

La protección contra los contactos indirectos y la puesta a tierra

Por el Ing. Carlos A. Galizia

Secretario del Comité de Estudios CE-10 de la Asociación Electrotécnica Argentina

Consultor en Instalaciones Eléctricas de BT y MT

Consultor en Seguridad Eléctrica de BT y MT

Auditorías Eléctricas, Proyectos,

Asesoramientos y Dirección de Obra

Dictado de Cursos de Capacitación

En Instalaciones Eléctricas en Inmuebles rige actualmente en nuestro país la Reglamentación AEA 90364 (RAEA) del 2006.

Como se ha dicho en diferentes artículos, la Reglamentación está formada por las prescripciones generales que se indican en las Partes 0 a la Parte 6 y por prescripciones particulares que se indican en la Parte 7. Estas se aplican reemplazando o modificando las prescripciones generales.

Dentro de la Parte 7, se agrupan las Secciones en las que existen requisitos particulares debido a las influencias externas que afectan a determinadas instalaciones.

Existen instalaciones eléctricas dentro de baños (Sección 701), dentro de salas de uso médico (Sección 710), dentro de inmuebles de pública concurrencia (Sección 718), dentro de "Viviendas, Locales y Oficinas (unitarios)" (Sección 771). Estas últimas instalaciones son las que se ejecutan en mayor cantidad y donde las influencias externas son las *personas no capacitadas en riesgo eléctrico (BA1) y en alguna de las cuales (viviendas) además pueden existir niños (BA2) y personas que no disponen de todas sus capacidades físicas o intelectuales (BA3)*. Estas últimas (*enfermos, ancianos, y otras*) en general habitan en locales específicos, como *geriátricos, sanatorios, hospitales, institutos de rehabilitación*. Para las instalaciones operadas por personas idóneas en riesgo eléctrico (BA4) o capacitadas en riesgo eléctrico (BA5) y donde no existen limitaciones de ningún tenor debidas a las influencias externas, se podrían aplicar las Secciones de las Partes 0 a 6, con las restricciones que allí se indiquen.

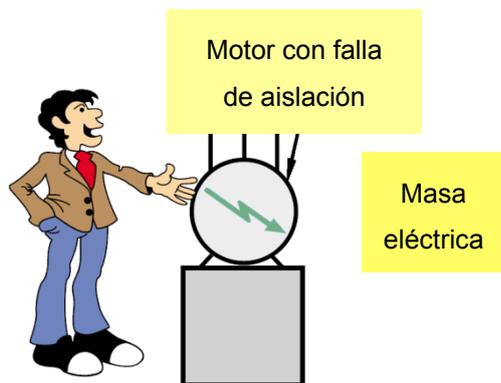


Figura 1: Contacto Indirecto

Una pregunta que nos hacemos permanentemente es: ¿Toda persona, con independencia de su capacitación en riesgo eléctrico, debe ser protegida de los contactos indirectos?

La respuesta es **SÍ**

Entonces ¿Cómo se debe proteger a todas esas personas, que operan y utilizan instalaciones eléctricas, de los riesgos de los contactos indirectos (ver figura 1)?

Para proteger a las personas de los contactos indirectos la Reglamentación AEA 2006 indica varios métodos de protección. Las instalaciones realizadas en lugares habitados por personas BA1, BA2 o BA3, que son quienes pueden llegar a operar esas instalaciones, sólo pueden disponer alguno de esos métodos. Las instalaciones operadas por personas BA4 o BA5 pueden emplear todos los métodos de protección con las restricciones que en cada caso la Reglamentación indique.

Los más importantes son dos: la protección por doble aislación y la protección por corte automático de la alimentación, que es el método más empleado (aunque no siempre sepamos que lo estamos empleando) y sobre el cual haremos algunos comentarios.

Antes recordemos varias cosas que establece la Reglamentación AEA 2006:

1) Que la tensión convencional límite de contacto (U_L) en la protección contra los contactos indirectos por corte automático de la alimentación es de 24 V de CA, aplicándose tanto para los ambientes secos, húmedos o mojados, no así para los cuerpos sumergidos donde no es aplicable este método de protección. Allí el único método permitido es la alimentación con MBTS de 12 V CA o 30 V CC.

2) Que el Esquema de Conexión a Tierra (ECT) a emplear en forma obligatoria cuando se recibe alimentación desde la red pública de BT es el TT, es decir, el Neutro de la Distribuidora puesto a tierra por la Empresa (puesta a tierra de servicio *pats*) y una puesta a tierra distinta y separada para las masas de la instalación de consumo, puesta a tierra que es de responsabilidad del usuario de la instalación (puesta a tierra de protección *patp*).

3) Que en cambio, cuando se dispone de generación propia (por ejemplo con un grupo electrógeno) o se compra energía en Media o Alta Tensión, y por ello se dispone de uno o varios transformadores propios, ya no es obligatorio el empleo del ECT TT. El usuario puede elegir entre el TT, el IT o el TN-S. Y en aquellos casos en que el usuario compra en BT y debido a la obligación reglamentaria debe emplear el ECT TT, puede llegar a utilizar en caso de ser necesario, un ECT IT o TN-S para parte o para toda la instalación, a través de un transformador BT/BT de su propiedad. El caso más típico es el del quirófano de un hospital o sanatorio donde se exige (Sección 710) el empleo del ECT IT de uso hospitalario.

4) Que en el ECT TT los únicos dispositivos de protección que se pueden emplear para la protección contra los contactos indirectos por *desconexión o corte automático de la alimentación* son los dispositivos diferenciales DD.

Los dispositivos diferenciales DD pueden ser los conocidos interruptores diferenciales, ID, que responden a las Normas IEC 61008 y 61009 o los interruptores automáticos diferenciales, IAD, que responden a la Norma IEC 60947-2 y que pueden ser interruptores automáticos con módulos diferenciales acoplados o interruptores automáticos con toroides y relés diferenciales externos.

En el ECT TT no se permite el empleo ni de fusibles ni de interruptores automáticos con protección contra sobrecorrientes, para la protección contra los contactos indirectos por *corte automático de la alimentación*.

5) Que en el ECT TT, con tensión convencional límite de contacto (U_L) de 24 V de CA, con tensiones entre Línea y Neutro (L-N) de hasta 230 V CA, **la protección contra los contactos indirectos por desconexión automática de la alimentación de circuitos terminales de hasta 32 A**, debe realizarse (por dispositivos diferenciales) en un tiempo máximo de 60 milisegundos y para ello se debe considerar una corriente $5xI_{\Delta n}$ con la cual la protección diferencial actuará en 40 milisegundos o menos.

6) Que en el ECT TT, con tensión convencional límite de contacto (U_L) de 24 V de CA, con tensiones entre L-N de hasta 230 V CA, **la protección contra los contactos indirectos por desconexión automática de la alimentación de circuitos seccionales y de los circuitos no cubiertos por 5)**, debe realizarse (por dispositivos diferenciales) en un tiempo máximo de hasta 1 segundo, cuando se busca selectividad diferencial,

7) Que en el ECT TN-S, con tensión convencional límite de contacto (U_L) de 24 V de CA, con tensiones entre Línea y Neutro (L-N) de hasta 230 V CA, **la protección contra los contactos indirectos por desconexión automática de la alimentación de circuitos terminales de hasta 32 A**, debe realizarse en un tiempo máximo de 200 milisegundos.

8) Que en el ECT TN-S, con tensión convencional límite de contacto (U_L) de 24 V de CA, con tensiones entre Línea y Neutro (L-N) de hasta 230 V CA, **la protección contra los contactos indirectos por desconexión automática de la alimentación de circuitos seccionales y de los circuitos no cubiertos por 5)**, debe realizarse en un tiempo máximo de hasta 2 segundos (aunque se acepta elevar ese tiempo hasta 5 segundos si la selectividad lo exige).

Planteadas las líneas principales de la protección contra los contactos indirectos por *desconexión automática de la alimentación* aclaremos el tema que da origen a este artículo: el de la puesta a tierra y su relación con la protección contra los contactos indirectos.

En el ECT TT, cuando se produce una falla de aislación, a partir de la cual una masa eléctrica queda bajo tensión, el circuito de falla que se establece está formado por (ver Figuras 2 y 3):

- la impedancia del transformador de alimentación (de la distribuidora, si la alimentación viene desde la red pública de BT o del transformador del usuario si compra en MT o AT)
- la impedancia del conductor de línea de la alimentación,
- el conductor de línea de la alimentación del usuario y el conductor PE de la instalación del usuario,
- la impedancia del defecto. Para el análisis a la falla se la considera franca y por ello de impedancia cero.
- la resistencia R_b de la puesta a tierra de servicio *pats* o puesta a tierra del neutro *patn* del transformador de alimentación (de la distribuidora o propio) (en general entre 1 y 2 Ω)
- la resistencia R_a de la puesta a tierra de protección *patp* de la instalación de BT del usuario (tan baja como sea posible) pero, en ECT TT, nunca superior a 40 Ω . En ese caso extremo de tener para la *patp* un valor $R_a=40 \Omega$, la máxima protección diferencial permitida para las viviendas, oficinas y locales es de 300 mA. En esas instalaciones se supone que quienes las operan son personas BA1.

En ese circuito se desprecia normalmente para el análisis, la impedancia Z de los elementos indicados desde a) hasta c) (todos conductores metálicos) y en d) (la impedancia del defecto) y sólo se consideran las resistencias de ambas puestas a tierra indicadas en e) y en f): R_b de la *pats* (R_{pats}) y R_a de la *patp* (R_{patp}).

Aclarado esto, es interesante comentar que cuando en un curso o en un seminario se le plantea a los concurrentes la pregunta:

¿Cómo podemos proteger de un choque eléctrico a una persona que hace contacto con una masa eléctrica (motor, heladera, lavarropas, columna de alumbrado, etc., todos equipos clase I) que se puso bajo tensión por una falla de aislación (ver Figura 1)?, la gran mayoría de los especialistas responde, que para que una persona no sufra un choque eléctrico **es suficiente** con poner a tierra las masas eléctricas, y esa respuesta es **lamentablemente, UN ERROR DE CONCEPTO GARRAFAL** que ha llevado y sigue llevando a la muerte a muchas personas (ver Figura 2).

Un segundo error es creer que una puesta a tierra de protección $R_a = 10 \text{ ohm } (\Omega)$ es más segura que una de 40 ohm (Ω) o que una de 100 ohm (Ω) , cuando, al exigirse interruptores diferenciales (ID) o en forma más general dispositivos diferenciales (DD), el valor de la R_{patp} puede fluctuar dentro de amplios márgenes. Obsérvese que el Reglamento de la AEA permite en las viviendas tener una $R_{patp} \leq 40 \Omega$.

¿Porqué? Porqué al exigirse interruptores diferenciales (ID) con $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ para los circuitos terminales la tensión de contacto alcanzaría el valor de 1,2 V ($30 \text{ mA} \times 40 \Omega$), y en aquellos circuitos donde se permite como máximo ID con $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ la tensión de contacto alcanzaría el valor de 12 V ($300 \text{ mA} \times 40 \Omega$), en ambos casos muy lejos de los 24 V considerados como la tensión convencional límite de contacto permitida como máximo.

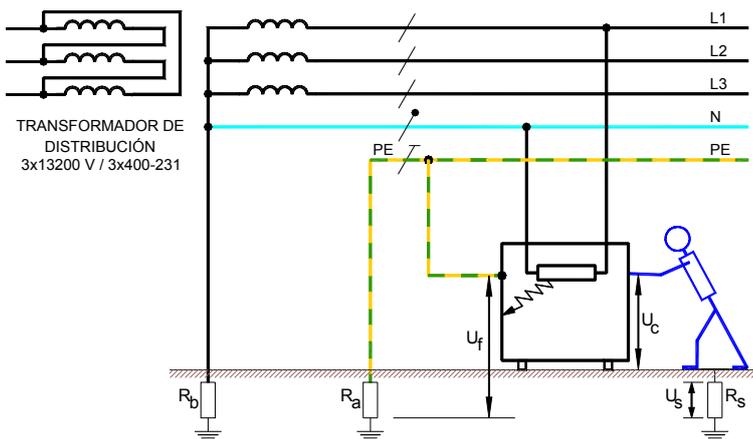


Figura 2: ECT TT. Masa puesta a tierra y persona en riesgo de muerte por electrocución a pesar de la puesta a tierra

En la Figura 2 se entiende:

U_f = Tensión de falla

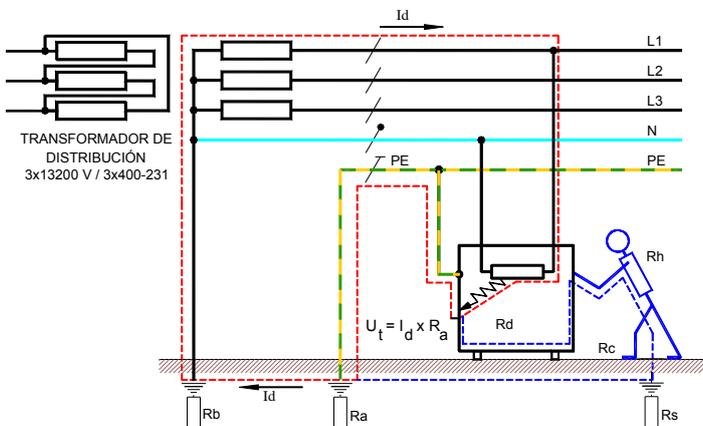
U_c = Tensión de contacto efectiva

R_S = Resistencia entre la superficie con la cual una persona está en contacto y las masas extrañas conectadas a su vez a la barra equipotencial principal de la instalación. R_S puede ser cero si la persona está en contacto directo con las masas extrañas. En ese caso la Tensión de falla U_f y la Tensión de contacto presunta U_t coinciden y a los fines de los estudios de seguridad se las considera iguales a la tensión de contacto efectiva U_c .

Una situación similar se plantearía si la persona está fuera del área de equipotencialidad. En ese caso, y simplificando, se considera que R_S es cero y lo mismo que en el caso anterior, la Tensión de falla U_f y la Tensión de contacto presunta U_t coinciden.

Y un tercer error es creer que el valor de la resistencia de puesta a tierra R_{pat} en la seguridad de las instalaciones de BT es importante en cualquier instalación sin saber que solo tiene importancia en los ECT TT, no así en los ECT TN-S.

En los **ECT TT la corriente de falla de aislación es realmente una corriente de falla a tierra** que circula por el electrodo de puesta a tierra de protección (Patp), por la tierra y por el electrodo de puesta a tierra de servicio, (Pats) participando las resistencias de puesta a tierra de protección R_{patp} (R_a), y de servicio R_{pats} (R_b) en el valor de la corriente de falla (ver en la figura 3, el lazo o circuito de falla en trazos rojos).



$R_a = R_{patp}$

$R_b = R_{pats}$

U_t = tensión de contacto presunta

I_d = corriente de defecto o falla de aislación que circula efectivamente por la tierra

R_d = resistencia en el punto de falla que se la considera cero pues se estima que la falla es franca

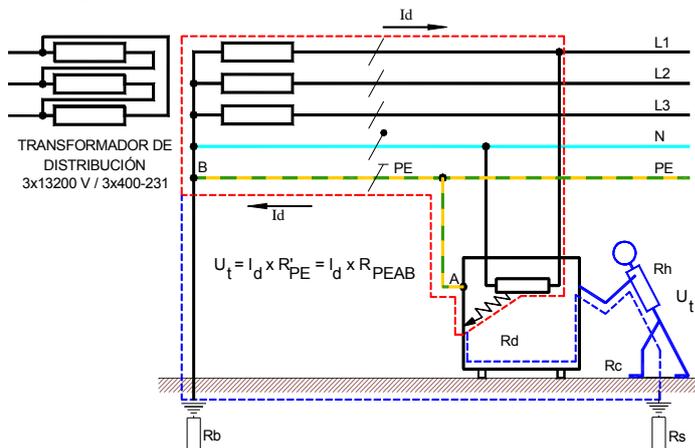
Figura 3: ECT TT. Lazo de falla y Tensión de contacto presunta U_t

La tensión de contacto presunta en el ECT TT es igual a la caída de tensión en la R_{patp} (R_a) de la puesta a tierra de protección más la caída de tensión en el conductor de puesta a tierra y en el PE que conectan la masa con el electrodo de Patp. Normalmente la caída de tensión en esos dos tramos de conductores es muy baja frente a la caída de tensión en la R_{patp} por lo que se desprecian.

Por ello la tensión de contacto presunta U_t vale en el ECT TT:

$$U_t = I_d \times R_a$$

En el **ECT TN-S**, en cambio, la **corriente de falla de aislación** en la instalación de BT si bien la llamamos generalmente “**corriente de falla a tierra**”, en realidad no se cierra por ningún electrodo de tierra: la corriente de falla a “tierra” sólo circula por conductores metálicos, y es prácticamente un cortocircuito Línea-PE (ver figura 4). Deberíamos llamarla con más propiedad “**corriente de falla (de aislación) que se cierra por el conductor de protección puesto a tierra**”.



La tensión de contacto presunta en el ECT TN-S es igual a la caída de tensión en el conductor de protección PE que conecta la masa con el punto neutro de la alimentación (tramo A-B). Por ello la tensión de contacto presunta U_t vale en el ECT TN-S:

$$U_t = I_d \times R_{PEAB}$$

Figura 4: ECT TN-S. Lazo de falla y Tensión de contacto presunta U_t

Ahora bien; dijimos al comienzo que con poner a tierra no alcanza para proteger a las personas del contacto indirecto. Pero para saber hasta que punto esto es cierto debemos hacer algunos cálculos para saber que valores probables puede alcanzar la U_t en ambos ECT.

Imaginemos que en el ECT TT la resistencia de nuestra puesta a tierra de protección R_a tiene un valor igual a 10 Ω (ohm) y que la puesta a tierra del neutro de la distribuidora (puesta a tierra de servicio) R_b tiene un valor de 1 Ω (ohm). En esa hipótesis la corriente de defecto vale (despreciando la resistencia de los conductores metálicos):

$$I_d = U_0 / (R_b + R_a) = 220 / (1 + 10) = 20 \text{ A}$$

Y la tensión de contacto presunta U_t vale:

$$U_t = I_d \times R_a = 20 \text{ A} \times 10 \Omega = 200 \text{ V}$$

Ese valor es el que estaría aplicado a la masa por estar puesta a tierra y es el que recibiría una persona si no está adecuadamente aislada de tierra o sobre una superficie perfectamente equipotencial. Ese es un valor indudablemente mortal.

Se ve claramente que la puesta a tierra POR SI SOLA no resuelve nada: tiene que estar acompañada por un dispositivo que desconecte la alimentación (en un tiempo máximo determinado como se ha indicado más atrás para cada ECT), cuando se produce la falla de aislación a tierra, y esta es **la esencia de la protección por la desconexión automática de la alimentación, que en el ECT TT es la protección diferencial junto a un adecuado sistema de puesta a tierra.**

Los 20 A que hemos calculado en el ejemplo circularían por la protección diferencial de 30 mA, 100 mA o 300 mA (máximo valor de $I_{\Delta n}$ permitido para los diferenciales de las viviendas y oficinas) produciendo el disparo como máximo en 40 ms con $5I_{\Delta n}$ (150 mA para el de 30 mA, 500 mA para el de 100 mA o 1500 mA para el de 300 mA).

Si en lugar de suponer que R_a (Patp de la instalación del usuario) es de 10 Ω , la imaginamos de 40 Ω , (por las malas condiciones del terreno), la corriente que circulará por el lazo de falla sería

$$I_d = U_0 / (R_b + R_a) = 220 / (1 + 40) = 5,37 \text{ A}$$

Esos 5,37 A circularían también por la protección diferencial de 30 mA, 100 mA o 300 mA (máximo valor de $I_{\Delta n}$ permitido para los diferenciales de las viviendas y oficinas) produciendo el disparo como máximo en 40 ms con $5I_{\Delta n}$ (150 mA para el de 30 mA, 500 mA para el de 100 mA o 1,5 A para el de 300 mA).

En cualquiera de los dos casos las personas han quedado protegidas.

La tensión que tendría aplicada la masa (tensión que una persona recibiría al hacer contacto con la misma) si no existiera el dispositivo de desconexión (diferencial) sería:

1) en el caso de $R_a=10 \Omega$, la tensión de contacto presunta U_t vale:

$$U_t = I_d \times R_a = 20 \times 10 = 200 \text{ V}$$

2) en el caso de $R_a=40 \Omega$

$$U_t = I_d \times R_a = 5,37 \times 40 = 214,8 \text{ V}$$

cualquiera de ellas mortal si la persona no está adecuadamente aislada de tierra o sobre una superficie perfectamente equipotencial o si no está protegida por un dispositivo diferencial.

Si se piensa que podemos resolver el problema bajando R_a (Pats) a, por ejemplo, 1Ω estamos equivocados (sin considerar que obtener 1Ω es prácticamente impracticable en este tipo de instalaciones).

Si $R_a=R_b=1 \Omega$, la corriente de falla sería

$$I_d = U_0 / (R_b + R_a) = 220 / (1+1) = 110 \text{ A}$$

y la tensión de contacto presunta sería ahora

$$U_t = I_d \times R_a = 110 \times 1 = 110 \text{ V}$$

tensión también mortal si la persona no está adecuadamente aislada de tierra o sobre una superficie perfectamente equipotencial o si no está protegida por un dispositivo diferencial.

En este hipotético y extremo caso de bajísimo valor para R_a , un pequeño interruptor automático termomagnético (PIA) de 10 A y curva C, dispararía entre 50 y 100 A, pero podría no cumplir con el tiempo de 60 ms exigido (por Norma el PIA debe disparar dentro de los 100 ms). Además no podríamos emplear PIA de 16 A o más de curva C y no podemos garantizar en este tipo de instalaciones la permanencia en el tiempo de un valor tan bajo de resistencia. Por estas razones no se permite en los ECT TT para la protección contra los contactos indirectos por desconexión automática de la alimentación el empleo de protección contra sobrecorrientes.

Como dato informativo, hay que aclarar que pocos países establecen el valor de la resistencia de puesta a tierra de protección. La mayoría exige que no se deben superar los valores adoptados en ellos para las tensiones convencionales límites de contacto (U_L) que en general, siguiendo a la IEC, son 50 V CA (120 V CC) para ambientes secos y húmedos) y 25 V CA (60 V CC) para ambientes mojados.

En estas condiciones, cuando en esos países se exige no superar 50 V de U_L y si se emplean ID de $I_{\Delta n}=30 \text{ mA}$ se puede tener una R_{patp} de $1666,66 \Omega$ ($1666,66 \Omega \times 0,03 \text{ A} = 50 \text{ V}$).

En las mismas condiciones, cuando en esos países se exige no superar 25 V de U_L y si también se emplean interruptores diferenciales de $I_{\Delta n}=30 \text{ mA}$ se puede tener una R_{patp} de $833,33 \Omega$ ($833,33 \Omega \times 0,03 \text{ A} = 25 \text{ V}$).

Dentro de los pocos países en los que se establecen valores máximos para la R_{patp} se encuentran entre otros, Bélgica que permite un máximo de 100Ω , Holanda que permite un máximo de 166Ω y Francia que permite para las viviendas un valor de 100Ω . En Francia además se indica que cuando, por la alta resistividad del suelo la R_{patp} supera los 100Ω , el interruptor diferencial deberá ser como máximo de $I_{\Delta n}=500 \text{ mA}$ y cuando la R_{patp} supera los 500Ω se debe emplear interruptor diferencial de cómo máximo $I_{\Delta n}=30 \text{ mA}$ para toda la instalación.

Siempre para el ECT TT y cuando salimos del ámbito doméstico (personas BA1, BA2 y BA3) y pasamos a instalaciones operadas por personal capacitado (BA4 y BA5) en las que puede resultar indispensable tener selectividad diferencial (para cualquier valor de corriente diferencial), la Reglamentación AEA 90364 exige valores más bajos de R_{patp} a medida que se aumenta la corriente diferencial, adoptando como pauta no superar los 12 V de tensión de contacto.

Así, por ejemplo, si en el tablero principal de una planta industrial ponemos un interruptor automático con toroide y relé diferencial o interruptor automático con módulo diferencial incorporado y calibramos la $I_{\Delta n}$ en 10 A, en ese caso la R_a debe ser $1,2 \Omega$ o menos (sin considerar el tiempo de retardo que depende de cada caso).

Si en el tablero principal de otra planta industrial o de un gran shopping ponemos un interruptor automático con toroide y relé diferencial o interruptor automático con módulo diferencial incorporado y calibramos la $I_{\Delta n}$ en 20 A, en ese caso la R_{patp} debe ser $0,6 \Omega$ o menos.

Dos últimos comentarios en relación con los contactos indirectos.

1) La protección diferencial fue creada para la protección contra los contactos indirectos. Cuando la misma es de $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ protege también contra los contactos directos y cuando la $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ además de proteger de los contactos indirectos, protege también de los riesgos de incendio.

2) Cualquiera sea el ECT, TT o TN-S, es obligatoria la protección contra los contactos indirectos en todos los circuitos. En particular, en el ECT TT los circuitos terminales y los circuitos seccionales deben estar protegidos con dispositivos diferenciales, protección que sólo puede ser obviada cuando la parte de la instalación a proteger está ejecutada en doble aislación, tema que será motivo de otro artículo.