

SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Riesgo Eléctrico

Los accidentes eléctricos representan el 0,5% del total de accidentes.

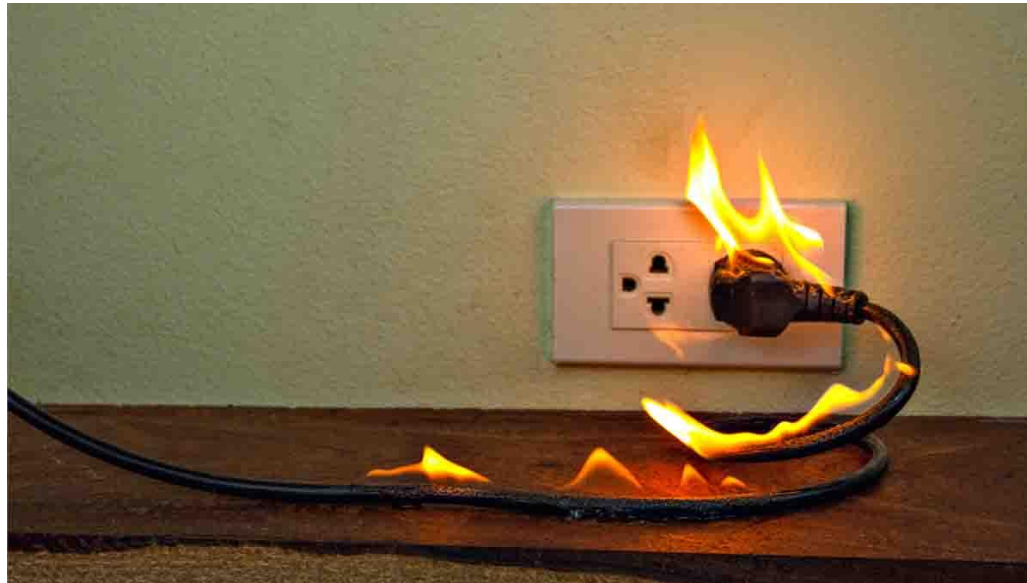
Sin embargo, representan el 8% de los accidentes mortales.

Los riesgos que origina la energía eléctrica son:

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

Riesgo de incendio

El riesgo de incendio se puede reducir realizando las instalaciones eléctricas según la legislación y normativa vigente, utilizando materiales homologados y haciendo un uso adecuado de las instalaciones.

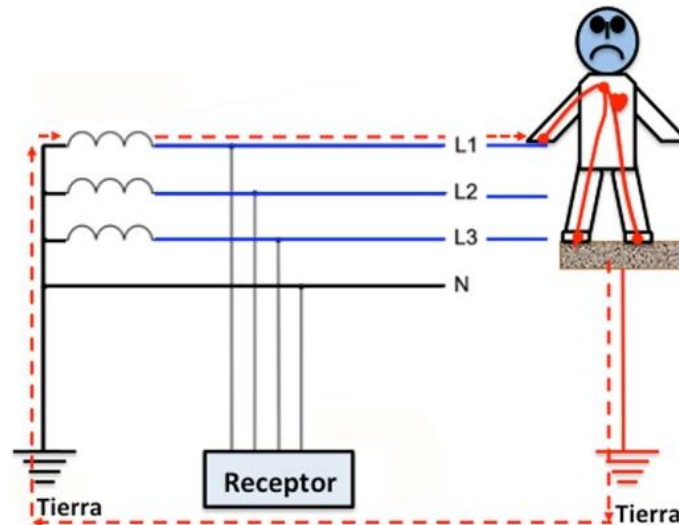


Riesgo de electrocución

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 exista una tensión (diferencia de potencial) entre dos puntos de contacto.

Cuanto mayor sea la intensidad y el tiempo de exposición, mayor será la posibilidad de sufrir daños.



Riesgo de electrocución

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

La intensidad dependerá de la tensión de contacto y de la resistencia (que dependerá de las condiciones de humedad, los objetos que intervengan, etc).

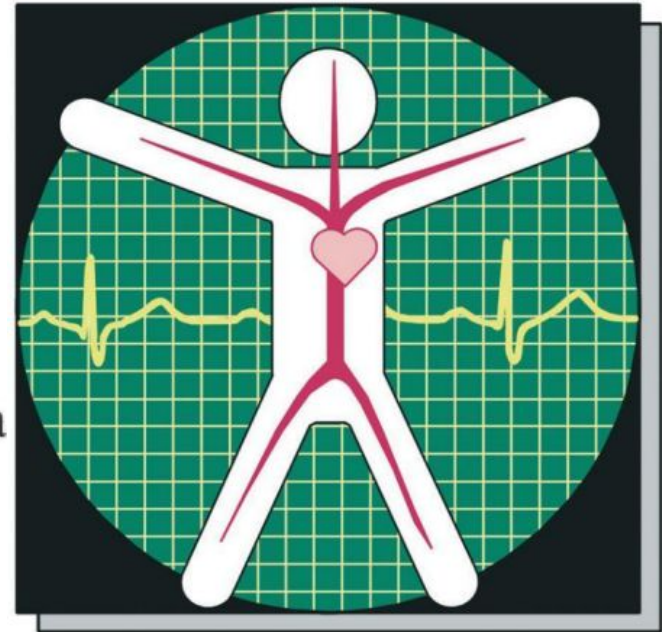
$$I = \frac{U}{R}$$

Riesgo de electrocución

Los efectos del contacto eléctrico dependen de los órganos del cuerpo humano que atraviese la corriente.

Las mayores lesiones se producen cuando la corriente circula en las siguientes direcciones:

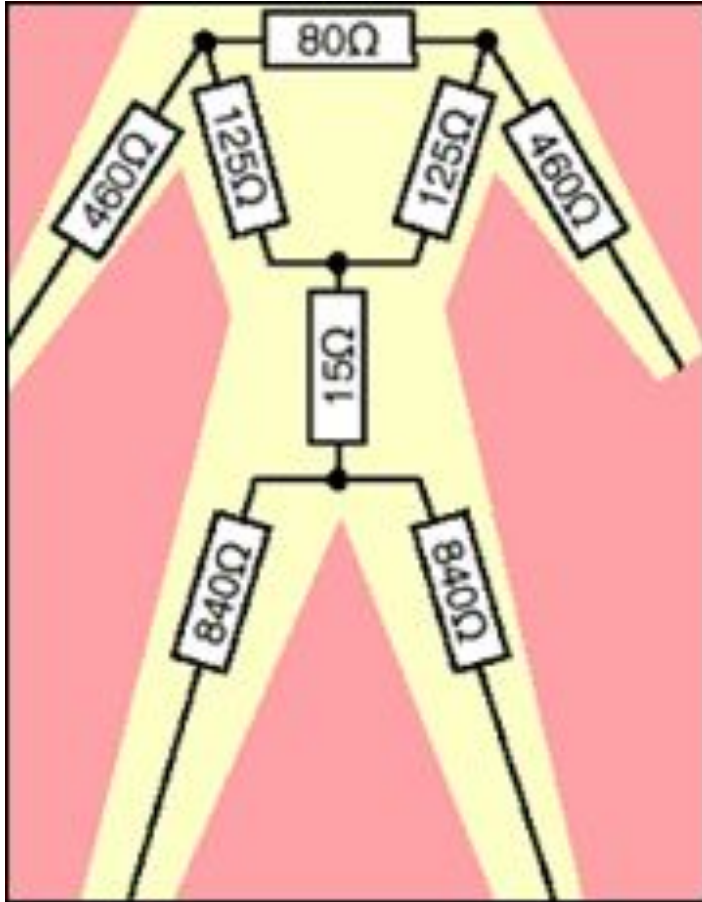
- Mano izquierda – pie derecho.
- Mano derecha – pie izquierdo.
- Manos – cabeza.
- Mano derecha – tórax (corazón) – mano izquierda
- Pie derecho – pie izquierdo.



Riesgo de electrocución

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.

Riesgo de electrocución



Riesgo Eléctrico

Resistencia del cuerpo humano a 250V según la norma CEI 479.

Piel seca: 1500 Ω

Piel húmeda: 1000 Ω

Piel mojada: 650 Ω

Piel sumergida: 325 Ω

Riesgo de electrocución

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

Tensión de contacto

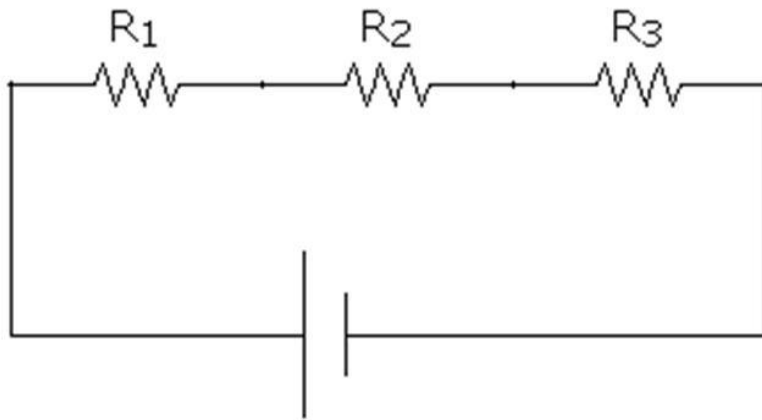
Para una determinada resistencia del cuerpo humano en el momento del contacto eléctrico, el valor de la intensidad que recorre el cuerpo del accidentado aumentará con la tensión, de lo que se deduce que cuanto mayor sea la tensión de contacto mayor será el peligro de la electricidad.

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).

Riesgo Eléctrico

Calcular la intensidad que atraviesa el cuerpo humano cuando se aplica una diferencia de potencial alterna de 400 V entre los dos brazos. Suponiendo una resistencia del cuerpo 1500Ω y que hay un guante en cada mano de 5000Ω cada uno.



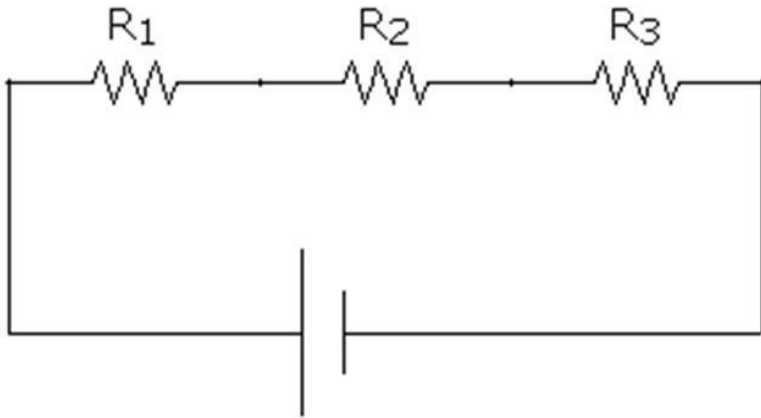
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 11\,500 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{400V}{11500\Omega} = 0,035 \text{ A}$$

Calcular la intensidad si no llevase guantes.

Riesgo Eléctrico

Calcular la intensidad que atraviesa el cuerpo humano cuando una persona se cuelga con los dos brazos en un cable, sin tocar el suelo, estando los cables a 400V entre fases y 230V entre fase y tierra. Suponiendo una resistencia del cuerpo 1500Ω y que hay un guante en cada mano de 5000Ω cada uno.

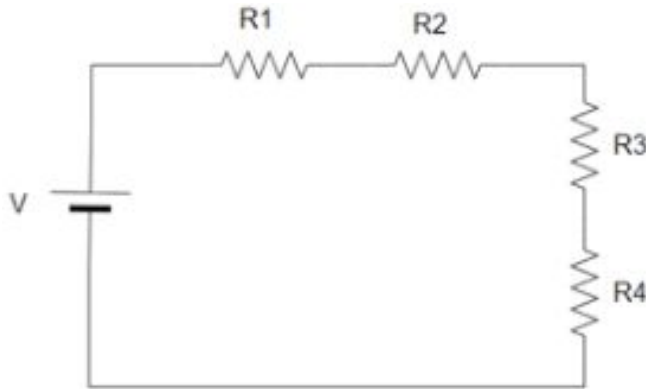


$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 11\,500 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{0V}{11\,500\Omega} = 0 A$$

Riesgo Eléctrico

Calcular la intensidad que atraviesa el cuerpo humano cuando se toca con una mano un cable que está a 400V entre fases y 230V entre fase y tierra, y se está tocando tierra con un solo pie. Suponiendo una resistencia del cuerpo 1500 Ω , lleva un guante en la mano de 5000 Ω , la bota del pie de 10 000 Ω y hay una resistencia entre la bota y tierra de 5000 Ω .



$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 21\,500\,\Omega$$

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{230V}{21500\Omega} = 0,0107\,A$$

Efectos de la corriente

Fibrilación ventricular: consiste en el movimiento anárquico del corazón, el cual, deja de enviar sangre a los distintos órganos y, aunque esté en movimiento, no sigue su ritmo normal de funcionamiento.

Tetanización: movimiento incontrolado de los músculos como consecuencia del paso de la energía eléctrica. Dependiendo del recorrido de la corriente perderemos el control de las manos, brazos, músculos pectorales, etc.

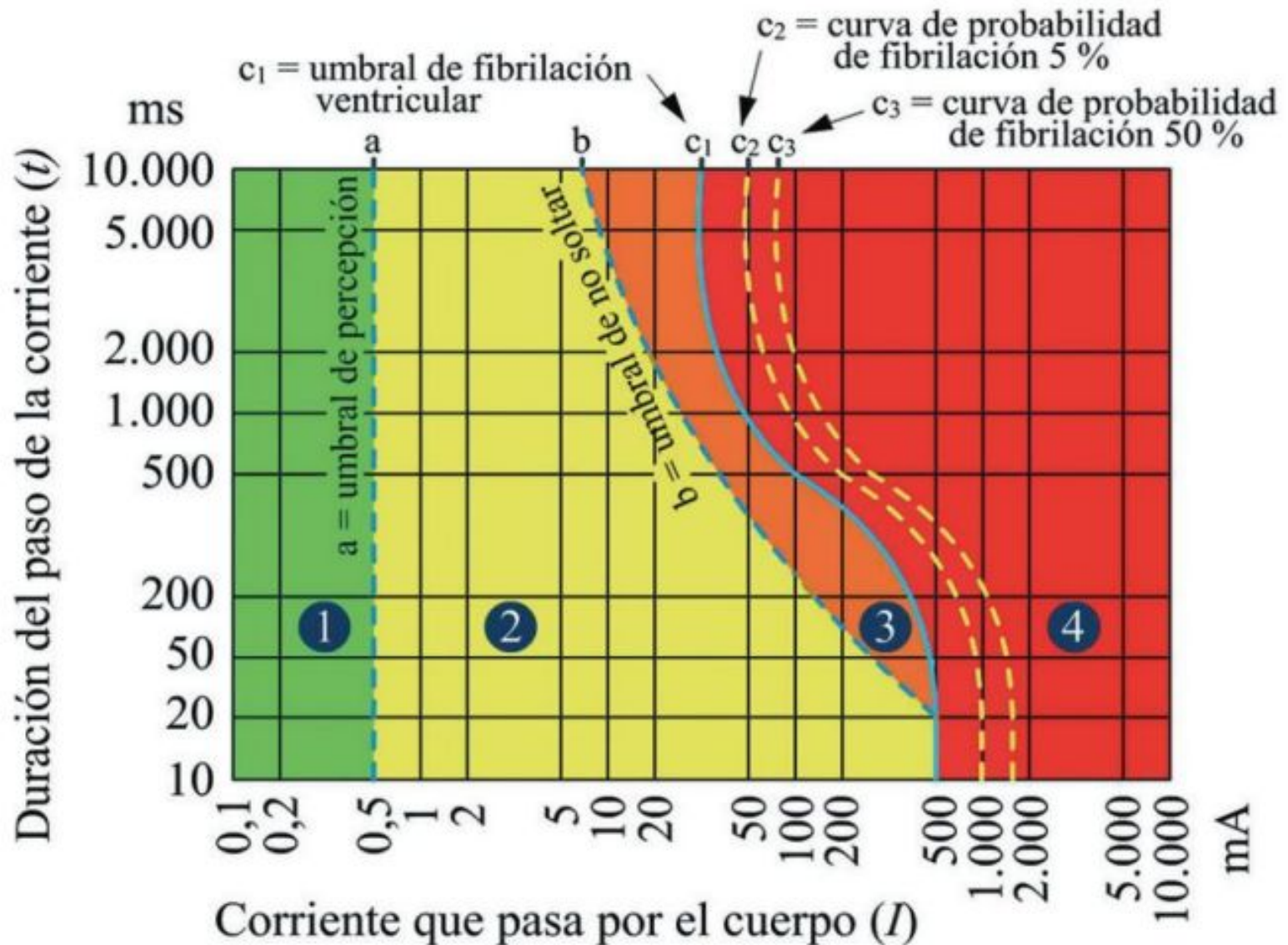
Asfixia: se produce cuando el paso de la corriente afecta al centro nervioso que regula la función respiratoria, ocasionando el paro respiratorio.

Quemaduras: las quemaduras profundas pueden llegar a ser mortales.

Efectos de la corriente

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 cardiaca. Muerte si no se facilita atención adecuada en pocos minutos.
2-3 A	Parada respiratoria. Inconsciencia.
3 A o más	Quemaduras graves. Muerte.

Intensidad y duración de contacto



Intensidad y duración de contacto

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_1 . 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.

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 electrólisis en la sangre y en los fluidos corporales, con el consiguiente riesgo de sufrir una embolia gaseosa.

Determina 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.

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

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.

Contactos directos

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

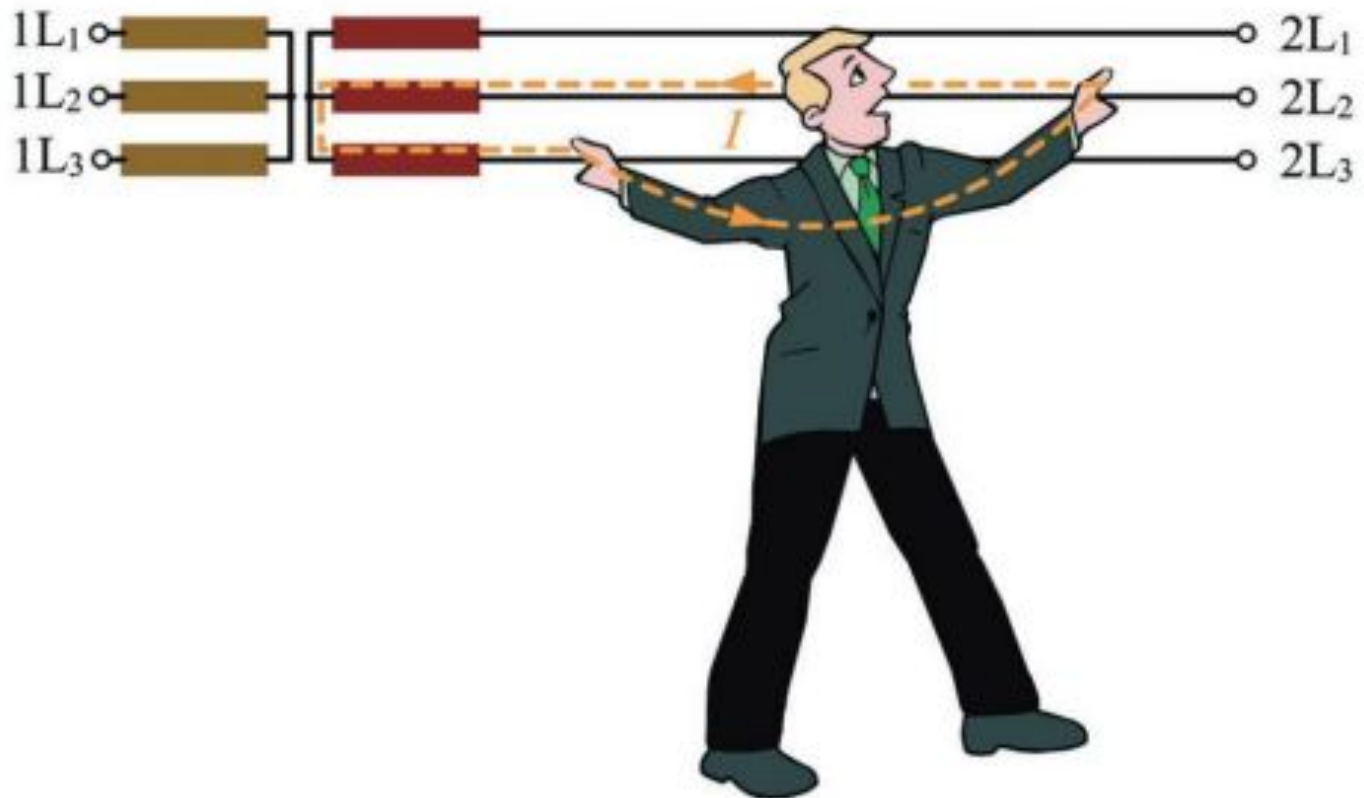
El contacto directo se puede producir de tres formas diferentes:

- 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.

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

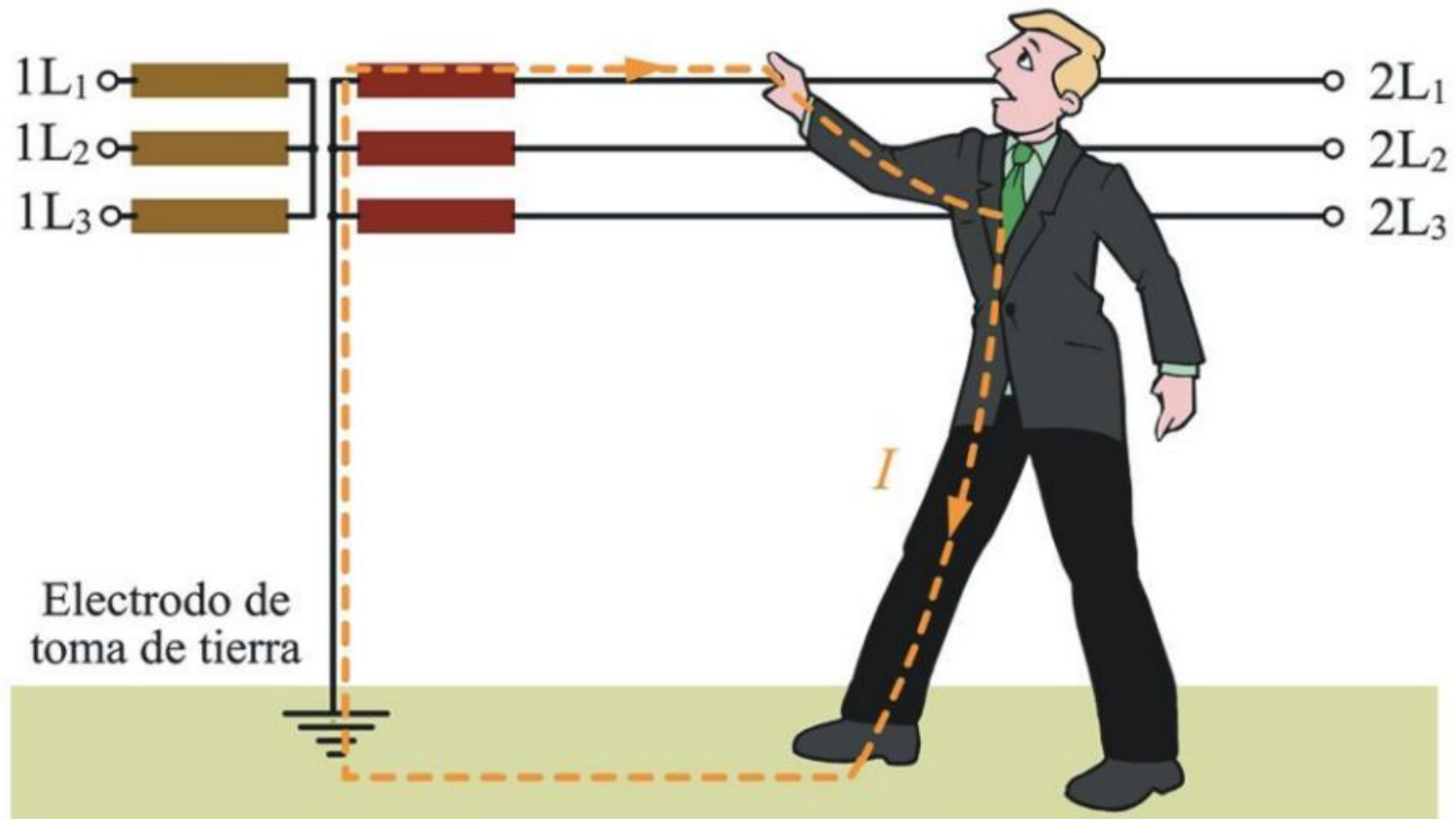
Contactos directos

Contacto directo con dos conductores activos de una línea eléctrica.



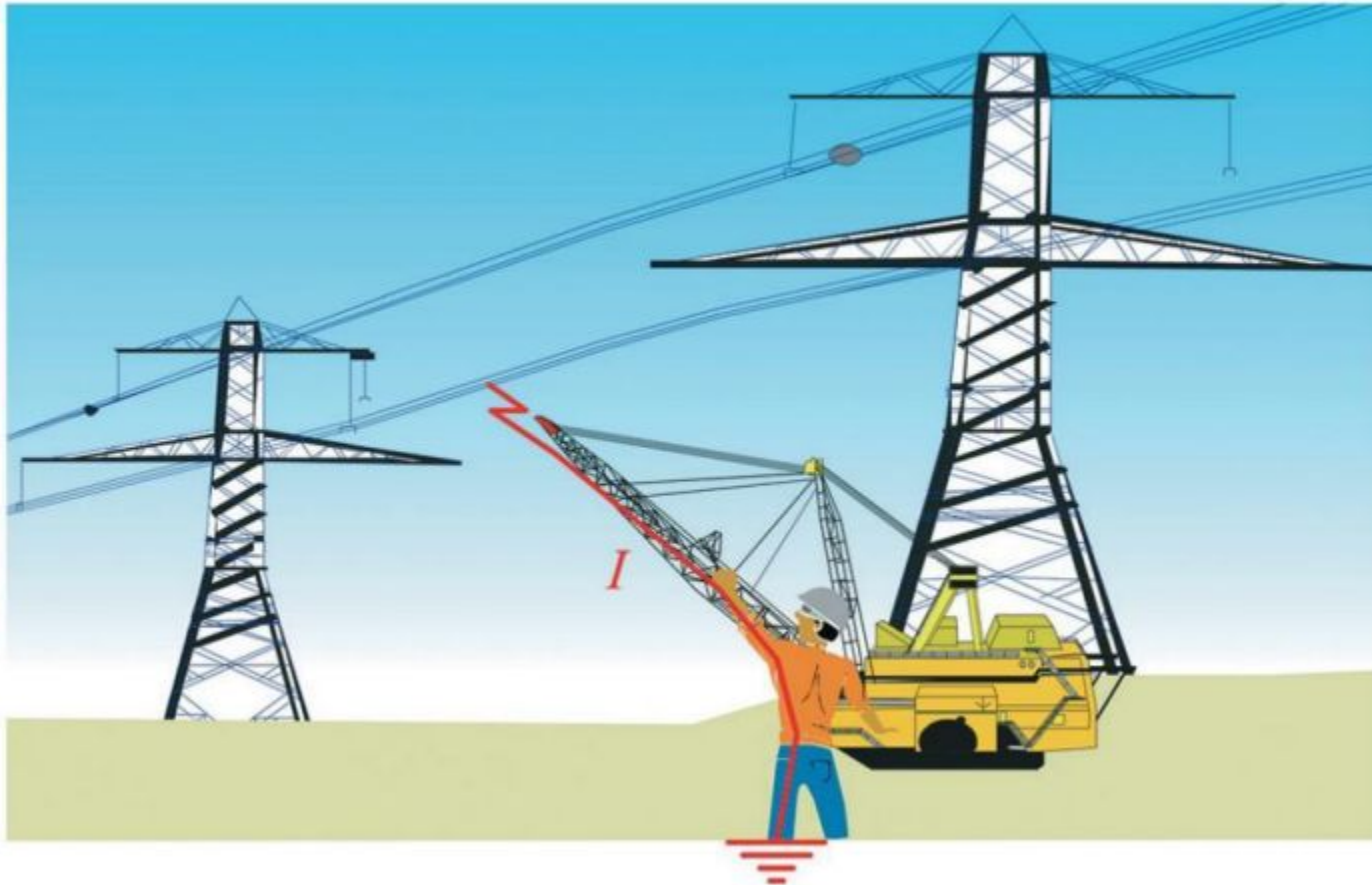
Contactos directos

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



Contactos directos

Contacto directo por descarga disruptiva.



Protección contra contactos directos

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 contra contactos directos

Protección por aislamiento de las partes activas

Las partes activas deberán estar recubiertas de un aislamiento que no pueda ser eliminado más que destruyéndolo.



Herramienta aislada



Cable aislado

Protección contra contactos directos

Protección por medio de barreras o envolventes

Las partes activas deben estar situadas en el interior de las envolventes o detrás de barreras.



Protección contra contactos directos

ÍNDICES DE PROTECCIÓN IP

Letras del código

IP	X	X		
----	---	---	--	--

1ª CIFRA. Grado de protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas y grado de protección del equipo contra penetración de objetos sólidos extraños. Cifras 0 a 6, o letra X.

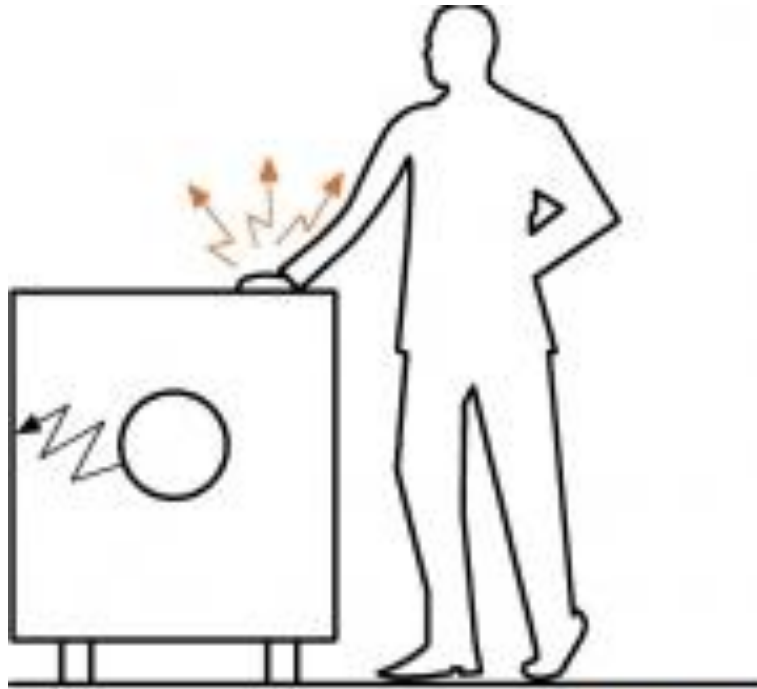
2ª CIFRA. Grado de protección contra la penetración del agua. Cifras 0 a 8, o letra X.

LETRA ADICIONAL (opcional). Grados de protección contra el acceso a partes peligrosas. Letras A, B, C, D.

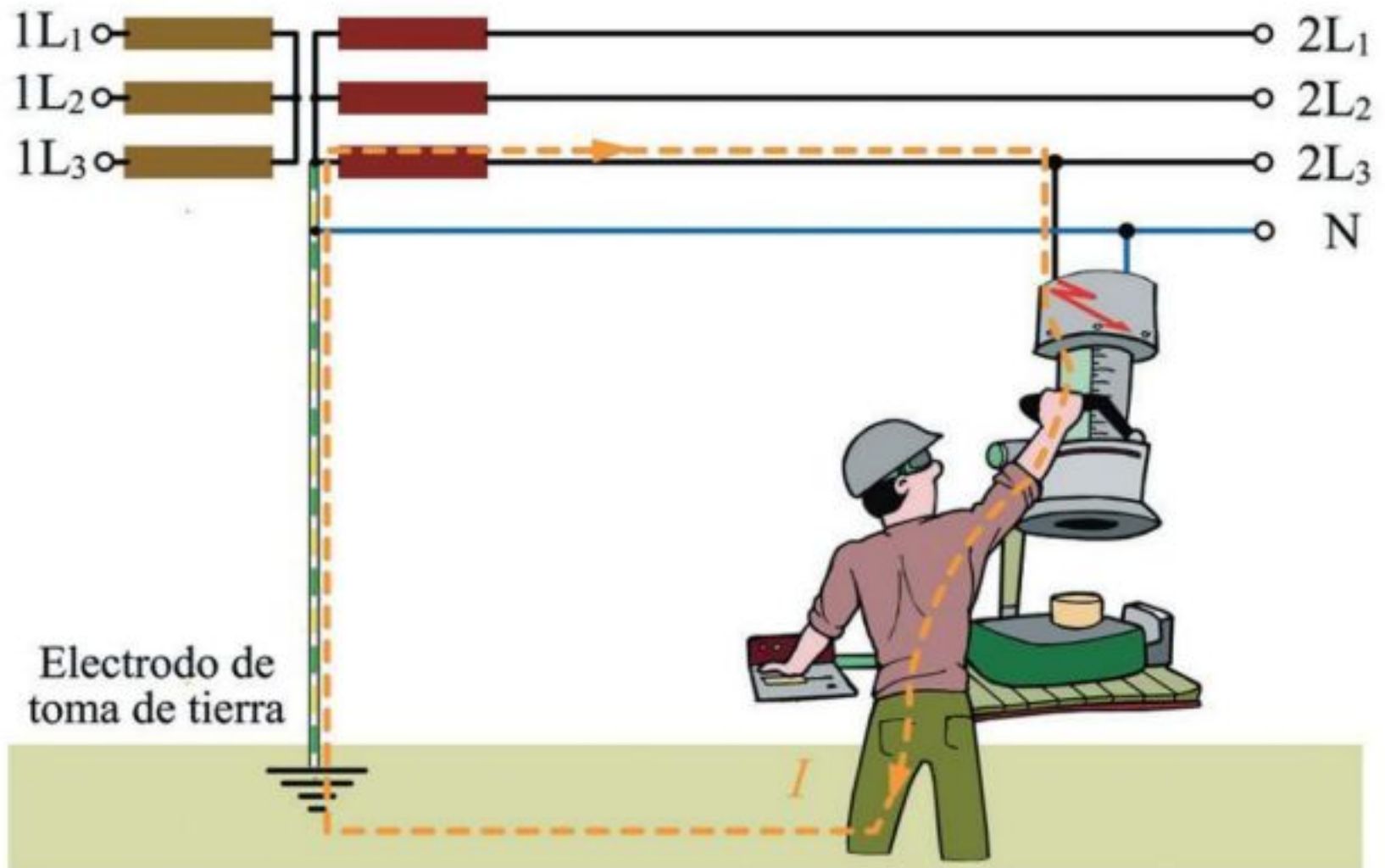
LETRA SUPLEMENTARIA (opcional). Información suplementaria. Letras H, M, S, W.

Contactos indirectos

Esta protección consiste en evitar que una persona entre en contacto con una masa que se ha puesto en tensión de forma accidental.



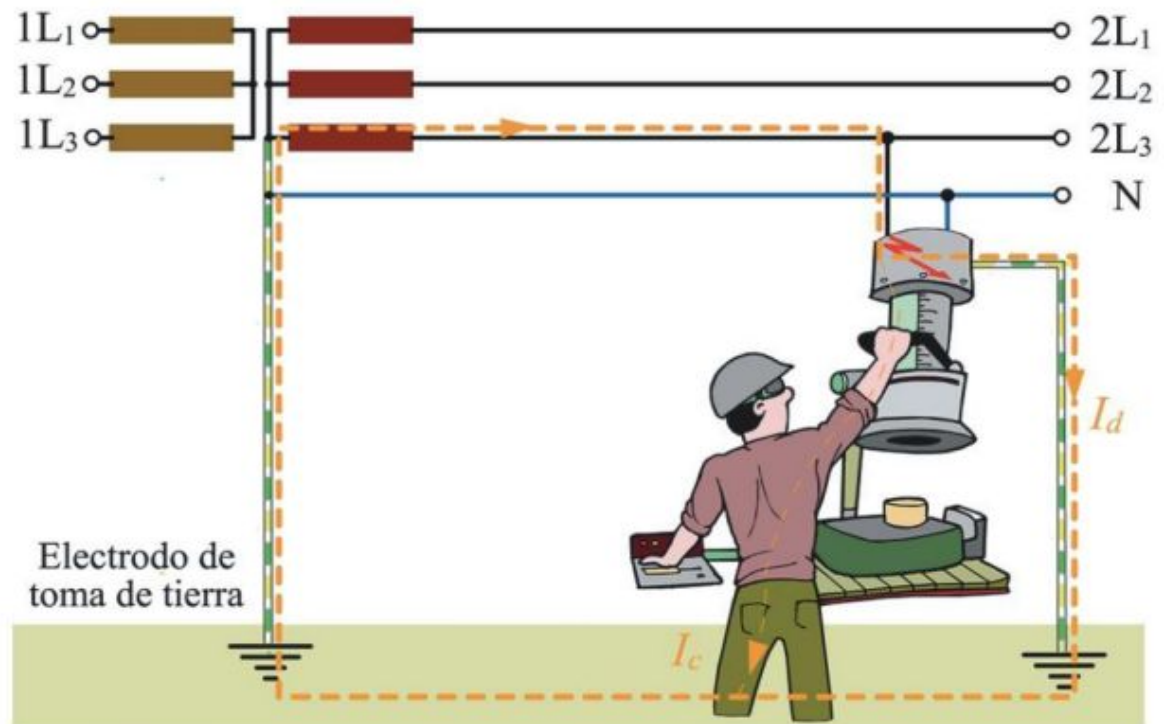
Contactos indirectos



Protección contra contactos indirectos

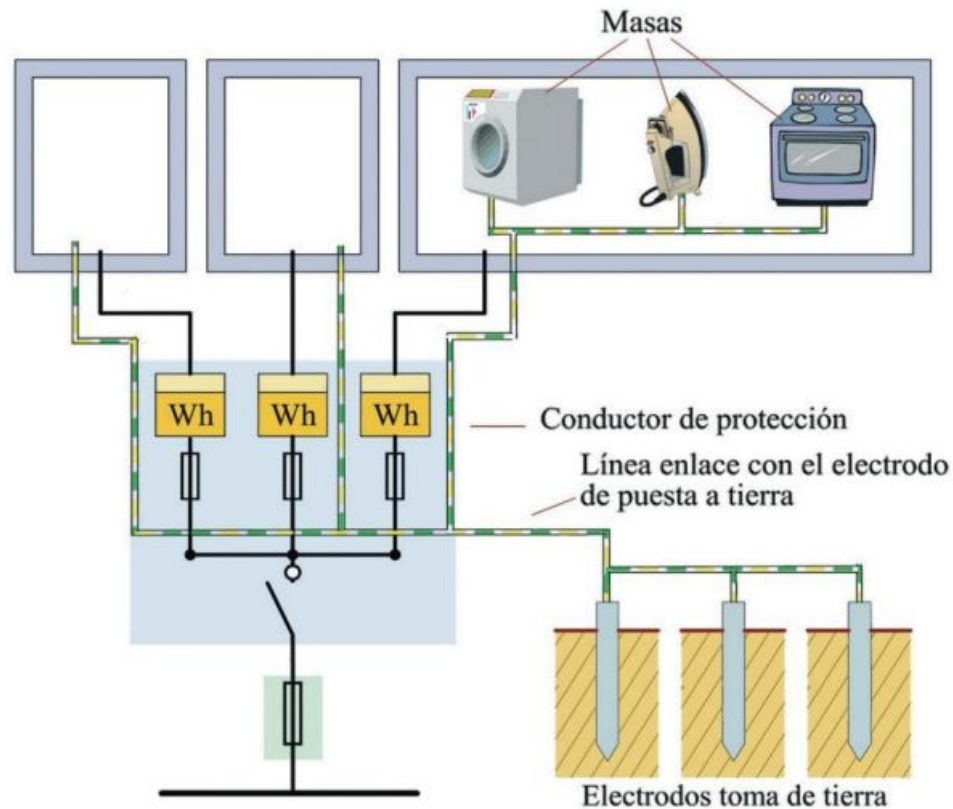
Para evitar que la corriente atravesase el cuerpo de la persona, se conecta el chasis a tierra mediante el conductor de protección o de tierra.

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.



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.



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, este hubiera detectado rápidamente el fallo, desconectando el circuito general.

De esta forma se elimina el peligro de electrocución para las personas.

Dispositivo de corte por intensidad de defecto. El interruptor diferencial

En condiciones normales, la corriente que entra por uno de los conductores es igual a la que sale por el otro ($I_a = I_b$).

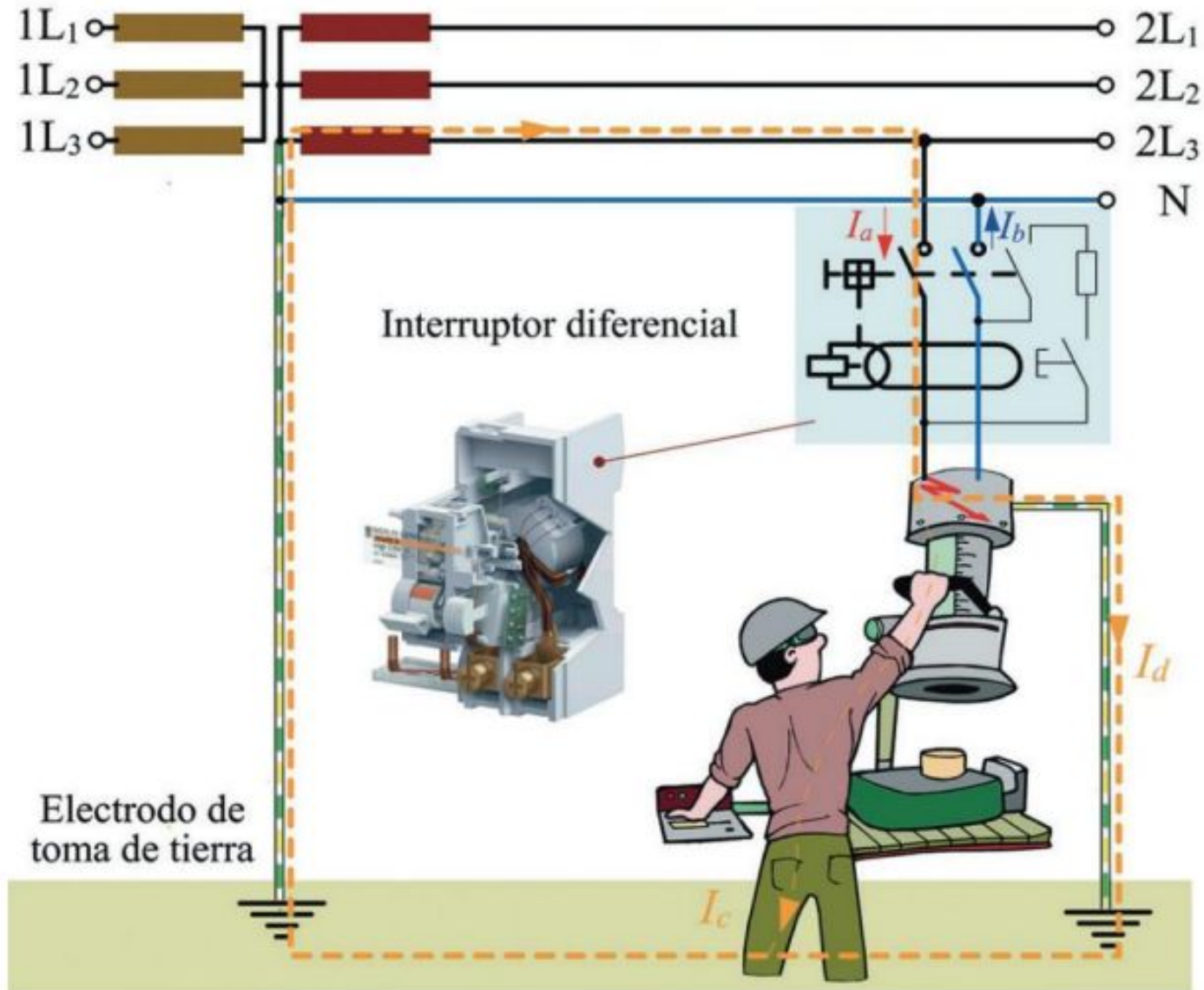
Mientras se cumpla esta condición el interruptor diferencial permanecerá con sus contactos cerrados.

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 ($I_a \neq I_b$).

El interruptor diferencial está dotado de un sistema de detección que capta la diferencia:

$I_{\text{defecto}} = I_a - I_b$ y produce la apertura de sus contactos.

Dispositivo de corte por intensidad de defecto. El interruptor diferencial



Dispositivo de corte por intensidad de defecto. El interruptor diferencial

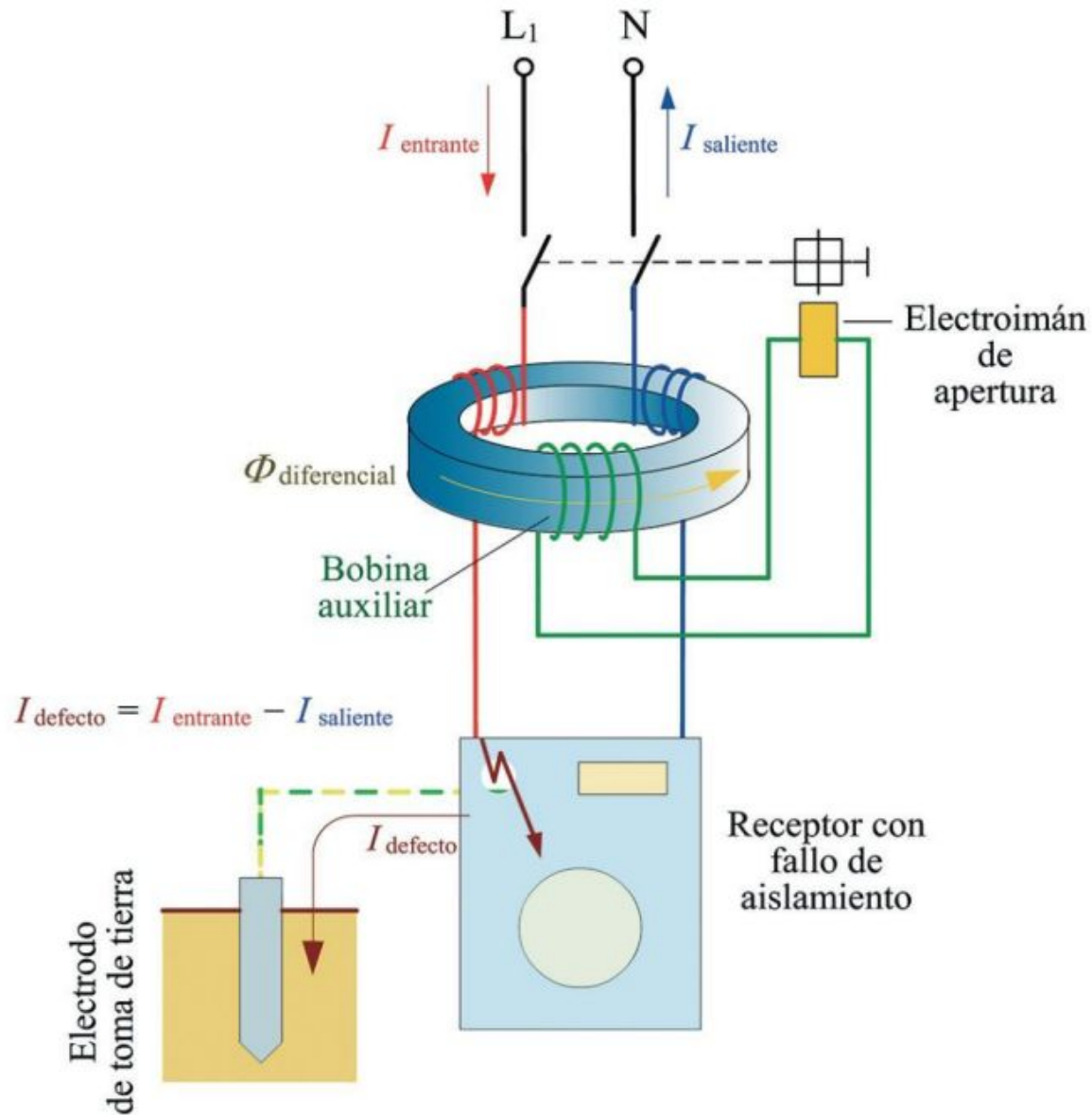
Para que el interruptor diferencial se dispare, se necesita de una determinada intensidad de defecto.

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).

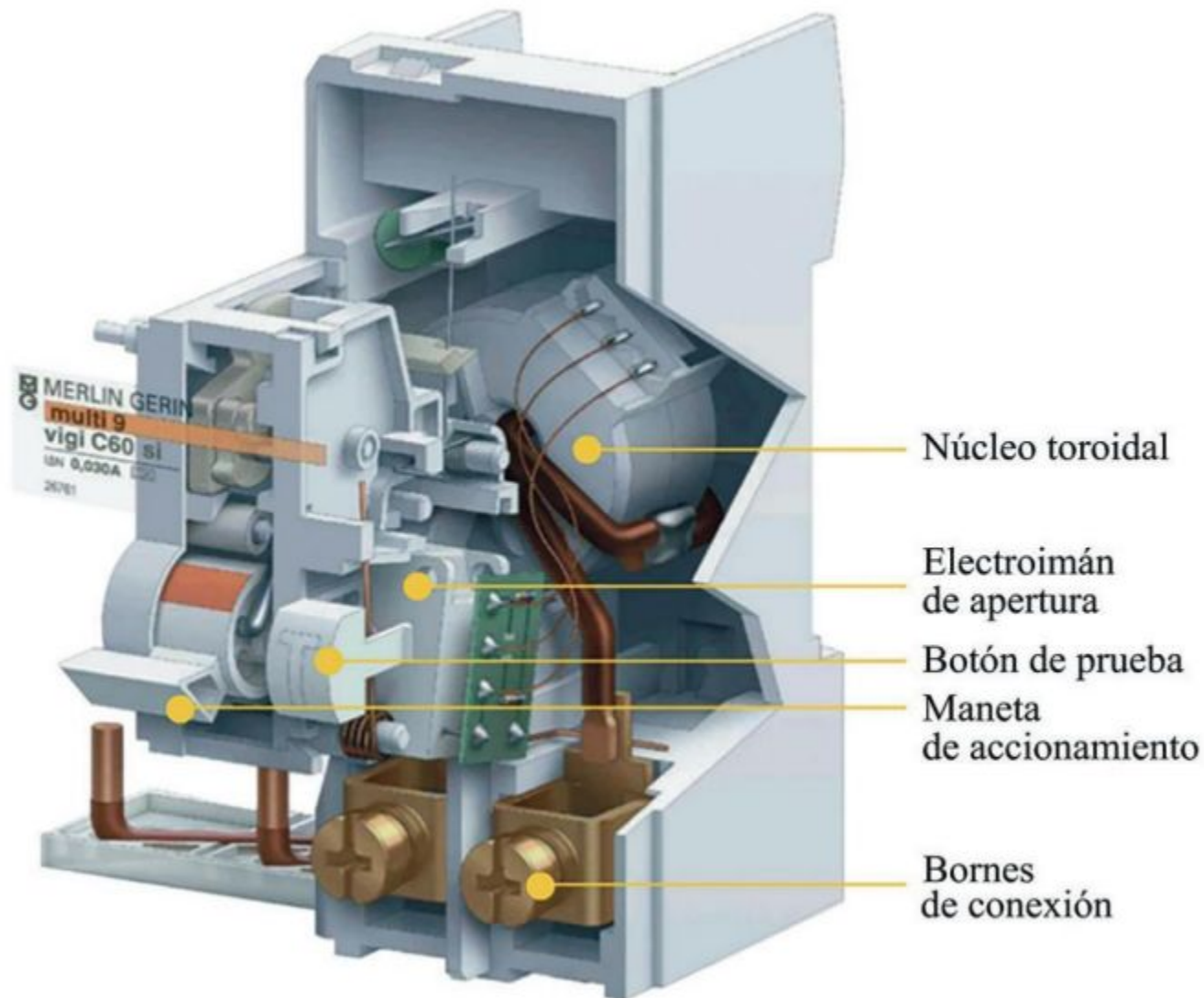
Los valores de la sensibilidad más utilizados son los siguientes:

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

El interruptor diferencial



El interruptor diferencial



Protección contra contactos indirectos

- **Protección por corte automático de la alimentación**
- **Utilización de equipos clase II**
- **Protección por separación eléctrica**
- **Etc.**

Protección contra contactos indirectos

Protección por corte automático de la alimentación

El corte automático de la alimentación después de la aparición de un fallo está destinado a impedir que una tensión de contacto de valor suficiente, se mantenga durante un tiempo tal que puede dar como resultado un riesgo.

Para que se produzca el corte automático, hay que tener en cuenta los diferentes regímenes de neutro (la primera letra indica cómo se conecta el neutro a tierra y la segunda cómo se conectan las masas)

-TT

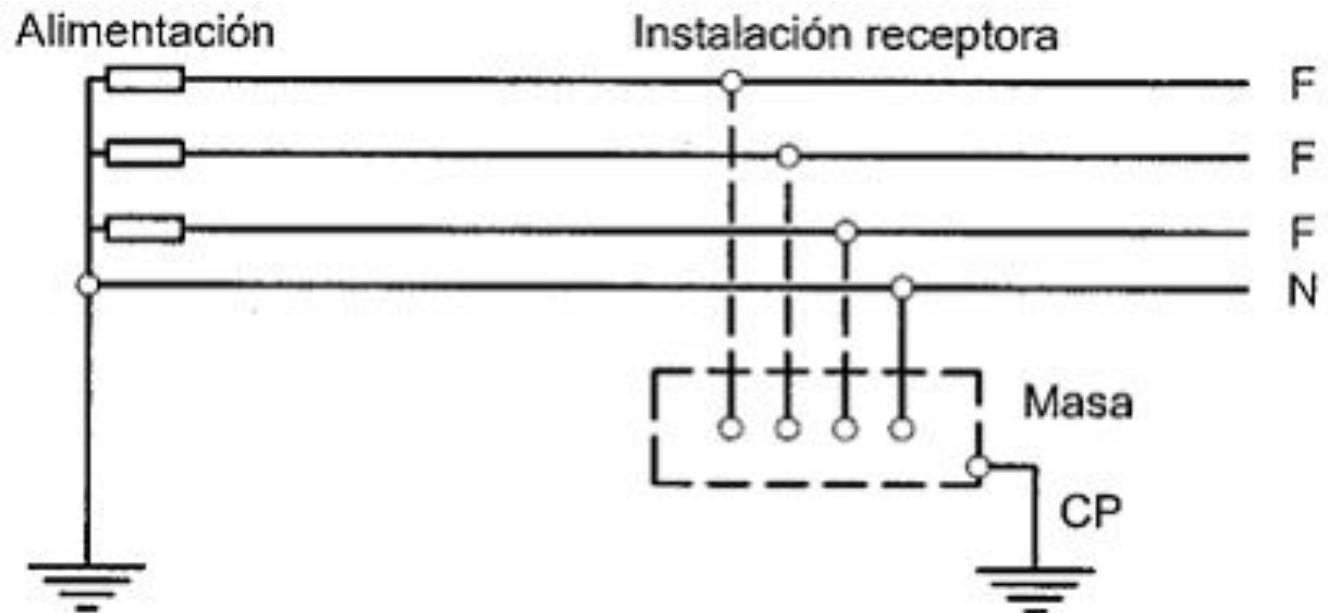
-TN

-IT

Protección contra contactos indirectos

Régimen TT

En este esquema el neutro del transformador y las masas metálicas de los receptores se conectan a tomas de tierra separadas.

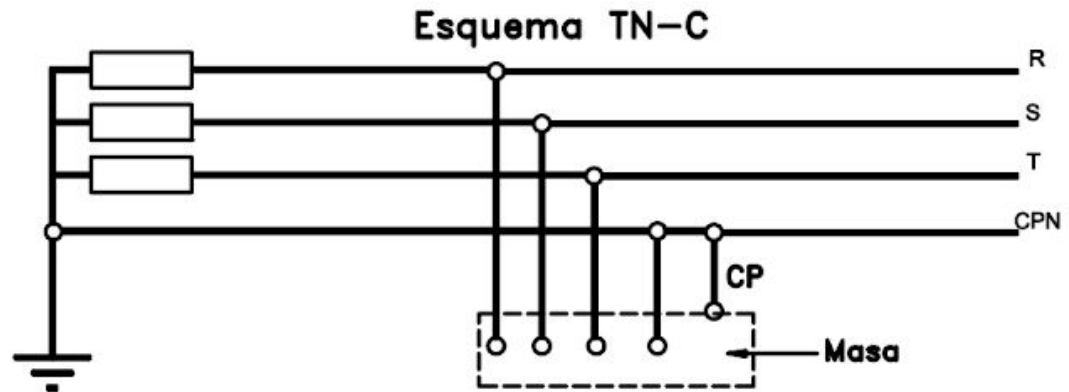


Protección contra contactos indirectos

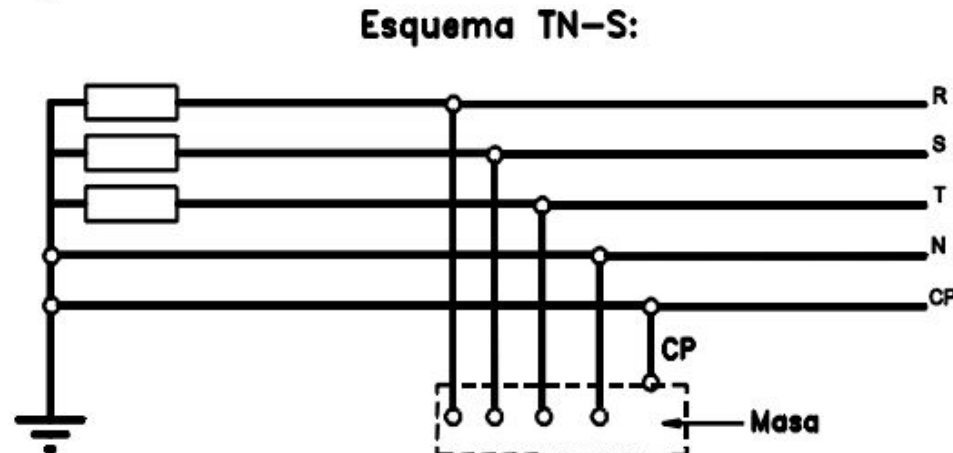
Régimen TN

Neutro del transformador conectado a tierra y las masas metálicas de los receptores se conectan al neutro, CPN-conductor de protección y neutro (TN-C) o al conductor de protección unido al neutro del transformador (TN-S)

Esquema TN-C: En el que las funciones de neutro y protección están combinados en un solo conductor en todo el esquema



Esquema TN-S: En el que el conductor neutro y el de protección son distintos en todo el esquema



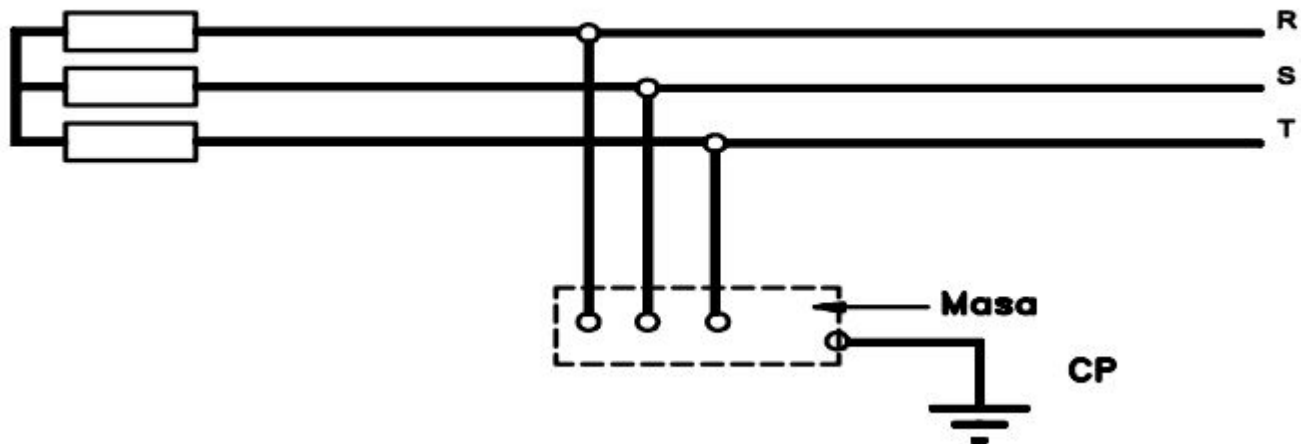
Protección contra contactos indirectos

Régimen IT

El esquema IT no tiene ningún punto de la alimentación conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están puestas directamente a tierra.

En este esquema la corriente 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.

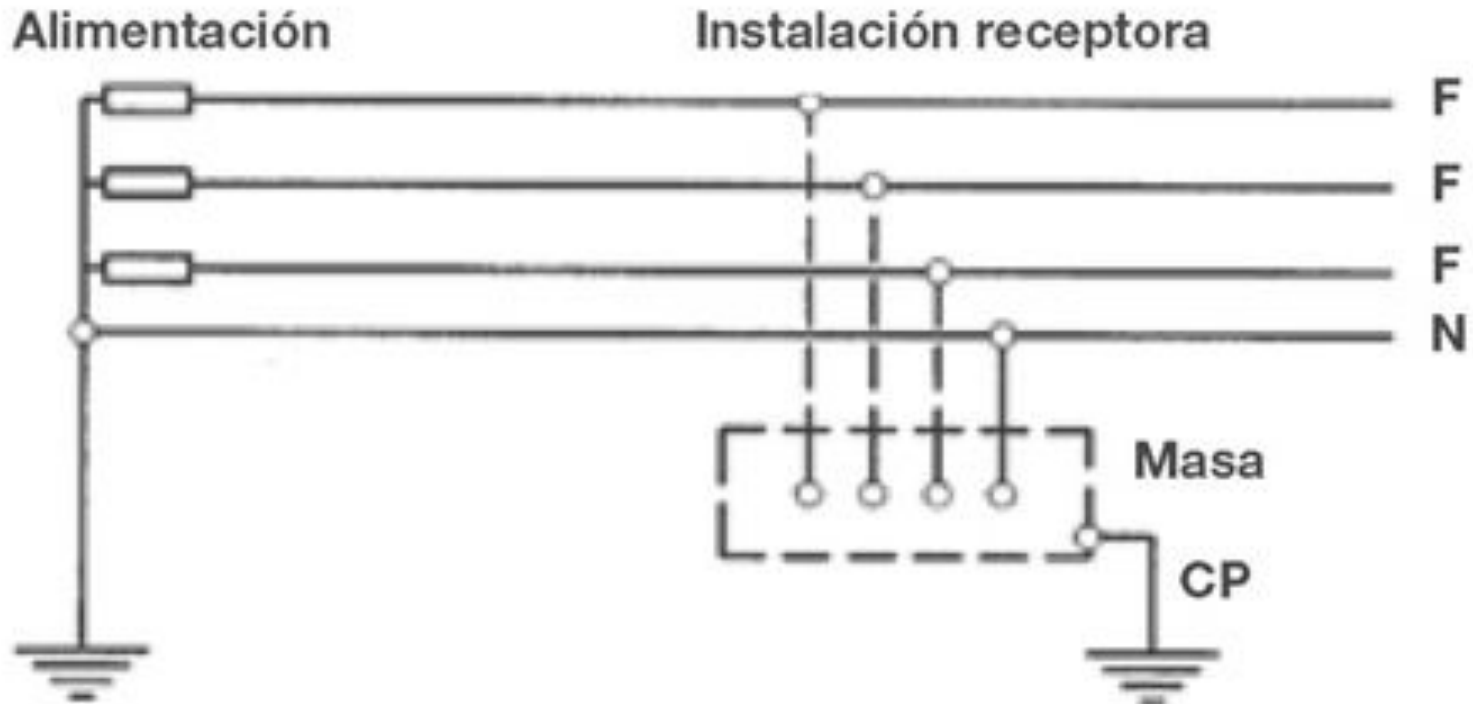
Esquemas IT.



Protección contra contactos indirectos

Régimen TT

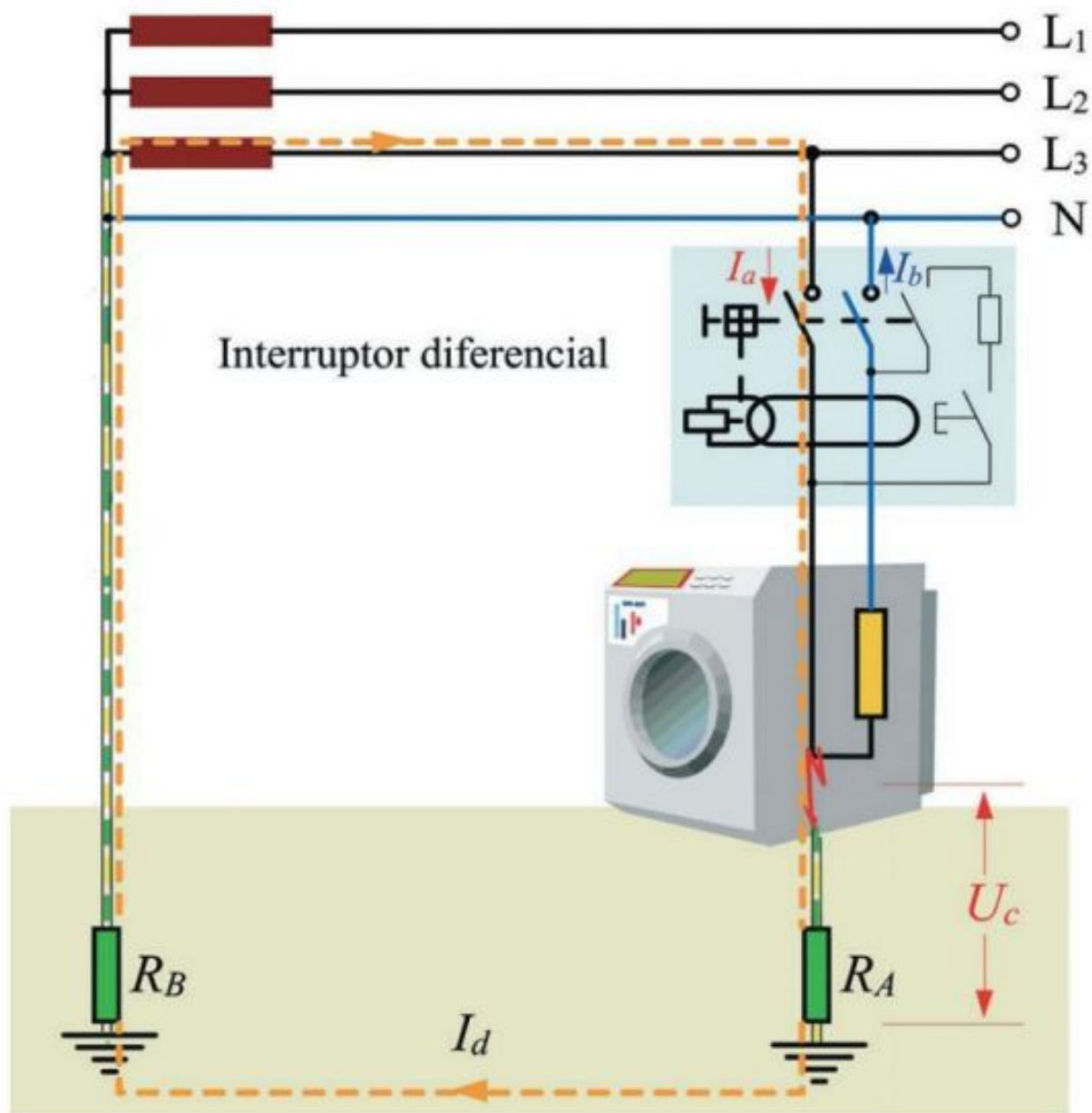
Neutro y masas conectados a tierra por separado.



Protección contra contactos indirectos

Régimen TT

En caso de defecto a tierra (contacto entre alguna de las masas y el conductor activo), el circuito de defecto queda formado por el conductor de fase, el conductor de protección que conecta la masa a tierra, la toma de tierra de las masas, la toma de tierra del neutro y el devanado secundario del transformador de alimentación .



Tensión de
contacto:

$$U_c = R_A \cdot I_d$$

En una instalación eléctrica con esquema TT, la resistencia de la toma de tierra y los conductores de protección de las masas es de $100\ \Omega$. Calcula 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.

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 de 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:

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

Un local destinado al sector industrial posee una instalación de puesta a tierra con una resistencia de $125\ \Omega$.

¿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?

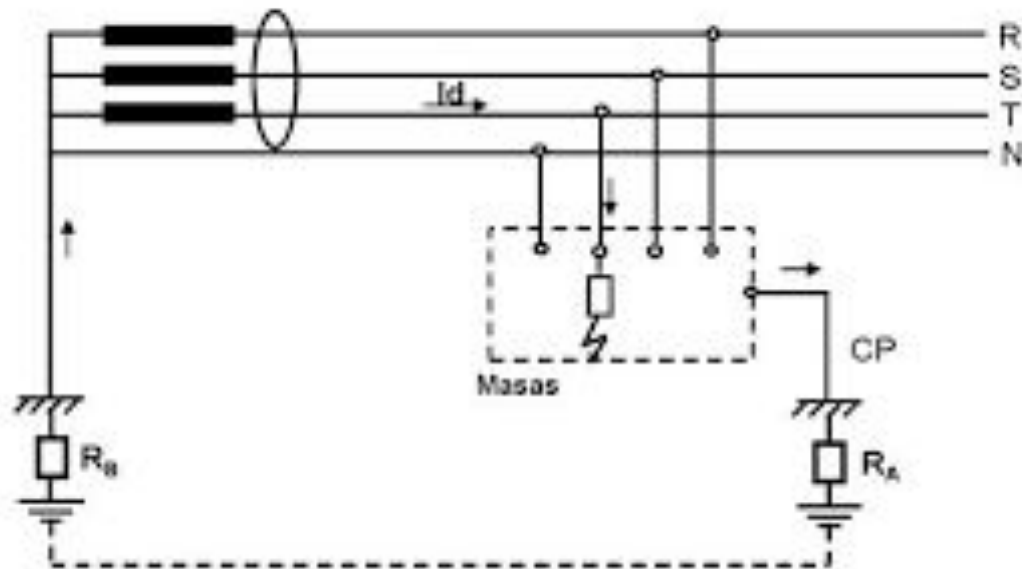
Calcula los valores máximos que deberá poseer la resistencia de la toma de tierra, para un interruptor diferencial de 30 mA de sensibilidad que protege un local seco donde la tensión de contacto máximo es de 50 V.

Protección contra contactos indirectos

Un local seco posee una instalación de puesta a tierra con una resistencia de $125\ \Omega$. ¿Cuál será la sensibilidad del interruptor diferencial necesario para que el funcionamiento sea eficaz?

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

Figura 2 . Bucle de defecto en red con esquema TT



Protección contra contactos indirectos

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 .

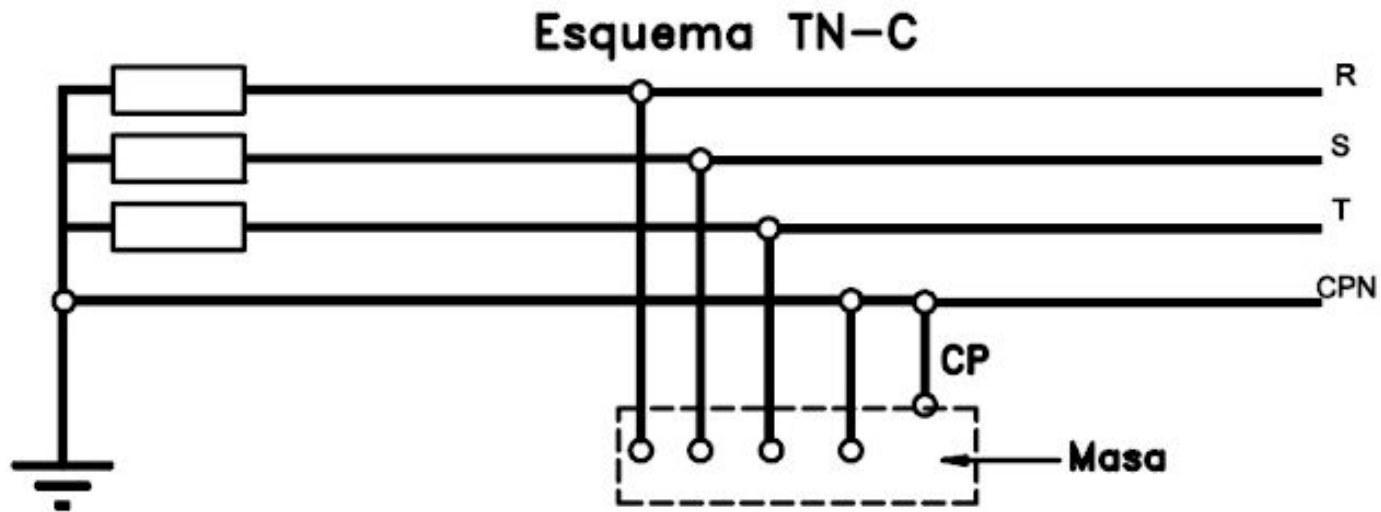
Calcular la tensión de contacto máxima que aparecerá en el chasis de una lavadora, si se produce un fallo de aislamiento. El circuito está protegido por un interruptor diferencial de 30mA de sensibilidad.

$$U_C = R_A \times I_d = 100 \Omega \times 0,03 \text{ A} = 3 \text{ V}$$

Protección contra contactos indirectos

Régimen TN

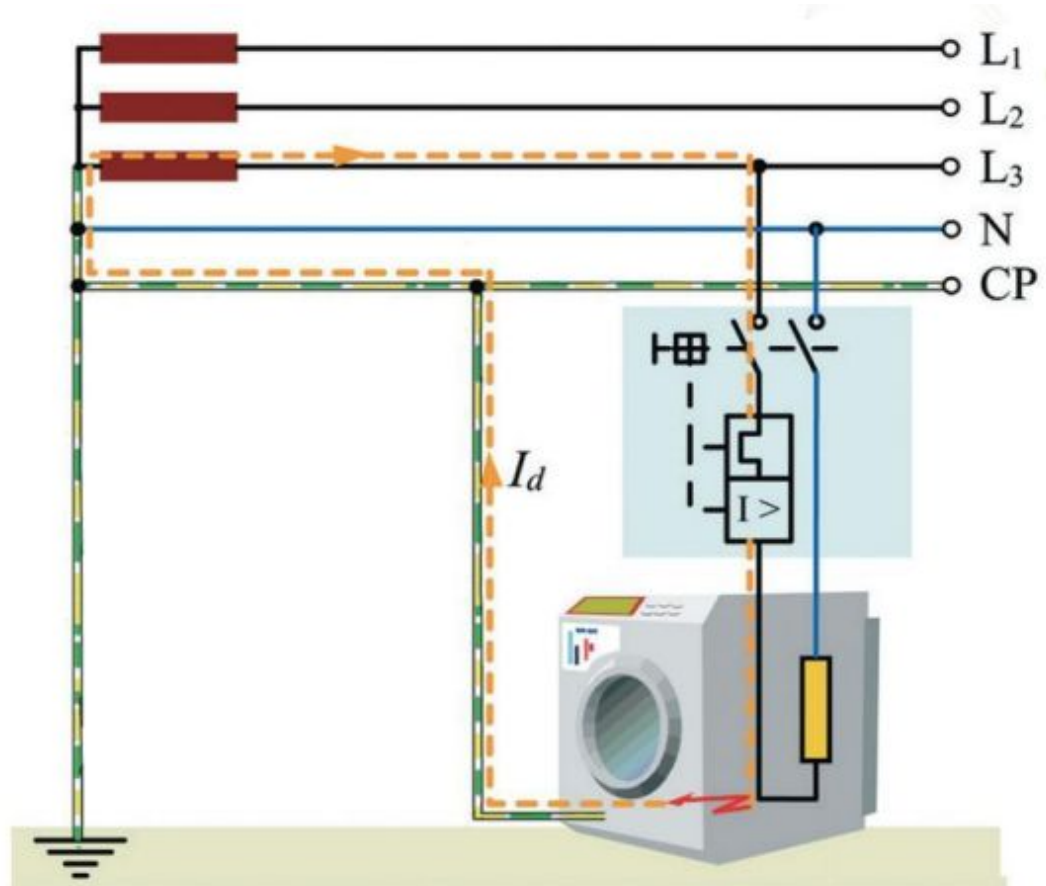
En estos sistemas se conecta a tierra el punto neutro del equipo de alimentación y las masas no se conectan a tierra sino al neutro.



Protección contra contactos indirectos

Régimen TN

En estos casos, el defecto que se produce es, en realidad, un cortocircuito.



Protección contra contactos indirectos

Para este tipo de esquema no se admite el uso de dispositivos de protección de corriente diferencial-residual, quedando la protección contra contactos indirectos solamente a cargo de los dispositivos de corte por máxima corriente, tales como interruptores automáticos y fusibles.

Protección contra contactos indirectos

Las características de los dispositivos de protección y las secciones de los conductores se eligen de manera que, si se produce en un lugar cualquiera un fallo, de impedancia despreciable, entre un conductor de fase y el conductor de protección o una masa, el corte automático se efectúe en un tiempo igual, como máximo, al valor especificado, y se cumpla la condición siguiente:

$$Z_s \cdot I_d \leq U_0$$

Protección contra contactos indirectos

Régimen TN

Se tiene que cumplir para que actúe la protección:

$$Z_s \times I_d \leq U_0$$

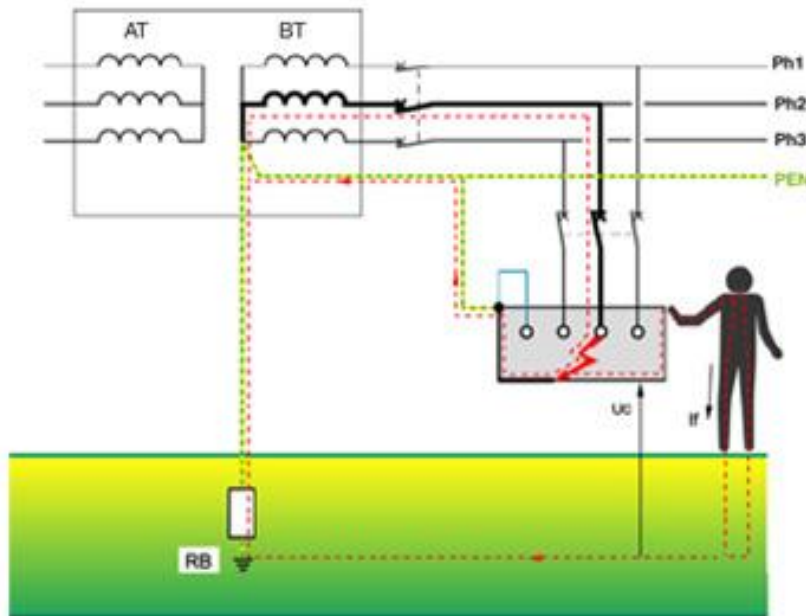
Z_s : impedancia del bucle de defecto

I_d : corriente que asegura el funcionamiento automático del dispositivo de protección

U_0 : es la tensión nominal entre fase y tierra

Protección contra contactos indirectos

En una instalación con un régimen TN-C, se tiene un circuito de 100 metros de cable de cobre de $4 \times 10 \text{ mm}^2$. Calcular la “Ia” mínima necesaria del dispositivo de protección. (400V entre fases, resistividad cobre = $0,0000000171 \Omega \text{ m}$)



Bucle de defecto: $2 \times 100 \text{ m} = 200 \text{ m}$

$$Z_S = 200 \text{ m} \cdot \frac{0,0000000171 \Omega \text{ m}}{0,000010 \text{ m}^2} = 0,342 \Omega$$

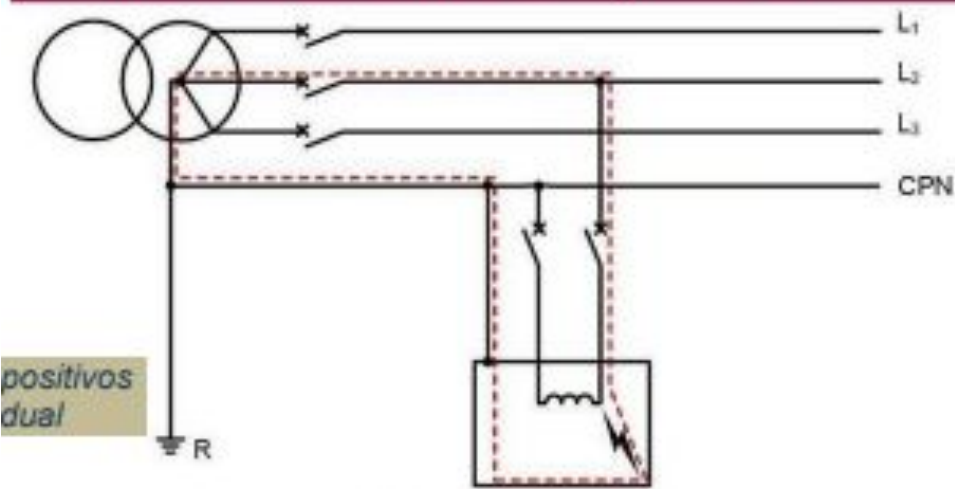
$$U_0 = 230 \text{ V}$$

$$Z_S \times I_a \leq U_0 \Rightarrow I_a \leq \frac{U_0}{Z_S} = \frac{230 \text{ V}}{0,342 \Omega} = 672,51 \text{ A}$$

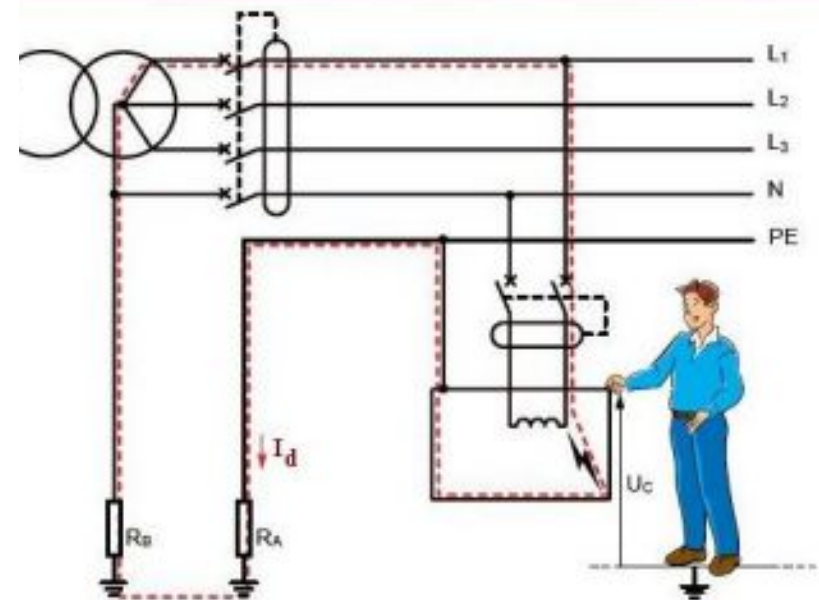
Protección contra contactos indirectos

Defecto TN vs Defecto TT

Bucle de defecto en el esquema TN-C



Bucle de defecto en el esquema TT

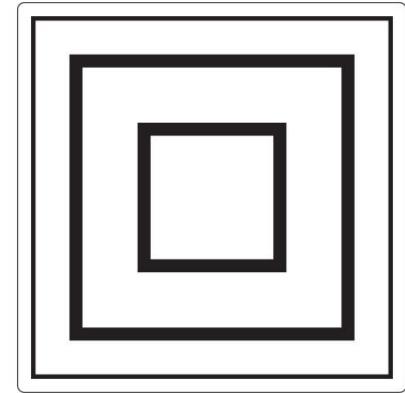


Protección contra contactos indirectos.

Utilización de material de clase II.

Utilización de equipos clase II

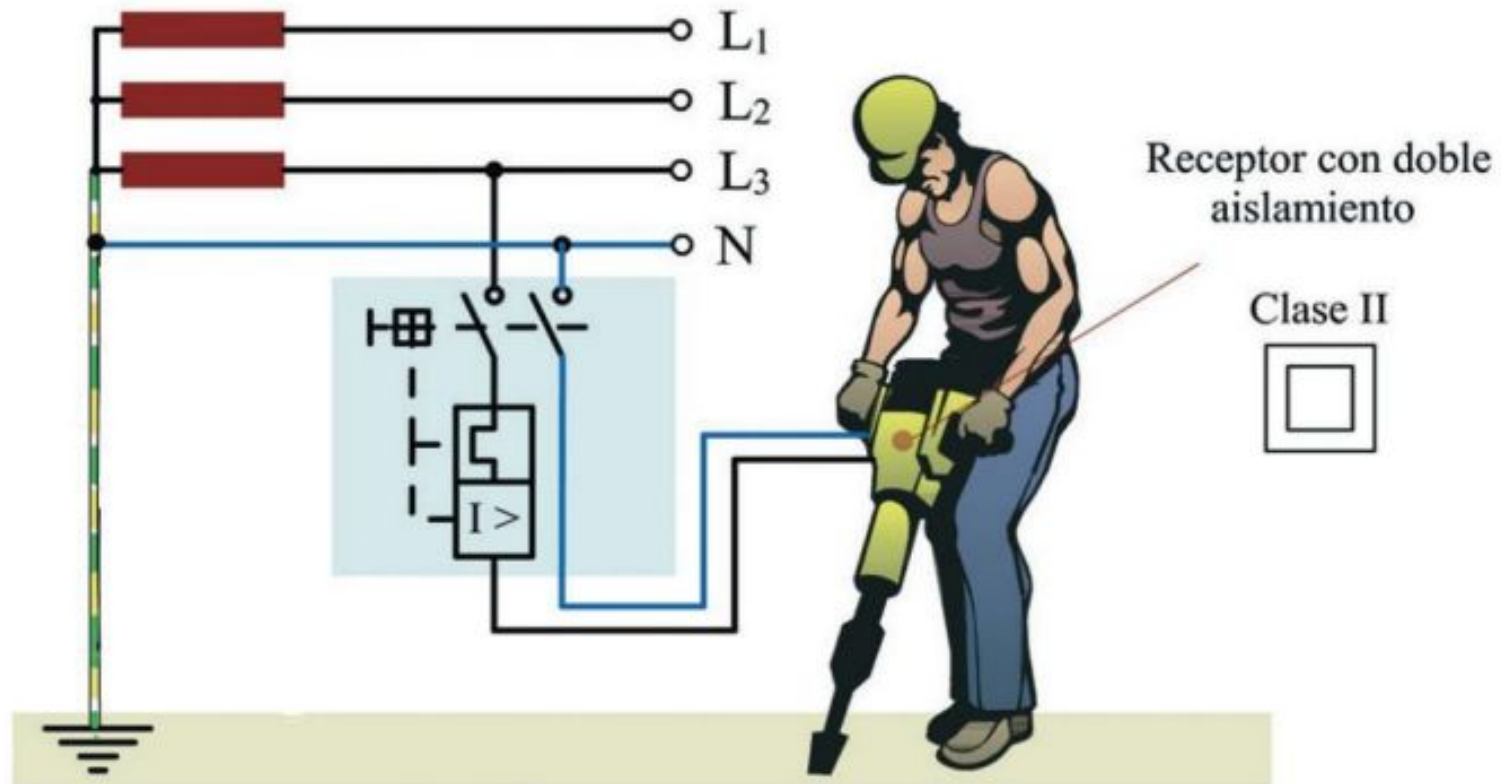
Dispositivo de Clase II o aparato con doble aislamiento eléctrico es uno que ha sido diseñado de tal forma que no requiere una toma a tierra de seguridad eléctrica.



Protección contra contactos indirectos.

Utilización de material de clase II.

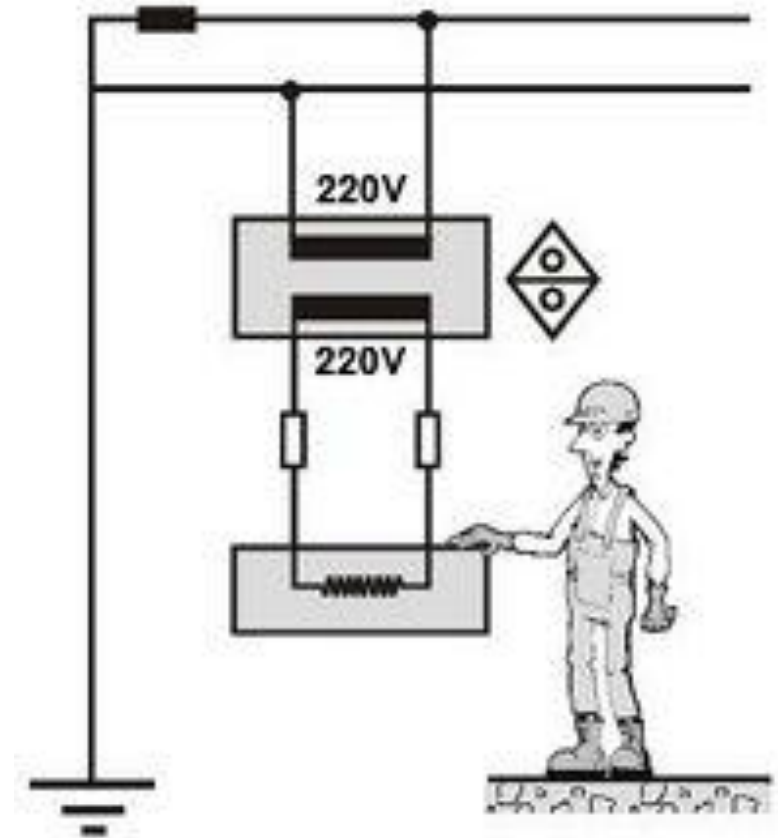
Se dota a los aparatos de un doble aislamiento que evita la posibilidad de que los usuarios de los receptores queden en contacto con la posible tensión de defecto.



Protección contra contactos indirectos

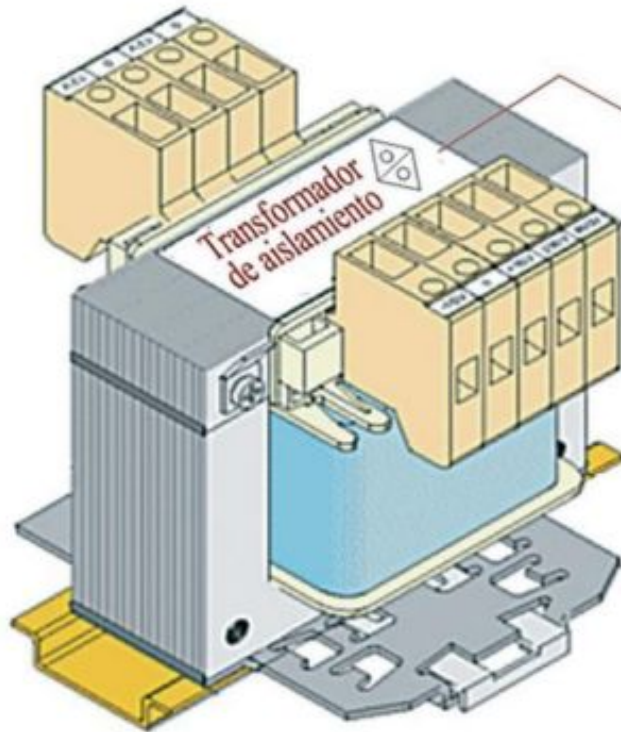
Protección por separación eléctrica

Consiste en separar el circuito de utilización de la fuente de alimentación mediante un transformador.



Protección contra contactos indirectos. Protección por separación eléctrica.

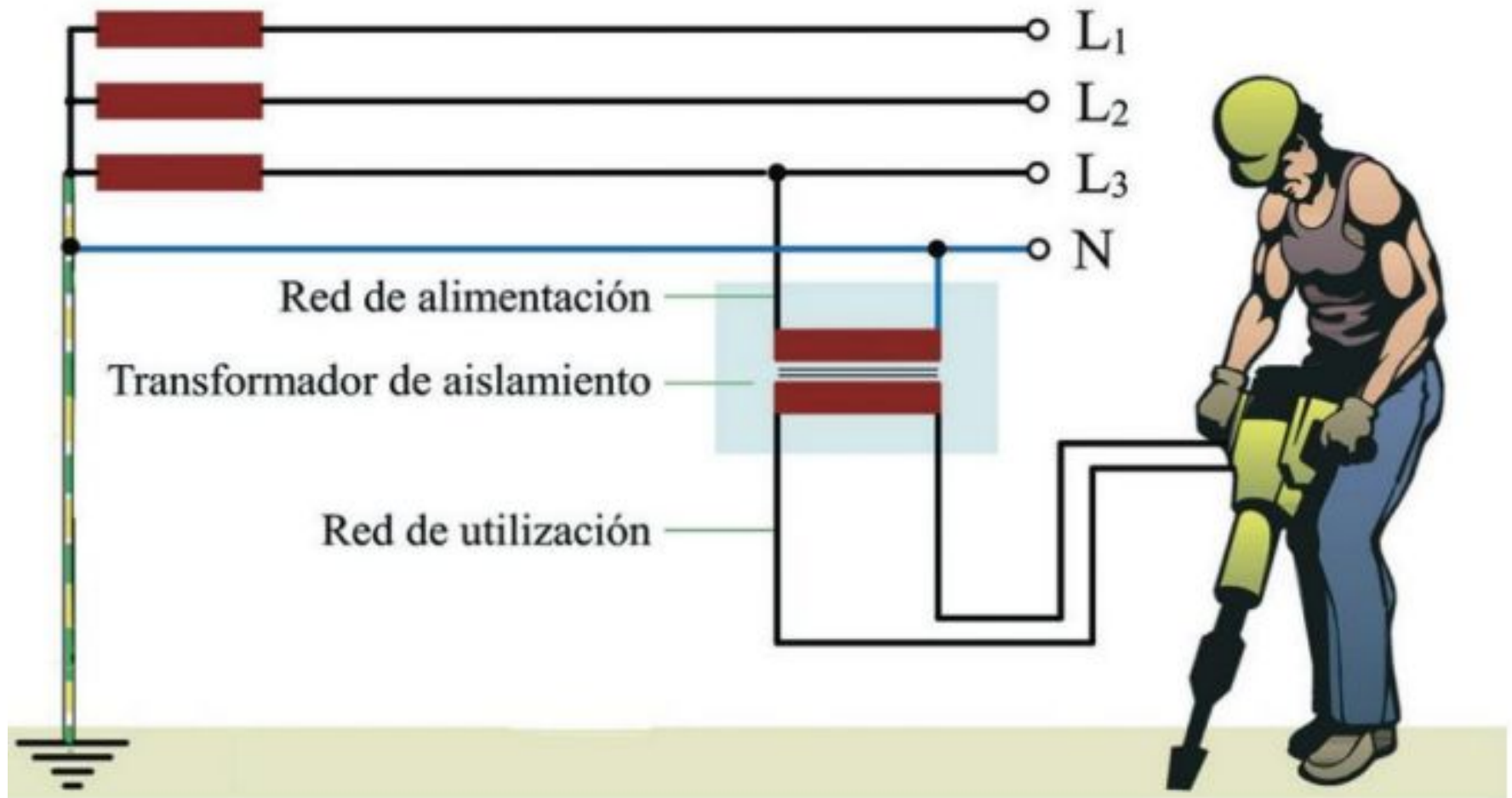
Para ello se pueden utilizar transformadores de aislamiento.



Marca que identifica
a un transformador de aislamiento

Protección contra contactos indirectos.

Protección por separación eléctrica.



Normas de seguridad para la realización de trabajos eléctricos

El primer principio que se establece es que, siempre que sea posible, los trabajos que se efectúen en una instalación eléctrica o su proximidad han de realizarse en ausencia de tensión.

Este requisito es el más importante, ya que gran parte de los accidentes graves son debidos a su incumplimiento.

Cinco reglas de oro para trabajos sin tensión

Procedimiento para suprimir la tensión		
Cinco reglas de oro	1. ^a	Desconectar todas las fuentes de tensión mediante interruptores o seccionadores que aseguren que sea imposible su cierre inesperado.
	2. ^a	Prevenir posibles realimentaciones de la tensión durante la realización de los trabajos, o antes de dar estos por finalizados.
	3. ^a	Verificación de la ausencia de tensión antes de comenzar los trabajos.
	4. ^a	Poner a tierra y en cortocircuito todas las fuentes de tensión.
	5. ^a	Proteger frente a elementos próximos en tensión, en su caso, y establecer una señalización de seguridad para delimitar la zona de trabajo.

Cinco reglas de oro para trabajos sin tensión

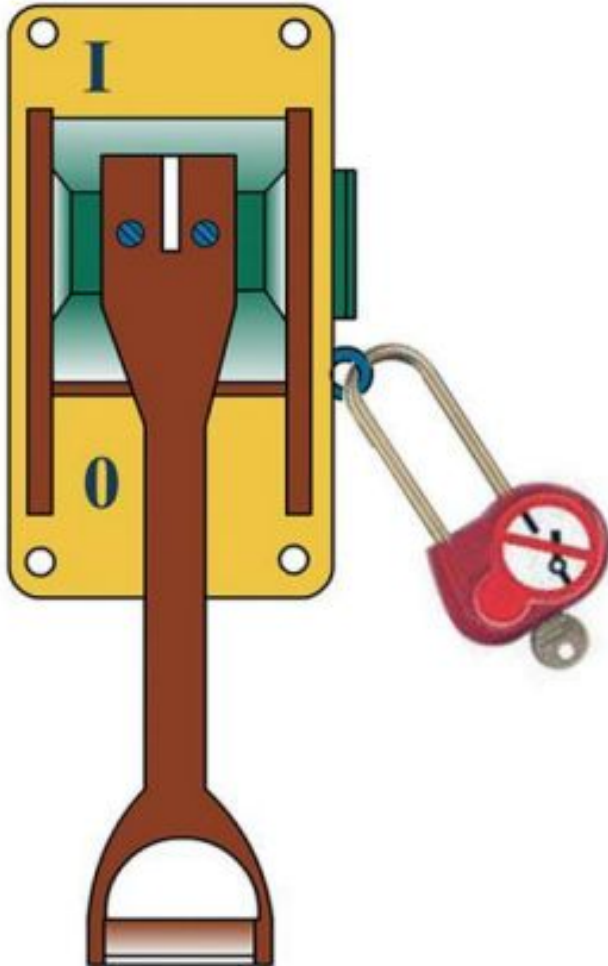


1ª Regla. Desconectar



DESCONECTAR

2ª Regla. Prevenir cualquier posible realimentación

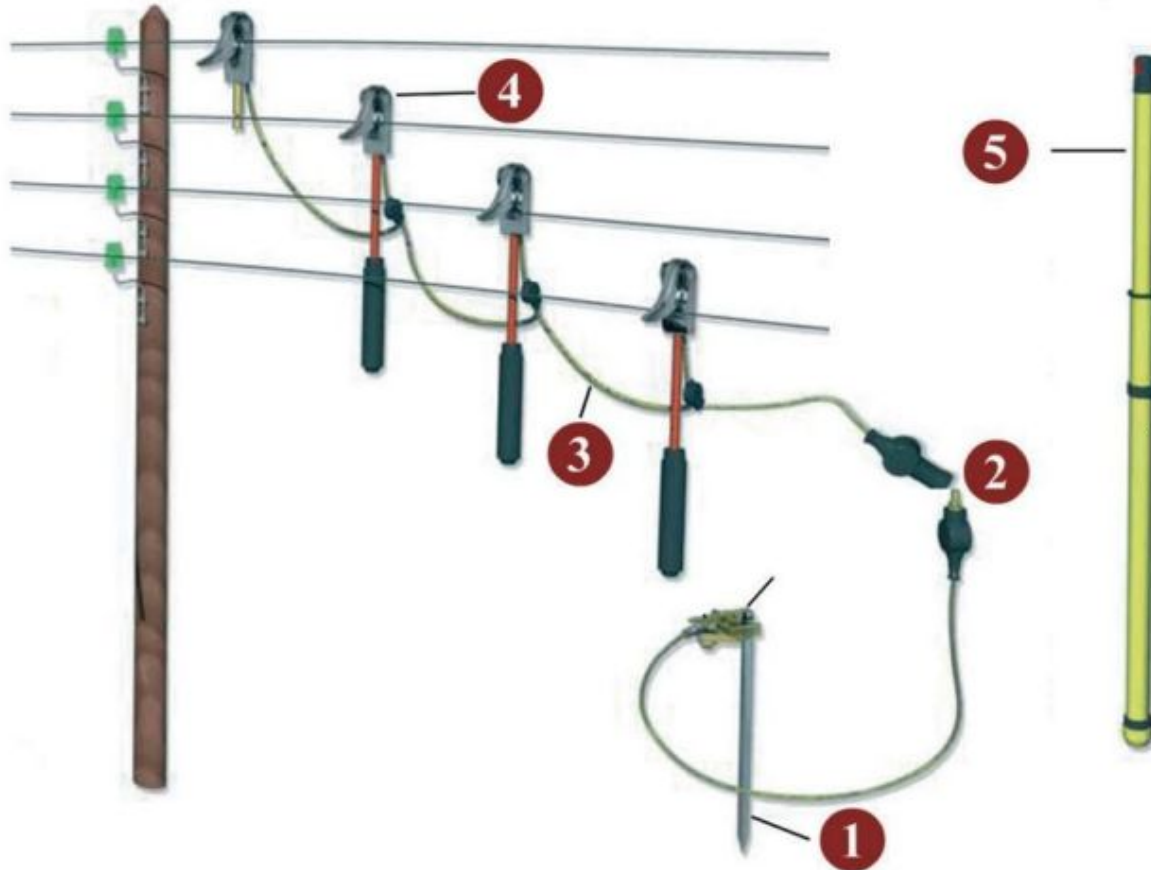


**NO CONECTAR
PERSONAS
TRABAJANDO**

3ª Regla. Verificar la ausencia de tensión

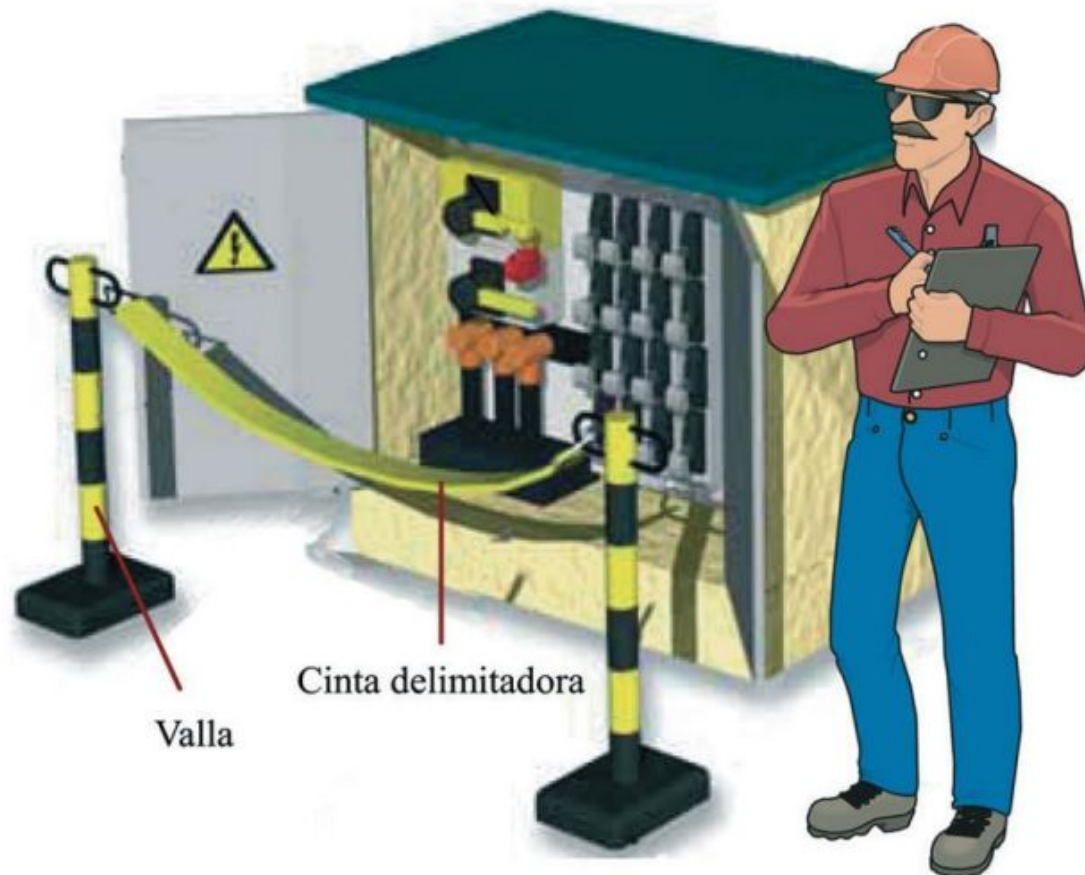


4ª Regla. Poner a tierra y en cortocircuito



1. Piqueta o electrodo de toma de tierra.
2. Pinza o grapa de conexión a la toma de tierra.
3. Conductores de puesta a tierra y en cortocircuito.
4. Pinzas para conectar a los conductores de la instalación.
5. Pértiga aislante.

5ª Regla. Proteger frente a los elementos próximos en tensión y establecer una señalización de seguridad para delimitar la zona de trabajo



Cálculo de Secciones y Protecciones

1.- Efecto térmico de la electricidad

El físico P. James Joule estudió la relación que existe entre la energía y su transformación plena en calor. A base de experimentar con un calorímetro, llegó a la conclusión de que la energía de 1 julio es equivalente a 0,24 calorías.

$$Q = 0,24 \cdot E$$

Q = Calor en calorías.

E = Energía en julios.

De esta manera, si quisiéramos determinar el calor que se produce en una resistencia R en un tiempo determinado t cuando es recorrida por una corriente eléctrica I , tendríamos que:

$E = P \cdot t$; a su vez, $P = R \cdot I^2$. Si llevamos estos valores a la primera expresión, tenemos:

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

Calcula el calor desprendido por un horno eléctrico de 2.000 W en 5 minutos de funcionamiento.

Calcula el calor desprendido por un conductor de cobre de 100 m de longitud y $1,5 \text{ mm}^2$ de sección que alimenta un grupo de lámparas de 1.500 W de potencia a una tensión de 230 V durante un día.

2.- Cálculo de la sección de los conductores

Uno de los efectos perjudiciales del efecto Joule es el calentamiento que se produce en los conductores eléctricos cuando son recorridos por una corriente eléctrica. Para evitar que este calentamiento alcance valores que sean perjudiciales para los conductores, estos se construyen de diferentes secciones.

Cuanta más intensidad de corriente se prevé que vaya a fluir por un conductor, mayor será su sección.



Dado que los conductores no son perfectos y poseen una cierta resistencia eléctrica, cuando son atravesados por una corriente eléctrica se producen dos fenómenos:

- Se calientan y pierden potencia.
- Al estar conectados en serie con los aparatos eléctricos que alimentan, se produce una caída de tensión, que hace que se reduzca apreciablemente la tensión, al final de la línea.

Estos son los dos factores más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar la sección más adecuada para una instalación eléctrica.

2.1.- Cálculo de la sección teniendo en cuenta el calentamiento de los conductores

El calor que producen los conductores es proporcional a la potencia P_{PL} que se pierde en ellos. Esta aumenta con la resistencia del conductor (R_L) y con la intensidad de corriente al cuadrado (I^2) que conduce.

$$P_{PL} = R_L \cdot I^2$$

Dado que la resistencia del conductor depende de su sección, si queremos conseguir pérdidas de potencias bajas deberemos aumentar considerablemente su sección.

La potencia perdida en un conductor produce calor que, al acumularse, eleva su temperatura y puede llegar a fundir el aislante del conductor (el plástico que rodea el conductor). Esto puede llegar a ser muy peligroso ya que podrían originarse incendios. Por otro lado, los aislantes, al estar sometidos a estas temperaturas, pierden parte de su capacidad para aislar y envejecen con rapidez, lo que los hace quebradizos y prácticamente inservibles.

Son los fabricantes de conductores eléctricos los que tienen que indicar la intensidad que soportan estos (intensidad máxima admisible) en función de las condiciones de instalación.

Pero, con el fin de aumentar la seguridad de las instalaciones eléctricas, el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) nos dicta las normas a seguir para el cálculo de las secciones, facilitando diferentes tablas de consulta que ayudan a dicho cálculo.

En la Tabla de la página siguiente se indican las intensidades admisibles para cables de cobre a una temperatura ambiente del aire de 40 °C y para distintos métodos de instalación, agrupamientos y tipos de cables.

Esta tabla es un resumen de la Norma UNE-HD 60364-5-52, que data de diciembre de 2014.

Intensidades admisibles (A) para conductores de cobre con una temperatura ambiente de 40 °C

Método de instalación			Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																		
A1		Conductores aislados en un conducto en una pared térmicamente aislante		PVC 3		PVC 2		XLPE 3		XLPE 2											
A2		Cable multipolares en un conducto en una pared térmicamente aislante		PVC 3	PVC 2			XLPE 3		XLPE 2											
B1		Conductores aislados en un conducto sobre una pared de mampostería (1)					PVC 3		PVC 2				XLPE 3					XLPE 2			
B2		Cable multipolar un conducto sobre una pared de mampostería (1)				PVC 3	PVC 2					XLPE 3		XLPE 2							
C		Cables unipolares o multipolares sobre una pared de mampostería (2)						PVC 3				PVC 2			XLPE 3				XLPE 2		
E		Cables multiconductores al aire libre ⁽³⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0,3D							PVC 3				PVC 2					XLPE 3		XLPE 2	
F		Cables unipolares en contacto al aire libre ⁽³⁾ . Distancia al muro no inferior a D D es el diámetro del cable										PVC 3				PVC 2			XLPE 3	XLPE 2	
			Sección mm ²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
			INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES (A)																		
(1) Incluyendo tubos en montaje superficial y empotrado en obra, canales para instalaciones, canaletas, huecos de construcción y canales de obra.			1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	21	23	—	
			2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	—
			4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	—
			6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	—
			10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	—
			16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	—
			25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
			35	—	—	—	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
			50	—	—	—	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
			70	—	—	—	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
			95	—	—	—	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
			120	—	—	—	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
			150	—	—	—	—	—	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458
			185	—	—	—	—	—	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523
			240	—	—	—	—	—	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617
			PVC2 = línea formada por dos conductores unipolares o un cable bipolar, aislados con polietileno de vinilo PVC3 = línea formada por tres conductores unipolares o un cable tripolar, aislados con polietileno de vinilo XLPE2 = línea formada por dos conductores unipolares o un cable bipolar, aislados con polietileno reticulado (XLPE) o etileno propileno (EPR) XLPE3 = línea formada por tres conductores unipolares o un cable tripolar, aislados con polietileno reticulado (XLPE) o etileno propileno (EPR)																		



Conductores aislados unipolares: línea formada por conductores separados.



Cable bipolar (multipolar 2x): línea formada por dos conductores unidos por material aislante.



Cable tripolar (multipolar 3x): línea formada por tres conductores unidos por material aislante.



¿Cuál será la intensidad máxima que podrán conducir los conductores de una línea bipolar aislada con PVC instalada directamente sobre la pared si su sección es de 10 mm^2 ?
¿Y si se instala bajo tubo empotrado en obra?

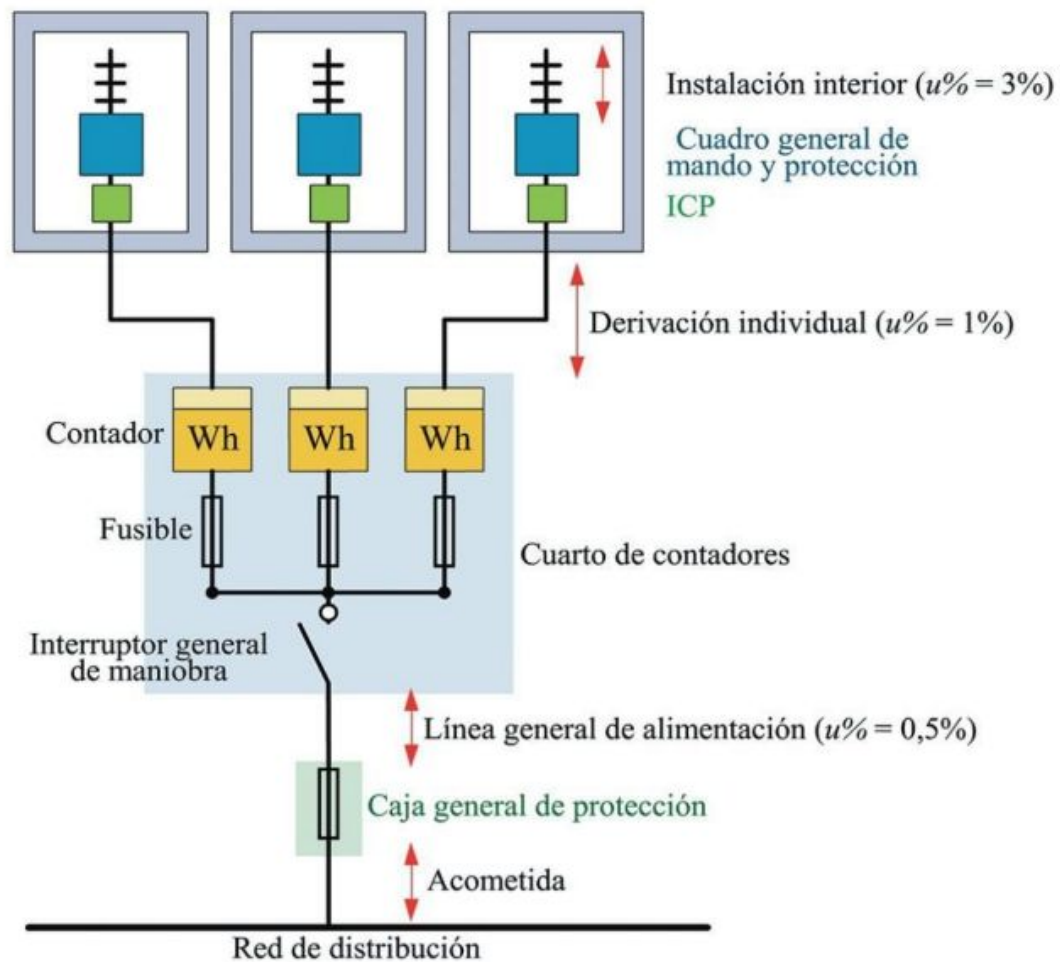
Para la alimentación eléctrica de un horno se utiliza una línea formada por dos conductores unipolares aislados con polietileno reticulado (XLPE) instalados bajo tubo en pared aislante. Calcula la sección de los conductores si la corriente que absorbe el horno es de 25 A.

2.2.- Cálculo de la sección teniendo en cuenta la caída de tensión

La caída de tensión en las líneas puede llegar a ser un problema para el correcto funcionamiento de los receptores, ya que estos están diseñados para trabajar a una cierta tensión. Una tensión más baja puede impedir el arranque de un motor, el encendido de un tubo fluorescente, etc. Por todo ello, la caída de tensión no puede exceder de unos límites prefijados en el REBT para cada caso. De esta forma, no solo habrá que tener en cuenta el calentamiento del conductor para determinar su sección, sino que también será necesario no sobrepasar el porcentaje de caída de tensión prefijado en el REBT.

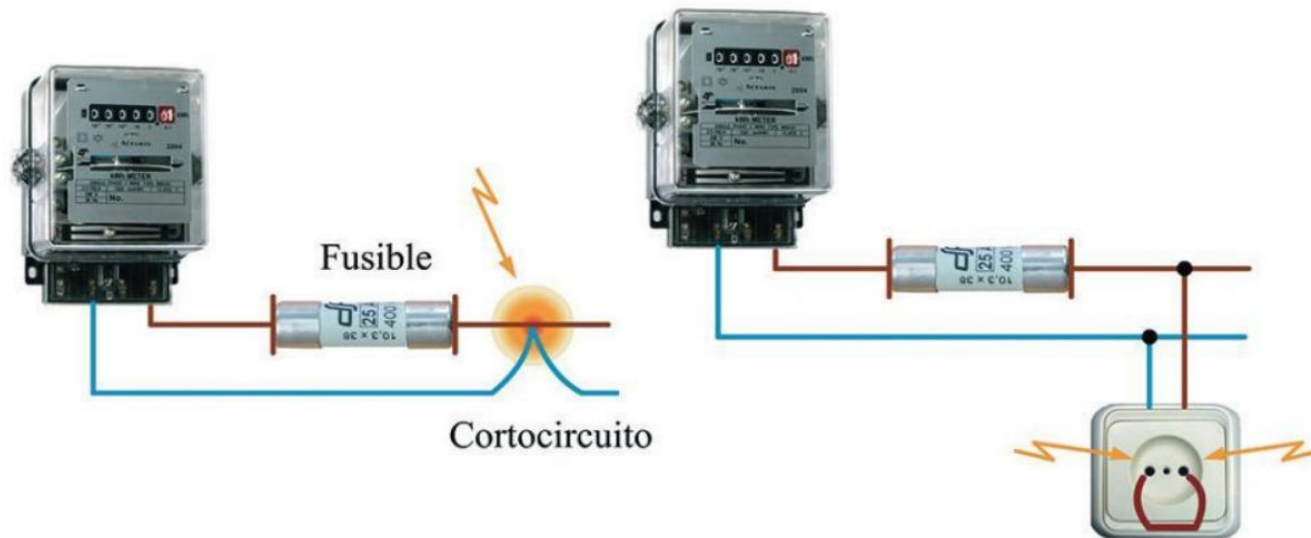
Caída de tensión admisible para líneas de alimentación según el tipo de instalación

Instalación de los contadores	Instalaciones de enlace		Instalación interior		
	Línea general de alimentación	Derivación individual	Viviendas	Otras instalaciones	
				Alumbrado	Otros usos
Para un solo usuario	No existe línea general de alimentación	1,5 %	3 %	3 %	5 %
Para dos usuarios alimentados desde el mismo lugar					
Contadores totalmente centralizados	0,5 %	1 %			
Contadores centralizados en más de un lugar	1 %	0,5 %			
TOTAL en el conjunto de la instalación	1,5 %		4,5 %	4,5 %	6,5 %



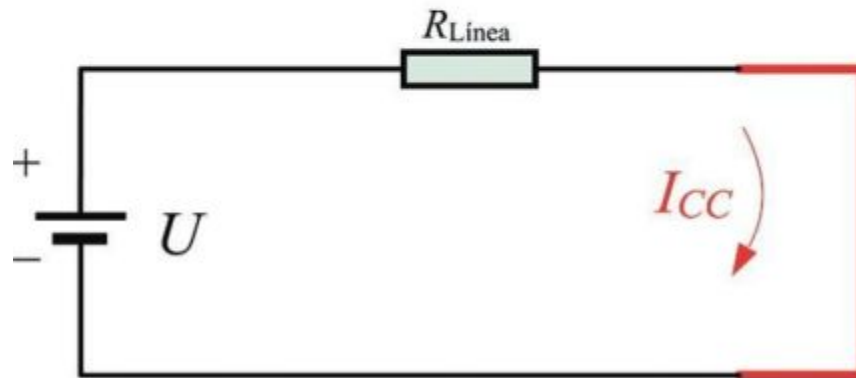
3.- Cortocircuitos

El cortocircuito se produce cuando se unen accidentalmente las dos partes activas del circuito eléctrico.



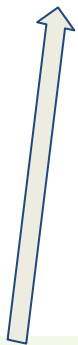
En un cortocircuito la intensidad de corriente que aparece es muy elevada, debido a que la única resistencia que existe en el circuito es la propia de los conductores de línea.

$$I_{CC} = \frac{U}{R_{\text{Línea}}}$$



Determina la intensidad de cortocircuito que aparecerá en una toma de corriente si la energía proviene de un transformador de distribución de 230 V y la línea de alimentación consiste en un conductor de cobre de 4mm² de sección con una longitud total de 100 m.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$



0,01786

4.- Sobrecargas

Se produce una sobrecarga cuando hacemos pasar por un conductor eléctrico más intensidad de corriente que la nominal (intensidad para la que ha sido calculada la línea).



Las sobrecargas pueden venir provocadas por conectar demasiados receptores en una línea eléctrica, por un mal funcionamiento de un receptor que tiende a un mayor consumo eléctrico o por un motor eléctrico que es obligado a trabajar a más potencia que su nominal.

Las sobrecargas originan un aumento de intensidad por los conductores que, con el tiempo suficiente, puede llegar a provocar su destrucción por elevación de temperatura.

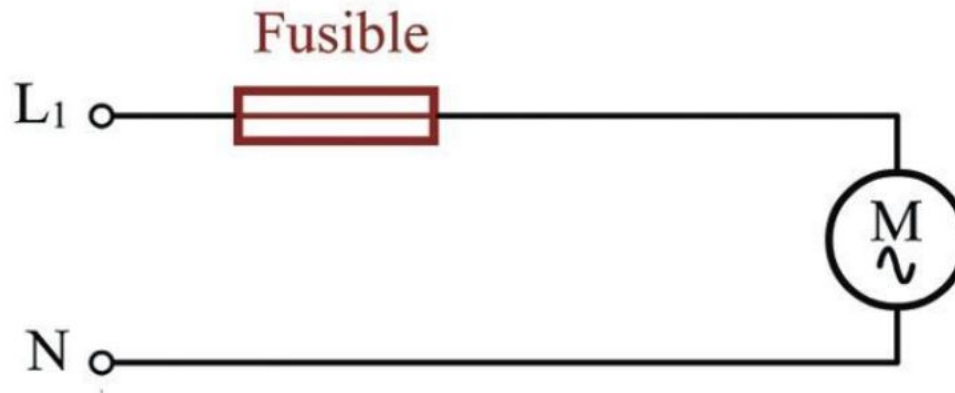
5.- Protección de los circuitos contra cortocircuitos y sobrecargas

Para la protección contra cortocircuitos y sobrecargas se emplean los fusibles y los interruptores automáticos.

Fusibles

Un fusible está compuesto por un hilo conductor de menor sección que los conductores de la línea.

En caso de una sobrecarga o cortocircuito, la intensidad se eleva a valores peligrosos para los conductores de la línea, y el fusible, que es más débil, se funde debido al efecto Joule, e interrumpe el circuito antes de que la intensidad de la corriente alcance esos valores peligrosos.



Para que el hilo fusible se caliente antes que los conductores de la línea debe ser de mayor resistencia eléctrica. Esto se consigue con un hilo de menor sección o con un hilo de mayor coeficiente de resistividad.

Por otro lado, este hilo debe tener un punto de fusión más bajo que los conductores de línea que protege.



Fusible
cilíndrico



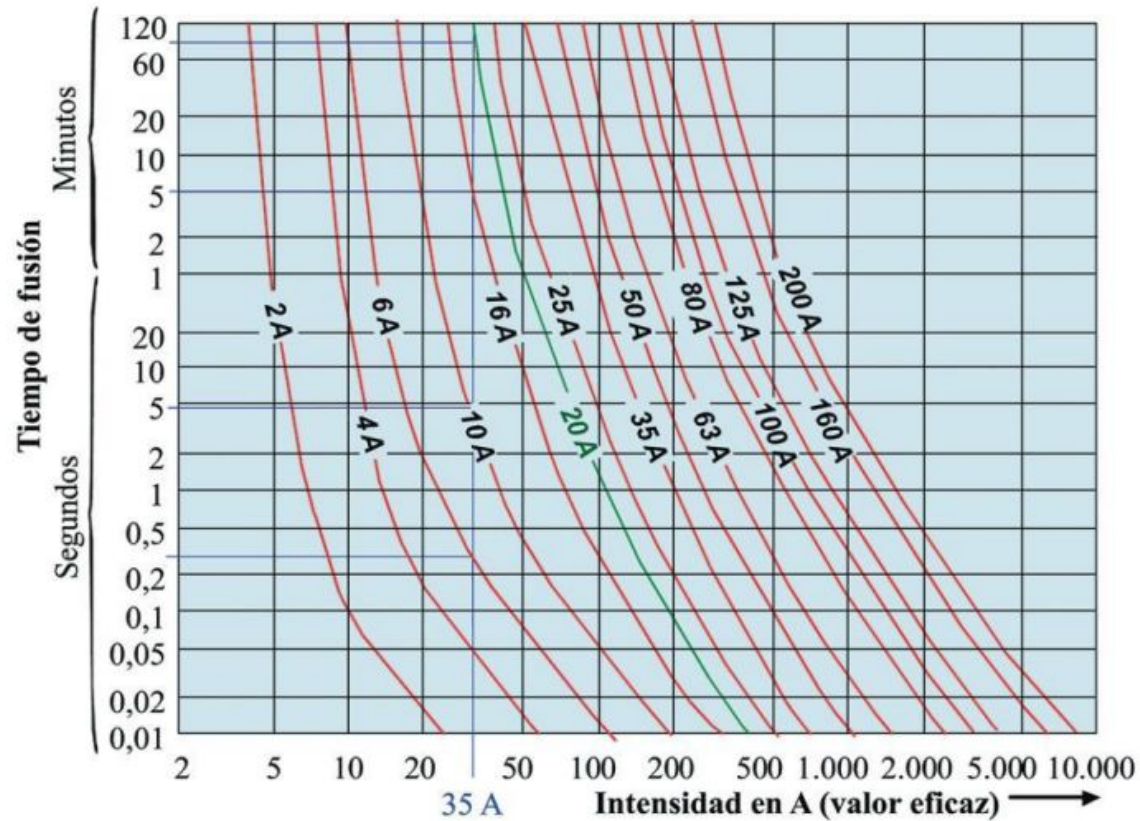
Fusible
con indicador de fusión



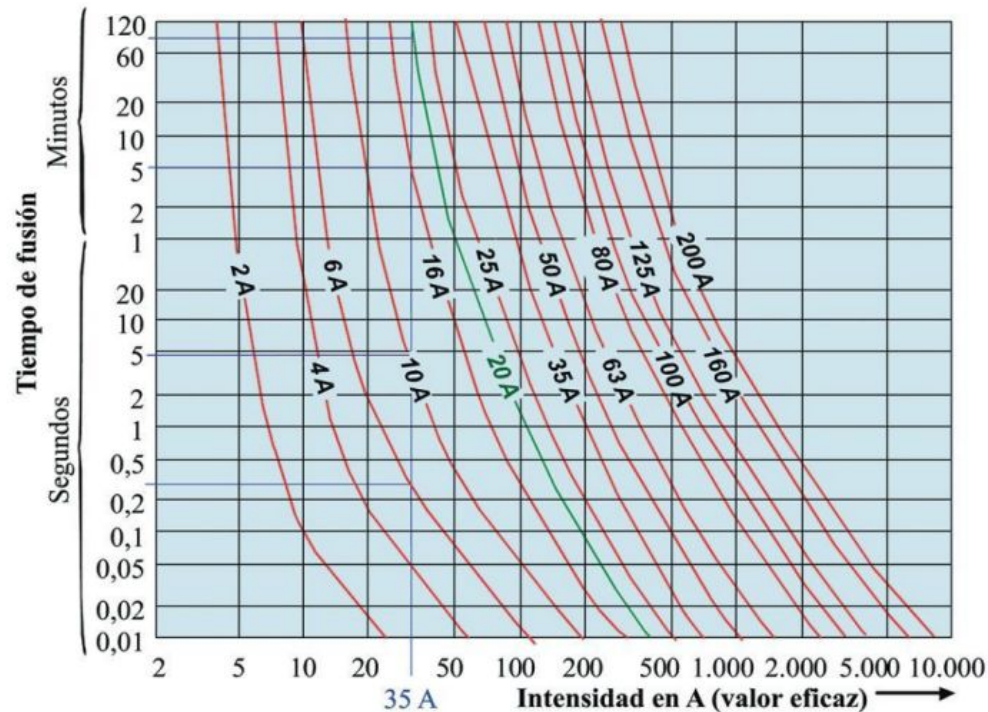
Fusible
de cuchillas

[illegible]

El calibre de un fusible nos indica la intensidad que puede pasar por él sin fundirse.

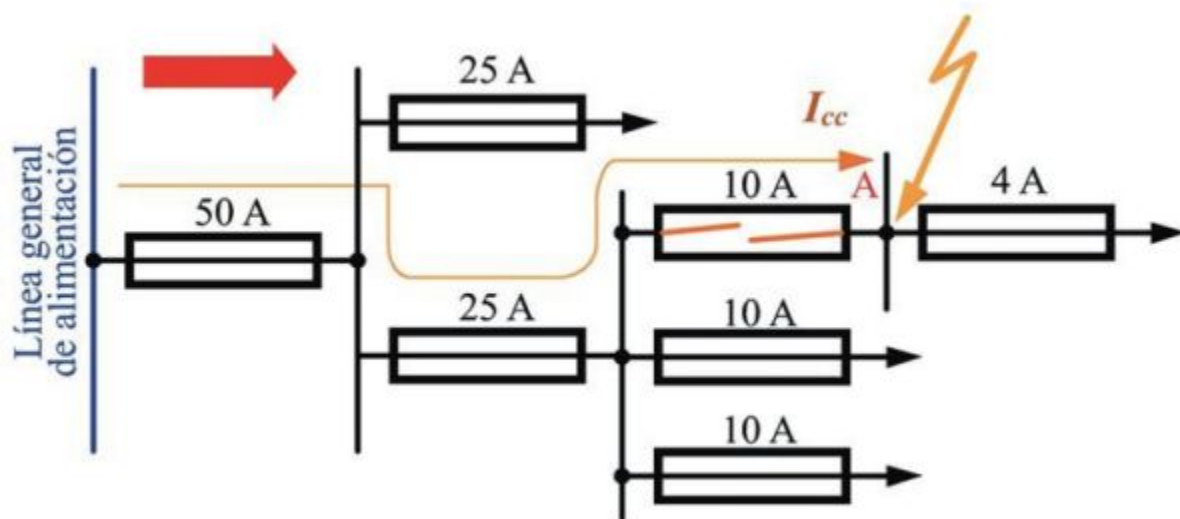


Así, por ejemplo, se puede apreciar que para una intensidad por el circuito de 35 A, el fusible de 2 A corta el circuito en un tiempo inferior a 0,01 segundos, el fusible de 6 A lo hace en un tiempo de 0,3 segundos, el de 10 A en 5 segundos, el de 16 A en 5 minutos, el de 20 A en 90 minutos, y por encima de 35 A no llega nunca a fundirse.



Otra de las características de los cartuchos fusibles calibrados es que son selectivos, lo que significa, tal como hemos podido apreciar en el ejemplo, que siempre funde más rápido aquel fusible que posee el menor calibre.

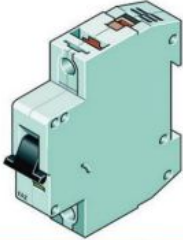
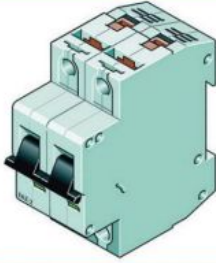
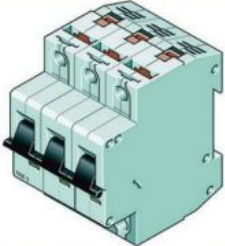
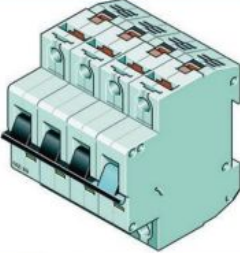
Esto tiene una gran importancia en instalaciones con muchas ramificaciones, ya que ante un cortocircuito se consigue separar rápidamente de la red solamente la zona afectada y, además, en el tiempo más breve posible.



Los interruptores automáticos

Los interruptores automáticos, también conocidos con el nombre de disyuntores, están sustituyendo en muchas aplicaciones a los fusibles, ya que protegen bien contra los cortocircuitos y actúan ante las sobrecargas más rápido y de una forma más selectiva.

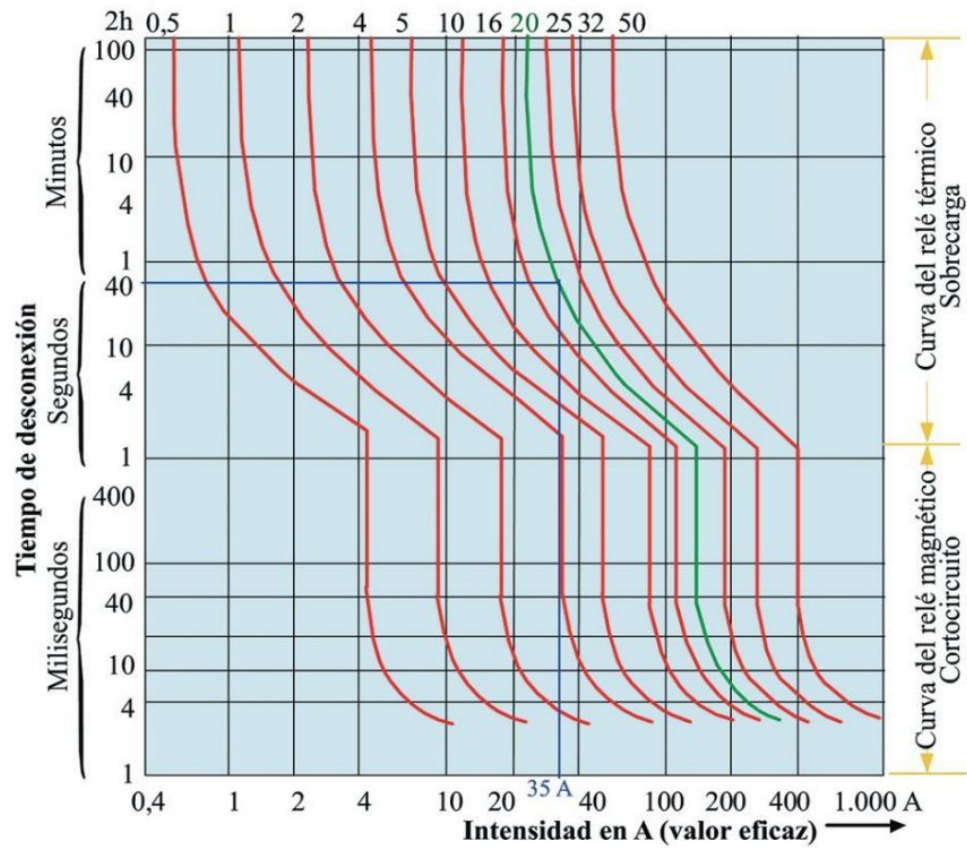
Así, por ejemplo, en las viviendas se instala un cuadro de mando y protección con varios interruptores automáticos. Cada uno de estos dispositivos protege de las sobrecargas y cortocircuitos a cada uno de los circuitos independientes de la vivienda.

Interruptores automáticos hasta 63 A Poder de corte 6.000 A			
		Calibre	
Unipolar 	Bipolar 	0,5 A	
		1 A	
		2 A	
		3 A	
Tripolar 	Tetrapolar 	4 A	
		6 A	
		10 A	
		16 A	
		20 A	
		25 A	
		32 A	
		40 A	
		50 A	
		63 A	

Los interruptores automáticos tienen la ventaja de que una vez que han abierto el circuito por sobrecarga o cortocircuito se pueden reponer manualmente con rapidez (una vez que se haya reparado la causa del fallo) y sin necesidad de utilizar recambios, como ocurre en el caso de los fusibles.

Una de las desventajas que presentan los interruptores automáticos frente a la protección que brindan los fusibles es que su poder de corte suele ser inferior al de estos últimos.

Curvas de disparo de interruptores automáticos.



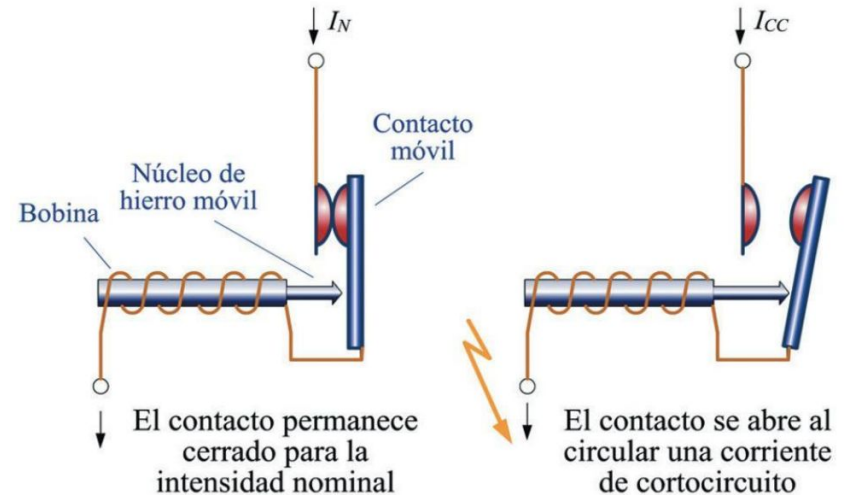
Funcionamiento de un interruptor automático

El interruptor automático está compuesto por dos dispositivos de protección diferentes: el relé magnético y el relé térmico.

Relé magnético: se encarga de la protección de los cortocircuitos. Está constituido básicamente por una bobina de poca resistencia eléctrica.

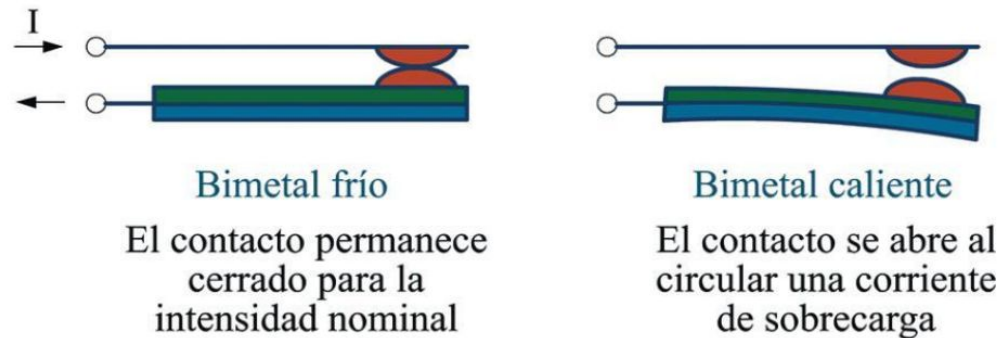
En su interior hay un núcleo de hierro que en posición de reposo se encuentra separado de su centro. Mientras la intensidad de corriente que atraviesa la bobina sea la nominal, el interruptor permanece cerrado.

Cuando la intensidad crece rápidamente, hasta valores de cortocircuito, la bobina crea un campo magnético suficientemente fuerte como para succionar el núcleo móvil que, a su vez, provoca la apertura del interruptor.



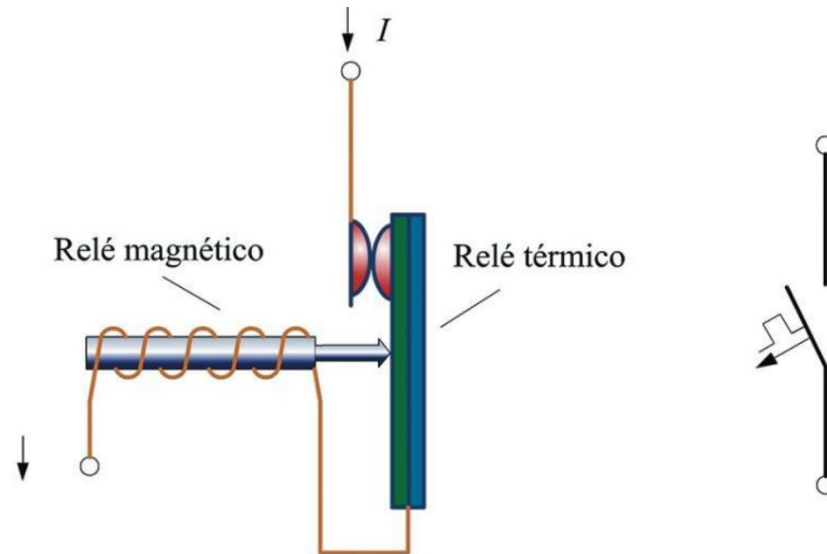
Relé térmico: se encarga de la protección de las sobrecargas. La corriente se hace pasar por un elemento bimetálico similar al de un termostato.

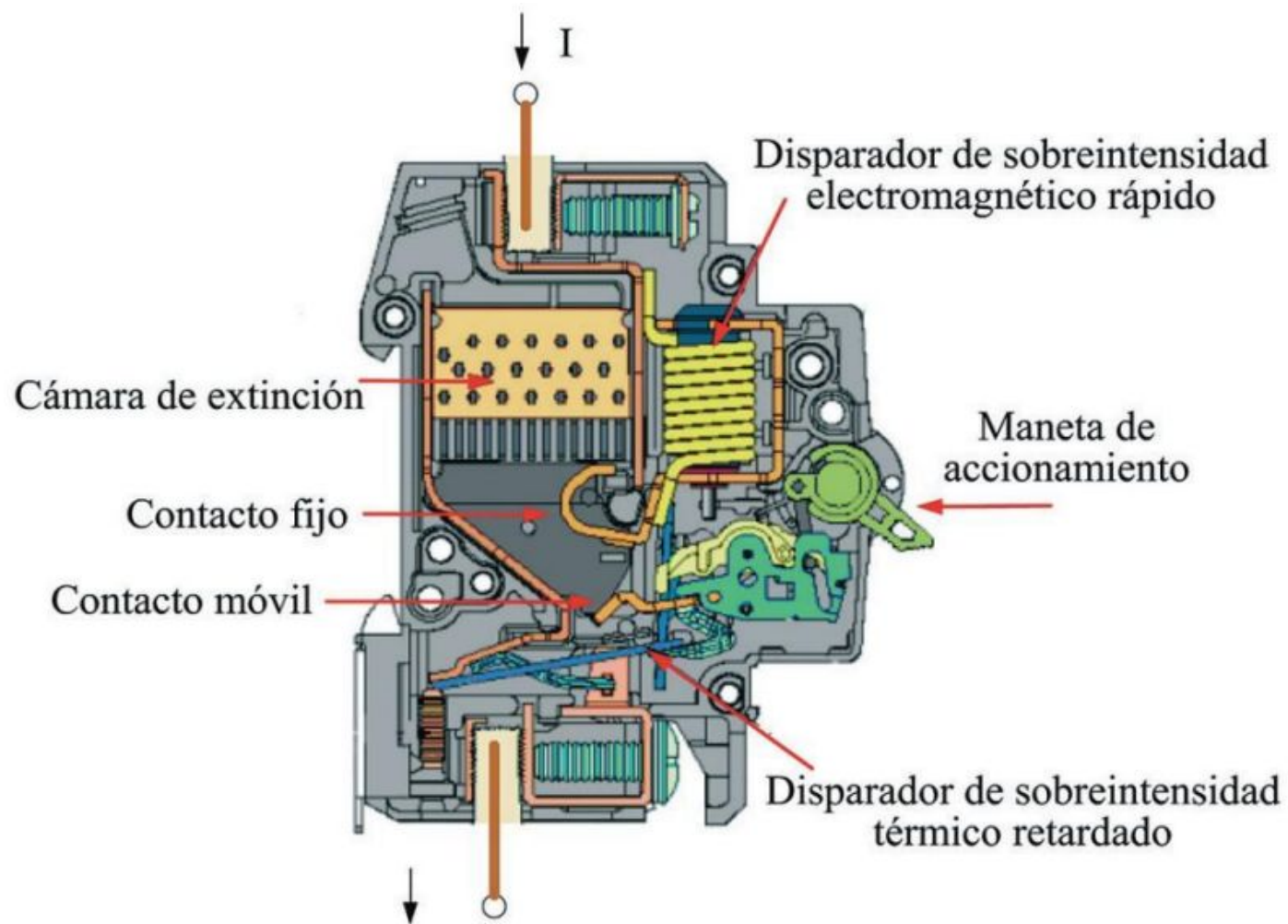
Cuando la intensidad se eleva a valores considerados de sobrecarga, la lámina bimetálica se calienta por efecto Joule, por lo que se deforma y actúa sobre el sistema de apertura del interruptor.



El relé térmico garantiza la protección de las sobrecargas mucho mejor que el fusible.

En un interruptor automático se conectan en serie el relé magnético y el térmico, de tal forma que, en el caso de que fluya por él una corriente de cortocircuito o una de sobrecarga superior a la del calibre del mismo, este produzca la desconexión



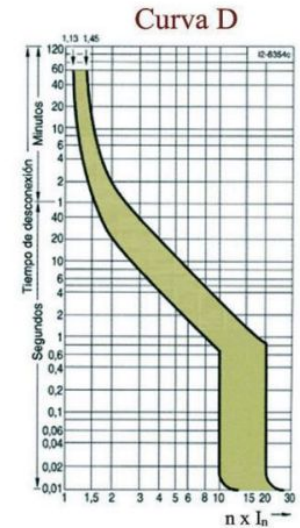
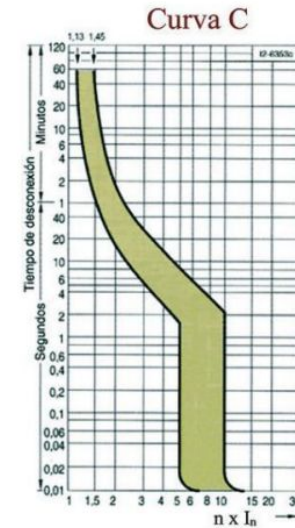
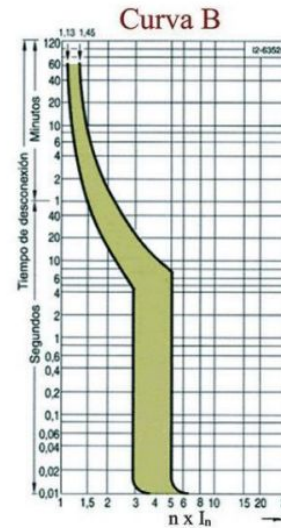


Curvas de desconexión de los interruptores automáticos

Curva de disparo B: instalaciones de tipo general, como viviendas, donde se vayan a prever intensidades de cortocircuito reducidas (grandes longitudes de los conductores).

Curva de disparo C: instalaciones donde se vayan a prever grandes intensidades de conexión o arranque (lámparas de descarga, motores, etc.).

Curva de disparo D: instalaciones que generen elevados impulsos de intensidad de corriente (transformadores, condensadores, etc.).



Principios básicos a tener en cuenta

1. Intensidad de diseño (I_b):

Es la corriente que circulará por el circuito de forma normal, en función de la potencia prevista.

2. Intensidad nominal del magnetotérmico (I_n):

Es la corriente a partir de la cual el térmico empieza a desconectar el circuito por sobrecarga. Esta debe ser igual o ligeramente superior a I_b , pero nunca mayor que la capacidad del cable (I_z).

3. Intensidad admisible del conductor (I_z):

Es la corriente máxima que puede soportar el cable sin deteriorarse, y depende de la sección, del tipo de aislamiento y de las condiciones de instalación.

Para garantizar una protección eficaz y evitar tanto disparos innecesarios como sobrecalentamientos, el REBT establece que:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Se va a instalar un circuito de toma de corriente para una cocina eléctrica. La potencia total prevista es de 5.500 W, en una instalación monofásica (230 V), con cables de cobre, instalación empotrada y una longitud aproximada de 20 metros.

Se pide:

1. Calcular la intensidad de diseño (I_b) del circuito.
2. Determinar la sección del conductor adecuada según la intensidad admisible (I_z).
3. Seleccionar el interruptor magnetotérmico (I_n) adecuado cumpliendo el REBT.
4. Verificar la condición:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$