

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



## **USO DEL INTERRUPTOR DIFERENCIAL PARA LA PROTECCIÓN EN BAJA TENSIÓN**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELÉCTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**RAÚL PEÑAFORT SOVERO CALDERÓN**

**PROMOCIÓN**

**2001 - I**

**LIMA – PERÚ**

**2010**

# **USO DEL INTERRUPTOR DIFERENCIAL PARA LA PROTECCIÓN EN BAJA TENSIÓN**

Agradezco primeramente a Dios, a mi madre por su apoyo, a mis profesores; que me brindaron los conocimientos necesarios para contribuir con mi país.

## SUMARIO

El presente informe de suficiencia, trata de la Importancia del uso del Interruptor Diferencial para la Protección de la vida humana en los circuitos eléctricos de Baja Tensión, aplicando la Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico; en donde se hace un análisis, de las condiciones como se encuentran los sistemas de baja tensión, se observa que es practica común no hacer uso de los Interruptores Diferenciales (ID), los accidentes que se producen y la protección adecuada que se debe de utilizar. Observaremos las normas que se aplican y como es que los accidentes al utilizar los ID se han reducido considerablemente.

Los ID han sido analizados de acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP-IEC 61008-1), manuales de fabricación y sistemas de operación, de los tipos de equipos e instalaciones que vienen operando en la actualidad y de la experiencia de Ingenieros y Técnicos que laboran en el área de mantenimiento de tableros, en donde se instalan los ID. Se analizara el principio de funcionamiento de los ID, y como procesa la corriente de falla a través del dispositivo de maniobra y de disparo, sus características de funcionamiento y su ubicación dentro de los tableros.

Se revisara la coordinación con la protección del circuito, el esquema de coordinación de selectividad horizontal, vertical, amperimétrica, cronométrica y su acción de operación cuando se presentan las corrientes debidas al rayo atmosférico.

Siendo muy importante la capacitación del personal en el área de riesgos eléctricos y en como prevenir dichos riesgos a los que comúnmente estamos expuestos.

## INDICE

<b>PROLOGO</b>	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>1.1. Accidentes eléctricos: Contacto Directo y Contacto Indirecto.</b>	2
<b>1.1.1. Contacto directo</b>	2
<b>1.1.2. Contacto indirecto</b>	3
<b>1.2. Resistencia, Efecto y Tiempo de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano</b>	3
<b>1.2.1. Valores Promedio De Resistencia Del Cuerpo Humano a la Corriente Eléctrica</b>	3
<b>1.2.2. Efectos De La Intensidad De Corriente Eléctrica Sobre El Cuerpo Humano</b>	4
<b>1.2.3. Tiempo De Duración Del Contacto Eléctrico</b>	4
<b>1.3. Dispositivo de Protección en los Tableros</b>	4
<b>1.3.1. Interruptor general automático</b>	5
<b>1.3.2. Interruptor diferencial</b>	5
<b>1.3.3. Interruptores automáticos</b>	6
<b>1.3.4. Limitador de sobretensión</b>	6
<b>1.3.5. Borne de protección</b>	6
<b>CAPITULO II</b>	
<b>PROTECCION</b>	
<b>2.1. Protección de las personas contra contactos directos e indirectos</b>	7
<b>2.1.1. Protección Contra los Contactos Directos.</b>	7
<b>2.1.2. Protección Contra los Contactos Indirectos</b>	8
<b>2.1.3. Barras de Tierra y de Neutro</b>	13

<b>2.2. Sistemas de Baja Tensión TT, TI y TN</b>	14
2.2.1. Esquema TT	14
2.2.2. Esquema IT	17
2.2.3. Esquema TN	19
<b>2.3. Normas y Reglamentos.</b>	21

### **CAPITULO III**

#### **INTERRUPTORES DIFERENCIALES.**

<b>3.1. Principio de Funcionamiento.</b>	24
3.1.1. Captador.	26
3.1.2. El bloque de tratamiento de la señal.	32
3.1.3. El relé de medida y disparo.	32
3.1.4. El dispositivo de maniobra	34
<b>3.2. Características de Funcionamiento.</b>	34
<b>3.3. Valores normalizados de corriente diferencial</b>	36
<b>3.4. Requerimiento de Puesta a Tierra.</b>	36
<b>3.5. Ubicación Dentro de los Tableros.</b>	37

### **CAPITULO IV**

#### **COORDINACIÓN CON LA PROTECCIÓN DEL CIRCUITO**

<b>4.1. Tableros Principales</b>	39
<b>4.2. Tableros Secundarios</b>	39
<b>4.3. Esquemas de Coordinación</b>	41
4.3.1. Selectividad horizontal	41
4.3.2. Selectividad vertical	42
4.3.3. Selectividad amperimétrica (parcial)	43
4.3.4. Selectividad cronométrica (total)	43
4.3.5. Corrientes debidas al rayo	44

<b>4.3.6. Para Redes de B.T. en zonas con alto índice de rayos atmosféricos.</b>	<b>45</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO A:</b>	
<b>Tiempo de corte máximo del dispositivo de protección</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO B:</b>	
<b>Curva del Tiempo de Contacto vs la Tensión de contacto y Efecto de la corriente alterna sobre las personas</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO C:</b>	
<b>Determinación de las distancias de aislamiento y de las líneas de fuga</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS D:</b>	
<b>Tipos de esquemas de puesta a tierra</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>62</b>

## PROLOGO

El propósito de este informe es promover el uso de los ID para la protección de la vida, porque actualmente, los avances tecnológicos permiten a la humanidad tener una mejor calidad de vida. Estos avances tecnológicos requieren de un mayor consumo de energía eléctrica, siendo necesario nuevos dispositivos de sistemas de protección, ID.

Los ID están reconocidos como un medio eficaz para asegurar la protección de personas contra los riesgos de la corriente eléctrica, en Baja Tensión. Para optimizar la elección y la utilización de un ID es necesario un buen conocimiento de las instalaciones eléctricas y los diversos tipos de cargas. La utilización de la tecnología, conlleva medidas de seguridad eléctrica cuando pueda ocurrir alguna falla. La misión principal de un diferencial es evitar los daños causados por electrocuciones a las personas, el ID abre automáticamente un circuito cuando ocurren fugas de corriente.

Los interruptores termomagnéticos abren el circuito ante sobrecargas y cortocircuitos casi nunca operan por efectos de fugas de corriente. Las fugas de corriente pueden estar dañando a las instalaciones eléctricas durante tiempos muy prolongados sin que los usuarios se den cuenta. Cuando no hay instalados Interruptores Diferenciales en un tablero lo más probable es que las fugas de corriente estén pasando desapercibidas.

Los daños que causan el no uso de los ID, conlleva a peligro latente para las personas y que además las fugas de corriente prolongadas pasan por el exceso de consumo eléctrico reflejado en los medidores de energía, y lo que es más peligroso; el recalentamiento paulatino y constante de los conductores que a la larga dañan su aislamiento y lo predisponen para ser fuentes de un falso contacto, lo cual puede acarrear en chisporroteos y hasta incendios. En la gran mayoría de las construcciones de las casas, industrias, e instalaciones de Baja Tensión, no cuentan con un sistema de protección orientada a la vida humana, la gran mayoría de proyectos se preocupa por los cálculos para la duración del sistema eléctrico y la calidad del servicio, pero poco se ha visto en la protección de la vida.



## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Accidentes eléctricos: Contacto Directo y Contacto Indirecto.

Los accidentes eléctricos se producen por el contacto directo o indirecto de una persona con partes activas en tensión.

##### 1.1.1. Contacto Directo

Es el contacto de personas con partes activas de materiales y equipos. Denominándose parte activa al conjunto de conductores y piezas conductoras bajo tensión en servicio normal, como son las partes activas de los tableros eléctricos, los conductores de iluminación, tomacorrientes y derivados, Figura 1.1, generalmente se trata de componentes defectuosos o averiados por el uso, tales como tomacorrientes o enchufes, o bien conductores pelados de artefactos eléctricos domésticos.

El Contacto Directo es sumamente peligrosos para la vida, los accidentes fatales se pueden evitar, cuidando que los elementos eléctricos tales como los, Interruptores, timbres, tomacorrientes o enchufes, conductores aislados, etc; no presenten averías ni daños.

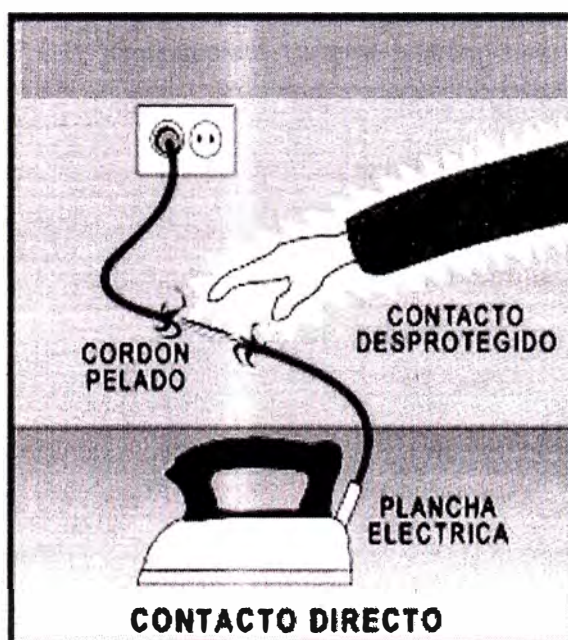


Figura 1.1: Contacto directo

### 1.1.2. Contactos Indirectos

Es el que se produce por efecto de una falla en un aparato receptor o accesorio, desviándose la corriente eléctrica a través de las partes metálicas, Figura 1.2, pudiendo por esta causa entrar las personas en contacto, con algún elemento que no forma parte del circuito eléctrico y que en condiciones normales no deberían tener tensión.

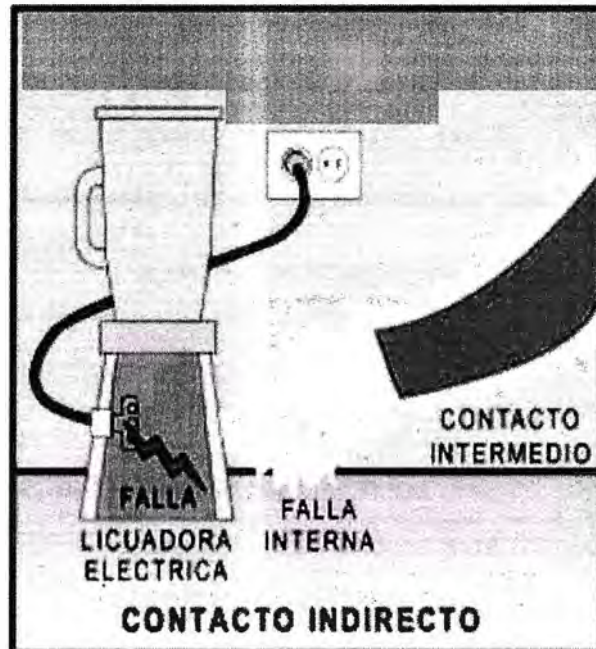


Figura 1.2: Contacto indirecto

## 1.2. Resistencia, Efectos y tiempo de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano.

### 1.2.1. Valores Promedio De Resistencia Del Cuerpo Humano a la Corriente Eléctrica

Según el Código Nacional de Electricidad Tomo I, Tabla 3-IV, establece los valores promedio de resistencia del cuerpo humano a la corriente eléctrica, Tabla N° 1.1.

Tabla N° 1.1 Resistencia del cuerpo a la corriente eléctrica

Piel húmeda y fina	100 a 500 ohmios/cm <sup>2</sup> .
Piel seca y rugosa	100,000 a 600,000 ohmios/cm <sup>2</sup> .
Músculos	3,700 ohmios
Pulmón	6,000 ohmios
Medula espinal	1,200 ohmios
Corazón	380 ohmios
Hígado	3,700 ohmios
Resistencia global del cuerpo	500 ohmios
Calzado seco sin clavos	1,000,000 ohmios/dm <sup>2</sup> .
Calzado ligeramente húmedo	5,000 ohmios/dm <sup>2</sup> .
Calzado mojado	100 ohmios/dm <sup>2</sup> .

### 1.2.2. Efectos De La Intensidad De Corriente Eléctrica Sobre El Cuerpo Humano

Según el Código Nacional de Electricidad Tomo I, Tabla 3-V, establece los Efectos De La Intensidad De Corriente Eléctrica Sobre El Cuerpo, Tabla N° 1.2.

**Tabla N° 1.2** Efecto de la corriente sobre el cuerpo

Inferior a 25 mA	Contracciones musculares, aumento de la tensión sanguínea.
25 a 80 mA	Posibles perturbaciones en los ritmos cardiacos y respiratorios con parada temporal del corazón y respiración.
80 mA a 3 A.	Especialmente peligrosa. Puede ocasionar fibrilación ventricular, de consecuencias mortales en la mayoría de los casos.
Mayor a 3 A.	Perturbación del ritmo cardiaco. Posibilidad de parálisis cardiaca y respiratoria.

### 1.2.3. Tiempo De Duración Del Contacto Eléctrico

Según el Manual INDECI, curso de capacitación para inspectores tema 14, del 2004. Depende de cantidad de electricidad (Intensidad-Tiempo), Tabla N° 1.3.

**Tabla N° 1.3** Duración del contacto eléctrico

<b>Intensidad de Corriente</b>	<b>Tiempo de Contacto</b>	<b>Resultados</b>
20 – 50 mA	< 1 Seg.	No mortal
	> 1 Seg.	Calambres músculos de respiración; posible muerte asfixia.
50 – 500 mA	0,2 a 5 seg.	Posible paro respiratorio y/o fibrilación ventricular; paro cardiaco.
> 500 mA		Peligro de muerte por parálisis de centros nerviosos

### 1.3. Dispositivos de Protección en el Tablero eléctrico

Los dispositivos de protección en los tableros deben estar de acuerdo al Código Nacional de Electricidad Tomo V, Sección 150-400, año 2006. El tablero general; es el que aloja todos los componentes de seguridad, de protección y de distribución de la instalación interior de cada unidad de vivienda.

En este mismo tablero se instalarán los dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos de cada uno de los circuitos interiores de la unidad de vivienda, y un interruptor diferencial destinado a la protección contra contactos directos e indirectos. Todos estos dispositivos de mando y protección se consideran independientes de cualquier otro. En el tablero general, se instalarán los siguientes dispositivos.

### 1.3.1. Interruptor general automático

De accionamiento manual de protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Será el encargado de proteger la derivación individual contra sobrecargas. Se utilizará como desconectador general de la instalación interior y será de corte omnipolar (corte de todos los conductores activos).

### 1.3.2. Interruptor diferencial

Es el encargado de proteger a personas y cosas contra los contactos directos e indirectos. Su intensidad nominal deberá estar por encima de la máxima prevista a demandar por los circuitos que se derivan de él. Deberá resistir las corrientes de cortocircuito que puedan presentarse en el punto de su instalación.

La elección de la sensibilidad en cada caso viene determinada por la condición de que el valor de la resistencia a tierra de las masas, medida en cada punto de conexión de las mismas, debe cumplir la relación:

$$R_e \leq \frac{U_b}{I_f} \quad (1.1)$$

$R_e$  = Resistencia de tierra en  $\Omega$ .

$U_b$  = Potencial de toque en V.

$I_f$  = Corriente nominal de fuga en A.

$U_b = 50$  V en locales o emplazamientos secos.

$U_b = 24$  V en locales o emplazamientos húmedos o mojados.

$I_f$  podrá variar, siendo los valores habituales hasta 30 mA, protección para contactos directos e indirectos más de 30 mA serán aptos solo para proteger contra contactos indirectos.

En el caso de instalaciones interiores o receptoras de gran complejidad o extensión se recomienda utilizar interruptores diferenciales ubicados en distintos lugares (en cascada); de modo que puedan actuar selectivamente.

### **1.3.3. Interruptores automáticos**

El tablero general estará compuesto también por varios I.A.C. (Interruptor automático de circuitos) según NTP-IEC 60898-1 magnetotérmicos, para proteger cada uno de los circuitos independientes contra sobrecargas y cortocircuitos. Dispondrá de uno por circuito y sus características de interrupción estarán de acuerdo con las corrientes admisibles en los conductores del circuito que protegen.

El número mínimo de circuitos y por tanto de I.A.C.S., dependerá del grado de electrificación de la vivienda. Estos interruptores deberán coordinarse en su operación con los otros dispositivos de protección generales de modo de actuar selectivamente.

### **1.3.4. Limitador de sobretensión**

Un limitador de sobretensión transitoria para zonas donde existen presencia de rayos; es un equipo diseñado para limitar sobretensión de origen atmosférico (en kV) y derivar a tierra las corrientes de impulso (en kA), así como también limitar la amplitud de esta sobretensión a un valor inofensivo para la instalación y sus equipos. Permiten de esta forma evitar en el corto plazo el envejecimiento de los componentes de sus equipos y en el largo plazo aumentar su vida útil. El limitador de sobretensiones transitorias es un dispositivo destinado a limitar las sobretensiones transitorias y a derivar las ondas de corriente hacia tierra para limitar la amplitud de estas sobretensiones a un valor no peligroso para la instalación.

### **1.3.5. Borne de protección a tierra**

El tablero general dispondrá también de un borne de conexión para los conductores de protección o tierra donde llega el conductor general de tierra y de donde salen las tierras de cada circuito, y en el caso de tableros metálicos estarán conectados además a la cubierta de dichos tableros.

## **CAPITULO II**

### **PROTECCION**

#### **2.1. Protección de las personas contra contactos directos e indirectos**

Los Dispositivos de Protección son los implementos para proteger a toda persona y a los trabajadores de los posibles accidentes eléctricos. Entendiéndose como accidente a todo hecho no deseado.

Estos dispositivos son aislamientos de las partes activas como barreras, obstáculos, interruptor diferencial, puestas a tierra, así como equipo de protección personal para trabajadores; cascos protector, guantes aislantes, calzado de seguridad, anteojos de protección. La protección de contactos directos e indirectos es de distintas formas.

##### **2.1.1. Protección Contra los Contactos Directos.**

###### **a) Protección por aislamiento de las partes activas**

El aislamiento tiene por finalidad impedir todo contacto con las partes activas. Las partes activas deben estar completamente recubiertas por un aislamiento que sólo pueda quitarse por destrucción.

Para los materiales producidos en fábrica, el aislamiento debe estar conforme a los requisitos correspondientes relativos a estos materiales.

Para los demás materiales, la protección debe garantizarse mediante un aislamiento que pueda soportar, de manera duradera, las limitaciones a las cuales puede estar sujeto, tales como influencias mecánicas, químicas, eléctricas y térmicas.

Las pinturas, barnices, lacas y productos análogos, por regla general, no se considera que constituyan un aislamiento suficiente en el marco de la protección contra los contactos directos en servicio normal.

###### **b) Protección mediante barreras o envolventes**

Las barreras o envolventes; son las cajas o tapas de los tableros que son de material aislante o metálicos conectados a tierra, tienen la intención de prevenir cualquier contacto con partes vivas.

**c) Protección mediante obstáculos**

Los obstáculos están destinados a impedir los contactos fortuitos con las partes activas, pero no los contactos voluntarios mediante un intento deliberado de contornear el obstáculo.

Los obstáculos deben impedir una aproximación física no intencionada a las partes activas; los obstáculos pueden ser desmontables sin ayuda de una llave, sin embargo, deben sujetarse de manera que se impida todo desmontaje involuntario.

**d) Protección por puesta fuera de alcance por alejamiento**

La puesta fuera de alcance por alejamiento está destinada únicamente a impedir contactos fortuitos con partes activas. En ambientes con partes a diferente potencial simultáneamente accesibles, estas deben estar fuera del alcance de la persona.

**e) Protección complementaria por dispositivos de protección de corriente diferencial – residual**

La utilización de dispositivos de corriente diferencial - residual sólo sirve para reforzar otras medidas de protección contra los choques eléctricos en servicio normal. El empleo de dispositivos de corriente diferencial - residual, cuya corriente diferencial asignada de funcionamiento es inferior o igual a 30 mA, está reconocido como una medida de protección complementaria en servicio normal, en caso de falla de otras medidas de protección contra los contactos directos o en caso de imprudencia por parte de los usuarios.

**2.1.2. Protección Contra los Contactos Indirectos**

El corte automático de la alimentación está prescrito cuando puede producirse un riesgo de efecto fisiológico peligroso en una persona, en caso de defecto, debido al valor y la duración de la tensión de contacto.

Esta medida de protección requiere de la coordinación entre los esquemas de las conexiones a tierra y las características de los conductores y los dispositivos de protección.

**a) Interrupción de la alimentación**

Por interrupción de la alimentación eléctrica se entiende el corte de la corriente necesaria, de cualquier modo que no sea el apagado normal del equipo.

El efecto de dicha interrupción es el bloqueo que pierde todo contacto con las partes activas del sistema de alimentación eléctrica. Un dispositivo de protección debe aislar automáticamente de la alimentación el circuito.

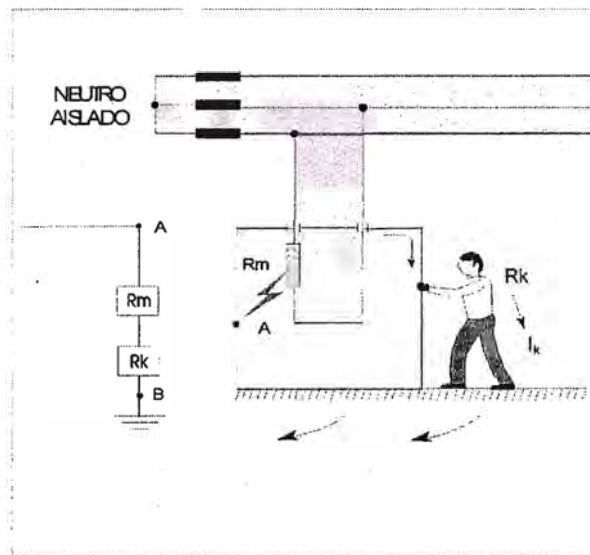
## b) Puesta a Tierra y Conductores de Protección

Las masas deben conectarse a conductores de protección en condiciones específicas para cada esquema de conexión a tierra. Las masas accesibles simultáneamente deben conectarse al mismo sistema de puesta a tierra, individualmente, en grupos o colectivamente.

### b.1) Sistemas 220 V con Neutro aislados

#### □ Instalación Sin Puesta a Tierra del Usuario

La Tensión entre los extremos de una falla a través de una Persona ( $R_k=1000\Omega$ ) sin Resistencia de contacto con el suelo produce corrientes ( $I_k$ ) peligrosas, Figura 2.1.



**Figura 2.1:** Falla en el circuito del usuario sin puesta a tierra

$$V_f = V_n / \sqrt{3} \quad (2.1)$$

$$I_k = \frac{V_f}{R_k} = \frac{127}{1000} = 127 \text{ mA (Falla Simple)}$$

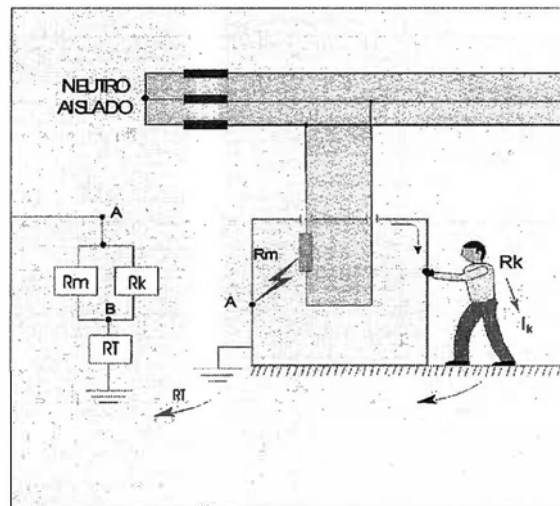
Existiendo una falla previa en uno de los conductores sanos, la tensión será ( $V_n$ ).

$$I_k = \frac{220}{1000} = 220 \text{ mA (con Falla Doble)}$$

#### □ Instalación Con Puesta a Tierra del Usuario

Bajo idéntica situación desventajosa (puntos de contacto  $R=0$ ) para la falla de una fase a tierra, Figura 2.2, se obtendrán corrientes ( $I_k$ ) no peligrosas; datos:  $R_t=25\Omega$ ;  $R_m=2\Omega$ ;  $R_k=1000\Omega$ .





**Figura 2.2:** Falla en el circuito del usuario con puesta a tierra

$$R = R_t + \frac{R_k \times R_m}{R_k + R_m} = 25 + \frac{1000 \times 2}{1002}$$

$$R = 25 + 1.996 = 26.99 \Omega$$

$$I_f = \frac{U_n / \sqrt{3}}{R} = \frac{127}{26.99} = 4.70 A$$

$$V_{AB} = I_f \times R_e = 4.7 \times 1.996 = 9.36 V$$

$$I_k = \frac{V_{AB}}{R_k} = \frac{9.36}{1000} = 0.0093 A = 9.3 mA$$

Con Falla Doble:

$$I_f = \frac{V_n}{R} = \frac{220}{26.99} = 8.15 A$$

$$V_{AB} = I_f \times R_{AB} = 8.15 \times 1.996 = 16.26 V$$

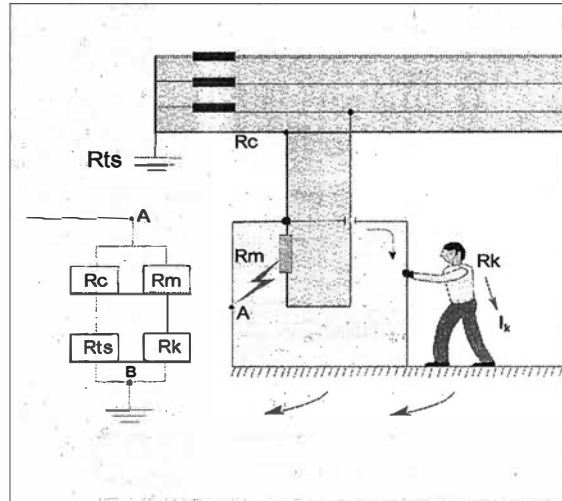
$$I_k = \frac{V_{AB}}{R_k} = \frac{16.26}{1000} = 16.26 mA$$

Para derivar las corrientes de falla será necesario un trayecto de baja Resistencia entre Masas de aparatos y el suelo (Tierra).

## b.2) Sistemas 220 V con Neutro Puesto a Tierra

### □ Instalación Sin Puesta a Tierra del Usuario

La Tensión entre los extremos de una falla a través de una Persona sin Resistencia de contacto con el suelo ( $V_f = V_n / \sqrt{3}$ ), produce corrientes ( $I_k$ ) peligrosas, Figura 2.3; la protección impide la falla doble.



**Figura 2.3:** Falla en el circuito del usuario sin puesta a tierra

$$R_a = R_c + R_{ts} = 0.17 + 6 = 6.17 \Omega$$

$$R = \frac{R_k \times R_a}{R_k + R_a} = \frac{1000 \times 6.17}{1006.17} = 6.132 \Omega$$

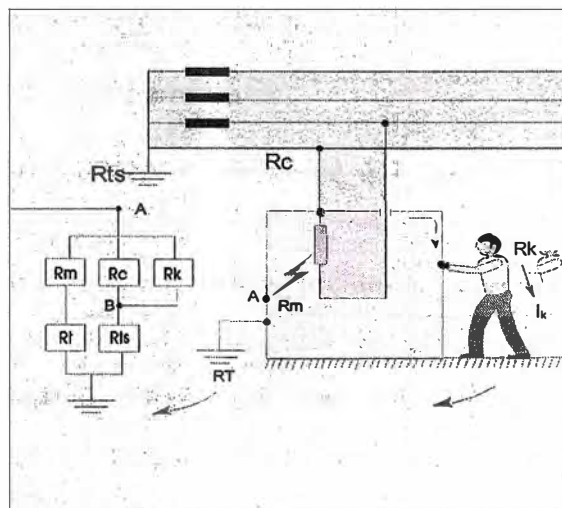
$$I_f = \frac{U_n / \sqrt{3}}{R} = \frac{127}{6.132} = 20.71 A$$

$$V_{AB} = I_f \times R = 20.71 \times 6.13 = 127 V$$

$$I_k = \frac{V_{AB}}{R_k} = \frac{127}{1000} = 0.127 A = 127 mA$$

#### □ Instalación Con Puesta a Tierra del Usuario

Bajo idéntica situación desventajosa (puntos de contacto  $R = 0$ ) para la falla Fase – Tierra, Figura 2.4, se tendrán corrientes ( $I_k$ ), no peligrosas:



**Figura 2.4:** Falla en el circuito del usuario con puesta a tierra

$$R_b = \frac{R_k \times R_c}{R_k + R_c} = \frac{1000 \times 0.17}{1000.17} = 0.169 \Omega$$

$$R_a = R_b + R_{ts} = 0.169 + 6 = 6.169 \Omega$$

$$R_s = R_m + R_t = 2.0 + 25 = 27 \Omega$$

$$R = \frac{R_a \times R_s}{R_a + R_s} = \frac{6.169 \times 27}{6.169 + 27} = 5.02 \Omega$$

$$I_f = \frac{U_n / \sqrt{3}}{R} = \frac{127}{5.02} = 25.30 A$$

$$V_{AB} = I_f \times R_b = 25,30 \times 0.169 = 4.27 V$$

$$I_k = \frac{V_{AB}}{R_k} = \frac{4.27}{1000} = 0.00427 A = 4.27 mA$$

Será necesario proveer para las corrientes de falla, un trayecto de baja Resistencia entre las Masas de los Aparatos eléctricos y el suelo (Tierra).

### c) Conexión equipotencial principal

En cada instalación las siguientes partes conductoras deben conectarse a la conexión equipotencial principal:

- el conductor de protección principal;
- el conductor principal de tierra o el borne principal de tierra;
- canalizaciones metálicas de servicios en el interior de la instalación, por ejemplo: agua, gas; partes de estructuras metálicas, sistemas centrales de calefacción y aire acondicionado, si existen.

Cuando tales elementos conductores provengan del exterior de la instalación, la conexión debe efectuarse lo más cerca posible a su punto de entrada.

### d) Conexión equipotencial complementaria

Si las condiciones de protección definidas por el apartado 2.1.2.a) no pueden cumplirse en una instalación o parte de la instalación, se ha de realizar una conexión local denominada conexión equipotencial complementaria. La utilización de conexiones equipotenciales complementarias no exime de la obligación de interrupción de la alimentación por otros motivos, tales como protección contra incendios, limitaciones térmicas de los materiales, etc.; Esta conexión equipotencial complementaria puede abarcar toda la instalación, una parte de ésta, un aparato o un emplazamiento. Adicionalmente son importantes los esquemas de conexión.

- Esquema TT; el neutro del transformador esta conectado a tierra y las masas metálicas normalmente conectados a tierra.
- Esquema IT; el neutro del transformador esta aislado y las masas metálicas normalmente conectados a tierra.
- Esquema TN; el neutro del transformador esta conectado a tierra y las masas metálicas conectados al neutro.

### **2.1.3. Barras de Tierra y de Neutro**

#### **a) Barras de Tierra**

Las barras de tierra cumplen una función muy importante, al asegurar la disipar cargas estáticas de los equipos electrónicos, ya sea computadoras o equipos de telecomunicación, etc. En un sistema de puesta a tierra, la barra de tierra es el elemento final encargado de descargar las cargas estáticas y corrientes de cortocircuito hacia las capas inferiores del suelo. En más de la mitad de los casos en los que se presenta una corriente de cortocircuito, esta es atribuida a descargas atmosféricas, en lugares donde existen presencia de rayos, y en la mayoría de los casos que ocurren daños a personas o a equipos son por una puesta a tierra defectuosa. Conexión en el circuito, debe de estar a todas las salidas de tomacorrientes o líneas que requieran una carga eléctrica. Conexión en el tablero, ordenado para todo el sistema eléctrico. Conexión a la puesta a tierra, es la que tiene la función de proteger el sistema.

#### **b) Barras de Neutro**

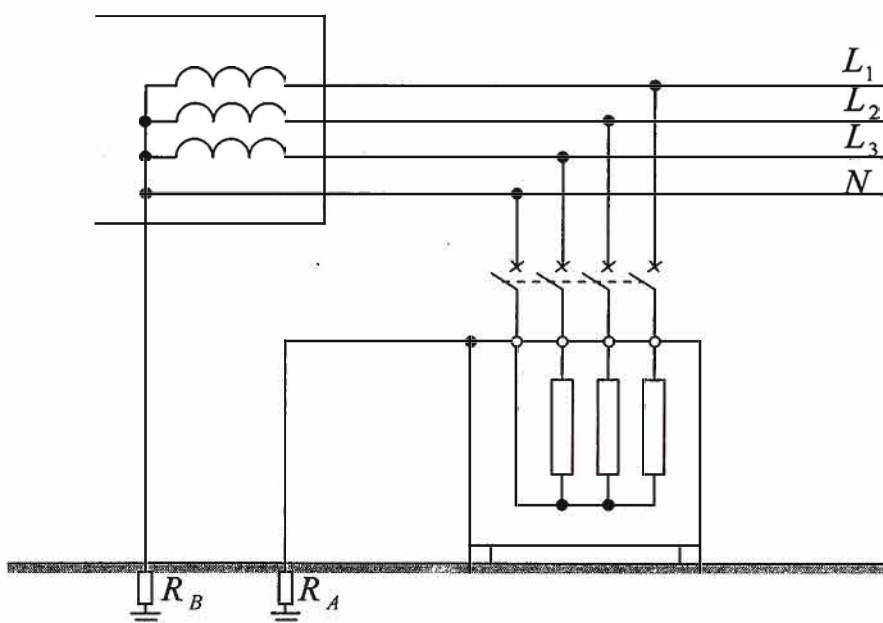
Las Barras del neutro conectados a través de Resistencias o Impedancias en redes de servicio, tiene la finalidad de evitar los daños por las fallas (por corriente, por arco, o por transitorios). En sistemas particulares, puede ser necesaria la conexión con Resistencias o Impedancias o utilizarse el neutro aislado, deben ser conectadas al neutro del sistema alimentador (Acometida), al “centro eléctrico” de la subestación y al neutro de las cargas. El neutro de alimentadores monofásicos tendrá la misma sección del conductor de fase. El neutro de alimentadores trifásicos que sirvan Cargas Lineales tales como alumbrado incandescente, calefacción y fuerza, se dimensionará de modo tal que su sección sea a lo menos igual al 50% de la sección de las fases. El neutro de alimentadores trifásicos o de circuitos trifásicos que sirvan cargas no lineales, tales como rectificadores, reguladores de

velocidad, etc., se dimensionará de modo tal que su sección sea a lo menos igual a la sección de los conductores de fases.

## 2.2. Sistemas de Baja Tensión TT, IT y TN

### 2.2.1. Esquema TT

Este tipo de esquema es el más utilizado en la actualidad. Se emplea en todas las instalaciones domésticas y la mayoría del resto de instalaciones eléctricas. Este esquema de conexión a tierra corresponde a las instalaciones alimentadas directamente por una red de distribución en B.T. en las que el neutro del transformador de alimentación está conectado directamente a tierra, y las partes metálicas de los receptores están unidas a otra toma de tierra, Figura 2.5.



**Figura 2.5:** Neutro y partes metálicas conectados a tierra

#### a) La protección de personas contra los contactos indirectos.

En este caso, un defecto de aislamiento fase-masa, Figura 2.6, provoca la circulación de una corriente de fuga a tierra  $I_d$  que únicamente está limitada por las resistencias de la toma de tierra ( $R_A$  y  $R_B$ ) y la resistencia del defecto de aislamiento ( $R_d$ ):

$$I_d = \frac{U}{R_A + R_B + R_d} < \frac{U_L}{R_A} \quad (2.2)$$

Donde  $U_L$  es la tensión de contacto máxima admisible por el cuerpo humano, en un entorno determinado. Según el tipo de local, se definen tres valores de tensión de seguridad, que no deben rebasarse, (12 V, 25 V o 50 V)

- 50 V para los locales secos.
- 25 V para los locales húmedos.
- 12 V para los locales mojados.

Estas tensiones, consideradas como no peligrosas, provocan la circulación, por el cuerpo humano, de una corriente inferior a 25-30 mA (límite en el que se tiene posibilidad de parálisis respiratoria), ver apartado 1.2.2. Como la peligrosidad de la corriente eléctrica va directamente asociada al tiempo de circulación, se establecen tres curvas de seguridad que dan el tiempo máximo de paso de la corriente en función de la tensión de contacto (ver anexo A, anexo B y anexo B1). Así pues, los tiempos de respuesta de los dispositivos diferenciales residuales vienen impuestos por estas curvas de seguridad para las personas.

La tensión de contacto  $U_c$  se define como el potencial que puede alcanzar una masa metálica de un receptor, debido a un defecto de aislamiento en el mismo, respecto a otro punto simultáneamente accesible por una persona, generalmente la tierra.

Tendremos que en este régimen TT la tensión de contacto es igual a:

$$U_c = I_d \times R_A \quad (2.3)$$

es decir

$$U_c = \frac{R_A}{R_A + R_B} U \quad (2.4)$$

Donde  $U$  es la tensión fase-neutro, y ha despreciado  $R_d$ , valor muy pequeño comparado con  $R_A$  y  $R_B$ . Así, la carcasa del receptor puede alcanzar una  $U_c$  peligrosa. A través del siguiente ejemplo veremos que en TT la intensidad de defecto correspondiente es del orden de algunos amperios y se alcanza una  $U_c$  elevada. La desconexión será obligatoria.

**Ejemplo**, Figura 2.6.

Con  $U = 220 \text{ V}$ ,  $R_A = R_B = 10\Omega$  y  $R_d = 0$ .

La intensidad de la ecuación 2.2, de defecto ( $I_d$ ), será:

$$I_d = \frac{U}{R_A + R_B + R_d} \quad (2.5)$$

$$I_d = \frac{220}{10 + 10 + 0} = 11 \text{ A}$$

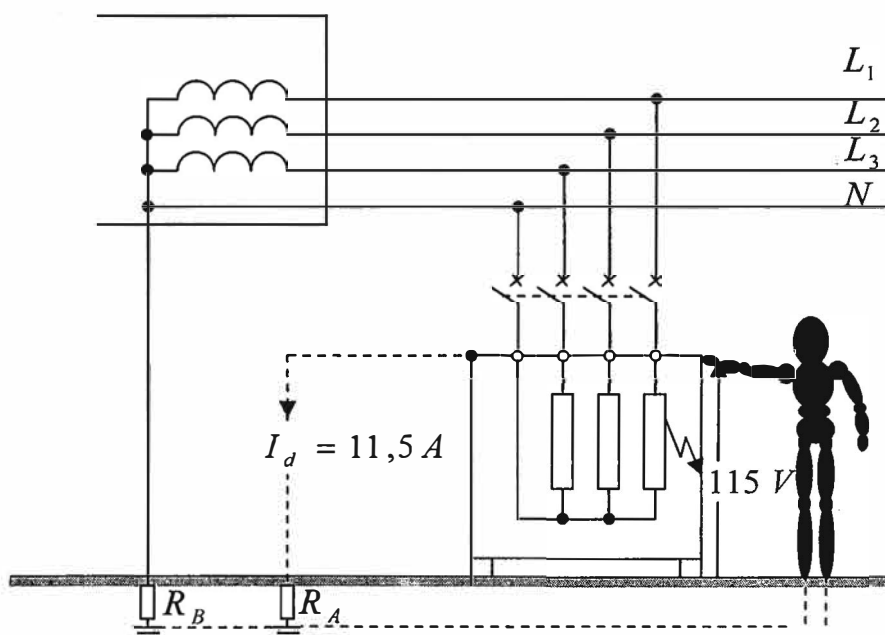
Con lo que la tensión de contacto ( $U_C$ ) que se generará, será de  $U_C = I_d \cdot R_A$ ;

$$U_C = 11 \text{ A} \times 10 \Omega = 110 \text{ V}$$

Dicha tensión es muy superior a la tensión límite  $U_L$  y presenta peligro para las personas si éstas se exponen durante más de 0,2 s en un entorno seco y durante más de 0,08 s en un entorno húmedo. La corriente  $I_d$  de 11 A es asimilable a una corriente de cortocircuito, pero es a la vez débil y fuerte; débil porque no dispara ninguna protección convencional del tipo interruptor automático magnetotérmico, y fuerte porque pone en peligro a las personas. Por consiguiente, es preciso añadir al menos un dispositivo diferencial en la cabecera de la instalación.

La sensibilidad del diferencial que debe utilizarse debe ser tal que la tensión de contacto  $U_C$  sea inferior a la tensión límite convencional  $U_L$ , a saber:

$$I\Delta n \leq U_L / R_A \quad (2.6)$$



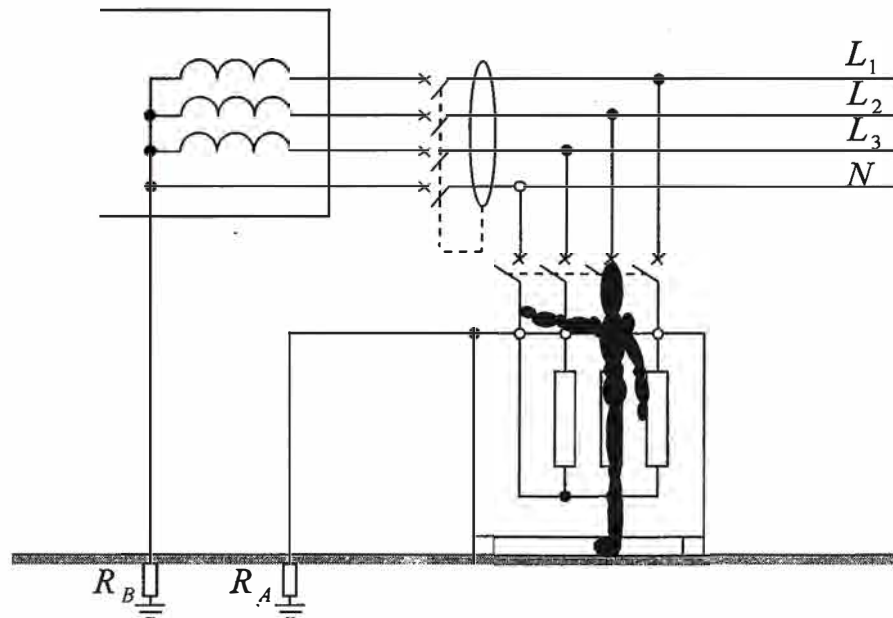
**Figura 2.6:** Intensidad de defecto  $I_d$

### b) Incidencia del esquema TT en el conductor neutro

**Caso de una instalación bajo tensión.** El esquema TT no tiene ningún efecto sobre la protección y el corte del neutro, ya que la corriente de defecto de aislamiento no atraviesa el conductor neutro.

**Caso de una instalación sin tensión.** El seccionamiento del neutro es obligatorio. En efecto, en caso de sobretensión en la MT (fallo o descarga eléctrica del transformador), el

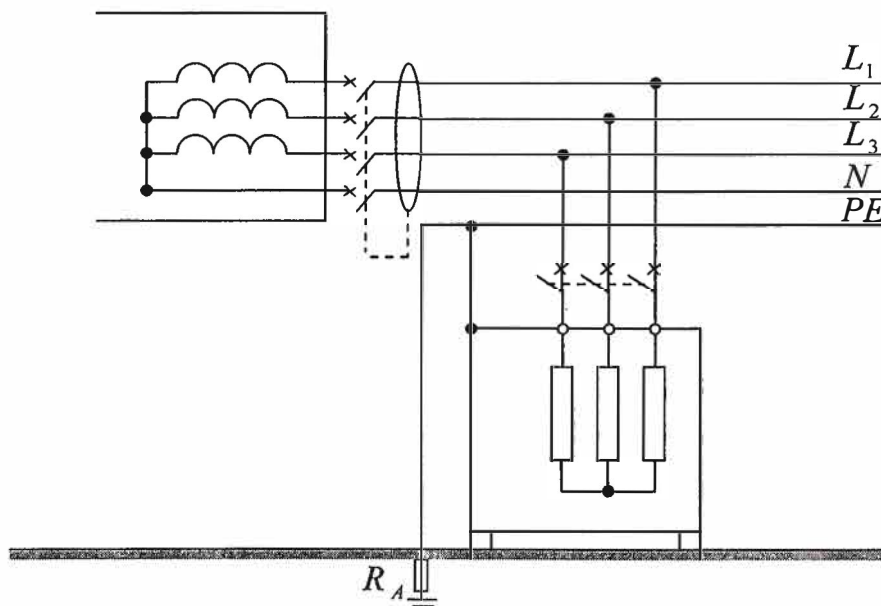
potencial del neutro se eleva y por tanto aparece un potencial muy peligroso de varios cientos de voltios aproximadamente, entre el neutro y la tierra de utilización. Por este motivo, una persona que opere en la máquina puede estar en contacto directo con el conductor de neutro a dicha tensión elevada, lo que conlleva el máximo riesgo, Figura 2.7.



**Figura 2.7:** Máximo riesgo por contacto directo del neutro

### 2.2.2. Esquema IT

En este esquema nos encontramos que el neutro está aislado y no conectado a tierra, mientras que las masas están normalmente conectadas a la tierra de la instalación, Figura 2.8.



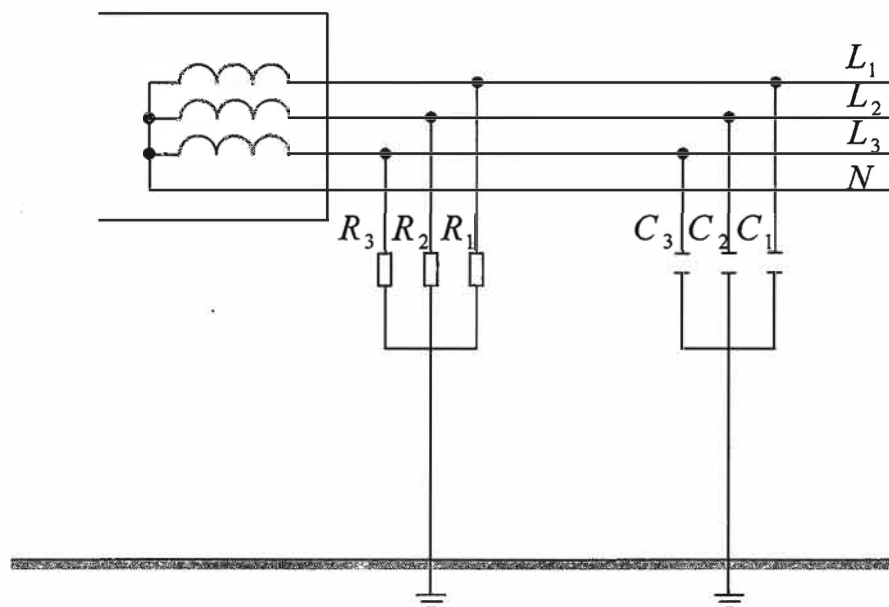
**Figura 2.8:** Esquema neutro aislado



Este tipo de esquema se puede aplicar a instalaciones de Baja Tensión (B.T.) completas alimentadas por un transformador M.T./ B.T., o bien de forma parcial a zonas o “islotos” reducidos dentro de una red de B.T., alimentadas por un transformador de aislamiento separador. Puede además estar prescrito o recomendado por reglamentos oficiales.

**a) La protección de personas contra los contactos indirectos.**

En funcionamiento normal (sin fallos de aislamiento), la red se conecta a tierra a través de la impedancia de fuga de la red, Figura 2.9. Para un cable trifásico, por ejemplo, esta impedancia se caracteriza por valores típicos de capacidad (C) y resistencia (R) de aislamiento que va a depender de la zona donde se ubique la línea.



**Figura 2.9:** Impedancia de fuga de la red

Tendremos pues una impedancia total de línea formada por dos impedancias (resistiva y capacitiva). Puesto que la resultante de las impedancias en paralelo es prácticamente capacitiva, podemos aproximarla a:

$$Z_C = X_C = \frac{1}{C \cdot \omega} \quad (2.7)$$

Con  $\omega = 2\pi f$  y frecuencia de 60Hz.

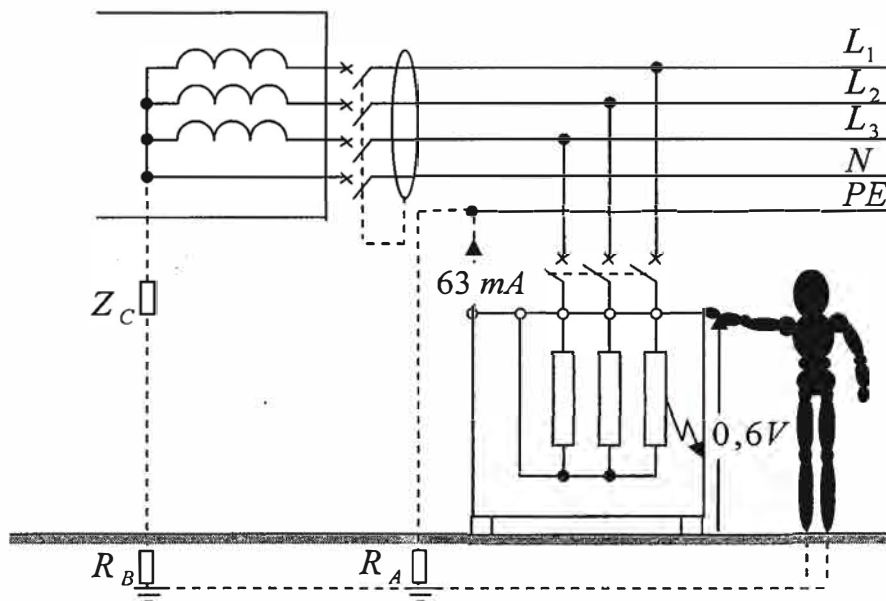
En caso de fallo de aislamiento, Figura 2.10, y para una tensión de 220 V suponiendo que  $Z_C = 3450$ ,  $R_A = R_B = 10 \Omega$ , la corriente de defecto  $I_d$  será de:

$$I_d = \frac{U_o}{Z_C + R_A + R_B} = \frac{220}{3450 + 10 + 10} = 63 \text{ mA}$$

Por lo tanto, no hay riesgo de calentamiento en la red eléctrica. La tensión de contacto  $U_C$  de la masa del receptor tierra será equivalente a:

$$U_C = I_d \cdot R_A = 0,063 \times 10 = 0,6 \text{ V.}$$

Por lo tanto no hay peligro para las personas. No obstante, si se produce un segundo defecto de aislamiento fase-tierra en una fase distinta a la del primer defecto sin haber eliminado el primer defecto, el comportamiento de este esquema de conexión a tierra será análogo al de un esquema TN: es equivalente a un cortocircuito entre fases.



**Figura 2.10:** Esquema neutro aislado

El interruptor automático magnetotérmico de aguas arriba disparará. También se pueden originar sobretensiones en algunos receptores si las cargas afectadas por el defecto no están equilibradas, actuando como un “divisor de tensión”.

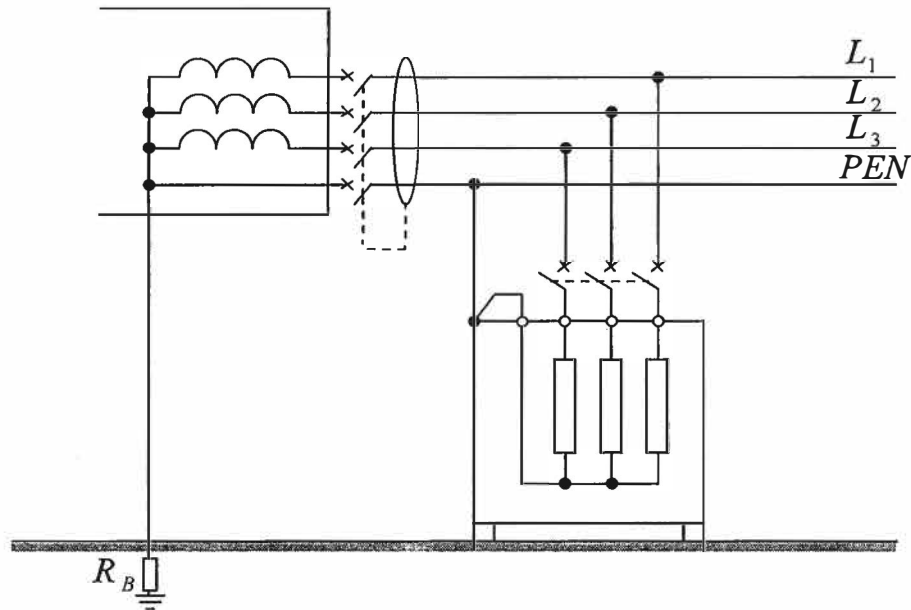
### 2.2.3. Esquema TN

En este esquema el neutro del transformador está conectado a tierra y las masas metálicas de los receptores están conectadas al neutro. Existen tres variantes de régimen de neutro diferenciadas por una tercera letra, Figura 2.11.

**Esquema TN-C:** El conductor de neutro y el de protección PE son el mismo conductor.

**Esquema TN-S:** El conductor de neutro y el conductor de protección PE están separados.

**Esquema TN-C-S:** Mixto, el esquema TN-C debe situarse siempre aguas arriba del esquema TN-S.



**Figura 2.11:** Esquema TN

En el **esquema TN-S**, la corriente de fuga no circula por el suelo sino por el cable PE con resistencia  $R_{PE}$ . En el ejemplo de la, Figura 2.12, el conductor de fase y el conductor PE son de cobre y tienen una longitud de 50 m y una sección de  $35 \text{ mm}^2$ . Calculemos la corriente de defecto:

$$I_d = \frac{U_o}{R_F + R_{PE}}$$

Donde:

$R_F$  = resistencia del conductor de fase.

$R_{PE}$  = resistencia del conductor de protección.

$\rho$  = Resistividad del conductor de cobre ( $1,71 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ).

Reemplazando datos:

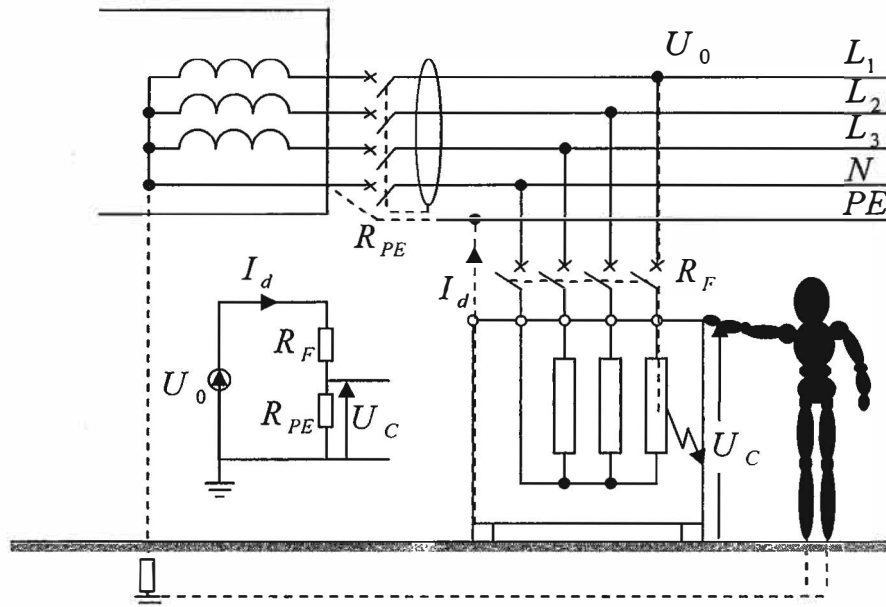
$$R_F = R_{PE} = \rho \frac{L}{S} = 1,71 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \frac{50 \text{ m}}{35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 24,43 \text{ m} \Omega$$

$$I_d = \frac{220}{2 \times 0,02443} = 4502,66 \text{ A}$$

Esta corriente de defecto genera una tensión de contacto:

$$U_C = R_{PE} \times I_d = 0,02443 \times 4502,66 = 110 \text{ V}$$

Esta tensión es claramente superior a la tensión de seguridad  $U_L$ , ( $U_{Lmax}$  es 50 Vol), Por lo tanto, es preciso cortar obligatoriamente. En la práctica, todo se desarrolla como si se produjera un cortocircuito entre fase y neutro; el interruptor automático situado aguas arriba dispara.



**Figura 2.12:** La corriente de fuga circula por el cable

Puesto que la corriente de defecto depende de la longitud de las líneas, es necesario comprobar que ésta sea superior al umbral de funcionamiento de la protección magnetotérmica. En caso contrario, es necesario añadir un diferencial en cabecera de la instalación.

#### a) La protección de personas contra los contactos indirectos.

Tal como hemos visto, la corriente de defecto depende de la impedancia del bucle de defecto, la protección está así asegurada por las protecciones de sobrecorriente (cálculo/medidas de impedancia de bucle). Si la impedancia es muy grande y no permite a la corriente de defecto disparar las protecciones de sobrecorriente (cables de gran longitud) una solución es la utilización de los diferenciales de baja sensibilidad. Por otra parte, este esquema no puede ser aplicado cuando, por ejemplo, la alimentación se hace a través de un transformador cuya impedancia homopolar es muy importante (acoplamiento estrella-estrella, puestos a tierra).

### 2.3. Normas y Reglamentos.

En la actualidad, las normas son emitidas por la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) y son examinadas en Europa por el Comité Europeo de Normalización

Electrotécnica (CENELEC). Desde 1989 los dispositivos de protección diferencial se fabrican según las normas específicas de producto. Estas normas continuaron su evolución con el fin de homogeneizar la legislación en los diferentes países.

### **Normas de referencia para la fabricación de los Dispositivos Diferenciales Residuales (DDR)**

Es cierto que en el Perú, no necesitaremos una norma de fabricación, pero sí es importante saber que las que se fabrican cumplen con dichas normas, Tabla N° 2.1.

**Tabla N° 2.1** Normas de referencia para la fabricación

Tipo de DDR	Título de la Norma	Normas de referencia actualmente en vigor
<p>Interruptor magneticotérmico y terminal.</p> <p>Interruptor automático magneticotérmico y diferencial monobloque de carril DIN.</p> <p>Bloque diferencial adaptable a interruptor magneticotérmico de carril DIN≤125A</p>	<p>Interruptores automáticos para actuar por corriente diferencial residual, con dispositivo de protección contra sobrecorrientes incorporado, para usos domésticos y análogos.</p>	UNE EN 61009
<p>Interruptor diferencial ID de carril DIN</p>	<p>Interruptores automáticos para actuar por corriente diferencial residual, sin dispositivo de protección contra sobrecorrientes, para usos domésticos y análogos.</p>	UNE EN 61008
<p>Bloque diferencial adaptable a interruptor magnético térmico de carril DIN de potencia.</p> <p>Relé diferencial con toro separado.</p> <p>Bloque diferencial adaptable para interruptor automático de caja moldeada.</p>	<p>Interruptores automáticos con protección incorporada por intensidad diferencial residual.</p>	<p>UNE EN 60947-2</p> <p>Anexo B</p> <p>(Normativo)</p>

La Norma Técnica Peruana se aplica a los interruptores automáticos que actúan por corriente residual, funcionalmente independientes o funcionalmente dependientes de la tensión de alimentación, para uso doméstico y análogos sin dispositivo de protección contra sobrecorrientes incorporado, de tensión nominal que no sobrepase los 440 V c.a. (según NTP-IEC 61008-1, Reglas Generales) y de corriente nominal que no sobrepase los 125 A, para instalaciones fijas principalmente destinados a la protección contra los choques eléctricos. En los domicilios tenemos una tensión nominal de 220 V c.a.

Estos aparatos están destinados a la protección de las personas contra contactos indirectos, estando las partes metálicas accesibles de la instalación conectadas a una toma de tierra apropiada. Pueden utilizarse para asegurar la protección contra riesgos de incendios resultantes de una corriente de falla a tierra que persista, sin que intervenga el dispositivo de protección contra las sobrecargas del circuito.

Los IDs de corriente diferencial nominal inferior o igual a 30 mA, se utilizan también como medio de protección complementaria en caso de falla de las demás medidas de protección contra los choques eléctricos.

Las prescripciones para los IDs entran en línea con los requisitos generales de la norma IEC 60755. Están esencialmente destinados a ser accionados por personas no expertas y diseñados de forma que no precisen mantenimiento.

## **CAPITULO III**

### **INTERRUPTORES DIFERENCIALES.**

Los dispositivos, ID han sido diseñados para asegurar una protección de las personas contra los contactos indirectos, así como una protección complementaria contra los contactos directos (alta sensibilidad).

Los dispositivos de sensibilidad iguales o menores a 500 mA protegen asimismo los bienes en los locales con riesgo de incendio.

Están destinados a detectar las corrientes de defecto a tierra que pudieran producirse aguas abajo de su punto de instalación.

El riesgo de elevación y mantenimiento del potencial de masas a una tensión peligrosa, debe ser eliminado mediante el corte automático de la alimentación dentro de un tiempo compatible con la seguridad de las personas.

#### **3.1. Principio de Funcionamiento.**

Los Dispositivos, ID están constituidos por varios elementos: el captador, el bloque de tratamiento de la señal, el relé de medida y disparo y el dispositivo de maniobra. Los ID se pueden clasificar según su modo de alimentación cómo según su tecnología.

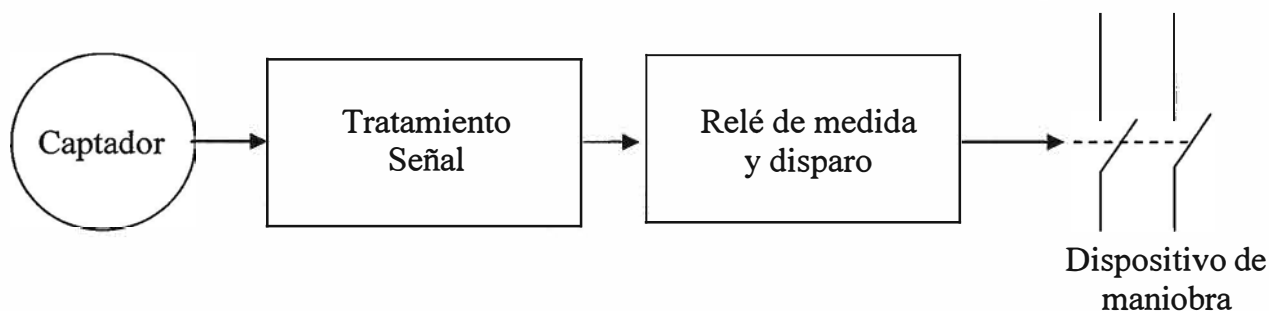
##### **a) Según su modo de alimentación**

###### **□ A propia corriente**

Este es un aparato en el que la energía de disparo la suministra la propia corriente de defecto. Este modo de alimentación está considerado por la mayoría de especialistas como el más seguro.

Esta categoría de ID se prescribe para las instalaciones domésticas y análogas (NTP-IEC 61008-1).

El esquema funcional de un diferencial electromecánico a propia corriente se ilustra en la Figura 3.1, es decir, no necesita fuente de alimentación auxiliar.

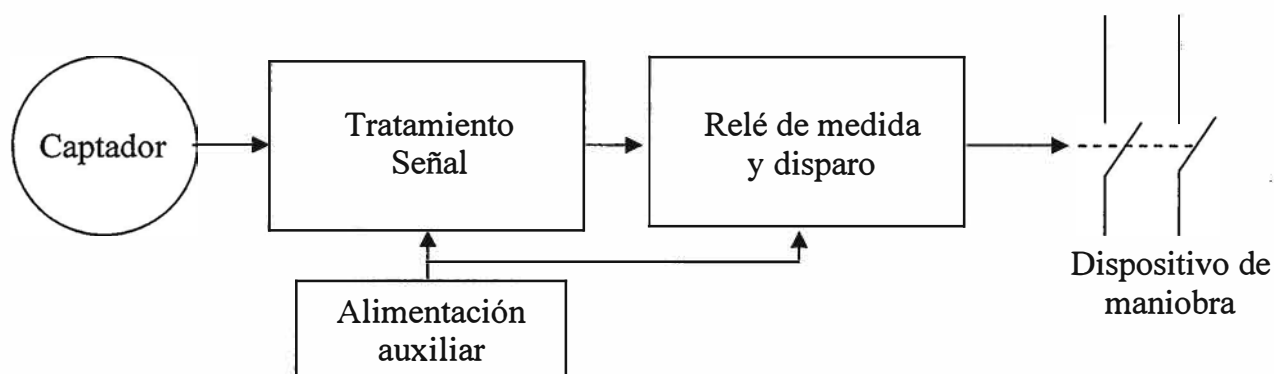


**Figura 3.1:** Esquema de un diferencial electromecánico a propia corriente

#### □ Con alimentación auxiliar

Este es un aparato en el que la energía de disparo necesita de un aporte de energía independiente de la corriente de defecto. Estos aparatos (generalmente de concepción electrónica) no pueden provocar el disparo salvo si esta alimentación auxiliar está disponible en el momento de la aparición de la corriente de defecto. Dentro de este tipo se incluyen los diferenciales con toroidal separado.

El esquema funcional de un diferencial electromecánico con alimentación auxiliar se ilustra en la Figura 3.2.



**Figura 3.2:** Esquema de un diferencial electromecánico con alimentación auxiliar

#### □ A propia tensión

Este es un aparato con “alimentación auxiliar” pero donde la fuente es el circuito controlado. De este modo cuando el circuito está en tensión el diferencial está alimentado, y en ausencia de tensión, el diferencial no está activo pero tampoco existe peligro. Estos aparatos aportan una seguridad adicional ya que están hechos para funcionar correctamente con bajadas de tensión hasta los 50 V

#### b) Según su tecnología

##### □ Dispositivos electromagnéticos



Son dispositivos del tipo “a propia corriente”. Utilizan el principio del enclavamiento magnético. Una muy débil potencia eléctrica es suficiente para vencer la fuerza de enclavamiento y provocar mediante un amplificador mecánico la apertura de los contactos.

#### □ **Dispositivos electrónicos**

Se utilizan sobre todo en el dominio industrial puesto que la electrónica permite: Tener una potencia de adquisición muy débil; Tener unos umbrales y temporizaciones precisas y regulables (lo que permite realizar de forma óptima la selectividad del disparo).

#### □ **Dispositivos mixtos (a propia corriente)**

Esta solución consiste en intercalar entre el toroidal y el relé electromagnético un dispositivo de tratamiento de la señal. Esto permite: La obtención de un umbral de funcionamiento preciso. Obtener una gran seguridad a las perturbaciones o corrientes parásitas y a los transitorios de corriente, respetando un tiempo de funcionamiento compatible con las curvas de seguridad.

### **3.1.1. Captador.**

Es el que recibe la señal basada en que la suma fasorial de las intensidades de línea de un circuito eléctrico, en el **momento es diferente de cero**. En los circuitos de corriente alterna se pueden utilizar dos tipos de captadores:

**a) El transformador toroidal.** Es el tipo de captador más utilizado para medir las corrientes de fuga. Este envuelve la totalidad de los conductores activos y de este modo es excitado por el campo magnético residual correspondiente a la suma vectorial de las corrientes que circulan por las fases y el neutro.

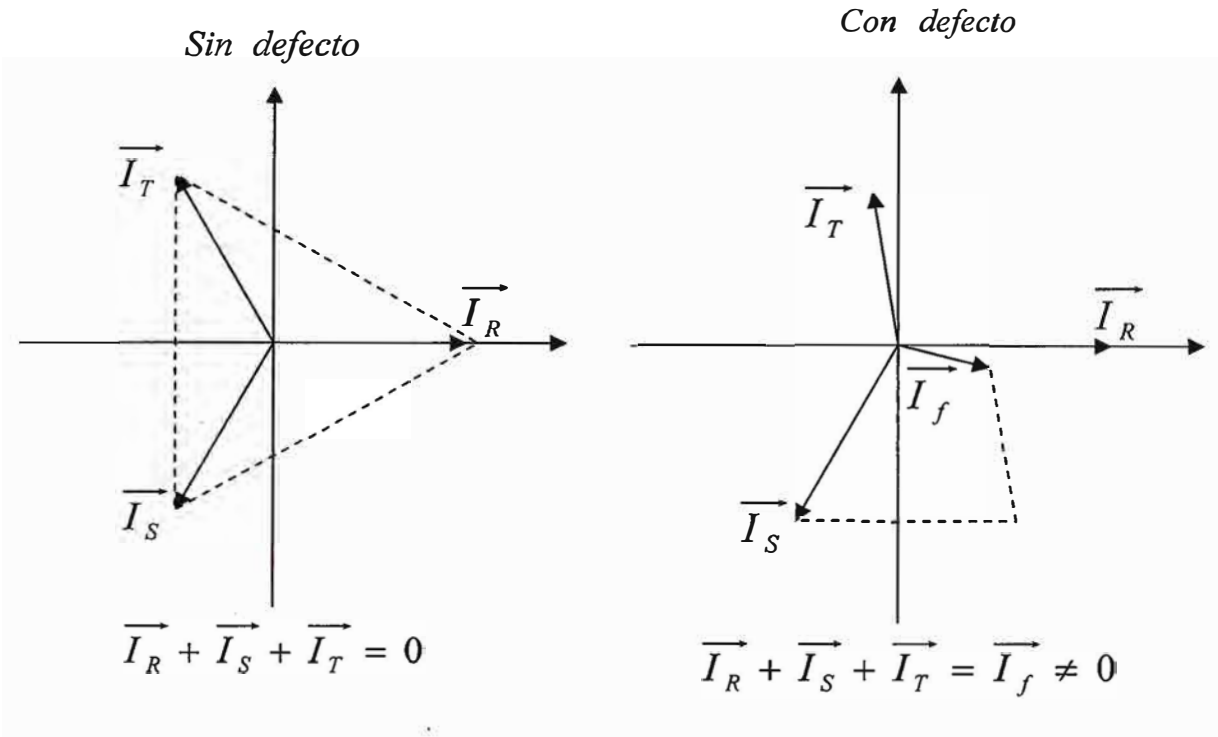
La inducción en el toroidal y la señal eléctrica disponible en bornes del arrollamiento secundario del transformador es, por tanto, la imagen de la corriente diferencial residual. Este tipo de captador permite detectar las corrientes diferenciales desde algunos miliamperios hasta algunas decenas de amperios.

**b) Los transformadores de intensidad (TI).** Utilizados en AT y MT y en algunos casos en BT.

#### □ **Circuito trifásico**

Se puede observar la representación vectorial, Figura 3.3, de intensidades en una red trifásica con neutro equilibrada (para una red desequilibrada sería análogo, incluyendo en

cada caso la corriente del neutro): si no hay defecto de fuga a tierra, la suma vectorial de todas las corrientes de dicho circuito es nula.



**Figura 3.3:** Representación vectorial con neutro equilibrada y con falla

En el caso trifásico  $I_f$  sería la suma vectorial de las tres fases y el neutro:

$$\vec{I}_f = \vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T + \vec{I}_N \quad (3.1)$$

#### □ Circuito monofásico

##### Circuito eléctrico primario

Si se produce una fuga de corriente a tierra  $I_f$  en el primario ( $I_N \neq I_R$ ), ésta genera un campo magnético  $H$  no nulo que a su vez crea un flujo magnético en el interior del núcleo ferromagnético, Figura 3.4.

##### Circuito magnético primario

Campo magnético

$$H = \frac{N \cdot I_f}{2 \cdot \pi \cdot R} \quad (3.2)$$

N: Nro. de espiras del primario

R: radio medio toroidal

Inducción Magnética:  $B = \mu.H$  (3.3)

$\mu$ : permeabilidad magnética

Flujo magnético:  $\phi = B.S$  (3.4)

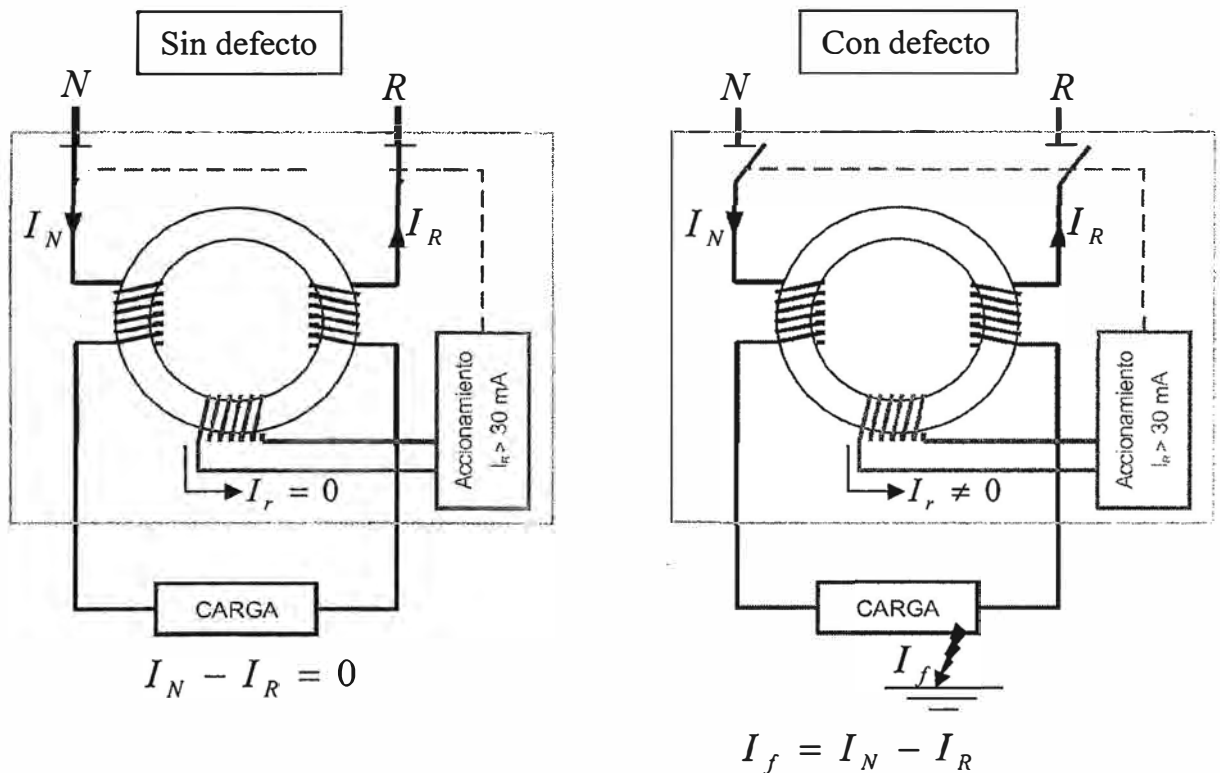
S: sección transversal del núcleo toroidal

En este caso (monofásico)

$$\phi = \phi_N - \phi_R \quad (3.5)$$

Pero cuando existe defecto de fuga de corriente de una fase hacia tierra, la suma vectorial de las corrientes es igual a dicha corriente de fuga  $I_f$ .

En caso de existir una fuga  $I_f$ , las corrientes de las fases y el neutro inducen en el transformador toroidal, flujos magnéticos  $\Phi$  desequilibrados, cuya resultante no será cero, e inducirá en el secundario del transformador toroidal una tensión  $E_s$  que generará una corriente  $I_r$ , que dependiendo de su valor eficaz, puede provocar el disparo del relé de apertura de los contactos del dispositivo diferencial, Figura 2.4.



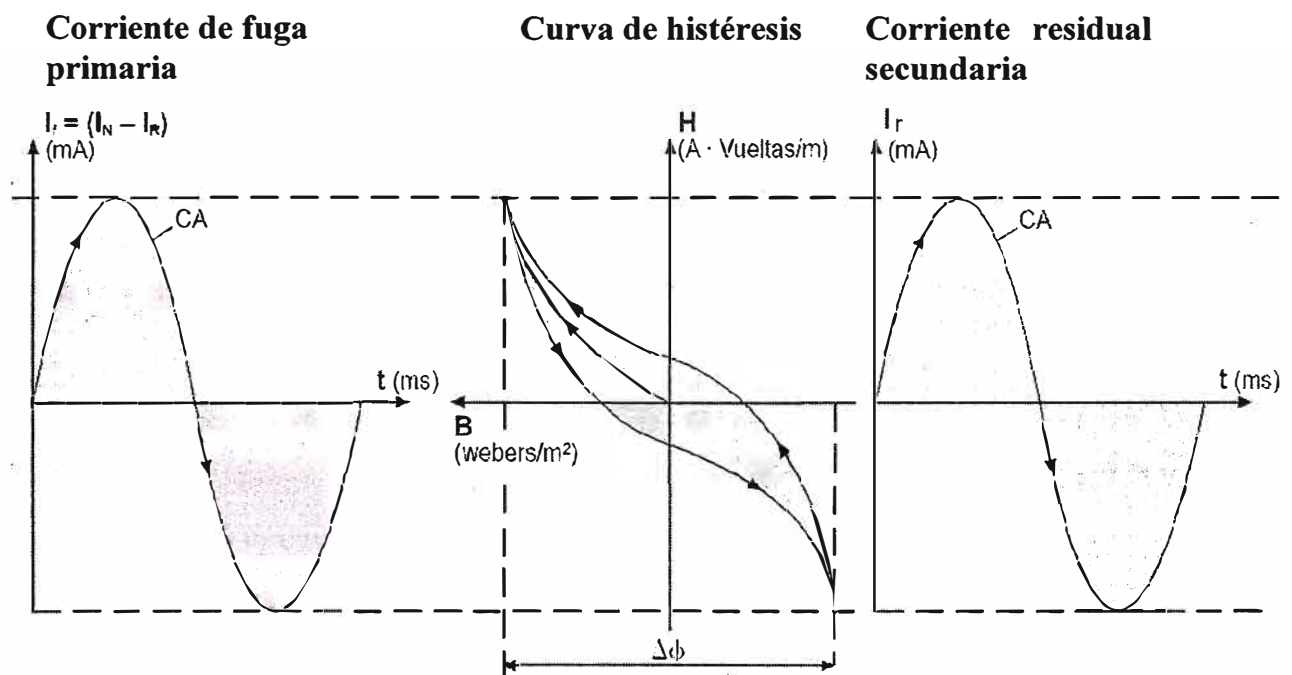
**Figura 3.4:** Representación sin defecto y con defecto de un diferencial

Observamos paso a paso, Figura 3.5, para un circuito monofásico, el proceso de generación de la corriente residual ( $I_r$ ) en el secundario a partir de una corriente de fuga a tierra ( $I_f$ ) que circule por el primario (es decir, por el circuito que estamos protegiendo en nuestra instalación eléctrica). El valor del flujo magnético generado  $\Phi$ , dependerá del tipo de curva de histéresis que proporcione el material magnético que constituye el toroidal.

Las curvas de histéresis son la representación de la energía que puede ser inducida en un material por la corriente diferencial residual  $I_f$ .

Cada material tiene una curva de histéresis distinta. La evolución de los materiales necesarios para fabricar diferenciales clase AC, clase A estándar o clase A superinmunizada, es en definitiva la evolución hacia materiales mas energéticos, que son fundamentales para poder mantener un óptimo nivel de protección de las instalaciones eléctricas que están experimentando actualmente un gran aumento en su complejidad.

A continuación se puede ver cómo es la curva de histéresis del material empleado para elaborar cada tipo de diferencial.



**Figura 3.5:** Generación del flujo magnético en el núcleo toroidal de un diferencial monofásico a partir de la circulación de una corriente de fuga.

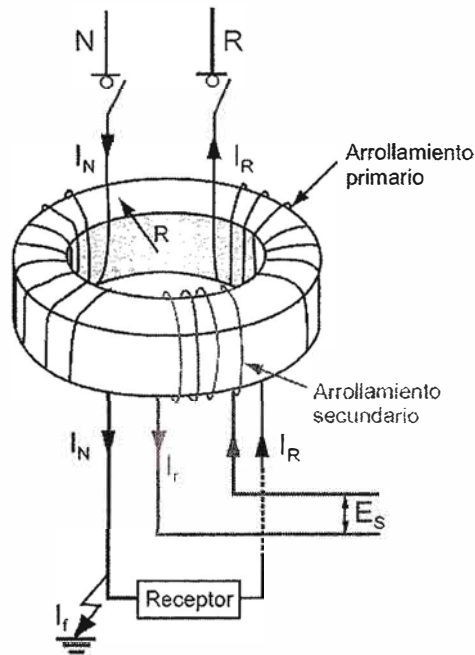
### Circuito magnético secundario

flujo magnético creado por el primario, ecuación 3.4.

$$\phi = B \cdot S$$

(S = sección transversal núcleo toroidal)

Transformador toroidal



**Figura 3.6:** En el secundario se induce  $E_s$

Por la Ley de Faraday, Figura 3.6, en el arrollamiento secundario se inducirá una fuerza electromotriz:

$$E_s = \frac{-N \cdot d\phi}{dt} \quad (3.6)$$

### Circuito eléctrico secundario

La fuerza electromotriz  $E_s$  hará que circule una corriente  $I_r$  en el bobinado secundario cuyo valor dependerá de la impedancia de la totalidad del circuito eléctrico secundario. Esta  $I_r$ , convenientemente filtrada, llegará al relé de disparo donde será comparada con la sensibilidad  $I\Delta n$  del dispositivo. Si es mayor que  $I\Delta n$  disparará.

### Toroidales clase AC:

Son utilizados por los diferenciales clásicos. Permiten tan sólo la detección de corrientes de fuga a tierra de tipo alterna. Son insensibles a las corrientes rectificadas de equipos electrónicos (corrientes pulsantes), con o sin una componente continua.

### Toroidales clase A estándar:

Permiten resolver el problema anterior de no actuación cuando se tienen fugas de corriente de tipo pulsante; corriente con forma de onda pulsante que toma, en cada período

de la frecuencia nominal, el valor 0 ó un valor que no sobrepase los 0,006 A de corriente continua durante un intervalo de tiempo de al menos 150°, expresado en medición angular.

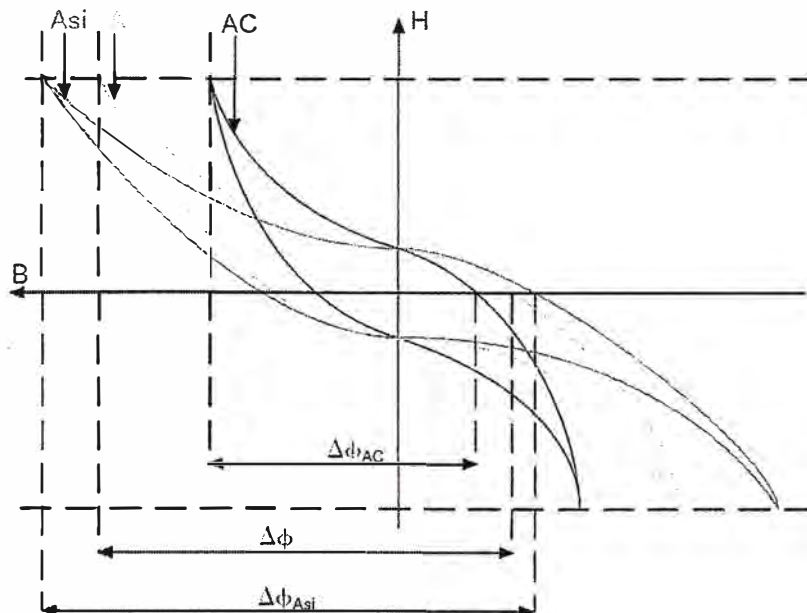
Es en definitiva más sensible a la intensidad de defecto que los clase AC ya que es capaz de disparar ante tres tipos de corriente:

- Corrientes de tipo alterno.
- Corrientes continuas rectificadas o continuas pulsantes.
- Corrientes continuas rectificadas o continuas pulsantes con corriente superpuesta de tipo continuo de hasta 6 mA

### **Toroidales clase A superinmunizados:**

El material magnético del núcleo toroidal mejora las propiedades de los clase A estándar descritos anteriormente. Al material empleado para fabricar este tipo de toroidales le bastan variaciones de corriente diferencial aún menores que en los clase A estándar para inducir la misma energía necesaria para disparar el relé.

Ello es debido a que posee una curva de histéresis aún más estrecha y de mayor longitud, con lo cual se acentúa todavía más el fenómeno descrito. Se puede observar las curvas de histéresis, Figura 3.7, de los interruptores de diferentes clases.



**Figura 3.7:** Curvas de histéresis AC, A y Asi

Donde:

$$\Delta\Phi_{AC} < \Delta\Phi_A < \Delta\Phi_{Asi}$$

$$E = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$E_{AC} < E_A < E_{Asi}$$

### 3.1.2. El bloque de tratamiento de la señal.

La señal eléctrica leída por el captador debe ser siempre tratada electrónicamente para lograr el correcto funcionamiento del relé de medida y disparo, evitando al mismo tiempo funcionamientos o disparos no deseados del dispositivo diferencial. La señal tratada se envía al relé de medida y disparo. Los sistemas de filtrado electrónico para el tratamiento de la señal eléctrica que proporciona el secundario del transformador toroidal, es la parte que más ha evolucionado en la nueva gama de dispositivos diferenciales clase A. Los diferenciales clase AC tan sólo poseen un circuito de inmunización básico contra transitorios. En los diferenciales clase A, además de un toroidal de un material especial, más energético, capaz de detectar corrientes con menor nivel de ondulación que los toroidales clase AC, se debe emplear un circuito electrónico que trate la corriente a la salida del secundario del toroidal. El tratamiento que efectúa este circuito es de rectificación de la corriente, obliga a que el sentido de la misma sea siempre el mismo y adecuado para que el relé de disparo trabaje siempre en el sentido correcto.

Mediante este circuito se alcanza una seguridad que evita un posible efecto secundario de las corrientes pulsantes sobre un diferencial clase AC.

Este dispositivo no es capaz de detectarlas o si lo hace es con una energía insuficiente para poder provocar disparo.

Por todo ello es evidente la importancia de un circuito para la seguridad de las personas, no sólo en los diferenciales clase A estándar, sino también en los diferenciales clase A superinmunizados.

### 3.1.3. El relé de medida y disparo.

Compara la señal eléctrica suministrada por el captador y una vez tratada, con un valor de referencia y ordena, con un posible retardo intencionado, la orden de apertura al aparato de corte asociado o dispositivo de maniobra.

En los diferenciales convencionales clase AC y clase A estándar el relé de disparo recibe señal eléctrica desde el toroidal de forma permanente. Esto puede producir los problemas siguientes:

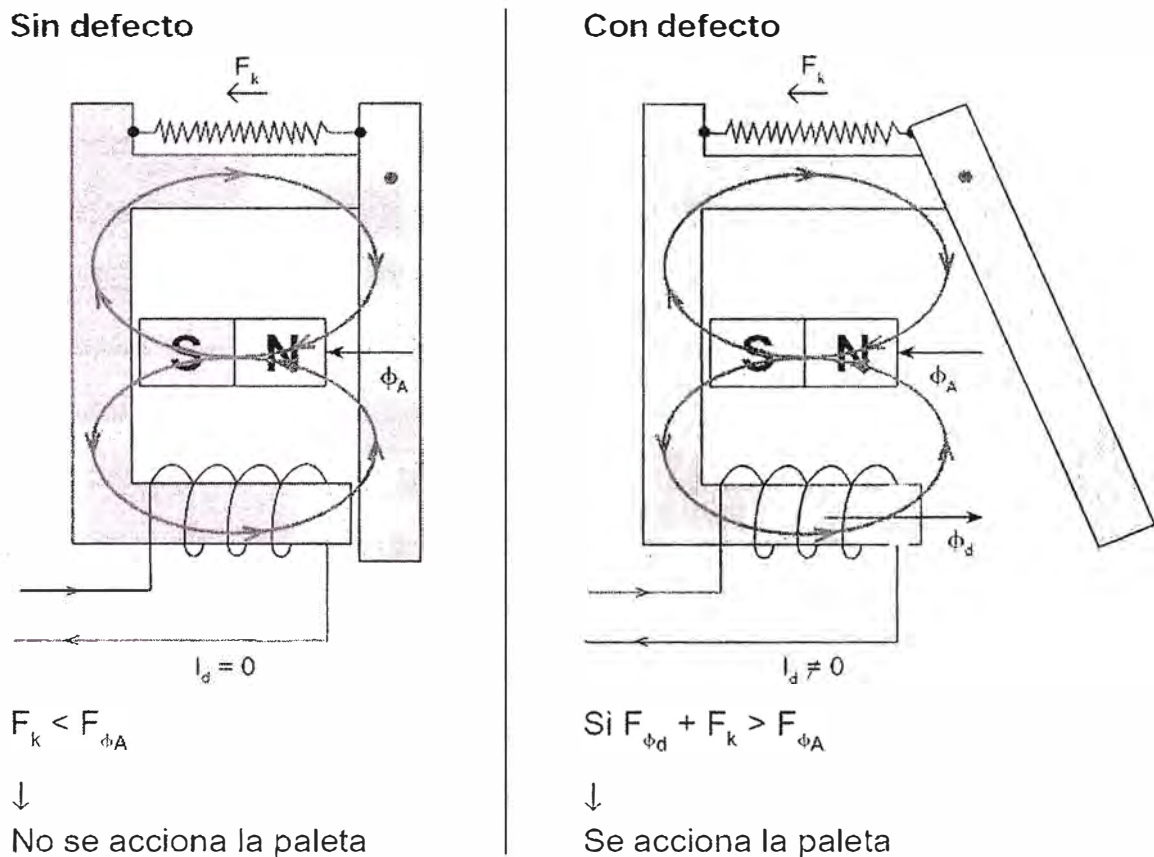
Disparos intempestivos debidos a una presensibilización originada por las pequeñas fugas permanentes de corriente a 50 Hz, que siempre existen.

Riesgo de bloqueo si esta señal fuera de alta frecuencia.

Y sólo en el caso de los diferenciales clase AC, también se podría producir bloqueo si la señal fuera una corriente pulsante.

La intensidad de salida del circuito de verificación y disparo, llega al arrollamiento del relé de disparo, Figura 3.8, originando una intensidad de campo magnético (H), el cual a su vez, en función de la permeabilidad magnética del material que constituye el núcleo férrico del relé de disparo ( $\mu$ ), provoca una inducción del campo magnético (B).

Esta inducción, en función de la sección del relé de disparo, se convierte en un flujo magnético ( $\Phi$ ) en el interior del núcleo ferromagnético, que creará una fuerza magnetomotriz  $F_{\phi d}$  que puede ser suficiente para vencer la fuerza de atracción magnética  $F_{\phi A}$  ejercida sobre la paleta por un imán permanente (que tiende a atraer la paleta, es decir, a mantener cerrado el diferencial), originando finalmente la separación de la paleta que se verá ayudada por la fuerza de un muelle  $F_k$  que permite acelerar su rotación, esta paleta salta inmediatamente.



**Figura 3.8:** Paleta de disparo con defecto y sin defecto



### 3.1.4. El dispositivo de maniobra

De apertura del aparato (interruptor o interruptor automático), situado aguas arriba del circuito eléctrico controlado por el diferencial, se denomina disparador o accionador.

### 3.2. Características de Funcionamiento.

Las características de funcionamiento de un ID deberán estar indicadas de la forma siguiente, Figura 3.9:

Tipo de instalación.

ID para instalaciones fijas y alambreado fijo;

ID para instalación móvil y conexión con cordón (del mismo dispositivo para la alimentación).

Número de polos y de vías de corriente.

ID monofásico con dos vías de corriente;

ID bipolar;

ID tripolar;

ID tripolar, con cuatro vías de corriente;

ID tetrapolares.

Corriente nominal  $I_n$ ;

Valor de la corriente, asignado al ID por el fabricante, que el ID puede transportar en servicio ininterrumpido.

Corriente diferencial de operación nominal  $I_{\Delta n}$ ;

Valor de la corriente diferencial de operación, asignado por el fabricante al ID, para el cual este último deberá funcionar bajo las condiciones especificadas.

Para un ID que tiene ajustes múltiples de la corriente diferencial de operación, el mayor ajuste será usado para designarlo.

Corriente diferencial de no operación nominal;

Valor de corriente diferencial de no operación asignado por el fabricante al ID, para el cual este ID no opera bajo las condiciones especificadas.

Tensión nominal  $U_n$ ;

La tensión de operación nominal de un ID (denominada en adelante "tensión nominal") a la que se refieren sus características, es el valor de la tensión asignado por el fabricante.

A un mismo ID pueden asignarse varias tensiones nominales.

Frecuencia nominal;

La frecuencia nominal de un ID, es la frecuencia industrial para la cual el ID está diseñado y a la cual corresponden los valores de otras características.

A un mismo ID pueden asignarse varias frecuencias nominales.

Poder de cierre y de corte nominal  $I_m$ ;

Valor eficaz de la componente alterna de la corriente prevista, asignado por el fabricante que un ID puede establecer, transportar y cortar bajo condiciones especificadas.

Poder de cierre y de corte diferencial nominal  $I_{\Delta n}$ ;

Valor eficaz de la componente alterna de corriente diferencial prevista, asignado por el fabricante, que un ID puede establecer, transportar y cortar bajo condiciones especificadas.

Temporización si es aplicable; ID temporizado que cumple con la parte pertinente.

Características de operación en caso de corrientes residuales con una componente continua;

### **ID tipo AC**

Un ID en el cual está asegurada la desconexión para las corrientes diferenciales alternas senoidales, ya sean aplicadas súbitamente o bien aumentadas progresivamente.

### **ID tipo A**

Un ID en el cual está asegurada la desconexión para las corrientes diferenciales alternas senoidales y continuas pulsantes, ya sean aplicadas súbitamente o bien aumentándolas progresivamente.

Coordinación del aislamiento, comprendiendo las distancias de aislamiento y líneas de fuga. (ver anexo C)

Grado de protección (véase la Norma IEC 60529);

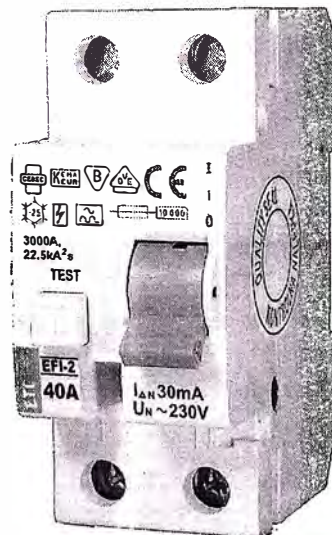
Corriente condicional de cortocircuito nominal  $I_{nc}$ ,

Valor eficaz de la corriente prevista, fijada por el fabricante, que un ID, protegido por un dispositivo de protección contra cortocircuitos - SCPD, puede soportar, en las condiciones especificadas, sin alteraciones irreversibles que puedan comprometer su operación.

Corriente residual condicional de cortocircuito nominal  $I_{nc}$ .

Para los IDs funcionalmente dependientes de la tensión de alimentación según sea el caso:

Comportamiento del ID en caso de una falla de la tensión de alimentación. ID para el cual las funciones de detección, evaluación o interrupción dependen de la tensión de alimentación.



**Figura 3.9:** Interruptor diferencial

### 3.3. Valores normalizados de corriente diferencial

Los valores normalizados de la corriente diferencial de operación nominal son: 0,006A; 0,01 A; 0,03 A; 0,1 A; 0,3 A; 0,5 A.

### 3.4. Requerimiento de Puesta a Tierra.

La Toma de Tierra, conductores de protección y aislamiento de la red. Se debe asegurar una buena puesta a tierra, tal que garantice la mayor continuidad de la corriente en caso de defecto a tierra, todos los aparatos receptores deben estar puestos a tierra; cuando

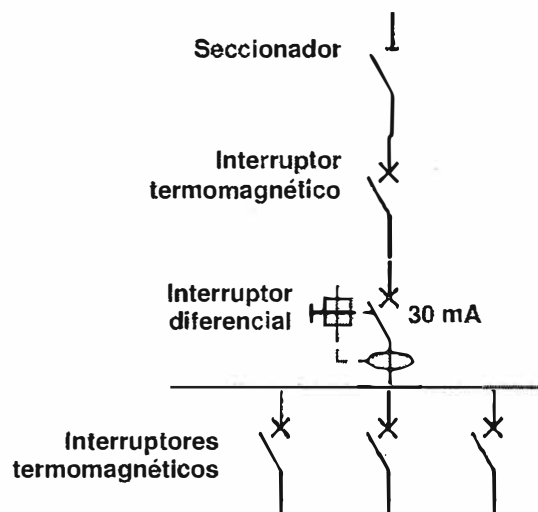
el sistema de corte usado es mediante interruptor diferencial. Para la conexión del cable de la red de tierra del edificio con la varilla de puesta a tierra se recomienda utilizar el método de soldadura autógena, ya que gracias a la aleación metal-pólvora que incorpora, se obtiene una gran continuidad y mayor ciclo de vida. También se recomienda la utilización de conectores tipo “ampact”, (fuerza de contacto constante que garantiza una conexión exenta de corrosión). para la conexión cable-varilla.

Para garantizar la continuidad de la intensidad de defecto debe distribuirse una línea de tierra de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y uno o varios electrodos, enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que en el conjunto de instalación no existan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, sea posible el paso a tierra de las corrientes de defecto con el menor recorrido posible (**Ver anexo D**).

### 3.5. Ubicación Dentro de los Tableros.

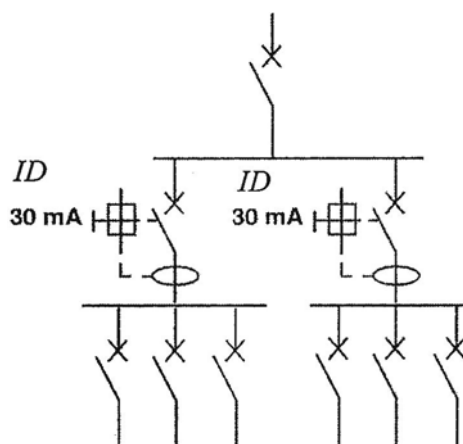
Los interruptores diferenciales en los tableros se ubican de acuerdo a la Figura 3.10, Figura 3.11 y Figura 3.12.

#### UBICACIÓN DE LOS DIFERENCIALES EN VIVIENDAS



**Figura 3.10:** Ubicación del interruptor diferencial

## UBICACIÓN DE LOS DIFERENCIALES EN VIVIENDAS



CNE : REGLA 040-216 Protección Contra Fallas a Tierra en Unidades de Vivienda

Figura 3.11: Ubicación del interruptor diferencial

## UBICACIÓN DE LOS DIFERENCIALES EN VIVIENDAS

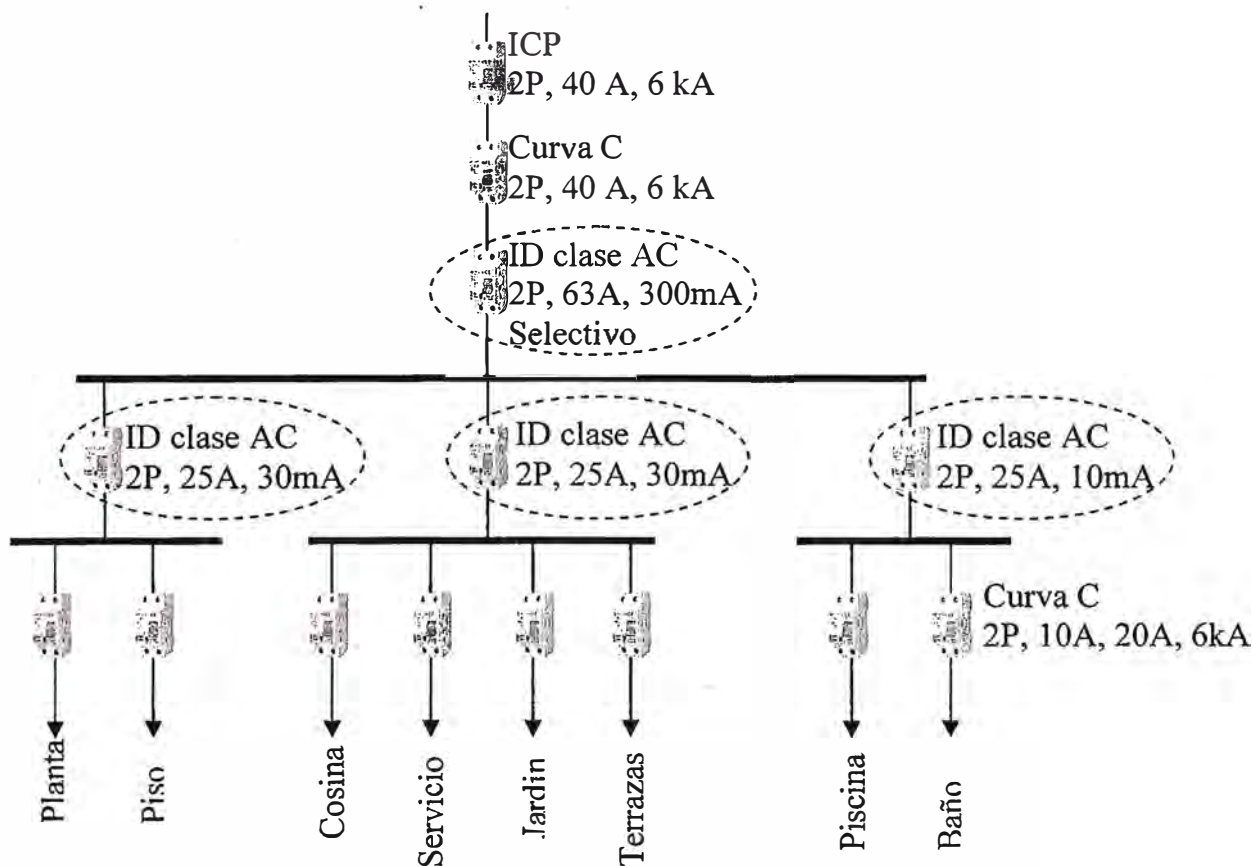


Figura 3.12: Ubicación del interruptor diferencial

## **CAPITULO IV**

### **COORDINACIÓN CON LA PROTECCIÓN DEL CIRCUITO**

#### **4.1. Tableros Principales**

Son equipos eléctricos que contienen: Barras de Distribución. Elementos de Protección, Elementos de Señalización, Elementos de Comando e instrumentos de medida.

**Los tableros se clasifican:**

- Según su ubicación y función
- Según el uso de la energía eléctrica

**Según su ubicación y función, tenemos los siguientes tableros:**

**Tableros Generales:** Son los tableros principales de las instalaciones.

En ellos estarán montados los dispositivos de protección y maniobra que protegen los alimentadores y que permiten operar sobre toda la instalación interior en forma conjunta o fraccionada.

**Tableros Auxiliares:** Son tableros que serán alimentados desde un tablero general y desde ello se protegen y operan sub-alimentadores que alimentan tableros de distribución.

#### **4.2. Tableros Secundarios**

**Tableros de Distribución:** Son tableros que contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar directamente los circuitos en que está dividida la instalación o una parte de ella.

Pueden ser alimentados desde un tablero general, desde un tablero general auxiliar o directamente desde el empalme.

**Tablero de Paso:** Son tableros que contienen fusibles cuya finalidad es proteger derivaciones que por su capacidad de transporte no pueden ser conectadas directamente al alimentador, sub-alimentador o línea de distribución del la cual está tomada.

**Tablero de Comando:** Son tableros que contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar en forma simultánea sobre artefactos individuales o grupos de artefactos pertenecientes a un mismo circuito.

**Tableros Centro de Control:** Son tableros que contienen dispositivos de protección y de maniobra o únicamente dispositivos de maniobra y que permiten la operación de grupos de artefactos en forma individual, en conjunto, en sub.-grupos en forma programada o no programada.

**De acuerdo al uso de la energía eléctrica, tenemos:**

**Tableros de Alumbrado:** es un panel, o grupo de paneles unitarios diseñados para ensamblarse en forma de un solo panel, que incluye barras conductoras de conexión común y dispositivos automáticos de protección contra sobrecorriente y otros dispositivos de protección, y está equipado con o sin desconectores para el control de circuitos de alumbrado, calefacción o fuerza; diseñado para instalarlo dentro de un gabinete o caja de cortacircuitos ubicada dentro o sobre un muro o pared divisora y accesible únicamente desde el frente

**Tableros de Fuerza:** Es un elemento que sirve para controlar y dividir circuitos de una instalación eléctrica, en la cual también es posible alimentar y controlar diversos centros de carga; esta protección está controlada por interruptores termomagnéticos de uno, dos y tres polos. Los tableros van dirigidos a pequeños y grandes negocios, oficinas, centros comerciales donde se requiere dividir la instalación por zonas.

**Tableros de Calefacción:** En estos tableros están los dispositivos de control del sistema de calefacción.

**Tableros de Control:** Se lo define como el conjunto de indicadores cuyo seguimiento y evaluación periódica permitirá contar con un mayor conocimiento de la situación de su empresa o sector apoyándose en nuevas tecnologías informáticas. El diagnóstico y monitoreo permanente de determinados indicadores e información ha sido y es la base para mantener un buen control de situación en muchas de las disciplinas de la vida. Como ejemplo de estos podemos señalar a la: medicina, basada en mediciones para el diagnóstico de la salud de los pacientes, a la aviación, cuyos indicadores de tablero de control sintetiza la información del avión y del entorno para evitar sorpresas y permite a los pilotos dirigir el avión a buen puerto; el tablero de un sistema eléctrico o de una represa son otros

ejemplos. En todos estos casos el Tablero permite a través del color de las luces y alarmas ser el disparador para la toma de decisiones. En todos estos ejemplos es fundamental definir los indicadores a monitorear.

**Tableros de Señalización:** Los tableros de señalización, son para las letras de vinilo, impresiones digitales y letreros pintados para la rápida industria de la señalización. Muebles, gabinetes, vitrinas y aditamentos. Estantería, particiones y remolques.

### 4.3. Esquemas de Coordinación

El aspecto importante para una correcta protección diferencial es el tiempo de disparo; la protección contra la tensión de contacto es eficaz sólo si el tiempo máximo previsto no supera la curva de seguridad.

Si se establece una selectividad, también para el disparo diferencial, hay que tener en cuenta que, remontando la instalación aguas arriba, la posibilidad que personas no instruidas en la materia entren en contacto con partes peligrosas, disminuye notablemente.

Si un sistema eléctrico contiene cargas con corrientes de defecto a tierra que superan los valores asignados o si el sistema consta de varias cargas, que pertenecen a diferentes usuarios, es conveniente instalar varios interruptores diferenciales, uno por cada derivación, con un aparato de corte general aguas arriba de estos, en lugar de un único interruptor diferencial general.

#### 4.3.1. Selectividad horizontal

El interruptor automático general proporciona una "selectividad horizontal", evitando que una corriente de fuga en cualquier punto del circuito provoque el disparo intempestivo del interruptor general, ocasionando la interrupción de la alimentación y por tanto dejando fuera de servicio la instalación.

Sin embargo, de esta forma, el tramo  $k$  del circuito entre el interruptor automático general y los interruptores diferenciales permanece sin protección "activa", Figura 4.1. La utilización de un interruptor diferencial general para protegerlo provocaría problemas de "selectividad vertical", que requiere la coordinación en el disparo de varios aparatos, para no perjudicar la continuidad del servicio y la seguridad del sistema. En este caso, la selectividad puede ser parcial o total.

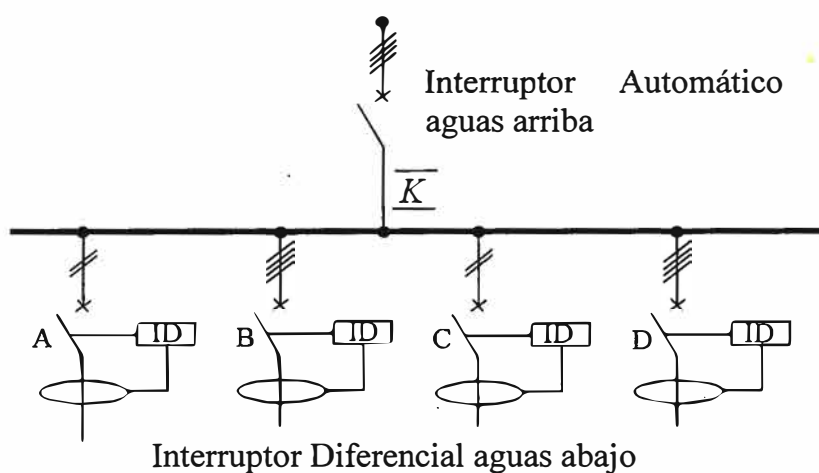
Para asegurar la selectividad horizontal de una instalación, se aplican tres criterios:

Supresión de la función diferencial sobre el aparato de cabecera,



Cada salida debe estar protegida por un dispositivo diferencial de sensibilidad adaptada al riesgo considerado,

La parte de la instalación comprendida entre el interruptor automático de cabecera y los bornes situados aguas abajo de los dispositivos diferenciales debe realizarse en clase II.



**Figura 4.1:** Interruptor diferencial horizontal

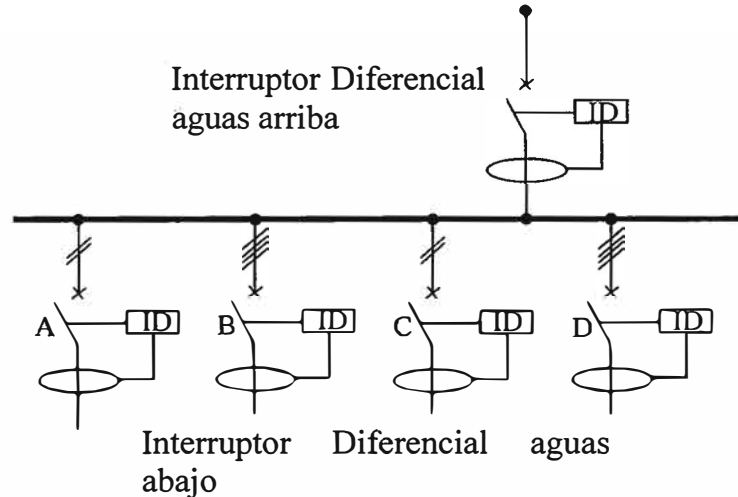
### 4.3.2. Selectividad vertical

La selectividad vertical también puede establecerse para el disparo diferencial, teniendo en cuenta que desde los cuadros en derivación de los cuadros principales, se reduce notablemente el riesgo para personas no instruidas, de entrar en contacto con partes activas. Figura 4.2.

Para asegurar la selectividad vertical total entre dos dispositivos diferenciales, son necesarias dos condiciones:

las características de no funcionamiento tiempo/corriente del dispositivo instalado aguas arriba deben estar por encima de la característica de funcionamiento tiempo/corriente del dispositivo instalado aguas abajo; el dispositivo diferencial aguas arriba debe ser de tipo selectivo o retardado respetando las condiciones citadas anteriormente.

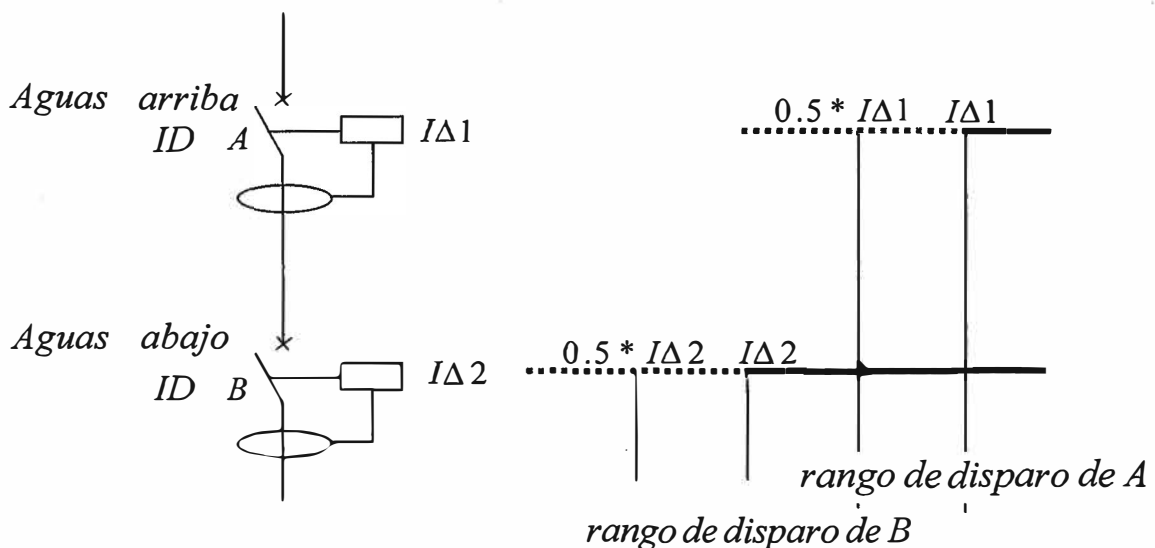
la relación entre los valores de las corrientes diferenciales de los dispositivos; la corriente diferencial-residual de funcionamiento asignada ( $I\Delta n$ ) del dispositivo situado aguas arriba debe ser superior a la del dispositivo situado aguas abajo.



**Figura 4.2:** Interruptor diferencial vertical

#### 4.3.3. Selectividad amperimétrica (parcial)

La selectividad puede crearse, Figura 4.3, colocando interruptores diferenciales de baja sensibilidad aguas arriba (A) e interruptores diferenciales de mayor sensibilidad aguas abajo (B). Una condición esencial que debe satisfacerse para alcanzar una coordinación selectiva es que el valor  $I_{\Delta 1}$  del interruptor diferencial instalado aguas arriba (interruptor automático general) sea superior al doble del valor  $I_{\Delta 2}$  del interruptor diferencial situado aguas abajo. En este caso, la selectividad es parcial y solo dispararía el interruptor diferencial instalado aguas abajo, por corrientes de defecto a tierra  $I_{\Delta 2} < I_m < 0,5 * I_{\Delta 1}$ .

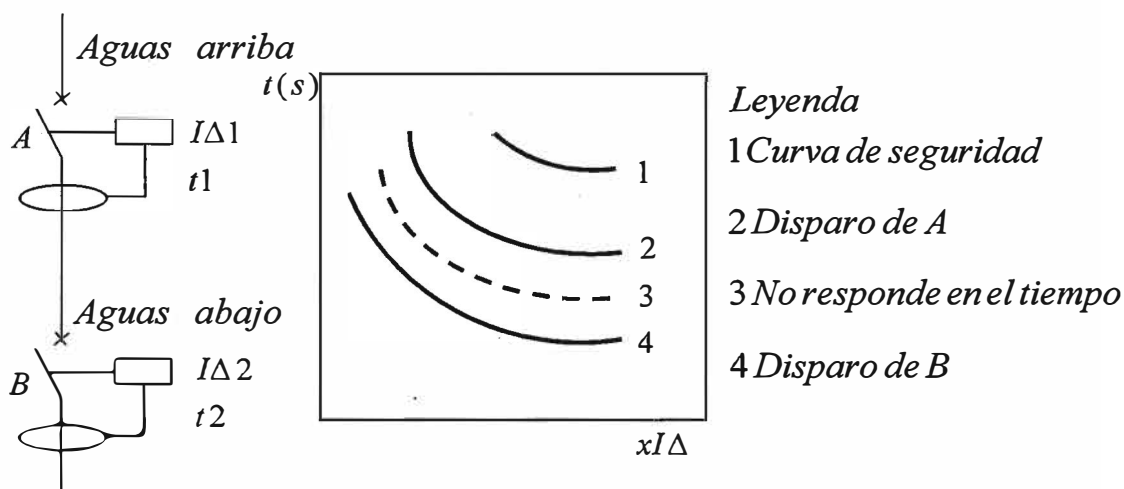


**Figura 4.3:** Interruptor diferencial vertical

#### 4.3.4. Selectividad cronométrica (total)

Para alcanzar una selectividad total, Figura 4.4, el interruptor diferencial situado aguas arriba debe ser de tipo selectivo. Los tiempos de disparo de los dos aparatos conectados en

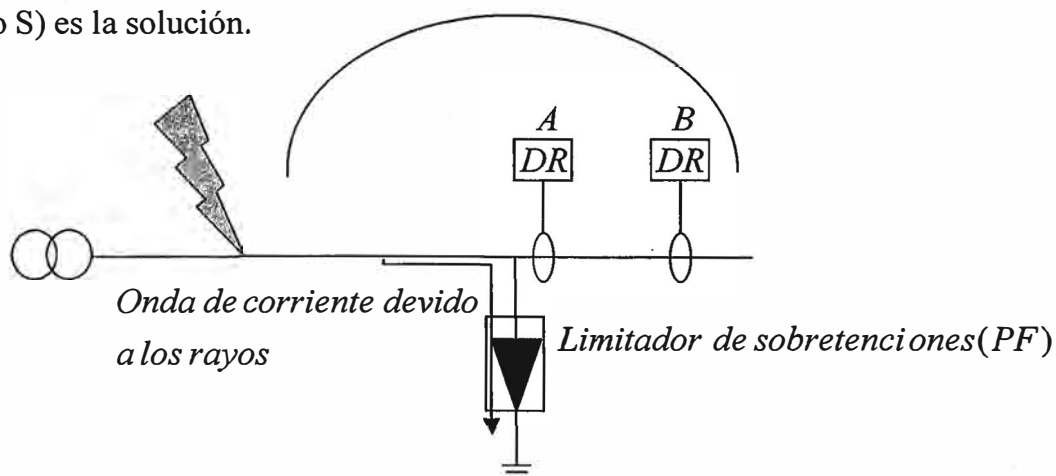
serie deben estar coordinados para que el tiempo total de disparo  $t_2$  del interruptor situado aguas abajo (B) sea menor que el tiempo límite de no respuesta  $t_1$  del situado aguas arriba (A), para cualquier valor de corriente. De esta forma, el interruptor situado aguas abajo completa su apertura antes de que dispare el situado aguas arriba. Para garantizar una selectividad total, el valor de la sensibilidad del aparato instalado aguas arriba debe ser mayor que el doble del situado aguas abajo según IEC 64-8/563.3. Por razones de seguridad, el valor de retardo, del tiempo de disparo del interruptor instalado aguas arriba, deben siempre estar por debajo de la curva de seguridad.



**Figura 4.4:** Interruptor diferencial curva de seguridad

#### 4.3.5. Corrientes debidas al rayo

Si la instalación dispone de un limitador de sobretensiones (PF), se debe evitar situar el diferencial sobre el camino de la onda de corriente generada por el rayo, Figura 4.5, si no, la puesta en servicio del diferencial inmunizado contra estas corrientes (retardados o de tipo S) es la solución.



**Figura 4.5:** En una instalación con pararrayos los diferenciales pueden ser diferentes en A un diferencial retardado o de tipo S. en B un diferencial estándar.

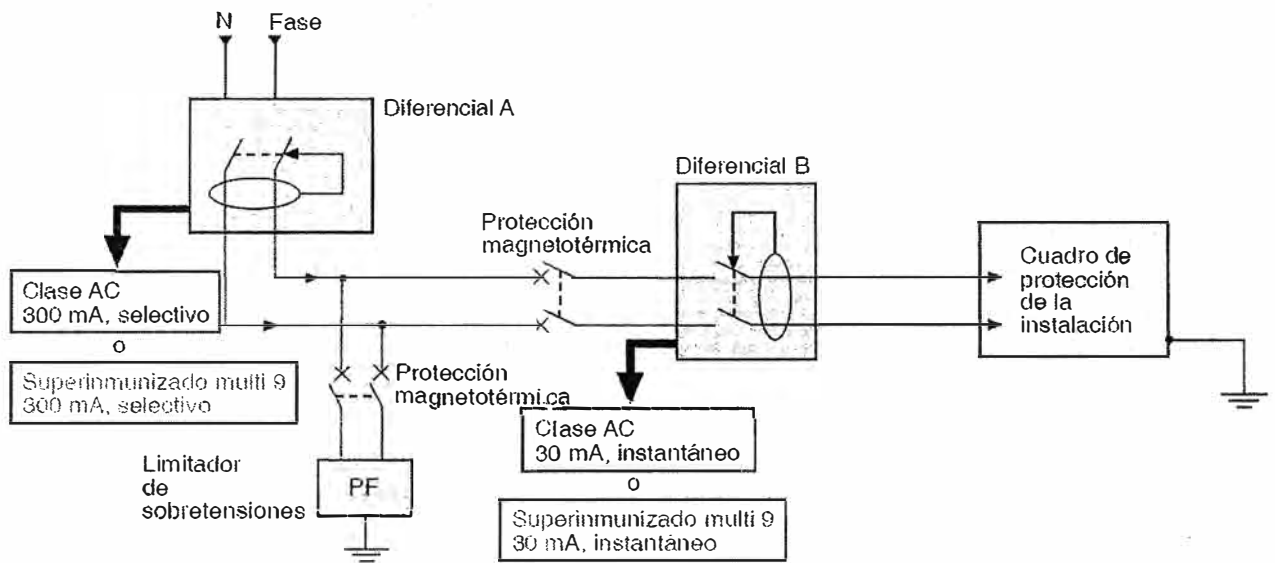
#### 4.3.6. Para Redes de B.T. en zonas con alto índice de rayos atmosféricos.

Cuando un rayo cae cerca de un edificio la red se ve sometida a una onda de tensión que genera corrientes de fuga transitorias a través de las capacidades de la instalación, Figura 4.6. En función de la intensidad y la distancia del rayo, y de las características de la instalación, estas corrientes de fuga pueden producir un disparo intempestivo.

Existen dispositivos diferenciales especiales, los más adecuados para evitar los disparos intempestivos provocados por este fenómeno al presentar una alta insensibilización ante este tipo de fugas. Para minimizar los disparos intempestivos de dispositivos diferenciales carril DIN ante un rayo se aconseja la utilización de “**limitadores de sobretensiones transitorias**”, situándolo aguas arriba de la protección diferencial de alta sensibilidad; como se ve el esquema, Figura 4.7, se ve cómo se debe conectar este dispositivo (PF) en una línea monofásica, y las características que deben tener los diferenciales tanto si se sitúan aguas arriba o aguas abajo de dicho dispositivo PF. En cualquiera de los dos puntos, A o B, siempre tendrá una respuesta mucho mejor (no disparo) un modelo que un diferencial estándar.



**Figura 4.6:** Rayo cae cerca de un edificio



**Figura 4.7:** Protección diferencial y protección contra sobretensiones tipo rayo, correctamente coordinados.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El interruptor diferencial es un dispositivo de protección a personas, contra fugas de corriente a tierra provocadas por equipos defectuosos, instalaciones dañadas o contactos directos.
2. Con valores nominales de corriente diferencial desde 0.01 hasta 0.5A y su característica de ser insensibles tanto a los fenómenos transitorios de la red, como a las perturbaciones de origen atmosférico, permiten su aplicación en cualquier sector ya sea industrial, comercial o residencial. Un botón de prueba "Test" en la parte frontal permite verificar periódicamente su correcto funcionamiento.
3. En cualquiera de sus versiones bipolar o tetrapolar, es posible adicionar al interruptor diferencial puro, accesorios tales como una bobina de disparo o contactos auxiliares utilizados para la gama de interruptores termomagnéticos.
4. El interruptor diferencial complementa también a la puesta a tierra ya que brinda la protección contra los contactos directos de partes del cuerpo a partes energizadas de algún circuito. Como se sabe la puesta a tierra está orientada solo a la protección de contactos indirectos, pero no de contactos directos.
5. Su uso es recomendado en el hogar, oficina, escuela, comercio e industria: Contactos residenciales a la intemperie, cocheras, baños, jacuzzis y en lugares cercanos a albercas, en lugares expuestos como obras en construcción, parques de diversiones, etc., para determinar el estado de la instalación y como protección de equipo e instalaciones por falla de aislamiento en conductores.
6. En un tablero eléctrico es obligatorio el uso del interruptor diferencial, es capaz de proteger en los casos de fugas de corriente que pueden dañar seriamente la salud de personas. Los interruptores termomagnéticos no tienen esta función ya que su misión es otra: proteger al conductor eléctrico del circuito contra sobrecorrientes (sean sobrecargas y cortocircuitos). Entonces estamos hablando de que ambos tipos de dispositivos, el termomagnético y el diferencial, deben incluirse en la instalación de un tablero eléctrico de protección para brindar una seguridad integral.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A**

**Tiempo de corte máximo del dispositivo de protección**



**ANEXO A: Tiempo de corte máximo del dispositivo de protección**

tensión de contacto $U_c$ (V)	Tiempo de corte máximo del dispositivo de protección (s)	
	corr. alterna	corr. continua
<b>■ locales o emplazamientos secos: <math>U_L \leq 50</math> V</b>		
< 50	5	5
50	5	5
75	0,60	5
90	0,45	5
120	0,34	5
150	0,27	1
220	0,17	0,40
280	0,12	0,30
350	0,08	0,20
500	0,04	0,10
<b>■ locales o emplazamientos húmedos: <math>U_L \leq 25</math> V</b>		
25	5	5
50	0,48	5
75	0,30	2
90	0,25	0,80
110	0,18	0,50
150	0,10	0,25
220	0,05	0,06
280	0,02	0,02

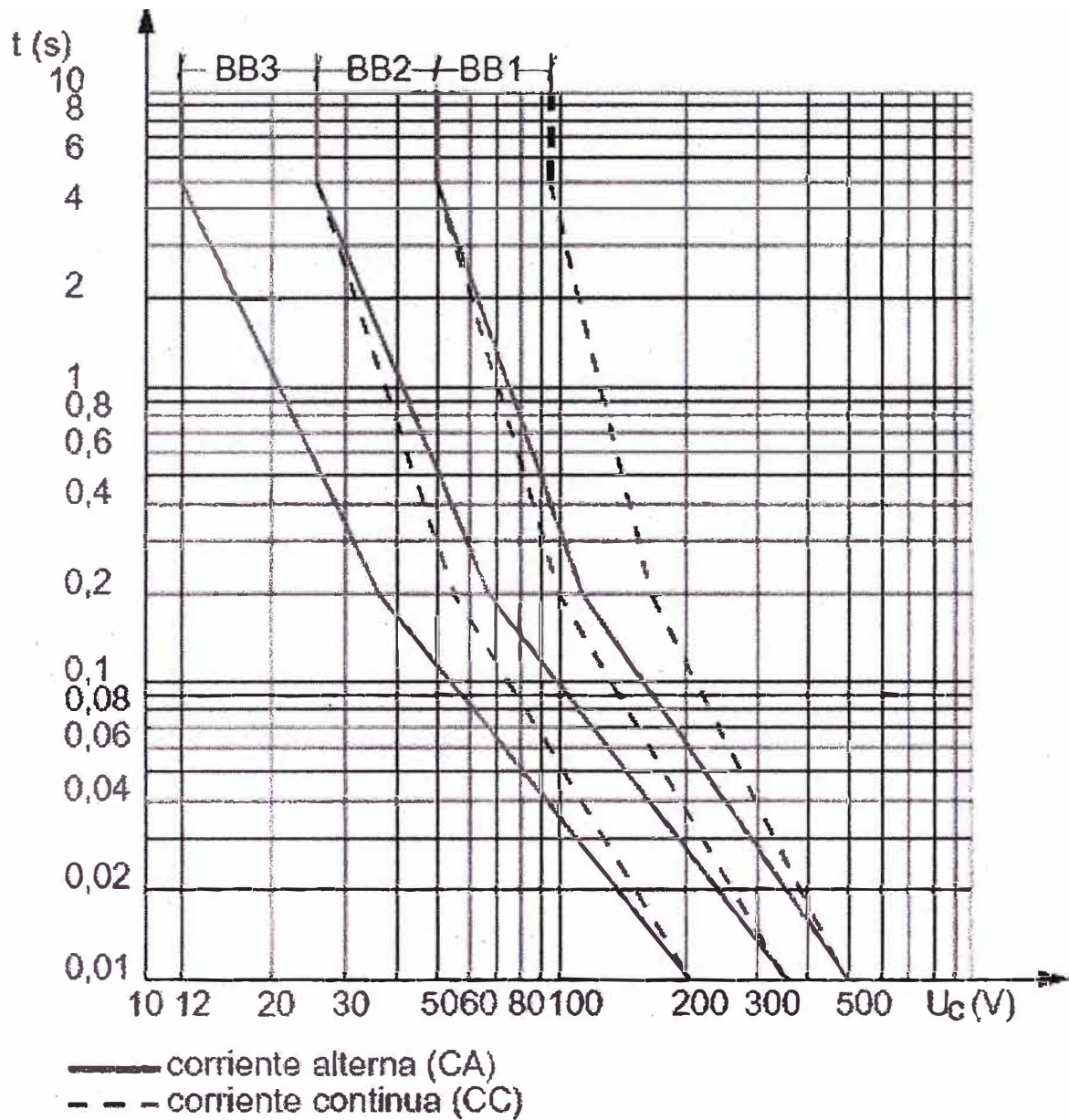
Tiempo máximo que es posible mantener la tensión de contacto según la norma UNE 20460 (o CEI 364).

FUENTE: Protección diferencial en baja tensión, manual Schneider electric; tabla 1.2. la tensión que depende de la zona seca o zona húmeda.

## **ANEXO B**

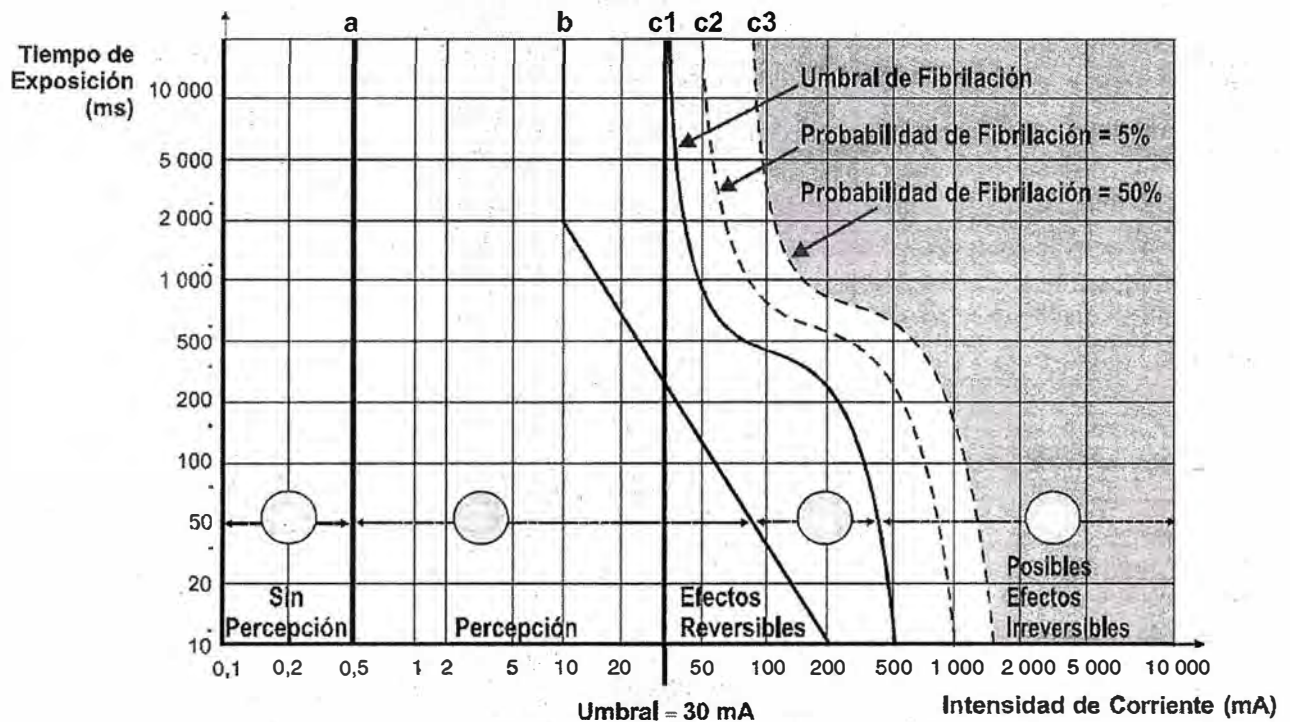
**Curva del Tiempo de Contacto vs la Tensión de contacto y Efecto de la corriente  
alterna sobre las personas**

**ANEXO B: Curva del Tiempo de Contacto vs la Tensión de contacto**



**Figura B.1:** Curva del Tiempo de contacto máximo ( $t$ ) en función de la Tensión de contacto ( $U_c$ ), de acuerdo a UNE 20460

**ANEXO B1: Efecto de la corriente alterna sobre las personas**  
**DIAGRAMA 11**  
**Zonas tiempo / corriente de los efectos de la corriente alterna**  
**(15 Hz a 100 Hz) sobre las personas**



Zonas	Efectos Fisiológicos
<b>Zona 1</b>	Por lo general ninguna reacción.
<b>Zona 2</b>	Por lo general ningún efecto fisiológico peligroso.
<b>Zona 3</b>	Por lo general ningún daño orgánico a ser esperado. Probabilidad de contracciones musculares y dificultad de respiración para duración de paso de la corriente mayor de 2 segundos. Perturbaciones reversibles en la formación y propagación de impulsos en el corazón, incluida la fibrilación ventricular y paros cardiacos temporales sin fibrilación ventricular, aumentando con la magnitud de la corriente y el tiempo.
<b>Zona 4</b>	Al aumentar la corriente y el tiempo, además de los efectos de la Zona 3, pueden ocurrir efectos patológicos peligrosos, tales como paro cardiaco, paro respiratorio y quemaduras severas. La probabilidad de fibrilación ventricular que aumenta hasta aproximadamente el 5% bajo la curva <b>c2</b> , hasta aproximadamente el 50% bajo la curva <b>c3</b> y encima del 50 % sobre la curva <b>c3</b> .

**FUENTE: C.N.E – UTILIZACION, DIAGRAMA 11**

## **ANEXO C**

**Determinación de las distancias de aislamiento y de las líneas de fuga**

## **ANEXO C: Determinación de las distancias de aislamiento y de las líneas de fuga**

### **DETERMINACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE AISLAMIENTO Y DE LAS LÍNEAS DE FUGA**

Para la determinación de las distancias de aislamiento y de las líneas de fuga, se recomienda tener en cuenta los siguientes puntos:

Si una distancia de aislamiento o una línea de fuga queda influenciada por una o más partes metálicas, es necesario que la suma de las secciones sea al menos igual al valor mínimo prescrito.

Las secciones individuales cuya longitud sea inferior a 1 mm no deberán ser tomadas en consideración en la determinación de la longitud total de las distancias de aislamiento y de las líneas de fuga.

Para la determinación de la línea de fuga:

las ranuras de profundidad y ancho como mínimo iguales a 1 mm, deberán ser medidas a lo largo de su contorno;

las ranuras que tengan una de sus dimensiones inferior a este valor no se tendrán en cuenta;

las nervaduras de altura mínima igual a 1 mm:

- Se mide el perímetro de su contorno, si son parte integrante de un componente de material aislante (por ejemplo por moldeado, soldadura o pegado);
- Se miden siguiendo el más corto de los dos trayectos: longitud de la junta o riel de la nervadura, si no forma parte integrante de un componente de material aislante.

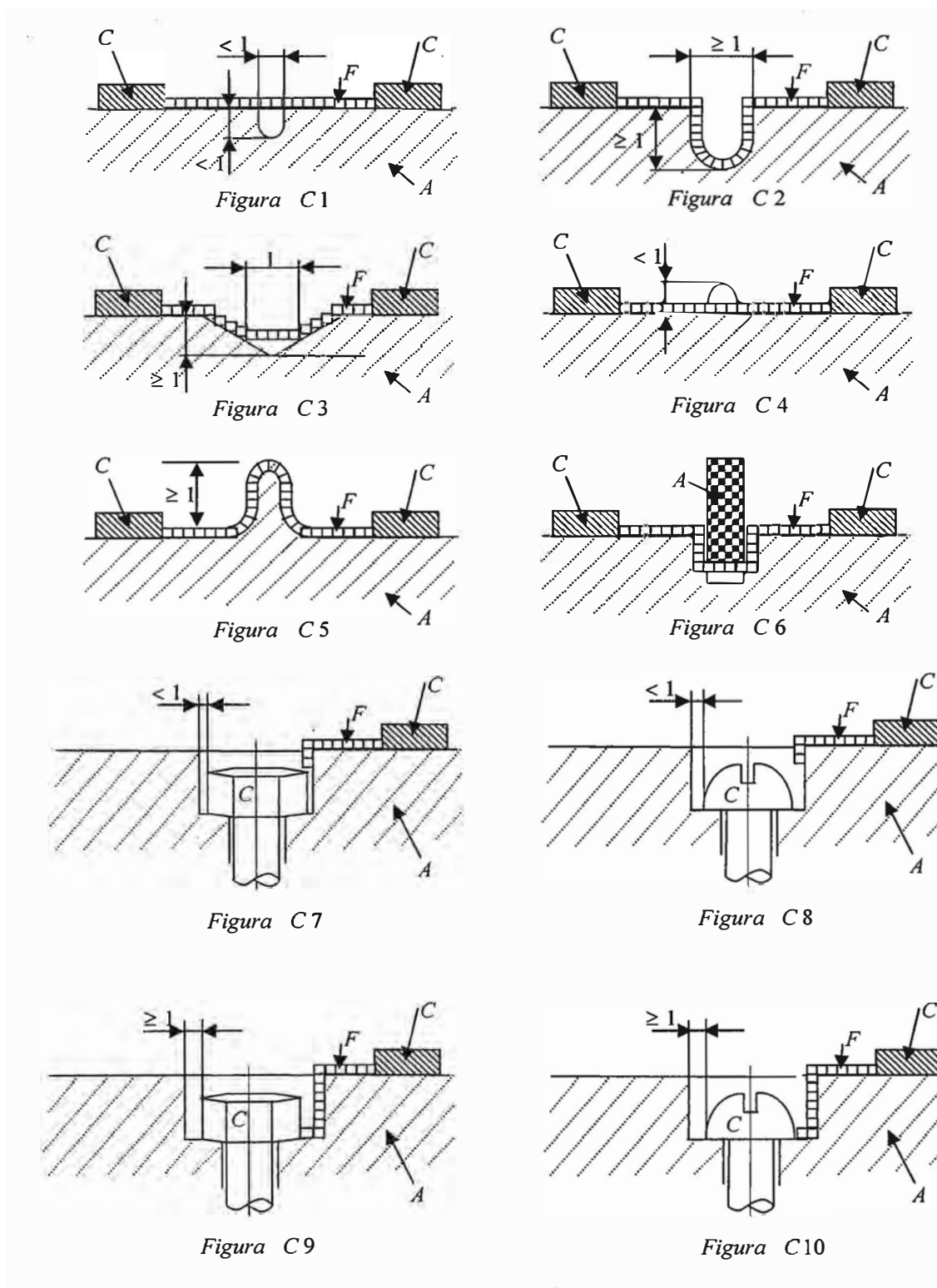
La aplicación de las recomendaciones anteriores se indica en las figuras siguientes:

las Figuras C.1, C.2 y C.3 indican la manera de tener o no en cuenta la presencia de una ranura en una línea de fuga;

las Figuras C.4 y C.5 indican la manera de tener o no en cuenta la presencia de una nervadura en una línea de fuga;

la Figura C.6 indica la manera de tener en cuenta la junta en el caso de una nervadura obtenida por la inserción de una barrera aislante, cuando el riel exterior de la nervadura tiene una longitud superior a la de la junta;

las Figuras C.7, C.8, C.9 y C.10 ilustran la manera de determinar la línea de fuga en el caso de medios de fijación situados en las cavidades en las partes aisladas de material aislante.



Dimensiones en mm

A = Materia aislante

C = Parte conductora

F = Línea de fuga

**FIGURAS C.1 a C.10 - Ilustraciones de la aplicación de las líneas de fuga**

## **ANEXO D**

### **Tipos de esquemas de puesta a tierra**



## ANEXO D: Tipos de esquemas de puesta a tierra

### NOTAS:

1. Las figuras a continuación muestran circuitos de sistemas trifásicos normalmente utilizados.

2. Los símbolos utilizados tienen la siguiente significación:

Primera letra: Situación de la alimentación con relación a tierra:

T = Conexión directa de un punto con tierra.

I = Aislamiento de todas las partes activas con relación a tierra, o bien, conexión de un punto con tierra a través de una impedancia.

Segunda letra: Situación de las masas de la instalación eléctrica con relación a tierra:

T = Masas unidas directamente a tierra, independientemente de la puesta a tierra eventual de un punto de alimentación.

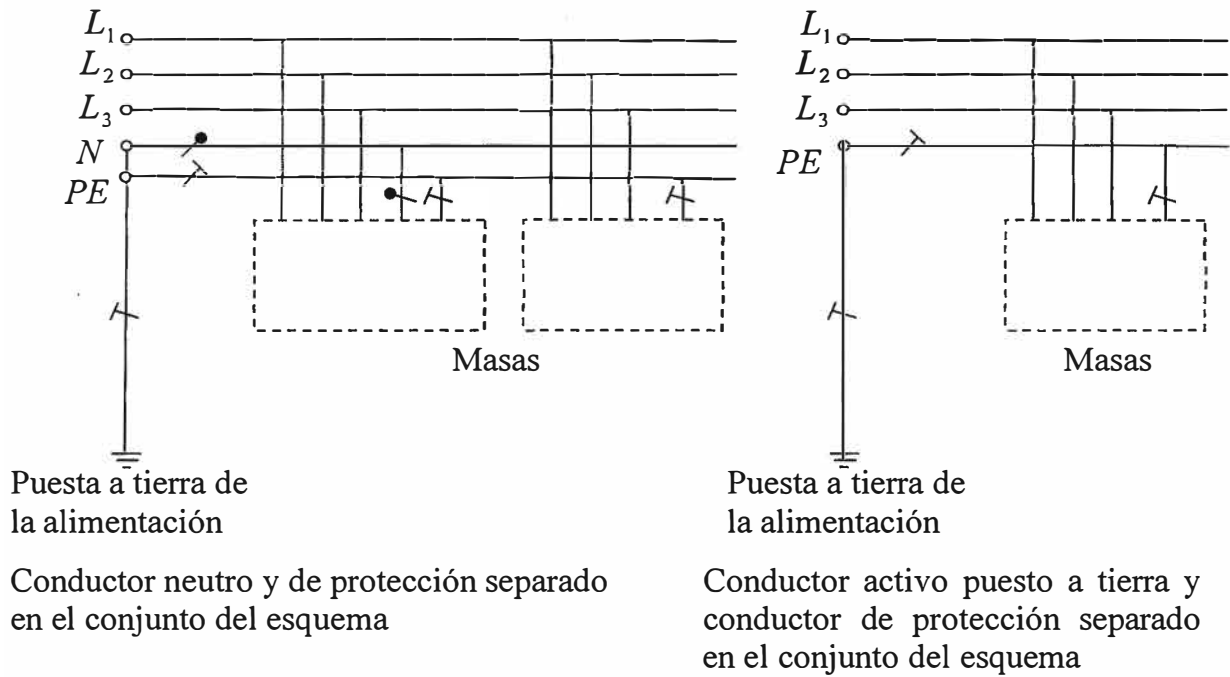
N = Masas unidas directamente al punto de alimentación puesto a tierra (en corriente alterna, el punto puesto a tierra es normalmente el punto neutro, o si no hay disponible ningún neutro, un conductor de fase).

Otras letras (si existen): Disposición del conductor neutro y del conductor de protección:

S = Funciones de protección aseguradas por un conductor distinto del neutro o desde el conductor de puesta a tierra (en sistema de corriente alterna, la fase a tierra).

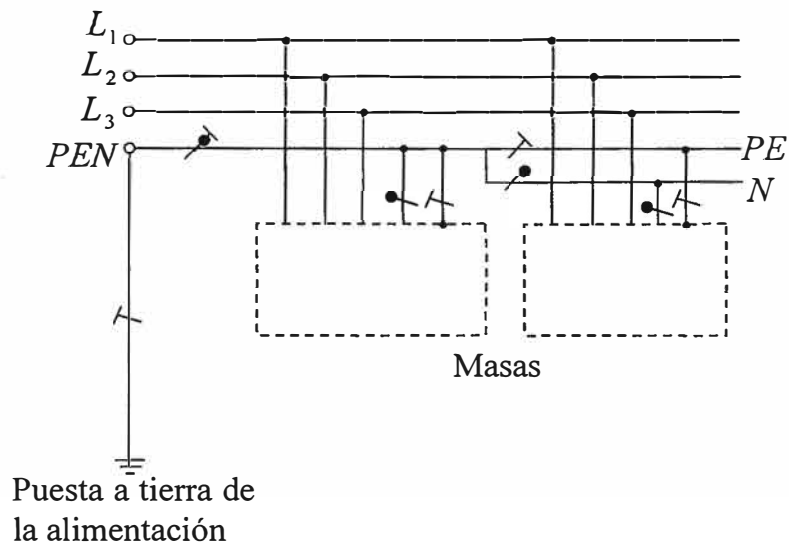
C = Funciones de neutro y de protección combinadas en un solo conductor (conductor PEN).

Para los símbolos de las siguientes figuras véase la Tabla al final.



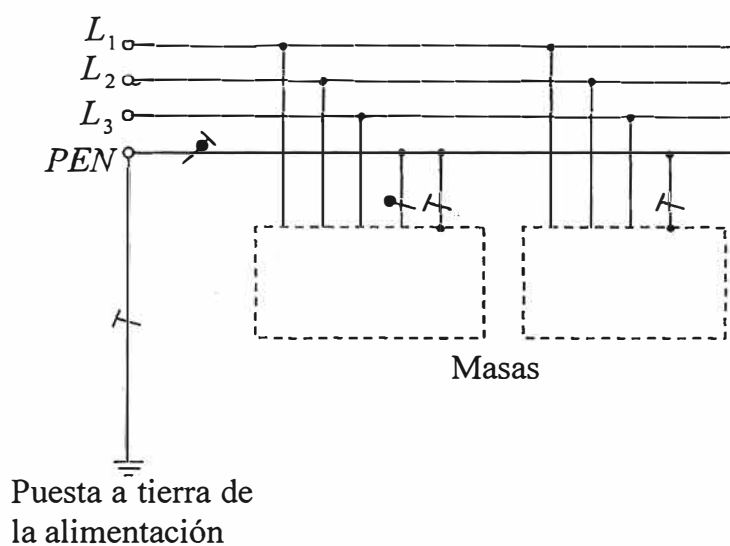
**Figura D1:** Esquema TN-S.

Conductor neutro y conductor de protección están separados en el conjunto del esquema



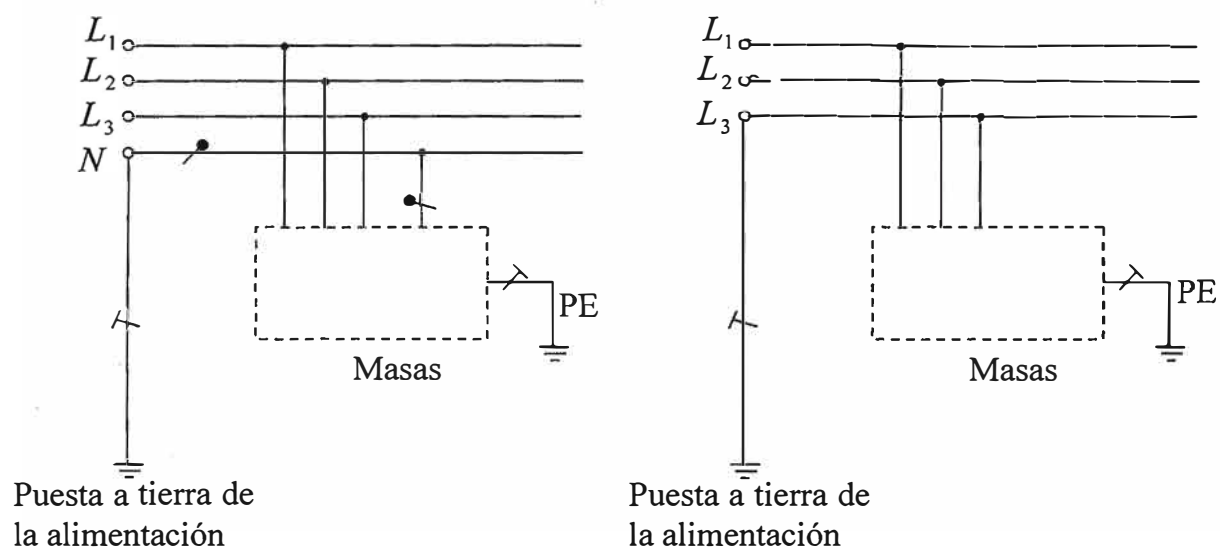
**Figura D2:** Esquema TN-C-S.

Funciones de neutro y de protección combinadas en un solo conductor en una parte del esquema



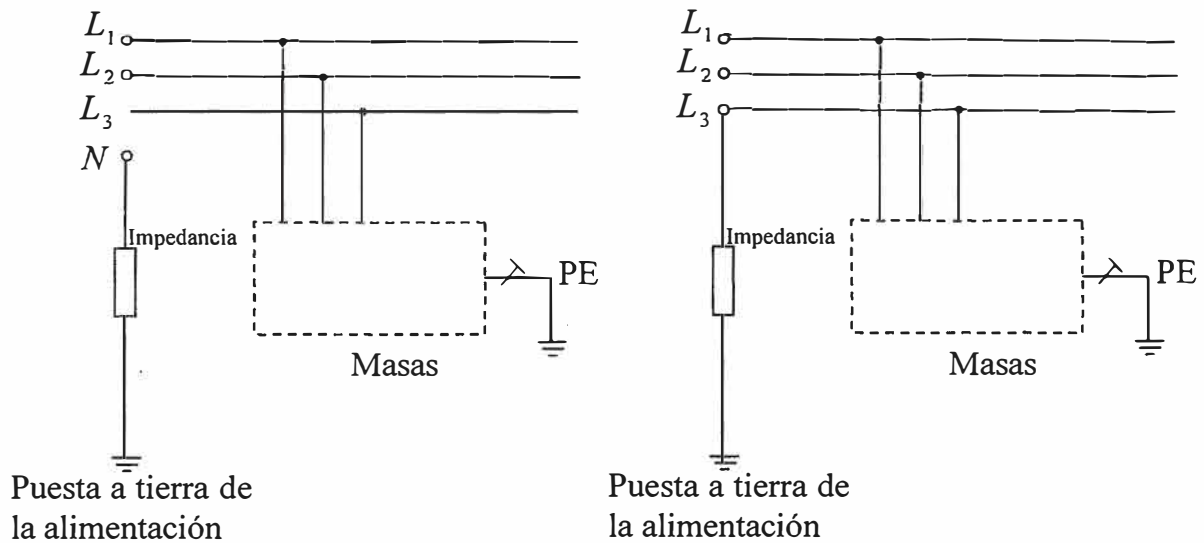
**Figura D3:** Esquema TN-C

Funciones de neutro y de protección combinadas en un solo conductor en el conjunto del esquema



**Figura D4:** Esquema TT

Punto de alimentación unido directamente a tierra, las masas de la instalación eléctrica están unidas a las tomas de tierra eléctricamente distintas de la toma de tierra de la alimentación



**Figura D5:** Esquema IT

Todas las partes activas aisladas de tierra o un punto conectado a tierra a través de una impedancia, estando las masas de la instalación:

- Conectadas a una tierra independiente
- Conectadas colectivamente a tierra.
- Conectadas colectivamente a la puesta a tierra del sistema.

Descripción de símbolos	
	Conductor neutro (N)
	Conductor de protección(PE)
	Conductor de protección y neutro combinados

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Normas Técnicas de la Calidad del Servicio Eléctrico. 2001
- [2] Código Nacional de Electricidad – Tomo I. 2002
- [3] Código Nacional de Electricidad – Utilización 2006
- [4] Instalaciones Eléctricas en Edificios. Protección para garantizar la seguridad. Protección contra los choques eléctricos. Norma Técnica Peruana – NTP 370.303. 2003
- [5] Interruptores automáticos para actuar por corriente residual (interruptores diferenciales), sin dispositivo de protección contra sobrecorrientes, para uso doméstico y similares. Parte 1: Reglas generales. Norma Técnica Peruana – NTP-IEC 61008-1. 2005
- [6] Interruptores Automáticos para Protección Contra Sobrecorrientes en Instalaciones Domesticas y Similares. Norma Técnica Peruana, NTP-IEC 60898-1. 2004.
- [7] Guía de Protección Diferencial Merlin Gerin. 2000