curva a. No se produce ninguna reacción del organismo. Sin peligro.
Zona 2	Curva b. Se perciben los efectos de la corriente eléctrica pero sin que la persona sufra peligro alguno.
Zona 3	Curva c. Probabilidad de contracciones musculares involuntarias y dificultad respiratoria. Alteraciones en el funcionamiento del corazón de tipo reversible. El riesgo es mayor, aunque habitualmente no se produce ningún daño orgánico.
Zona 4	Curvas c ₂ y c ₃ . Alta probabilidad de fibrilación ventricular, parada cardíaca, parada respiratoria, asfixia y quemaduras graves, aumentando su gravedad con la intensidad y el tiempo.

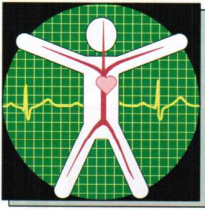


Figura 21.6. Trayectorias de la corriente eléctrica por el cuerpo humano.

21.3.3. Impedancia o resistencia del cuerpo humano

Cuanto más baja sea la impedancia eléctrica que ofrece el organismo frente a la exposición de una tensión eléctrica de contacto, mayor será la corriente eléctrica que recorra el cuerpo humano, con el consiguiente aumento del riesgo de sufrir una fuerte electrocución.

Dependiendo de la trayectoria que recorra la corriente por el cuerpo humano (piel, músculos, sangre, articulaciones, etc.), así será la impedancia que ofrecerá el cuerpo humano, siendo ésta de carácter resistivo y capacitivo (debido sobre todo a la piel).

Además la resistencia eléctrica de la piel que entra en contacto con un electrodo es variable de una persona a otra, bajando considerablemente en condiciones de humedad (sudoración, locales húmedos o mojados) y aumentando al disminuir la superficie de contacto.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece 2.500 Ω como valor nominal de la resistencia del cuerpo humano en condiciones normales de humedad.

Por otro lado, la norma CEI 479 nos indica que los valores de la resistencia del cuerpo humano en función del grado de humedad de la piel y para una tensión de 250 V son los que se muestran en la Tabla 21.3.

Tabla 21.3. Resistencia del cuerpo humano para 250 V.

Estado de la piel	Resistencia
Piel seca	1.500 Ω
Piel húmeda	1.000 Ω
Piel mojada	650 Ω
Piel sumergida	325 Ω

En la Tabla 21.4 se exponen los valores de la resistencia del cuerpo humano en función de la tensión de contacto (alterna) y según establece la norma UNE 20572.

Tabla 21.4. Impedancia del cuerpo humano.

Tensión de contacto (V)	Valores de impedancia en (Ω) del cuerpo humano que no son sobrepasados por el siguiente porcentaje de población		
	5%	50%	95%
25	1.750	3.250	6.100
50	1.450	2.625	4.375
75	1.250	2.200	3.500
100	1.200	1.875	3.200
125	1.125	1.625	2.875
220	1.000	1.350	2.125
700	750	1.100	1.550
1.000	700	1.050	1.500

21.3.4. Tensión de contacto

Para una determinada resistencia del cuerpo humano en el momento del contacto eléctrico, el valor de la intensidad que recorre el cuerpo del accidentado aumentará

con la tensión, de lo que se deduce que cuanto mayor sea la tensión de contacto mayor será el peligro de la electricidad.

El REBT tiene en cuenta el peligro que suponen las instalaciones eléctricas en ciertos locales donde el riesgo de electrocución es mayor. Así, por ejemplo, en la instrucción ITC-BT-36 se tienen en cuenta tres tipos de instalaciones a muy baja tensión:

- Muy Baja Tensión de Seguridad (MBTS).
- Muy Baja Tensión de Protección (MBTP).
- Muy Baja Tensión Funcional (MBTF).

Para los tres casos, el REBT establece una tensión nominal que no exceda de 50 V en C.A. y 75 V en C.C. Por otro lado el REBT fija tensiones de trabajo inferiores para locales especiales, como 12 V para piscinas y 24 V para locales conductores (húmedos o mojados).

21.3.5. Tipo de corriente y frecuencia

El tipo de corriente que resulta más peligroso es la corriente alterna de 50/60 Hz, siendo la corriente continua mucho menos peligrosa para valores de intensidad de corriente y tiempo de exposición al contacto iguales.

Para frecuencias altas los efectos sobre el organismo disminuyen, ya que la impedancia del cuerpo aumenta con la frecuencia, sobre todo la de los órganos internos, tendiendo la corriente a fluir por la piel. A partir de unos 10.000 Hz la piel se calienta por efecto Joule sin llegar a afectar a los órganos internos.

Aunque la corriente continua no sea tan peligrosa como la alterna, si el tiempo de contacto es grande se pueden producir fenómenos de electrolisis en la sangre y en los fluidos corporales, con el consiguiente riesgo de sufrir una embolia gaseosa.

Actividad Resuelta 21.1

Determinar los efectos que producirá el contacto de una tensión eléctrica alterna de 50 Hz en los casos mostrados en la Tabla 21.5 para un 95% de la población y para un determinado tiempo de duración del contacto.

Tabla 21.5.

Caso	Tensión (V)	Tiempo (ms)
1	25	5.000
2	50	2.000
3	220	500
4	1.000	300

Para calcular los valores de la impedancia del cuerpo humano se ha tenido en cuenta la Tabla 21.4 y la Figura 21.5.

Solución:

Caso 1: $I = \frac{U}{R} = \frac{25}{6.100} = 0,004 \text{ A} = 4 \text{ mA}$

Caso 2: $I = \frac{U}{R} = \frac{50}{4.375} = 0,011 \text{ A} = 11 \text{ mA}$

Caso 3: $I = \frac{U}{R} = \frac{220}{1.550} = 0,142 \text{ A} = 142 \text{ mA}$

Caso 4: $I = \frac{U}{R} = \frac{1.000}{1.500} = 0,667 \text{ A} = 667 \text{ mA}$

Consultando los efectos fisiológicos causados por estas corrientes según la Figura 21.6 se han sacado las siguientes conclusiones:

- Caso 1 (4 mA/5.000 ms): zona 2, ligero cosquilleo, no se produce ningún peligro.
- Caso 2 (11 mA/2.000 ms): zona 2, ligera contracción involuntaria de los músculos, no se produce ningún peligro.
- Caso 3 (142 mA/500 ms): zona 3, probabilidad de contracciones musculares involuntarias y dificultad respiratoria. Riesgo de fibrilación ventricular.
- Caso 4 (667 mA/300 ms): zona 4, alta probabilidad de fibrilación ventricular, parada cardíaca, parada respiratoria, asfixia y quemaduras graves.

21.4 Tipos de contactos eléctricos y sistemas de protección

Los accidentes eléctricos se producen cuando una persona se pone en contacto de forma imprevista con elementos

que están sometidos a una cierta tensión eléctrica. Estos contactos se pueden producir de dos formas:

- Contacto eléctrico directo.
- Contacto eléctrico indirecto.

21.4.1. Contacto eléctrico directo

El contacto eléctrico se produce cuando la persona toca directamente dos partes activas (con tensión) de una instalación.

El contacto directo se puede producir de tres formas diferentes:

- Contacto directo con dos conductores activos de una línea eléctrica.
- Contacto directo con un conductor activo de línea y masa o tierra.
- Contacto directo por descarga disruptiva.

Contacto directo con dos conductores activos de una línea eléctrica

En este caso el contacto se produce cuando una persona toca con una mano una fase de la línea y con la otra mano otra fase distinta o el neutro (Figura 21.7). Para redes de distribución de baja tensión en C.A., esta tensión será de 230 V si el contacto se produce entre fase y neutro, y de 400 V si el contacto es entre fases.

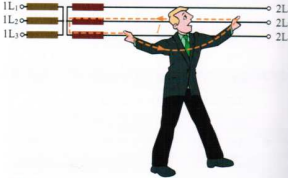


Figura 21.7. Contacto directo con dos conductores activos (dos fases).

En este tipo de accidente eléctrico, la trayectoria que sigue la corriente por el organismo atraviesa el tórax, lo que unido a las tensiones elevadas de contacto puede llevar al accidentado a la muerte.

Contacto directo con un conductor activo de línea y masa o tierra

Se produce cuando una persona toca una fase con la mano y los pies tocan tierra, siempre y cuando el neutro del sistema de distribución esté puesto a tierra, como suele ser habitual (Figura 21.8).

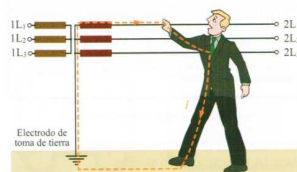


Figura 21.8. Contacto directo entre una fase y tierra.

En este caso el circuito se cierra entre la mano que toca la fase y los pies que tocan tierra hasta el neutro del transformador de distribución que está puesto a tierra. La tensión de contacto dependerá de la resistencia del calzado y de la del suelo conductor, siendo casi siempre inferior a los 230 V, por lo que el riesgo es algo inferior al del contacto con dos conductores activos. La trayectoria de la corriente resulta peligrosa ya que puede producir un paro cardíaco.

Contacto directo por descarga disruptiva

Este accidente se suele dar en redes en las que la tensión es lo suficientemente elevada para que se produzca un arco eléctrico entre la línea y la persona. En este caso la electrocución se produce antes de que se entre en contacto con la línea eléctrica y cuando la distancia entre la persona u objeto conductor se reduce hasta que el nivel de aislamiento del aire no sea suficiente para evitar que salte el arco eléctrico (Figura 21.9).

21.4.2. Sistemas de protección para evitar los contactos directos

Los accidentes por contactos directos presentan una frecuencia menor que los indirectos pero, sin embargo, suelen tener consecuencias más graves.

El 75% de los accidentes mortales son debidos a contactos directos.

© Cengage Learning Paraninfo



Figura 21.9. Contacto directo por descarga disruptiva.

Los contactos directos con la corriente eléctrica se pueden producir por:

- Realizar trabajos con tensión y sin tener en cuenta las protecciones adecuadas.
- No prestar la atención suficiente en el trabajo que se realiza y no tener en cuenta las normas de seguridad establecidas.
- Aislamiento insuficiente de los conductores de línea y de los receptores.
- Utilizar tensiones más altas a las prescritas en la normativa vigente.
- Sistemas de protección inadecuados en las instalaciones eléctricas.

El REBT en la instrucción ITC-BT 24 nos indica que los medios a utilizar para evitar los contactos directos vienen expuestos y definidos en la Norma UNE 20460-4-41, que son habitualmente:

- Protección por aislamiento de las partes activas.
- Protección por medio de barreras o envolventes.
- Protección por medio de obstáculos.
- Protección por puesta fuera de alcance por alejamiento.
- Protección complementaria por dispositivos de corriente diferencial residual.

Protección por aislamiento de las partes activas

Las partes activas deberán estar recubiertas de un aislamiento que no pueda ser eliminado más que destruyéndolo. Las pinturas, barnices, lacas y productos similares no se considera que constituyan un aislamiento suficiente en el marco de la protección contra los contactos directos.

21 Seguridad en las instalaciones electrotécnicas



Figura 21.10. Aislamiento de las partes activas.

Este tipo de protección es el que se utiliza cuando se aísla los conductores eléctricos con materiales adecuados o se recubre de material aislante las herramientas de trabajo. El material aislante evita que se pueda tocar directamente las partes de la instalación que están bajo tensión.

Protección por medio de barreras o envoltentes

Las partes activas deben estar situadas en el interior de las envoltentes o detrás de barreras que posean, como mínimo, el grado de protección IP XXB, según UNE 20324.

Este tipo de protección es el que se utiliza en las cajas de interruptores, tomas de corriente, cajas de derivación, armarios con automatismos, carcasas de motores, etc.



** En el CD-ROM que se incluye con este texto se ha incluido un documento con el nombre «Grados IP-IK» donde se recoge el significado y la explicación de los códigos IP, IK.

Las superficies superiores de las barreras o envoltentes horizontales que son fácilmente accesibles, deben responder como mínimo al grado de protección IP4X o IP XXD.

Las barreras o envoltentes deben fijarse de manera segura y ser de una robustez y durabilidad suficientes para mantener los grados de protección exigidos, con una separación suficiente de las partes activas en las condiciones normales de servicio, teniendo en cuenta las influencias externas.

Cuando sea necesario suprimir las barreras, abrir las envoltentes o quitar partes de éstas, esto no debe ser posible más que:

- Con la ayuda de una llave o de una herramienta.
- Después de quitar la tensión de las partes activas protegidas por estas barreras o estas envoltentes, no pudiendo

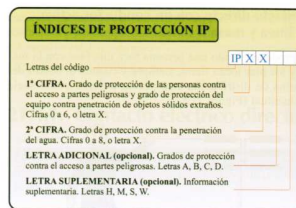


Figura 21.11. Grados de protección IP.

ser restablecida la tensión hasta después de volver a colocar las barreras o las envoltentes.

- Si hay interpuesta una segunda barrera que posea como mínimo el grado de protección IP2X o IP XXB, que no pueda ser quitada más que con la ayuda de una llave o de una herramienta y que impida todo contacto con las partes activas.

Protección por medio de obstáculos

Esta medida no garantiza una protección completa y su aplicación se limita, en la práctica, a los locales de servicio eléctrico solo accesibles al personal autorizado.

Los obstáculos están destinados a impedir los contactos fortuitos con las partes activas y deben impedir:

- Un acercamiento físico no intencionado a las partes activas.
- Los contactos no intencionados con las partes activas en el caso de intervenciones en equipos bajo tensión durante el servicio.

Los obstáculos pueden ser desmontables sin la ayuda de una herramienta o de una llave; no obstante, deben estar fijados de manera que se impida todo desmontaje involuntario.

Protección por puesta fuera de alcance por alejamiento

Esta medida no garantiza una protección completa y su aplicación se limita, en la práctica, a los locales de servicio eléctrico solo accesibles al personal autorizado.

La puesta fuera de alcance por alejamiento está destinada solamente a impedir los contactos fortuitos con las partes activas.

Las partes accesibles simultáneamente, que se encuentran a tensiones diferentes, no deben encontrarse dentro del volumen de accesibilidad.

El volumen de accesibilidad de las personas se define como el situado alrededor de los emplazamientos en los que pueden permanecer o circular personas, y cuyos límites no pueden ser alcanzados por una mano sin medios auxiliares. Por convenio, este volumen está limitado conforme a la Figura 21.12, entendiendo que la altura que limita el volumen es de 2,5 m.

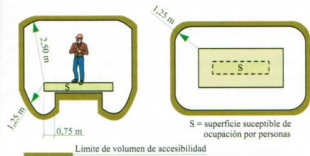


Figura 21.12. Volumen de accesibilidad de las partes activas de la instalación eléctrica.

Cuando el espacio en el que permanecen y circulan normalmente personas está limitado por un obstáculo (por ejemplo, listón de protección, barandillas, panel enrejado) que presenta un grado de protección inferior al IP2X o IPXXB, según UNE 20324, el volumen de accesibilidad comienza a partir de este obstáculo.

En los emplazamientos en que se manipulen corrientemente objetos conductores de gran longitud o voluminosos, las distancias prescritas anteriormente deben aumentarse teniendo en cuenta las dimensiones de estos objetos.

Protección complementaria por dispositivos de corriente diferencial residual

Esta medida de protección está destinada solamente a complementar otras medidas de protección contra los contactos directos.

El empleo de dispositivos de corriente diferencial-residual, cuyo valor de corriente diferencial asignada de funcionamiento sea inferior o igual a 30 mA, se reconoce como medida de protección complementaria en caso de fallo de otra medida de protección contra los contactos directos o en caso de imprudencia de los usuarios.

La utilización de tales dispositivos no constituye por sí misma una medida de protección completa y requiere el empleo de una de las medidas de protección enunciadas en los apartados anteriores.

21.4.3. Contacto eléctrico indirecto

El contacto indirecto se produce cuando la persona entra en contacto con una masa que se ha puesto en tensión de forma accidental por un fallo de aislamiento de los conductores eléctricos.

Como ya es sabido, por medida de seguridad se suele conectar el neutro del transformador a tierra; de esta forma la tierra es como si fuese un conductor eléctrico más del sistema trifásico.

En estas condiciones, veamos qué ocurre cuando, por cualquier causa, falla un aislamiento (por ejemplo, un conductor que se queda sin su funda aislante) y un conductor eléctrico entra en contacto directo con una masa metálica accesible a las personas. Supongamos que dicha masa es el chasis de una máquina herramienta (Figura 21.13).

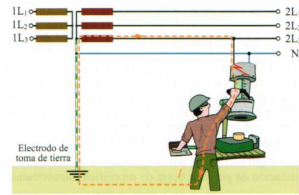


Figura 21.13. Contacto eléctrico indirecto.

Al ponerse en contacto un conductor activo con el chasis de la máquina herramienta, toda su masa queda sometida a una cierta tensión respecto al suelo (tierra). Si en estas condiciones una persona toca el chasis, someterá a su cuerpo a dicha tensión. Un punto de contacto será el de la mano con el chasis y el otro contacto se establecerá al tocar con los pies el suelo. Esto origina un paso de corriente eléctrica, a través del cuerpo humano, muy peligrosa, que puede llegar a ocasionar accidentes mortales.

¿Cómo se pueden eliminar los contactos indirectos?

Para evitar que la corriente atraviese el cuerpo de la persona, se conecta el chasis a tierra mediante el conductor de protección o de tierra (Figura 21.14).

21 Seguridad en las instalaciones electrotécnicas

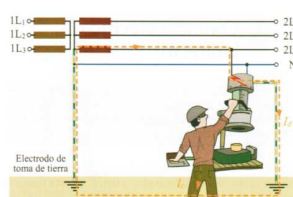


Figura 21.14. Protección contra los contactos indirectos mediante la puesta a tierra de las masas.

Al ser mucho menor la resistencia del conductor de protección que la del cuerpo humano, la corriente tiende a desviarse en su mayor parte por dicho conductor, lo que hace que la *tensión de contacto indirecto* quede reducida a valores menos peligrosos. De esta forma, quedan protegidas las personas de estos defectos de aislamiento.

Instalación de puesta a tierra

En el REBT en la instrucción ITC-BT-18 se define la puesta o conexión a tierra como la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo mediante una toma de tierra con un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo.

En la Figura 21.15 se puede apreciar en qué consiste la instalación de puesta a tierra de un edificio de viviendas.

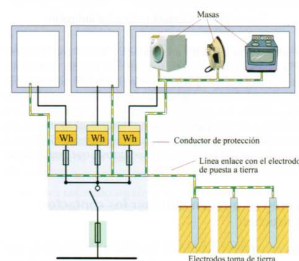


Figura 21.15. Circuito de puesta a tierra.

360

El conductor de protección une todas las masas metálicas de los aparatos eléctricos de forma directa o a través de las tomas de corriente con toma a tierra.

REBT Para ampliar información sobre las puestas a tierra, consulta en el REBT la Instrucción Técnica ITC-BT 18 (Instalaciones de puesta a tierra).

Dispositivo de corte por intensidad de defecto. El interruptor diferencial

El interruptor diferencial es un dispositivo que interrumpe el circuito en el caso de que exista un fallo de aislamiento. Así, por ejemplo, en el caso que estudiamos de fallo de aislamiento de la máquina herramienta, de haber existido un interruptor diferencial, éste hubiera detectado rápidamente el fallo, desconectando el circuito general. De esta forma se elimina el peligro de electrocución para las personas.

¿Cómo actúa el interruptor diferencial? (Figura 21.16).

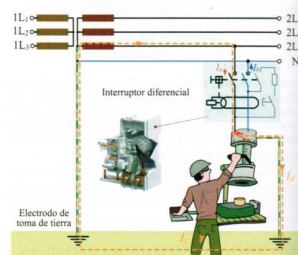


Figura 21.16. Protección a los contactos indirectos mediante interruptor diferencial.

En condiciones normales, la corriente que entra por uno de los conductores es igual a la que sale por el otro ($I_e = I_n$). Mientras se cumple esta condición el interruptor diferencial permanecerá con sus contactos cerrados. Ahora bien, cuando aparece un defecto de aislamiento, existe una parte de la corriente eléctrica que se deriva por tierra (corriente de fuga o corriente de defecto), lo que hace que la intensidad de entrada sea diferente a la de salida ($I_e \neq I_n$). El interruptor diferencial está dotado de un sistema de detección que capta la diferencia: $I_{\text{defecto}} = I_e - I_n$ y produce la apertura de sus contactos. De esta forma, en el momento en que aparece una corriente de derivación, el interruptor

desconecta el circuito, evitando los posibles peligros de la corriente de defecto.

¿Qué es la sensibilidad del interruptor diferencial?

Para que el interruptor diferencial se dispare, se necesita de una determinada intensidad de defecto. Así, por ejemplo, existen interruptores de alta sensibilidad que actúan para una intensidad de defecto de 30 mA (por debajo de 30 mA el interruptor permanecerá cerrado y por encima cortará la alimentación).

Los valores de la sensibilidad más utilizados son los siguientes:

- Alta sensibilidad ($I_d = 30$ mA).
- Media sensibilidad ($I_d = 300$ mA, 500 mA).
- Baja sensibilidad ($I_d = 1$ A, 2 A, 3 A).

En las viviendas se recomienda utilizar interruptores diferenciales de alta sensibilidad ($I_d = 30$ mA). ¿Por qué se hace esta recomendación?

En el caso de que una persona toque un conductor sin aislamiento (por ejemplo, un niño que mete los dedos en un enchufe), es decir, se ponga en contacto directo con una parte activa de la instalación mientras toca con los pies el suelo, inevitablemente, por su cuerpo atravesará una corriente eléctrica de fuga hacia tierra (Figura 21.17). Esta corriente puede llegar a ser muy peligrosa si el interruptor diferencial no corta la corriente de forma rápida.

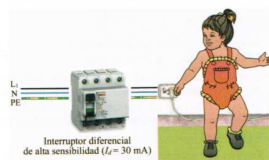


Figura 21.17. El interruptor diferencial de alta sensibilidad puede salvar la vida.

Para instalaciones de alumbrado la sensibilidad del interruptor diferencial será de 30 mA, mientras que para los circuitos de fuerza la sensibilidad se fijará entre 0,1 y 3 A.

21.4.4. Sistemas de protección contra contactos indirectos

El REBT en la instrucción ITC-BT 24 nos indica los diferentes sistemas de protección para eliminar los riesgos de-

rivados de los contactos eléctricos indirectos. Existen dos tipos de protección fundamental:

• **Sistemas activos que protegen por corte automático de la alimentación.** Estos sistemas se basan en la detección de tensiones de contacto respecto a tierra de las masas y en la desconexión automática de la alimentación en el caso de que éstas supongan un peligro para las personas. Un claro ejemplo de estos sistemas sería la protección mediante interruptor diferencial en combinación con la puesta a tierra de las masas.

• **Sistemas pasivos que suprimen el riesgo.** Estos sistemas se basan en acondicionar las instalaciones eléctricas y los locales o emplazamientos de las mismas, para conseguir que los contactos no sean peligrosos. Como, por ejemplo: utilizar material eléctrico con doble aislamiento (clase II), aislar eléctricamente los locales para conseguir que no sean conductores, utilizar conexiones equipotenciales en las masas que eliminen la posibilidad de que aparezcan tensiones peligrosas entre las mismas, y utilizar transformadores de separación eléctrica o de aislamiento.

Protección por corte automático de la alimentación

Este sistema se basa en el corte automático de la alimentación eléctrica por medio de un dispositivo de protección adecuado al tipo de instalación (interruptor diferencial, interruptor automático, fusibles, etc.), de tal forma que, cuando se produzca un fallo de aislamiento en la instalación, se evite que aparezca en las masas una tensión de contacto de valor suficiente y que se mantenga un tiempo tal que pueda dar como resultado un riesgo de electrocución.

En la norma UNE 204060-4-41 se describen los aspectos más significativos que deben reunir los sistemas de protección en función de los distintos esquemas de conexión de la instalación. Según la misma se tienen en cuenta los siguientes esquemas de conexión de puesta a tierra:

- Esquema TT.
- Esquema TN.
- Esquema IT.

Los esquemas más utilizados son el TT y el TN, dejando el IT para instalaciones eléctricas especiales. En este texto estudiaremos las dos primeras, pudiendo consultarse el esquema IT en la ITC-BT 24.

Esquema TT

Este es el esquema de distribución que más se emplea en las redes de distribución pública de baja tensión y es

21 Seguridad en las instalaciones electrotécnicas

básicamente el que ya hemos explicado anteriormente, consistente en la combinación de la puesta a tierra de las masas y el uso del interruptor diferencial como elemento de corte ante un fallo (Figura 21.18).

El REBT en la instrucción ITC-BT 24 nos indica que, para este sistema, todas las masas de los equipos eléctricos protegidos por un mismo dispositivo de protección deben ser interconectadas y unidas por un conductor de protección a una misma toma de tierra. Si varios dispositivos de protección van montados en serie, esta prescripción se aplica por separado a las masas protegidas por cada dispositivo.

El punto neutro de cada generador o transformador, o si no existe, un conductor de fase de cada generador o transformador, debe ponerse a tierra.

En el esquema TT, se utilizan los dispositivos de protección siguientes:

- Dispositivos de protección de corriente diferencial-residual.
- Dispositivos de protección de máxima corriente, tales como fusibles, interruptores automáticos.
- Dispositivos de protección de corriente diferencial-residual. Cuando se produce un fallo de aislamiento, aparece una corriente de defecto I_d por el conductor de protección hacia tierra. Dado que la toma de tierra de la masa y los conductores de protección poseen una cierta resistencia R_A , aparece una tensión de contacto U_c entre la masa y el suelo (Figura 21.18). Esta tensión deberá mantenerse dentro de unos límites que no resulten peligrosos para las personas que puedan llegar a tocar la masa bajo tensión. Para

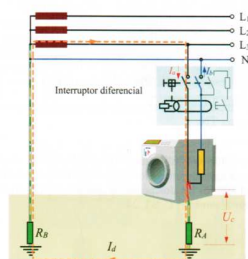


Figura 21.18. Esquema TT con dispositivo de protección de corriente diferencial-residual.

el cálculo de la tensión de contacto se aplica la ley de Ohm:

$$U_c = R_A \cdot I_d$$

En cualquier caso, si la corriente de defecto supera la de la sensibilidad del interruptor diferencial, éste cortará automáticamente la alimentación en un tiempo no superior a 1 segundo, eliminando definitivamente la tensión peligrosa de defecto.

Actividad Resuelta 21.2

En una instalación eléctrica con esquema TT, la resistencia de la toma de tierra y los conductores de protección de las masas es de 100Ω . Calcular la tensión de contacto máxima que aparecerá en el chasis de una cocina eléctrica si se produce un fallo de aislamiento en una de las fases de conexión. El circuito está protegido mediante un interruptor diferencial de 30 mA de sensibilidad.

Solución: $U_c = R_A \cdot I_d = 100 \cdot 0,030 = 3 \text{ V}$

Además de lo expuesto, en la ITC-BT 24 se indica lo siguiente:

Se cumplirá la siguiente condición:

$$R_A \cdot I_d \leq U_c$$

donde:

R_A = Suma de las resistencias de la toma de tierra y de los conductores de protección de masas.

I_d = Corriente que asegura el funcionamiento automático del dispositivo de protección. Cuando el dispositivo de protección es un dispositivo de corriente diferencial-residual es la corriente diferencial-residual asignada.

U_c = Tensión de contacto límite convencional (50 V, 24 V u otras, según los casos).

La selección de la sensibilidad del interruptor diferencial que ha de emplearse en cada caso vendrá delimitada por el valor la resistencia a tierra de las masas y por la tensión de contacto límite en función del local:

Locales o emplazamientos secos: $U_c = 50 \text{ V}$.

Locales o emplazamientos húmedos o mojados: $U_c = 24 \text{ V}$.

Según esto la resistencia de la toma de tierra no deberá superar en ningún caso la siguiente relación:

$$R_A \leq \frac{U_c}{I_d}$$

© Cengage Learning Paraninfo

Actividad Resuelta 21.3

Calcular los valores máximos que deberá poseer la resistencia de la toma de tierra en función la corriente que asegura el funcionamiento del interruptor diferencial (sensibilidad) y del tipo de local donde irá ubicada la instalación.

Solución: Aplicando la expresión mencionada anteriormente se han obtenido los resultados de la Tabla 21.6.

Para un interruptor diferencial de 30 mA de sensibilidad que protege un local seco donde la tensión de contacto máximo es de 50 V:

$$R_A \leq \frac{U_c}{I_d} \leq \frac{50}{0,03} = 1.666 \, \Omega$$

Tabla 21.6. Resistencia máxima de la toma de tierra de las masas.

	I_d (A)	U_c (V)	R_A (Ω)
Alta sensibilidad	0,03	50	1.666
	0,03	24	800
Media sensibilidad	0,3	50	166
	0,3	24	80
	0,5	50	100
	0,5	24	48
Baja sensibilidad	1	50	50
	1	24	24
	2	50	25
	2	24	12
	3	50	16
	3	24	8

Actividad Resuelta 21.4

Un local destinado al sector industrial posee una instalación de puesta a tierra con una resistencia de 125 Ω . ¿Cuál será la sensibilidad del interruptor diferencial asociado a esta toma de tierra para la protección contra contactos eléctricos indirectos para que su funcionamiento sea eficaz?

Solución: Dado que se puede considerar al local como seco, la tensión máxima de contacto permitida es de

50 V. La corriente que asegura el funcionamiento automático del dispositivo de protección será, por tanto:

$$I_d \leq \frac{U_c}{R_A} \leq \frac{50}{125} \leq 0,4 \, \text{A} = 400 \, \text{mA}$$

Por lo que sería suficiente para la protección con un interruptor diferencial comercial de media sensibilidad de 300 mA. Por supuesto, el uso de un interruptor de alta sensibilidad de 30 mA también garantizaría la protección.

• **Dispositivos de protección de máxima corriente, tales como fusibles, interruptores automáticos.** Estos dispositivos solamente son aplicables cuando la resistencia de la toma de tierra de las masas R_A tiene un valor muy bajo. Además, deben poseer una característica de funcionamiento de tiempo inverso e I_d debe ser la corriente que asegure el funcionamiento automático en 5 s como máximo.

Este sistema de protección es muy poco utilizado, ya que es la propia corriente de defecto la que debe provocar el disparo del interruptor automático. Dado que la tensión de contacto no puede superar los 50 V para locales secos y 24 V para húmedos, para que se alcance una intensidad de defecto lo suficientemente alta para que dispare el interruptor automático la resistencia de la toma de tierra de las masas deberá ser muy pequeña (inferior a 2 Ω). Estos valores tan bajos de la resistencia de la toma de tierra son muy difíciles de conseguir en la práctica, ya que para ello deberíamos contar con un terreno de muy baja resistencia e instalar en la red un gran número de tomas de tierra.

Esquema TN

En la práctica, este esquema queda reducido a aquellos casos en los que el usuario posea un transformador de distribución para uso exclusivo, por lo que su aplicación no está muy extendida.

En el esquema TN se elimina la puesta a tierra de las masas distinto al de la alimentación, es decir, en edificio o local donde se ubican las instalaciones eléctricas desaparece la instalación de toma de tierra y sólo se mantiene la puesta a tierra en el neutro del transformador de distribución. Para evitar que aparezcan tensiones de contacto peligrosas en las masas, éstas se pueden conectar directamente al neutro N de la instalación o a un conductor de protección CP que irá conectado directamente al punto de conexión de toma de tierra del transformador de distribución. Según esta última consideración se pueden obtener dos tipos de esquemas básicos: