



escolauniversitaria
POLITÉCNICA



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

TÍTULO PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIÓNS
EN INSTALACIÓNS ELÉCTRICAS
DE BAIXA TENSIÓN

MÁSTER MESTRADO UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA E
APROVEITAMENTO ENERXÉTICO

ASIGNATURA TRABALLO FIN DE MESTRADO

ALUMNO MARTÍN ABELEIRA NOGAREDA

DIRECTOR CARLOS MIGUEL MENACHO GARCÍA

FECHA SETEMBRO DE 2017

Índice

1	OBXETIVO	10
2	ALCANCE	10
3	SOBRETENSIÓNS	11
3.1	INTRODUCCIÓN	11
3.2	ONDAS DE ENSAIO	11
3.2.1	ONDAS DE CORRENTE 10/350 E 8/20	11
3.2.2	ONDA DE TENSIÓN 1.2/50	13
3.3	SOBRETENSIÓNS TRANSITORIAS	13
3.3.1	CAUSAS	13
3.3.2	EFFECTOS	14
3.4	SOBRETENSIÓNS EN RÉXIME PERMANENTE	15
3.4.1	CAUSAS	15
3.4.2	EFFECTOS	16
3.5	NATUREZA DAS SOBRETENSIÓNS	16
3.5.1	ACOPLAMENTO GALVÁNICO	16
3.5.2	ACOPLAMENTO INDUTIVO	17
3.5.3	ACOPLAMENTO CAPACITIVO	17
3.5.4	PROPAGACIÓN EN MODO COMÚN OU ASIMÉTRICO	17
3.5.5	PROPAGACIÓN EN MODO DIFERENCIAL OU SIMÉTRICO	19
3.6	CATEGORÍAS DAS SOBRETENSIÓNS	19
3.6.1	RESUMO CATEGORÍAS	20
4	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN FRONTE A SOBRETENSIÓNS TRANSITORIAS	21
4.1	PROTECTORES	21
4.1.1	TIPO 1	21
4.1.2	TIPO 2	22
4.1.3	TIPO 3	23
4.2	CARACTERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN	23
4.3	COMPONENTES DOS PROTECTORES	25
4.3.1	VÍAS DE CHISPAS E DESCARGADORES DE ARCO OU GAS	25
4.3.2	VARISTORES	28
4.3.3	DÍODOS SUPRESORES	31
4.3.4	DÍODOS ZENER	31
4.4	PROTECCIÓN ESCALONADA	31
5	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN FRONTE A SOBRETENSIÓNS PERMANENTES	33
5.1	EXEMPLO SOFTWARE MOISAN	34
6	PROTECCIÓN COMBINADA TRANSITORIAS-PERMANENTES	36
7	NORMATIVA	38
7.1	ITC 23 REBT	38
7.2	GUÍA TÉCNICA DEE APLICACIÓN ITC 23 REBT	39
7.3	REGULACIÓN DA COMUNIDADES AUTÓNOMAS E COMPAÑÍAS ELÉCTRICAS	41

7.4	UNE-EN 50550	42
7.4.1	CURVA DE DISPARO	42
7.5	UNE-EN 61643-11	43
7.6	UNE-EN 50160	45
7.7	UNE-EN 61000-4-30	46
7.8	UNE-EN 62305-4	47
8	SELECCIÓN DO PROTECTOR	48
8.1	AVALIACIÓN DO RISCO DE SOBRETENSIÓN	48
8.2	SELECCIÓN DA CORRENTE MÁXIMA DE DESCARGA DO PROTECTOR	50
8.3	SELECCIÓN DO PROTECTOR EN FUNCIÓN DO SISTEMA DE CONEXIÓN A TERRA	51
8.3.1	REDES TT	51
8.3.2	REDES IT	51
8.3.3	REDES TN-C/TN-S	52
8.3.4	RESUMO DA INSTALACIÓN DE PROTECTORES EN FUNCIÓN DA REDE DE DISTRIBUCIÓN	53
8.4	SELECCIÓN DO PROTECTOR ADECUADO	53
8.4.1	ZONA DE PROTECCIÓN ONDE SE VAI A UBICAR	53
8.4.2	TENSIÓN RESIDUAL MÁXIMA TOLERABLE	53
8.4.3	PARÁMETROS ADICIONAIS DA LIÑA	54
8.4.4	ETAPAS DE PROTECCIÓN	54
8.5	RECOMENDACIÓNS DE INSTALACIÓN DOS FABRICANTES	55
8.5.1	REGRAS DE CABLEADO	55
8.5.2	RÉXIMENES DE NEUTRO	58
8.5.3	PROTECCIÓN DOS DESCARGADORES	60
9	GUÍA DE SELECCIÓN DE PROTECTORES FRONTE A SOBRETENSIÓNS	64
9.1	Protectores fronte a sobretensiós transitorias	64
9.2	Protectores combinados e fronte a sobretensiós permanentes	66
10	EXEMPLOS DE APLICACIÓN	67
11	GLOSARIO TÉCNICO	71
12	SIMBOLOXÍA	75
13	REFERENCIAS	76
14	LISTADO DE FABRICANTES	78
15	ANEXO	79
15.1	XUSTIFICACIÓN CÁLCULOS RUPTURA CONDUTOR NEUTRO	79
15.1.1	CÓDIGO IMPLEMENTADO MATLAB	81
15.2	PROTECTORES EN FUNCIÓN DO TIPO DE REDE DE DISTRIBUCIÓN	84

Listado de figuras

3.1	Tipos de sobretensións	11
3.2	Ondas de corrente 10/350 e 8/20 μs	12
3.3	Tempo ondas de ensaio de corrente	12
3.4	Exemplo impacto raio liña eléctrica	13
3.5	Onda de tensión 1.2/50	13
3.6	Sobretensión transitoria	14
3.7	Sobretensión permanente	15
3.8	Sistema trifásico compensado e descompensado	16
3.9	Acoplamento Galvánico	17
3.10	Acoplamento Inductivo	18
3.11	Acoplamento Capacitivo	18
3.12	Sobretensión en modo común	18
3.13	Sobretensión en modo diferencial	19
4.1	Instalación dispositivo protección sobretensións transitorias	21
4.2	Protector contra sobretensións transitorias tipo 1	22
4.3	Protector contra sobretensións transitorias tipo 2 e tipo 1+2	22
	(a) Tipo 2	22
	(b) Tipo 1+2	22
4.4	Protector contra sobretensións transitorias tipo 3	23
4.5	Protector contra sobretensións transitorias tipo 2+3	23
4.6	Díodo zener - Varistor - Descargador de gas	25
4.7	Vía de chispas - descargador de gas	26
4.8	Proceso derivación a terra	26
4.9	Vías de chispas de separación	27
4.10	Ponte en brida de illamento	27
4.11	Ponte en brida de illamento. Conexión indirecta á toma de terra	27
4.12	Vías de chispas. Protección liña aérea	28
4.13	Curva característica varistor	29
4.14	Funcionamento varistor	30
4.15	Varistor	31
4.16	Protección escalonada	32
4.17	Reducción da tensión - Protección escalonada	32
5.1	Esquema de conexión dun protector fronte a sobretensións permanentes máis dispositivo de protección	33
	(a) Esquema de conexión	33
	(b) Aspecto do dispositivo	33
5.2	Sistema antes dunha sobretensión permanente. Neutro pechado	34
5.3	Sobretensión permanente. Neutro aberto.	34
6.1	Protección combinada mediante interruptor diferencial	36
6.2	Protector combinado. Utilización diferencial como elemento de corte	37
6.3	Protección combinada mediante interruptor automático	37
6.4	Protector combinado. Utilización dun interruptor automático como elemento de corte	37
7.1	Situacións obrigatorias de protección	40
7.2	Situacións recomendables de protección	40

7.3	Curva disparo sobretensión permanente	43
7.4	Abreviaturas Xerais	44
7.5	Abreviaturas Tensión	44
7.6	Abreviaturas Corrente	44
7.7	Clasificación das sobretensións	46
8.1	Distribución niveis Ng en España	49
8.2	Esquema de conexión en redes TT	51
8.3	Esquema de conexión en redes IT	52
8.4	Esquema de conexión en redes TNC-TNS	52
8.5	Zonas de protección e tipo de protector según a norma UNE-EN 62-3054	53
	(a) Zonas de protección nunha oficina según a norma UNE-EN 62-3054	53
	(b) Tipo de protector en función da zona de protección fronte o raio	53
8.6	Tipo de protector en función do equipo a protexer	54
8.7	Regra 1	55
8.8	Distancias máis cortas posibles	56
8.9	Regra 2	56
8.10	Instalación correcta dos protectores tendo en conta as regras 3 e 4	57
8.11	Regra dos 30 m	58
	(a) Regra 3 e 4. Instalación correcta	58
	(b) Regra 3 e 4. Instalación incorrecta	58
8.12	Esquema TT - Protección comun	59
8.13	Esquema TT - Protección diferencial	59
8.14	Esquema TT - Protección comun - diferencial	60
8.15	Prioridade á continuidade de servicio	61
8.16	Prioridade á protección	61
8.17	Instalación fusibles protector	62
8.18	Indicación visual de fallo	63
8.19	Indicación remota protector	63
8.20	Montaxe que evita disparos intempestivos	63
9.1	Esquema selección primeiro escalón	64
9.2	Esquema selección segundo e terceiro escalón	65
9.3	Esquema selección protección combinada ou permanente	66
10.1	Electrodomésticos dunha vivenda unifamiliar	67
10.2	Aparamenta electrónica	67
10.3	Estación de servicio	68
10.4	Edificio de oficinas	68
10.5	Residencia terceira idade	69
10.6	Esquema de conexión protección combinada fronte a sobretensións	69
	(a) Exemplo trifásico	69
	(b) Exemplo monofásico	69
10.7	Tendido separado dos condutores N e PE desde a acometida. Sistema TNe	70
12.1	Simbología	75
15.1	Sistema de conexión TT	85
15.2	Sistema de conexión IT	85
15.3	Sistema de conexión TN-C	86
15.4	Sistema de conexión TN-S	86

15.5 Sistema de conexión TN-CS 86

Listado de tablas

3.1	Categoría das sobretensións	20
4.1	Sección mínima condutor protector-borne de terra	25
5.1	Valores de tensión e corrente antes da ruptura do neutro	34
5.2	Valores de tensión e corrente tras a ruptura do neutro	35
7.1	Valores límite dos tempos de funcionamento e de non resposta	43
7.2	Tipos de protectores fronte a sobretensións transitorias	45
7.3	Zonas de protección UNE-EN 62-3054	47
8.1	Valor de BT en función da lonxitude	49
8.2	Parámetros en función do entorno	49
8.3	Valor sensibilidade dos materiais	50
8.4	Coste económico do material	50
8.5	Consecuencias de non dispoñer do material	50
8.6	Selección da corrente de descarga en función de R e E	50
8.7	Selección do protector en función da rede de distribución	53
8.8	Valores recomendados I.A. e fusibles	62
8.9	Fusibles recomendados	62
9.1	Selección dun protector nun edificio con centralización de contadores	65
9.2	Selección dun protector nunha vivenda unifamiliar	66

1 OBXETIVO

O obxectivo deste proxecto é realizar un estudio introdutorio sobre as sobretensións eléctricas en baixa tensión, xa que estas producen unha diminución na calidade do servizo eléctrico. Para isto, realizarase un estudio en canto a súa natureza, causas, efectos e medidas da mesma, así como a normativa que leva asociada este tipo de perturbacións. Tamén se levará a cabo un estudio sobre as diferentes solucións técnicas que ofrece o mercado, establecendo uns criterios de selección entre as distintas alternativas existentes, e recollendo información sobre a normativa das instalacións.

2 ALCANCE

Instalacións eléctricas de baixa tensión.

3 SOBRETENSIÓNS

3.1 INTRODUCCIÓN

As instalacións eléctricas están en constante evolución desde que empezou a introducirse a aparellos eléctrica. Esta evolución está directamente relacionada coa natureza dos distintos receptores. Como o prezo destes novos receptores que se están a instalar é cada vez maior, é importante conseguir unha boa protección global de toda a instalación. Aparte dos xa coñecidos defectos de sobrecarga e cortocircuíto, hoxe en día tamén é preciso realizar unha protección fronte a sobretensiós.

Como se pode observar na figura 3.1 as sobretensiós poden clasificarse en sobretensiós transitorias e permanentes ou temporales. As transitorias son debidas principalmente ó impacto de raios e a manobras na rede, e as permanentes ou temporales, á ruptura ou mala conexión do neutro [20, 13].

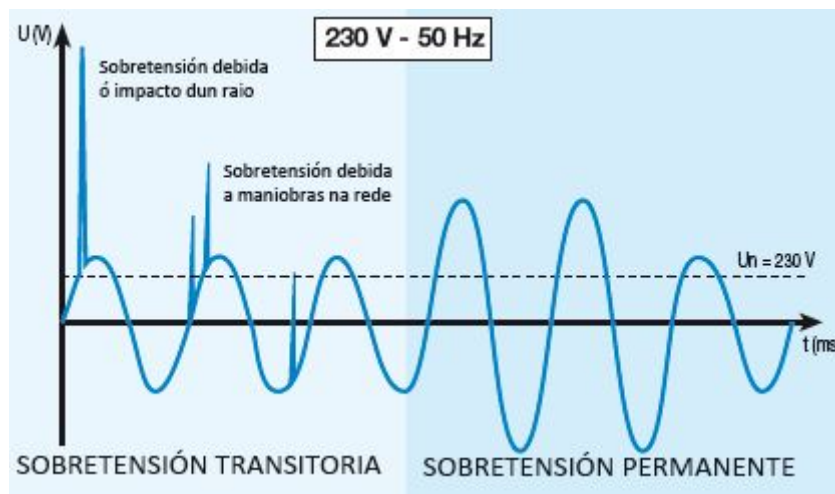


Figura 3.1: Tipos de sobretensiós

3.2 ONDAS DE ENSAIO

Para que os protectores funcionen dunha maneira adecuada, estes son sometidos a unhas ondas de ensaio de corrente e de tensión. As ondas as que se somete cada protector son as seguintes:

- Tipo I $\rightarrow 10/350 \mu s$.
- Tipo II $\rightarrow 8/20 \mu s$.
- Tipo III $\rightarrow 8/20, 1.2/50 \mu s$.

3.2.1 ONDAS DE CORRENTE 10/350 E 8/20

Estas dúas formas de onda surxiron para simular o impacto directo e indirecto dun raio.

A onda de longa duración ou onda 10/350 simula o impacto directo dun raio, co nivel elevado de enerxía que este conleva.

A onda de curta duración ou onda 8/20 simula o impacto indirecto dun raio. A enerxía asociada a esta onda non é tan elevada como no caso da de 10/350, e tamén se simula operacións de conmutación e interferencias parásitas.

Na figura 3.2 pódense ver as formas de onda así como a súa duración [13].

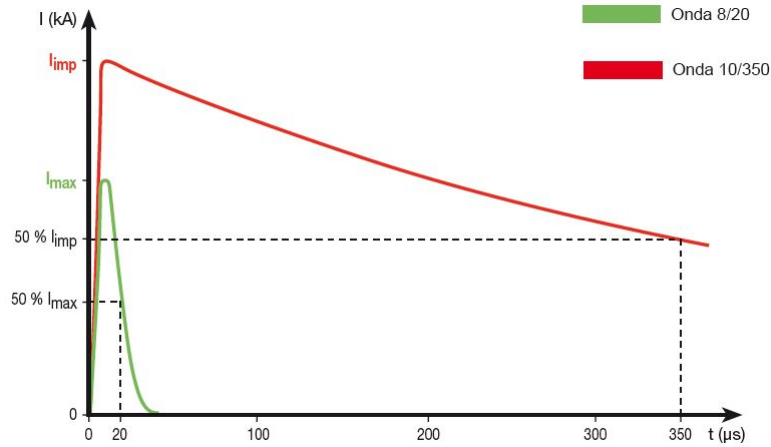


Figura 3.2: Ondas de corrente 10/350 e 8/20 μs

A nomenclatura das dúas ondas indica o seguinte:

- A primeira cifra representa o tempo que leva chegar dende o 10 % do valor da intensidade ó 90 % do seu máximo valor.
- A segunda cifra representa o tempo que leva chegar ó 50 % do valor máximo da intensidade.

Na figura 3.3 móstrase dunha maneira gráfica o porque da nomenclatura.

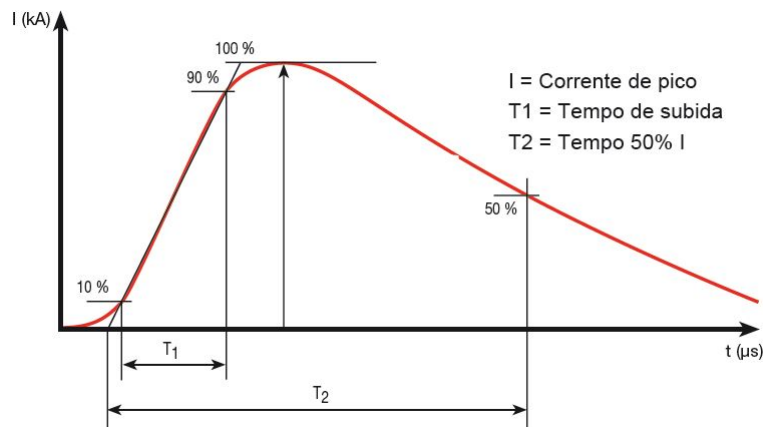


Figura 3.3: Tempo ondas de ensaio de corrente

Na figura 3.4 móstrase un dos múltiples casos que se poden dar no caso do impacto dun raio. Pódese observar que a zoa da liña onde impacta o raio está sometida a unha corrente igual que unha onda 10/350, mentres que o valor da corrente que chega a vivenda é representada a través dunha onda 8/20 [13].

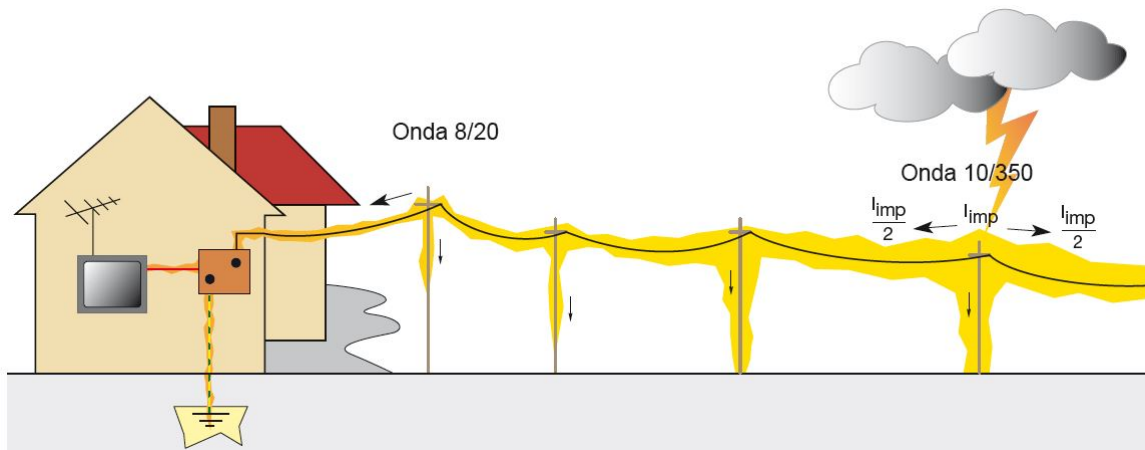


Figura 3.4: Exemplo impacto raio liña eléctrica

3.2.2 ONDA DE TENSIÓN 1.2/50

Esta onda de ensaio so se utiliza cos dispositivos de protección tipo 3 (ver apartado 4.1.3). Neste caso, en vez de simular un cortocircuito provocado polo impacto directo ou indirecto dun raio, simula a tensión que quedaría entre o xerador e a carga, tal e como se pode ver na figura 3.5 [13].

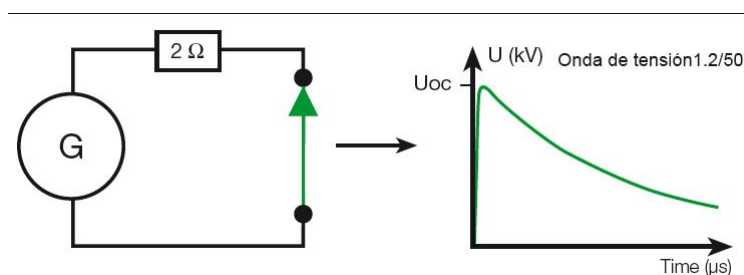


Figura 3.5: Onda de tensión 1.2/50

Igual que nas ondas de corrente, a primeira cifra indica o tempo que lle leva chegar do 10% ó 90% do valor máximo da onda (so que neste caso trátase dunha tensión e non dunha intensidade) e a segunda cifra o tempo que leva acadar o 50% do valor máximo.

3.3 SOBRETENSIÓNS TRANSITORIAS

As sobretensións transitorias, son picos de tensión que poden chegar ata as decenas de Kilovoltios pero a súa duración é de tan so microsegundos. Aínda que a duración da sobretensión e moi curta, pode causar problemas moi graves nos equipos instalados na rede eléctrica debido o alto contido de enerxía que estas presentan. Estes problemas van dende o envellecemento prematuros dos equipos ata a súa destrución, coas conseguíntes perdas económicas que isto conleva [4].

Estas sobretensións, non se producen so nas liñas de distribución eléctrica, senón que tamén son comúns en calquera liña que este formada por condutores metálicos, como poden ser as de comunicación, datos ou telefonía.

3.3.1 CAUSAS

As principais causas de esta clase de sobretensións pode deberse a:

- Impacto directo de descargas atmosféricas no pararraios da instalación.
- Impacto directo dun raio sobre as liñas eléctricas.
- Indución de campos electromagnéticos debido o impacto de raios. Canto maior sexa a liña, maior será esta indución.
- Manobras na rede eléctrica, como por exemplo a conmutación de centros de transformación, ou a conexión de bancos de condensadores.
- Desconexión de motores ou outras cargas indutivas, que poden provocar picos de tensión en liñas colindantes.
- Descargas electrostáticas debido o intercambio de cargas eléctricas entre corpos con distinto potencial eléctrico.

Na figura 3.6 pódese ver o pico dunha sobretensión transitoria, donde a área de cor vermello representa o valor de tensión que provoca unha destrución do equipo.

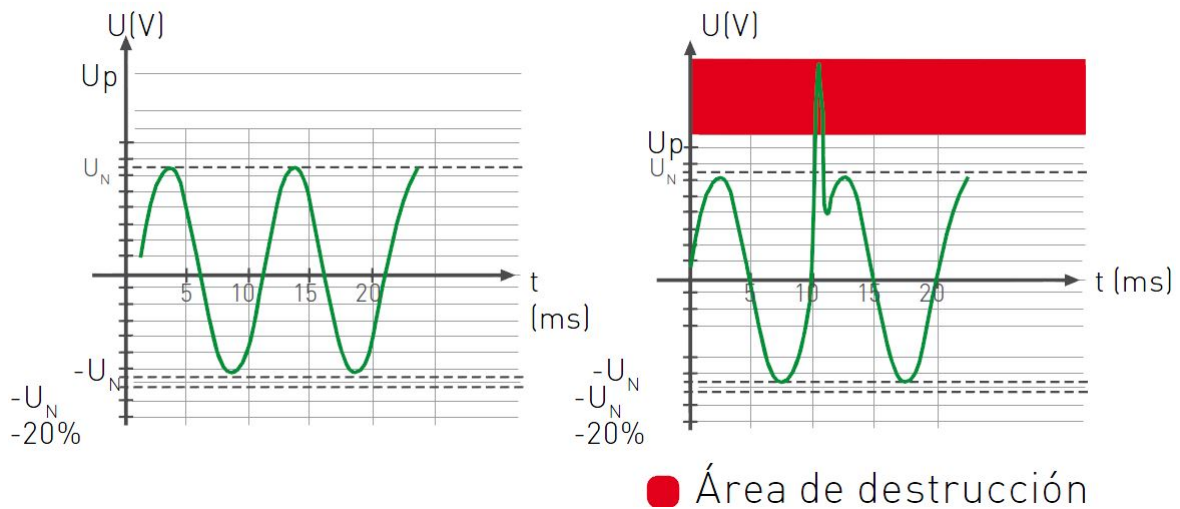


Figura 3.6: Sobretensión transitoria

3.3.2 EFECTOS

Os principais efectos das sobretensións transitorias son os seguintes:

Disrupción: Pérdidas de datos, fallos en equipos informáticos, interrupcións súbtias da aparelamenta eléctrica e electrónica, toma de datos incorrecta....

Danos: As sobretensións transitorias poden danar dunha forma non reversible toda a aparelaxe electrónica da instalación (elementos como placas, buses de comunicación, etc). Pode chegar a provocarse a destrución do equipo e incluso chegar a arder os cables de alimentación do mesmo podendo provocarse un incendio.

Degradación: e se algún equipo está de unha forma continua sometido a sobretensións transitorias, este pode degradarse sen que o usuario poida darse de conta, incrementando deste xeito a probabilidade de que se produza un fallo e reducindo a vida útil do mesmo.

Risco para as persoas: As sobretensións poden ser un risco para as persoas, polo que se debe de ter en conta o que indique a lei de Prevención de Riscos Laborais.

3.4 SOBRETENSIÓN EN RÉXIME PERMANENTE

As sobretensións permanentes, son aquelas de larga duración que se manteñen durante varios ciclos da onda ou de forma permanente. Considéranse como tal, calquera valor de tensión por encima do 10% do valor nominal eficaz durante un período determinado [4].

3.4.1 CAUSAS

As principais causas de esta clase de sobretensións pode deberse a:

- Mal conxicionado do condutor neutro.
- Ruptura do condutor neutro.

Na figura 3.7 pode verse unha sobretensión permanente na liña L2, onde a área de cor vermello representa o valor de tensión que provoca a destrución dos equipos conectados a esa fase.

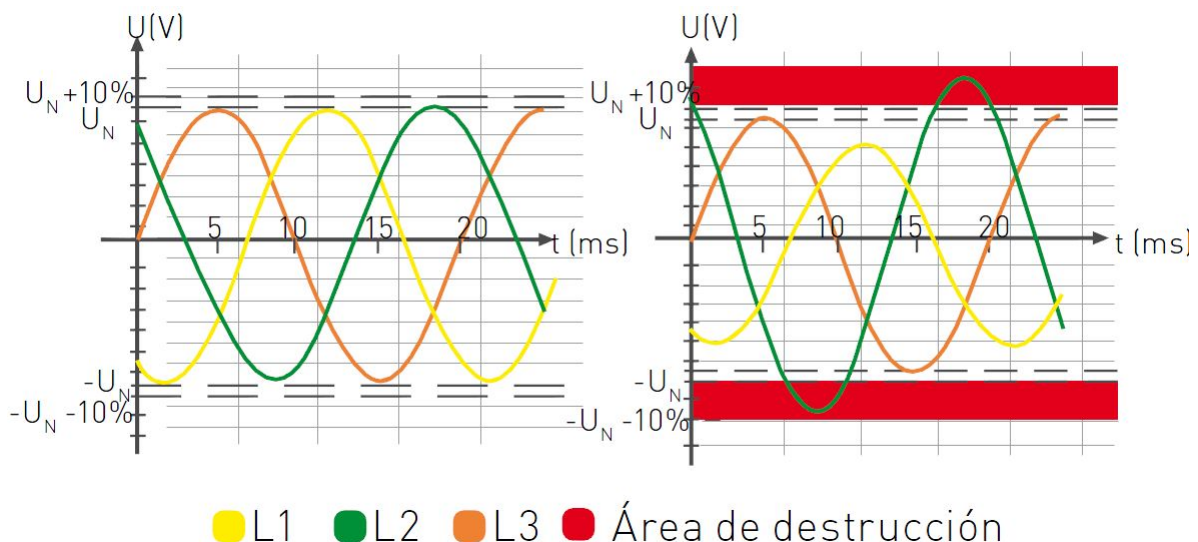


Figura 3.7: Sobretensión permanente

Na figura 3.8 pode verse a diferenza entre un sistema trifásico compensado e un sistema trifásico descompensado tras a ruptura do condutor neutro.

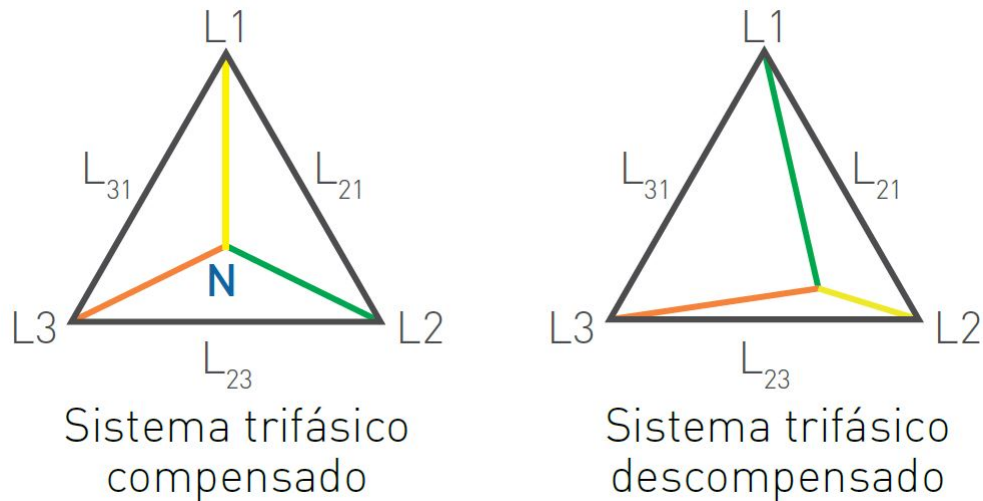


Figura 3.8: Sistema trifásico compensado e descompensado

3.4.2 EFECTOS

Igual que coas sobretensións transitorias, as permanentes producen a disrupción, degradación e provocación de danos na aparamenta eléctrica e electrónica das instalacións eléctricas, destruindo os equipos e provocando a redución da vida útil dos mesmos. Os efectos máis comúns deste tipo de sobretensións son os seguintes:

- **Avaria de equipos:** En todos aqueles equipos que estén sometidos a un valor de tensión superior a nominal, pode producirse un quentamento dos mesmos, chegando a quedar inutilizados se se supera o seu límite térmico.
- **Detección difícil:** Complicadas de detectar xa que o incremento de temperatura dos equipos non é instantáneo.

3.5 NATUREZA DAS SOBRETENSIÓNS

As sobretensións poden chegar aos circuitos eléctricos de tres formas distintas que son: o acoplamento galvánico, indutivo, ou capacitivo. Estas sobretensións poden actuar en dous sentidos nos circuitos ós que afectan, que son a propagación en modo común ou asimétrico e a propagación en modo diferencial ou simétrico. Nos seguintes puntos, trataranse estas características das sobretensións [26].

3.5.1 ACOPLAMENTO GALVÁNICO

As sobretensións que se acoplan directamente a un circuito eléctrico reciben esta nomenclatura.

Isto pode observarse nas descargas dos raios. Como a amplitude da onda do raio é moi elevada, causa unha sobretensión na resistencia de posta a terra. Todos os condutores que están conectados equipotencialmente cárganse con esta tensión producíndose unha sobretensión a través dos condutores que son recorridos pola corrente do raio.

Esta sobretensión debe de ser conducida de volta á parte inductiva da impedancia do condutor, debido principalmente a gran pendente da curva da corrente. Para calculala debe de utilizarse a lei de Faraday.

Na figura 3.9 pódese ver o esquema dun acoplamento galvánico [26].

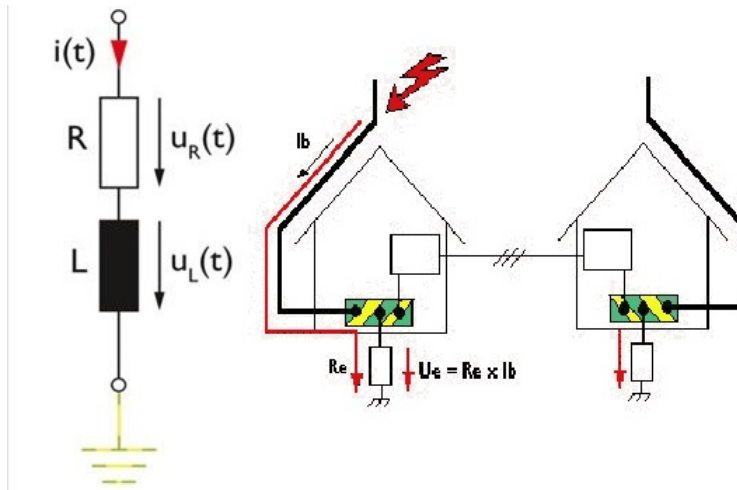


Figura 3.9: Acoplamento Galvánico

3.5.2 ACOPLAMENTO INDUCTIVO

Según o principio do transformador, este tipo de acoplamento dáse cando a corrente circula por un condutor dando lugar a un campo magnético. As sobretensións que se acoplan directamente, causan no condutor afectado unha sobrecorrente momentánea con elevados valores de subida. Ó mesmo tempo, por mor desta corrente, prodúcese un campo magnético forte en torno a este condutor, de igual forma que sucede no bobinado primario dun transformador. Este campo magnético, induce unha sobretensión nos condutores que se atopan pretos a el, de igual forma que sucede no bobinado secundario dun transformador. A sobretensión acoplada chega ó equipo afectado a través do condutor. Na figura 3.10 pódese ver o esquema dun acoplamento inductivo [26].

3.5.3 ACOPLAMENTO CAPACITIVO

O acoplamento capacitivo dáse a través do campo eléctrico entre dous puntos cunha gran diferenza de potencial. Por exemplo, un aparato que sexa condutor da electricidade debido ó impacto dun raio é exposto a unha gran diferenza de potencial (véxase o pararraios da instalación). Entre esta parte con elevado potencial, e outras cun potencial inferior (por exemplo, a liña de alimentación), xérase un campo eléctrico. A tensión entre estes dous puntos tende a igualarse, o que provoca un aumento de tensión na liña afectada e nos aparatos conectados a esta [26]. Na figura 3.11 pódese ver o esquema dun acoplamento capacitivo.

3.5.4 PROPAGACIÓN EN MODO COMÚN OU ASIMÉTRICO

As sobretensións que se propagan no modo común ou asimétrico son as que se orixinan entre un condutor activo e terra, ben entre fase e terra ou ben entre neutro e terra. Estas resultan moi perigosas

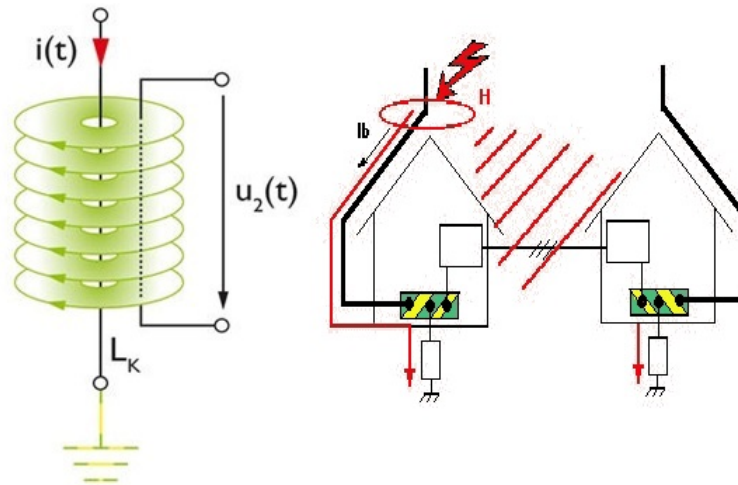


Figura 3.10: Acoplamiento Inductivo

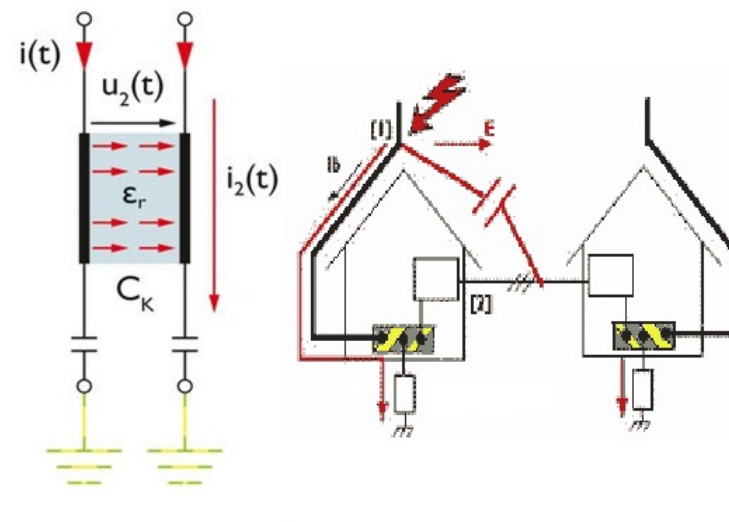


Figura 3.11: Acoplamiento Capacitivo

para os dispositivos nos que as masas se encontran unidas a terra debido ó risco de defecto eléctrico. Tamén existe a posibilidade de perforación dos illamentos [26].

Na Figura 3.12 pódese ver un esquema do modo de propagación común.

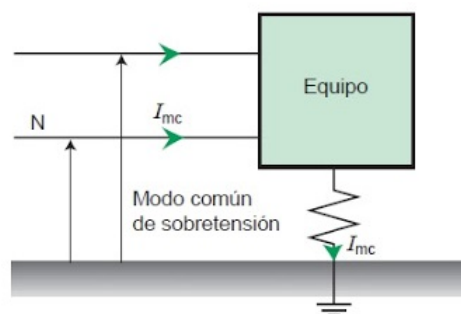


Figura 3.12: Sobretensión en modo común

3.5.5 PROPAGACIÓN EN MODO DIFERENCIAL OU SIMÉTRICO

As sobretensións que se propagan no modo diferencial ou simétrico, son aquelas que se superpoñen a tensión da rede. A diferenza das asimétricas, a perturbación prodúcese entre condutores activos, ben entre fases ou entre fase e neutro. Estas son especialmente perigosas para os equipos electrónicos [26].

Na Figura 3.13 pódese ver un esquema do modo de propagación diferencial.

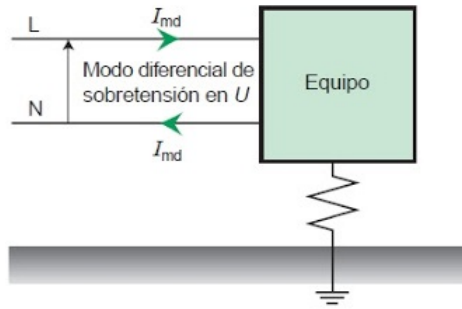


Figura 3.13: Sobretensión en modo diferencial

3.6 CATEGORÍAS DAS SOBRETENSIÓNS

O principal obxecto de establecer as sobretensións en distintas categorías, é o de lograr unha correcta coordinación dos equipos de protección no conxunto da instalación. Estas categorías, indican os valores de tensión soportada a onda de choque de sobretensión dos equipos instalados, así como o valor da tensión residual que deben ter os protectores para que a instalación sexa segura.

Pódense establecer catro categorías diferentes de sobretensións que son [17]:

■ **Categoría I:**

Aplícase a aqueles equipos que son moi sensibles as sobretensións (ordenadores, equipos electrónicos...) e que van ser conectados na instalación eléctrica fixa. Co obxectivo de limitar as sobretensións a un nivel específico as medidas de protección realizaranse na propia instalación ou entre a instalación e os propios equipos.

■ **Categoría II:**

Aplícase a aqueles equipos que van ser conectados a rede eléctrica fixa (electrodomésticos en xeral e equipos similares)

■ **Categoría III:**

Aplícase a aqueles equipos que precisan un alto nivel de fiabilidade ou que forman parte da instalación eléctrica fixa (motores de ascensores, embarrados, armarios de distribución, tomas de corrente...)

■ **Categoría IV:**

Aplicase a aqueles equipos ou materiais que se conectan moi próximos a orixe da instalación ou na mesma orixe, augas arriba do cadro de distribución (contadores de enerxía, aparellos de protección contra sobreintensidades, aparellos de medida...).

3.6.1 RESUMO CATEGORÍAS

A aparellos contra sobretensións debe escollerse de tal forma que a tensión soportada a impulsos non sexa inferior a tensión soportada establecida na táboa 3.1, en función da súa categoría.

Tensión nominal instalación		Tensión soportada a impulso 1.2/50 KV			
Circuitos Trifásicos	Circuitos Monofásicos	Categoría I	Categoría II	Categoría III	Categoría IV
230-400	230	1.5	2.5	4	6
400-690	-	2.5	4	6	8
1000	-	2.5	4	6	8

Tabla 3.1: Categoría das sobretensións

Toda aquela aparellos que teña unha tensión soportada a impulsos inferior a indicada na táboa 3.1 podería utilizarse sempre e cando [17]:

- Se trate dunha situación natural, cando o risco sexa aceptable.
- Se trate dunha situación controlada, se a protección contra sobretensións é a adecuada.

4 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN FRONTE A SOBRETENSIONS TRANSITORIAS

As distintas normativas nacionais e internacionais, clasifican os dispositivos de protección contra sobretensións transitorias en tipos ou categorías en función da súa capacidade de descarga e do seu nivel de protección de tensión.

O principio de funcionamento dos dispositivos de protección contra sobretensións baséase nun conmutador controlado por tensión que está instalado entre os condutores activos e terra e en paralelo cos equipos a protexer. Cando a tensión da rede ten un valor inferior a tensión de activación do equipo, este funciona coma un elemento cunha elevada impedancia, de forma que non deixa circular a intensidade a través del. Pola contra, cando a tensión da rede é superior a tensión de activación, este funciona coma un elemento con unha impedancia moi reducida, derivando deste xeito a tensión a terra e evitando os posibles danos que se puideran causar na instalación.

Na figura 4.1 pódese ver como se instalaría un dispositivo de protección [4].

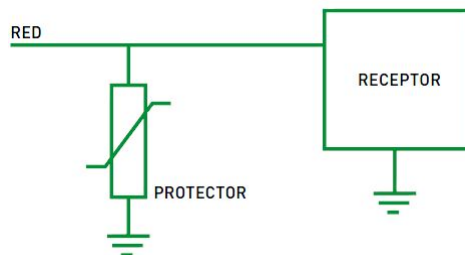


Figura 4.1: Instalación dispositivo protección sobretensións transitorias

Neste traballo, farase referencia a clasificación que realiza a norma UNE-EN-61643-11 que clasifica as distintas proteccións en función da súa capacidade de descarga nos tipos 1, 2 e 3 .

4.1 PROTECTORES

Os distintos tipos de protectores son os que se expoñen nos seguintes puntos.

4.1.1 TIPO 1

Estes protectores ensáianse con unha onda de corrente 10/350 microsegundos (ensaio de clase I), que simula a corrente que se produciría no caso dun impacto directo dun raio, polo que a súa capacidade para absorber a enerxía é moi alta-ofrecendo un nivel de protección U_p alto (ver apartado 4.2).

É recomendable instalalos cando se pode esperar a descarga directo dun raio, por exemplo en edificios públicos, industrias con sistemas de protección externa ou en instalacións cunha distancia inferior a 50 m dunha instalación con protección externa. Deben de instalarse o máis cerca posible da acometida, e se a instalación é alimentada a través dunha liña aérea ou se hai instalado un pararraios debe instalarse unha protección de Tipo 1.

Un protector ideal debería de poder derivar toda a intensidade xerada por causa da sobretensión, e que nos seus extremos a tensión residual sexa menor que a do equipo a protexer, pero isto é imposible

polo que deben de ser acompañados de protectores de tipo 2, habendo entre eles unha correcta coordinación[4].

Na figura 4.2 pode verse un protector contra sobretensións de tipo 1.



Figura 4.2: Protector contra sobretensións transitorias tipo 1

4.1.2 TIPO 2

Estes protectores ensáianse con unha onda de corrente 8/20 microsegundos (ensaio de clase II), que simula a corrente que se produce no caso dunha conmutación ou do impacto dun raio na liña de distribución ou nas súas proximidades, polo que a súa capacidade para absorber a enerxía é media-alta [4].

Esta clase de protectores son dos máis utilizados, xa que ofrecen un nivel de protección compatible coa maioría de equipos que se conectan a rede de alimentación.

Os protectores de tipo 2 deben de instalarse sempre augas abaixo dos protectores de tipo 1, conseguindo así unha importante redución da sobretensión.

A distancia que debe de haber entre as proteccións de tipo 2 e tipo 1 debe de ser de 10 metros. No caso de que estén instalados no mesmo cadro de distribución debe usarse un dispositivo de protección tipo 1+2 .

Na figura 4.3 pode verse un dispositivo de protección tipo 2, e un dispositivo de protección protección tipo 1+2.

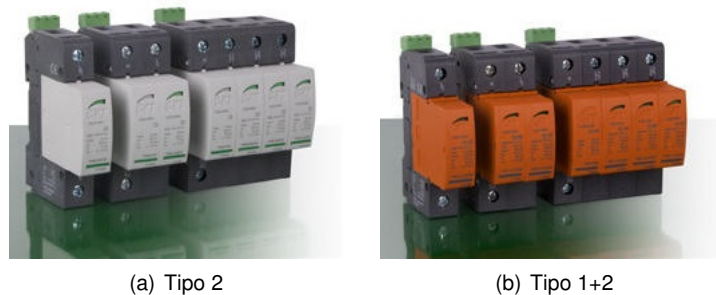


Figura 4.3: Protector contra sobretensións transitorias tipo 2 e tipo 1+2

4.1.3 TIPO 3

Estes protectores ensáianse con unha onda de tensión 1,2/50 microsegundos e cunha onda de corrente 8/20 microsegundos (ensaio de clase III), que simula a corrente e a tensión que pode chegar o equipo a protexer, polo que a súa capacidade para absorber a enerxía é baixa ofrecendo un nivel de protección Up baixo [4].

Os protectores de tipo 3 deben de instalarse augas abaixo dos protectores de clase 2, protexen ós equipos consumidores nos sistemas de baixa tensión e estes deben de estar separados a unha distancia superior a 20 metros do dispositivo de protección. Ademais, tamén protexen contra sobretensións non conducidas como son os campos electromagnéticos e as descargas electrostáticas.

Para que a instalación sexa máis segura, tamén se poderían instalar uns dispositivos de protección tipo 2+3.

Na figura 4.4 pode verse un dispositivo de protección tipo 3, e na figura 4.5 pode verse un dispositivo de protección tipo 2+3.



Figura 4.4: Protector contra sobretensións transitorias tipo 3



Figura 4.5: Protector contra sobretensións transitorias tipo 2+3

4.2 CARACTERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

Para unha correcta selección dos dispositivos de protección, hai que ter en conta múltiples factores como:

- ***Nivel de protección ou tensión limitada Up.***

Este parámetro caracteriza o funcionamento do dispositivo de protección en función da limitación de tensión entre os bornes do aparato. Este valor de tensión, ten que ser inferior a categoría de sobretensión da instalación ou equipo a protexer. No caso de que o dispositivo de protección contra sobretensións estea alonxado do punto a protexer, podería ser necesario a instalación dunha protección adicional. Por exemplo, nunha instalación na que os equipos máis sensibles a protexer sexan da categoría III, como poden ser armarios de distribución, embarrados... o valor de Up do protector seleccionado deberá ser $\leq 4 \text{ Kv}$ [17, 2].

- ***Tensión máxima de servicio permanente Uc.***

Valor de tensión correspondente co valor eficaz de tensión máxima que se pode aplicar nos bornes do dispositivo de protección. Por exemplo, a tensión máxima permanente nunha rede de distribución TT de 230/400 V considérase un 10% superior do valor nominal ($253 \text{ V} = 230 \times 1.1$), polo que a tensión máxima de servizo permanente do protector debe de ser superior os 253 V [17, 2].

- ***Tensión en circuíto aberto Uoc***

Característica dos protectores tipo 3. Realízase un test do protector cunha curva combinada 1.2/50 microsegundos en circuíto aberto e 8/20 microsegundos en curtocircuíto [2].

- ***Corrente nominal de descarga In.***

Valor da corrente de cresta repetitiva que pode soportar o dispositivo de protección sen fallo durante polo menos 20 veces. Este parámetro caracteriza ós dispositivos de protección tipo 2. A onda de corrente está normalizada como 8/20 microsegundos. Según establece a norma UNE-HD 60364-5-534 no seu apartado 534.2.3.4 a corrente nominal de descarga non debe de ser inferior a 5 KA 8/20 microsegundos entre fase e neutro [17, 2].

- ***Corrente de impulso ou de choque Iimp.***

Valor da corrente de cresta que pode soportar o dispositivo de protección sen fallo. Este parámetro caracteriza ós dispositivos de protección tipo 1. A onda de corrente está normalizada como 10/350 microsegundos. Según establece a norma UNE-HD 60364-5-534 no seu apartado 534.2.3.4, a corrente nominal de descarga non debe de ser inferior a 12.5 KA 10/350 microsegundos entre fase e neutro [17, 2].

- ***Corrente máxima de descarga I_{max}.***

Corrente en forma de onda 8/20 microsegundos que o dispositivo de protección é capaz de soportar [2].

- ***Capacidade de extinción da corrente de seguimento I_{fi}.***

Correntes que fluen pola rede debidas á descarga que produce un protector fronte a sobretensións. O seu valor depende da liña de subministro do transformador ó descargador [2].

▪ **Conexión a terra dos dispositivos de protección.**

Según a ITC-23 do REBT, para que os dispositivos de protección teñan un funcionamento correcto, o condutor que une o dispositivo coa terra da instalación debe ter unha sección mínima. Esta sección mínima móstrase na táboa 4.1 [17]

	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
Sección mínima condutor mm2	16	4	2.5 ou según indicación fabricante
Conexión entre dispositivo e	Borne principal de terra ou punto de posta a terra edificio	Borne de entrada da instalación interior	Calquera borne de terra da instalación interior

Tabla 4.1: Sección mínima condutor protector-borne de terra

4.3 COMPOÑENTES DOS PROTECTORES

Os principais compoñentes dos protectores fronte a sobretensións transitorias son as vías de chispas e os descargadores de arco ou de gas, os varistores e os díodos zener e díodos supresores [11]. Na figura 4.6 móstrase o símbolo de cada un deles.

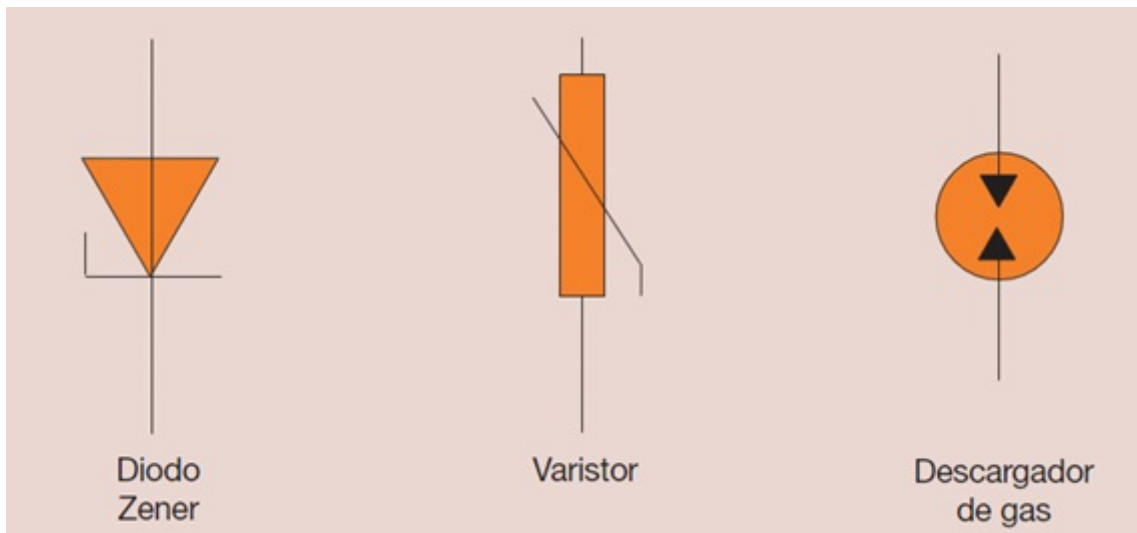


Figura 4.6: Diodo zener - Varistor - Descargador de gas

Nos seguintes puntos afondarase sobre o funcionamento dos diversos compoñentes, onde destas catro tecnoloxías os descargadores de arco utilízanse para a protección basta, fronte o impacto directo de raios, os descargadores de gas ou varistores utilízanse para a protección media ou fina e os díodos zener para a protección ultraterminal en conxunto con algún limitador.

4.3.1 VÍAS DE CHISPAS E DESCARGADORES DE ARCO OU GAS

Basicamente, as vías de chispas ou descargadores consisten en dous electrodos. O primeiro conectado a unha fase e o segundo conectado a terra (tamén denominado electrodo de apagado). O funcionamento é o seguinte [11]:

No caso de que se produza unha sobretensión debe activarse o descargador que provoca unha corrente consecutiva de rede a 50 Hz. Este valor de corrente pode chegar a ser o valor prospectivo

da corrente de cortocircuíto no lugar de emprazamento do descargador. No caso de que a corrente de cortocircuíto sexa maior que a que pode derivar o descargador, deben actuar as proteccións fronte a cortocircuítos da instalación, por iso é importante que o descargador teña un valor elevado de capacidade de apagado, porque senón pode provocar o disparo de fusibles ou interruptores diferenciais. Na figura 4.7 móstrase un esquema típico da instalación dun descargador, e na figura 4.8 unha explicación de como é o proceso que segue para derivar unha sobretensión a terra.

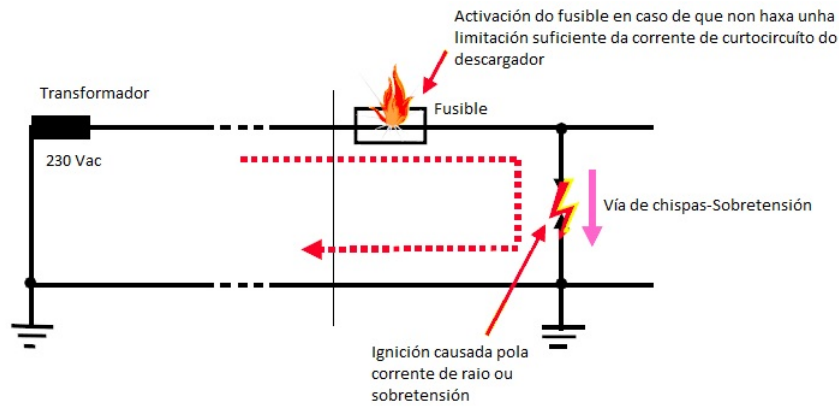


Figura 4.7: Vía de chispas - descargador de gas

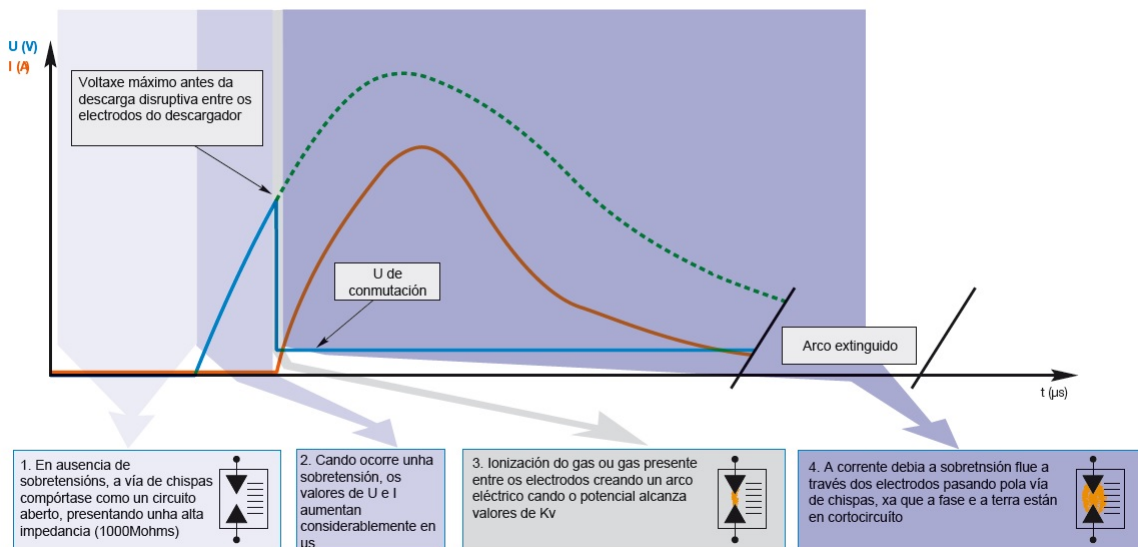


Figura 4.8: Proceso derivación a terra

■ **Vía de chispas. Protección e separación:**

Teñen a función de separar electricamente as partes condutivas dunha instalación eléctrica que deban de ser independentes. No caso de que se produza a descarga dun raio e haxa un aumento do potencial nunha das seccións da instalación, as vías de chispas conseguen garantir a conectividade mantendo a conexión equipotencial [11].

As principais aplicacións son as seguintes:

Vías de chispas de separación, onde hai partes da instalación separadas por razóns de servizo. Un exemplo de conexión é o que se mostra na figura 4.9.

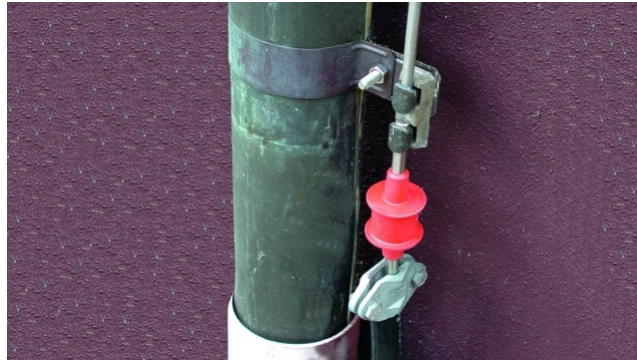


Figura 4.9: Vías de chispas de separación

Pontes en bridas de illamento en tramos de tubería con protección catódica. Un exemplo de conexión é o que se mostra na figura 4.10.



Figura 4.10: Ponte en brida de illamento

Pontes en bridas de illamento en tramos de tuberías ou condutores protexidos catódicamente. Un exemplo de conexión é o que se mostra na figura 4.11.



Figura 4.11: Ponte en brida de illamento. Conexión indirecta a toma de terra

Conexión indirecta dun mástil para protexer unha liña aérea sobre tellados contra proteccións externas fronte a raios. Un exemplo de conexión é o que se mostra na figura 4.12.

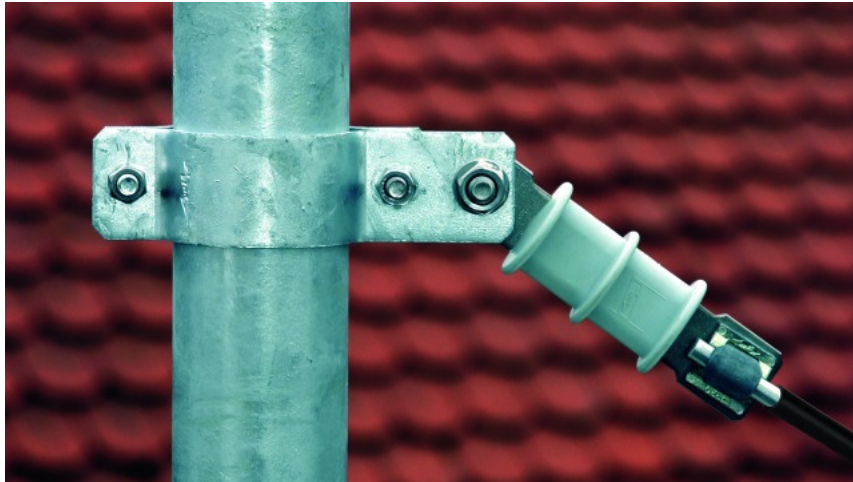


Figura 4.12: Vías de chispas. Protección liña aérea

4.3.2 VARISTORES

Os varistores presenta unha resistencia que depende da tensión, polo que non presentan un comportamento lineal. Conforme aumenta o valor da tensión diminúe o valor da resistencia. Pódese distinguir entre dous tipos de varistores, os de carburo de silicio e os de óxido de cinc. Destes dous, o que presenta unha mellor característica intensidade/tensión é o de óxido de zinc [11]. A curva característica ven determinada pola seguinte expresión 4.1:

$$I = K \cdot U \cdot a \quad (4.1)$$

En onde:

- I: Intensidade.
- K: Constante.
- U: Tensión nos bornes do varistor.
- a: Coeficiente de non linealidade.

Soen ter espesor que oscila entre 1-3 mm e un diámetro de 5-40 mm. As dúas caras do varistor confórmanse por dúas placas metálicas entre as que se encontra un óxido metálico (silicio ou zinc) que está recuberta por un barniz de acabado.

As súas principais vantaxes son:

- Tempo de resposta é moi reducido, tan so de nanosegundos.
- A curva característica aproxímase a unha curva ideal.
- Boa relación disipación de enerxía-coste.

- Evita que se rexistren correntes repetitivas unha vez eliminada a sobretensión.
- Non producen o efecto «inxección de corrente» como nas vías de chispas, evitando así o disparo intempestivo de proteccións.

As principais desvantaxes son:

- Se a enerxía é maior que a que pode derivar, provoca a súa destrución por queda en cortocircuíto.
- Sometido a varias descargas de pouca enerxía provoca un aumento máis rápido do seu avellentamento.
- U_p depende de U_c .

A curva característica dun varistor é a que se mostra na figura 4.13 e presenta catro rexións de funcionamento.

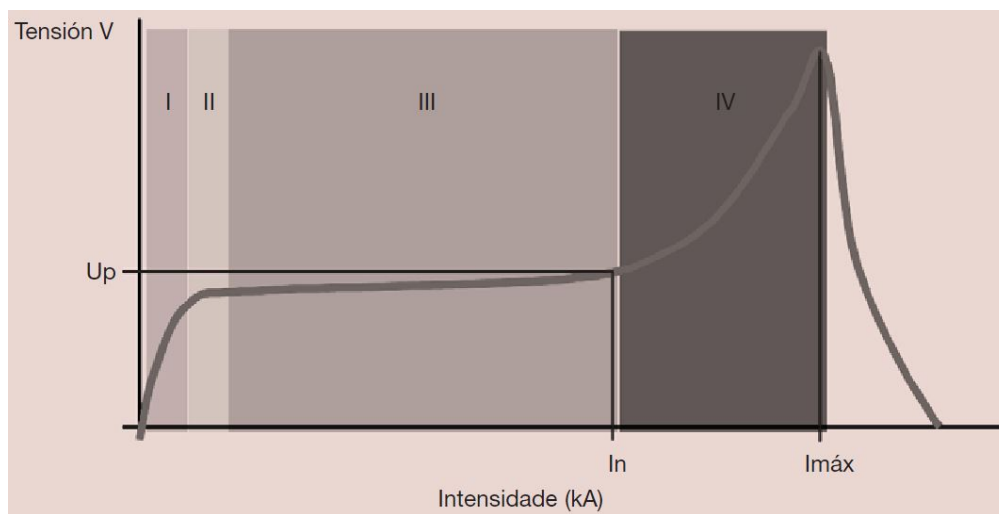


Figura 4.13: Curva característica varistor

▪ **Rexión I**

Corresponde coa zona de funcionamento normal do varistor. Presenta unha resistencia elevada, comportándose coma un circuito aberto e o valor da corrente é proporcional ó da tensión tendo en conta o valor da t^a ($a=1$) [11].

▪ **Rexión II**

Nesta rexión a intensidade é equivalente ó cadrado da tensión U^2 ($a=2$) que se corresponde cun modo de conduction limitado polas cargas no espacio. Esta zona correspóndese coas sobretensións temporais moderadas, e a corrente é función da t^a [11].

▪ **Rexión III**

Nesta rexión o varistor xa ten un comportamento fortemente non lineal ($a=50$) presentando unha elevada resistencia. O valor da corrente xa non depende da t^a . Esta zona correspóndese coas sobretensións atmosféricas moderadas e debidas a manobras na rede [11].

■ **Rexión IV**

Nesta rexión é onde o varistor se satura. A corrente é independente da t^a e condución está limitada pola resistencia dos óxidos metálicos. Esta zona correspóndese coas sobretensións orixinadas polo impacto directo dun raio [11].

En canto ó funcionamento, unha carga que estea protexida por un varistor está sometida a un nivel de tensión residual que será función das características do varistor utilizado e da intensidade da perturbación.

Os parámetros máis importantes á hora de escoller un varistor son:

- Enerxía que pode disipar.
- Nivel de protección U_p .
- Tensión máxima de servizo permanente U_c .

Na maioría dos casos un varistor ven definido pola súa tensión máxima de servizo permanente:

- Un valor de U_c alto implica un valor de U_p alto polo que a protección é ineficaz, pero é sensible a sobretensións moderadas.
- Un valor de U_c baixo implica un valor de U_p baixo co que a protección é eficaz, pero é insensible a sobretensións moderadas.

Tendo en conta anterior, para a elección dun varistor, ten que haber un compromiso entre un valor pequeno de U_p e un valor elevado de U_c , permitindo así elevar o tempo de vida do compoñente. Na figura 4.14 móstrase o comportamento dun varistor, onde se pode ver como reduce o nivel da sobretensión pero deixa un nivel de tensión residual.

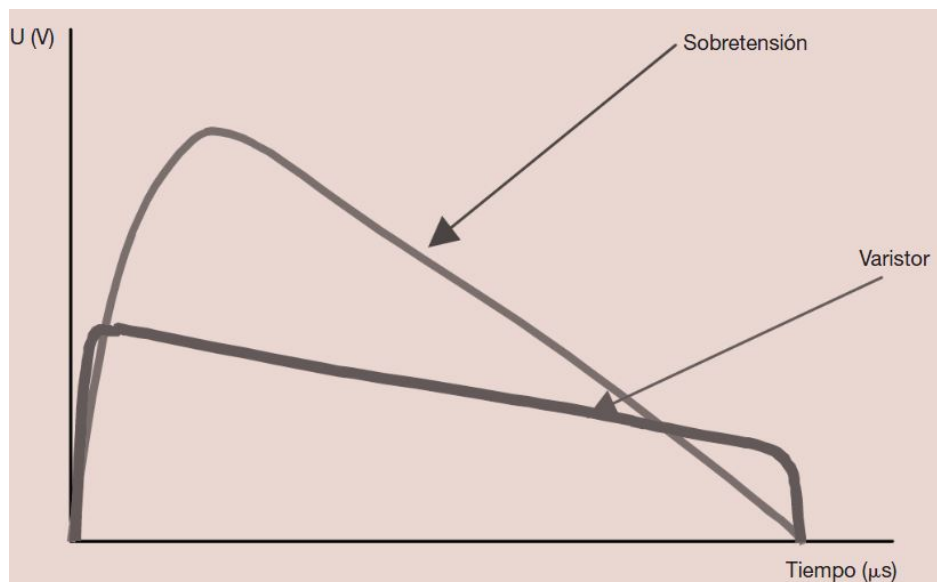


Figura 4.14: Funcionamento varistor

Na figura 4.15 móstrase a instalación dun varistor

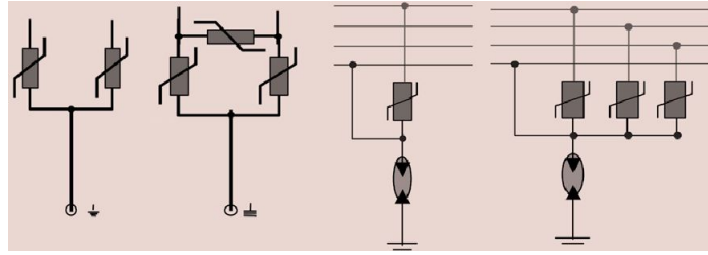


Figura 4.15: Varistor

4.3.3 DÍODOS SUPRESORES

Os díodos supresores están formados normalmente por silicio ou selenio mediante unha unión PN. Soen utilizarse en liñas de telecomunicación aínda que tamén se poden instalar en liñas de baixa tensión.

Debido á aparición de outros compoñentes mellores no mercado están caendo en desuso. O seu funcionamento baséase en que se cortocircuitan cando hai unha sobretensión producindo un fallo eléctrico fácil de atopar [11].

4.3.4 DÍODOS ZENER

Os díodos zener están pensados como elementos reguladores de tensión. Non é convinte utilizalo como dispositivo de protección fronte a sobretensións transitorias aínda que nalgúns casos pode suplir a algún limitador, sendo a súa resposta sempre peor.

Presenta unha rapidez de resposta alta pero unha capacidade de absorción de enerxía baixa. En comparación cun díodo supresor, o zener tan só é capaz de absorber un pico de 5A mentres que un supresor pode chegar a absorber un pico de corrente de 80 A [11].

4.4 PROTECCIÓN ESCALONADA

Como norma xeral, o nivel óptimo de protección é o escalonado ou en “casacada”, onde os dispositivos de protección se combinan en etapas sucesivas [17].

No primeiro tramo da instalación, debe de instalarse un elemento con alta capacidade de absorción de enerxía, para que así os que están conectados augas abaixo soporten as sobretensións xeradas. Este tipo de protectores son os de tipo 1.

No segundo tramo, debe instalarse un dispositivo de protección capaz de derivar a parte restante da onda de corrente $8/20 \mu s$, reducindo así os valores de tensión a un nivel aceptable para a instalación. Este tipo de protectores son os de tipo 2.

No terceiro tramo, debe instalarse un dispositivo de protección capaz de limitar as sobretensións ocasionadas por conmutacións ou inducións. Estes instalanse o máis cerca posible dos equipos a protexer. Este tipo de protectores son os de tipo 3.

Na figura 4.16 pódese ver un exemplo da protección escalonada.

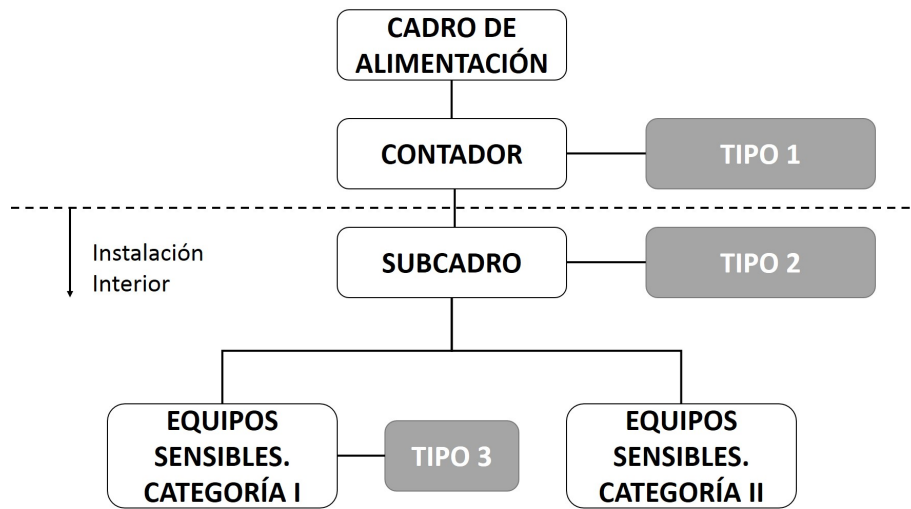


Figura 4.16: Protección escalonada

No caso de que os protectores fronte a sobretensións estean conectados ó mesmo punto eléctrico sen ningunha impedancia que os separe, actuaría o equipo de sobretensión máis rápido (o que menor capacidade de absorción de enerxía ten), provocando así que non actúe o equipo máis robusto (o que máis capacidade de absorción de enerxía ten). Isto podería provocar danos importantes na instalación.

Para asegurarse da correcta coordinación dos dispositivos de protección, podería ser necesaria a instalación de indutancias de desacoplo entre os protectores, sempre e cando a lonxitude do cable que os conecta sexa inferior a mínima especificada polo fabricante.

Na figura 4.17 pódese ver a redución da onda de tensión mediante unha protección escalonada.

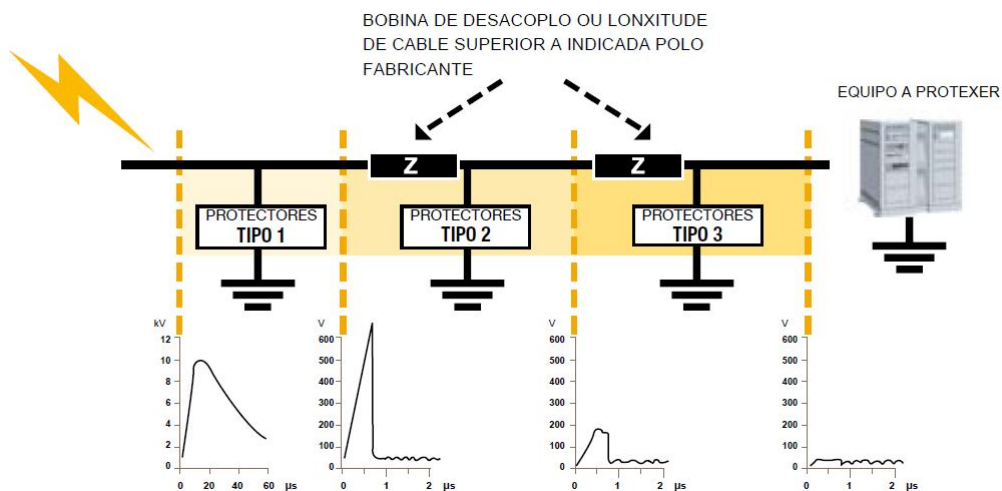


Figura 4.17: Reducción da tensión - Protección escalonada

5 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN FRONTE A SOBRETENSIONS PERMANENTES

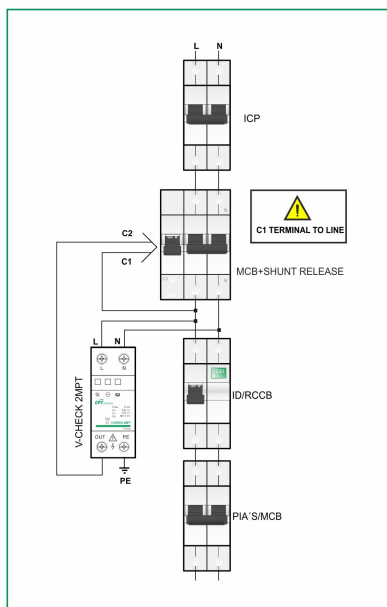
A diferencia cos dispositivos de protección fronte a sobretensions transitorias, que se baseaban en derivar a onda de tensión á terra e na equipotencialización, os dispositivos de protección fronte a sobretensions permanentes baséanse no corte de subministro.

Estes dispositivos realizan unha monitorización de cada unha das tensións de fase, e no caso de que o valor da tensión sexa un 20% ó valor da tensión nominal, cortarán o subministro. O corte pode levarse a cabo mediante un interruptor diferencial ou mediante un interruptor automático asociado. Moitos destes equipos contan cun sistema de rearme automático para restablecer o subministro cando o valor da tensión volva a estar dentro dos límites.

No caso de sistemas que non dispoñan de condutor neutro, e dicir, naqueles que non cabe a posibilidade de que haxa desequilibrios, non sería necesaria esta protección.

Un dos principais problemas de ruptura do condutor neutro nun sistema trifásico, e que a sobretensión xerada non ten un valor igual nas tres fases se a carga é asimétrica. A liña que presenta unha menor impedancia quedará sometida a un valor de tensión inferior á nominal, mentres que a corrente que circulará por ela será a máis elevada das tres fase. As liñas que presenten unha maior resistencia, estarán sometidas a un valor de tensión superior a nominal, mentres que a corrente que circule por elas será inferior a da liña de menor resistencia.

Na figura 5.1 móstrase o esquema de conexión dun protector fronte a sobretensions permanentes, e o aspecto externo do dispositivo.



(a) Esquema de conexión



(b) Aspecto do dispositivo

Figura 5.1: Esquema de conexión dun protector fronte a sobretensions permanentes máis dispositivo de protección

A continuación, a modo de exemplo, mediante o software moisan da Universidade de Valladolid,

móstrase cales serían os valores de tensión e corrente ante unha sobretensión permanente.

5.1 EXEMPLO SOFTWARE MOISAN

Na figura 5.2 móstrase o sistema co condutor neutro cerrado, antes de que se produza a sobretensión permanente [27].

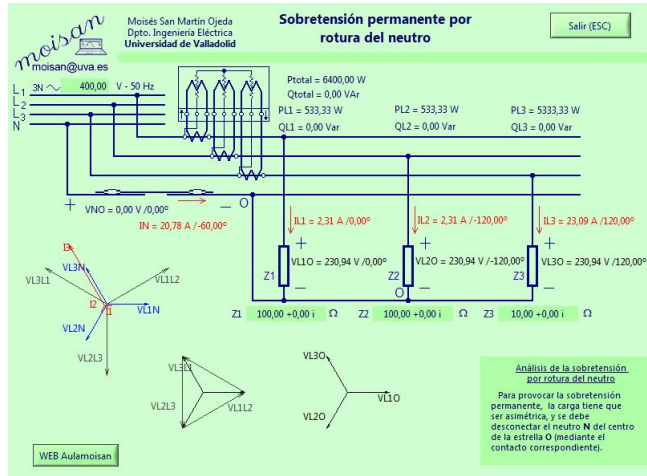


Figura 5.2: Sistema antes dunha sobretensión permanente. Neutro pechado

Observando os diagramas fasoriais, móstrase que se trata dun sistema equilibrado en tensións pero non en correntes, en onde os valores das tensións e correntes son os que se mostran na táboa 5.1

	FASE 1	FASE 2	FASE3
V (voltios)	230,94/0°	230,94/-120°	230,94/120°
I (amperios)	2.31/0°	2.31/-120°	23.1/120°

Tabla 5.1: Valores de tensión e corrente antes da ruptura do neutro

Cando se produce a ruptura do condutor neutro, provócase unha sobretensión que afecta de forma distinta as 3 fases, tal e como se mostra na figura 5.3

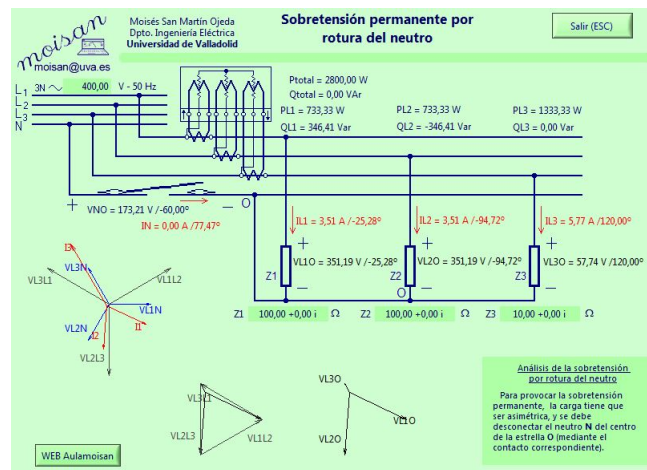


Figura 5.3: Sobretensión permanente. Neutro aberto.

Observando o diagrama fasorial, pódese ver como o sistema pasa a estar desequilibrado en tensións, onde na táboa 5.2 se mostran os valores de tensión e corrente tras a ruptura do condutor neutro. Deste xeito, quedarían as fases 1 e 2 sometidas a unha sobretensión permanente, que debería de cortar o dispositivo de protección fronte a sobretensións permanentes.

	FASE 1	FASE 2	FASE3
V (voltios)	351.19/-25.28°	351.19/-94.72°	54.74/120°
I (amperios)	3.51/0°	3.51/-120°	5.77/120°

Tabla 5.2: Valores de tensión e corrente tras a ruptura do neutro

A xustificación dos cálculos para obter eses valores móstrase no anexo 15.1.

6 PROTECCIÓN COMBINADA TRANSITORIAS-PERMANENTES

O uso desta protección combinada faise imprescindible nos casos onde existan variacións importantes do valor da tensión subministrada pola compañía distribuidora, ou onde se dean cortes constantes do subministro eléctrico. Estes protectores soen estar formados por un módulo de control e un interruptor magnetotérmico de reconexión automática [1].

■ Protección fronte a sobretensións transitorias

Derivan a corrente xerada pola sobretensión a terra creando un punto equipotencial entre fase-neutro-terra.

Cando o elemento de protección fronte a sobretensións transitorias deixa de ser efectivo, o protector sepárase da rede mediante un desconectador dinámico. Deste xeito, o módulo do protector queda desconectado da rede e os equipos conectados a el augas abaixo seguirán alimentados aínda que xa non protexidos fronte a sobretensións transitorias. Para saber cando o dispositivo se atopa operativo ou non, conta con un indicador visual que indica se este se atopa en estado de fallo ou non.

■ Protección fronte a sobretensións permanentes.

A protección fronte a sobretensións permanentes, en vez de derivar a terra como os protectores de sobretensións transitorias, desconecta a instalación da rede eléctrica deixando deste xeito a aparellos e equipos protexidos. Estes dispositivos actúan sobre o condutor de terra da instalación, xerando unha corrente de fuga a través do condutor cando detecta unha sobretensión provocando así o disparo do interruptor diferencial. Tamén poden actuar sobre un interruptor magnetotérmico rearmable, que se rearma de forma automática no caso de que cese a sobretensión [1].

Na figura 6.1 móstrase o esquema dunha protección combinada fronte a sobretensións realizada mediante un interruptor diferencial, e na figura 6.2 o dispositivo cos seus correspondentes indicadores [7].

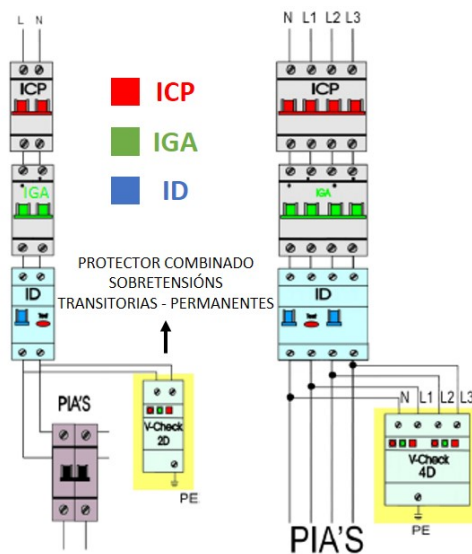


Figura 6.1: Protección combinada mediante interruptor diferencial

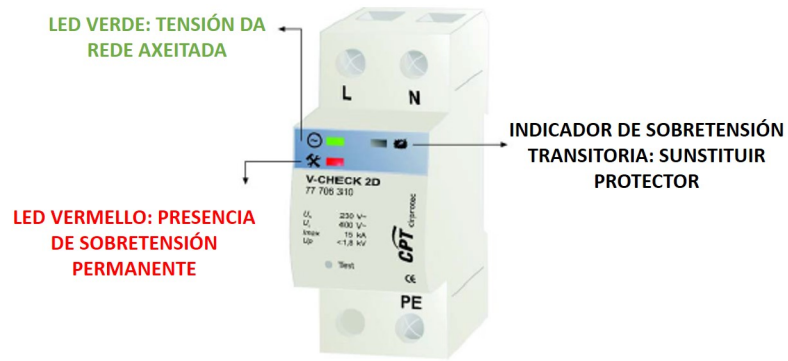


Figura 6.2: Protector combinado. Utilización diferencial como elemento de corte

Na figura 6.3 móstrase o esquema dunha protección combinada fronte a sobretensións realizada mediante un interruptor automático, e na figura 6.4 o dispositivo cos seus correspondentes indicadores [7, 5].

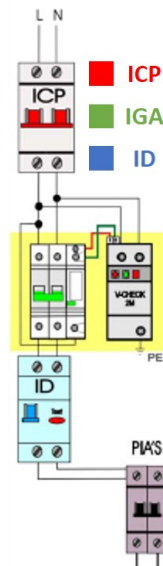


Figura 6.3: Protección combinada mediante interruptor automático

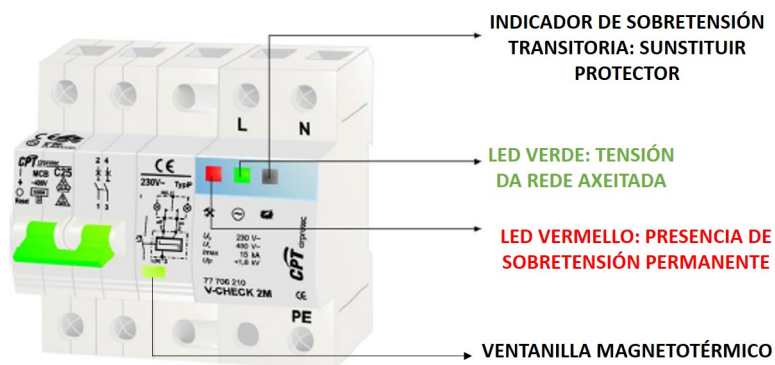


Figura 6.4: Protector combinado. Utilización dun interruptor automático como elemento de corte

7 NORMATIVA

7.1 ITC 23 REBT

A instrución técnica 23 do Regulamento Electrotécnico de Baixa Tensión establece no seu apartado 1 o obxecto e campo de aplicación onde di (citando textualmente):

«*Esta instrucción trata de la protección de las instalaciones eléctricas interiores contra las sobretensiones transitorias que se transmiten por las redes de distribución y que se originan, fundamentalmente, como consecuencia de las descargas atmosféricas, conmutaciones de redes y defectos en las mismas.*»[16]

Tendo en conta o anterior, nesta instrución non se establece como debe de ser a protección contra sobretensións permanentes, e dicir, esta instrución está concibida para tratar as sobretensións de orixe transitorio, pero tan so aquelas nas que a súa causa sexa (según se establece no capítulo 3):

- Influencia da descarga lonxana dun raio.
- Conmutacións da rede.
- Efectos indutivos e capacitivos da rede.
- Defectos da rede.

No seu capítulo 3, tamén diferencia entre dous tipos de situacións que son:

- **Situación natural.**

Nesta situación, *non sería preciso a protección contra sobretensións transitorias*. Esta situación dáse cando se considera que hai un baixo risco de que haxa unha sobretensión na instalación, xa que esta está alimentada por unha rede subterránea na súa totalidade, ou por unha liña aérea mediante condutores apantallados e unido un dos extremos da pantalla ó conector de terra. Conforme se indica na ITC 23 do REBT, neste tipo de instalacións considérase suficiente que a resistencia as sobretensións dos equipos sexa a que se indica na táboa 1 dese mesma instrución, sen necesidade de ningunha protección adicional [16].

- **Situación controlada.**

Nesta situación, *considera necesaria a protección contra sobretensións transitorias*. Esta situación dáse cando a alimentación da instalación se realiza mediante unha liña aérea mediante condutores espidos ou illados, polo que se debería de instalar unha protección fronte a sobretensións de orixe atmosférico na orixe da instalación.

Tamén se considera unha situación controlada, toda aquela situación natural na que sexa preciso contar cunha maior seguridade como poden ser instalacións nas que sexa necesario unha continuidade do servizo ou poida haber unhas perdas económicas moi importantes.

Neste apartado, tamén establece como se deben de seleccionar os dispositivos de protección contra sobretensións de orixe atmosférico, así como se deben instalar en función do tipo de rede de distribución [16].

Tendo en conta o anterior, a ITC 23 do REBT considera necesaria a protección contra sobretensións sempre e cando:

- Sexa unha sobretensión de tipo transitorio.
- Estea dentro das causas numeradas ó principio deste punto.
- Se trate dunha situación controlada.

Exposto o anterior, nesta ITC non se establece de forma clara cando se debería de dotar a uns instalación eléctrica de protección fronte a sobretensións.

7.2 GUÍA TÉCNICA DEE APLICACIÓN ITC 23 REBT

No Reglamento Electrotécnico de Baixa Tensión real decreto 842/2002, no seu artigo número 29 establécese (citando textualmente):

«El centro directivo competente en materia de seguridad industrial del Ministerio de Ciencia y Tecnología elaborará y mantendrá actualizada una Guía técnica, de carácter no vinculante, para la aplicación práctica de las previsiones del presente Reglamento y sus instrucciones técnicas complementarias, la cual podrá establecer aclaraciones a conceptos de carácter general incluidos en este Reglamento».[17]

Lendo o anterior, establécese de forma expresa que as indicacións desta guía non teñen un carácter vinculante.

Esta guía trata de cumprimentar a ITC 23 do REBT, establecendo unha situacións nas que se marca como obrigatorio a utilización de dispositivos de protección fronte a sobretensións, pero si facer referencia as sobretensións permanentes.

No caso de que o dispositivo de protección contra sobretensións non leve incorporada a súa propia protección, debe instalarse un dispositivo de protección augas arriba do mesmo co obxectivo de manter a continuidade do servicio no sistema.

Nas figuras 7.1 e 7.2 ,que se corresponden coas táboas A e B da guía técnica de aplicación da ITC-BT-23 do REBT, móstranse as situacións según as cales é obrigatorio ou recomendable a instalación de dispositivos de protección contra sobretensións.

Tabla A. Situaciones en las que es obligatorio el uso de dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias, sea cual sea el sistema de alimentación.

Situaciones	Ejemplos	Requisitos
<i>Línea de alimentación de baja tensión total o parcialmente aérea o cuando la instalación incluye líneas aéreas.</i>	<i>Todas las instalaciones, ya sean industriales, terciarias viviendas, etc.</i>	<i>Obligatorio</i>
<i>Riesgo de fallo afectando la vida humana</i>	<i>Los servicios de seguridad, centros de emergencias, equipo médico en hospitales.</i>	<i>Obligatorio</i>
<i>Riesgo de fallo afectando la vida de los animales</i>	<i>Las explotaciones ganaderas, piscifactorías, etc.</i>	<i>Obligatorio</i>
<i>Riesgo de fallo afectando los servicios públicos</i>	<i>La pérdida de servicios para el público, centros informáticos, sistemas de telecomunicación.</i>	<i>Obligatorio</i>
<i>Riesgo de fallo afectando actividades agrícolas o industriales no interrumpibles</i>	<i>Industrias con hornos o en general procesos industriales continuos no interrumpibles</i>	<i>Obligatorio</i>
<i>Riesgo de fallo afectando las instalaciones y equipos de los locales de pública concurrencia que tengan servicios de seguridad no autónomos</i>	<i>Sistemas de alumbrado de emergencia no autónomos.</i>	<i>Obligatorio</i>

Figura 7.1: Situaciones obligatorias de protección

Tabla B. Situaciones en las que es recomendable el uso de dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias

Situaciones	Ejemplos	Requisitos
<i>Instalaciones en edificios con sistemas de protección externa contra descargas atmosféricas o contra rayos tales como: Pararrayos, puntas Franklin, jaulas de Faraday instalados en el mismo edificio o en un radio menor de 50 m.</i>	<i>Todas las instalaciones, ya sean industriales, terciarias, viviendas, etc.</i>	<i>Recomendado</i>
<i>Viviendas (cuando no sea obligatorio según los casos anteriores)</i>	<i>- con sistemas domóticos (ITC-BT-51) - con sistemas de telecomunicaciones en azotea.</i>	<i>Recomendado</i>
<i>Instalaciones en zonas con más de 20 días de tormenta al año</i>	<i>Todas las instalaciones, ya sean industriales, terciarias, viviendas, etc.</i>	<i>Recomendado</i>
<i>Equipos especialmente sensibles y costosos</i>	<i>Pantallas de plasma, ordenadores, etc.</i>	<i>Recomendado</i>
<i>Riesgo de fallo afectando las instalaciones y equipos de los locales de pública concurrencia que no sean servicios de seguridad</i>	<i>Los locales incluidos en la ITC-BT-28</i>	<i>Recomendado</i>
<i>Actividades industriales y comerciales no incluidas en la tabla A</i>		<i>Recomendado</i>

Figura 7.2: Situaciones recomendables de protección

7.3 REGULACIÓN DA COMUNIDADES AUTÓNOMAS E COMPAÑÍAS ELÉCTRICAS

Neste apartado farase referencia a normativa que algunhas comunidades autónomas teñen implantada sobre sobretensións, tendo en conta se fan referencia a normas particulares das compañías eléctricas, ou se fan referencia ó REBT. As comunidades autónomas son as seguintes [22]:

- **Andalucía.**

No boletín oficial da xunta de Andalucía número 109, do 7 de Xuño de 2005 aprobáronse as normas particulares de Sevilla-Endesa (empresa suministradora) onde no apartado 8.2 do capítulo 1, establece a obrigatoriedade de instalar proteccións contra sobretensións tanto permanentes como transitorias.

- **Aragón.**

No boletín oficial de Aragón número 6 do 12 de xaneiro do 2010, aprobáronse as normas técnicas de ERZ Endesa (empresa distribuidora) onde no seu apartado 3.9.2 do capítulo 3 establece que se deben de utilizar proteccións contra sobretensións permanentes con carácter obrigatorio, e as proteccións contra sobretensións transitorias según se indica na ITC 23 do REBT.

- **Canarias.**

No boletín oficial de Canarias número 81, do 24 de abril de 2010 aprobáronse as normas particulares das empresas Endesa Distribución Eléctrica S.L.U. e Distribuidora Eléctrica del Puerto de la Cruz, onde se establece que é de carácter obrigatorio a instalación de proteccións contra sobretensións tanto permanentes como transitorias.

- **Castilla-León.**

Na instrución número 1/2005/RSI do 14 de xaneiro do 2005 da Xunta de Castilla-León, indica que se seguirán os preceptos marcados na guía técnica de aplicación da ITC 23 do REBT aínda que esta non teña un carácter vinculante.

- **Cataluña.**

No diario oficial da Generalitat de Catalunya número 4827 do 22 de febreiro do 2007, aprobanse as normas técnicas particulares de FECSA-Endesa, que establece a obrigatoriedade da instalación de dispositivos de protección contra sobretensións permanentes, e as proteccións contra sobretensións transitorias según se indica na ITC 23 do REBT.

- **Resto de comunidades autónomas.**

Non existe unha lexislación específica sobre a protección contra sobretensións.

7.4 UNE-EN 50550

A norma UNE-EN-50550 «*dispositivos de protección contra sobretensiones a frecuencia industrial para usos domésticos y análogos (POP)*», é a norma española que regula os protectores fronte a sobretensións permanentes, a frecuencia de rede, temporais ou TOV (siglas en inglés de temporary overvoltage) [18].

Esta norma surxe co obxectivo de normalizar os requisitos de calidade, compatibilidade electro-magnética e seguridade que deben de presentar os protectores fronte as sobretensións permanentes. Polo tanto, o que busca a norma é [18, 14]:

- Determinar os aspectos técnicos mínimos dos protectores.
- Concretar os métodos de protección para unha máxima seguridade.
- Garantía dunha calidade mínima dos protectores.

Según a norma, os protectores deben de cumprir os seguintes requisitos [18, 14]:

- O fabricante do magnetotérmico xeral da instalación ou elemento principal de corte, debe de ser o mesmo fabricante que o do protector fronte a sobretensións permanentes.
- Prohibición de empregar a fuga a terra ou o desequilibrio diferencial como métodos de funcionamento
- Cumprir cos requisitos de construción e funcionamento, como por exemplo entre outros, pasar os test de compatibilidade electromagnética.
- Clasificalo coma un elemento de categoría III, e dicir, deber se capaz de soportar unha tensión de 4 Kv.
- Actuar dentro da curva de disparo tensión-tempo.
- Cumprir todos os requisitos de ensaio.

7.4.1 CURVA DE DISPARO

Establécese a curva de disparo para evitar disparos intempestivos no caso de pequenas subidas de tensión e actuar rapidamente no caso de sobretensións importantes. A norma fixa os valores máximos de resposta ou funcionamento e de non resposta que definen a curva [18, 14].

- **Tempo de funcionamento** t_b

Tempo que transcorre entre que se detecta a sobretensión e o instante en que o dispositivo de protección principal asociado ao POP actúa abrindo o circuito.

- **Tempo de non resposta** t_{0A}

Retraso máximo durante o cal se lle pode aplicar unha sobretensión ó POP sen que este actúe.

Os valores límite dos tempos de funcionamento mótranse na táboa 7.1 e a curva de disparo na figura 7.3

	Valores normalizados de tempos de funcionamento (tempo en segundos para tensión determinada)				
	255 V	275 V	300V	350 V	400V
Tempo max de funcionamento	Non disparo	15	5	0.5	0.2
Tempo min de non resposta	Non disparo	3	1	0.25	0.07

Tabla 7.1: Valores límite dos tempos de funcionamento e de non resposta

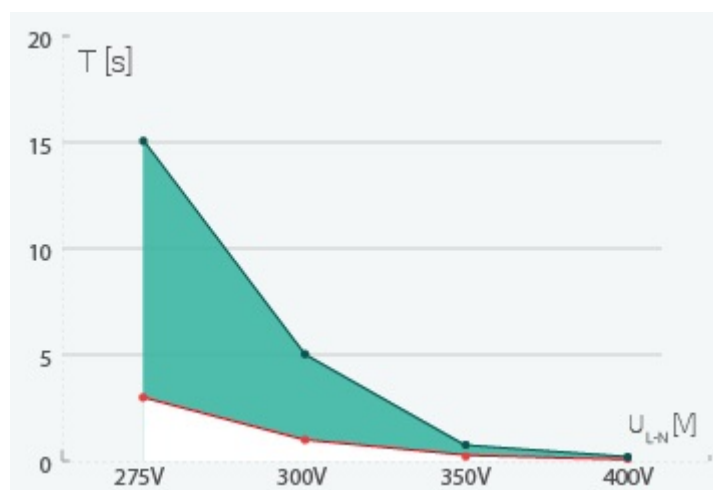


Figura 7.3: Curva disparo sobretensão permanente

7.5 UNE-EN 61643-11

A norma UNE EN-61643-11 «*Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión. Parte 11: Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias conectados a sistemas eléctricos de baja tensión. Requisitos y métodos de ensayo*» [19], é a norma española que regula as características que deben de presentar os dispositivos de protección fronte a sobretensións transitorias así coma os distintos métodos de ensaio para que funcionen dun xeito correcto [19].

A norma establece [19]:

- **Termos, definicións e abreviaturas.**

Parámetros que hai que ter en conta á hora de falar sobre os dispositivos de protección fronte a sobretensións transitorias, os cales se definen no glosario técnico do presente documento. A modo de resumo, na figura 7.4 móstranse as abreviaturas xerais, na figura 7.5 as abreviaturas referidas a tensión e na figura 7.6 as abreviaturas referidas a corrente.

- **Clasificación dos dispositivos.**

Indica o número de portos, como debe de ser o deseño do protector, os distintos tipos de protectores que se mostran na táboa 7.2, a ubicación, os métodos de montaxe e os dispositivos de desconexión dos protectores.

Abreviaturas	Descripción	Definición/apartado
Abreviaturas generales		
ABD	Dispositivo de ruptura por avalancha	7.2.5.2
CWG	Generador de onda combinada	3.1.22
DDR	dispositivo de corriente diferencial residual	3.1.35
DSE	Dispositivo en ensayo	Generalidades
IP	Grado de protección de la envolvente	3.1.29
TOV	Sobretensión temporal	Generalidades
DPS	Dispositivo de protección contra sobretensiones	3.1.1
Z_f	Impedancia ficticia (del generador de onda combinada)	8.1.4.c)
W/R	Energía específica para el ensayo de clase I	3.1.37
$T1$, $T2$, y/o $T3$	Marcado del producto para los ensayos de clases I, II y/o III	7.1.1
t_T	Tiempo de aplicación de la TOV para los ensayos	3.1.17

Figura 7.4: Abreviaturas Xerais

Abreviaturas	Descripción	Definición/apartado
Abreviaturas relacionadas con la tensión		
U_C	Máxima tensión de funcionamiento continuo	3.1.11
U_{REF}	Tensión de ensayo de referencia	3.1.45
U_{OC}	Tensión de circuito abierto del generador de onda combinada	3.1.22, 3.1.23
U_p	Nivel de protección en tensión	3.1.14
U_{res}	Tensión residual	3.1.16
$U_{máx.}$	Tensión para la determinación de las distancias en el aire	3.1.47
U_T	Valor de ensayo de la sobretensión temporal	3.1.17

Figura 7.5: Abreviaturas Tensión

Abreviaturas	Descripción	Definición/apartado
Abreviaturas relacionadas con la corriente		
I_{imp}	corriente de impulso de descarga para el ensayo de clase I	3.1.10
$I_{máx.}$	corriente de descarga máxima	3.1.48
I_n	corriente de descarga nominal para el ensayo de Clase II	3.1.9
I_f	corriente de continuación	3.1.12
I_{fi}	valor asignado de interrupción de la corriente de continuación	3.1.39
I_L	corriente de carga asignada	3.1.13
I_{CW}	corriente de cortocircuito del generador de onda combinada	3.1.24
I_{SCCR}	corriente de cortocircuito asignada	3.1.27
I_P	corriente de cortocircuito prevista de una fuente de alimentación	3.1.38
I_{PE}	corriente residual con U_{REF}	3.1.40
I_{Total}	corriente de descarga total de un DPS multipolar	3.1.44
I_{trans}	valor asignado de la corriente de impulso de transición para los DPS de tipo cortocircuito	3.1.46

Figura 7.6: Abreviaturas Corrente

■ **Requisitos**

Indica os requisitos xerais (identificación e marcado), eléctricos (protección fronte a contactos indirectos, corrente residual, nivel de protección U_P , resistencia ó illamento...), mecánicos (montaxe, conexións externas, resistencia mecánica...), ambientais e de material (resistencia ó calor, compatibilidade electromagnética...) e requisitos específicos de deseño dos protectores.

	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
Capacidade de absorción de enerxía	Alta	Media	Baixa
Rapidez de resposta	Baixa	Media	Alta
Orixe da sobretensión	Impactos directos de raios	Sobretensións de orixe atmosférico e debidas a conmutacións tanto conducidas como inducidas.	

Tabla 7.2: Tipos de protectores fronte a sobretensións transitorias

■ **Ensaíos**

Establece os métodos de ensaio coas distintas curvas (8/20-10/350/1.2/50 μ_s), ensaios eléctricos (protección fronte a contactos directos, rixidez dieléctrica...), Ensaíos mecánicos (bornes dos condutores externos, resistencia mecánica...) e ensaios adicionais específicos de cada condutor.

7.6 UNE-EN 50160

A norma UNE-EN 50160 «*Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*»[20], é a norma española que define as sobretensións do seguinte xeito [20]:

■ **Sobretensión transitoria.**

Sobretensión oscilatoria ou non oscilatoria de corta duración, en xeral fortemente amortiguada, e que dura como máximo algúns milisegundos. O tempo de subida pode variar dun tempo inferior a un microsegundo a algúns milisegundos.

■ **Sobretensión temporal a frecuencia industrial.**

Aumento temporal do valor eficaz da tensión nun punto da rede de alimentación eléctrica por enriba dun umbral especificado. O umbral inicial da sobretensión é igual ó 110 % da tensión de referencia.

■ **Umbral inicial da sobretensión.**

Valor eficaz da tensión nunha rede de alimentación eléctrica, que indica o inicio dunha sobretensión.

■ **Umbral final da sobretensión.**

Valor eficaz da tensión nunha rede de alimentación eléctrica, que indica o final dunha sobretensión.

■ **Duración da sobretensión.**

Tempo comprendido entre o umbral inicial e o umbral final dunha sobretensión. A duración dunha sobretensión vai dende 10 ms ata 1 min inclusive.

■ **Clasificación das sobretensións.**

Na figura 7.7 móstrase a clasificación das sobretensións en función da tensión residual e a duración máxima según a norma.

Sobretensión u %	Duración t ms		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$
$u \geq 120$	CELDA S1	CELDA S2	CELDA S3
$120 > u > 110$	CELDA T1	CELDA T2	CELDA T3

Figura 7.7: Clasificación das sobretensións

7.7 UNE-EN 61000-4-30

A norma UNE-EN 61000-4-30 «*Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-30: Técnicas de ensayo y medida. Métodos de medida de la calidad de suministro*» [21], é a norma española que indica como deben medirse e detectarse as sobretensións.

■ **Métodos de medida**

- *Clase A*

Emprégase cando son necesarias medicións precisas, por exemplo para a resolución de temas legais ou conformidade cas normas.

- *Clase S*

Emprégase para aplicacións estadísticas, por exemplo para a avaliación de campañas de medida da calidade de suministro. Os requisitos de procesamento da clase S son inferiores os da clase A.

- *Clase B*

Obsoleta. Emprégase para definir os analizadores de redes antigos.

■ **Detección e avaliación das sobretensións**

Pode levarse a cabo por un analizador clase A ou clase S, onde a medición básica da sobretensión debe de ser o valor $U_{r.ms}1/2$ en cada canal de medida.

■ **Detección dunha sobretensión.**

En sistemas monofásicos, a sobretensión comeza cando a tensión $U_{r.ms}$ se incrementa por riba dun umbral especificado, e acaba cando a tensión $U_{r.ms}$ é igual ou inferior o umbral da sobretensión menos a histérese de tensión.

En sistemas polifásicos, a sobretensión comeza cando a tensión de unha ou máis fases se incrementa por enriba do umbral da sobretensión, e acaba cando a tensión $U_{r.ms}$ en todas as fases é igual ou inferior o umbral da sobretensión menos a histérese de tensión.

■ **Avaliación dunha sobretensión.**

As sobretensións caracterízanse pola súa amplitude e duración, polo tanto:

- Amplitude:

A amplitude máxima dunha sobretensión é o máximo valor de $U_{r,ms}$ medido en calquera canle durante a sobretensión.

- Duración:

A duración é a diferenza entre o tempo de comezo e o tempo de finalización dunha sobretensión.

7.8 UNE-EN 62305-4

A norma UNE-EN 62305-4 «*Protección contra el rayo. Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras*» [25] é a norma española que establece as distintas zonas de protección fronte ó raio.

Según sexa a zona de protección, os danos que se poden causar son distintos e estas zonas deben protexerse dacordo con este risco [9].

Os dispositivos de protección instálanse entre as transicións das distintas zonas, e como xa se comentou anteriormente, e moi importante que estas estean ben coordinadas (protección escalonada) e sexan capaces de soportar as correntes asociadas ó raio e de deixar unha tensión residual que non afecte os equipos instalados.

Na táboa 7.3 móstranse as distintas zonas, as súas características así como as distintas perturbacións que poden causar según se establece na norma.

ZONAS	CARACTERÍSTICAS	PERTURBACIÓNS
ZPR 0A	Zona externa. Perigo de impacto directo dun raio. Zonas exteriores das instalacións.	Totalidade da corrente xerada polo raio así como perturbacións electromagnéticas.
ZPR 0B	Zona externa. Protección contra impactos directos do raio. (Zona externa pero protexida).	Perturbacións electromagnéticas e parte da corrente xerada polo raio.
ZPR 1	Zona interna. A limitación das sobretensións lévase a cabo mediante protectores, reparto de corrente e apantallamentos.	Campos electromagnéticos atenuados e correntes baixas.
ZPR 2...n	Zona interna. As sobretensións teñen menos enerxía e están máis limitadas polos protectores e polo reparto da corrente.	Campos electromagnéticos moi atenuados, con moi pouco contido en enerxía e correntes moi baixas.

Tabla 7.3: Zonas de protección UNE-EN 62-3054

8 SELECCIÓN DO PROTECTOR

Para protexer correctamente calquera tipo de instalación cos seus correspondentes equipos, e preciso coñecer con detalle as súas características. Os parámetros máis importantes que é preciso coñecer dos equipos a protexer son os que se mencionan nos seguintes puntos, aínda que antes que nada, hai que dar resposta a seguinte pregunta:

¿É necesario protexer?

Como se indica no capítulo de normativa, non acaba de quedar claro en que situacións é preciso levar a cabo unha protección contra sobretensións tanto permanentes como transitorias. Desde o punto de vista dun profesional que deseñe un circuíto eléctrico, a resposta sempre debería de ser SI, xa que instalando estas proteccións asegúrase unha protección contra calquera problema que poida causar unha sobretensión (caídas de raios, manobras na rede, rupturas de neutro...) asegurando deste xeito que a instalación vai estar completamente protexida.

8.1 AVALIACIÓN DO RISCO DE SOBRETENSIÓN

Os distintos parámetros que hai que ter en conta para levar a cabo unha correcta avaliación do risco son os seguintes [1]:

- Número de tormentas eléctricas por ano. Avaliación do nivel ceraúnico.
- Topografía do lugar.
- Materiais a protexer.
- Natureza da rede (eléctrica, telecomunicacións...).
- Presencia de pararraios na instalación ou nas súas proximidades.
- Sobretensións de maniobra.

Tendo en conta o anterior, hai que levar a cabo un diagnóstico dos receptores e un diagnóstico do lugar para avaliar correctamente o risco.

▪ **Diagnóstico lugar**

O diagnóstico do lugar calcúlase mediante a fórmula 8.1.

$$E = N_g \cdot (1 + BT + MT + d) \quad (8.1)$$

En onde:

N_g é o número de impactos por ano e quilómetro cadrado. Na figura 8.1 pódese ver o mapa de densidade de caída de raios nas distintas comunidades españolas, podendo avaliar así a probabilidade da caída dun raio na nosa instalación.

Os valores de N_g oscilan dende 0.9 nas zonas máis claras do mapa do territorio español ata 4 nas zonas máis escuras do mapa.

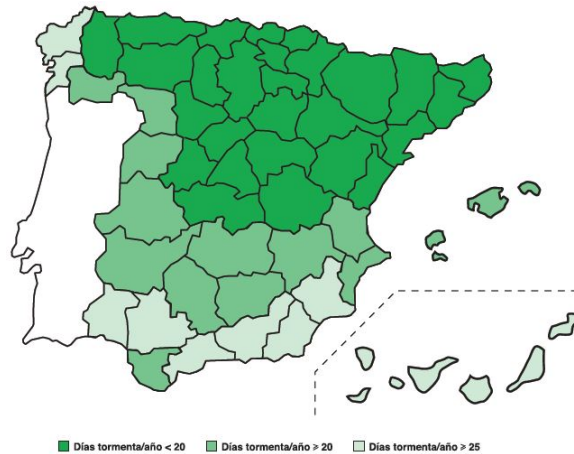


Figura 8.1: Distribución niveis Ng en España

BT é a lonxitude (Km) da liña aérea que alimenta a instalación de baixa tensión. Os valores de BT en función da lonxitude da liña son os que se mostran na táboa 8.1.

Lonxitude (m)	Valor BT
subterránea	0
100-200	0.2
201-300	0.4
301-400	0.6
401-500	0.8
>500	1

Tabla 8.1: Valor de BT en función da lonxitude

MT é un parámetro que depende da situación da rede de media tensión de alimentación do centro de transformación. O valor de MT depende de se a alimentación é subterránea ou aérea.

- Alimentación subterránea \rightarrow MT = 0
- Alimentación aérea \rightarrow MT = 1

d é o coeficiente en función da instalación e da situación da liña aérea. Os valores de d son os que se mostran na táboa 8.2

Parámetros correspondentes ó entorno	
d=0	Rodeado totalmente de estruturas.
d=0.5	Próxima a algunhas estruturas.
d=0.75	Terreo chan ou o aire libre.
d=1	Terreo en presenza de raios (próximo a grandes superficies de auga, terreos montañosos. . .)

Tabla 8.2: Parámetros en función do entorno

- **Diagnóstico dos receptores**

O diagnóstico dos receptores cacúlase mediante a fórmula 8.2.

$$R = S + C + I \quad (8.2)$$

En onde:

R: Risco dos receptores.

S: Sensibilidade dos materiais da instalación. O seu valor indícase na táboa 8.3.

S=1	Categoría III e IV. Resistencia ós choques elevada. U maior que 2.5Kv	Aparamenta fixa, armarios de distribución e aparatos situados augas arriba do armario de distribución
S=3	Categoría I e II. Resistencia ós choques baixa. U menos que 2.5Kv	Aparatos sensibles como equipos informáticos, televisións, teléfono fixo e electrodomésticos en xeral

Tabla 8.3: Valor sensibilidade dos materiais

C: Coste económico do material, que varía entre 1 e 3. O seu valor indícase na táboa 8.4.

Valor de C	Coste
1	Débil <1500
2	Medio 1500-15000
3	>15000

Tabla 8.4: Coste económico do material

I: Consecuencias de non dispoñer do material, que varía entre 1 e 3. O seu valor indícase na táboa 8.5.

Valor de I	Actividade
1	Sin interrupción
2	Interrupción parcial
3	Interrupción total

Tabla 8.5: Consecuencias de non dispoñer do material

8.2 SELECCIÓN DA CORRENTE MÁXIMA DE DESCARGA DO PROTECTOR

Unha vez realizado o diagnóstico dos receptores a protexer e do lugar, debe determinarse a corrente máxima de descarga (mediante unha onda 8/20) para os protectores. Na táboa 8.6 móstranse os valores recomendados para a portección de entrada [1].

	R		
	8-9	6-7	<5
I=1 kA	30-40	15	15
I=2 kA	65	30-40	15
I=3 kA	65	65	30-40

Tabla 8.6: Selección da corrente de descarga en función de R e E

Unha protección secundaria é requirida nos seguintes casos:

- Cando o valor de U_p é elevado en relación o valor de tensión residual que pode soportar o equipo a protexer.
- Se a distancia entre o protector e o equipo a protexer é superior a 30 metros.

8.3 SELECCIÓN DO PROTECTOR EN FUNCIÓN DO SISTEMA DE CONEXIÓN A TERRA

8.3.1 REDES TT

É a tipoloxía de rede máis utilizada en España. Para a protección contra sobretensións deste tipo de redes, é necesario instalar como mínimo protectores entre cada unha das fases e o neutro, e entre o neutro e a terra. este tipo de conexión tamén se coñece como conexión «3+1». Na figura 8.2 pódese ver como sería o esquema de conexión para este tipo de redes [9].

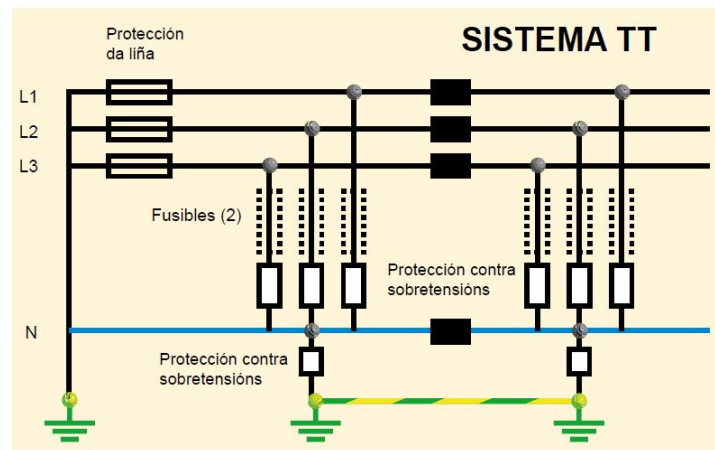


Figura 8.2: Esquema de conexión en redes TT

No caso de que se produza unha corrente de cortocircuíto entre os condutores de fase e neutro, deben de actuar as proteccións correspondentes para abrir o circuito no tempo previsto. As funcións destas proteccións son:

- Se a intensidade de cortocircuíto é maior que a corrente de seguimento ou sucesiva do protector, debe asumir o corte desta corrente. Esta función é moi importante sobretudo nos dispositivos de tipo B.
- Se un protector conectado entre a terra e os condutores activos se atopa deteriorado, pode provocar que determinadas partes da instalación eléctrica se atopen baixo potencial, supoñendo así un risco de contacto indirecto para as persoas, polo que o dispositivo previo de protección debería de actuar.

8.3.2 REDES IT

Nesta tipoloxía de redes non é recomendable distribuír o condutor neutro, sen embargo, para a protección fronte a sobretensións, a conexión a terra dos protectores debe conectarse a un punto común e este a terra a través dun condutor neutro. Na figura 8.3 pódese ver como sería o esquema de conexión para este tipo de redes [9].

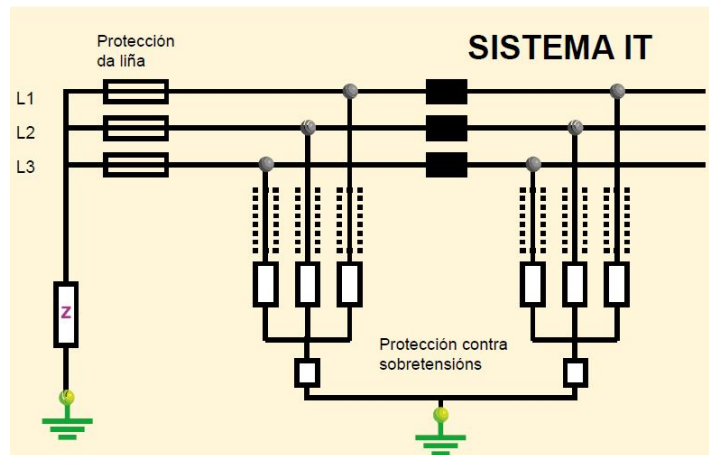


Figura 8.3: Esquema de conexión en redes IT

8.3.3 REDES TN-C/TN-S

Nos sistemas TNC, cando o condutor neutro e o condutor de terra están combinados nun só condutor, para a protección contra sobretensións deste tipo de redes, é necesario instalar protectores entre cada unha das fases e o condutor de neutro/terra. Deste xeito, hai unha equipotencialidade entre todos os aparatos e refórzase o PEN, de maneira que non se poda producir unha sobretensión no condutor neutro a través da terra. Neste caso non sería necesario un descargador de gas entre neutro e terra.

Nos sistemas TNS, o condutor de terra e o neutro están separados, polo que para a protección contra sobretensións deste tipo de redes, é necesario instalar protectores entre cada unha das fases e o condutor de terra, ou entre o condutor neutro e o condutor de terra. Na figura 8.4 pódese ver como sería o esquema de conexión para este tipo de redes [9].

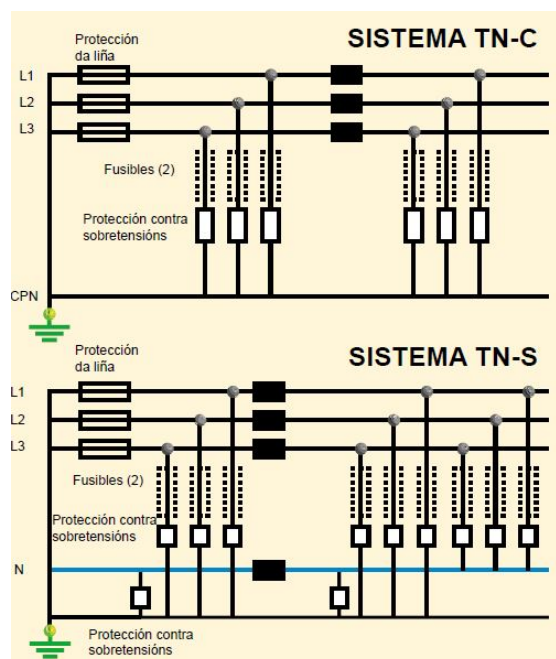


Figura 8.4: Esquema de conexión en redes TNC-TNS

8.3.4 RESUMO DA INSTALACIÓN DE PROTECTORES EN FUNCIÓN DA REDE DE DISTRIBUCIÓN

Na táboa 8.7, móstrase a modo de resumo cando se deberían instalar protectores fronte a sobretensións transitorias

Entre	FASE-NEUTRO	FASE-TERRA	NEUTRO-TERRA
TT	Recomendable	Si	Si
IT	Non	Si	Si
TNC	Non	Si	Non
TNS	Recomendable	Si	Si

Tabla 8.7: Selección do protector en función da rede de distribución

8.4 SELECCIÓN DO PROTECTOR ADECUADO

Para protexer correctamente calquera tipo de instalación cos seus correspondentes equipos, e preciso coñecer con detalle as súas características.

Os parámetros máis importantes que é preciso coñecer dos equipos a protexer son os que se mencionan nos seguintes puntos.

8.4.1 ZONA DE PROTECCIÓN ONDE SE VAI A UBICAR

Como se comentou anteriormente, a norma UNE-EN 62305-4 define as zonas de protección fronte ó raio.

Na figura 8.5 (a) pódese ver un esquema de protección por zonas no interior dunha oficina, e na figura 8.5 (b) un esquema do tipo de protección que se debería de utilizar en función da zona de protección fronte ó raio.

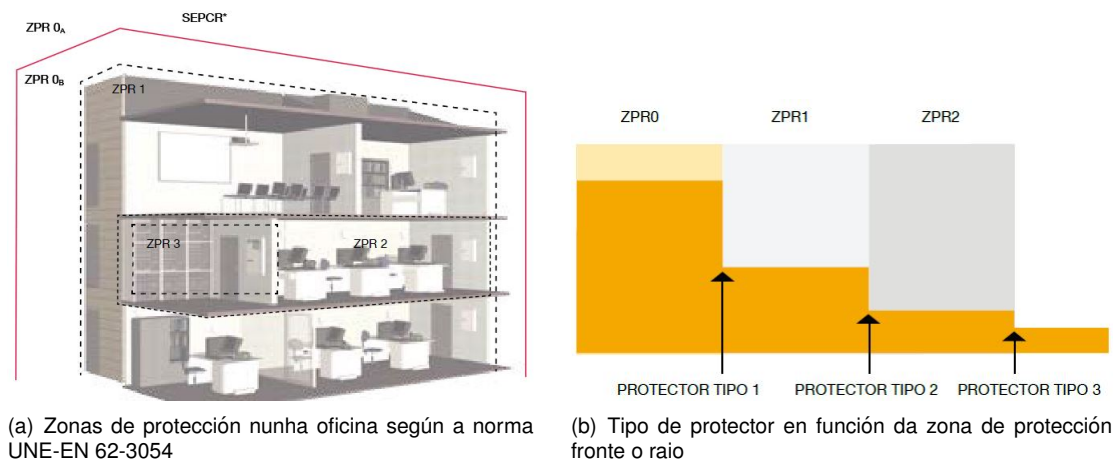


Figura 8.5: Zonas de protección e tipo de protector según a norma UNE-EN 62-3054

8.4.2 TENSIÓN RESIDUAL MÁXIMA TOLERABLE

Unha característica que deben de presentar os protectores contra sobretensións, e que estes deixen unha tensión residual baixa.

Se o equipo que se vai protexer é moi sensible, require unha protección contra tensións residuais moi baixas e estas deben de ser instaladas o máis preto posible do equipo.

Por outra banda, se o equipo a protexer é moi robusto non son necesarias tensións residuais baixas.

Na figura 8.6 móstrase o tipo de protección contra sobretensións que se debe instalar en función do equipo a protexer [9].

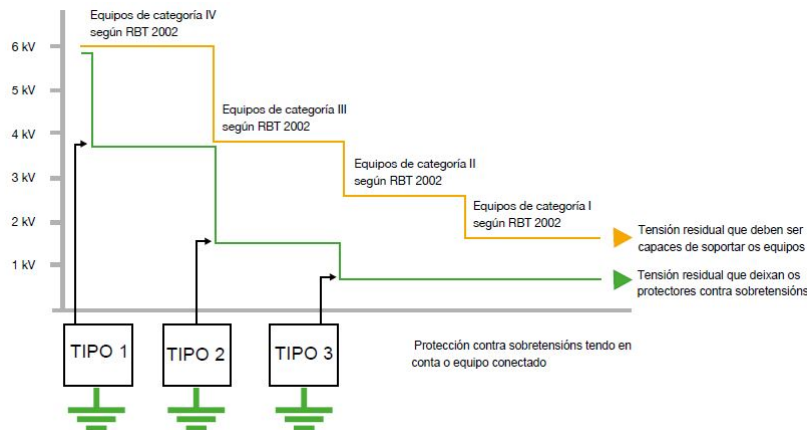


Figura 8.6: Tipo de protector en función do equipo a protexer

8.4.3 PARÁMETROS ADICIONAIS DA LIÑA

Para facer unha boa elección do equipo de protección contra sobretensións, débense ter en conta algunhas características da liña eléctrica como [9]:

- Tensión máxima de funcionamento: É importante coñecer este valor, para evitar que o equipo de protección contra sobretensións se active a uns niveles de tensión que o usuario da instalación considera aceptables.
- Tipo de tensión: Alterna ou continua.
- Corrente da liña: No caso de que se conecte algún equipo en serie, é preciso coñecer a intensidade que vai circular pola liña.
- Tipo de instalación: Tipo de rede da instalación, TT, IT, TN-C, TN-S.

8.4.4 ETAPAS DE PROTECCIÓN

As etapas de protección son as seguintes:

- **Primeira etapa:**

A primeira protección (grosa) soe ser unha vía de chispas ou un descargador de gas. Estes protectores, cando a sinal é normal permanecen abertos sen circulación de corrente. Cando se supera a tensión de ruptura deste elemento, entra en cortocircuíto derivando toda a intensidade a terra. Cando o nivel alto de tensión desaparece, estes volven o seu estado inicial, e dicir a circuío aberto [9].

▪ **Segunda etapa:**

A segunda protección (máis fina que a anterior), soe estar conformada por un varistor. Estes varistores son resistencias variables, e no caso de que a tensión sexa baixa, estes presentan unha resistencia alta, e cando a tensión aumenta a súa resistencia diminúe dunha forma non lineal. Poden existir pequenas fugas de corrente cando o nivel de tensión é normal aínda que estes presenten unha resistencia elevada. O tempo de actuación é maior que o da vía de chispas [9].

▪ **Terceira etapa:**

A terceira protección, está formada por díodos supresores de transitorios. Estes díodos presentan unha rapidez de actuación moi rápida e deixan uns valores de tensións residuais moi baixas. O inconveniente que presenta e que non son capaces de absorber grandes correntes [9].

8.5 RECOMENDACIÓNS DE INSTALACIÓN DOS FABRICANTES

Os distintos fabricantes de protectores fronte a sobretensións (os cales se indican no anexo), establecen unha serie de recomendacións para realizar unha correcta instalación dos dispositivos de protección fronte a sobretensións, polo que hai que ter sempre en conta unha serie de conceptos como [1, 10]:

- As regras de cableado.
- Protección escalonada.
- Réximes de neutro.
- Proteccións diferenciais.
- Proteccións de acompañamento (fusibles, interruptores automáticos...).
- Conexións.

8.5.1 REGLAS DE CABLEADO

▪ **Regra 1**

Evitar sobrepasar os 50 centímetros de lonxitude de cableado entre o protector de sobretensións e o interruptor automático que este ten asociado. A instalación realizaríase tal e como se mostra na figura 8.7 [1, 10].

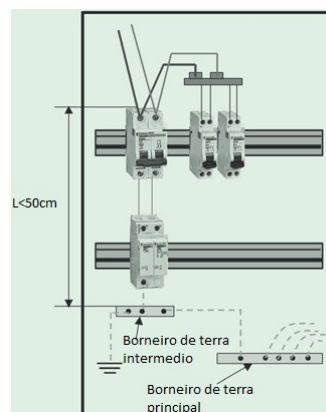


Figura 8.7: Regra 1

O motivo desta lonxitude é debido a que o valor de tensión residual que vai a soportar o equipo a protexer nos seus bornes, é a suma da tensión residual U_p (que é a que se indica nos catálogos dos fabricantes e as tensións debidas aos efectos capacitivos e indutivos dos cables U1 e U3 tal e como se pode ver na figura 8.8. A efectos prácticos, pode considerarse que a tensión nos bornes do protector é U_p debido a que os valores de U1 e U3 son despreziables se non hai unha sobretensión [1, 10].

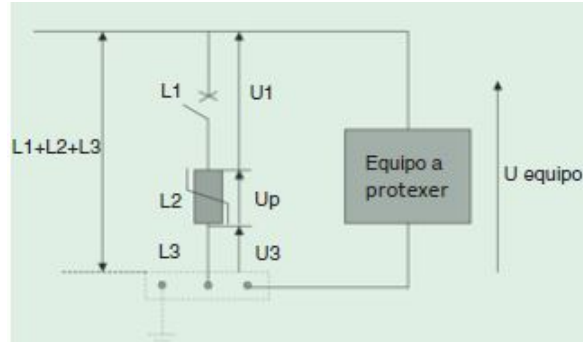


Figura 8.8: Distancias máis curtas posibles

No caso de que haxa unha sobretensión, o valor de U1 e U3 está condicionado pola lonxitude dos cables L1 e L3, por iso é importante que a distancia sexa inferior a 50 cm, xa que canto menor sexa esta distancia, menor serán os valores de L1 e L3 [1, 10].

Por exemplo, se se considera que a impedancia do cable é de $1 \mu H/m$, e está sometido a unha corrente $8/20 \mu s$ cun valor de cresta de 8 KA, produciríase unha caída de tensión de 1000 voltios por metro. En onde a caída de tensión se calcularía mediante a seguinte expresión [1, 10]:

$$1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{8 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-6}} = 1000V/m$$

Se $L1 + L2 + L3 = 50 \text{ cm}$, aparece unha sobretensión de 500 voltios ($1000 \times 0.5 \text{ m}$) a maiores da sobretensión que hai nos bornes do protector. E dicir, se o equipo a protexer ten que soportar 1500 voltios de tensión, e protéxese cun limitador cun valor de U_p de 1500 voltios, o equipo ante unha onda de corrente $8/20 \mu s$ estará soportando unha sobretensión transitoria de 2000 voltios [1, 10].

■ **Regra 2**

Os condutores protexidos deben tomar as súas saídas nos bornes do protector fronte a sobretensións e do interruptor automático asociado. Isto pode verse na figura 8.9 [1, 10].

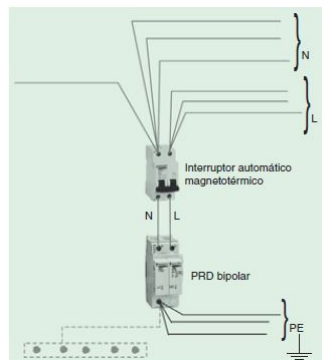


Figura 8.9: Regra 2

■ Regra 3

Os condutores das fases, neutro e terra, deben de estar o máis próximos entre si para así reducir a superficie e evitar o efecto bucle [1, 10].

■ Regra 4

Deben separarse os cables de chegada e de saída dos protectores de sobretensións. Desta forma evítanse posibles perturbacións debidas a cables que non están protexidos [1, 10].

Tendo en conta as regras 3 e 4, na figura 8.10 (a) móstrase un exemplo de como se realizaría unha instalación correcta do cableado, e na figura 8.10 (b) unha instalación incorrecta.

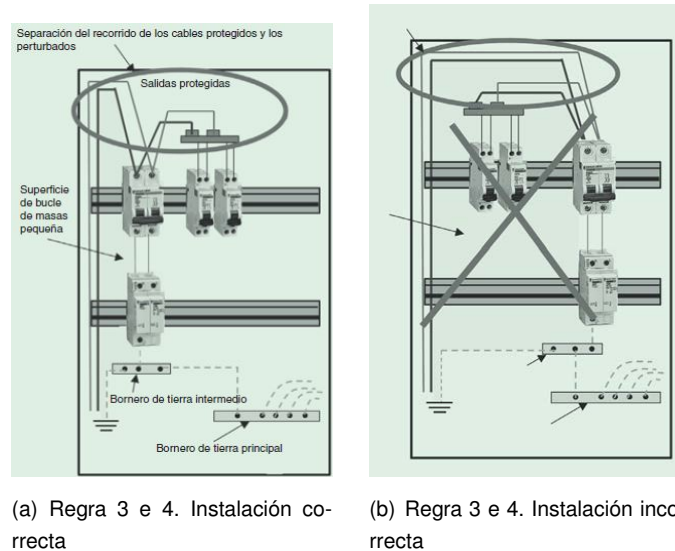


Figura 8.10: Instalación correcta dos protectores tendo en conta as regras 3 e 4

■ Regra 5

Para reducir as perturbacións, os cables deben instalarse o máis cerca posible da estrutura metálica do armario para minimizar así os bucles das masas. A estrutura dos armarios metálicos debe estar sempre conectada a terra mediante un condutor o máis curto posible. No caso de armarios illantes, se non se poden substituír estes por uns metálicos, habería que utilizar unha armazón interna de ferro posta a terra [1, 10].

■ Regra 6

A terra dos receptores da instalación, debe estar conectada ó borneiro de terra do limitador, xa que no caso dunha caída dun raio, este produce unha diferenza de potencial moi elevada provocando unha sobretensión. Se esta entra pola terra dos receptores, e a terra non está conectada a do protector, este non actuará dunha forma correcta [1, 10].

■ Regra 7

O valor de U_p nunca debe de ser maior que o valor de tensión residual do equipo a protexer. Para solucionar este problema, debe realizarse unha protección escalonada, empregando varios protectores de tal forma que se consiga reducir o valor de U_p [1, 10].

■ Regra 8

No caso de que a distancia do cableado entre o protector situado no quadro principal, e os receptores ou equipos a protexer sexa superior a 30 m, debe de instalarse un segundo protector. Este debe de ter unhas especificacións inferiores ó de cabeceira [1, 10].

Se a lonxitude do cable ten un valor de $\lambda/2$ ou un múltiplo deste, o cable pode captar o campo magnético creado por un raio xa que actúa coma unha antena a súa frecuencia específica, provocando deste xeito un aumento de tensión entre o protector de cabeceira e os receptores a protexer. Polo tanto, para realizar unha protección óptima dos protectores, é preciso instalar un segundo limitador nun quadro secundario sempre que a distancia entre o equipo a protexer e o protector sexa superior a 30 metros. Este segundo protector é o encargado de reducir o efecto antena diminuindo así o nivel da sobretensión. Na figura 8.11 obsérvase como mediante un segundo protector, o valor de tensión residual que chega o equipo a protexer se ve reducida en comparación con contar só con un único protector [1, 10].

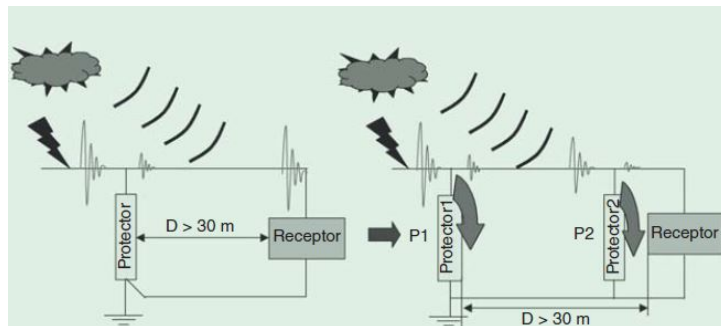


Figura 8.11: Regra dos 30 m

■ Regra 9

Seguindo o principio da protección escalonada, para que haxa unha correcta coordinación entre os protectores, debe de haber unha distancia mínima de 10 m entre eles. Por exemplo, no caso de que un protector tipo 2 estea a unha distancia inferior a 10 m dun protector tipo 1, este pode cebarse primeiro tendo que aguantar toda a enerxía da sobretensión. No caso de que non sexa posible que haxa unha distancia superior os 10 m [1, 10]:

- Deberán de utilizarse bobinas de desacoplo.
- Utilizaranse descargadores combinados de corrente de raio e sobretensións.
- Utilizaranse descargadores de cebado electrónico, xa que estes non precisan que haxa unha lonxitude mínima entre eles.

8.5.2 RÉXIMENES DE NEUTRO

■ SISTEMA COMÚN

Para protexer a instalación fronte a sobretensións en modo común, instálase un protector bipolar formado por dous varistores tal e como se pode ver na figura 8.12. A corrente do raio que provoca a sobretensión vai seguir o camiño A-B-C-D que se ve na figura para derivar esta corrente a terra a través de R1 xa que presenta unha resistencia inferior a R2. Na entrada da instalación, nos bornes

do protector A-D, obtense que o valor de tensión residual é dúas veces a tensión residual do limitador ($U_{p1} + U_{p2}$) [1, 10].

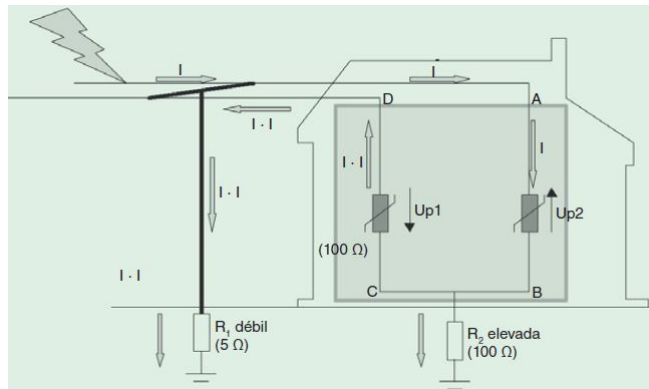


Figura 8.12: Esquema TT - Protección común

■ SISTEMA DIFERENCIAL

Nun sistema de conexión a terra TT, o condutor neutro provoca unha disimetría debido a impedancia da terra, provocando desta forma sobretensións en modo diferencial, aínda que no caso dunha sobretensión inducida por un raio, produciríase unha sobretensión en modo común. Seguindo co exemplo anterior, para que as cargas non se vexan afectadas, debe de instalarse un novo varistor, de tal forma que a corrente provocada pola sobretensión siga o camiño A-H-G-D, tal e como se pode ver na figura 8.13, sendo a tensión que ve a carga U_{p3} [1, 10].

Estes protectores que se conectan entre fase e neutro deben ter un nivel de protección baixo, xa que os equipos electrónicos a protexer soen ser moi sensibles as sobretensións en modo diferencial.

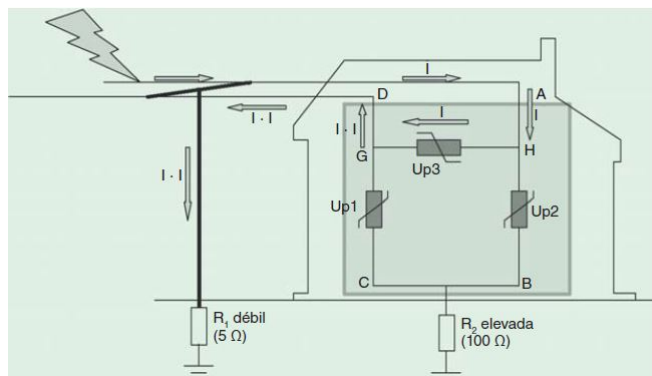


Figura 8.13: Esquema TT - Protección diferencial

■ SISTEMA COMÚN E DIFERENCIAL

Para ter unha protección tanto en modo común como en modo diferencial, é preciso instalar dispositivos formados por varistores e descargadores de gas de forma conxunta, tal e como se pode ver na figura 8.14, sendo o valor da tensión residual igual a U_{p1} [1, 10].

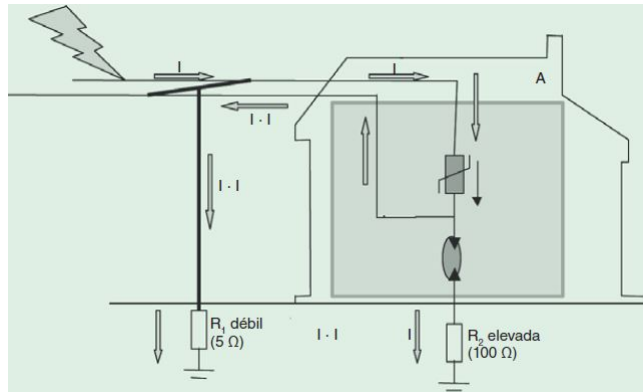


Figura 8.14: Esquema TT - Protección común - diferencial

8.5.3 PROTECCIÓN DOS DESCARGADORES

- Os protectores fronte a sobretensións transitorias deben de ter as seguintes proteccións [1, 10]:
 - Protección fronte a correntes de cortocircuíto.
 - Protección fronte o avellentamento.
 - No caso de que fose precisa, protección fronte a contactos indirectos.
- **Protección fronte a correntes de cortocircuíto.**

Os protectores fronte a sobretensións transitorias poden soportar un valor máximo de corrente, determinado pola onda $8/20 \mu_s$ sen que se produza unha degradación nos mesmos. Se se supera este valor, o protector pode destruírse quedando en cortocircuíto, polo que tería que ser reempazado. Cando se produce unha sobretensión, a diferencia entre a tensión residual nos bornes do protector e a tensión nominal (combinado coa baixa impedancia que presenta o protector) pode dar lugar a unha corrente residual de valor elevado. Para evitar que esa corrente dane o protector, debe instalarse un fusible ou interruptor magnetotérmico augas arriba do protector.

Cando o interruptor magnetotérmico non permite o rearme, é un indicativo de que o protector está en cortocircuíto e que debe ser substituído [1, 10]. Para este tipo de protección, poden establecerse dous tipos de conexións:

- *Prioridade á continuidade de servizo.*

No caso de que se desconecte o interruptor automático ou fusible (que debe ter unha selectividade co interruptor de cabeceira), so se desconecta o dispositivo de protección fronte a sobretensións transitorias, permitindo deste xeito que todos os equipos conectados augas abaixo permanezan con tensión. O inconveniente deste método é que todos os equipos que están conectados augas abaixo quedarán desprotexidos fronte as sobretensións. Na figura 8.15 pode verse o esquema dunha instalación con prioridade á continuidade de servizo [1, 10].

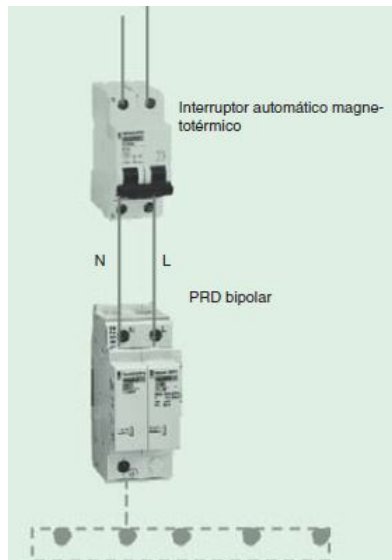


Figura 8.15: Prioridade á continuidade de servizo

■ *Prioridade á protección.*

No caso de que se desconecte o interruptor automático ou fusible, tamén quedan sen tensión todos os equipos instalados augas abaixo, e non se pode rearmar o sistema ata que se cambie o protector. O inconveniente deste método é que os equipos non poden ser utilizados (coas perdas económicas que isto conleva), pero como ventaxa, estes non se verán afectados polas sobretensións. Na figura 8.16 pode verse o esquema dunha instalación con prioridade á protección [1, 10].

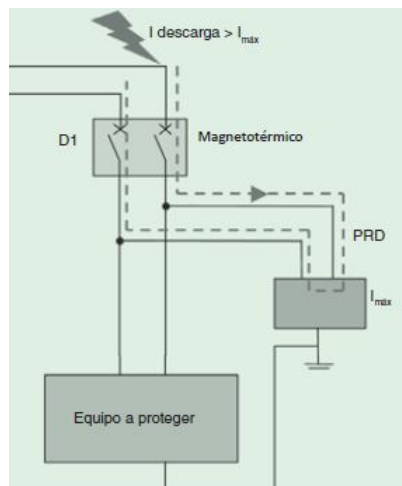


Figura 8.16: Prioridade á protección

O nivel de protección dos magnetotérmicos e fusibles debe ser o recomendado polo fabricante do protector. Na táboa 8.8 poden verse os valores recomendados por Cirprotec.

Intensidade máxima (KA)	Magnetotérmico (A)	Curva	Fusible (A)
65	25	C	80
40	10	C	40
15	10	C	32

Tabla 8.8: Valores recomendados I.A. e fusibles

Na figura 8.17 obsérvase que hai un fusible previo na instalación F1 e un fusible previo o protector F2. No caso de que F1 supere o valor indicado na táboa 8.9 sería necesario instalar o fusible previo o protector F2.

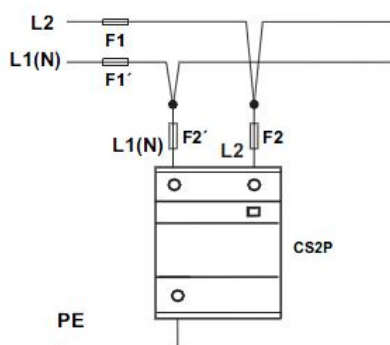


Figura 8.17: Instalación fusibles protector

Intensidade máxima (KA)	Valor máximo F1/ Valor F2 se fose preciso (A)
15	63 gl
40	80 gl
100	125 gl

Tabla 8.9: Fusibles recomendados

■ **Protección contra o avellentamento.**

Os dispositivos de protección formados por varistores, presentan unha corrente de fuga moi pequena (inferior a 1mA) que se pode incrementar en función das descargas, provocando así un aumento de temperatura do protector e un avellentamento prematuro do mesmo.

A maioría dos protectores presentan un indicador visual de fallo (verde correcto, vermello fallo), que permite coñecer o estado do mesmo tal e como se pode ver na figura 8.18. Algúns protectores tamén dispoñen dun bloque de contactos auxiliar que permite coñecer o estado do mesmo a distancia tal e como se pode ver na figura 8.19 [1, 10].

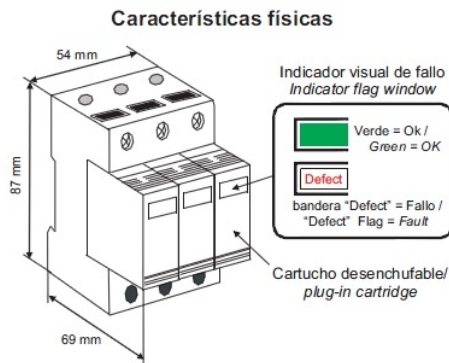


Figura 8.18: Indicación visual de fallo

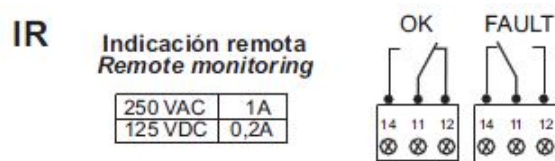


Figura 8.19: Indicación remota protector

Como se comentou no punto anterior, instalando un fusible ou magnetotérmico augas arriba do protector, pode protexerse a este fronte a un avellentamento prematuro xa que unha vez que se desconecte, o protector non se vería afectado por esas correntes de fuga.

■ **Protección fronte a contactos indirectos**

No caso de que fose necesaria, a protección fronte a contactos indirectos tería que levarse a cabo mediante dispositivos de protección diferencial. Os protectores tipo 1 e 2 debe de instalarse augas arriba do protector diferencial. No caso de que isto non fose posible, e a súa instalación se realizar augas abaixo do interruptor diferencial, este debe ser de tipo selectivo ou temporizado. Por outra banda, para os protectores tipo 3, é indiferente que estes se instalen augas arriba ou augas abaixo do diferencial. Un exemplo de instalación e o que se mostra na figura 8.20 [1, 10].

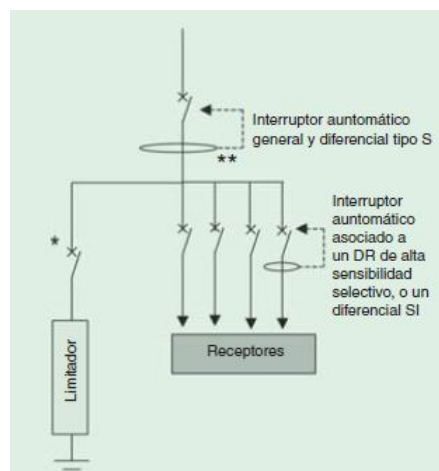


Figura 8.20: Montaxe que evita disparos intempestivos

9 GUÍA DE SELECCIÓN DE PROTECTORES FRONTE A SOBRETENSIONES

Neste apartado móstrase guía de selección para escoller o protector máis axeitado fronte a sobretensións, tanto no ámbito industrial como no ámbito doméstico.

Cabe recordar, que hai que realizar sempre unha protección escalonada, tendo en conta o tempo de resposta de cada protector para que este funcione dunha forma correcta e todos os aspectos que se indican no capítulo 8.

9.1 Protectores fronte a sobretensións transitorias

■ *Ámbito industrial*

- *Primeiro escalón (cadro xeral de baixa tensión)*

Para a selección do primeiro escalón, o primeiro que hai que ter en conta é se existe protección externa fronte a sobretensións. No caso de que a haxa, habería que seleccionar un protector tipo 1.

No caso de que non a haxa, hai que determinar se a acometida da instalación é aérea. No caso de que o sexa, sería preciso un protector tipo 2 no caso de que non o sexa, sería preciso tamén un protector tipo 2.

Unha vez seleccionado o protector do primeiro escalón, pasaríase a escoller os protectores dos escalóns 2 e 3.

O esquema a seguir para realizar esta selección é o que se mostra na figura 9.1 [5].

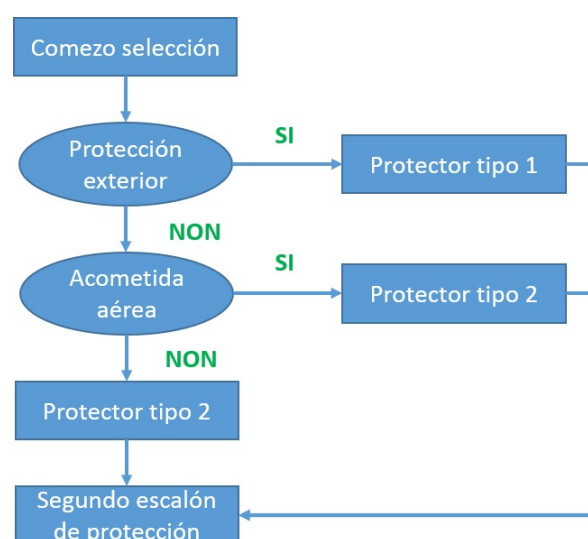


Figura 9.1: Esquema selección primeiro escalón

- Segundo escalón (subcadro) e terceiro escalón (equipos a protexer).

Unha vez determinados os protectores do cadro xeral de baixa tensión, determínanse os protectores do subcadro e equipos a protexer. Na figura 9.2 [5] móstrase os protectores que se deberían de seleccionar en función dos escollidos no primeiro escalón.

Por exemplo, se no cadro xeral de baixa tensión se escolleu un protector tipo 1 de 100 kA, no subcadro a unha distancia de 10 metros ou se non é posible mediante unhas bobinas de desacoplo, debería instalarse un protector tipo 2 de 40 kA, e xa nos equipos a protexer a unha distancia de 5 metros ou se non é posible mediante unhas bobinas de desacoplo un protector tipo 3 de 15 kA.

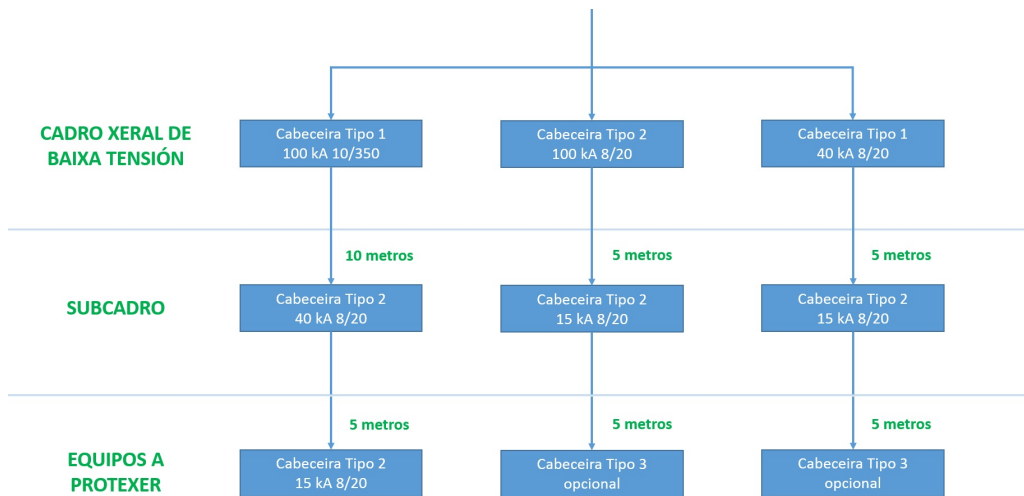


Figura 9.2: Esquema selección segundo e terceiro escalón

▪ **Ámbito doméstico.**

- Edificios equipados con centralización de contadores

Na táboa 9.1 [5] móstrase os protectores fronte a sobretensións que se deberían de escoller no caso dun edificio que estea equipado con centralización de contadores, e se este presenta unha protección externa fronte o raio ou non. Tamén é preciso coñecer se a vivenda se atopa no ámbito rural ou no ámbito urbán.

Edificios equipados con centralización de contadores		Cadro de centralización	Vivenda monofásica	Vivenda trifásica
Pararraios a 50 metros do edificio ou instalado no mesmo	Ámbito Urbán	Tipo 1 100kA	Tipo 2 15 kA	Tipo 2 15 kA
	Ámbito Rural			
Sen pararraios a 50 metros do edificio ou instalado no mesmo	Ámbito Urbán	Non preciso	Tipo 2 15 kA	Tipo 2 15 kA
	Ámbito Rural		Tipo 2 40 kA	Tipo 2 40 kA

Tabla 9.1: Selección dun protector nun edificio con centralización de contadores

- *Vivendas unifamiliares*

Na táboa 9.2 [5] móstrase os protectores fronte a sobretensións que se deberían de escoller no caso dunha vivenda unifamiliar, e se esta presenta unha protección externa fronte o raio ou non. Tamén é preciso coñecer se a vivenda se atopa no ámbito rural ou no ámbito urbán.

<i>Vivenda unifamiliar</i>		<i>Vivenda monofásica</i>	<i>Vivenda trifásica</i>
Pararraios a 50 metros da vivenda ou instalado na mesma	Ámbito Urbán	Tipo 1+2 100 kA	Tipo 1+2 100 kA
	Ámbito Rural		
Sen pararraios a 50 metros da vivenda ou instalado na mesma	Ámbito Urbán	Tipo 2 15 kA	Tipo 2 15 kA
	Ámbito Rural	Tipo 2 40 kA	Tipo 2 40 kA

Tabla 9.2: Selección dun protector nunha vivenda unifamiliar

9.2 Protectores combinados e fronte a sobretensións permanentes

Mediante o esquema da figura 9.3 [2] pode realizarse a selección dun protector fronte a sobretensións permanentes ou un protector combinado.

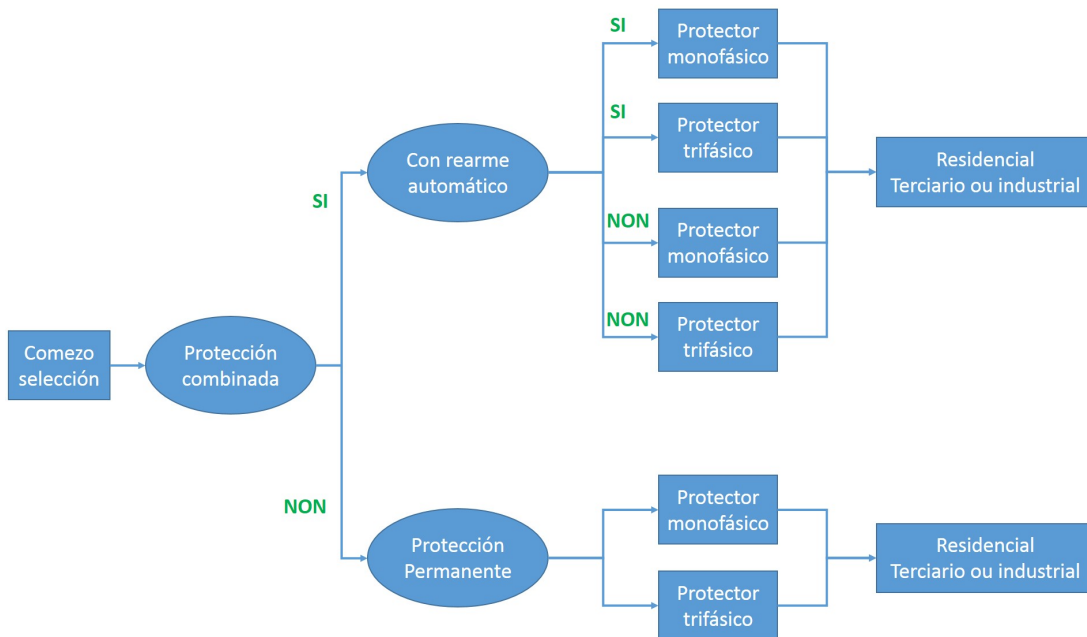


Figura 9.3: Esquema selección protección combinada ou permanente

10 EJEMPLOS DE APLICACIÓN

A continuación, mostraránse unha serie de exemplos de instalación de protectores fronte a sobreten-
sions.

- **Electrodomésticos dunha vivenda unifamiliar.**[12]

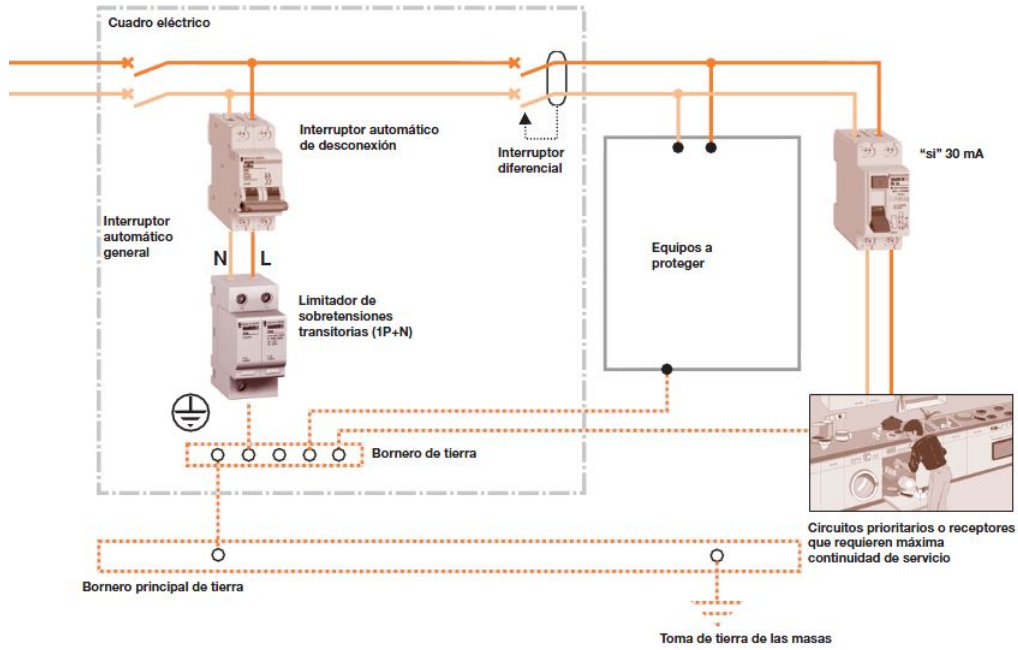


Figura 10.1: Electrodomésticos dunha vivenda unifamiliar

- **Aparamenta electrónica.**[12]

Esquema eléctrico

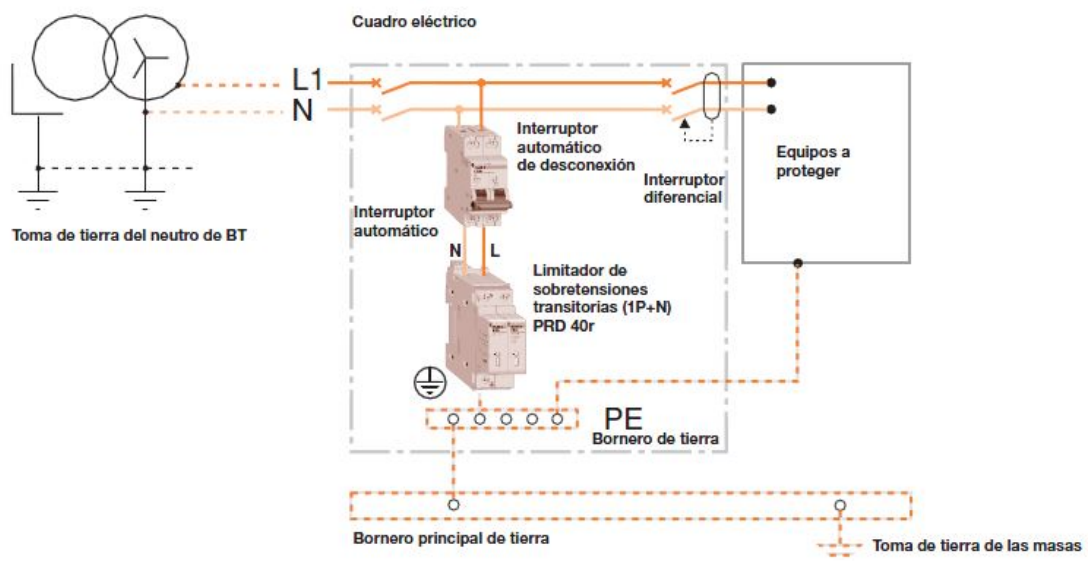


Figura 10.2: Aparamenta electrónica

■ Estación de servicio.[12]

Esquema eléctrico

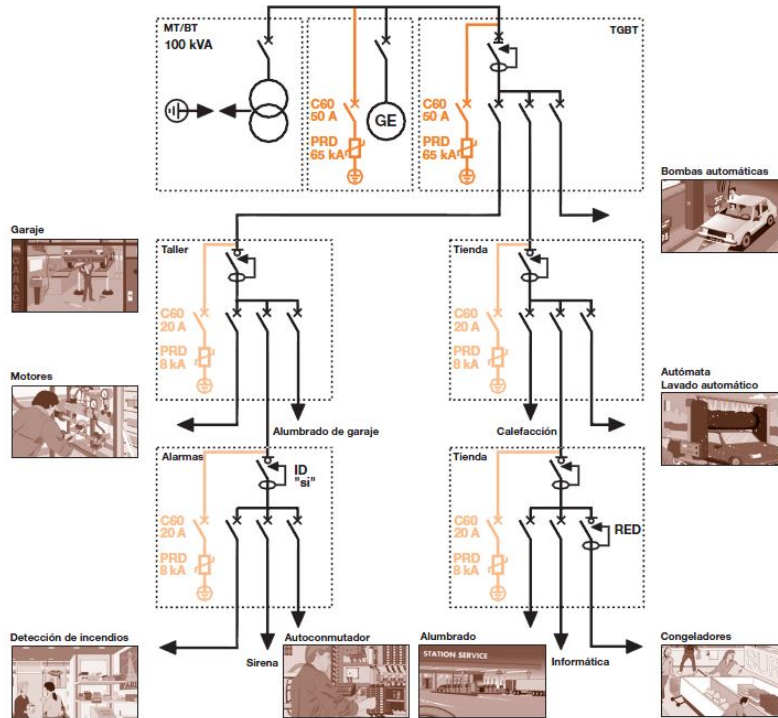


Figura 10.3: Estación de servicio

■ Edificio de oficinas.[12]

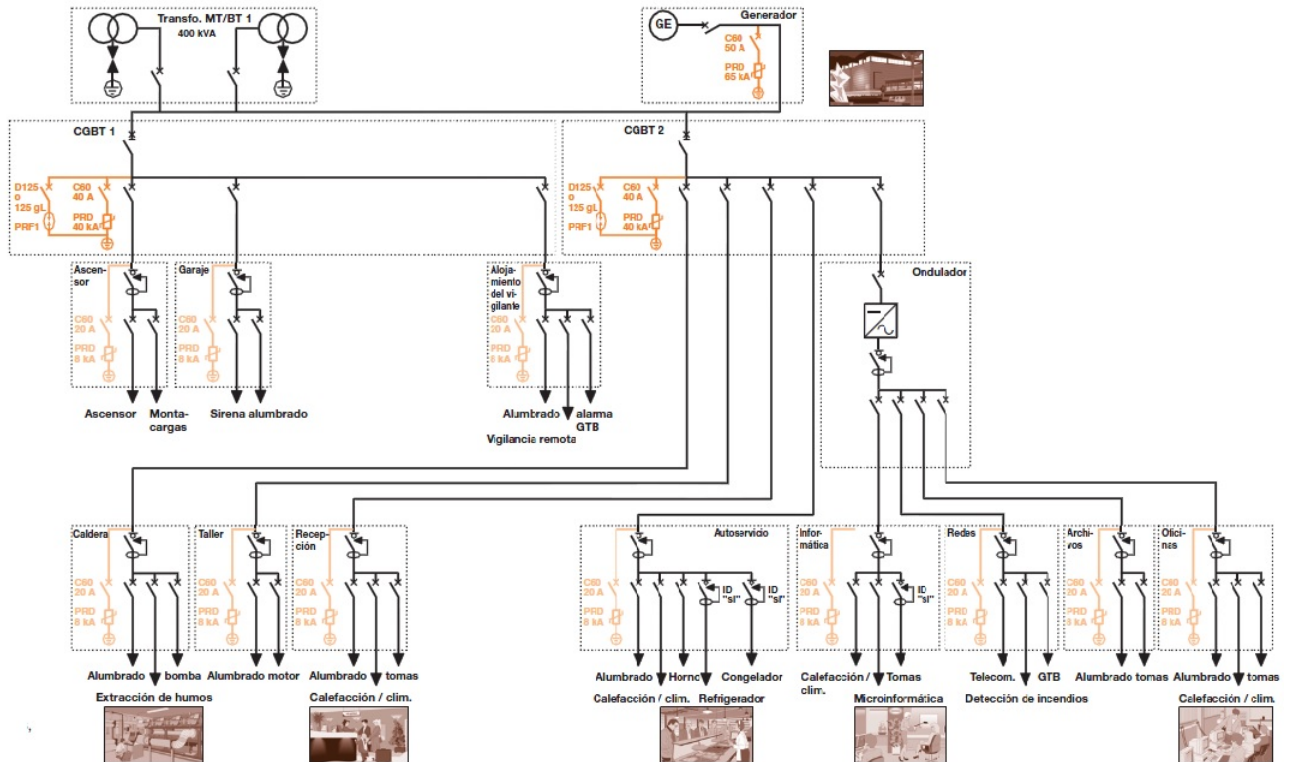


Figura 10.4: Edificio de oficinas

■ **Residencia tercera idade.**[12]

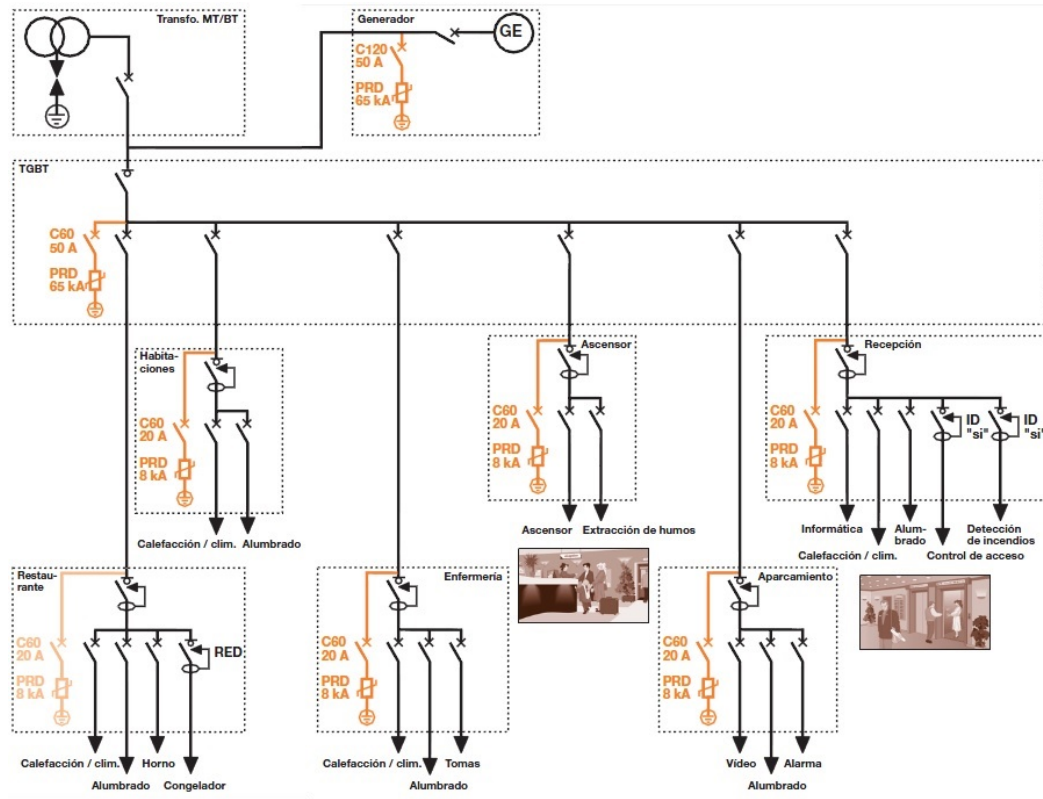


Figura 10.5: Residencia tercera idade

■ **Protección combinada sobretensiones permanentes-transitorias**[7, 8]

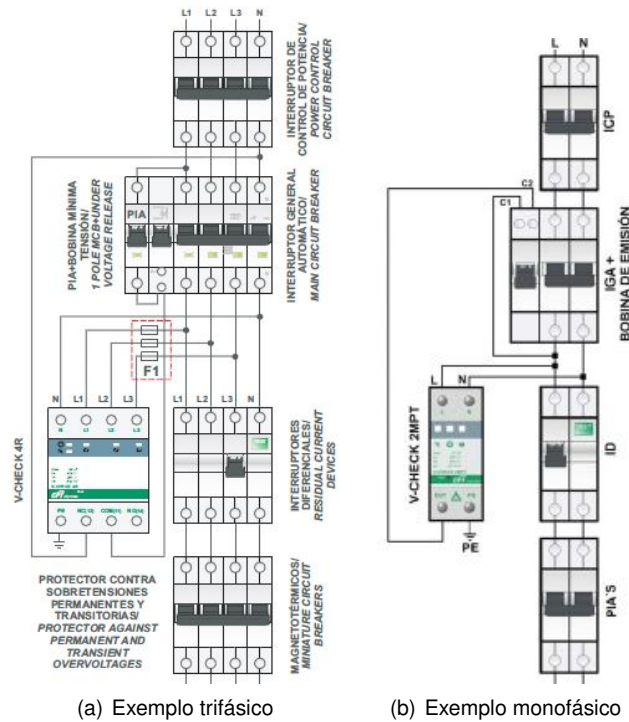


Figura 10.6: Esquema de conexión protección combinada frente a sobretensiones

- **Tendido separado dos condutores N e PE desde a acometida. Sistema TN [24]**

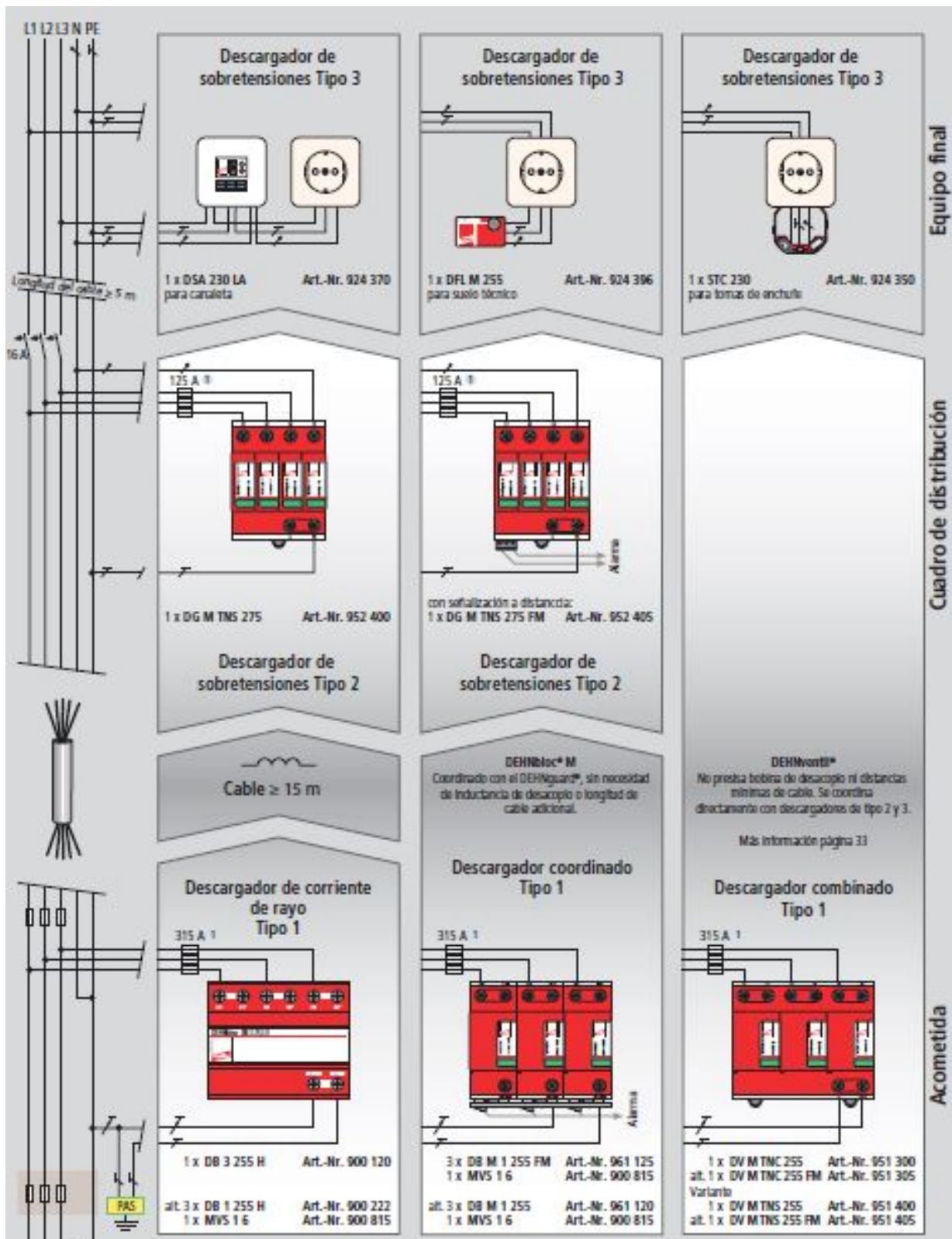


Figura 10.7: Tendido separado dos condutores N e PE desde a acometida. Sistema TN

11 GLOSARIO TÉCNICO

Avellentamento térmico: Condición que se da cando o poder de disipación de calor do protector sobrepasa o límite térmico da envolvente e das conexións, provocando deste xeito o seu fallo prematuro.

Avisador de fallo protector sobretensións: No caso de que o descargador estea moi deteriorado, este dispositivo desconecta o protector evitando deste xeito unha falta continuada. Pode indicarse dunha maneira visual mediante un indicador que incorpora o protector, ou darlle aviso a unha alarma mediante un contacto auxiliar.

Capacidade apagado corrente de seguimento: A capacidade de apagado é o valor de intensidade que é capaz de extinguir o dispositivo para volver as condicións normais de illamento, xa que cando se produce unha sobretensión e entra en funcionamento o descargador de gas ou vía de chispas prodúcese unha ruptura do dieléctrico e un cebado do arco, provocando así un cortocircuíto entre os cables que está protexendo o protector que debe desaparecer cando desapareza a sobretensión. É característico dos protectores tipo 1, sobre todo á hora de elixir a protección do propio limitador.

Capacidade de extinción da corrente de seguimento I_{fi} : Correntes que fluen pola rede debidas á descarga que produce un protector fronte a sobretensións. O seu valor depende da liña de subministro do transformador ó descargador.

Característica sobretensión temporal: Comportamento dun protector fronte a unha sobretensión temporal, durante un tempo determinado.

Carga (Q): Defínese como a integral da corrente durante a descarga, expresada en amperios por segundo.

Conexión equipotencial: Conexión eléctrica mediante a cal se consegue que as masas dos dispositivos eléctricos e aqueles materias alleos a instalación estean a un mesmo potencial. Unha maneira de conseguir que estean todos os dispositivos a un mesmo potencial e mediante liñas de conexión equipotencial.

Corrente asignada I_l : Valor de corrente máxima que se lle pode subministrar a unha carga conectada nos bornes de saída dun protector.

Corrente de cortocircuíto: Máximo valor de corrente de cortocircuíto que un dispositivo de protección pode afrontar.

Corrente de fuga I_c : Corrente que circula polo descargador alimentado a U_c .

Corrente de impulso ou de choque I_{imp} : Valor da corrente de cresta que pode soportar o dispositivo de protección sen fallo. Este parámetro caracteriza ós dispositivos de protección tipo 1. A onda de corrente está normalizada como $10/\mu_s$.

Corrente máxima de descarga I_{max} : Corrente en forma de onda $8/20 \mu_s$ que o dispositivo de protección é capaz de soportar.

Corrente nominal de descarga I_n : Valor da corrente de cresta repetitiva que pode soportar o dispositivo de protección sen fallo durante polo menos 20 veces. Este parámetro caracteriza ós dispositivos de protección tipo 2. A onda de corrente está normalizada como 8/20 μ_s .

Degradación: Alteración das propiedades dos protectores debido os distintos choques ós que se ven sometidos, ocasionando deste xeito un funcionamento incorrecto dos mesmos.

Descargador: Dispositivo de protección fronte a sobretensións formado principalmente por varistores ou vías de chispas. Pódense conectar en paralelo ou en serie de forma conxunta.

Dispositivo de desconexión dun limitador: Elemento que desconecta o protector da rede de potencia. Pode ser externo ou interno. O obxectivo principal é indicar o fallo do protector, non ten porque mostrar aptitudes de seccionamento. O dispositivo de desconexión pode accionarse debido a unha sobreintensidade ou a un aumento da temperatura.

Enerxía específica para ensaio clase I: Enerxía disipada pola corrente de choque por unidade de resistencia.

Estabilidade térmica: Un descargador é estable termicamente, se cando se produce unha elevación da temperatura do dispositivo, esta diminúe cando deixa de haber a sobretensión e deixa de actuar o protector, dentro dunhas condicións de temperatura especificadas.

Grado de protección IP: Grado de protección da envolvente que pode evitar que entren partículas sólidas de pequeno tamaño ou auga. Fallo de sobrecarga: Existen tres posibilidades:

1. Protector fronte a sobretensións non está operativo, pero segue funcionando a liña.
2. Protector está en cortocircuíto, e a liña non está operativa.
3. Mecanismo interno do protector abre o circuíto do lado da rede. A liña non está operativa.

Mecanismo térmico de separación: Os protectores tipo 2 e tipo 3, deben de incorporar un mecanismo de separación térmico interno, que no caso dunha elevada degradación ou ruptura, debe de desconectalos da rede. Cando isto sucede, debe de sinalizarse que o dispositivo se atopa fora de funcionamento.

Modos de protección: Existen catro modos distintos en función de cómo se instale o protector, podendo combinar as distintas formas entre si.

1. Fase-fase.
2. Fase-terra.
3. Fase-neutro.
4. Terra-neutro.

Nivel de protección ou tensión limitada U_p : Este parámetro caracteriza o funcionamento do dispositivo de protección en función da limitación de tensión entre os bornes do aparato. Este valor de tensión, ten que ser inferior a categoría de sobretensión da instalación ou equipo a protexer.

Norma UNE-EN 61643-11: Establécense os ensaios de Clase I,II,III ós que son sometidos os protectores fronte a sobretensións, simulando os impulsos de corrente e tensión ó que estarían sometidos.

Pérdida de inserción: Relación entre a tensión que aparece nos bornes do protector e a tensión augas arriba do punto de inserción. Relación medida en decibelios (db).

Protección auxiliar descargador: Dispositivo de protección fronte a sobreintensidades instalado augas arriba do protector fronte a sobretensións, para evitar a destrución ou degradación do mesmo no caso de que o descargador por si mesmo non sexa capaz de cortar a corrente de cortocircuíto.

Protector fronte a sobretensións transitorias: O obxectivo principal é o de protexer os aparatos das instalacións eléctricas. Soen estar formados por elementos que sofren variacións na súa resistencia en función de tensión como diodos supresores, varistores e vías de chispa.

Protector por corte tensión: Formado principalmente por tiristotres, descargadores de gas, triacs y vías de chispas. Presenta una impedancia elevada en ausencia de sobretensión e unha baixa impedancia en presenza dunha sobretensión.

Protector por limitador de tensión: Formado principalmente por diodos supresores e varistores (dispositivos non lineais). Presenta una impedancia elevada en ausencia de sobretensión e unha baixa impedancia en presenza dunha sobrecorrente ou dunha sobretensión.

Protector tipo I: Protector capaz de derivar a corrente debida a unha descarga atmosférica directa.

Protector tipo II: Protector capaz de derivar a sobretensións debidas a unha descarga atmosférica lonxana ou a manobras na rede.

Protector tipo III: Protector capaz de derivar sobretensións de pequena amplitude. Instalación próxima os dispositivos de protección a protexer.

Protectores combinados: Combinación de protectores por corte de tensión e por limitador de tensión. Pode limitar a sobretensión, cortala ou ámbalas dúas accións a vez.

Sobretensión: Tensión que supera o valor constante da tensión de servizo. Ten carácter breve e prodúcese entre dous condutores activos ou entre un condutor e terra. Poden ser sobretensións permanentes ou transitorias, onde as primeiras son de larga duración e debidas a ruptura do condutor neutros e as segundas son de curta duración e debidas a raios e a manobras na rede.

SPD: Abreviaturas en inglés dos dispositivos de protección fronte a sobretensións (Surge Protection Devices).

Tempo de resposta: Caracteriza a rapidez de resposta dos dispositivos de protección fronte a so-

bretensións, que depende tamén do tipo de onda de tensión ó que se vexa sometido. Por exemplo, o tempo de actuación da vía de chispas é de 100 ns fronte os 25 ns dos varistores.

Tensión de cebado: Valor máximo de tensión que se pode acadar sen que se produza unha descarga destrutiva no protector.

Tensión de entrada declarada U_{din} : Valor obtido a partir da tensión de subministro declarada a partir dunha relación de transformación.

Tensión en circuíto aberto U_{oc} : Característica dos protectores tipo 3. Realízase un test do protector cunha curva combinada $1.2/50 \mu_s$ en circuíto aberto e $8/20 \mu_s$ en cortocircuíto.

Tensión máxima de servizo permanente U_c : Valor de tensión correspondente co valor eficaz de tensión máxima que se pode aplicar nos bornes do dispositivo de protección.

Tensión nominal U_n : Valor de tensión establecido para un dispositivo. Xeralmente é o valor eficaz dunha tensión senoidal.

Tensión residual combinada: Valor de tensión que aparece nos bornes do protector despois de ser sometido a unha onda $1.2/50 \mu_s$ e $8/20 \mu_s$.

Zonas de protección descargas atmosféricas: Definidas na norma UNE-EN 62-3054, establece as zonas de protección fronte ó raio. Protección externa fronte a descargas atmosféricas: Comprende os elementos interiores e exteriores dunha instalación, que a protexen fronte as descargas atmosféricas.

12 SIMBOLOXÍA

Nas figuras 12.1 móstrase a simboloxía en xeral a hora de falar de protectores fronte a sobretensións transitorias [24].

Símbolo	Denominación	Norma de ref.	Símbolo	Denominación	Norma de ref.
	Vía de chispas de deslizamiento, controlada por el flujo de energía, encapsulada (DEHNventil® TNC/TNS/TT/2P/2P TT)			Descargador de gas (sencillo) $t_A \leq 100 \text{ ns}$	DIN EN 60617 Parte 7 07-22-04
	Vía de chispas de deslizamiento, sin apagado, encapsulada (DEHNbloc®, DEHNbloc® NH)			Descargador de gas (simétrico) $t_A \leq 100 \text{ ns}$	DIN EN 60617 Parte 7 07-22-05
	Vía de chispas de deslizamiento			Resistencia, elemento de desacoplo, en general	DIN EN 60617 Parte 4 04-01-01
	Vía de chispas $t_A \leq 25 \text{ ns}$	DIN EN 60617 Parte 4 04-01-04		Condensador	DIN EN 60617 Parte 4 04-02-01
	Dispositivo térmico de separación	DIN EN 60617 Parte 7 07-09-03		Inductividad	
	Thermo-Dynamic-Control	DIN EN 60617 Parte 7 + 11 07-09-03 111-07-02		Resistencia (en dependencia de la temperatura)	
	Vía de chispas, en general	DIN EN 60617 Parte 7 07-22-01		Casquillo y clavija Conector enchufable	DIN EN 60617 Parte 3 03-03-05
	Fusibles	DIN EN 60617 Parte 7 07-21-01		Contacto normalmente cerrado	DIN EN 60617 Parte 7 07-02-03
	Fusibles de temperatura			Contacto conmutado	DIN EN 60617 Parte 7 07-02-04
	Filtro, en general	DIN EN 60617 Parte 10 10-16-03		Contacto normalmente abierto	DIN EN 60617 Parte 7 07-02-01
	Lámparas, en general	DIN EN 60617 Parte 8 08-10-01		Carcasa con bornas de conexión	DIN EN 60617 Parte 2 + 3 02-01-07 03-02-02
	Diodo supresor, bipolar $t_A \leq 1 \text{ ns}$	DIN EN 60617 Parte 5 05-03-07		Bocina	DIN EN 60617 Parte 8 08-10-05
	Diodo Zener, unipolar $t_A \leq 1 \text{ ns}$	DIN EN 60617 Parte 5 05-03-06			

Figura 12.1: Simboloxía

13 REFERENCIAS

- [1] TRASHORRAS MONTECELOS, JESÚS, *IV SOBRETENSIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN*, creaciones COPYRIGHT S.L., 2009.
- [2] CIRPROTEC, *Protección contra el rayo y las sobretensiones. Catálogo del producto.*
- [3] CIRPROTEC, *Artículo técnico CIRPROTEC nº 8. Sobretensiones permanentes. Norma UNE-EN 50550. «Protección contra sobretensiones permanentes a frecuencia de red POP».*
- [4] CIRPROTEC, *Protección contra Sobretensiones.*
- [5] CIRPROTEC, *La protección contra el rayo es responsabilidad de todos.*
- [6] CIRPROTEC, *Serie CS2P. Protector bipolar contra sobretensiones transitorias.*
- [7] CIRPROTEC, *V-CHECK 2MR. Protector contra sobretensiones transitorias y permanentes con rearme automático.*
- [8] CIRPROTEC, *V-CHECK 4R. Protector contra sobretensiones permanentes y transitorias.*
- [9] APLICACIONES TECNOLÓGICAS, *Tecnologías de protección contra el rayo.*
- [10] SCHNEIDER ELECTRIC, *Protección contra sobretensiones transitorias. Baja tensión. Guía 08.*
- [11] SCHNEIDER ELECTRIC, MERLIN GERIN, *7. Limitadores de sobretensiones transitorias.*
- [12] SCHNEIDER ELECTRIC, MERLIN GERIN, *12. Aplicaciones por segmentos del mercado.*
- [13] ABB, *Lightning and surge protection OVR range.*
- [14] HAGER, *EN 550. Norma europea sobre protección contra sobretensiones permanentes.*
- [15] MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, *Reglamento electrotécnico para baja tensión; Aspectos generales. Real decreto 842/2002*, Edición: sep 03, Revisión: 1.
- [16] MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, *ITC-BT-23. Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobretensiones.*
- [17] MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO, *GUÍA-BT-23. Guía técnica de aplicación: Protección de instalaciones interiores. Protección contra sobretensiones.* Edición: jul 12, Revisión: 2.
- [18] UNE-EN 50550, *Dispositivos de protección contra sobretensiones a frecuencia industrial para usos domésticos y análogos (POP)*, Enero 2012.
- [19] UNE-EN 61643-11 , *Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión. Parte 11: Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias conectados a sistemas eléctricos de baja tensión. Requisitos y métodos de ensayo*, Junio 2013.
- [20] UNE-EN 50160, *Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*, Marzo 2011.
- [21] UNE-EN 61000-4-30, *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-30: Técnicas de ensayo y medida. Métodos de medida de la caldiad de suministro*, Octubre 2015.

- [22] MARTÍN BLANCO, JUAN CARLOS, *¿Es obligatorio instalar protección contra sobretensiones?*, 2010.
- [23] MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, *ITC-BT-08. Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica.*
- [24] DEHN, *Protección contra sobretensiones*, 2010-2011.
- [25] UNE-EN 62305-4, *Protección contra el rayo. Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras*, Noviembre 2011.
- [26] *Phoenix Contact*,[04/05/2017]. Disponible en: www.phoenixcontact.com
- [27] *Aula Moisan*,[20/06/2017]. Disponible en: <http://www.aulamoisan.com/software-moisan/sobretension-rotura-neutro>

14 LISTADO DE FABRICANTES

Para la realización de este trabajo de fin de maestría, se utilizó la documentación técnica de los principales fabricantes de dispositivos de protección frente a sobretensiones que son:

- Cirprotec.
- Aplicaciones Tecnológicas.
- Obo Bettermann.
- Schneider Electric.
- Dehn.
- Hager.
- ABB.
- Simón.
- Legrand.
- Dismatel.
- Moeller.
- Entrelec.
- Chint.
- Instituto de Tecnología Eléctrica (ITE).
- PSR.

15 ANEXO

15.1 XUSTIFICACIÓN CÁLCULOS RUPTURA CONDUTOR NEUTRO

- Cálculo de tensión e corrente de neutro

A corrente do condutor neutro tras a rotura do mesmo pasa a ser 0 xa que este se encontran en circuíto aberto.

$$I_n=0$$

Para o cálculo da tensión tras a rotura do condutor neutro utilízase o teorema de Millman. A expresión é a seguinte:

$$V_{on} = (V_{L1}/R_1 + V_{L2}/R_2 + V_{L3}/R_3) / (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3)$$

Substituíndo os valores resultaría:

$$V_{on} = 173,20/120^\circ$$

Como a tensión que se quere calcular é a oposta en fase a V_{on} , a tensión V_{no} (a que aparece na imaxe) quedaría:

$$V_{no} = -V_{on} \rightarrow V_{no} = 173,20/ -60^\circ.$$

- Cálculo tensións e correntes de fase

Unha vez determinada a tensión do condutor neutro, procédese a calcular as tensións e correntes que circularan por cada carga co neutro en circuíto aberto.

As tensións entre as liñas 1,2, 3 e o condutor 0 calcúlanse mediante as seguintes expresións:

$$V_{L10} = V_{L1} - V_{on}$$

$$V_{L20} = V_{L2} - V_{on}$$

$$V_{L30} = V_{L3} - V_{on}$$

En onde (substituíndo valores):

$$V_{L10} = 351,19/-25,29^\circ$$

$$V_{L20} = 351,18/-94,7^\circ$$

$$V_{L30} = 57,73/120^\circ$$

As correntes que circulan polas liñas 1,2,3 e o condutor 0 calcúlanse mediante as seguintes expresións:

$$I_{L1} = V_{L10}/R_1$$

$$I_{L2} = V_{L20}/R_2$$

$$IL3=VL30/R3$$

En onde (substituíndo valores):

$$VL10=3,51/-25,29^\circ$$

$$VL20=3,51/-94,7^\circ$$

$$VL30=5,77/120^\circ$$

Como se pode observar, tanto os valores das tensións coma os das correntes coinciden cos da imaxe.

- Potencias de cada carga resistiva

As potencias activa en cada carga calcúlase mediante a seguinte expresión.

$$PR1 = \text{modulo}IL1^2 * R1$$

$$PR2 = \text{modulo}IL2^2 * R2$$

$$PR3 = \text{modulo}IL3^2 * R3$$

En onde (substituíndo valores):

$$PR1= 1233W$$

$$PR2= 1233W$$

$$PR3= 333,33W$$

Como se trata de cargas puramente resistivas, a potencia reactiva de cada carga será 0. Polo tanto:
 $QR1=QR2=QR3=0$ Var.

- Cálculo das compoñentes simétricas

O cálculo das compoñentes simétricas realízase mediante as seguintes expresións:

Fase 1

compoñente directa

$$Vd1=1/3*(VL10+a*VL20+a^2*VL30);$$

compoñente inversa

$$Vi1=1/3*(VL10+a^2*VL20+a*VL30);$$

compoñente homopolar

$$Vh1=1/3*(VL10+VL20+VL30);$$

$$\text{Onde } a = 1/120^\circ \quad a^2 = 1/-120^\circ \quad (a^2 = a^2)$$

En onde (substituíndo valores):

$$Vd1=230,94 /0^\circ$$

$$Vi1=0$$

$$Vh1=173,20/-60^\circ$$

Fase 2

$$Vd2=a2*Vd1$$

$$Vi2=a*Vi1$$

$$Vh2=Vh1$$

En onde (substituíndo valores):

$$Vd2=230,94 /-120^\circ$$

$$Vi2=0$$

$$Vh2=173,20/-60^\circ$$

Fase 3

$$Vd3=a*Vd1$$

$$Vi3=a2*Vi1$$

$$Vh3=Vh1$$

En onde (substituíndo valores):

$$Vd3=230,94 /120^\circ$$

$$Vi3=0$$

$$Vh3=173,20/-60^\circ$$

■ Comprobación de cálculos

A suma dos valores obtidos das compoñentes simétricas, debe de dar o valor das tensións de fase. A comprobación realízase a continuación.

$$Comprobacion_VL10 = Vd1 + Vi1 + Vh1$$

$$Comprobacion_VL20 = Vd2 + Vi2 + Vh2$$

$$Comprobacion_VL30 = Vd3 + Vi3 + Vh3$$

En onde (substituíndo valores):

$$Comprobacion_VL10 = 351,19/ - 25,29^\circ$$

$$Comprobacion_VL20 = 351,18/ - 94,7^\circ$$

$$Comprobacion_VL30 = 57,73/120^\circ$$

15.1.1 CÓDIGO IMPLEMENTADO MATLAB

```

%%%DATOS%%%

VL1=230.94;
VL2=-115.47-199.999j;
VL3=-115.47+199.999j;
R1=100;
R2=100;

```

R3=10;

%%%FIN DATOS%%%

a=-1/2 + 0.8660254038i;%operando para realizar cálculos das copoñentes simétricas.
a2=-1/2- 0.8660254038i;%operando para realizar cálculos das copoñentes simétricas.

%%%CÁLCULO DE TENSIÓN DE NEUTRO E CORRENTE DE NEUTRO%%%

%Aplicando o teorema de Millman, calculamos a tensión Von, que é a oposta
. %(en fase) tensión que queremos calcular Vno.

Von=(VL1/R1+VL2/R2+VL3/R3)/(1/R1+1/R2+1/R3);
moduloVon=abs(Von);
faseVon=angle(Von)*(180/pi);
Vno=-(Von);
moduloVno=abs(Vno);
faseVno=angle(Vno)*(180/pi);
In=0;% o valor da corrente de neutro tras a ruptura é 0 xa que este está en circuito aberto.

%%%CÁLCULO DE TENSÍONS E CORRENTES DE FASE%%%

%As novas tensións ó romper o neutro quedarían:

VL10=VL1-Von;
moduloVL10=abs(VL10);
faseVL10=angle(VL10)*(180/pi);
VL20=VL2-Von;
moduloVL20=abs(VL20);
faseVL20=angle(VL20)*(180/pi);
VL30=VL3-Von;
moduloVL30=abs(VL30);
faseVL30=angle(VL30)*(180/pi);

%As intensidades ó romper o neutro quedarían:

IL1=VL10/R1;
modulolIL1=abs(IL1);
faseIL1=angle(IL1)*(180/pi);
IL2=VL20/R2;
modulolIL2=abs(IL2);
faseIL2=angle(IL2)*(180/pi);
IL3=VL30/R3;
modulolIL3=abs(IL3);
faseIL3=angle(IL3)*(180/pi);

%%CÁLCULO DE POTENCIAS%%

%En canto as potencias, ó tratarse de cargas puramente resistivas o valor. %de potencia reactiva de cada carga sería de 0. En canto a potencia en watios activa.

%calculárase da seguinte forma:

QR1=0; %carga resistiva, non hai inductancia. No caso de que a houbera calcularíase como $Qr1=X \cdot \text{intensidade}^2$
QR2=0; %carga resistiva, non hai inductancia.
QR3=0; %carga resistiva, non hai inductancia.
 $PR1 = \text{modulo}IL1^2 * R1;$
 $PR2 = \text{modulo}IL2^2 * R2;$
 $PR3 = \text{modulo}IL3^2 * R3;$

%%CÁLCULO DAS COMPOÑENTES SIMÉTRICAS%%

%%FASE 1%%

%%compeñente directa%%
 $Vd1=1/3*(VL10+a*VL20+a^2*VL30);$
 $\text{modulo}Vd1=\text{abs}(Vd1);$
 $\text{fase}Vd1=\text{angle}(Vd1)*(180/\text{pi});$
%%compeñente inversa%%
 $Vi1=1/3*(VL10+a^2*VL20+a*VL30);$
 $\text{modulo}Vi1=\text{abs}(Vi1);$
 $\text{fase}Vi1=\text{angle}(Vi1)*(180/\text{pi});$
%%compeñente homopolar%%
 $Vh1=1/3*(VL10+VL20+VL30);$
 $\text{modulo}Vh1=\text{abs}(Vh1);$
 $\text{fase}Vh1=\text{angle}(Vh1)*(180/\text{pi});$

%%FASE 2%%

%%compeñente directa%%
 $Vd2=a*Vd1;$
 $\text{modulo}Vd2=\text{abs}(Vd2);$
 $\text{fase}Vd2=\text{angle}(Vd2)*(180/\text{pi});$
%%compeñente inversa%%
 $Vi2=a*Vi1;$
 $\text{modulo}Vi2=\text{abs}(Vi2);$
 $\text{fase}Vi2=\text{angle}(Vi2)*(180/\text{pi});$
%%compeñente homopolar%%
 $Vh2=Vh1;$
 $\text{modulo}Vh2=\text{abs}(Vh2);$
 $\text{fase}Vh2=\text{angle}(Vh2)*(180/\text{pi});$

%%%FASE 3 %%%

%%%compeñente directa %%%

Vd3=a*Vd1;

moduloVd3=abs(Vd3);

faseVd3=angle(Vd3)*(180/pi);

%%%compeñente inversa %%%

Vi3=a2*Vi1;

moduloVi3=abs(Vi3);

faseVi3=angle(Vi3)*(180/pi);

%%%compeñente homopolar %%%

Vh3=Vh1;

moduloVh3=abs(Vh3);

faseVh3=angle(Vh3)*(180/pi);

%%%COMPROBACIÓN CÁLCULOS %%%

%para comprobar que os cálculos se realizaron correctamente, sumanse as %tres compoñentes (directa+inversa+homopolar) comprobando que dan o mesmo %resultado que as tensións que se tiñan ó principio.

%%%FASE 1 %%%

$Comprobacion_VL10 = Vd1 + Vi1 + Vh1;$

$modulo_{Comprobacion_VL10} = abs(Comprobacion_VL10);$

$fase_{Comprobacion_VL10} = angle(Comprobacion_VL10) * (180/pi);$

%%%FASE 2 %%%

$Comprobacion_VL20 = Vd2 + Vi2 + Vh2;$

$modulo_{Comprobacion_VL12} = abs(Comprobacion_VL20);$

$fase_{Comprobacion_VL20} = angle(Comprobacion_VL20) * (180/pi);$

%%%Fase 3 %%%

$Comprobacion_VL30 = Vd3 + Vi3 + Vh3;$

$modulo_{Comprobacion_VL30} = abs(Comprobacion_VL30);$

$fase_{Comprobacion_VL30} = angle(Comprobacion_VL30) * (180/pi);$

15.2 PROTECTORES EN FUNCIÓN DO TIPO DE REDE DE DISTRIBUCIÓN

Os distintos esquemas de distribución, establécense en función das conexións a terra da rede de distribución ou da alimentación por un lado e das masas da instalación receptora por outro. As distintas tipoloxías de redes, veñen definidas no REBT en onde:

- A primeira letra representa como está conectada a alimentación respecto a terra:

- T: Conexión directa dun punto da alimentación a terra.
 - I: Illamento de todas as partes activas da alimentación con respecto a terra.
- A segunda letra indica como se encontran as masa dos receptores con respecto a terra.
 - T: As masas están conectadas directamente a terra.
 - N: Masas conectadas directamente ó punto da alimentación posto a terra (soe corresponderse co condutor neutro).

Destacar que o esquema TN pode ter tres configuracións distintas que son:

- TN-C.
- TN-S.
- TN-C-S.

Estas novas tipoloxías, indican a situación relativa do condutor neutro e do condutor de protección, en onde:

- C: As funcións do condutor neutro e protección son as mesmas.
- S: As funcións do condutor neutro e protección están por separado.

A continuación móstranse os distintos esquemas de conexión.

■ **Sistema TT** [23]

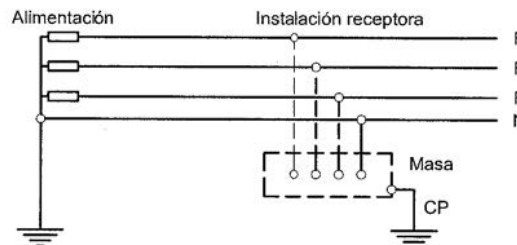


Figura 15.1: Sistema de conexión TT

■ **Sistema IT** [23]

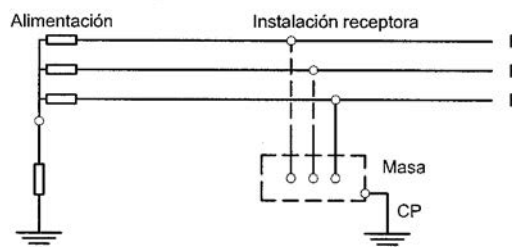


Figura 15.2: Sistema de conexión IT

■ **Sistema TN-C [23]**

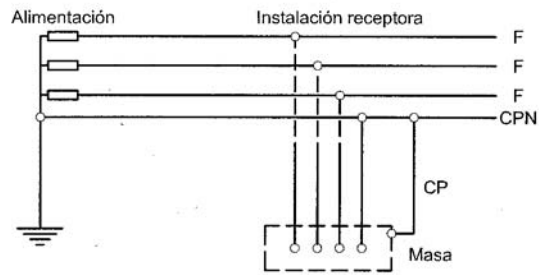


Figura 15.3: Sistema de conexión TN-C

■ **Sistema TN-S [23]**

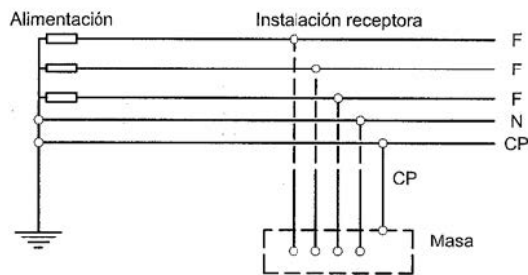


Figura 15.4: Sistema de conexión TN-S

Sistema TN-CS [23]

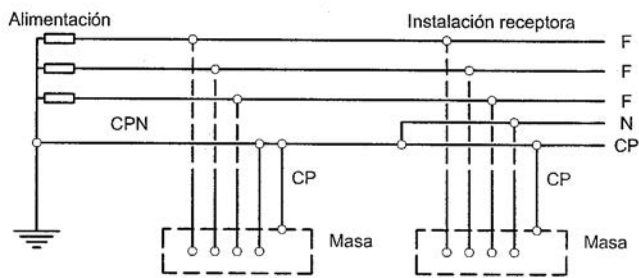


Figura 15.5: Sistema de conexión TN-CS