

# Puestas a Tierra en AT y BT

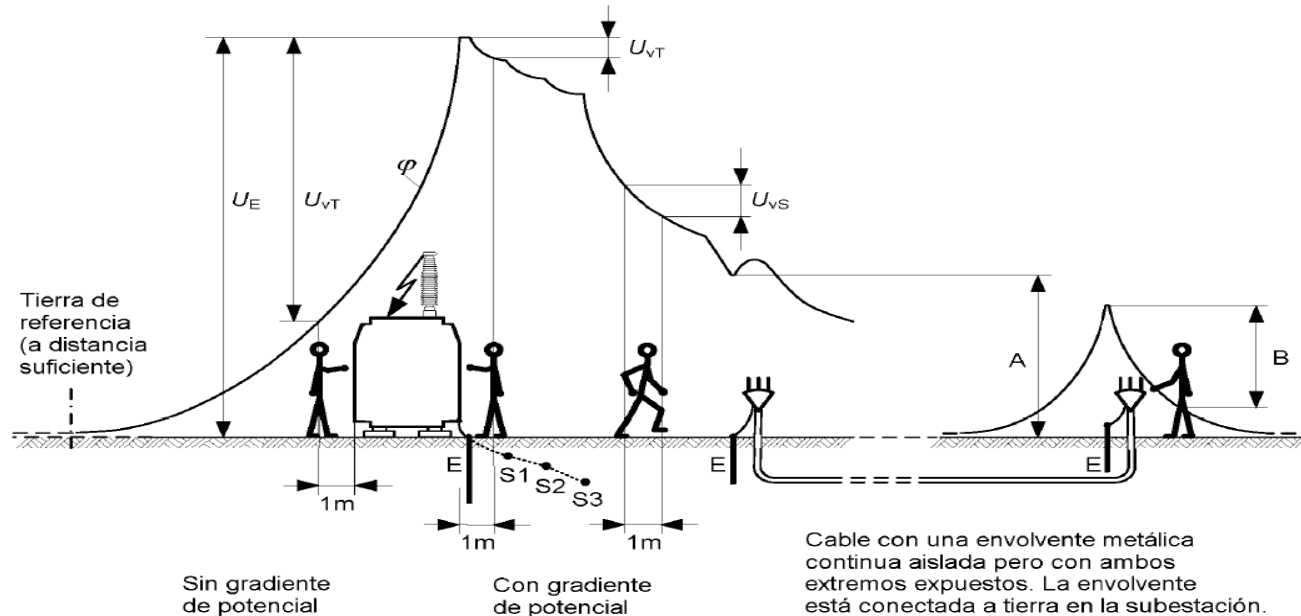


Castellón, noviembre 2018

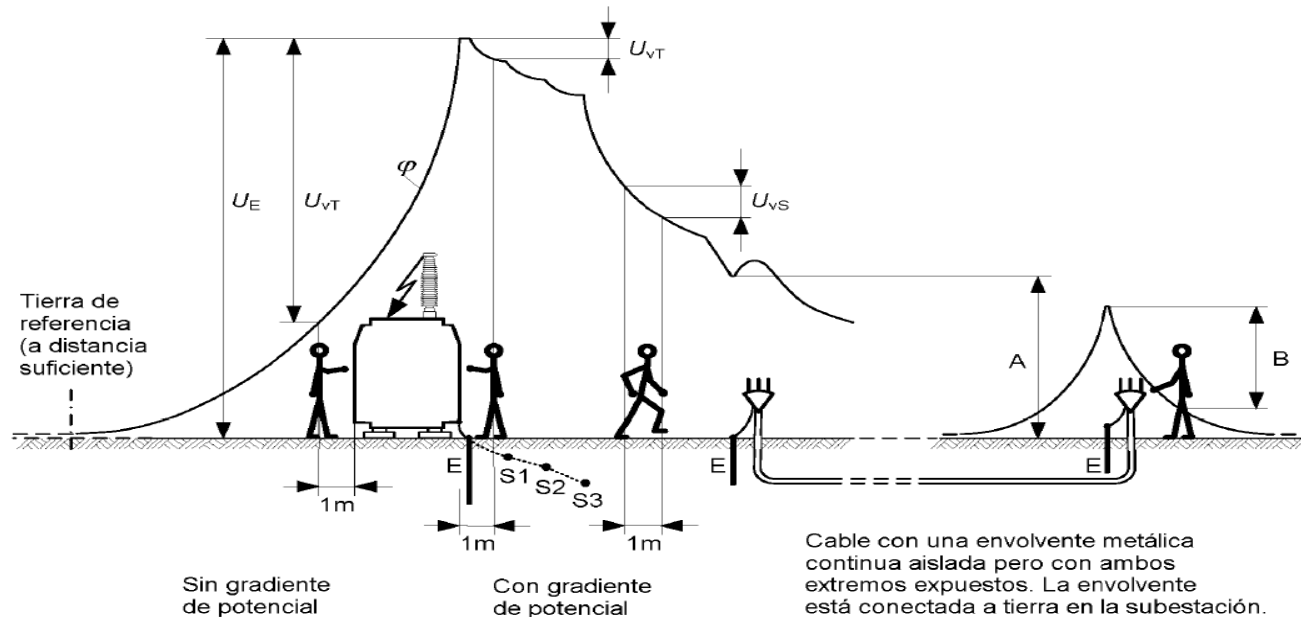


**IBERDROLA**  
**DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**

- **Puestas a tierra en AT y BT.**
  1. Novedades relevantes en el nuevo reglamento de AT
  2. Verificaciones. Guía RAT 23
  3. Puestas a tierra de BT e interconexiones
  4. Disparos intempestivos de diferenciales



- Puestas a tierra en AT y BT.
  1. **Novedades relevantes en el nuevo reglamento de AT**
  2. Verificaciones. Guía RAT 23
  3. Puestas a tierra de BT e interconexiones
  4. Disparos intempestivos de diferenciales



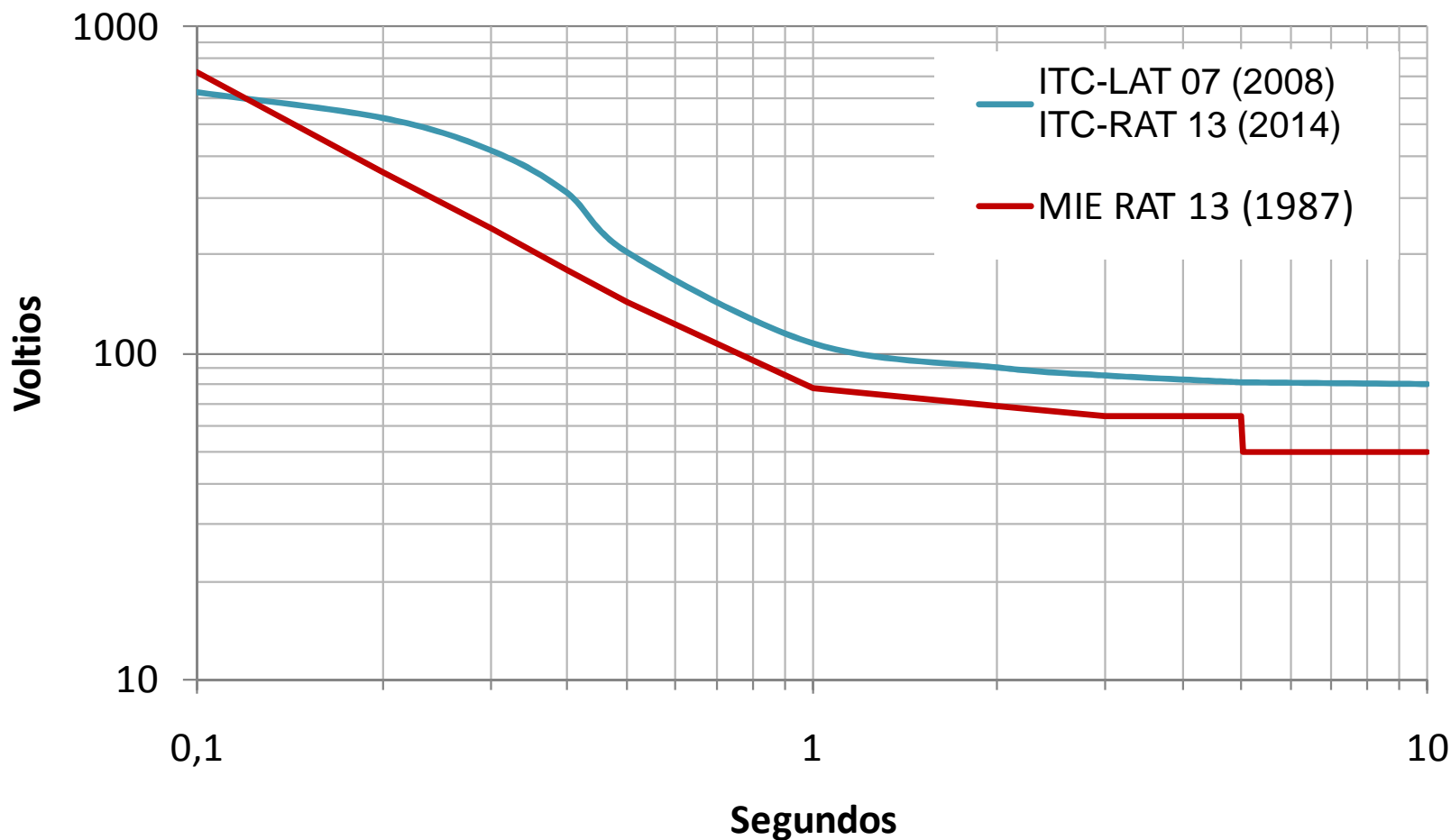
## NOVEDADES

- Valores máximos admisibles
- Consideración del calzado
- Datos de la red de AT
  - Corriente de Puesta a Tierra y Corriente de Defecto
  - Tiempos de desconexión
- Cálculo de la corriente de puesta a tierra ( $I_E$ )

# VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES

## Nueva curva de tensión de contacto admisible

### Máxima tensión de contacto aplicada ( $U_{ca}$ )



Máxima tensión de paso aplicada:  $U_{pa} = 10 \cdot U_{ca}$

# VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES

## Factores de corrección

### ITC-LAT 07 (2008) e ITC-RAT 13 (2014)

- “La norma **UNE-IEC/TS 60479-1 da indicaciones** ... estableciendo una relación entre los valores admisibles de la corriente ... y su duración.”
- Los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada,  $U_{ca}$ , a la que puede estar sometido el cuerpo humano **entre la mano y los pies**, en función de la duración de la corriente de falta, se dan en la figura...
- Abre la posibilidad de considerar las correcciones contenidas en la norma. Por ejemplo, factor de corriente de corazón entre mano izquierda y mano derecha  $F=0,4$ .

Trayectoria de la corriente	Factor de corriente del corazón $F$
Mano izquierda al pie izquierdo, al pie derecho o a los dos pies	1,0
Ambas manos a los dos pies	1,0
Mano izquierda a mano derecha	0,4
Mano derecha al pie izquierdo, al pie derecho o a los dos pies	0,8
Espalda a la mano derecha	0,3
Espalda a la mano izquierda	0,7
Pecho a la mano izquierda	1,3
Pecho a la mano derecha	1,5
Posaderas a la mano izquierda, a la mano derecha o a las dos manos	0,7
Pie izquierdo a pie derecho	0,04

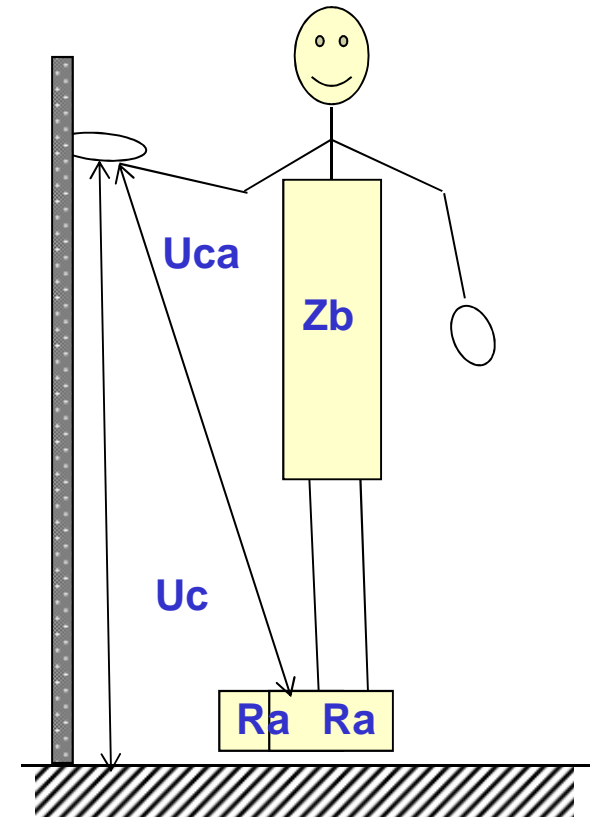
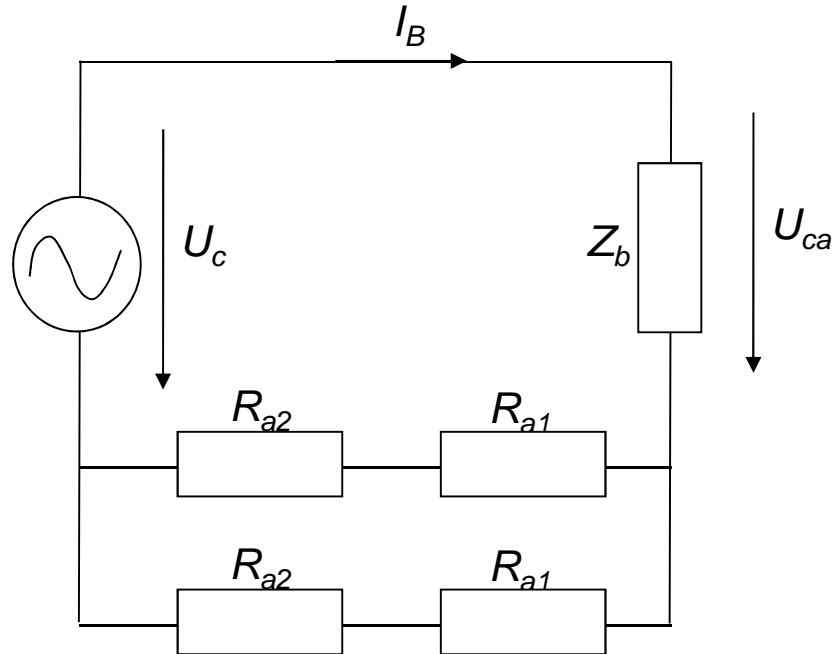
# CONSIDERACIÓN DEL CALZADO

- MIE-RAT 13 (1987) ya indicaba que sus fórmulas respondían *“a un planteamiento simplificado...al desprestigiar la resistencia de la piel y del calzado”*
- ITC-LAT 07 (2008) distingue entre apoyos:
  - No frecuentados: lugares que no son de acceso público o donde el acceso es poco frecuente. Bosques, campo abierto, campos de labranza.
  - Frecuentados con calzado: pavimentos, carreteras, aparcamientos.
  - Frecuentados sin calzado: jardines, piscinas, campings y aéreas recreativas
- ITC-RAT 13 establece la consideración del calzado en el cálculo de tensiones de paso y contacto.
  - Salvo en jardines, piscinas, campings y aéreas recreativas

# CONSIDERACIÓN DEL CALZADO

En tensiones de contacto

REG. DE LÍNEAS (2008) ITC-LAT 07  
E ITC-RAT 13 (2014)



$U_{ca}$  Tensión de contacto aplicada admisible

$Z_b$  Impedancia del cuerpo humano. Se considerará  $1000 \Omega$ .

$I_B$  Corriente que fluye a través del cuerpo

$U_c$  Tensión de contacto admisible considerando resistencias adicionales

$R_{a1}$  Resistencia equivalente del calzado de un pie. Si procede, emplear  $2000 \Omega$ .

$R_{a2}$  Resistencia del contacto terreno-pie.  $R_{a2}=3\rho_s$ ;  $\rho_s$ : resistividad del suelo.

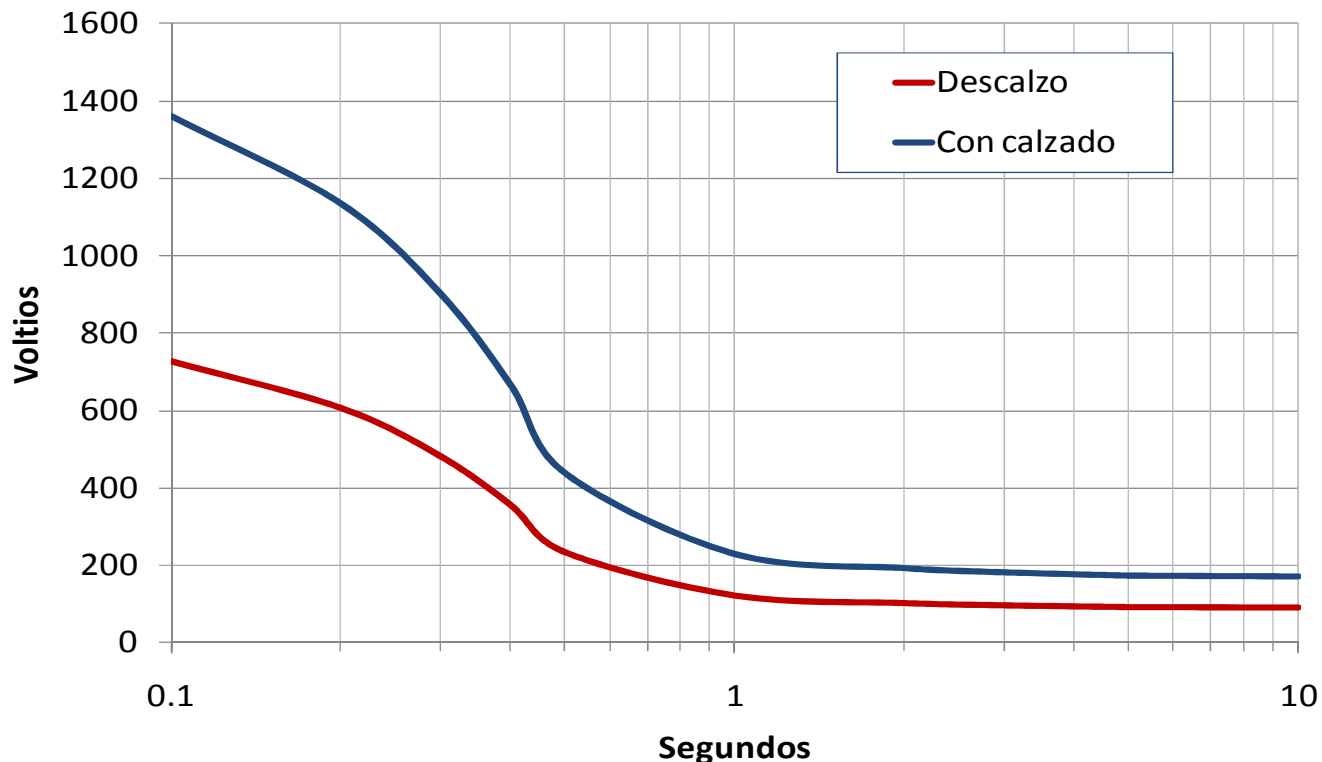


# CONSIDERACIÓN DEL CALZADO

## En tensiones de contacto

- **ITC-LAT 07 e ITC-RAT 13 dan valores a utilizar**
  - Resistencia del calzado  $2000 \Omega$  por pie
    - Tensión de contacto: dos pies en paralelo  $\Rightarrow 1000 \Omega$ 
      - Reducción notable de la tensión aplicada a la persona

### Tensión de contacto admisible ( $U_{ca}$ ), con $\rho_s = 100 \Omega \cdot m$

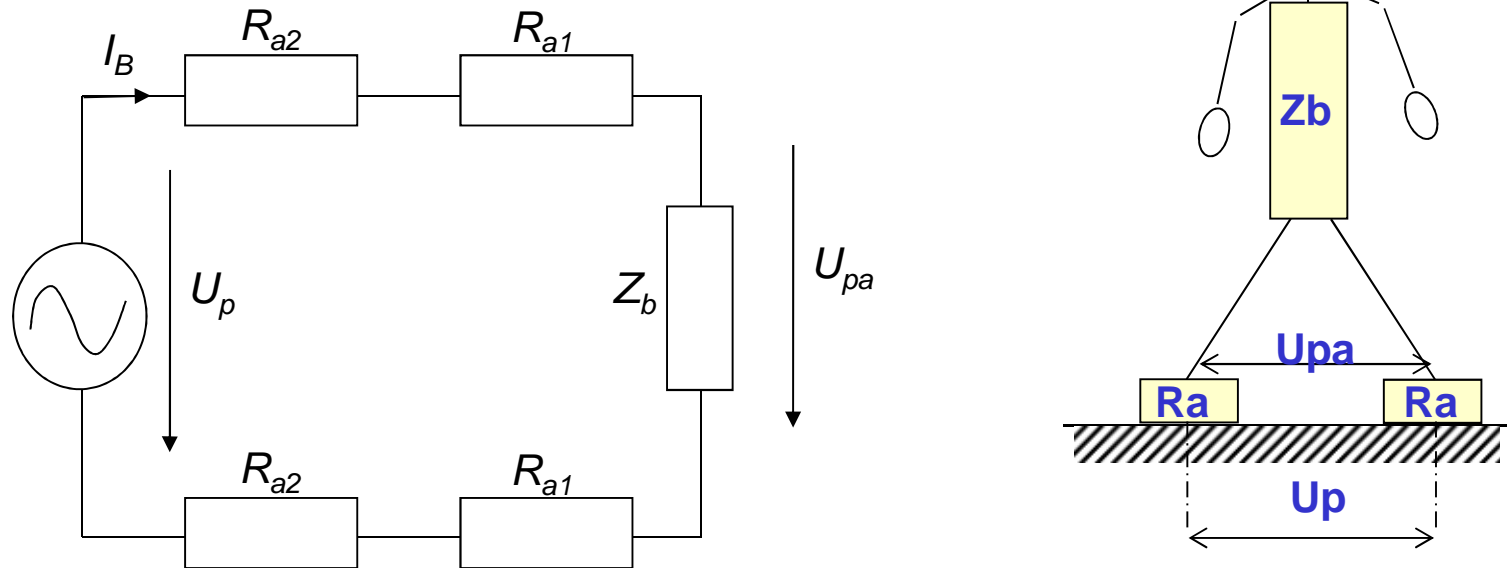


# CONSIDERACIÓN DEL CALZADO

## En tensiones de paso

### ITC-RAT 13 (2014)

ITC-LAT 07 hace referencia a MIE-RAT 13



$U_{pa}$  Tensión de paso aplicada admisible, ( $U_{pa}=10 U_{ca}$ ).

$Z_B$  Impedancia del cuerpo humano. Se considerará  $1000 \Omega$

$I_B$  Corriente que fluye a través del cuerpo;

$U_p$  Tensión de paso admisible considerando resistencias adicionales

$R_{a1}$  Resistencia equivalente del calzado de un pie. Si procede, emplear  $2000 \Omega$ .

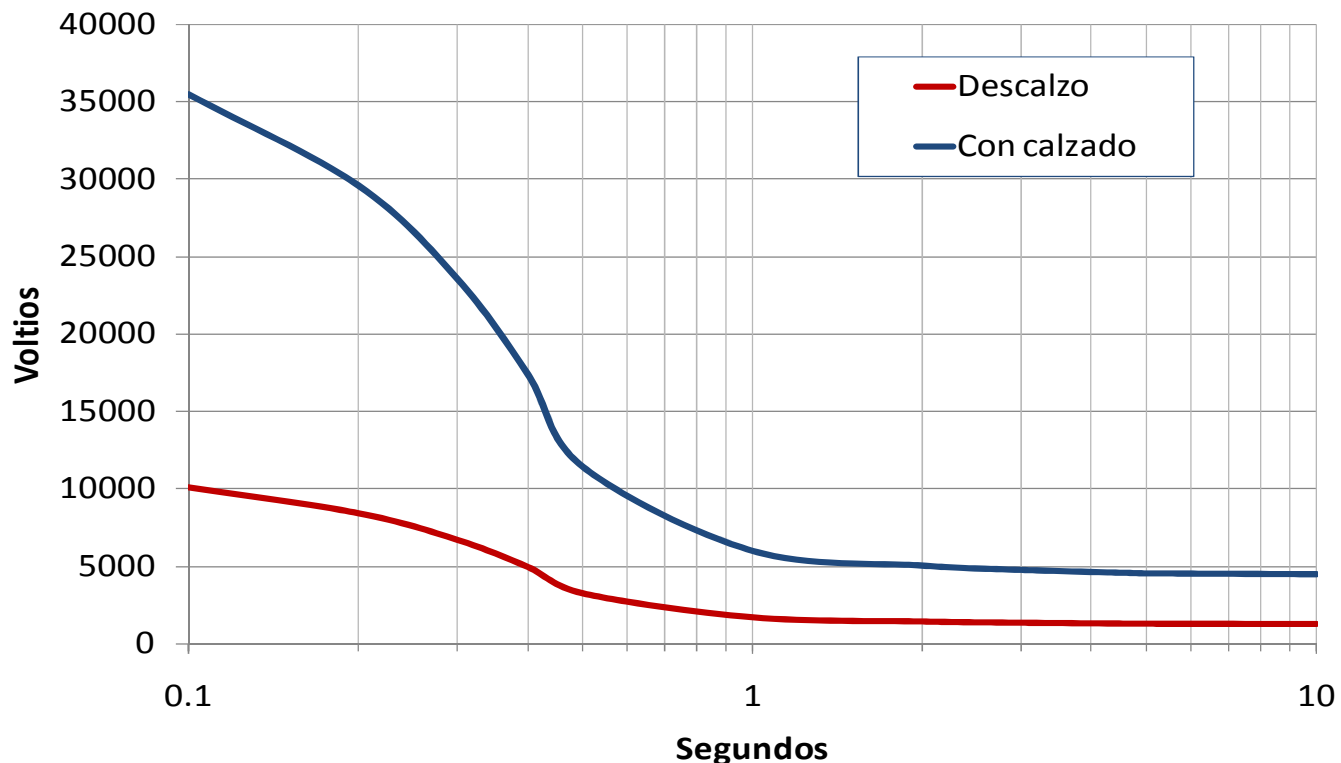
$R_{a2}$  Resistencia del contacto terreno-pie.  $R_{a2}=3\rho_s$ ;  $\rho_s$ : resistividad del suelo.

# CONSIDERACIÓN DEL CALZADO

## En tensiones de paso

- **ITC-LAT 07 e ITC-RAT 13 dan valores a utilizar**
  - Resistencia del calzado  $2000 \Omega$  por pie
    - Tensión de paso: dos pies en serie  $\Rightarrow 4000 \Omega$ 
      - Reducción enorme de la tensión aplicada a la persona

### Tensión de paso admisible ( $U_{pa}$ ), con $\rho_s = 100 \Omega \cdot m$



- **MIE-RAT 19 (1987)**

Las compañías suministradoras deberán facilitar ...los siguientes datos referidos al punto de conexión:

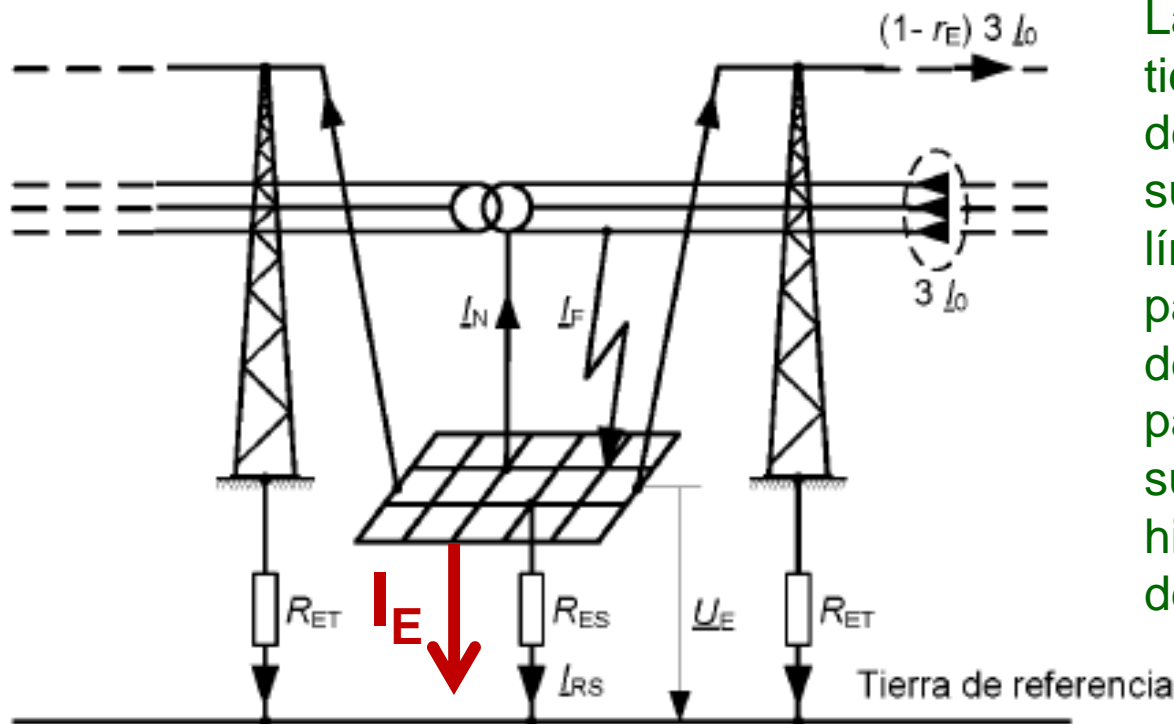
- ...
- **Intensidad máxima de cortocircuito trifásica y a tierra.**
- **Tiempos máximos de desconexión** en caso de defectos.

- **Reglamento de AT (2014)**

- ...
- **Intensidad de defecto a tierra y curva de tiempos de desconexión** en caso de falta a tierra. Estos valores se facilitarán, en su caso, en forma de impedancia equivalente de red de forma que el proyectista pueda calcular la corriente de puesta a tierra y el tiempo de desconexión correspondiente.

### ITC-LAT 07 (2008) e ITC-RAT 13

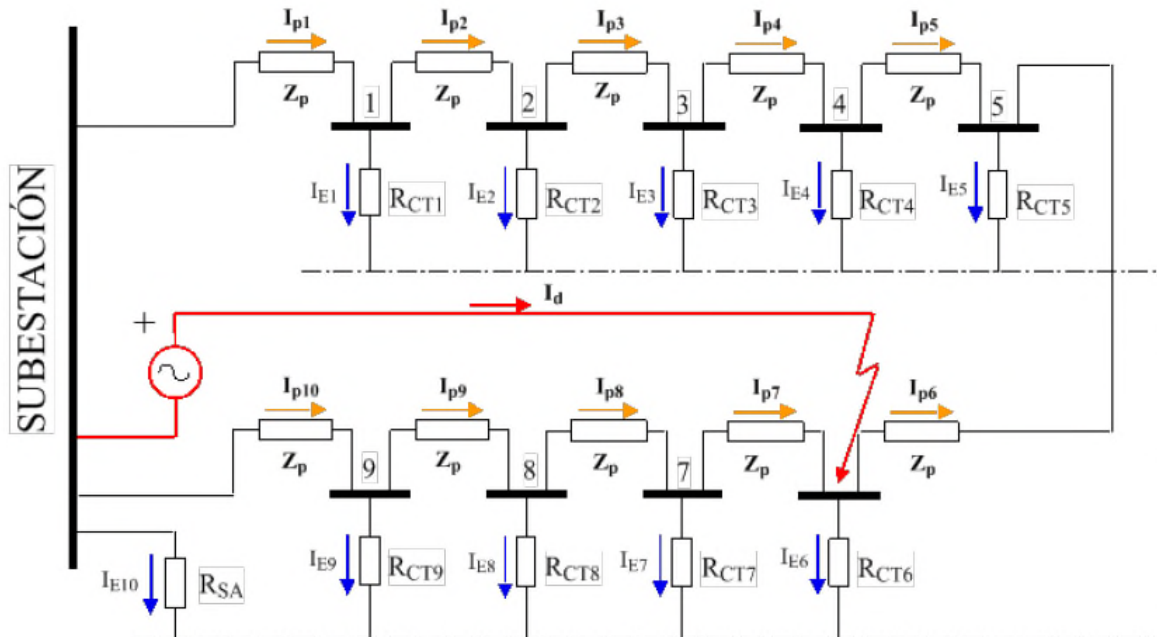
*Se considerará a efectos del cálculo de la tensión aplicada de contacto o paso, el valor de la intensidad de la corriente de puesta a tierra ( $I_E$ ) que provoca la elevación del potencial de la instalación a tierra.*



La corriente de puesta a tierra es menor que la de defecto en redes subterráneas y en algunas líneas aéreas porque gran parte de la corriente de defecto vuelve por las pantallas de los cables subterráneos por o los hilos de guarda de líneas de AT o MAT.

### ITC-LAT 07 (2008) e ITC-RAT 13

Se considerará a efectos del cálculo de la tensión aplicada de contacto o paso, el valor de la intensidad de la corriente de puesta a tierra ( $I_E$ ) que provoca la elevación del potencial de la instalación a tierra.



La corriente de puesta a tierra es menor que la de defecto en redes subterráneas y en algunas líneas aéreas porque gran parte de la corriente de defecto vuelve por las pantallas de los cables subterráneos por o los hilos de guarda de líneas de AT o MAT.

Figura 3.-Reparto de intensidades en caso de falta a tierra en un centro de transformación

### ITC-LAT 07 (2008) e ITC-RAT 13

Se considerará a efectos del cálculo de la tensión aplicada de contacto o paso, el valor de la intensidad de la corriente de puesta a tierra ( $I_E$ ) que provoca la elevación del potencial de la instalación a tierra.

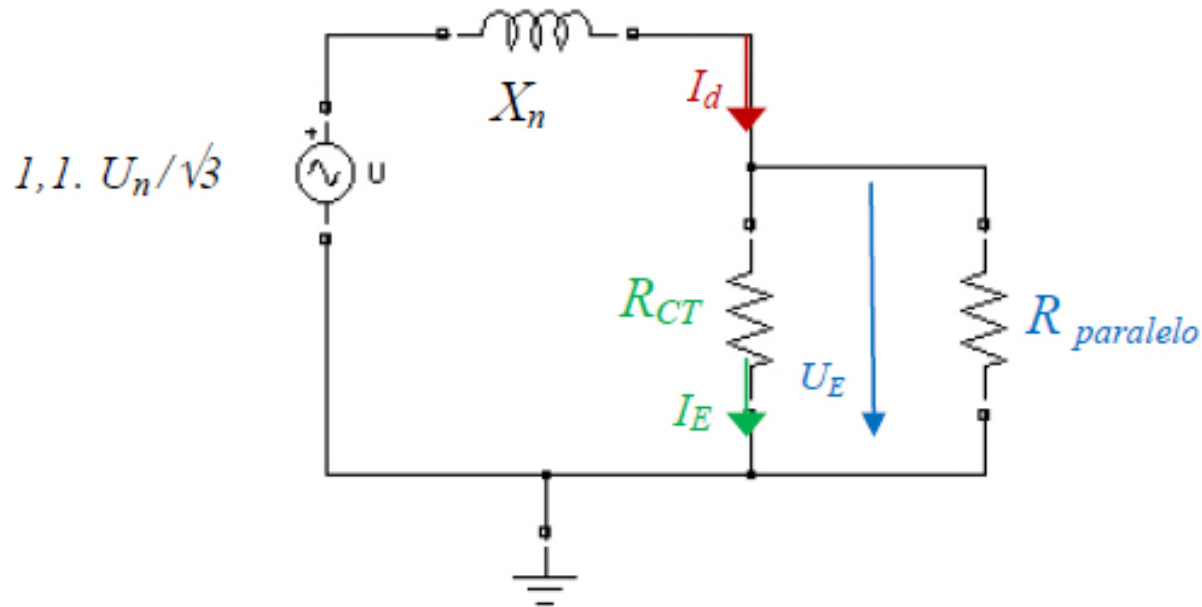
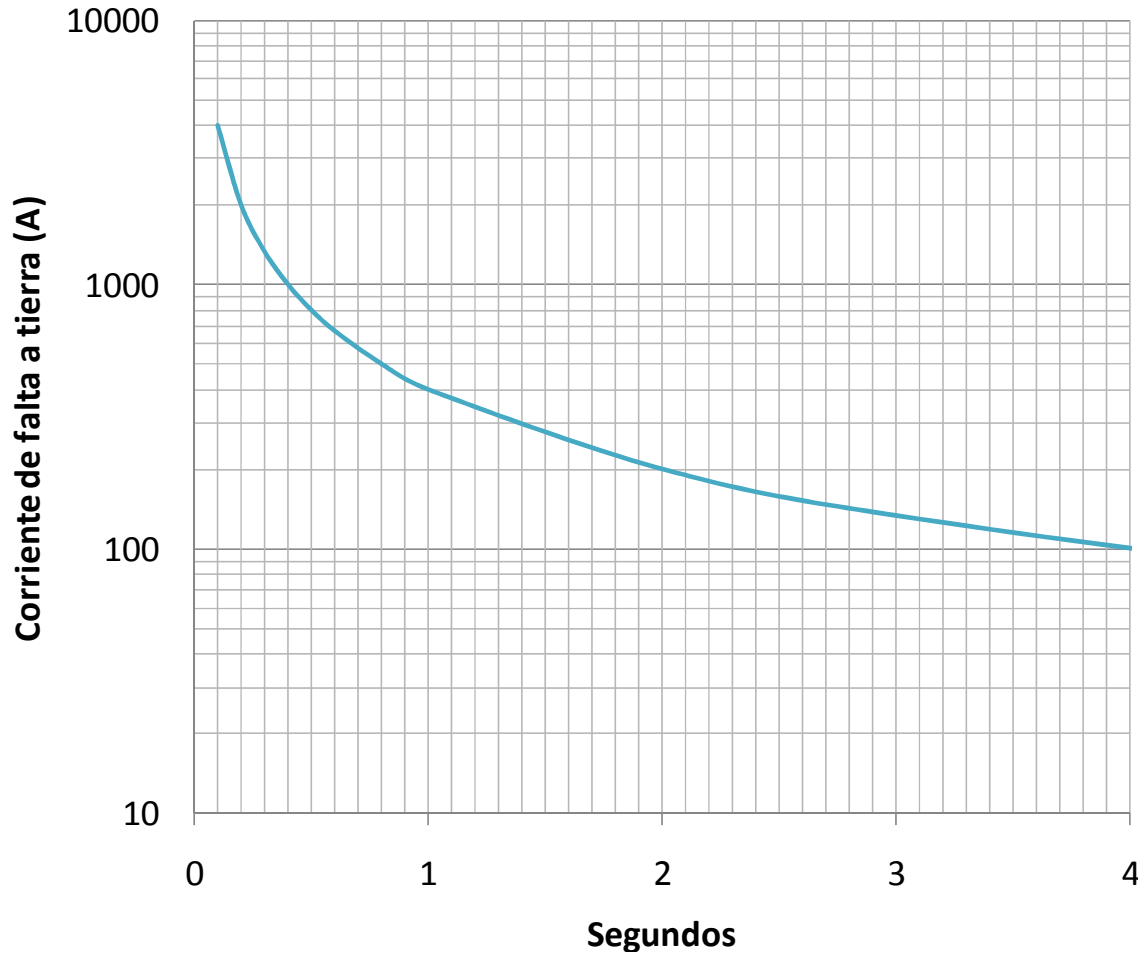


Figura 4. Concepto de Resistencia global de puesta a tierra.

- Ejemplo de curva de tiempos de desconexión para instalaciones nuevas



### Ejemplo representado

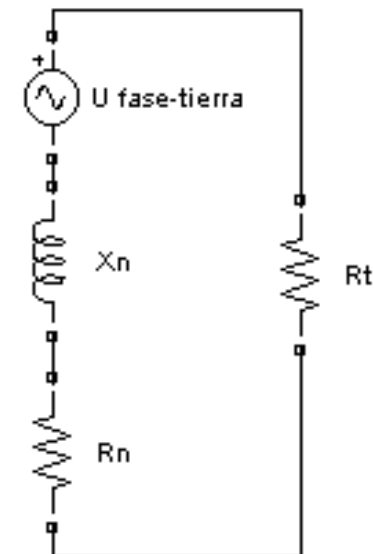
- $I_d \cdot t = 400$
- No admisible:
  - Resistencias superiores a  $100 \Omega$  (lo que da corrientes inferiores a aprox. 100 A en 20 kV)
  - Tiempos inferiores a 0.1 seg.



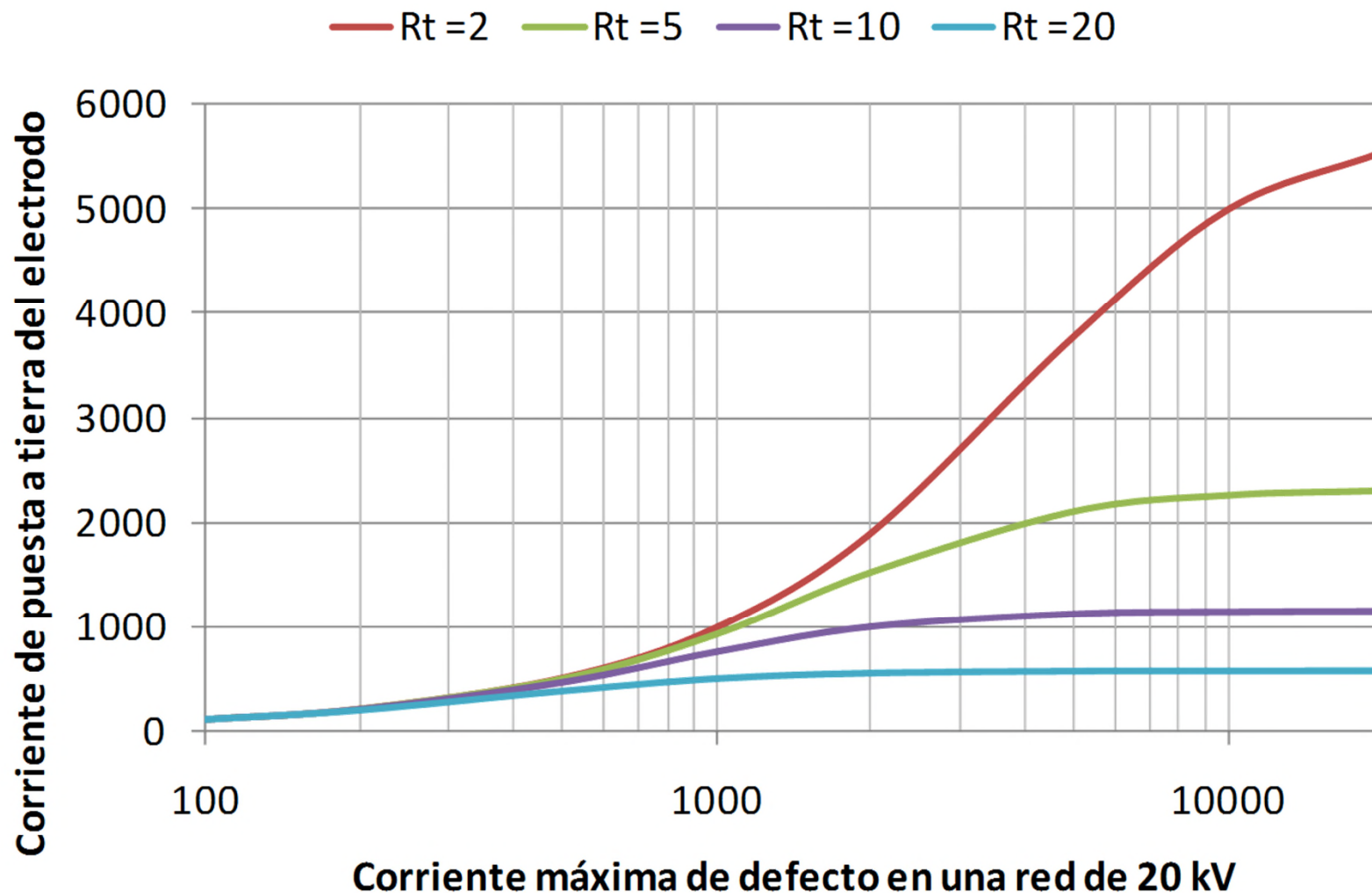
# CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE PUESTA A TIERRA ( $I_E$ )

- El proyectista debe calcular la corriente de puesta a tierra ( $I_E$ )
- La intensidad máxima de cortocircuito proporcionada por las distribuidoras
  - Es un dato de partida para los cálculos del proyectista, no la corriente de defecto o la de puesta a tierra del CT.
  - Es el valor que la red es capaz de aportar, con resistencia cero, no la intensidad de defecto ( $I_D$ ) en el caso que se calcula
  - Representa, indirectamente, la impedancia de la red

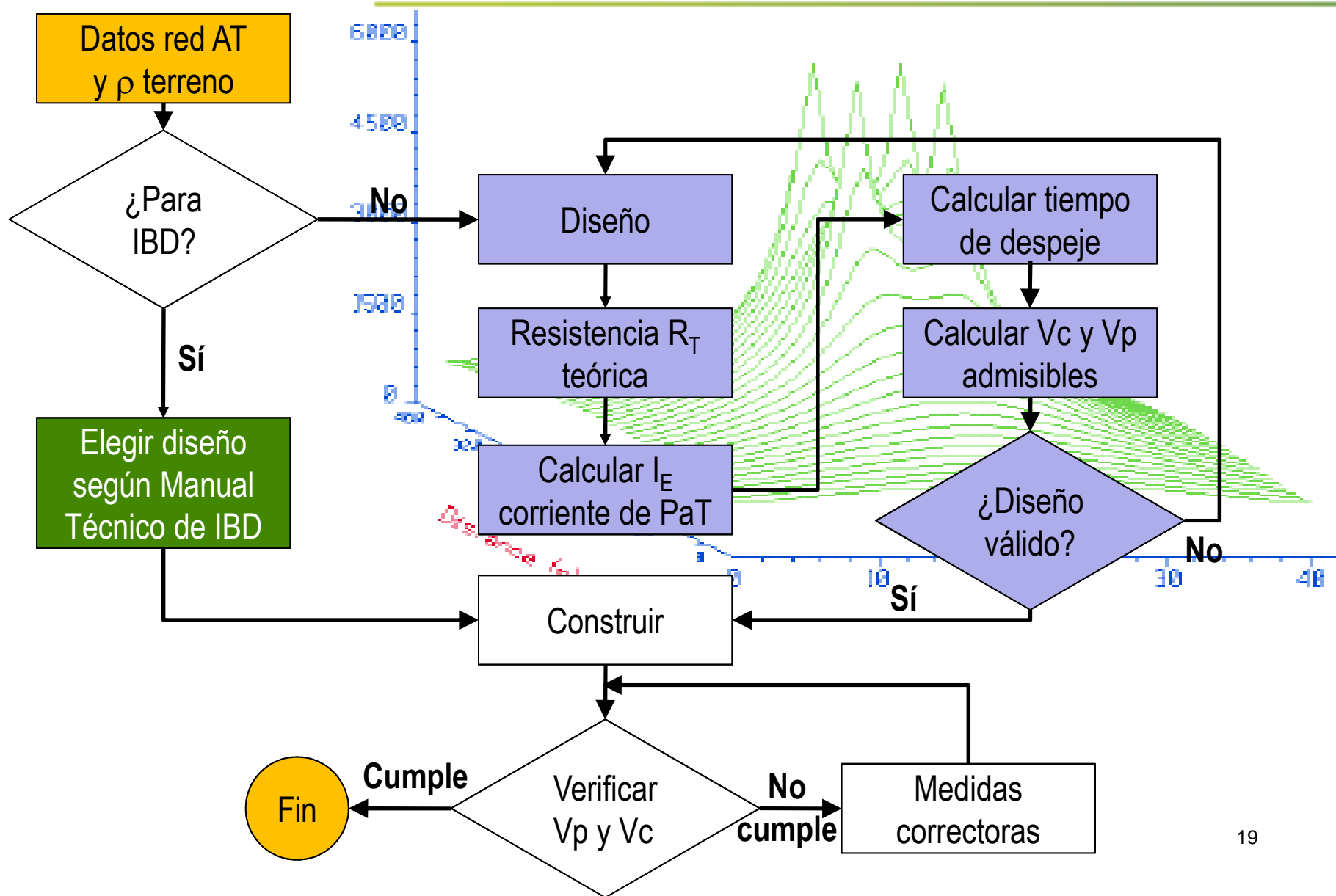
$$I_E = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$$



# CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE PUESTA A TIERRA ( $I_E$ )



# CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE PUESTA A TIERRA ( $I_E$ )



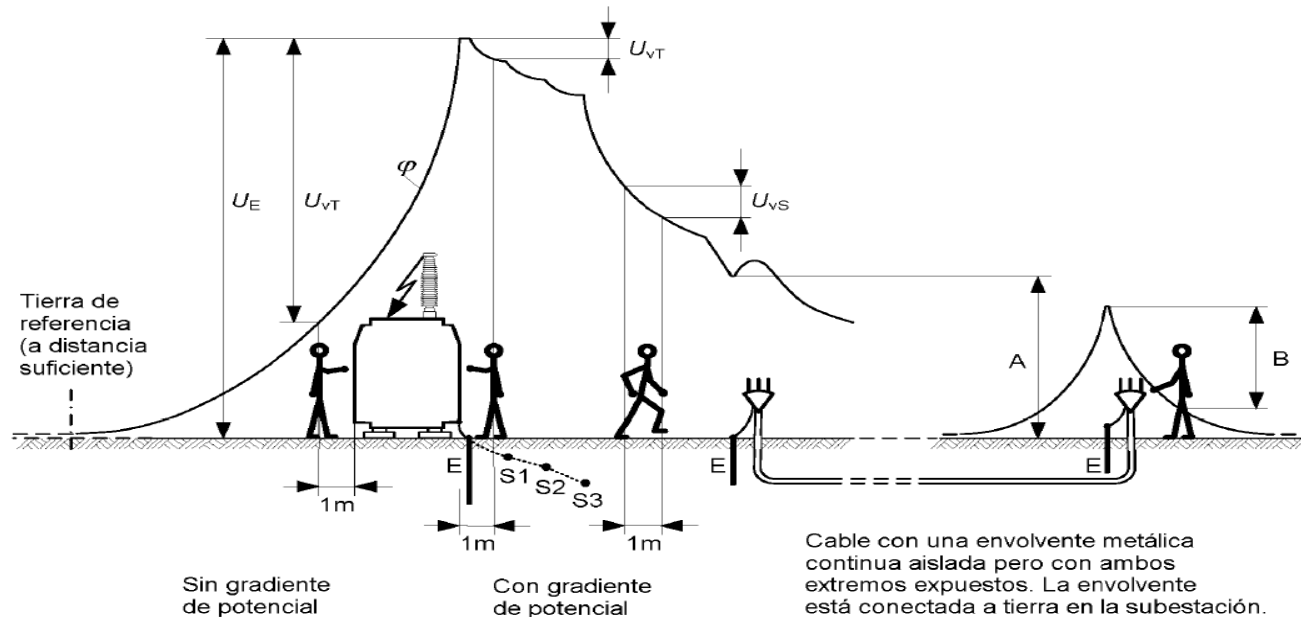
- **Puestas a tierra en AT y BT.**

1. Novedades relevantes en el nuevo reglamento de AT

- 2. Verificaciones. Guía RAT 23**

3. Puestas a tierra de BT e interconexiones

4. Disparos intempestivos de diferenciales

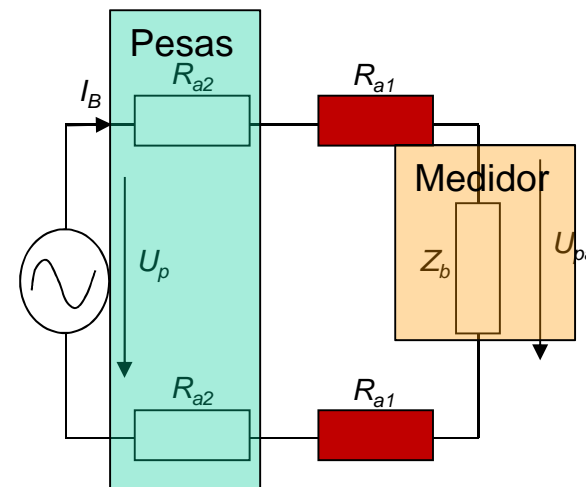
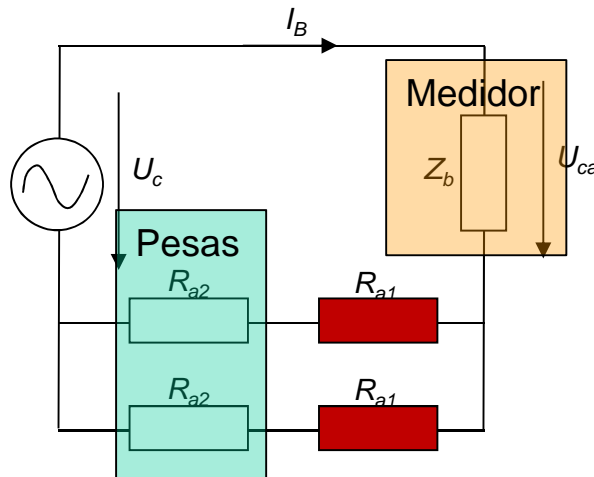


- **ITC-RAT-13** (subrayado novedades en borrador de nuevo Reglamento de AT)
  - 8.1 Mediciones de las tensiones de paso y contacto aplicadas.**
    - El Director de Obra deberá verificar que las tensiones de paso y contacto aplicadas están dentro de los límites admitidos con un voltímetro de resistencia interna de mil ohmios.
    - Los electrodos de medida para simulación de los pies deberán tener... 200 cm<sup>2</sup>... y... una fuerza mínima de 250 N cada uno.
    - Los equipos de medición deberán tener la opción ..., tanto para el caso de que la persona esté calzada o descalza, mediante la inserción de las resistencias correspondientes en el circuito en cada caso.
    - Se emplearán fuentes de alimentación de potencia adecuada... a fin de evitar que las medidas queden falseadas como consecuencia de corrientes... circulantes por el terreno.
    - .. a menos que se emplee un método de ensayo que elimine el efecto de dichas corrientes parásitas la intensidad inyectada no será inferior a 50 A para centrales y subestaciones y 5 A para centros de transformación... En cualquier caso la incertidumbre asociada a las medidas será inferior al 20 por ciento.
    - Los cálculos se harán suponiendo que existe proporcionalidad...
    - Para ... configuraciones tipo, ..., el Órgano territorial competente podrá admitir que se omita la realización de las anteriores mediciones, sustituyéndolas por la correspondiente a la resistencia de puesta a tierra, ....

# VERIFICACIONES

## Mediciones de tensión de paso y contacto

- **Los equipos para medida de paso y contacto habituales no incluyen por sí mismos la corrección del efecto del calzado**
  - Solo son representativos de manera directa en los casos en que pueda haber alguien descalzo (jardines, piscinas, etc.)
  - Es necesaria una corrección cuando corresponda incluir el calzado.
    - Añadiendo 2000 ohmios ( $R_{a1}$ ) en las conexiones de cada uno de los electrodos de medida para simulación de los pies, tal y como muestran los gráficos de ITC-LAT 07
    - No es posible corregir los resultados mediante cálculos adicionales.
      - Necesario conocer las resistencias superficiales (No fiable)

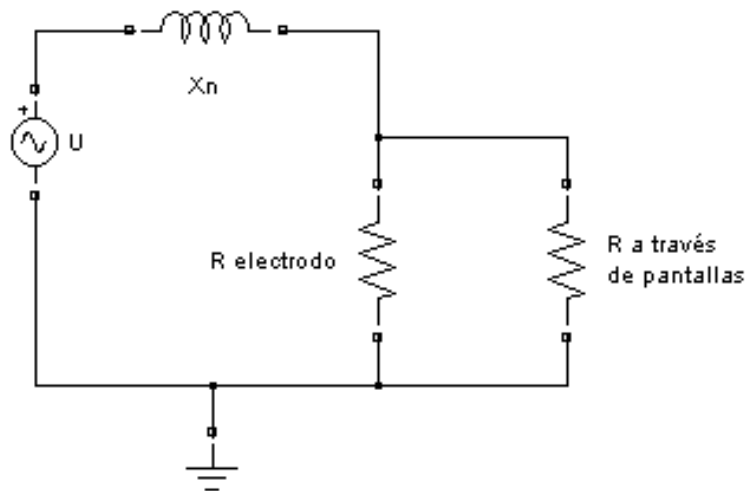


- El dato de corriente que hay que utilizar para las mediciones es la corriente de puesta a tierra (la que circula por el electrodo, no la proporcionada por la distribuidora) :
  - Para las tensiones de paso y contacto
  - Para la verificación de independencia de tierras según ITC-BT 18
- En mallas de tierra no interconectadas con otras, basta con medir la resistencia del electrodo y calcular

$$I_E = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_t^2 + X_n^2}}$$

- Con la  $I_E$  y la curva de protecciones se calcularía el tiempo de desconexión y, a partir de ahí, la máxima tensión de contacto que sería admisible.

- Las redes subterráneas tienen dos puestas a tierra:
  - El electrodo de puesta a tierra del propio CT
  - Los electrodos de otros CTs que están interconectados a través de las pantallas de los cables de MT



Existen dos posibles verificaciones:

1. Verificación del electrodo del centro. Hay que desconectar el cable del electrodo de las tierras del centro para inyectar a través de él, sin interferencia de las pantallas.
2. Verificación del CT en condiciones normales de funcionamiento. Dejar el CT como está, sin soltar nada para las mediciones de tensiones de contacto.

Una opción relativamente simple para hacer ambas verificaciones es medir el CT en condiciones normales (2) y para la comprobación del electrodo hacer una medida de resistencia con pinza de bucle.



MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN  VERIFICACIONES E INSPECCIONES	GUÍA RAT 23
		Edición: octubre 2016 Revisión: 1

### COMPROBACIONES INICIALES

- **Medidas de la resistencia de puesta a tierra y de las tensiones de paso y contacto.**

El alcance de las comprobaciones a realizar en las instalaciones de puesta a tierra se basa en lo indicado en la ITC-RAT 13...

- **Medidas de la resistencia de puesta a tierra.** Se deberá medir el valor de la resistencia de puesta a tierra de la instalación. ... En centros de transformación se medirán tanto la puesta a tierra general del centro como la puesta a tierra del neutro.
- **Medidas de las tensiones de paso y contacto.** La medida de la tensión de contacto se debe realizar antes de la puesta en servicio de cualquier instalación de alta tensión... No obstante, tal y como indica la ITC-RAT 13 para instalaciones de tensión nominal menor o igual de 30 kV, como son los centros de transformación, **las medidas de tensión de paso y contacto podrán sustituirse por medidas de resistencia de puesta a tierra siempre que se haya establecido la correlación entre ambas**, se haya comprobado en la práctica que dicha correlación garantiza el cumplimiento de las tensiones de paso y contacto reglamentarias, y que todo ello esté admitido por el Órgano territorial competente.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN  VERIFICACIONES E INSPECCIONES	GUÍA RAT 23
		Edición: octubre 2016 Revisión: 1

## COMPROBACIONES PERIÓDICAS

### *Medidas de resistencia de puesta a tierra.*

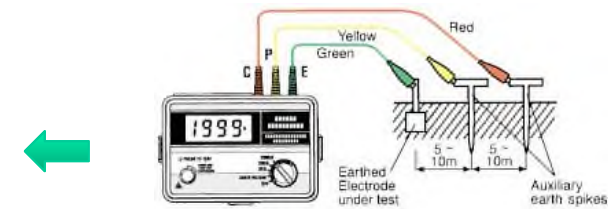
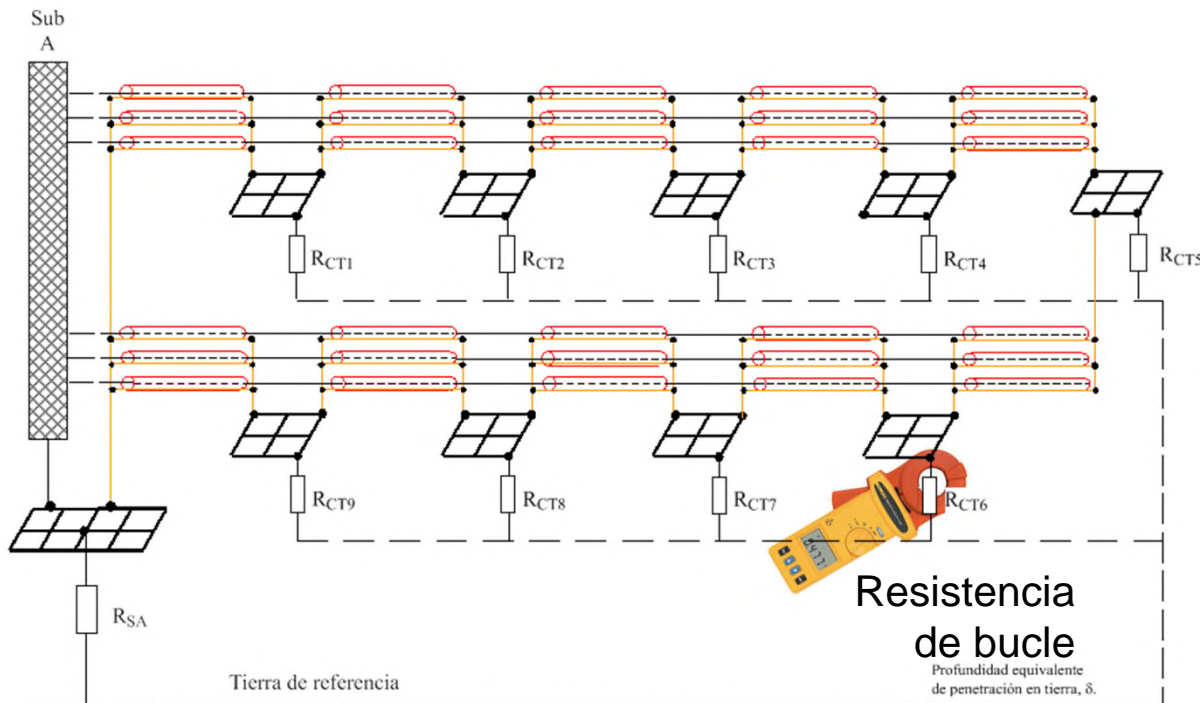
En centros de transformación se medirán tanto la puesta a tierra general del centro como la puesta a tierra del neutro.

- Se deberá medir el valor de la resistencia de puesta a tierra de la instalación, recomendándose que **no sea superior en un 50% del valor especificado en proyecto**, salvo que se haya verificado con mediciones de paso y contacto un valor de resistencia límite diferente. Se deberá registrar su valor para poder vigilar su evolución en posteriores comprobaciones.
- En ciertas ocasiones, por ejemplo en el caso de múltiples centros de transformación cuyas instalaciones de puesta a tierra están interconectadas entre sí a través de las pantallas de los cables aislados, y con el objeto de no desconectar las pantallas de los cables de tierra durante las verificaciones o inspecciones periódicas, **la medida de la resistencia de puesta a tierra de la instalación puede sustituirse por la medida de la resistencia de puesta a tierra global, combinada con la medida de la resistencia de puesta a tierra del bucle.**

# VERIFICACIONES

## GUIA RAT 23

La resistencia de puesta a tierra global es la resistencia de tierra considerando la acción conjunta de la totalidad de las puestas a tierras y se mide con un telurómetro, sin necesidad de desconectar las pantallas. La resistencia del bucle es la resistencia de puesta a tierra del centro en serie con el equivalente paralelo de la totalidad de las resistencias de puesta a tierra, exceptuando la propia del centro y se mide con ayuda de una pinza amperimétrica adaptada para este fin que abraza el punto de conexión a tierra del centro. Con este método la resistencia de puesta a tierra del centro se calcula a partir de los valores de resistencia de puesta a tierra global y de la resistencia del bucle.



Resistencia global

$$R_{bucle} = R_{centro} + R_{paralelo}$$

$$R_{global} = \frac{R_{centro} \cdot R_{paralelo}}{R_{centro} + R_{paralelo}}$$

$$R_{centro} = R_{bucle} \cdot \left( \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{R_{global}}{R_{bucle}}} \right)$$

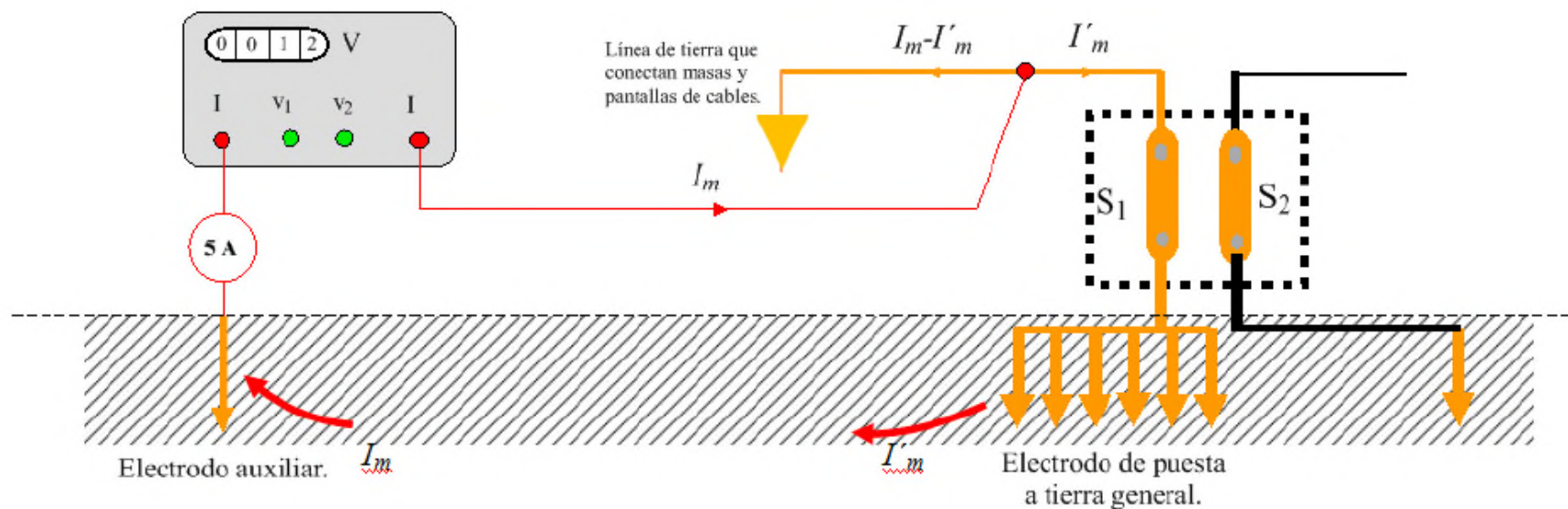
## COMPROBACIONES PERIÓDICAS

### ***Medidas de tensiones de paso y contacto***

- Se realizarán las medidas de las tensiones de contacto y, en su caso, de paso, cuando se produzcan cambios en la instalación que puedan afectar a su valor, por ejemplo por presencia de nuevos elementos metálicos accesibles desde el exterior de un centro de transformación o por disminución de la resistividad superficial del terreno, debido por ejemplo al ajardinamiento de la instalación.
- En el caso de centros de transformación, y con objeto de no desconectar de tierra las pantallas de los cables, las medidas de las tensiones de paso y contacto se realizarán preferentemente con los seccionadores de la caja de registro de tierras, cerrados. Se inyectará una corriente,  $I_m$ , conectando la fuente a un punto de la tierra general en la caja de registro, lo que provocará que una corriente menor,  $I'_m$ , circule por la puesta a tierra general del centro, tal como se muestra en la figura 1.

### COMPROBACIONES PERIÓDICAS

#### *Medidas de tensiones de paso y contacto*



*Figura 1. Inyección de corriente en un CT para la medida de tensiones de paso y contacto.*

- Con este montaje las medidas de la tensión de paso y contacto obtenidas se multiplicarán por el factor,  $I_f/I_m$ .

### ANEXO 1 GUÍA RAT 23

#### ***Medidas de tensiones de paso y contacto***

- La tensión de contacto aplicada admisible,  $U_{ca}$ ...se refiere a una trayectoria de corriente entre cualquier mano y los pies. **Cuando se trate de establecer la tensión de contacto aplicada admisible para otro trayecto de la corriente se habrá de tener en cuenta el denominado factor del corazón** según la norma UNE-IEC/TS 60479-1 referenciada en la propia ITC-RAT 13...

$$U_{ca, \text{para otro trayecto de corriente}} = \frac{U_{ca, MIE-RAT 13}}{F_c}$$

- Por ejemplo, el factor del corazón para un trayecto de la corriente entre las dos manos es  $F_c = 0,4$ .

### ANEXO 1 GUÍA RAT 23

#### ***Medidas de tensiones de paso y contacto***

- Para la medida de las tensiones de paso y contacto aplicadas debe inyectarse una corriente...La inyección de corriente se realiza con fuentes de alimentación de potencia adecuada para simular el defecto y corriente inyectada suficientemente alta, a fin de evitar que las medidas queden falseadas como consecuencia de corrientes ...circulantes por el terreno...,  
La ITC-RAT 13 también admite medidores que inyecten una corriente inferior a 5 A o 50 A ... siempre que se demuestre mediante ensayos...por un laboratorio acreditado que disponen de ...sistemas ...capaces de...lograr medidas con una fiabilidad y exactitud equivalente...
- Los equipos deberán tener la opción de medir tanto para el caso de que la persona esté descalza o calzada, mediante la inserción respectivamente de resistencias adicionales en serie con el voltímetro de 1000  $\Omega$  o 4000  $\Omega$ ...
- No hay que confundir la intensidad de defecto a tierra,  $I_F$ , con la intensidad de puesta a tierra,  $I_E$ ...
- La empresa de transporte y distribución debe facilitar el valor de la intensidad de defecto a tierra ... Sin embargo, como se desconoce el valor de la resistencia de puesta a tierra de la instalación, la empresa ... considera nulo su valor y la intensidad de defecto facilitada corresponde a su valor máximo. A partir del dato facilitado y del valor de la resistencia de puesta a tierra se puede calcular la intensidad de defecto a tierra para la instalación. El tiempo utilizado para determinar las tensiones de paso y contacto se obtendrá de la curva de tiempos ... proporcionada por empresa ...



### ANEXO 1 GUÍA RAT 23

#### *Medidas de tensiones de paso y contacto*

- En aquellos casos en que no se consiga una resistencia de electrodo auxiliar suficientemente baja como para inyectar 5 A, se podrán utilizar como electrodo auxiliar bien los electrodos de otros centros conectados a través de las pantallas (puesta a tierra lejana) o el electrodo de neutro de baja tensión, para lo cual es necesario conectar la fuente de forma distinta tal y como se indica respectivamente en las figuras 2 y 3.

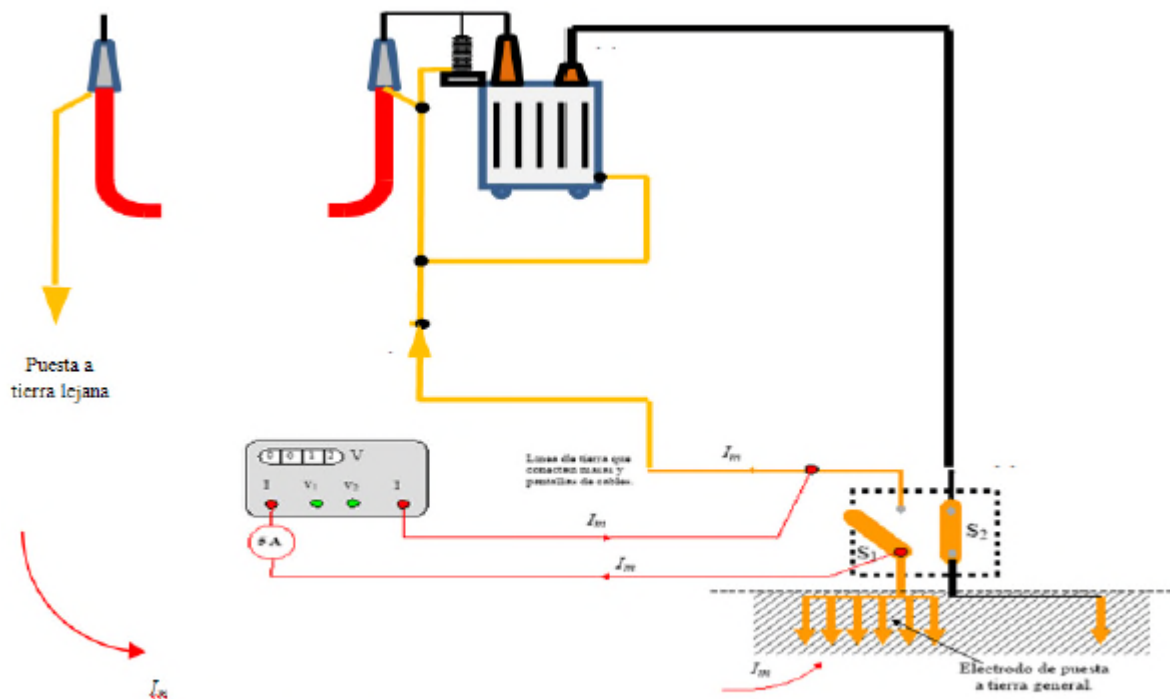


Figura 2.- Inyección de corriente entre el electrodo de puesta a tierra general y las pantallas.



### ANEXO 1 GUÍA RAT 23

#### ***Medidas de tensiones de paso y contacto***

- En aquellos casos en que no se consiga una resistencia de electrodo auxiliar suficientemente baja como para inyectar 5 A, se podrán utilizar como electrodo auxiliar bien los electrodos de otros centros conectados a través de las pantallas (puesta a tierra lejana) o el electrodo de neutro de baja tensión, para lo cual es necesario conectar la fuente de forma distinta tal y como se indica respectivamente en las figuras 2 y 3.

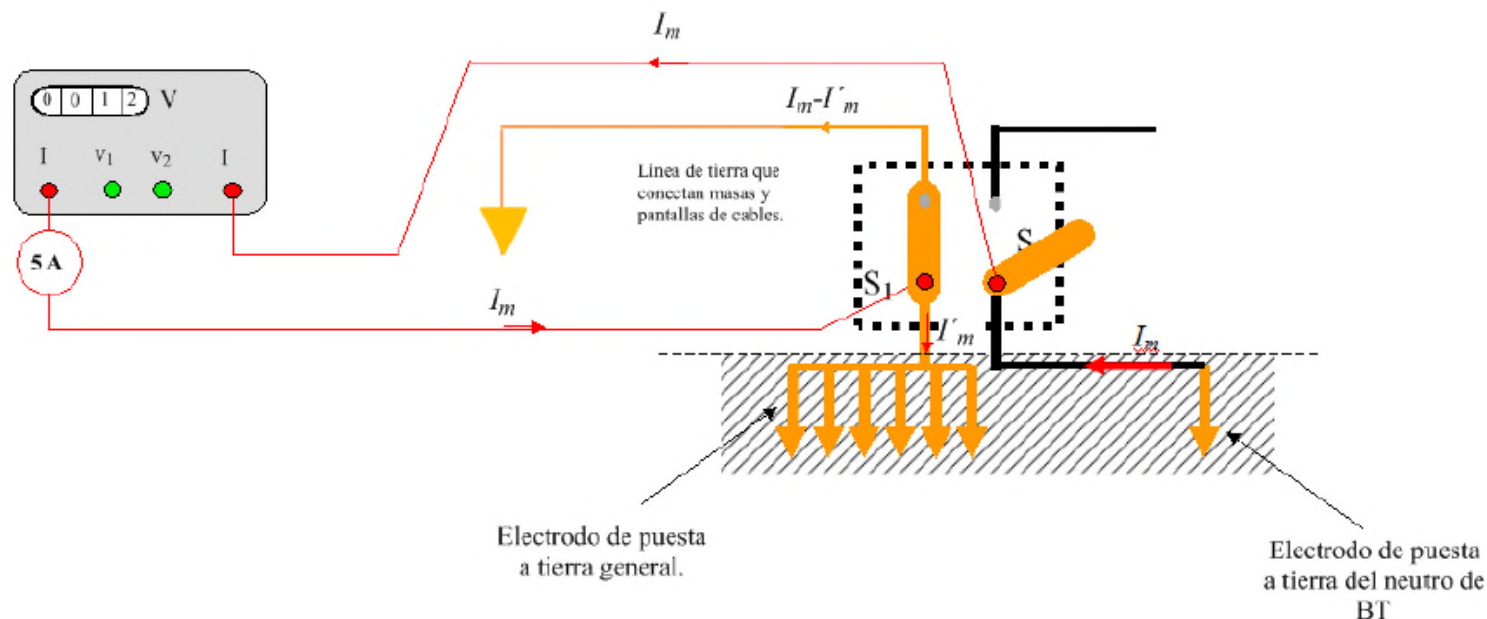


Figura 3.- Inyección de corriente entre el electrodo de puesta a tierra general y la puesta a tierra del neutro de BT.

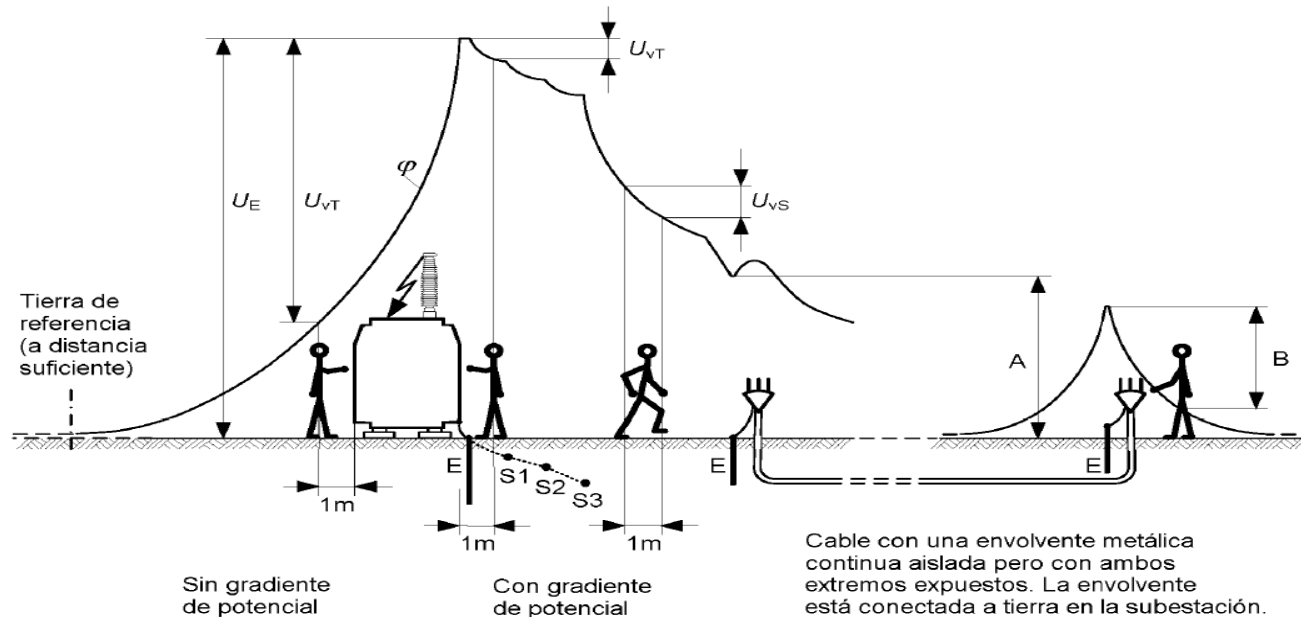
### ANEXO 1 GUÍA RAT 23

#### ***Medidas de tensiones de paso y contacto***

- Cuando se recurra al empleo de medidas adicionales de seguridad que impidan el contacto con partes metálicas puestas a tierra o que hagan que la tensión de contacto sea nula (por ejemplo plataformas equipotenciales enterradas y conectadas a los elementos metálicos que se pueden tocar) no será necesario medir la tensión de contacto aplicada pero sí la tensión de paso aplicada, siguiendo la misma metodología descrita anteriormente

- **Puestas a tierra en AT y BT.**

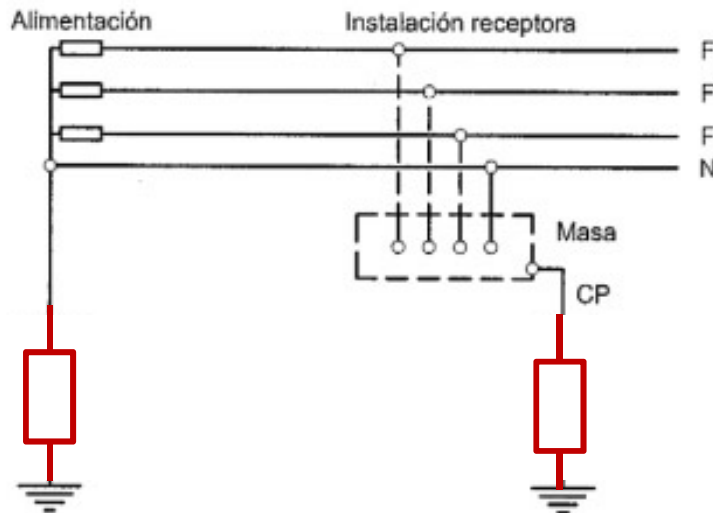
1. Novedades relevantes en el nuevo reglamento de AT
2. Verificaciones. Guía RAT 23
- 3. Puestas a tierra de BT e interconexiones**
4. Disparos intempestivos de diferenciales



# LAS INSTALACIONES DE BT

## Puesta a tierra del neutro de BT

- **Puestas a tierra de utilización y neutro independientes - esquema TT :**



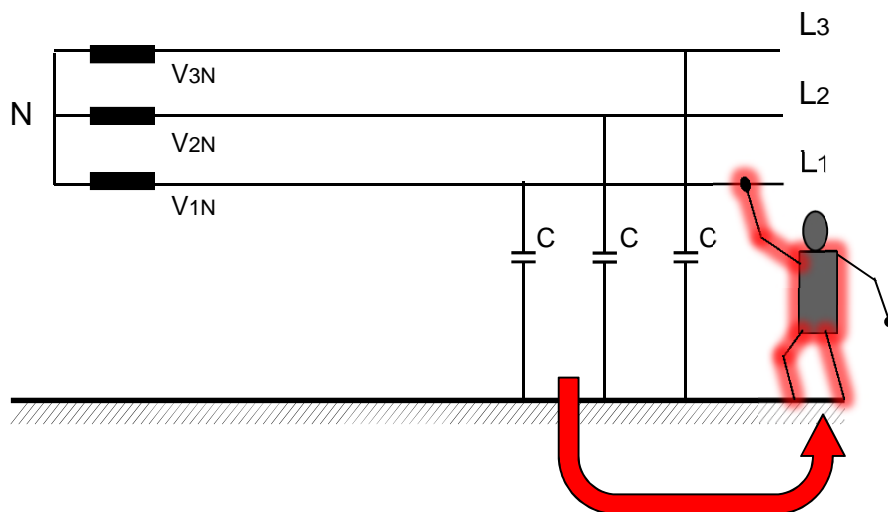
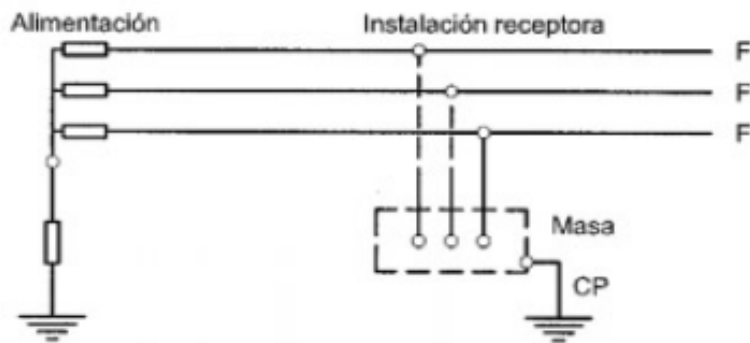
- La corriente de falta tiene que atravesar la resistencia de dos electrodos de ambas puestas a tierra:
  - Normalmente varios ohmios o decenas.
  - La corriente de falta se limita, típicamente a decenas de amperios
- La falta no se puede detectar con protecciones de sobreintensidad
  - Requiere la utilización de diferenciales
- Se producen desplazamiento de neutro con elevaciones de tensión en la fase sana
  - Posibles disparos intempestivos de diferenciales por derivación de corriente por los filtros CEM o protección contra sobretensiones transitorias.

**Obligatorio para redes de distribución pública de BT, según REBT ITC-BT-08**

# LAS INSTALACIONES DE BT

## Puesta a tierra del neutro de BT

- **Neutro aislado - esquema IT :**

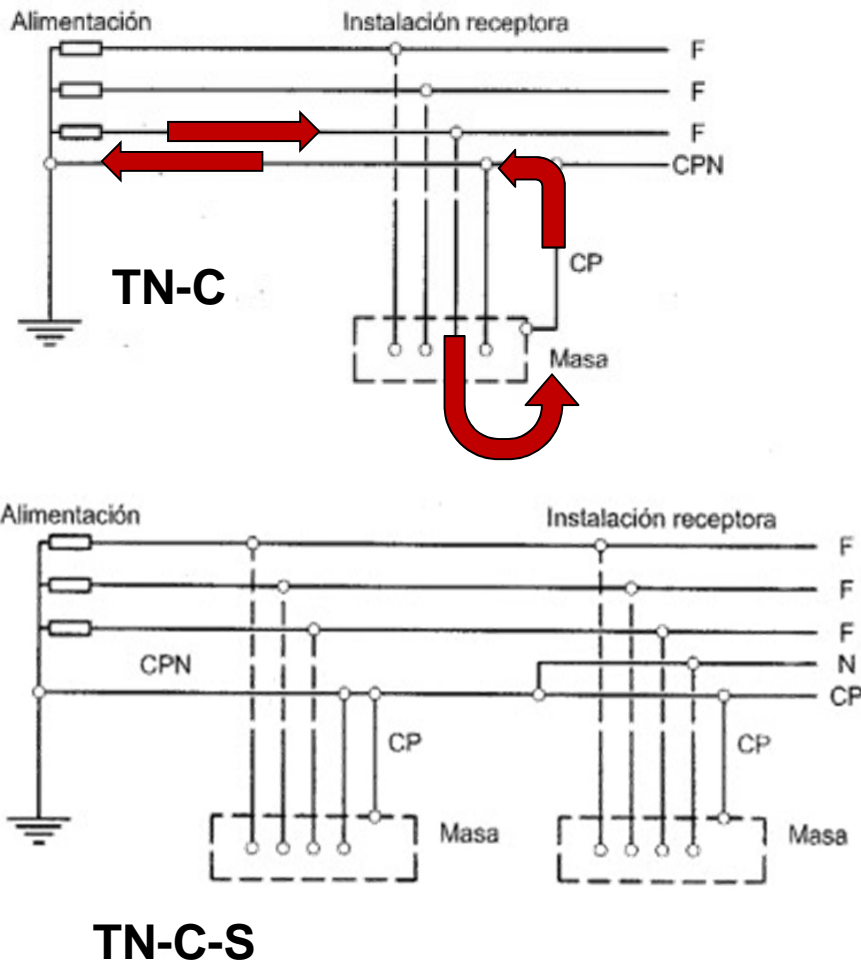


- Corriente de falta reducida (aprox. 220 mA por cada  $\mu\text{F}$ , en 400 V), proveniente de:
  - Capacidades de los cables
  - Filtros CEM de los receptores
- No se dispara ante el primer fallo, lo que mejora la continuidad de suministro pero requiere
  - Control permanente de aislamiento.
  - Aislamiento a tensión compuesta entre fase tierra (posibles fallos de protecciones contra sobretensiones transitorias)
- Riesgo de incendio por arco en sistemas con mucha capacitiva
- Necesita puesta a tierra para las masas (tierra de edificio) para la protección frente a contactos indirectos
- **No protege frente a contactos directos**

# LAS INSTALACIONES DE BT

## Puesta a tierra del neutro de BT

- **Puestas a tierra de utilización y neutro interconectadas - esquemas TN:**



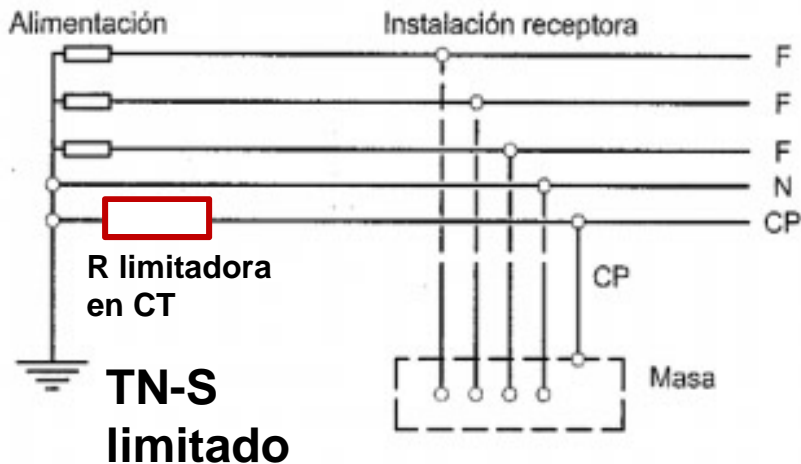
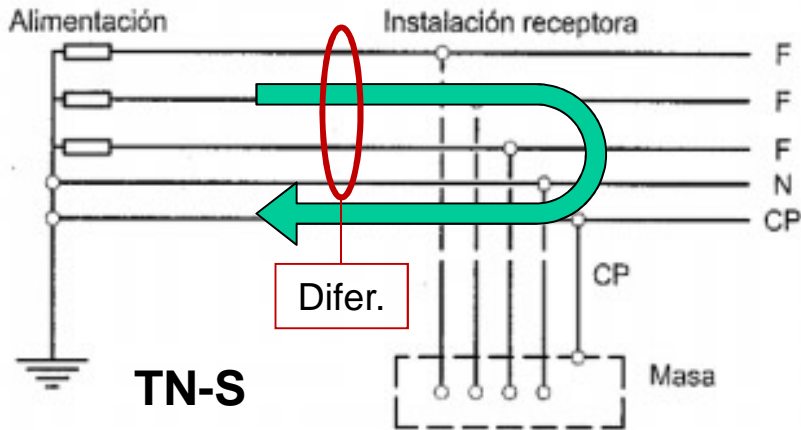
- En caso de falta entre fase y masa se produce una corriente de cortocircuito limitada únicamente por la impedancia de bucle.

- La corriente de falta es variable, desde decenas de kA a cientos de Amperios, en función de la distancia y conductores (impedancia de bucle).
- Se produce el disparo de las protecciones de sobreintensidad
  - Hay que garantizar el disparo instantáneo para evitar daños severos
  - Requiere un estudio complejo de ajustes
  - No es necesario usar diferenciales
    - » En TN-C no es posible
- Se producen huecos de tensión percibidos por toda la instalación
  - El peor esquema desde el punto de vista de calidad de suministro

# LAS INSTALACIONES DE BT

## Puesta a tierra del neutro de BT

### • Puestas a tierra de utilización y neutro interconectadas - esquemas TN:



- El esquema TN-S conlleva un cableado más complejo que el TN-C que
  - Aporta caminos separados para las corrientes de neutro y las corrientes de falta a masa
    - Permite el uso de diferenciales.
    - Permite la limitación de la corriente de falta a tierra mediante la inclusión de una impedancia en la puesta a tierra del neutro.
      - » Equivalente en muchos aspectos a un TT, pero sin necesidad de electrodos de tierra independientes
      - » Obligatorio el uso de diferenciales
      - » No descrito expresamente en la ITC-BT-08

- **El reglamento de Alta Tensión distingue entre:**

- **Puesta a tierra de protección:**

Es la conexión directa a tierra de las partes conductoras de los elementos de una instalación no sometidos normalmente a tensión eléctrica, pero que pudieran ser puestos en tensión por averías o contactos accidentales, a fin de proteger a las personas contra contactos con tensiones peligrosas.

- Chasis, bastidores, vallas, armarios, puertas, columnas, tuberías...
- Estructuras de edificios que contengan instalaciones de alta tensión.
- Pantallas de cables, cubas de transformadores, generadores, motores y otras máquinas...

- **Puesta a tierra de servicio**

Es la conexión que tiene por objeto unir a tierra temporalmente parte de las instalaciones que están normalmente bajo tensión o permanentemente ciertos puntos de los circuitos eléctricos de servicio.

- Los neutros de los transformadores o alternadores...
- Los circuitos de baja tensión de los transformadores de medida o protección
- Descargadores, para eliminación de sobretensiones (en algunos casos)



- **ITC-RAT 13**

- 6.3 Interconexión de las instalaciones de tierra (*Instalación de tierra general en ITC-RAT 13*)

- Las puestas a tierra de protección y de servicio de una instalación deberán interconectarse.
    - de esta regla general deben excluirse aquellas puestas a tierra a causa de las cuales puedan presentarse en algún punto tensiones peligrosas

- 7.7.1: Separación de la tierra de los neutros

- Para evitar tensiones peligrosas provocadas por defectos en la red de alta tensión, los neutros de baja tensión de las líneas que salen fuera de la instalación general, pueden conectarse a una tierra separada.

- 7.7.4 Centros de transformación conectados a redes de cables subterráneos.

- En los centros de transformación alimentados ... por cables subterráneos ... se podrán conectar (*MIE RAT 13 obligaba a conectar*) todas las tierras en una tierra general en los dos casos siguientes:

- a) .... red de cables subterráneos con envolventes conductoras..
      - b) .... red mixta de líneas aéreas y cables ...

# INTERCONEXIONES MT-BT

## Unión de tierras de Servicio y Protección

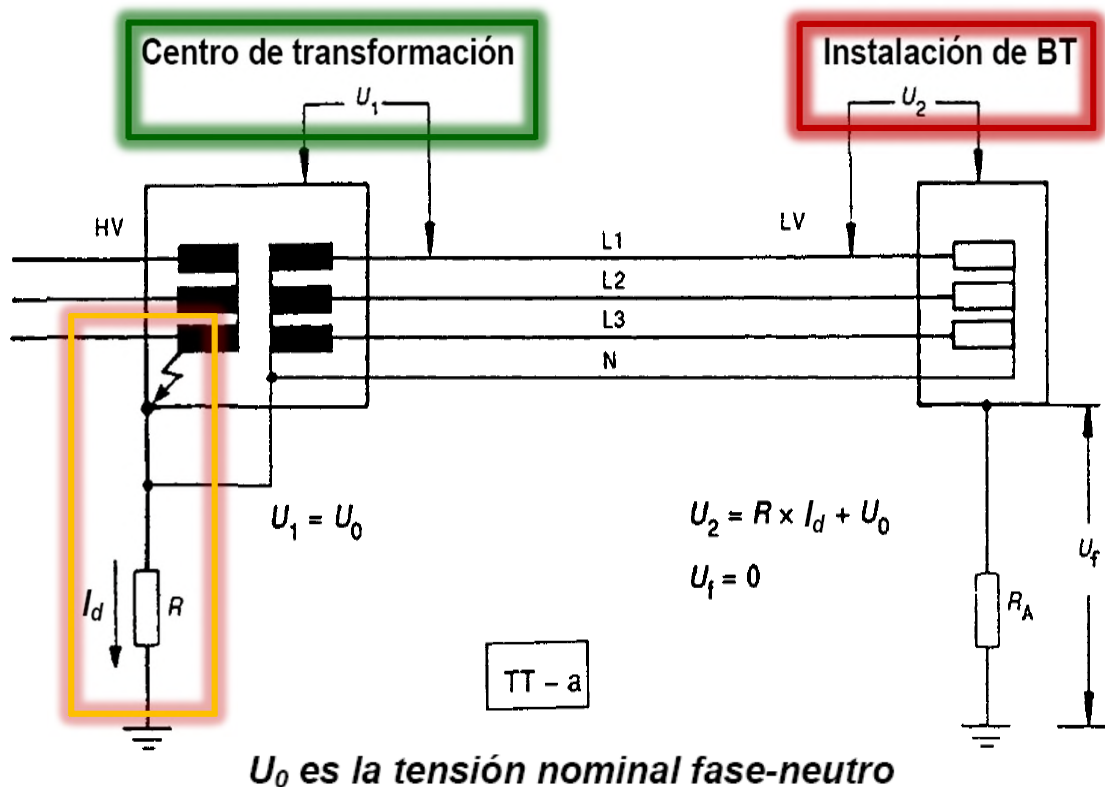
- **Guía-BT-18. Con tierras de Servicio y Protección unidas**

- U1: tensión aplicada a equipos referenciados a la misma tierra que el CT

- **Sin sobretensiones**

- U2: tensión aplicada a equipos referenciados a una tierra exterior

- **Sobretensión =  $I_E \cdot R_{\text{electrodo}}$  frecuentemente varios kV**



$U_0$  es la tensión nominal fase-neutro

- Óptimo para CT particulares, que no distribuyen la BT fuera del recinto.
- Si se distribuye BT fuera del recinto, utilizar un trafa de aislamiento BT/BT.

# INTERCONEXIONES MT-BT

## Unión de tierras de Servicio y Protección

- **Guía-BT-18. Con tierras de Servicio y Protección independientes**

- U1: tensión aplicada a equipos referenciados a la misma tierra que el CT

- **Sobretensión =  $I_E \cdot R_{\text{electrodo}}$  frecuentemente varios kV**

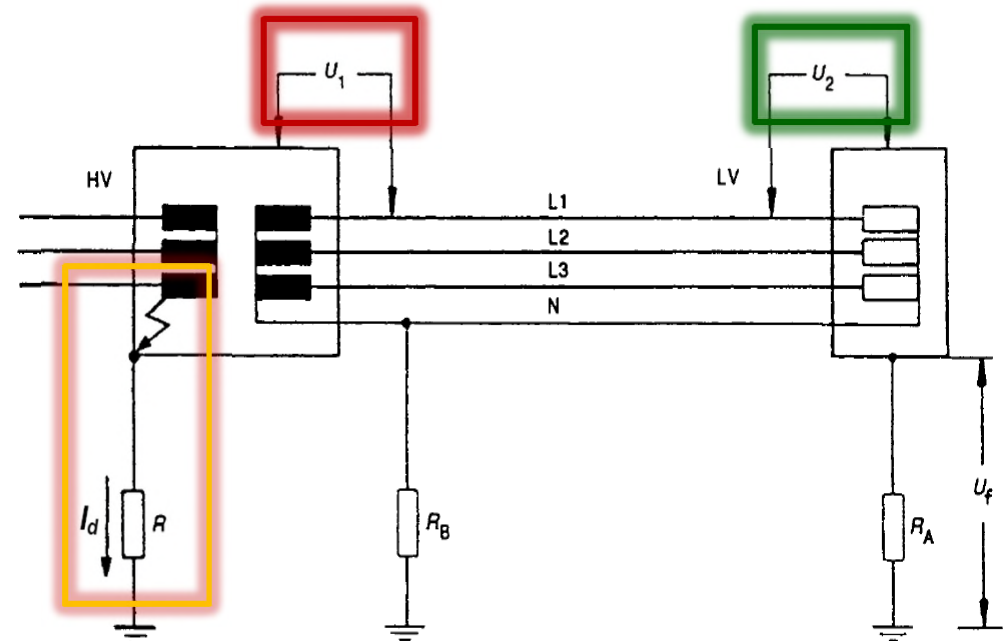
- U2: tensión aplicada a equipos referenciados a una tierra exterior

- **Sin sobretensiones**

- Óptimo para CT que distribuyen la BT fuera del recinto.

- Típico de compañía eléctrica

- Si se instalan equipos dentro del CT estos deben disponer de aislamiento suficiente o trafo de aislamiento BT/BT



$$U_1 = R \times I_d + U_0$$

$$U_2 = U_0$$

$$U_f = 0$$

$U_0$  es la tensión nominal fase-neutro

TT - b

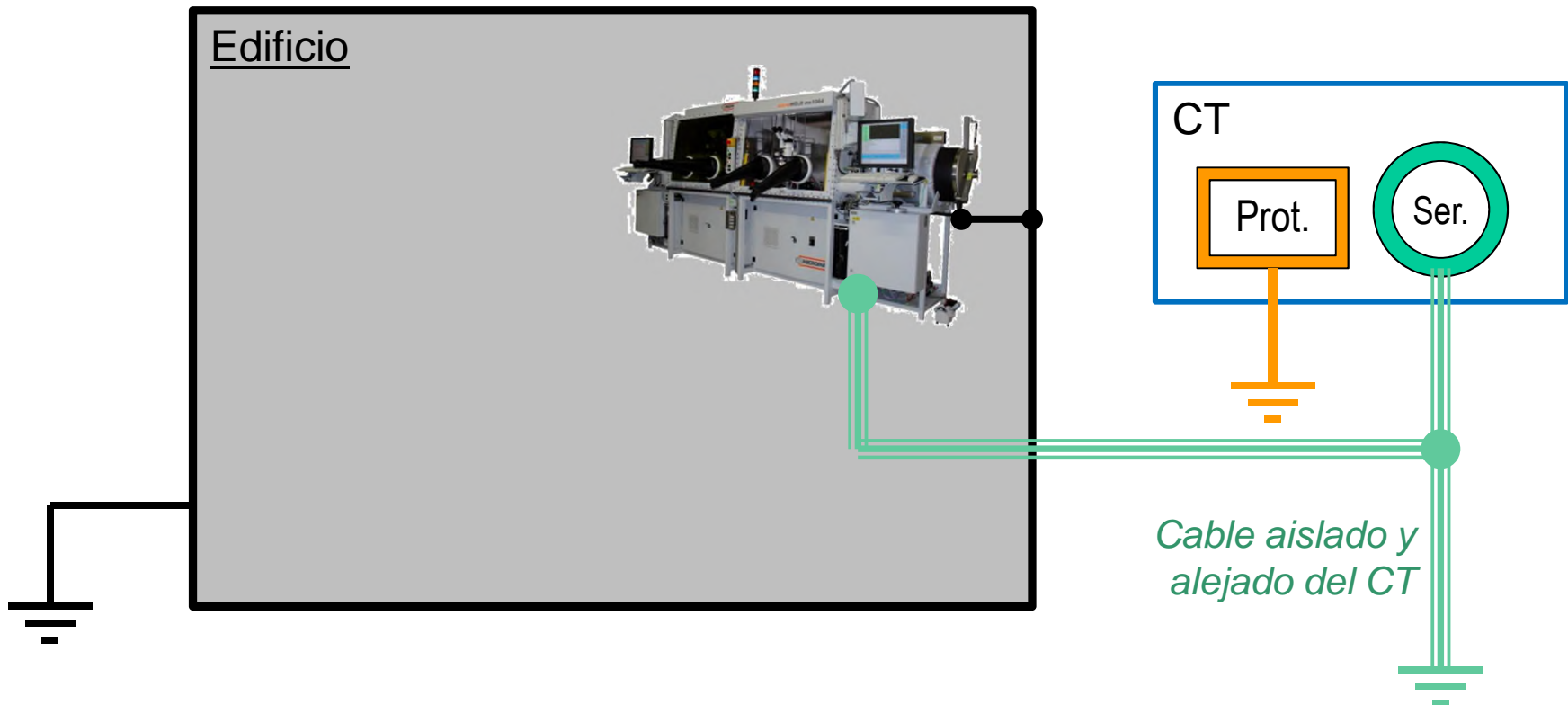
- La puesta a tierra de protección tiene que ser independiente de la puesta a tierra del edificio, salvo contadas excepciones
  - Que se estudien las tensiones de paso y contacto en todo el recinto.
    - No apropiado en viviendas, viable en instalaciones industriales/comerciales
  - O que la resistencia de puesta a tierra sea tan baja que la elevación total de la tensión sea inferior a la curva de  $V_{ca}$ 
    - Solo viable en redes con corriente de falta muy limitada y para resistencias de puesta a tierra bajísimas ( $< 1$  ohmio)
  
- La puesta a tierra de servicio debe conectarse al mismo potencial que las cargas.
  - Idealmente esto llevaría a interconectar neutro y tierra de edificio, lo que constituiría una red TN
  - En red de distribución pública, al estar obligados a utilizar el sistema TT, el neutro se conecta a un punto independiente de la puesta a tierra de protección y de la de los clientes.
    - La tensión transferida a los equipos se limita a 230 V entre neutro y tierra de los receptores, lo que es aceptable para su aislamiento.
  - Se pueden usar transformadores de aislamiento para elementos externos (otros edificios, farolas, etc.)

# INTERCONEXIONES

## Ejemplos de conexiones de tierras

- **CT de fuera de edificio**

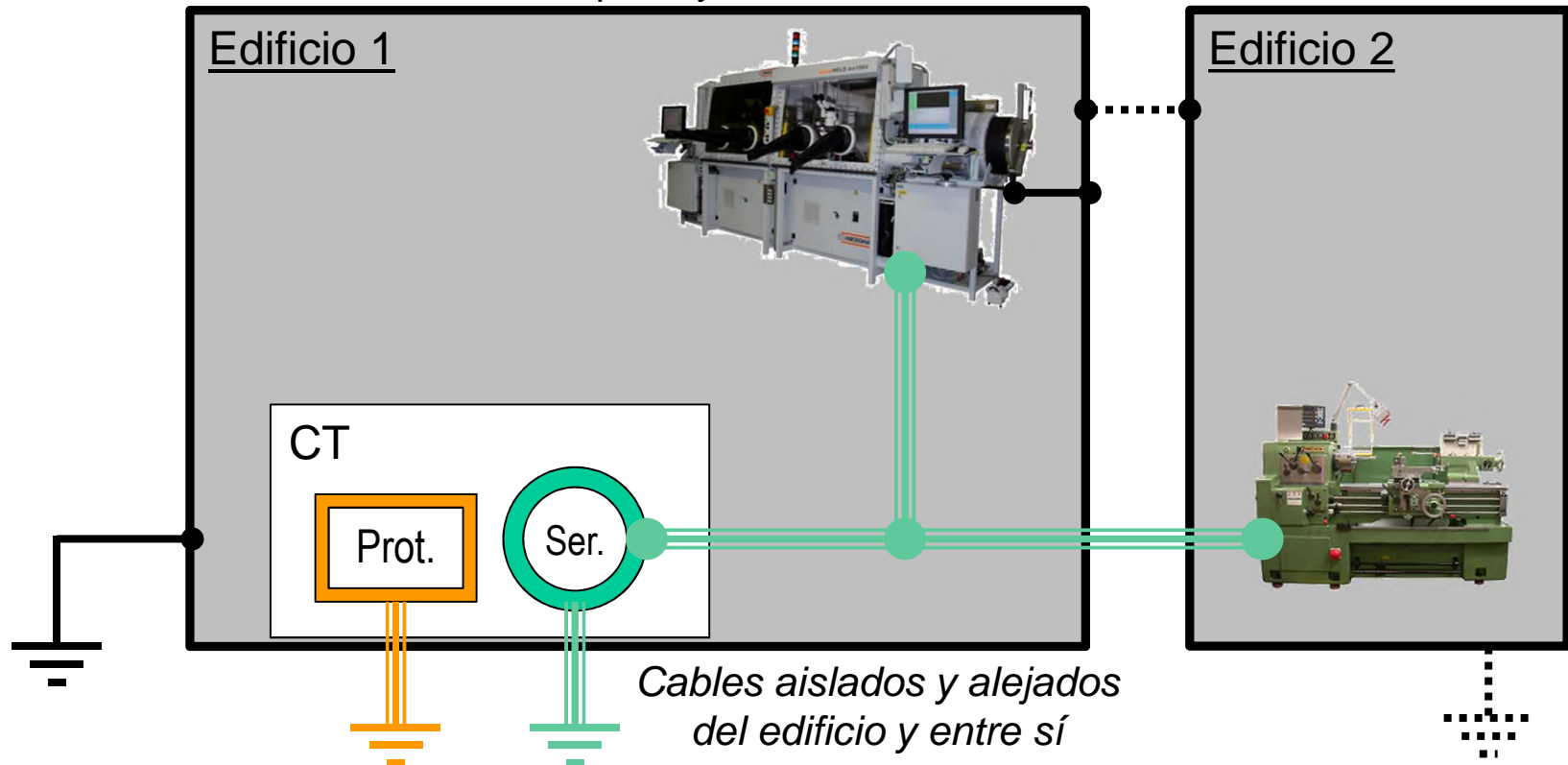
- Se dibuja el caso típico de distribuidor que, para hacer un TT, tiene la puesta a tierra del neutro independiente de los edificios de consumidores.
- En CT de cliente, se podría conectar el neutro a la tierra del edificio y hacer un TN



- *Tensiones en edificio: hasta 230 V en equipos o perímetro en caso de falta en BT*
- *Tensiones de CT: hasta aprox. 10 kV entre BT y masas en caso de falta en MT*

- **CT dentro de edificio con tres puestas a tierra**

- De distribuidor o de cliente (red TT)
- Requiere tierra del CT aislada del edificio, incluyendo un mallazo para el suelo y un tratamiento de tensiones de paso y contacto de las zonas de acceso.



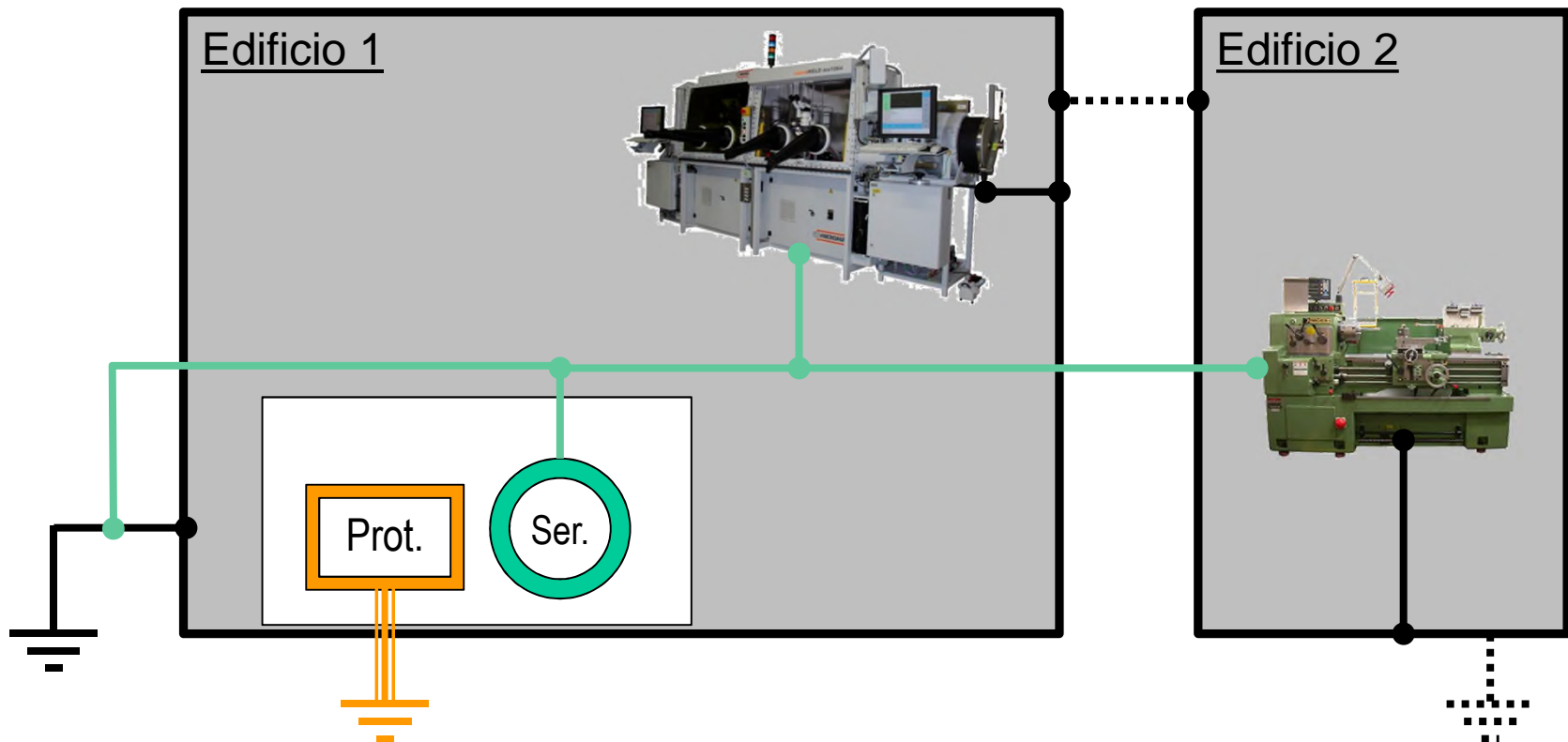
- *Tensiones en edificio: hasta 230 V en equipos o masas en caso de falta en BT*
- *Tensiones de CT: hasta aprox. 10 kV entre BT y masas en caso de falta en MT*

# INTERCONEXIONES

## Ejemplos de conexiones de tierras

- **CT privado, con dos puestas a tierra**

- Implica red TN
- Requiere tierra del CT aislada del edificio, incluyendo un mallazo para el suelo y un tratamiento de tensiones de paso y contacto de las zonas de acceso.



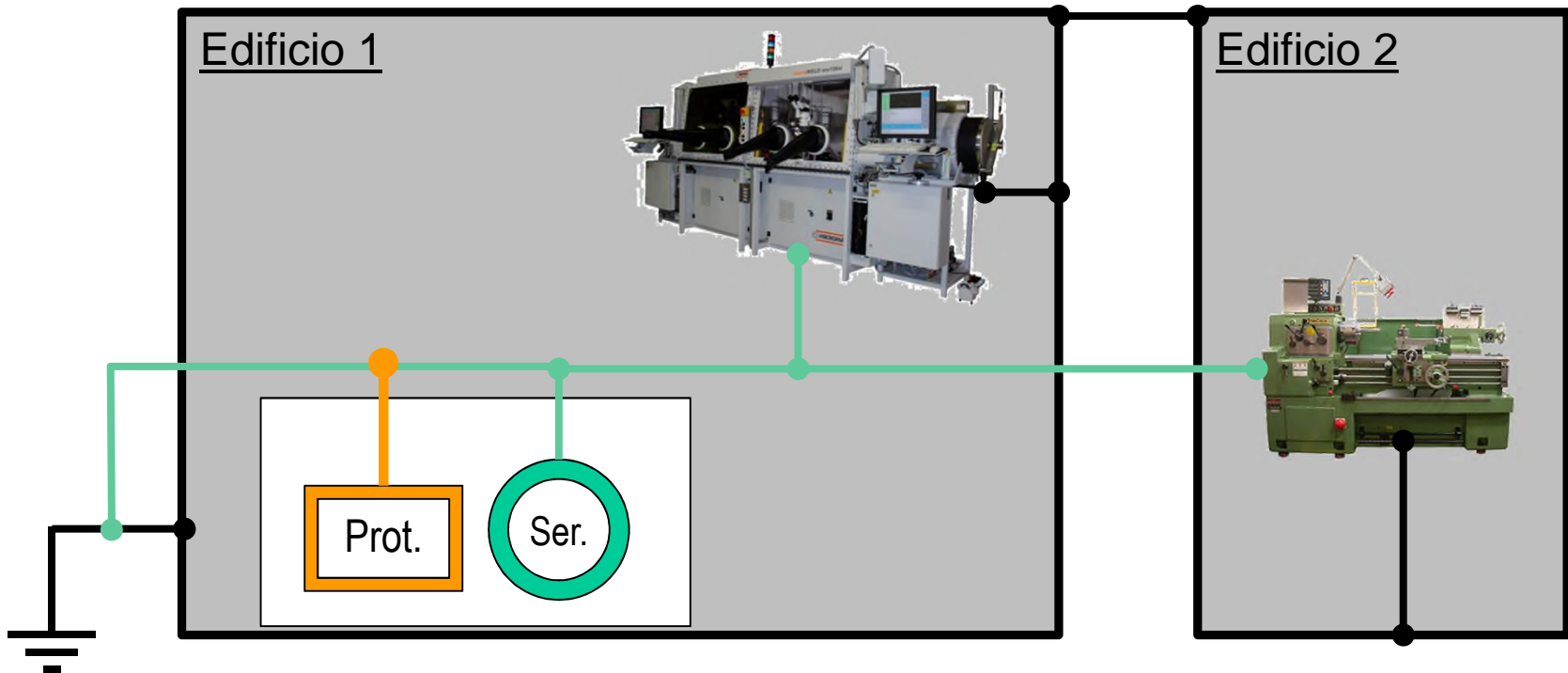
- *Tensiones en edificio: hasta 230 V en perímetros en caso de falta en BT*
- *Tensiones de CT: hasta aprox. 10 kV entre BT y masas en caso de falta en MT*

# INTERCONEXIONES

## Ejemplos de conexiones de tierras

- **CT privado, con puesta a tierra única**

- Implica red TN
- En sistemas con varios edificios requiere interconexión de tierras
- Requiere control de tensiones de contacto en todos los perímetros

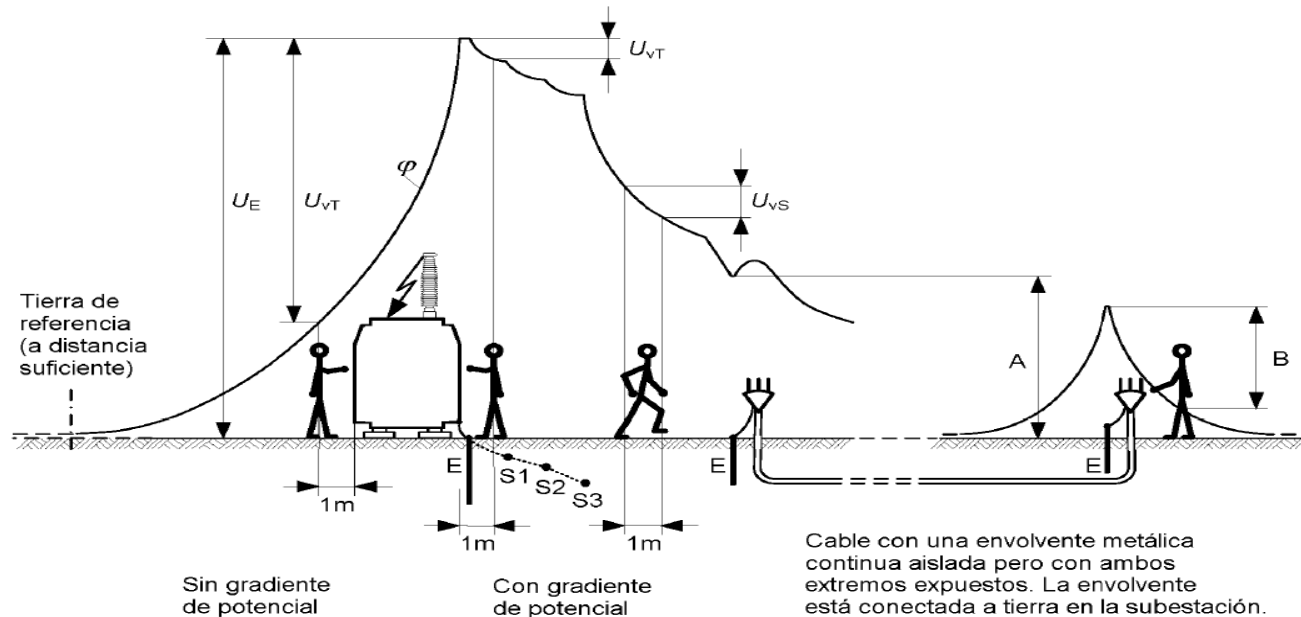


- *Hasta aprox. 10 kV en el perímetro de los edificios.*
- *Sin tensiones en los equipos ni en el CT.*



- **Puestas a tierra en AT y BT.**

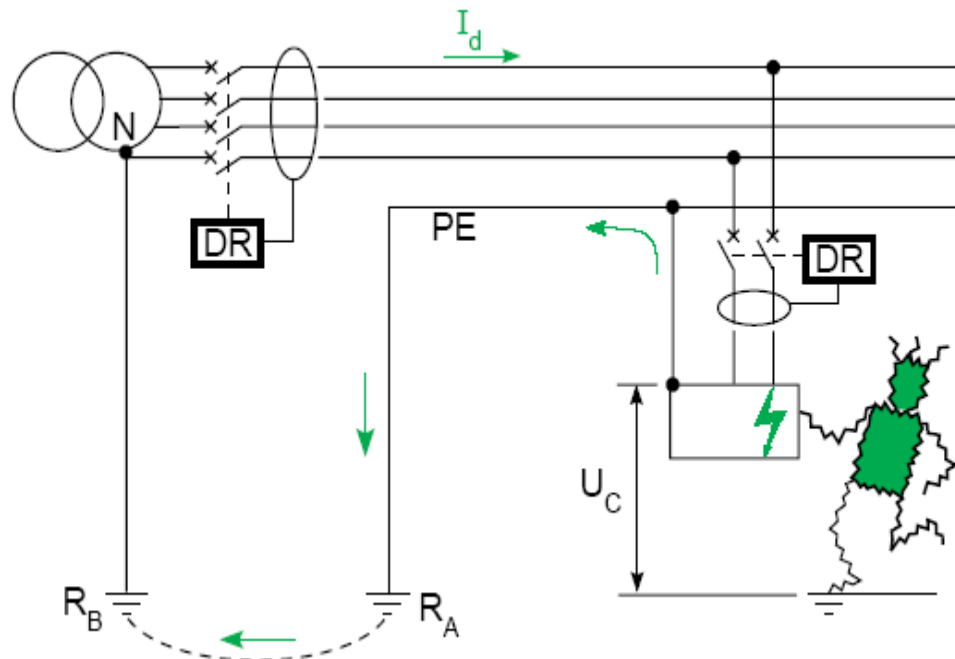
1. Novedades relevantes en el nuevo reglamento de AT
2. Verificaciones. Guía RAT 23
3. Puestas a tierra de BT e interconexiones
- 4. Disparos intempestivos de diferenciales**



# Disparos intempestivos de diferenciales

## CIRCULACIÓN DE CORRIENTE A TIERRA

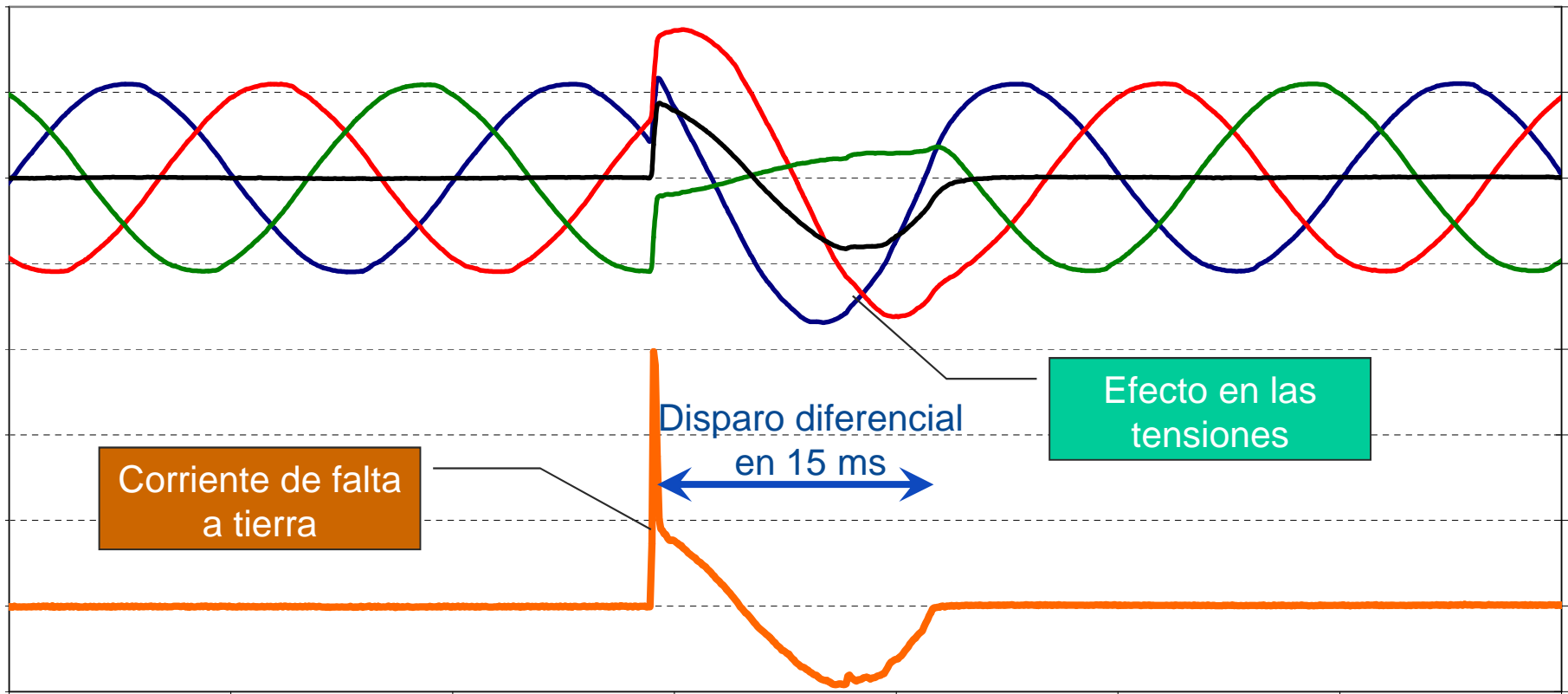
- Existen dos tipos de circulaciones de corriente a tierra:
  - No intencionada: Contacto de una persona o elemento con un conductor
    - Básicamente corriente de 50 Hz, sin componentes de alta frecuencia
  - Intencionada: Derivación a tierra de corrientes por parte de filtros o protecciones instalados en los receptores.
    - Corrientes de alta frecuencia o transitorias



# Disparos intempestivos de diferenciales

## CIRCULACIÓN DE CORRIENTE A TIERRA

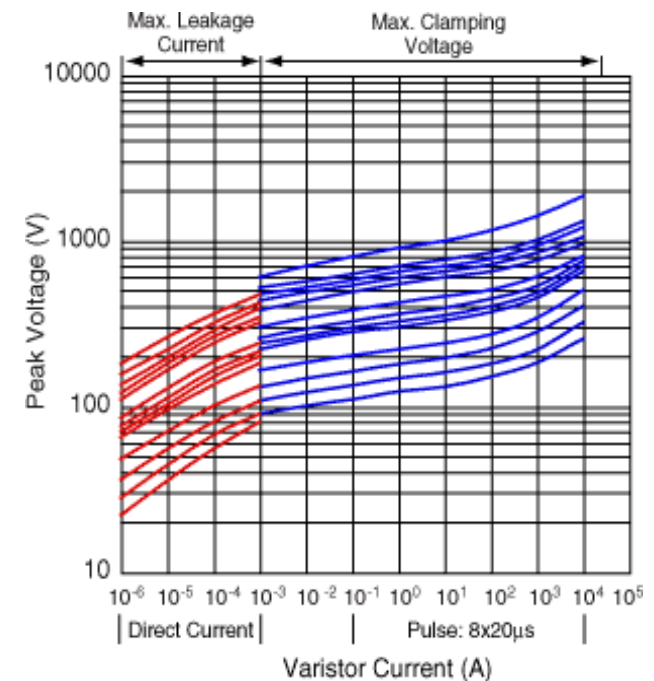
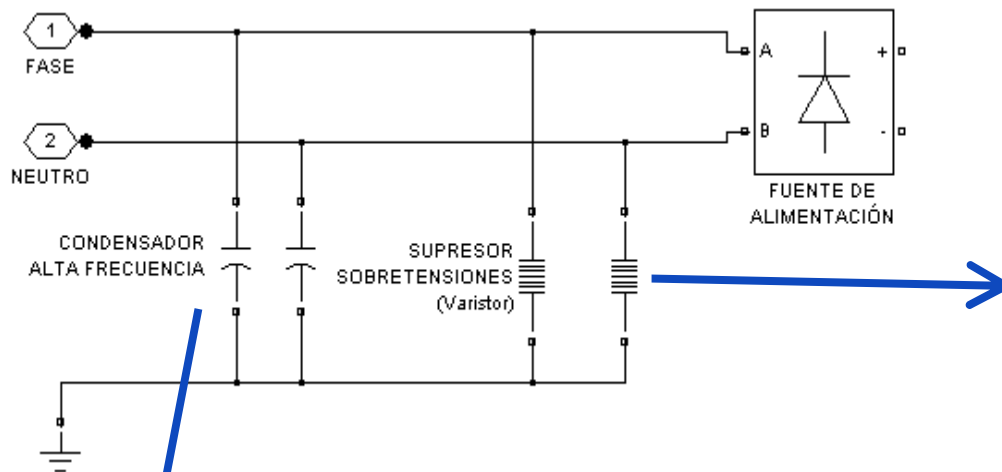
### Circulación de corriente a tierra por fallo de aislamiento



# Disparos intempestivos de diferenciales

## CIRCULACIÓN DE CORRIENTE A TIERRA

- Los receptores electrónicos conectados a la red pueden derivar corrientes a tierra de frecuencias superiores a 50 Hz
  - Por su funcionamiento no lineal
  - Por la presencia de transitorios en la tensión



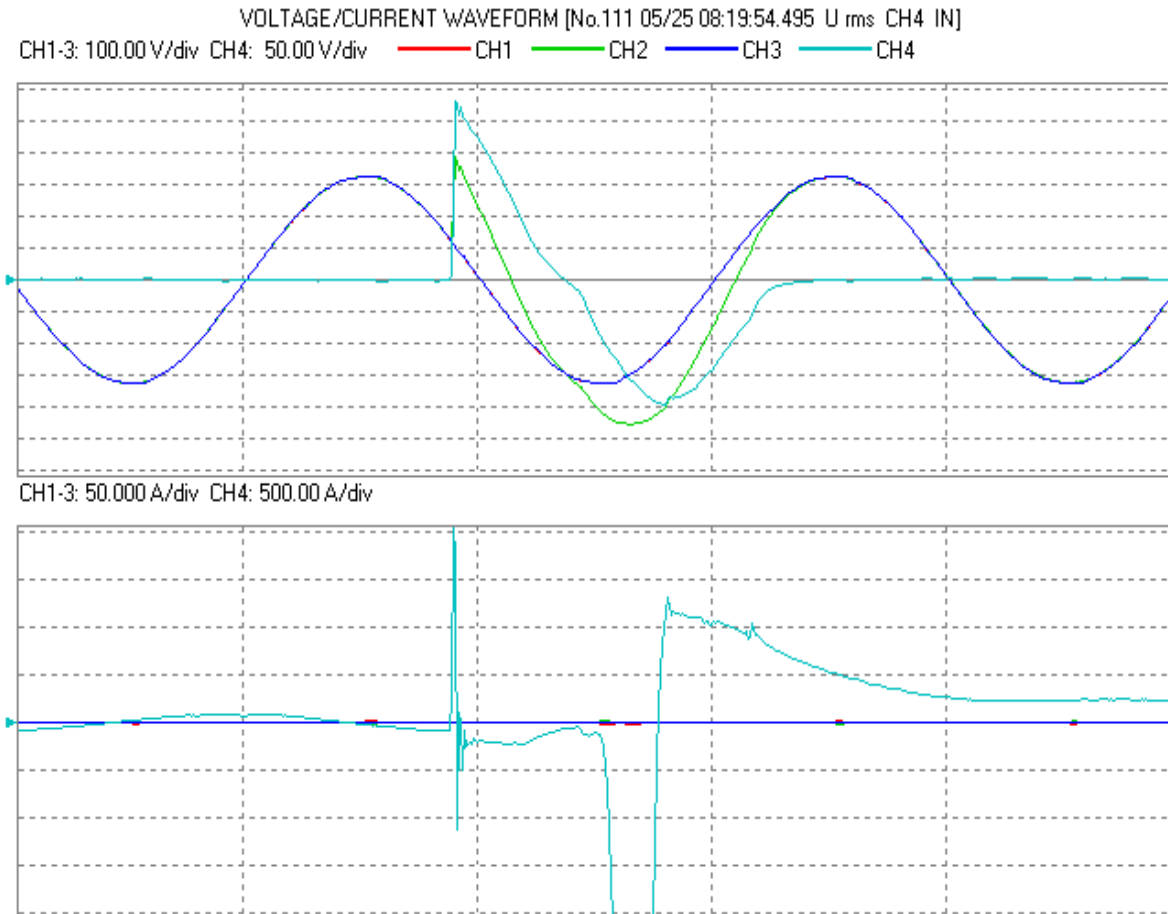
$$i = C \frac{du}{dt}$$

Etapa de entrada de una fuente de alimentación típica de un electrodoméstico con toma de tierra

# Disparos intempestivos de diferenciales

## CIRCULACIÓN DE CORRIENTE A TIERRA

### Medida de una corriente de fuga por falta a tierra en otro punto de la red de BT



- Parte superior del gráfico: Tensiones - Azul oscuro: fase-neutro; Azul claro: neutro-tierra; Verde: fase-tierra  
Parte inferior del gráfico: Intensidades - Azul claro: corriente de fuga (500 mA división)

# Disparos intempestivos de diferenciales

## INICIO DEL DISPARO INTEMPESTIVO

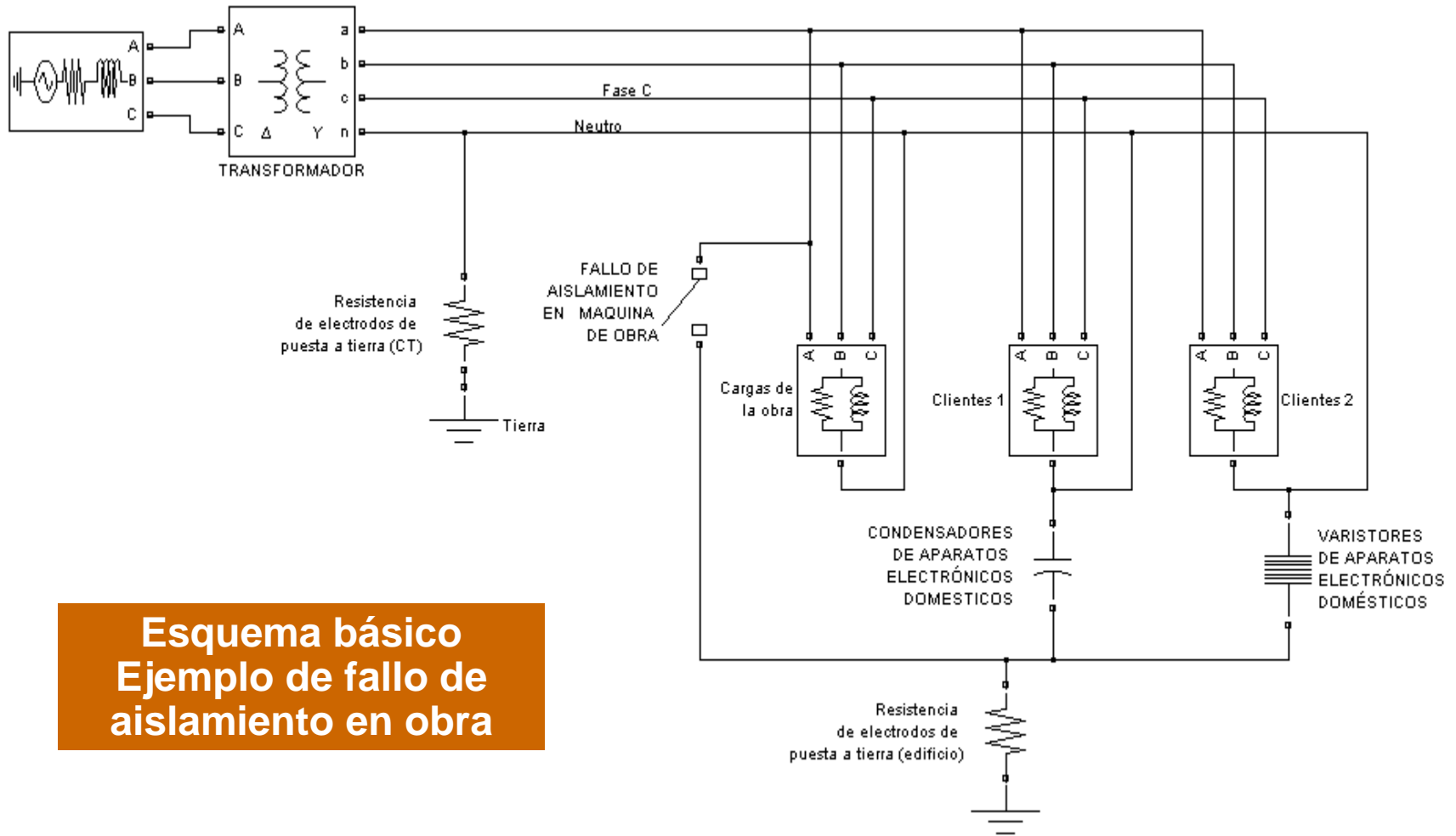
---

- **Atendiendo a sus causas:**

- Disparos relacionados con faltas a tierra en otros puntos de la red
  - Fallos de aislamiento en obras en nuevas construcciones.
  - Fallos de aislamiento en equipos domésticos o industriales (ocasional)
- Ocasionalmente:
  - Perturbaciones de alta frecuencia generadas por las cargas alimentadas por el diferencial
  - Transitorios de conexión o desconexión de cargas de la red

# Disparos intempestivos de diferenciales

## INICIO DEL DISPARO INTEMPESTIVO

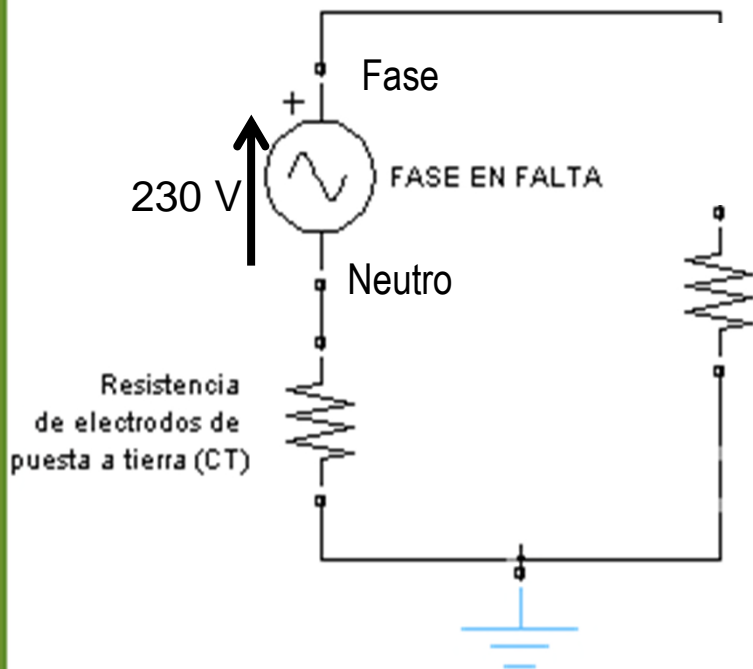


**Esquema básico**  
**Ejemplo de fallo de**  
**aislamiento en obra**

# Disparos intempestivos de diferenciales

## INICIO DEL DISPARO INTEMPESTIVO

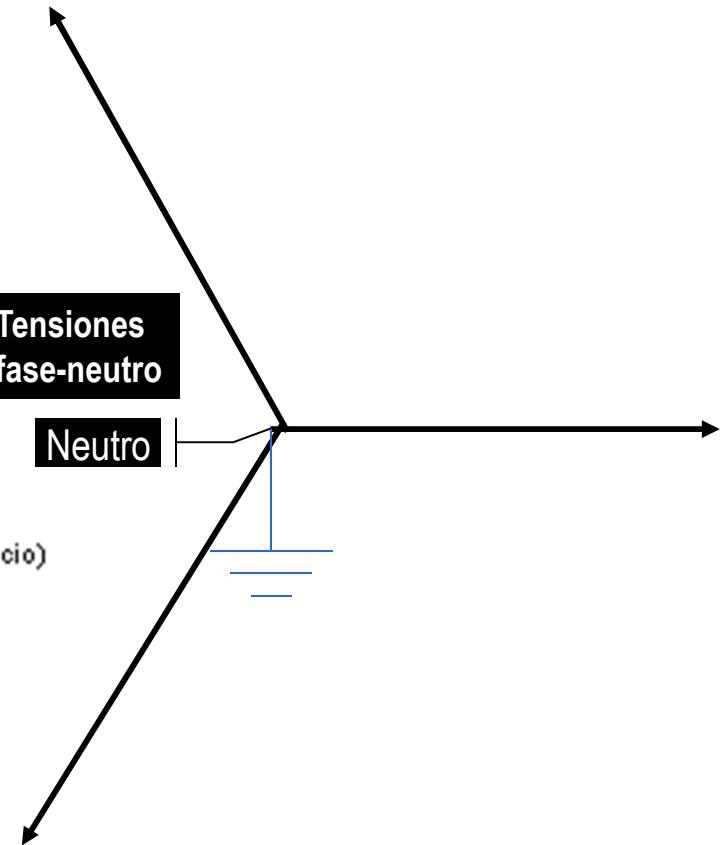
### Esquema simplificado SIN FALTA



Tensiones  
fase-neutro

Neutro

Resistencia  
de electrodos de  
puesta a tierra (edificio)

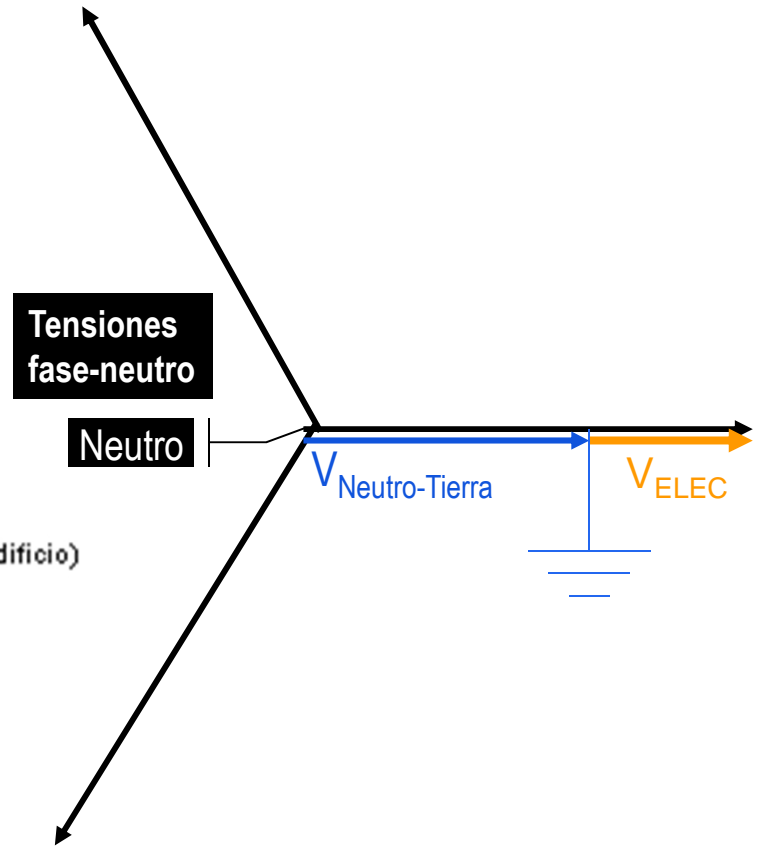
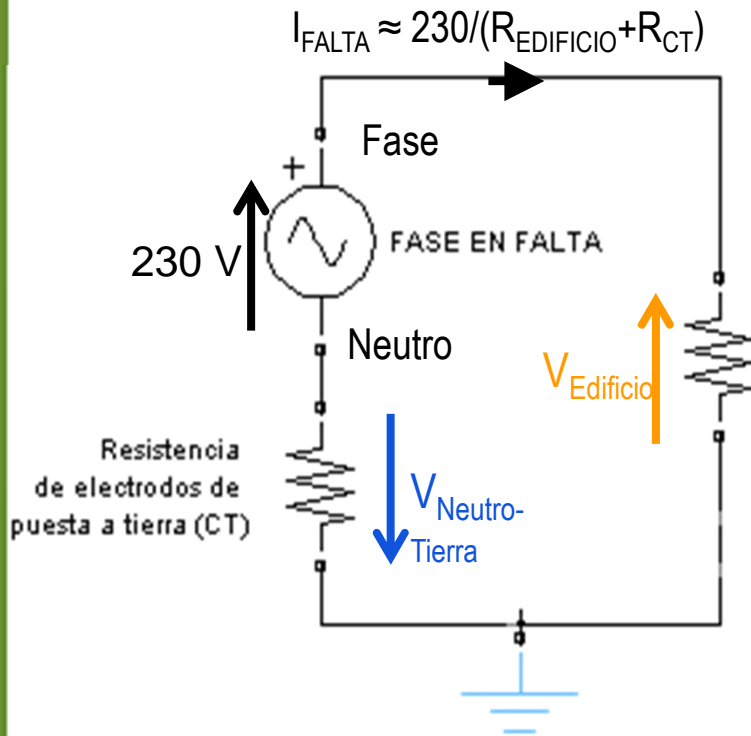




# Disparos intempestivos de diferenciales

## INICIO DEL DISPARO INTEMPESTIVO

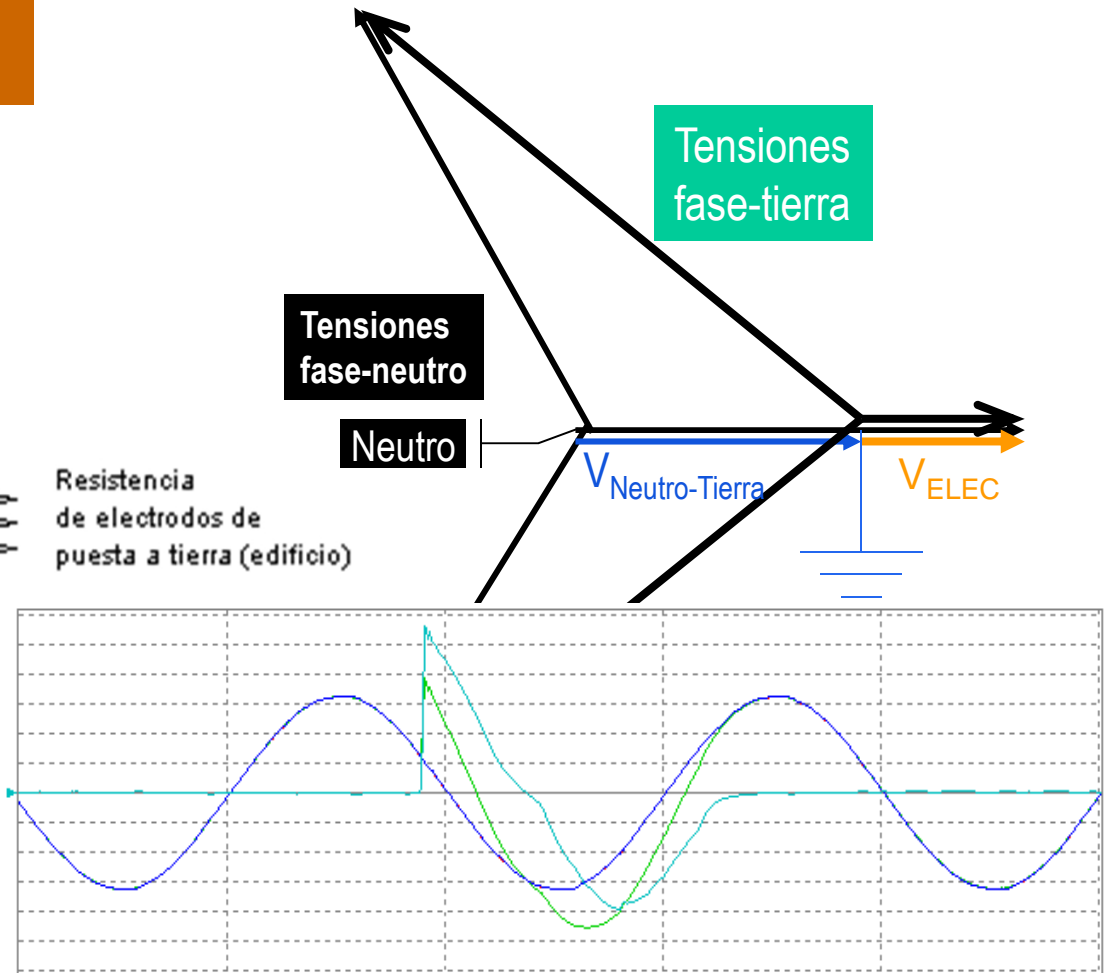
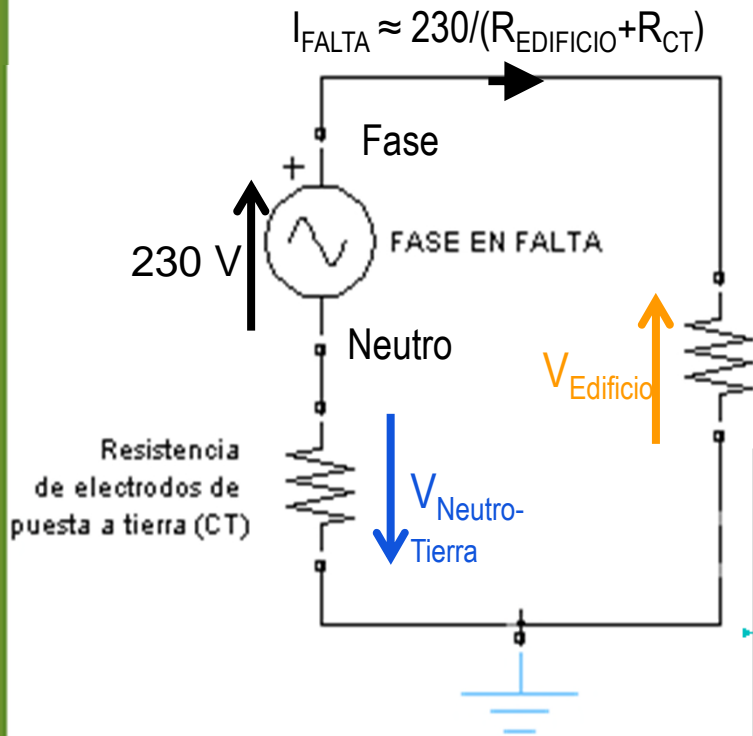
### Esquema simplificado CON FALTA



# Disparos intempestivos de diferenciales

## INICIO DEL DISPARO INTEMPESTIVO

### Esquema simplificado CON FALTA



# Disparos intempestivos de diferenciales DISPAROS RELACIONADOS CON FALTAS EN OTROS PUNTOS DE LA RED

## Causa de los disparos

- Falta de aislamiento en otro punto de la red.
- Corriente de falta a tierra
- Tensión entre neutro y tierra en todos los clientes del CT.
- Los filtros CEM o protecciones contra sobretensiones en aparatos electrónicos de las viviendas producen una corriente transitoria a tierra
- El diferencial ve esta corriente y dispara .

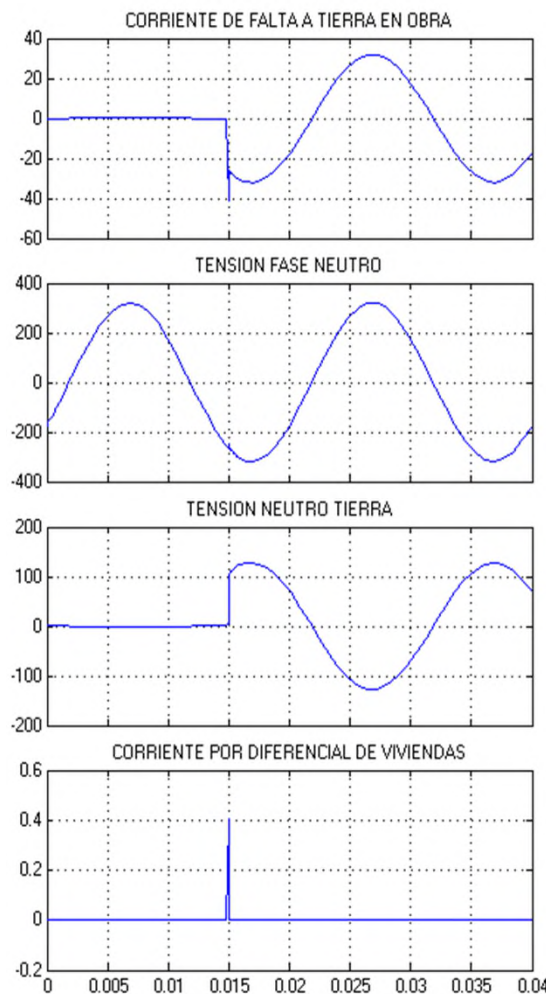
### Disparo sin utilidad:

- No hay riesgo para personas o equipos, ni alteración de la tensión de suministro

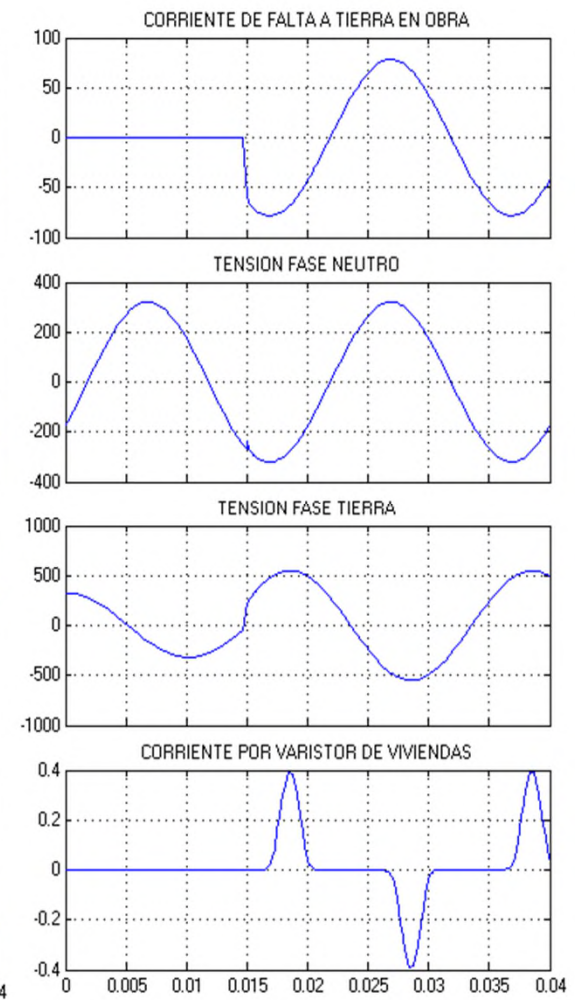


**INTEMPESTIVO**

### Filtros CEM (capacitivos) a tierra



### Varistores entre fase y tierra

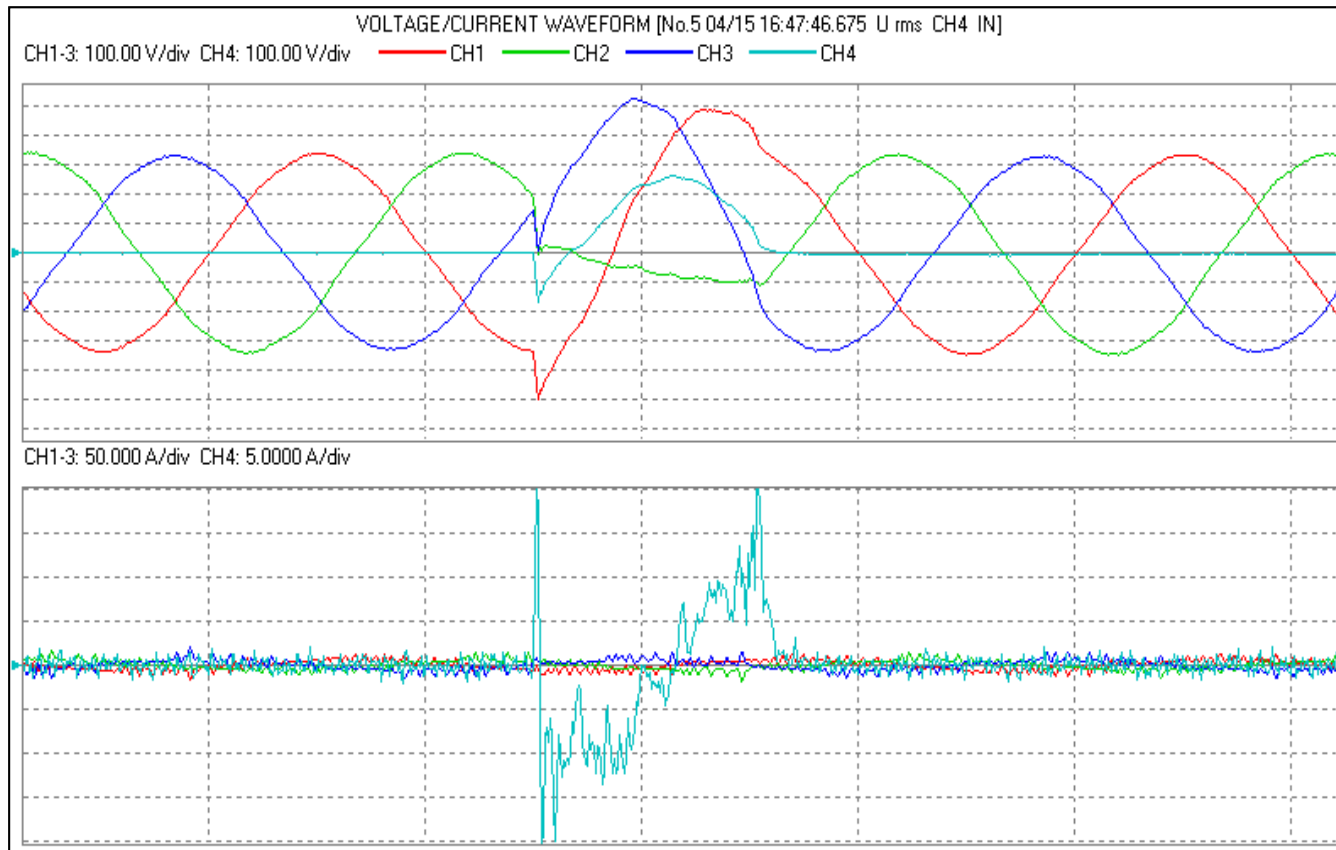


# Disparos intempestivos de diferenciales

## DISPAROS RELACIONADOS CON FALTAS EN OTROS PUNTOS DE LA RED



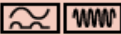








### Otras causas de disparos en sistemas industriales

- Disparos intempestivos de diferenciales que alimentan equipos trifásicos con fuerte filtrado capacitivo (poco frecuentes).



# Disparos intempestivos de diferenciales

## TIPOS DE DIFERENCIALES

Definición de forma de onda	Forma de onda Intensidad	Tipo AC 	Tipo A-Ai 	Tipo F 	Tipo B 	Intensidad de disparo
Onda senoidal		✓	✓	✓	✓	0,5 a 1 I <sub>Δn</sub>
Onda pulsante media onda		X	✓	✓	✓	0,35 a 1,4 I <sub>Δn</sub>
Onda pulsante 90°/135°		X	✓	✓	✓	Intensidad desfasada 90°: 0,25 a 1,4 I <sub>Δn</sub>
		X	✓	✓	✓	Intensidad desfasada 135°: 0,11 a 1,4 I <sub>Δn</sub>
Onda pulsante media onda + componente continua (6mA)		X	✓	✓	✓	máx. 1,4 I <sub>Δn</sub> +6mA
Onda pulsante media onda + componente continua (10mA)		X	X	✓	✓	máx. 1,4 I <sub>Δn</sub> +10mA
Onda compuesta		X	X	✓	✓	0,5 a 1,4 I <sub>Δn</sub>
Alta Frecuencia (hasta 1KHz)		X	X	✓	✓	Frecuencia intensidad 150Hz 0,5 a 2,4 I <sub>Δn</sub>
		X	X	✓	✓	Frecuencia intensidad 400Hz 0,5 a 6 I <sub>Δn</sub>
		X	X	✓	✓	Frecuencia intensidad 1000Hz 1 a 14 I <sub>Δn</sub>
Monofásica rectificadonda completa		X	X	X	✓	0,5 a 2 I <sub>Δn</sub>
Trifásica rectificadonda completa						
Corriente continua						

# Disparos intempestivos de diferenciales

## TIPOS DE DIFERENCIALES

### Ventajas añadidas: Clase F

Ofrecen la misma gama de protección y funcionalidad que un diferencial Clase A; significa que es sensible a corrientes senoidales CA y también a corrientes pulsantes CC.

Además, son capaces de detectar corrientes residuales de frecuencias mixtas de hasta 1000 Hz, que se pueden producir habitualmente en la salida de convertidores de frecuencia monofásicos.

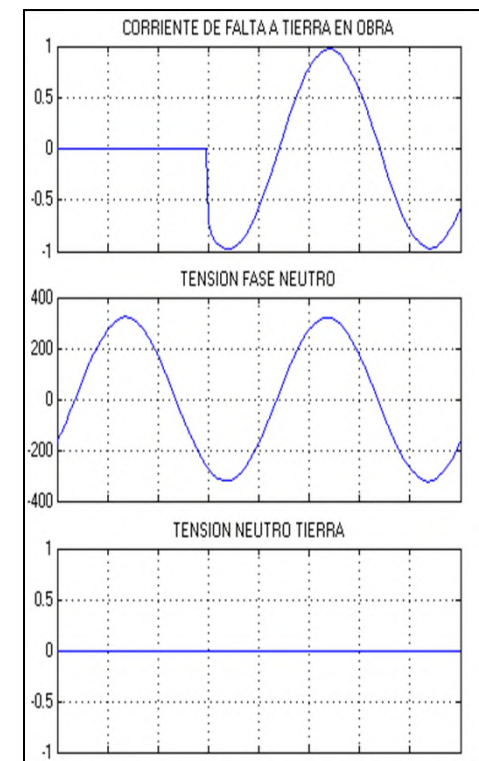
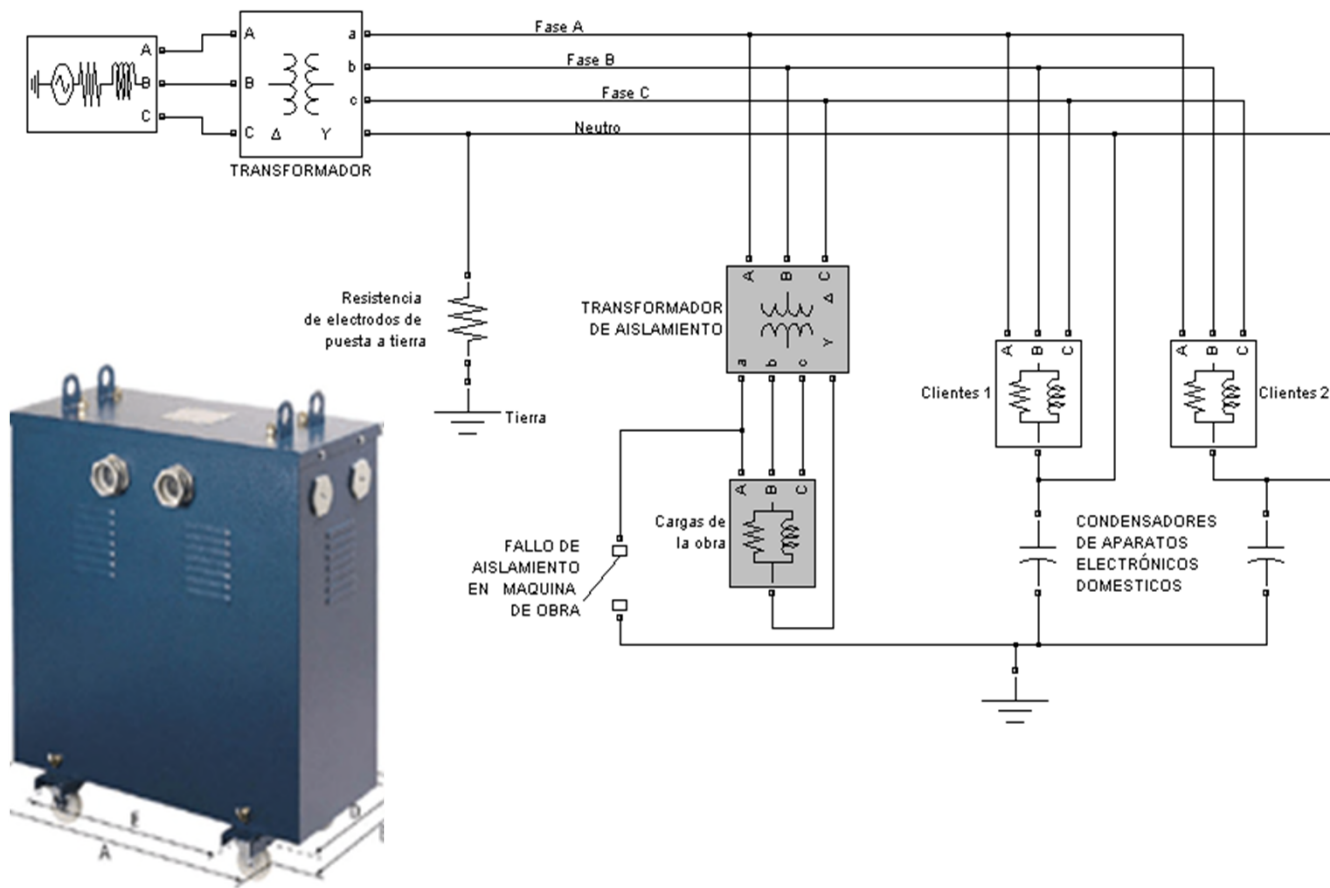
Esto evita cortes no deseados de la red eléctrica si, por ejemplo, se producen corrientes de fuga pulsantes de hasta diez milisegundos en la activación de condensadores de filtro

*Aunque, en principio, la clase F cubriría las necesidades de inmunización ante perturbaciones, en la práctica, los mayor parte de los fabricantes siguen vendiendo diferenciales inmunizados, sin referenciarlos a la norma.*



# Disparos intempestivos de diferenciales SOLUCION EN EL ORIGEN DE LA FALTA A TIERRA

**Caso típico:** Transformador de aislamiento en el cuadro de entrada de una obra  
– Instalación según Reglamento de BT, ITC-BT-24, capítulo 4.5



# Disparos intempestivos de diferenciales

## SOLUCIONES EN LA INSTALACIÓN QUE SUFRE DISPAROS INTEMPESTIVOS

- Aplicar la Guía-BT-25
  - Utilizar diferenciales, con reconectador
    - » Se produce una interrupción breve
    - » Requiere más espacio
  - Separar circuitos, instalando varios diferenciales
- Utilizar diferenciales inmunizados (deberían ser clase F o B)
  - Soluciona los disparos intempestivos por transitorios capacitivos.
  - En caso disparos relacionados con varistores (sobretensiones) no es efectivo al 100%.
- Equipos industriales trifásicos con grandes filtros
  - Utilizar diferenciales ajustables que permitan superar el valor de fuga permanente a 50 Hz.
  - Ubicar el filtro aguas arriba del diferencial



# Disparos intempestivos de diferenciales

## SOLUCIONES EN LA INSTALACIÓN CON DISPAROS INTEMPESTIVOS

### • Guía BT 25:

*En caso de disparos intempestivos frecuentes de los diferenciales en instalaciones existentes, después de comprobar que no se debe a fallos de aislamiento o desajuste del diferencial, en cuyo caso este se debería sustituir por uno nuevo, se recomienda seguir una de las siguientes opciones:*

- a) Separar del resto el circuito C3 de la cocina y horno o el circuito C9 del aire acondicionado o ambos, protegiendo cada uno mediante un diferencial (que será de tipo A según el punto 3.5 de la ITC-BT-24).*
- b) Sustituir el diferencial que dispara intempestivamente por uno de tipo rearmable, según norma EN 50557*

*Para el caso de disparos intempestivos provocados por el funcionamiento de filtros y protectores de sobretensiones instalados aguas abajo del diferencial (internos y/o externos a los receptores), se recomienda instalar protectores contra sobretensiones transitorias aguas arriba del mismo. La selección de su Tipo y características se realizará según lo indicado en la última edición de la GUÍA-BT-23, normalmente serán de Tipo 2 y se instalarán entre el interruptor general y el diferencial.*

*Para evitar problemas de disparos intempestivos frecuentes en instalaciones nuevas, es conveniente seguir todos los criterios anteriores al realizar la instalación.*

# Disparos intempestivos de diferenciales

## CONCLUSIONES

- Los diferenciales utilizados habitualmente en viviendas no tienen un funcionamiento adaptado a las cargas electrónicas.
  - Los disparos intempestivos más frecuentes son actuaciones incorrectas de los diferenciales ante las corrientes transitorias generadas por los receptores electrónicos. Es previsible que el número de disparos intempestivos aumente.
  - Las soluciones pasan por utilizar diferenciales inmunes a altas frecuencias (tipos F o B), diferenciales con reconectador o separar circuitos colocando varios diferenciales.
  - Cuando las faltas son de origen conocido y difícil de evitar, se puede colocar un transformador de aislamiento.

Diferencial con reconectador

