

INSTALACIONES ELECTRICAS DE B.T.

UD. 3

Diseño de una instalación eléctrica de baja tensión.

Descripción: Diseño y cálculo de las partes de una instalación, protecciones, etc...
cumpliendo con la normativa vigente.

Tema 3.4.

Instalación de Puesta a Tierra y protección frente a contactos directos e indirectos

Tema 3.4. Instalación de Puesta a Tierra y protección frente a contactos directos e indirectos

Se busca que en todo caso que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficies próximas no aparezcan tensiones peligrosas y que en caso de fallo o descarga atmosférica se permita el paso a tierra de las corrientes de defecto.

Ejemplo de fallo:

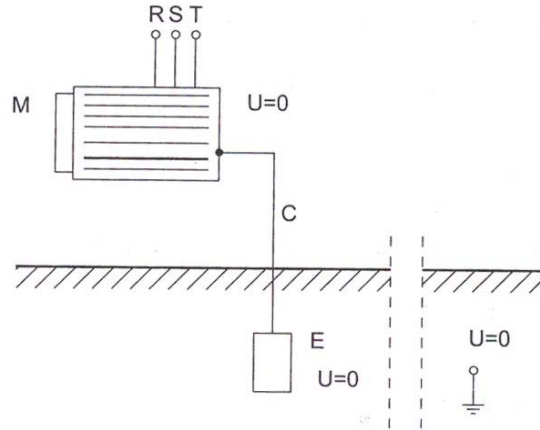


FIGURA 3.1. Instalación elemental de puesta a tierra.

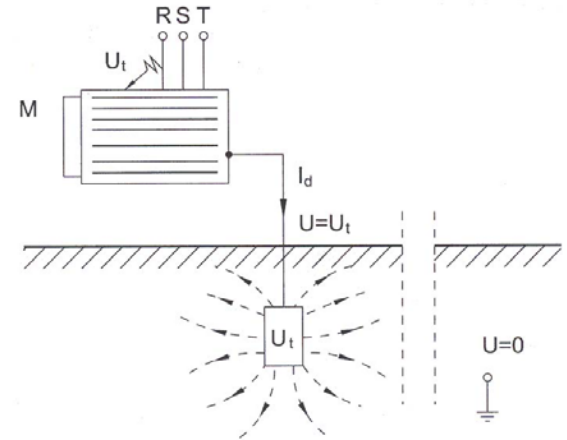


FIGURA 3.2. Funcionamiento de una puesta tierra.

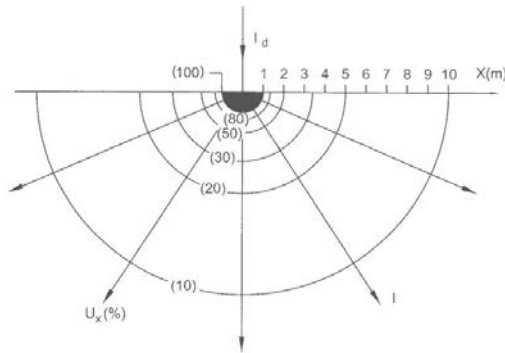


FIGURA 3.3. Distribución de potenciales en una sección del terreno originada por un electrodo semiesférico.

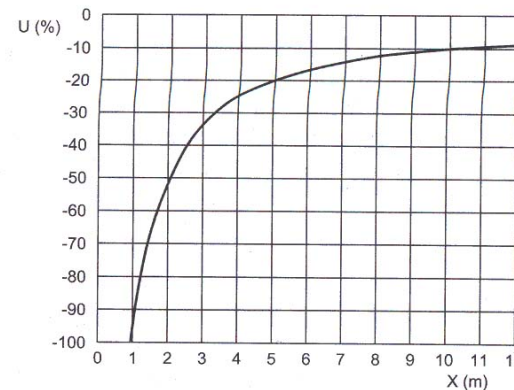


FIGURA 3.4. Variación del potencial sobre la superficie del terreno con electrodo semiesférico, en función de la distancia al centro del electrodo.

Ejemplo: Electrodo semiesférico enterrado a ras del suelo. La solución de la distribución de potencial sería:

$$V(x) = \frac{\rho \cdot I_d}{2 \cdot \pi \cdot x}$$

Parámetros que caracterizan una instalación de **puesta a tierra**

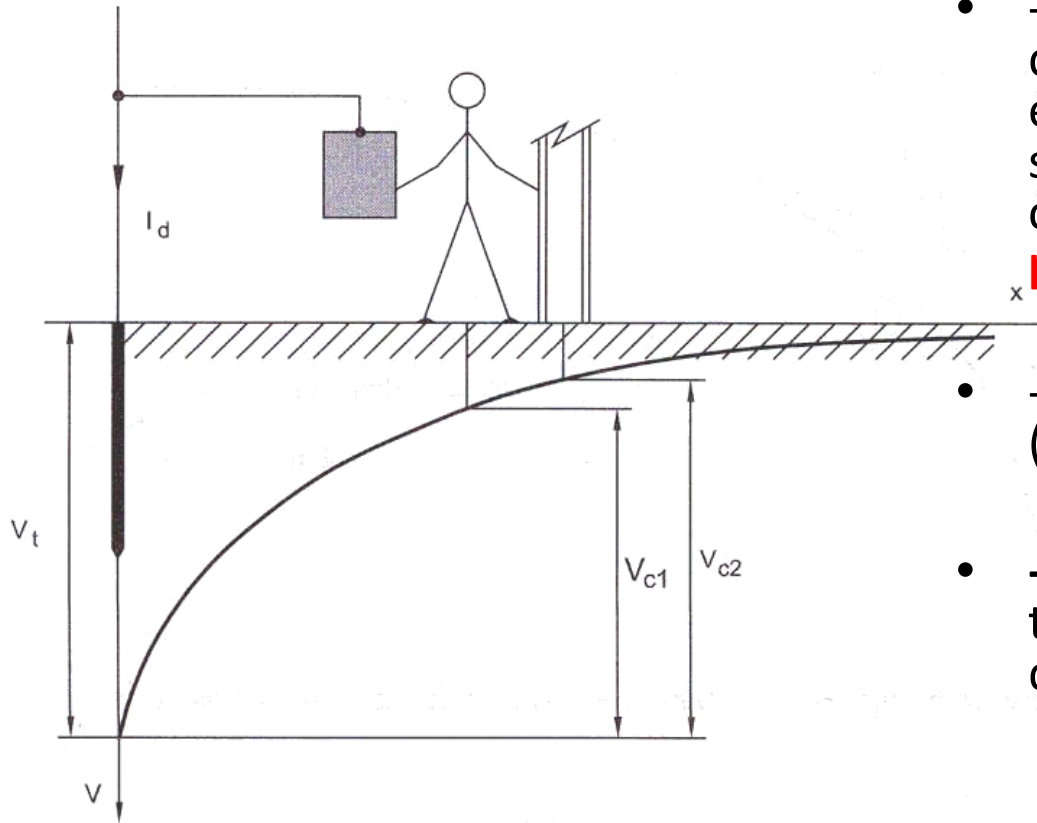


FIGURA 3.6. Tensión a tierra y tensión de contacto.

- **-Tensión a tierra (V_t):** es la diferencia de potencial entre el electrodo y un punto suficientemente alejado, considerado de $V=0$ **(en el infinito potencial nulo)**
- **-Resistencia de puesta a tierra (R_t):** es el cociente $R_t = V_{\text{tierra}} / I_d$
- **-Tensión de contacto (V_c):** es la tensión que se establece entre dos partes accesibles ya sean:
 - Dos masas
 - Masa y tierra
 - Masa y conductor
 - Conductor y tierra
 - etc...

Parámetros que caracterizan una instalación de **puesta a tierra**

- **Tensión de paso (V_p):** Tensión entre dos puntos del suelo separados un metro (~paso)
- **Tensión aplicada:** es la tensión que sufre la persona al ponerse en contacto con dos partes accesibles. Es un poco menor que V_c debido a las resistencias de contacto.
- Hay varios tipos:
 - Tensión de paso aplicada (V_{pa}): la que hay entre los pies, teniendo en cuenta $R_{cuerpo}=1000\text{ Ohm}$ y $R_{zapatos}$
 - Tensión de contacto aplicada (V_{ca}): idem para los puntos de contacto
- Tensión a tierra transferida (V_{tT}): es la tensión que aparece en los elementos de una puesta a tierra por el funcionamiento de otra.
 - Tensión de contacto transferida (V_{ct}): idem para la tensión de contacto

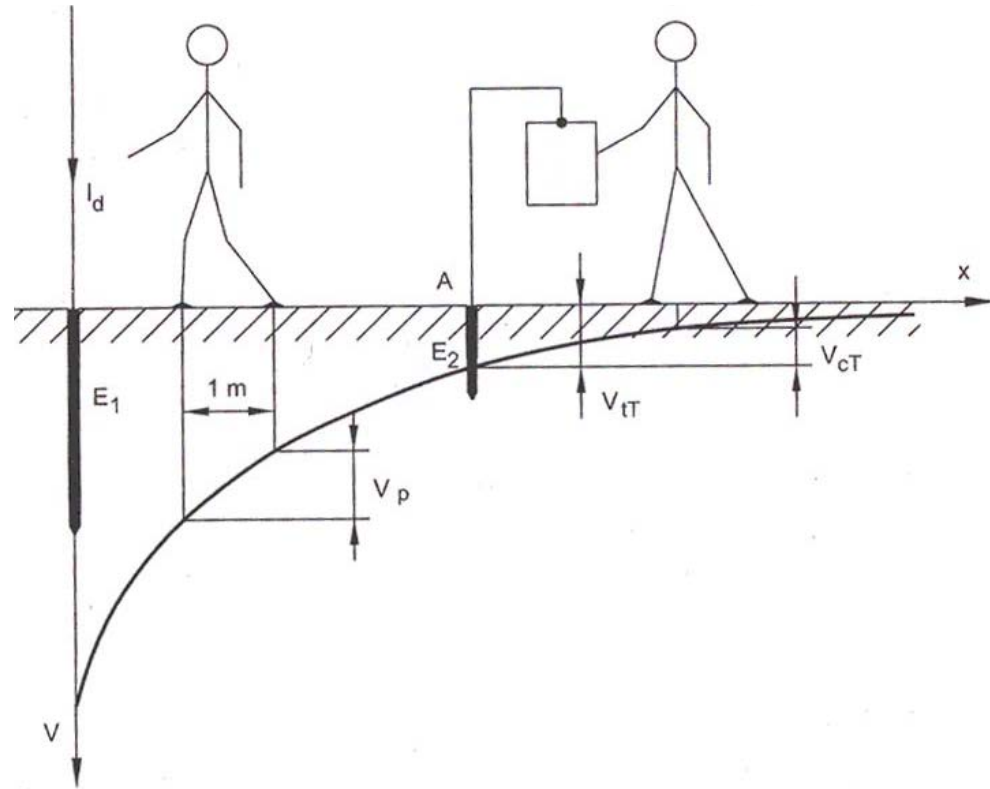


FIGURA 3.7. Tensión de paso y tensiones transferidas.

ELEMENTOS QUE SE CONECTAN A TIERRA

- Principalmente son:
 - Neutros de generadores y transformadores
 - Masas
 - Elementos de protección (pararrayos y seccionadores de puesta a tierra)

PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO DE LA ALIMENTACIÓN

Mientras que las masas de los elementos de generación, transporte y distribución casi siempre se unen a tierra los neutros de generadores y transformadores pueden estar conectados o aislados de tierra:

A) Neutro aislado. Normalmente no usado en las instalaciones a tratar por esta asignatura.

Antes del fallo:

-No existe una relación directa entre las diferencias de potencial fases-tierra

Si hay un fallo **Fase - Tierra** entonces:

-La fase que falla se pone a tierra siendo la diferencia de potencial nula (En el gráfico $U_{Tt}=0V$)

-Las otras fases pasan a estar a diferencia de potencia de la tensión de línea. Lo que hace diseñar los conductores a una mayor tensión de aislamiento (En el gráfico $U_{Rt}=U_{St}=\sqrt{3}U_{fase}$)

-No circula Intensidad de defecto o esta es muy pequeña

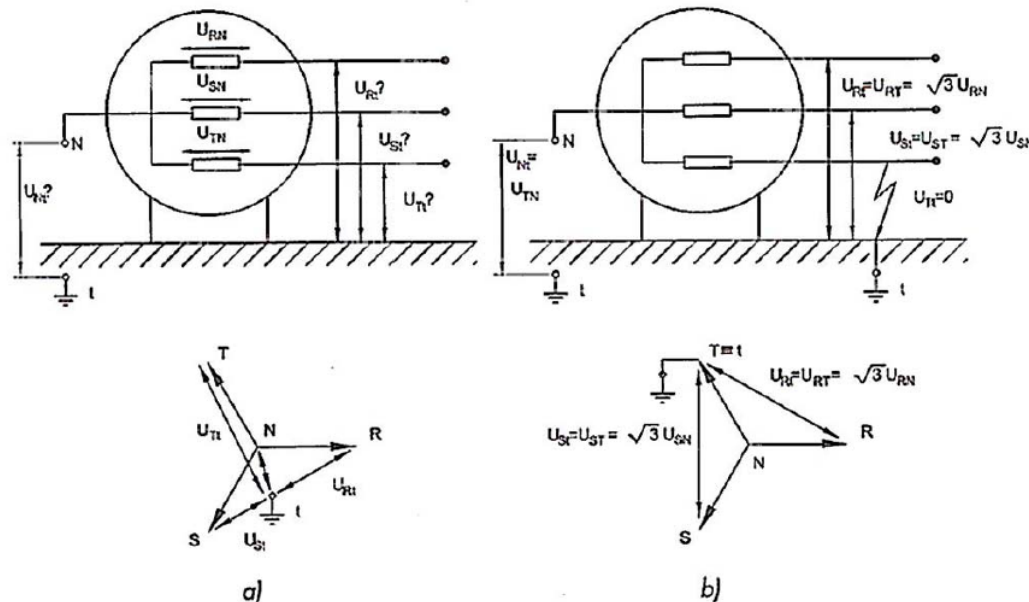


FIGURA 3.8. Fallo de aislamiento en sistemas con neutro aislado.

PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO DE LA ALIMENTACIÓN

B) Neutro a tierra. Es el más comúnmente utilizado y el que en todo caso se va a tener en cuenta en las instalaciones del curso.

Si hay un fallo **Fase - Tierra** entonces:

- Se cierra el circuito con R_t : Resistencia total del circuito de defecto
- Las otras fases continúan a tensiones simples en vez de a tensiones compuestas como en el apartado anterior
- Circula una corriente de defecto I_d

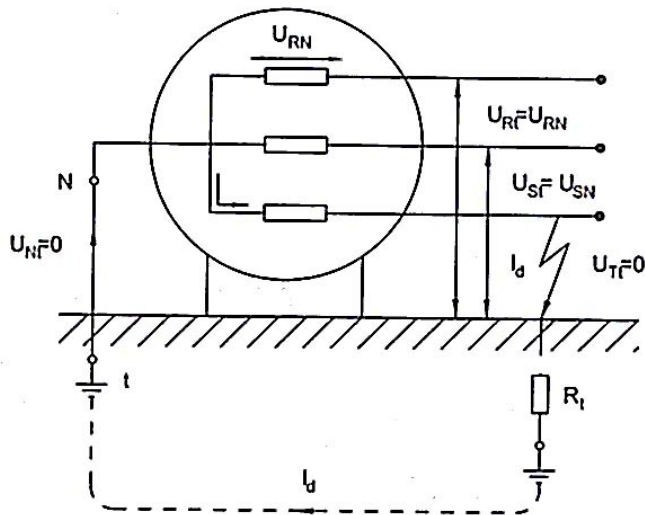
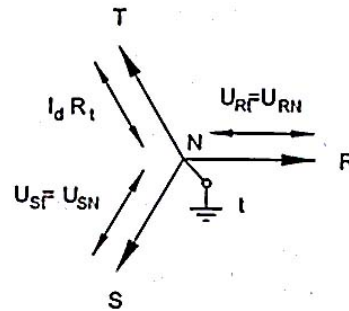


FIGURA 3.9. Fallo de aislamiento en sistemas con neutro conectado a tierra.



Ventajas TT:

- Con conexión a tierra se somete a los aislantes a una tensión menor.
- **La corriente de defecto se puede usar para disparar las protecciones.**

Inconvenientes:

- Circula una corriente de defecto que puede deteriorar los elementos

Observaciones IT:

- Conectando el neutro con una impedancia se puede limitar el valor de la intensidad de defecto (Neutro aislado)

PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS

A) Masa no conectada a tierra

En caso de fallo la masa se pone a la tensión de fase

$$U_{\text{masas}} = U_{\text{fn}}$$

Un fallo de fase a masa supone una puesta de tensión de la masa pero el circuito no se cierra por lo que no hay I_d

Este sistema no es válido salvo para instalaciones que sean de muy baja tensión de seguridad.

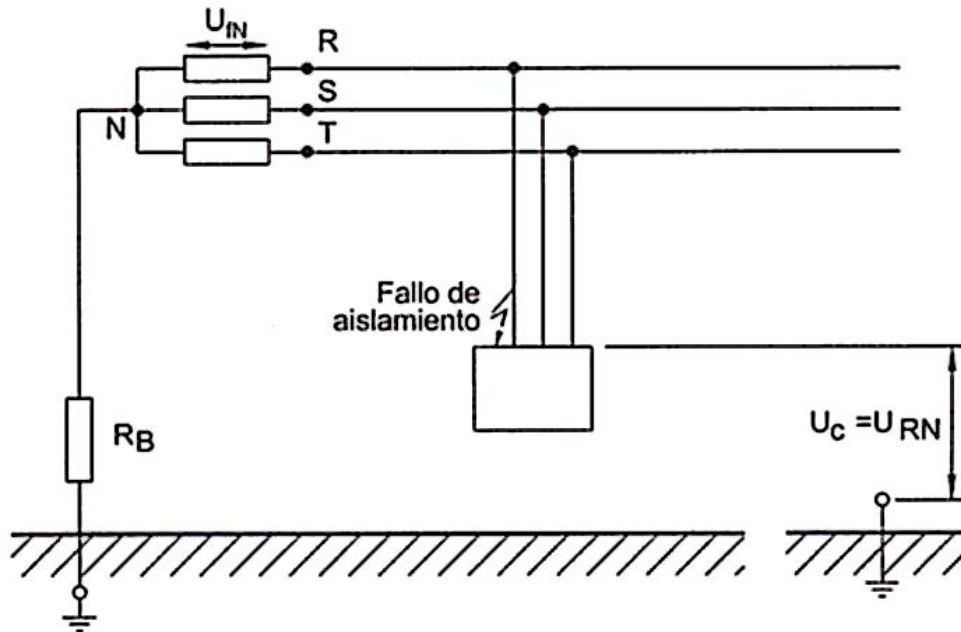


FIGURA 3.10. Defecto de aislamiento en una masa no conectada a tierra.

PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS

B) Masa conectada a tierra

Es el tipo de conexión que se va a utilizar en las instalaciones del curso.

En caso de fallo se cierra el circuito de defecto apareciendo una

$$I_d = \frac{V_{fn}}{R_A + R_B + Z_{con} + R_d}$$

Donde:

R_A = Resistencia de puesta a tierra de las masas (~1-100)

R_B = Resistencia de puesta a tierra del neutro

Z_{con} = Resistencia de los conductores (normalmente despreciable)

R_d = Resistencia del defecto

Por ejemplo para $R_d = 0$ y $Z_{con} = 0$ (caso más desfavorable)

$$I_{d,max} = \frac{U_{fn}}{R_A + R_B}$$

Que lleva a una tensión de contacto menor que la de fase:

$$U'_c = I'_{d,max} \cdot R_A = \frac{U_{fn}}{R_A + R_B} \cdot R_A \quad R_A < U_{fn}$$

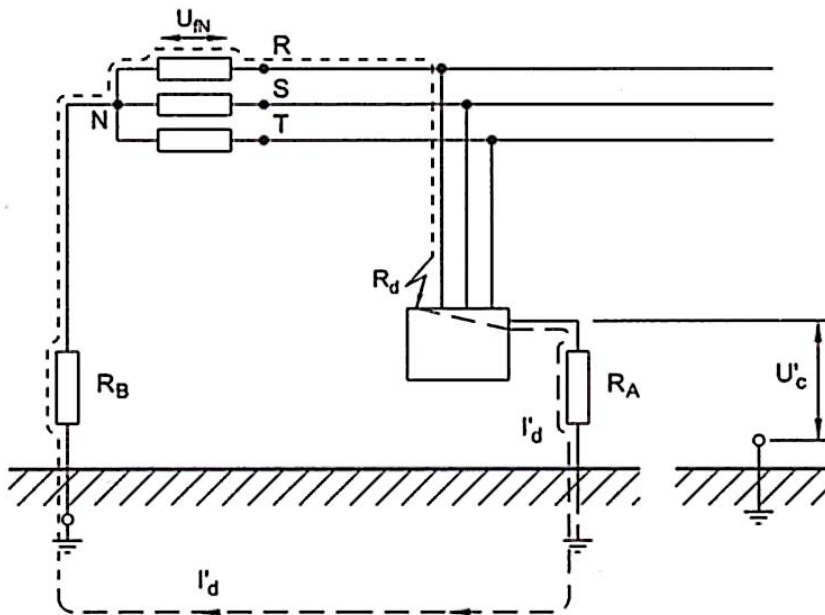


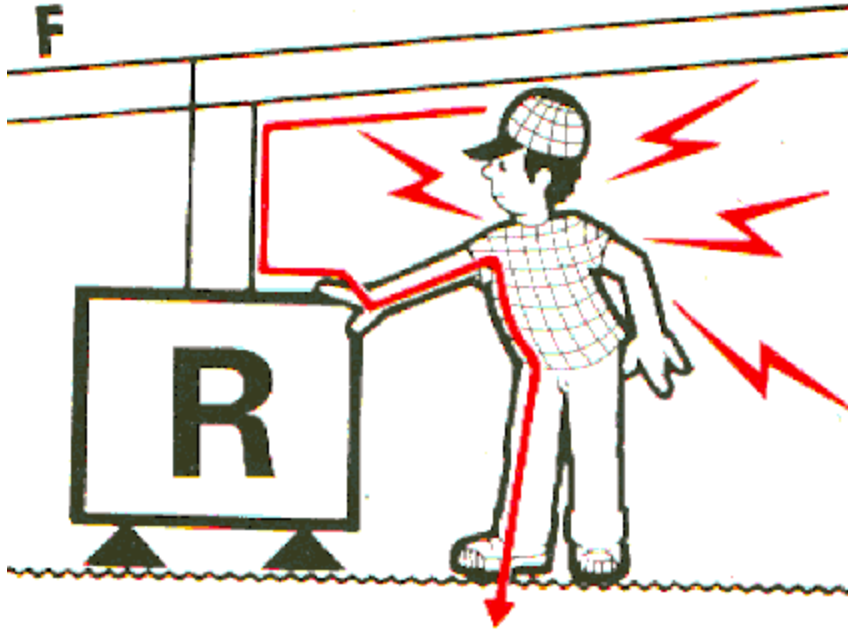
FIGURA 3.11. Defecto de aislamiento en una masa conectada a tierra.

La intensidad de defecto permite disparar elementos de protección. En muchos casos debido a que la resistencia de puesta a tierra del neutro del CT es desconocida se tiene en cuenta para la impedancia de bucle tan sólo la resistencia de la puesta a tierra de las masas de la instalación.

EFECTO DE LA TOMA A TIERRA DE MASAS

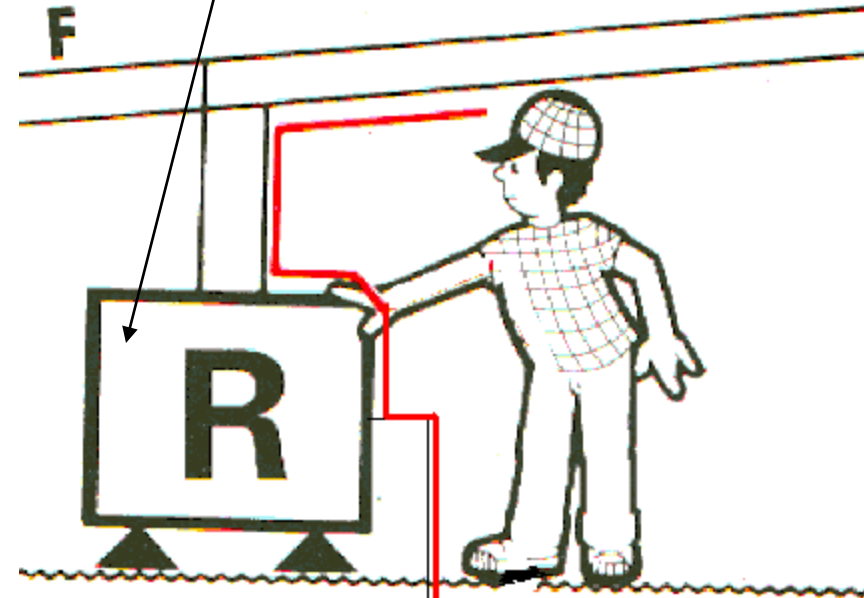
- La misión de la toma a tierra busca limitar la tensión eléctrica que pueda aparecer en elementos metálicos de la instalación que en condiciones normales no deberían estar a tensión.

- Masas: Carcasas de los aparatos de la instalación
- O elementos conductores como tuberías o estructuras metálicas



Sin toma de tierra, la corriente se va a tierra por el individuo.

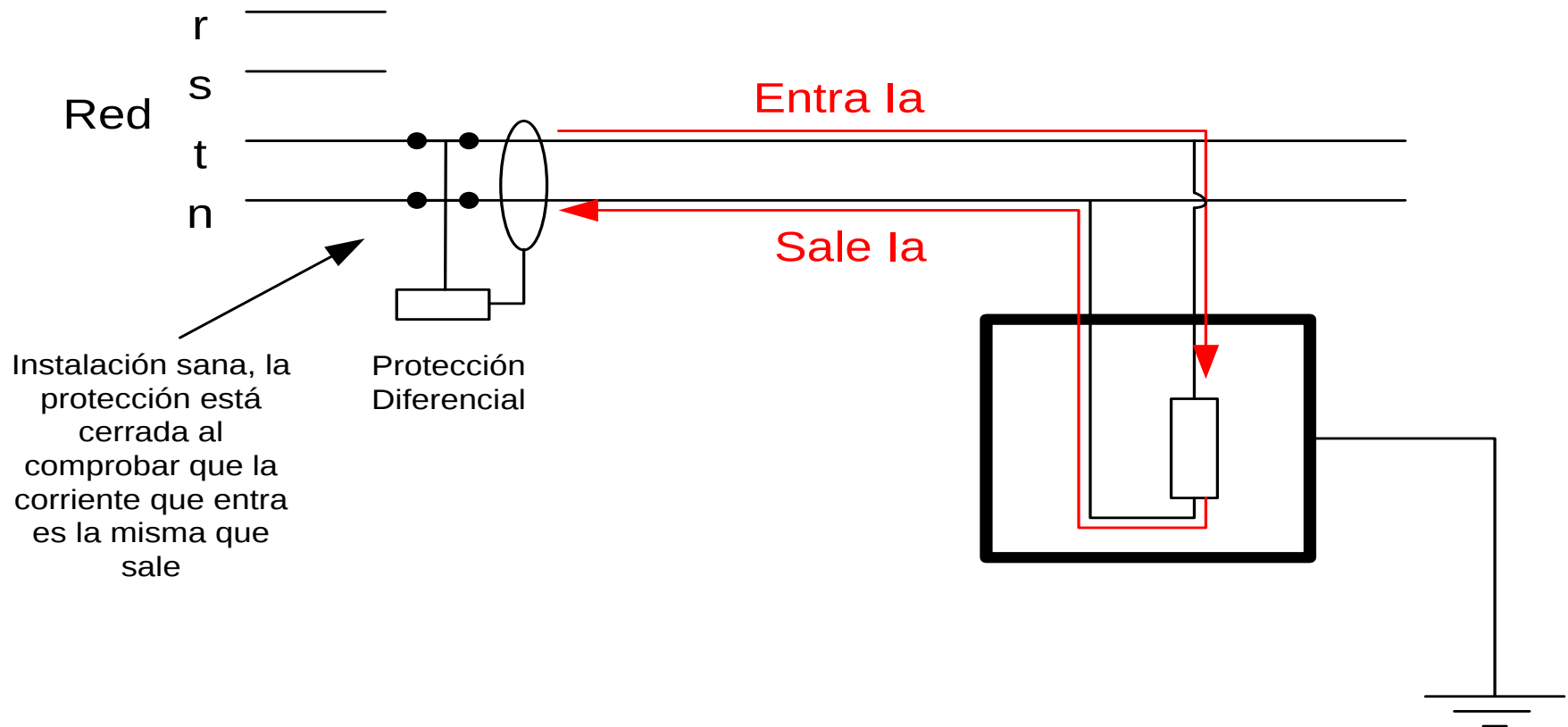
La tensión de la carcasa del equipo es alta



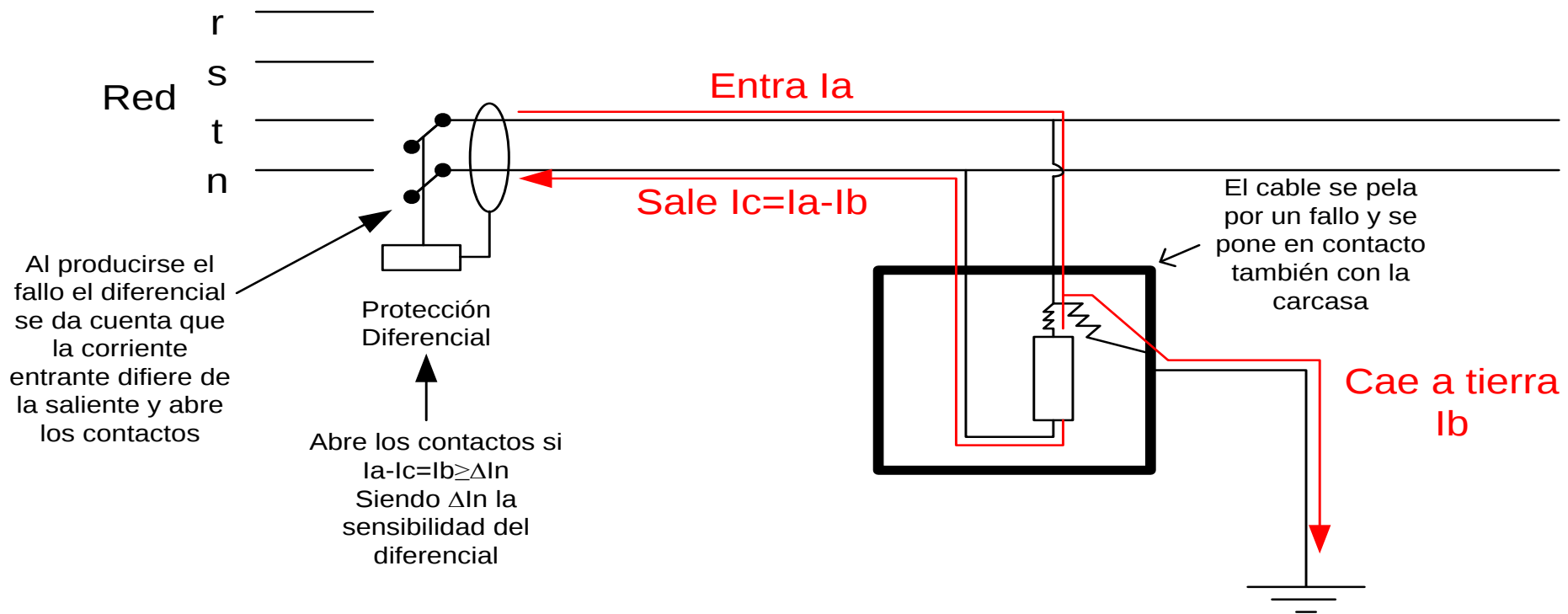
Con toma de tierra, la corriente se va por la instalación de puesta a tierra.

La tensión de la carcasa del equipo es menor

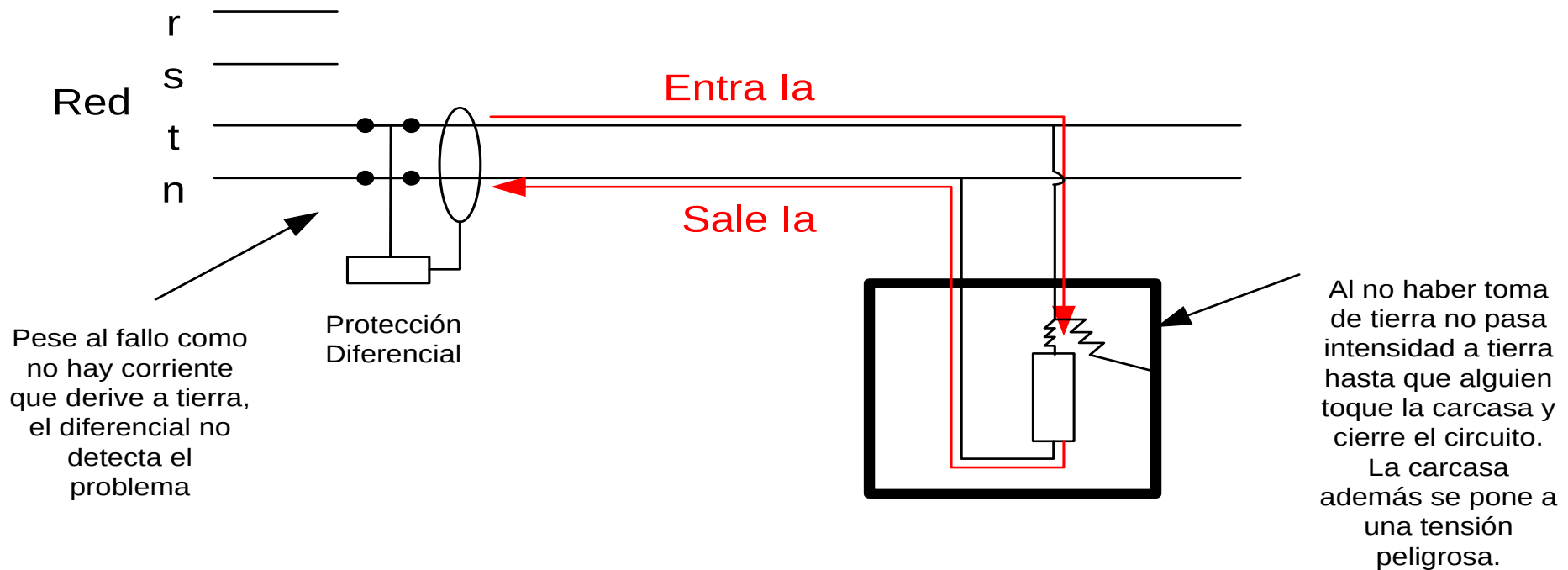
EJEMPLO ESQUEMA TT SITUACIÓN ANTES DEL FALLO CON TOMA A TIERRA



SITUACIÓN AL PRODUCIRSE EL FALLO CON TOMA A TIERRA



SITUACIÓN PELIGROSA AL PRODUCIRSE EL FALLO Y NO DISPONER DE TOMA A TIERRA



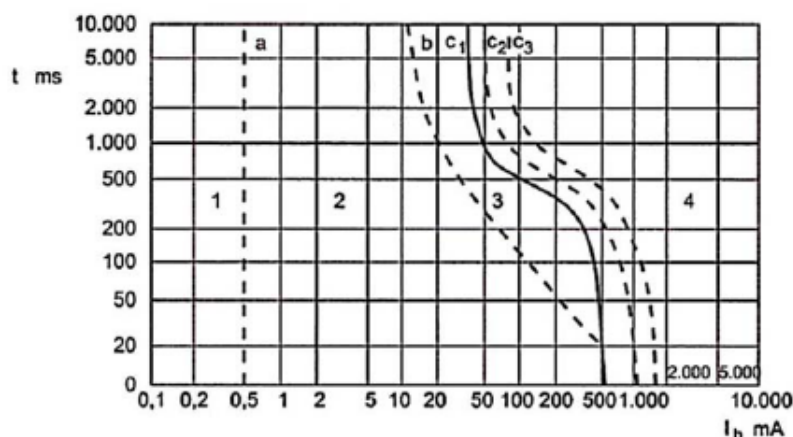
PELIGRO DEL CONTACTO ELÉCTRICO

PELIGRO DEL CONTACTO ELÉCTRICO

Factores que afectan a la peligrosidad

- Valor eficaz de la corriente
- Duración del contacto

En la siguiente gráfica se perciben los distintos efectos según sea el tiempo de exposición al fallo



Zona 1 $I < 0,5$ mA: No se percibe nada

Zona 2: Se percibe pero no se produce daño

Zona 3: Agarrotamiento muscular, dificultad respiratoria, parada cardíaca

Zona 4: Fibrilación ventricular
C2 probabilidad $> 5\%$
C3 probabilidad $> 50\%$

- Frecuencia: El rango más peligroso es 10-100Hz

- Trayectoria de la corriente: El tramo más peligroso es el que incluye el corazón. Para cálculos se multiplica la intensidad por un factor corrector

Factor de corrección para distintos trayectos

TRAYECTO	K
Mano dcha.-Pies	0,8
Mano dcha.-Mano izda.	0,4
Espalda-Mano izda.	0,7
Espalda-Mano dcha.	0,3
Pecho-Mano izda.	1,5
Pecho-Mano dcha.	1,3
Asiento-Manos	0,7

LA IMPEDANCIA DEL CUERPO HUMANO ES UN FACTOR QUE AFECTA A LA PELIGROSIDAD DEL CONTACTO

La impedancia del cuerpo humano es:

$$Z_h = Z_{c1} + Z_i + Z_{c2}$$

Siendo:

Z_h : Impedancia total

Z_{c1}, Z_{c2} : Impedancias de contacto (Dependen de factores como humedad, superficie, presión...)

Z_i : Impedancia interna del cuerpo humano (depende del individuo, es decir, estatura, peso, edad)

Hay también curvas de Z_h en función de la tensión de contacto.

La intensidad que circulará por el cuerpo será:

$$I_h = \frac{V_c}{Z_h(U_c)}$$

REGLAS DE SEGURIDAD

Como la I_h depende de tantos factores variables es necesario establecer unas normas generales de seguridad.

Dichas normas se basan en los siguientes conceptos:

A) Tensión de contacto límite convencional

Es el valor máximo de la tensión de contacto.

Normalmente es de 50V en alterna para local seco y 24V para local húmedo.

De todos modos es una norma general, para instalaciones específicas conviene consultar la ITC correspondiente.

B) Curva tensión de contacto tiempo

Cada curva viene dada por las condiciones que sea.

La instalación será segura si en caso de fallo las protecciones actúan antes del tiempo marcado

Tema 3.4. Instalación de Puesta a Tierra y protección frente a contactos directos e indirectos

Ejemplo: Contacto seco y de 100cm² entre mano izquierda y pies

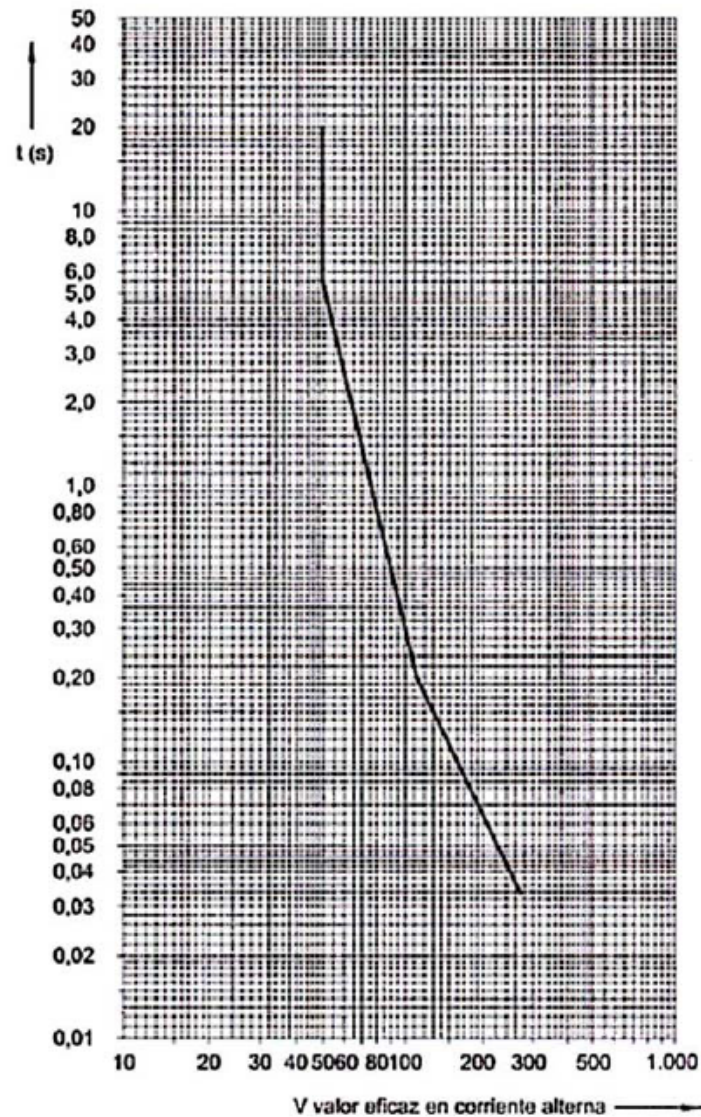


FIGURA 4.3. Curva de seguridad (tensión de contacto-tiempo).

CONCEPTO DE CONTACTO DIRECTO E INDIRECTO

Contacto directo: Entra en contacto con una zona activa de la instalación

Contacto indirecto: Entra en contacto con una zona que en condiciones normales no debería estar bajo tensión pero que debido a un fallo sí lo está.

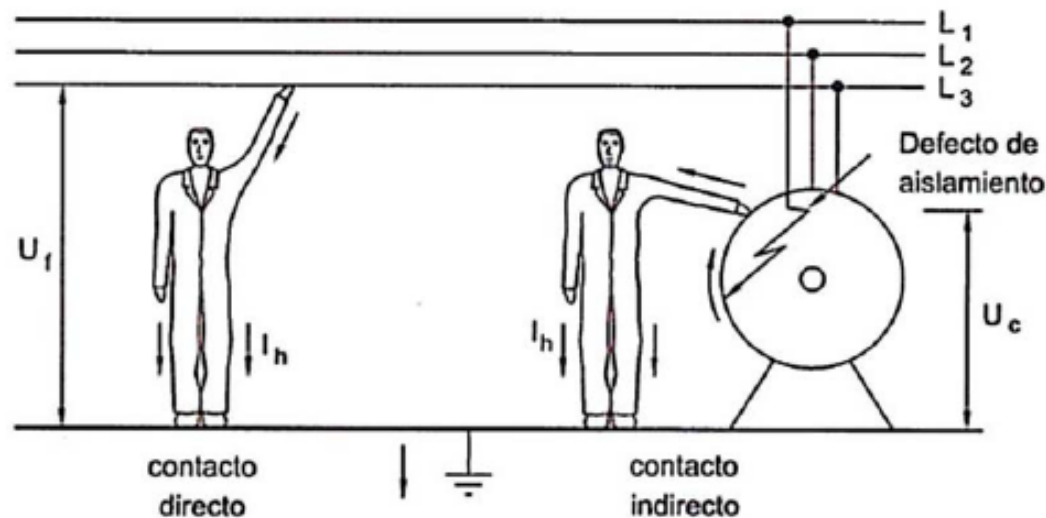


FIGURA 4.4. Contactos directo e indirecto.

Tipos de protección (ITC-BT-24)

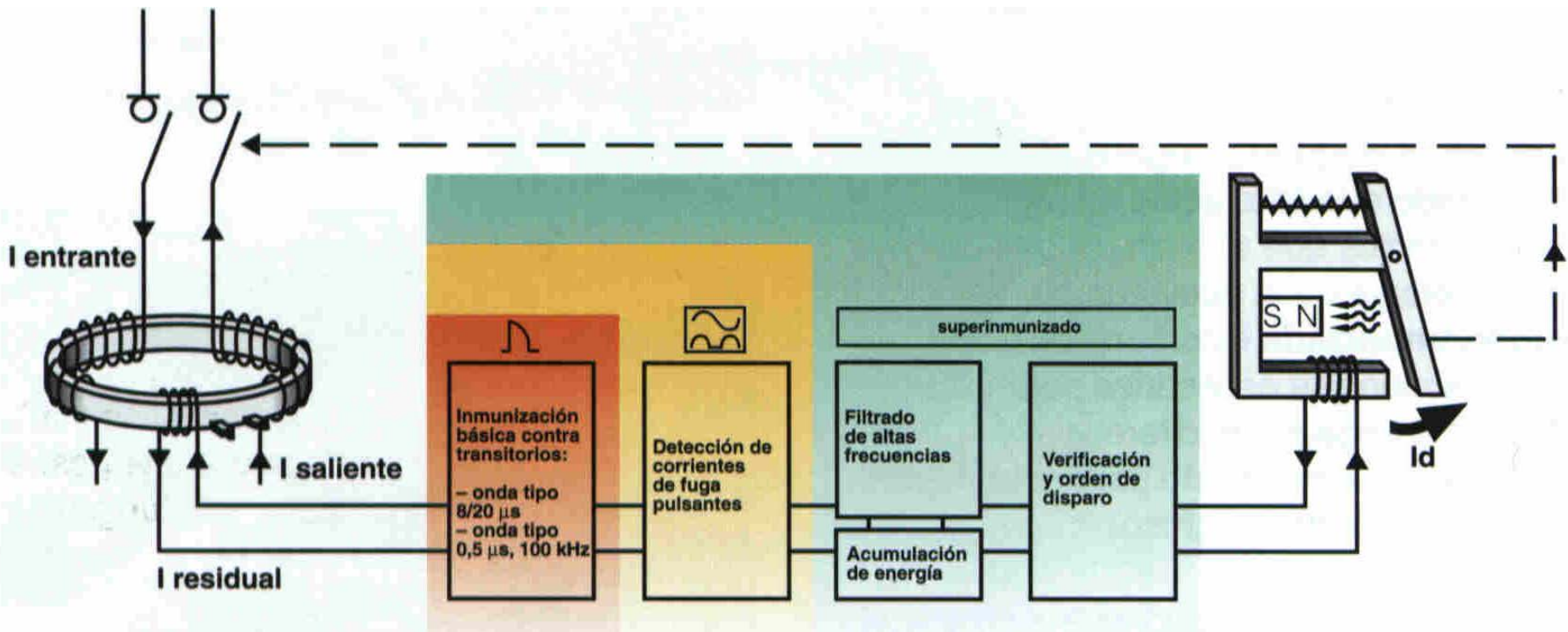
- Contra contacto directo e indirecto
- Contra contacto directo
- Contra contacto indirecto

PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS

USO DE TOMA A TIERRA E INTERRUPTORES DIFERENCIALES

- La actuación del elemento protector debe hacer que las tensiones de contacto no superen la tensión límite convencional.
- Si la tensión $U_c > U_L$ entonces deberá actuar en un tiempo t_i (tiempo de interrupción) $< t_a$ (tiempo admisible)
Para el cálculo de t_a se pueden usar curvas de seguridad aunque depende de lo indicado en norma o de la instalación o esquema de la misma.
- Todas las masas accesibles simultáneamente deben estar conectadas a la misma toma de tierra.

PROTECCIÓN DIFERENCIAL



VALORES NORMALIZADOS DIFERENCIAL

Los valores normalizados de la corriente diferencial-residual $I_{\Delta n}$ son:

s/UNE-EN 61008; $I_{\Delta n} = (0,006 - 0,01 - 0,03 - 0,1 - 0,3 - 0,5) \text{ A}$

s/UNE-EN 61009; $I_{\Delta n} = (0,006 - 0,01 - 0,03 - 0,1 - 0,3 - 0,5) \text{ A}$

s/UNE-EN 60947-2; $I_{\Delta n} = (0,006 - 0,01 - 0,03 - 0,1 - 0,3 - 0,5 - 1 - 3 - 10 - 30) \text{ A}$

aunque se pueden encontrar diferenciales con valores superiores

El umbral de disparo en todos los casos es de $(0,5 \div 1) I_{\Delta n}$

Por ejemplo:

- Para $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ el disparo más bajo estará comprendido entre 15 y 30 mA y*
- Para $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$ el disparo más bajo estará comprendido entre 150 y 300 mA*

ELECCIÓN DIFERENCIAL

En la elección de $I_{\Delta n}$ se debe cumplir:

a) Tal y como se indica en los apartados 4.1.1 y 4.1.2:

$Z_s \times I_a \leq U_0$ para esquemas TN

$R_A \times I_a \leq U$ para esquemas TT

b) $\frac{I_{\Delta n}}{2} > I_{fuga}$ de la instalación aguas abajo del diferencial

El cumplimiento de esta condición garantiza la actuación de los interruptores diferenciales únicamente en caso de defecto de aislamiento, evitando los disparos intempestivos.

Cuando los aparatos alimentados presenten corrientes de fuga cuya suma pueda sobrepasar este valor, deberán tomarse medidas para evitar el funcionamiento intempestivo de los diferenciales en ausencia de defecto de aislamiento. Por ejemplo:

- limitar el número de tomas de corriente protegidas por un mismo diferencial;*
- utilizar aparatos de clase II;*
- alimentar individualmente cada toma de corriente por medio de un transformador de separación de circuitos.*

Las redes de distribución de las empresas suministradoras que alimentan a los usuarios en Baja Tensión deben corresponder al esquema TT, según la ITC-BT-08.

Los usuarios que contraten en Alta Tensión (aunque la utilización sea en BT) podrán elegir además, el esquema TN o IT.

PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS INDIRECTOS EN ESQUEMAS TT

Se cumplirá la siguiente condición:

$$R_A \times I_a \leq U$$

donde:

R_A es la suma de las resistencias de la toma de tierra y de los conductores de protección de masas.

I_a es la 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 es la tensión de contacto límite convencional (50, 24V u otras, según los casos).

Para el caso particular de una instalación eléctrica que se alimente de dos transformadores cuyos neutros estén conectados a la misma tierra (R_B) y uno de ellos alimente un sistema TT y el otro un sistema TN, la condición anterior de protección contra contactos indirectos se transforma en la siguiente, teniendo en cuenta que pueden existir dos masas simultáneamente accesibles y alimentadas cada una por un transformador distinto.

$$(R_A + R_B) \times I_a \leq U$$

EJEMPLO FALLO ESQUEMA TT

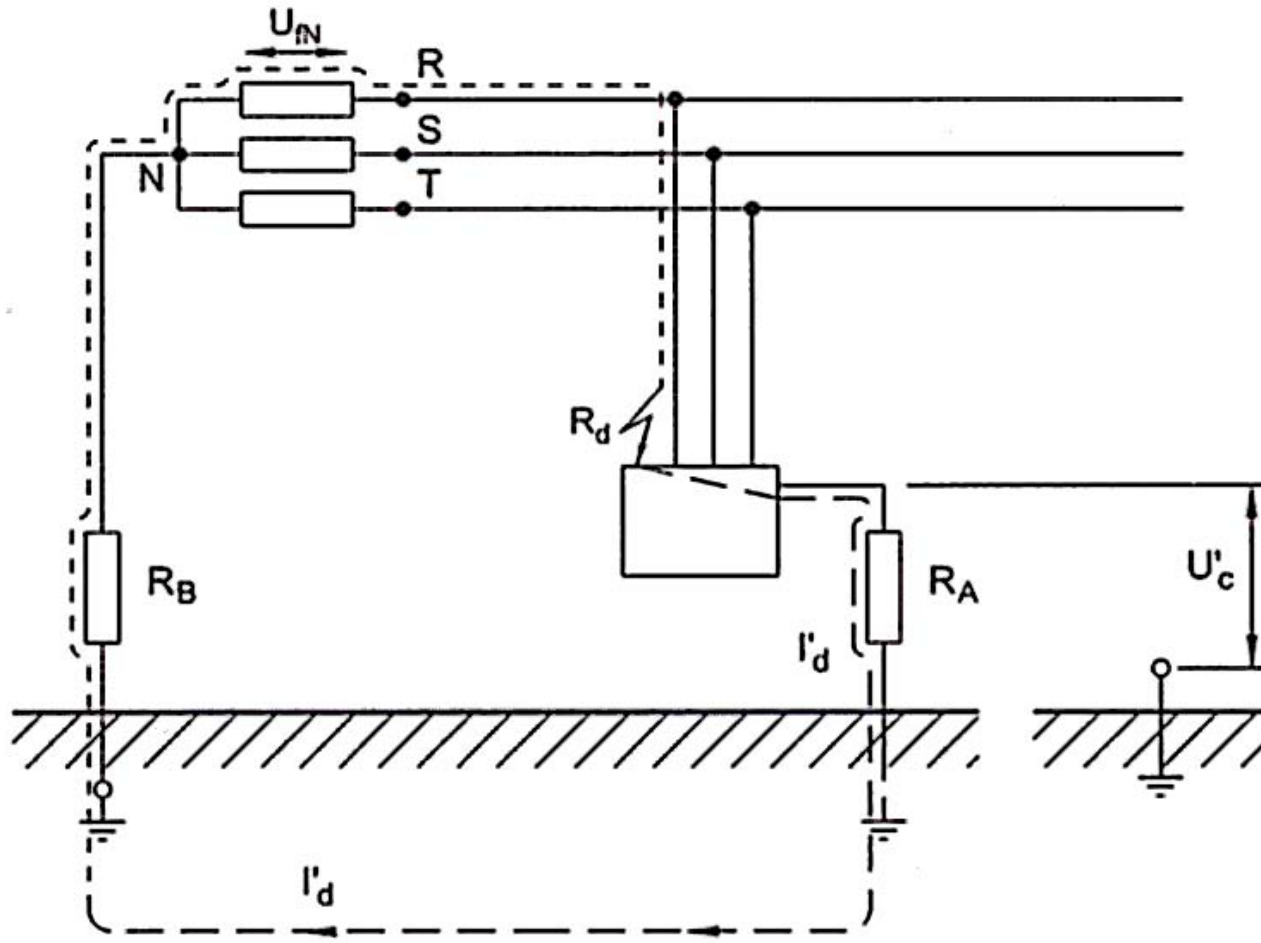


FIGURA 3.11. Defecto de aislamiento en una masa conectada a tierra.

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS INDIRECTOS EN TT

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. Estos dispositivos solamente son aplicables cuando la resistencia R_A tiene un valor muy bajo.

En la práctica, los dispositivos de protección contra sobreintensidades no son de aplicación para la protección contra los contactos indirectos, ya que para alcanzar, sin riesgo para las personas, una intensidad suficiente para provocar la desconexión del circuito con defecto, debería garantizarse, de forma fiable y permanente durante toda la vida de la instalación, una resistencia de puesta a tierra extremadamente pequeña que es muy difícil de conseguir.

En una instalación industrial en la que se utilizan Interruptores Automáticos (IA) según UNE-EN 60898, la corriente de disparo según la característica térmica correspondiente a 5 segundos es del orden de $5 I_n$.

Si por ejemplo el calibre del IA fuera de 25 A, se tendría

$$I_a = 5 \cdot 25 = 125 \text{ A}$$

Aplicando la condición más restrictiva para esquemas TT y suponiendo una tensión de contacto máxima de 24 V, correspondiente a locales húmedos:

$$R_A \cdot I_a \leq U \Rightarrow R_A \leq \frac{U}{I_a} = \frac{24}{125} \approx 0,2 \, \Omega$$

Que debería garantizarse a lo largo de toda la vida útil de la instalación para todas las masas de la misma.

Producto	Norma de aplicación
Interruptores diferenciales (uso doméstico o análogo)	UNE-EN 61008 (serie)
Interruptores diferenciales con dispositivo de protección contra sobreintensidades incorporado (uso doméstico o análogo)	UNE-EN 61009 (serie)
Interruptores diferenciales (uso industrial u otras aplicaciones)	UNE-EN 60947-2

TIEMPOS DE CORTE MÁXIMOS DE DIFERENCIALES

En las normas de producto para interruptores diferenciales se establecen los tiempos de corte máximos siguientes para diferenciales de tipo general:

	$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$
Tiempo máximo de corte (s)	0,3	0,15	0,04

En la práctica, los defectos de aislamiento generalmente son de baja impedancia por lo que la corriente originada es del orden de $5 I_{\Delta n}$ o mayor.

En caso que se produzca un defecto de impedancia no despreciable, el tiempo máximo de desconexión de los diferenciales de tipo general para una corriente de fuga igual o superior a $I_{\Delta n}$ es de 0,3 s.