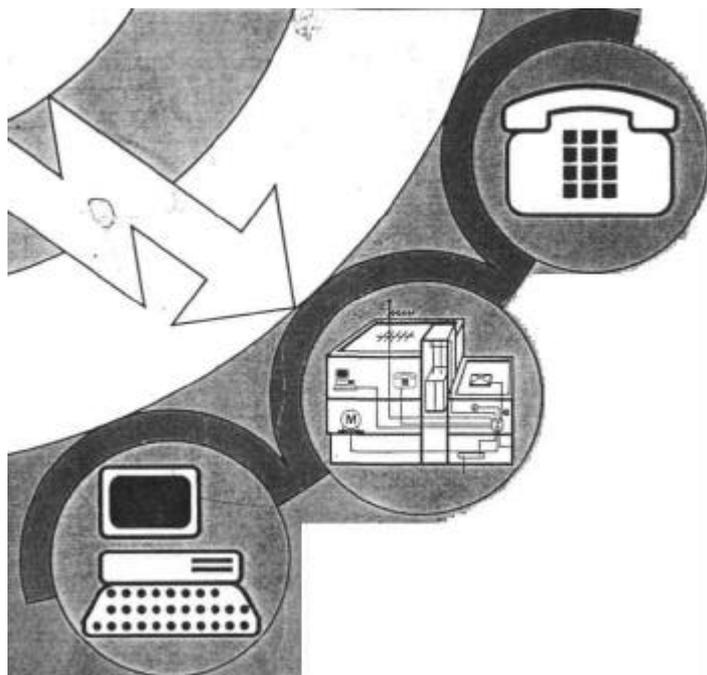


Protección contra sobretensiones de Instalaciones de baja tensión

Empleo para aparatos electrónicos, incluso en descargas directas de rayos.



Peter Hasse

PARANINFO

1.	Introducción.....	4
2.	Daños causados por sobretensiones	6
2.1.	ESTADÍSTICAS DE DAÑOS DE LAS EMPRESAS DE SEGUROS.....	6
2.2.	EJEMPLOS DE DAÑOS, TOMADOS DE LA PRACTICA	11
2.2.1.	Daños causados en instalaciones expuestas a peligros de explosiones .	11
2.2.2.	Daños en instalaciones industriales.....	15
2.2.3.	Daños causados en instalaciones de suministro de electricidad	19
2.2.4.	Daños en edificios de viviendas.....	22
2.2.5.	Daños originados por disparos indebidos de interruptores de protección.....	29
3.	Causas de los daños por sobretensiones.....	32
3.1.	SOBRETENSIONES OCASIONADAS POR LAS TORMENTAS	33
3.1.1.	Descarga directa/Descarga próxima de rayo.....	34
3.1.2.	Descarga lejana de rayo	38
3.1.3.	Acoplamiento de corrientes punta en los cables	39
3.1.4.	Magnitud de las sobretensiones de rayo	43
3.2.	Sobretensiones de conmutación	45
3.3.	IMPULSO ELECTROMAGNÉTICO NUCLEAR.....	47
3.3.1.	Explosión a gran altura.....	48
3.3.2.	Consecuencias y repercusiones.....	50
3.3.3.	Otros efectos	51
4.	Medidas de protección	53
4.1.	PROTECCIÓN EXTERIOR CONTRA RAYOS.....	54
4.1.1.	Dispositivos pararrayos.....	54
4.1.2.	Derivadores.....	59
4.1.3.	Instalación de toma de tierra.....	59
4.2.	PROTECCIÓN INTERIOR CONTRA RAYOS.....	59
4.3.	BLINDAJE	65
4.3.1.	Blindaje de edificios	66
4.3.2.	Blindaje de locales	68
4.3.3.	Apantallamiento de aparatos.....	72
4.3.4.	Blindaje de conductores (líneas).....	72
4.4.	COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN.....	75
4.5.	EJEMPLO DE CONEXIONES (UNIONES) OPTOELECTRONICAS.....	77
4.5.1.	Sistema de transmisión por conductor de fibra óptica.....	78
4.5.2.	Optacopladores	79
5.	Componentes y aparatos para la compensación de potencial de protección contra rayos y para la limitación de sobretensiones.....	82
5.1.	COMPONENTES Y ELEMENTOS DE CONEXIÓN Y UNION, BARRAS DE COMPENSACIÓN DE POTENCIAL	84
5.2.	CABLES CON BLINDAJE DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS.....	87
5.3.	VÍAS DE CHISPAS DE SEPARACIÓN.....	88
5.4.	ELEMENTOS Y APARATOS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES.FUNCIONAMIENTO Y CAMPO DE APLICACIÓN	94
5.4.1.	Elementos constructivos	94
5.4.2.	Descargadores para redes de energía	104
5.4.3.	Limitadores de sobretensiones para instalaciones técnicas de información 130	
5.4.4.	Aparatos de protección para equipos a los que acceden diferentes redes 159	
5.4.5.	Estabilizador de tensión con protección contra	172
6.	Ejemplos prácticos de realización de medidas de protección y del empleo de aparatos de protección	179
6.1.	PROTECCIÓN EXTERIOR CONTRA RAYOS	182
6.1.1.	Dispositivos pararrayos	182
6.1.2.	Derivadores	186
6.1.3.	Instalación de puesta a tierra.....	193
6.2.	BLINDAJES.....	195

6.3.	PROTECCIÓN INTERIOR CONTRA RAYOS. COMPENSACIÓN DE POTENCIAL PARA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS.....	196
6.4.	EMPLEO DE APARATOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES....	200
6.4.1.	Red de abastecimiento de agua	200
6.4.2.	Estación depuradora de aguas.....	203
6.4.3.	Estación compresora de gas	205
6.4.4.	Fábricas	213
6.4.5.	Centrales de Empresas públicas Municipales	219
6.4.6.	Instalaciones de ordenadores	223
6.4.7.	Unidades móviles de telecomunicaciones	229
6.4.8.	Repetidores de televisión.....	234
7.	Palabras finales	238
8.	Bibliografía	240

1. Introducción

Multitud de sectores de la Industria y la Economía, dependen en la actualidad de la Técnica de datos electrónica. Instalaciones de medición-regulación-control (Instalaciones MCR) e instalaciones de procesamiento electrónico de datos, están extendidas a todo lo largo y ancho de la industria: Aparatos de recogida automática de datos en los dispositivos de producción, se unen, a través de redes técnicas de información, que a veces se extienden a través de distintos edificios, a los terminales y ordenadores de las oficinas. Actualmente se intenta lograr por todos los medios "CIM" (Computer Integrated Manufacturing).

Entre las causas más comunes que dan lugar a fallos en estas instalaciones, altamente sofisticadas, se cuentan las sobretensiones en las redes, causadas por acciones de conmutación en las redes de energía, o por las descargas atmosféricas (Figura 1.1). A todo esto hay que añadir el peligro derivado de las sobretensiones originadas por descargas electrostáticas o por explosiones nucleares (Nuclear Electromagnetic Pulse = NEMP). Los daños causados por sobretensiones en instalaciones eléctricas, especialmente en instalaciones equipadas con dispositivos o sistemas electrónicos, se han multiplicado de manera alarmante en los últimos años.

Con medidas especiales de protección, y con el empleo de los aparatos de protección adecuados contra sobretensiones, se puede evitar este peligro. Diferentes comisiones dedicadas a la redacción y puesta en funcionamiento de normas y disposiciones, se están ocupando actualmente de la recopilación y listado de dichas medidas de protección; medidas que deben ser tomadas en consideración, al realizar el proyecto y la instalación de nuevos edificios o sistemas, o respectivamente al planear la instalación de sistemas de redes de transmisión de energía y de información. Además, se están normalizando una serie de aparatos de protección contra sobretensiones, destinados a su instalación en equipos e instalaciones ya existentes.



Fig. 1.1. Rayos. Un peligro para sistemas electrónicos.

A continuación vamos a relacionar, como ejemplo, algunas de las normas que se ocupan de estas cuestiones:

- (1) DIN/VDE 0185 /1/: válida para montaje e instalación de dispositivos e instalaciones de pararrayos, y en la que se describe tanto la "Protección exterior contra rayos", como también la "Protección interior contra rayos". Esta norma está actualmente en revisión.
- En la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), se están revisando y elaborando actualmente, dentro del seno de la Comisión Técnica (TC) 81, una serie de normas para protección contra rayos /2/; el Central-Office-Papier /3/ (bajo la regla de los 6 meses), ha sido publicada a nivel mundial.
- DIN VDE 0800, parte 2 /4/ válida para montaje de instalaciones de puesta a tierra en estaciones de telecomunicaciones, al igual que para la compensación de potencial en equipos e instalaciones de telecomunicaciones. Esta norma tiene función de guía para todas las normas del grupo 8 "Técnicas de información" dentro de la obra normativa del VDE.
- DIN VDE 0845 /5/, se ocupa de la protección contra sobretensiones en instalaciones de Telecomunicaciones. La parte 1: "Protección de instalaciones de Telecomunicaciones contra las repercusiones de las descargas de

(1) Nota del Editor. La llamada /1/ y sucesivas que figuran a lo largo del libro, se refieren a las reseñas que figuran al final del libro, bajo el epígrafe "Bibliografía".

2. Daños causados por sobretensiones

Como consecuencia de la cada vez más intensa presencia de sistemas y aparatos electrónicos, en todos los sectores de la Industria y la Economía, se ha constatado una intensificación considerable de los daños causados por sobretensiones en instalaciones eléctricas.

Procesos automáticos de producción, controlados por ordenador, son hoy día impensables sin los dispositivos electrónicos de regulación, medición y control, y sin el proceso electrónico de datos. Los Microprocesadores, y los circuitos C-MOS, contenidos en todos aquellos dispositivos y aparatos, trabajan con niveles de señal bajísimos, y por lo tanto reaccionan a los más pequeños impulsos de perturbación. Estos componentes, pueden quedar destruidos por sobretensiones de tan sólo algunas millonésimas de segundo. Incluso si este tipo de destrucción en los circuitos electrónicos carece de espectacularidad, y no deja, por lo general, huellas muy patentes, las interrupciones en el servicio y en el funcionamiento, que se derivan de aquellas destrucciones, suelen durar largo tiempo, y en consecuencia, los daños secundarios suelen ser mucho más elevados que los daños de Hardware, propiamente dichos.

2.1. ESTADÍSTICAS DE DAÑOS DE LAS EMPRESAS DE SEGUROS

Las Compañías de Seguros contra Incendios (que como bien es sabido sólo indemnizan por daños originados por sobretensiones, si se han originado por la descarga directa de un rayo en el edificio asegurado), y las empresas de Seguros contra Daños Materiales, cuyas pólizas se refieren especialmente a las instalaciones electrónicas, informan del alarmante incremento de estos daños causados por sobretensiones.

Así, por ejemplo, las estadísticas de las Compañías de Seguros contra Incendios, demuestran que los daños causados por las sobretensiones como conse-

cuencia de tormentas en las instalaciones eléctricas (es decir, los daños indirectos causados por rayos, ver figura 2.1), suponen, con frecuencia, un múltiplo de los daños directos por descargas de rayos. Con la máxima claridad puede verse en las Estadísticas de Daños causados por rayos, en la Alta Austria (Tabla 2.1. /14/). En /15/, se dice literalmente: "En Austria, descargan anualmente, y por término medio, unos 165.000 rayos, que dan lugar a daños por valor superior a los 200 millones de chelines austríacos. Los daños indirectos causados por las descargas de rayos están superando, desde hace varios años las cifras de los daños directos originados por las descargas de rayos. El año 1982, los daños derivados de las descargas directas de rayos se elevaron a una cantidad de 114 millones de chelines austríacos, mientras que los daños indirectos producidos por los rayos alcanzaban la cifra de 92 millones de chelines. Los daños indirectos derivados de las descargas de rayos se elevaron, en el mismo espacio de tiempo, a 43.000 millones de chelines.

En /16/ puede leerse: "Hay que aceptar que, durante el año 1982, en toda Austria más de 60.000 aparatos eléctricos han experimentado daños o averías, originadas indirectamente por descargas de rayos. A este respecto hay que hacer de nuevo mención, al cumplimiento de las medidas de seguridad. Algunos casos espectaculares de daños son:

- En una empresa mediana, a causa de una descarga indirecta de rayo, resultó dañado un aparato automático de soldadura. Valor de los daños directos: 800.000 Chelines austríacos. Daños derivados de la falta de producción: 3 millones de chelines.



Fig. 2.1. Daños causados por sobretensiones de rayo en instalaciones de consumidores de baja tensión.

Tabla 2.1. Estadística de siniestros del Departamento de Prevención de Incendios de la Alta Austria.

Año	Daños causados por descargas de rayo			
	Directos		Indirectos (daños por sobretensiones)	
	Número	Suma abonada por daños en 1000 S	Número	Suma abonada por daños en 1000 S
1974	107	11 730	9 188	10 845
1975	163	22 478	12 100	16 311
1976	109	13 255	10 763	15 196
1977	96	17 356	14 158	18 169
1978	117	4 138	11 450	16 814
1979	92	8 561	14 229	21 837
1980	63	8 488	16 227	24 191
1981	34	7 490	16 049	27 677
1982	60	18 262	17 165	30 955
1983	84	36 504	18 755	34 457
1984	62	9 402	20 407	36 000
1985	103	34 600	22 600	44 000
1986	85	16 537	24 534	51 831

- Del mismo modo, en una empresa industrial, los daños causados en un procesador a consecuencia de una sobretensión atmosférica, se elevaron a 1 20.000 chelines austríacos. Los costos del fallo de la producción alcanzaron casi los 5 millones de chelines".

Algunas Compañías alemanas de Seguros, han realizado también sus propias estadísticas. (Ver tabla 2.2.)

Lo más curioso es (tabla 2.3.) que en los edificios de viviendas y en las casas de campo agrícolas, en primera línea, han resultado destruidos por sobretensiones originadas durante las tormentas, las instalaciones de antenas con los aparatos a ellas conectados. (Figura 2.2.)

Al efectuar una valoración de estas estadísticas de daños, hay que tener en cuenta que las Compañías de Seguros contra incendios sólo recogen y regulan daños causados por sobretensiones en las tormentas, originados por descargas directas de rayos. Por lo tanto, los daños ocasionados por las sobretensiones producidas en las tormentas, representan un múltiplo de las cifras expuestas en las estadísticas de las Compañías de Seguros contra Incendios.

Tabla 2.2. Indemnizaciones pagadas por las Compañías de Seguros por daños causados por la descarga de rayos (recogidos por Blumhagen).

Número de Siniestros		Indemnizaciones (DM)	
Descargas directas de rayos			
Viviendas	627	2	206 378,-
Agricultura	409		1 233 688,-
Industria	19		425 514,-
Total	1 055	3	865 580,-
Daños indirectos derivados de la descarga de rayo			
Total	910		565 985,-
Bayerische Landesbrandversicherung, München, 1983/84			
Número de Siniestros		Indemnizaciones (DM)	
Descargas de rayos, con incendio			
Viviendas	39		1 084 038,-
Agricultura	67	8	635 200,-
Industria	9		134.308,-
Total	1 15	9	843 546,-
Descargas de rayos, sin incendio			
Viviendas	1 889		3 024 511,-261
Agricultura	202		388,-218 197,-
Industria	99		3 504 036,-
Total	2 190		
Daños indirectos causados por descargas de rayos en instalaciones eléctricas			
Viviendas	7 291		2 454 926,-198
Agricultura	700		032,-133 356,-
Industria	228		2 786 314,-
Total	8 219		

Portavoces autorizados de la Compañía de Seguros de Corrientes de Baja Intensidad, en la que se encuentran aseguradas más del 30% de las instalaciones electrónicas existentes en la República Federal de Alemania, —entre las que se cuentan tanto la compañía Telefónica, como la totalidad del sector de ordenadores y computadoras, y la técnica al servicio de la medicina— afirman que, durante el año 1986, la Compañía Aseguradora ha tenido que desembolsar más de 100 millones de DM, exclusivamente para regulación de los daños causados por sobretensiones en las instalaciones electrónicas citadas /17/.

Fig. 2.2. Aparato televisor destruido por una sobretensión originada a consecuencia de una descarga de rayo y de la consiguiente sobrecorriente de red.
(Foto Assfalg).



Tabla 2.3. Daños indirectos causados por rayos, en instalaciones eléctricas.

Instalaciones	Número de Siniestros						Indemnizaciones en 1000 DM					
	Viviendas		Agricultura		Industria		Viviendas		Agricultura		Industria	
	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84
Antenas	3.253	3.324	208	218	65	73	948	1.064	49	56	23	26
Radios	9	7	-	-	-	-	2	3	-	-	-	-
Conductores	1.076	1.009	145	140	58	53	315	348	38	42	28	53
Aparatos de control	930	1.277	48	71	35	39	352	544	15	29	32	23
FI/FU	628	606	123	107	20	21	121	127	21	19	5	6
Calentadores de agua	274	314	74	64	6	4	74	91	21	18	2	2
Motores	110	113	23	27	12	14	49	63	9	14	19	9
Otros electrodomésticos	584	641	698	73	214	24	192	215	20	20	15	14
Total	83/83: 7.776 83/84: 8.219						82/83: 2.350 83/84: 2.786					

En círculos de las Empresas Aseguradoras de instalaciones de B.T., se informa que los gastos para estos casos de seguro son tan enormemente elevados, que una alteración de las primas no supondría mejora alguna de la situación, por lo que la única vía que resta es exigir consecuentemente la instalación de aparatos de protección contra sobretensiones.

2.2. EJEMPLOS DE DAÑOS, TOMADOS DE LA PRACTICA

En este capítulo vamos a exponer, a título de ejemplo, algunos casos de daños originados por sobretensiones de rayo, que se han producido durante los últimos años, y de estos ejemplos se podrán sacar los comportamientos característicos para estas situaciones.

2.2.1. Daños causados en instalaciones expuestas a peligros de explosiones

Las incalculables consecuencias de las descargas de rayos en zonas expuestas al peligro de explosiones se muestran en los tres ejemplos siguientes.

En julio de 1965, en la Refinería DEA-Scholven, de Karlsruhe, cayó un rayo sobre el depósito de 1 500 m³ de gasolina /18/. Como consecuencia de esta descarga de rayo, el depósito explotó y se incendió totalmente.

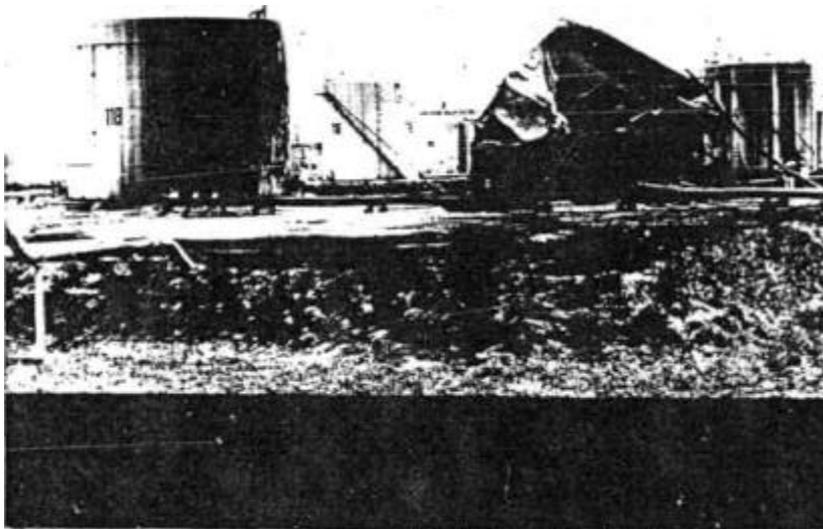


Fig. 2.3. Depósito de gasolina totalmente quemado, como consecuencia de la descarga de un rayo en Karlsruhe, 1965.
(Foto DEA-Scholven, Karlsruhe).

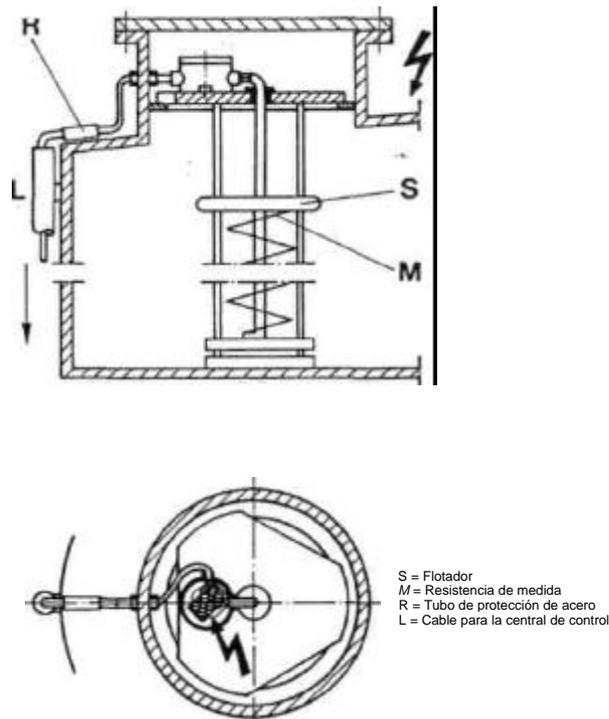


Fig. 2.4. Depósito incendiado a consecuencia de la descarga de un rayo. Karlsruhe, 1965. Interior tanque: medida de temperatura.

La figura 2.3 muestra el interior del depósito: La resistencia óhmica de una espiral de níquel con un flotador, servía para medir la temperatura del depósito. Al descargar el rayo sobre el depósito, se produjo un paso de chispas desde el depósito al cable de medición, que ejercía el papel de una puesta a tierra "separada y lejana". Ello hizo que la mezcla del depósito se incendiara, y como consecuencia se produjo la explosión y el subsiguiente incendio total del depósito.

Un caso notable, similar, tuvo lugar 10 años más tarde en Holanda /19/. Una descarga de un rayo originó la explosión de un depósito de 5.000 m³ de queroseno (figura 2.5). El depósito, construido bajo tierra estaba perfectamente puesto a tierra con casi 0,5 Ohmios. La temperatura del interior del depósito era vigilada continuamente mediante un termoelemento, que estaba unido mediante un cable de unos 200 metros de largo a la estación de vigilancia de medición. También aquí, como en el caso anterior, nos encontramos con una tierra "lejana". Al producirse la descarga de un rayo sobre uno de los sauces que se encontraban en los alrededores del depósito, el rayo saltó, desde las raíces del sauce, al sistema de puesta a tierra del depósito, que suponía una mejor toma de tierra. Al suceder ésto, el potencial del depósito se ha elevado en consonancia con su resis-

tencia de toma de tierra de choque. Como consecuencia de este "Efecto de agujero de Faraday" se produjo el paso de chispas al cable de medida "puesto a tierra lejos". Y este paso de chispa fue, en definitiva, el detonante para la explosión de la mezcla queroseno-aire. Esta descarga de rayo, y la consecuente explosión, fueron captados a distancia por un fotógrafo amateur.

Una descarga de rayo, de consecuencias similares en su gravedad, tuvo lugar en agosto de 1984, en una fábrica de productos químicos en Herne, en la que se quemó un depósito de alcohol (Figura 2.8). También en ese caso los expertos han podido fijar la causa de la explosión: Era, asimismo, un cable de medida, que había sido introducida, como "tierra lejana" en el depósito, sin el necesario circuito de protección /20/.

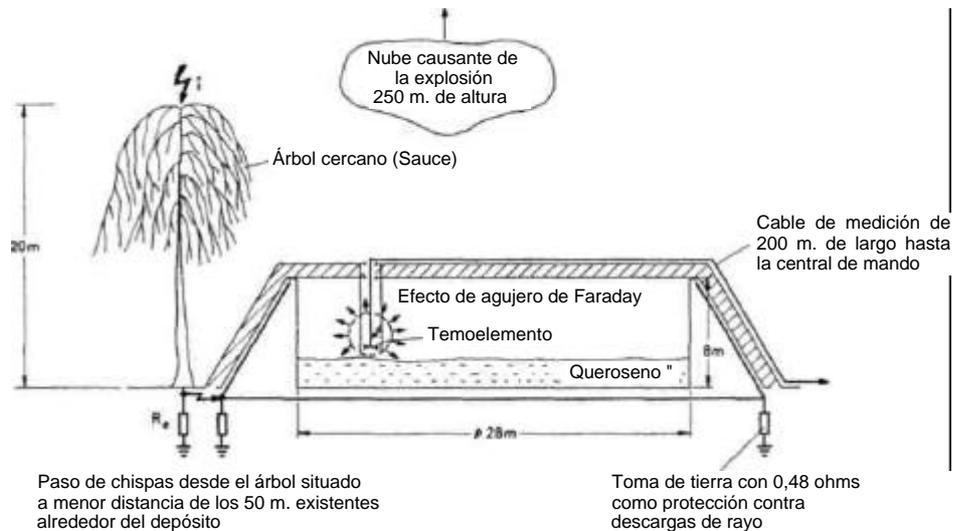


Fig. 2.5. Explosión de un depósito de queroseno (Holanda, 1975).

Las causas de todas estas explosiones pueden representarse esquemáticamente, tal y como se expone en la figura 2.7. El rayo descarga sobre una "Jaula de Faraday" casi totalmente cerrada, pero en la que se encuentra un agujero. Por este orificio se introduce un cable, que procede de un edificio alejado, y que allí se encuentra puesto a tierra. Entre la Jaula de Faraday sobre la que ha descargado el rayo, y esta tierra "lejana" se produce la diferencia de potencial, que origina la corriente de rayo en la resistencia de toma de tierra (en la figura 2.7, es p. ej. de 50 kV). Los aislamientos usuales de los cables de medida soportan tensiones punta de máximo algunos centenares de V: cuando los valores son superiores se producen perforaciones y paso de chispas.

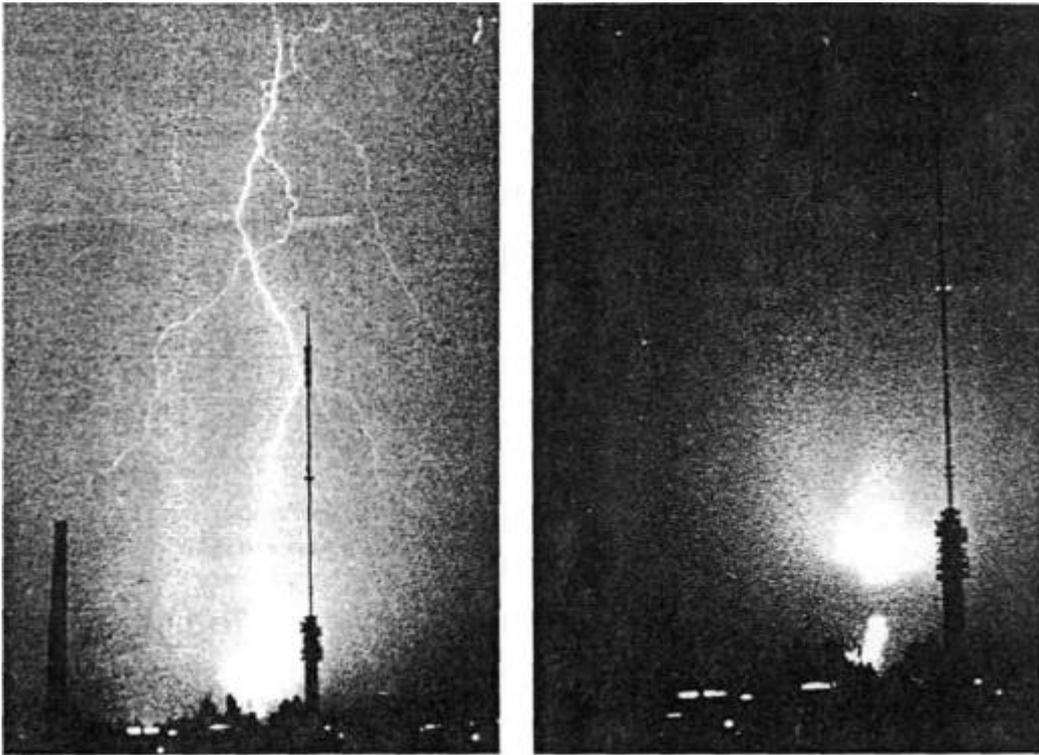


Fig. 2.6. Nube de explosión de 250 metros de altura, producida tras la descarga del rayo. (Foto Brood).

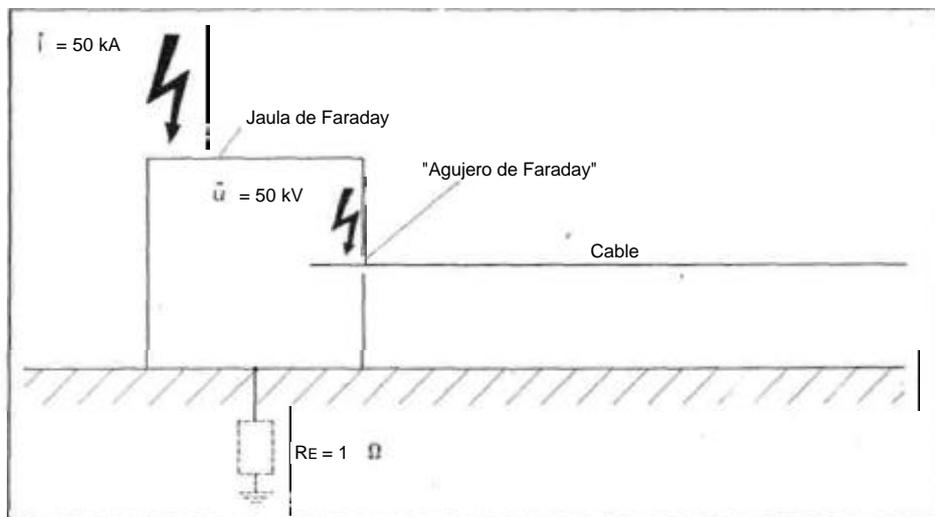


Fig. 2.7. La descarga de un rayo sobre una "Jaula de Faraday" da lugar a un paso de chispas en el "Agujero de Faraday".



Fig. 2.8. Depósito de alcohol incendiado en una fábrica de productos químicos de Herne, a consecuencia de la descarga de un rayó, 1984. (Foto H.J. Kartenberg).

2.2.2. Daños en instalaciones industriales

Particularmente sensibles a las sobretensiones son los circuitos electrónicos de medición, regulación y control (Circuitos MCR), y los sistemas de ordenadores instalados, p. ej. en grandes complejos industriales.

El día 18 de mayo de 1983, cayó un rayo sobre el rascacielos de la Administración de la Empresa Klóckner-Humboldt-Deutz, en Colonia (Figuras 2.9 y 2.10). Dicho rayo había sido derivado a tierra por la "Instalación exterior de protección contra rayos". (Ver párrafo 4.1) /21/. Debido a la falta de la "Instalación interior de protección contra rayos" (ver párrafo 4.2.), como consecuencia de esta descarga de rayo quedaron destruidos más de 100 terminales en el edificio de la Administración (Figura 2.11), y en el Centro de Cálculo, situado aproximadamente a 120 metros de distancia, quedaron asimismo destruidas numerosas unidades de cálculo (Figura 2.12 y 2.14). Tan sólo los daños de Hardware se elevaron a más de 2 millones de DM; los daños subsiguientes derivados de la imposibilidad de utilización del Centro de Cálculo, supusieron más de 4 millones de DM. Es decir, se produjeron unos daños valorados en más de 6 millones de DM, como consecuencia de ¡una sola descarga de rayo! Hay que hacer mención de que durante esta tormenta se produjeron numerosos daños por sobretensiones, en los centros industriales vecinos, en las instalaciones de teléfono, télex y sistemas de comunicaciones.

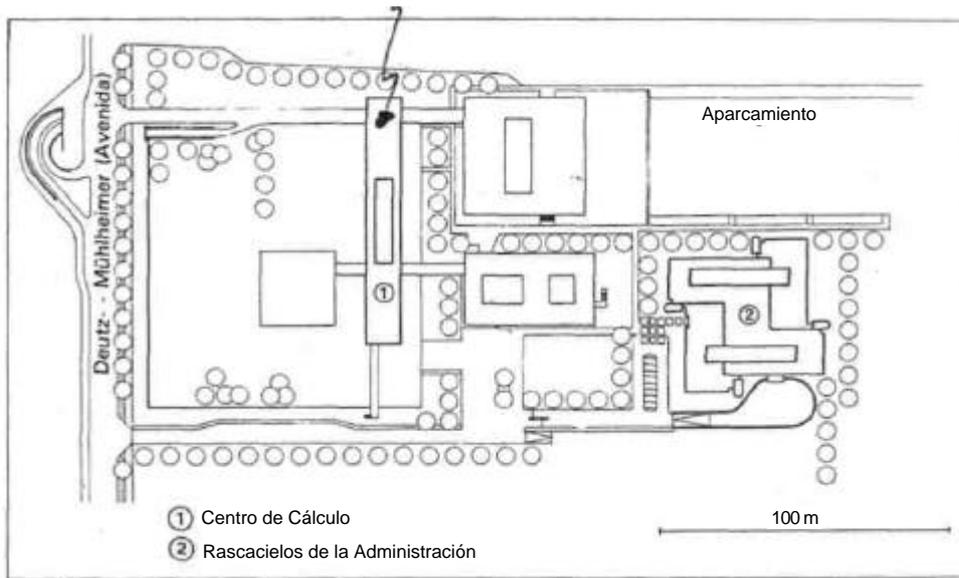


Fig. 2.9. Plano del edificio de la Administración y Centro de Cálculo de KHD (Colonia).



Fig. 2.10. Rascacielos de la Administración situado detrás del Centro de Cálculo. (Foto KHD).



Fig. 2.11. Terminales en el edificio de la Administración Klöchner- Humboldt-Deutz. (Foto KHD).



Fig. 2.12. Vista del Centro de Cálculo de la empresa KHD. (Foto KHD).

Las causas de este siniestro se pueden explicar con ayuda de la figura 2.13: Al producirse la descarga del rayo en el edificio (1), y a causa del acoplamiento óhmico, (ver párrafo 3.1.3.1.) fluye una corriente parcial de rayo hacia el edificio (2), que origina aquí daños considerables.

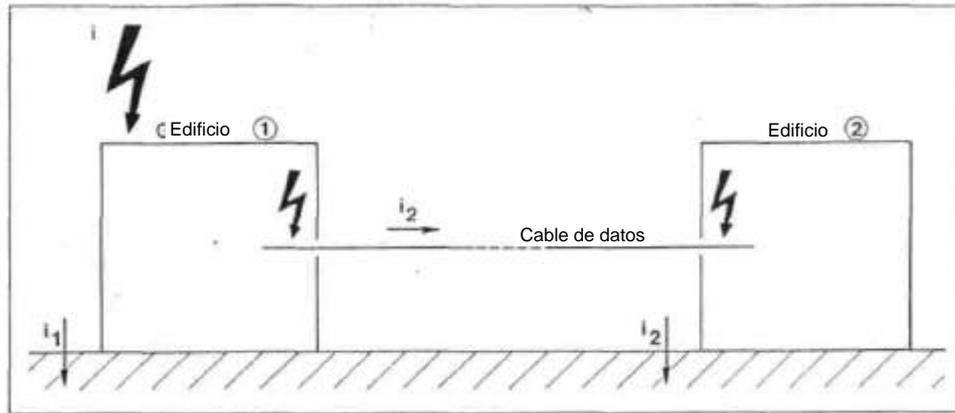


Fig. 2.13. Al descargar un rayo en el edificio 1 se producen daños por sobretensiones en el edificio 1 y 2.

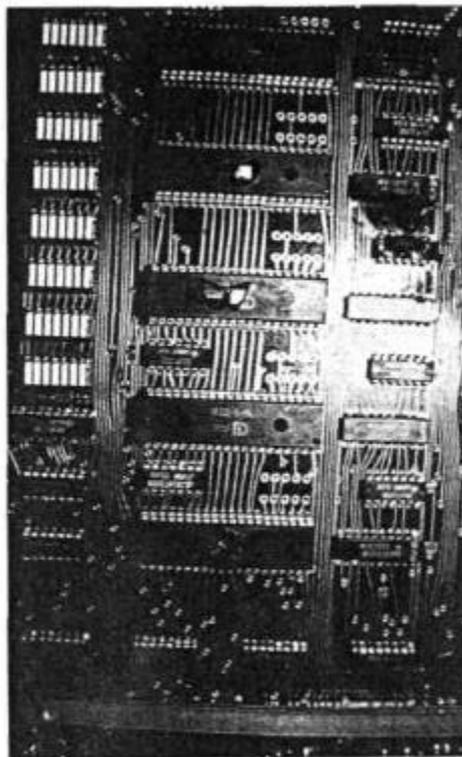


Fig. 2.14. Platina de ordenador destruida a consecuencia de las sobretensiones de rayo, en la empresa KHD.

2.2.3. Daños causados en instalaciones de suministro de electricidad

Con frecuencia se ve la opinión pública aterrorizada por los reportajes sobre descargas de rayos, producidas en empresas suministradoras de electricidad in-cluso en centrales nucleares /22-23/.

El 11 de agosto de 1983 se produjo la descarga de rayos en la subestación transformadora de 110/20 kV de la ciudad de Neumarkt, (Figura 2.15), produciéndose en consecuencia considerables daños, en la central de distribución, y llegando incluso a fallar la tensión de mando de 220 V continua.

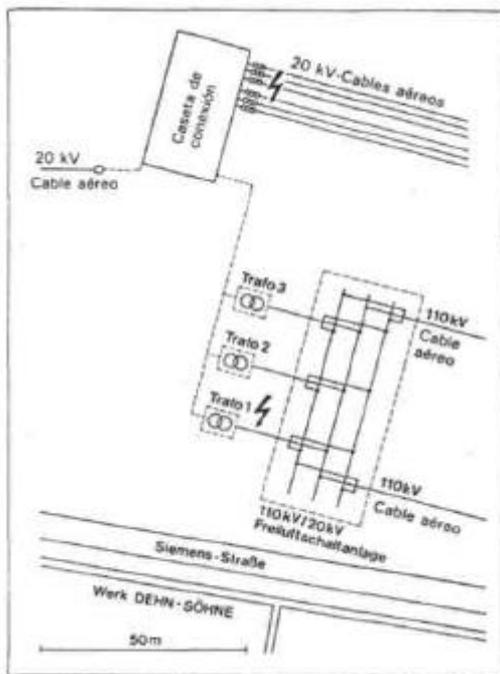


Fig. 2.15. Situación de la subestación de conmutación Obag-Neumarkt, descarga de rayo 8/83.

Los derivadores de la sobretensión de 20 kV resultaron destruidos por las primeras corrientes parciales de rayo (figura 2.16), de manera que ya no estaban en situación de poder derivar las corrientes parciales siguientes. En el panel de conmutaciones afectado se produjeron arcos voltaicos de paso (Figura 2.1 7) que pasaron a lo largo de la barra colectora y destruyeron asimismo el panel de distribución situado enfrente. En las líneas aéreas de 20 kV, se produjeron otros arcos voltaicos de cortocircuito, lo que originó fuertes oscilaciones del tendido aéreo, a consecuencia de lo cual, algunos cables se pusieron al rojo y acabaron por desgarrarse. Con ocasión de esta tormenta llegó incluso a explotar el transformador

de alimentación de 110 kV (Figura 2.19). Toda la ciudad de Neumarkt quedó durante más de 6 horas sin suministro eléctrico, (ciudad de aproximadamente 32.000 habitantes).

La figura 2.18 muestra un tipo de suministro de energía eléctrica, usual en muchas zonas rurales: a través de una línea aérea de 20 kV, se suministra energía a una subestación transformadora de caseta, desde la que se hace la alimentación de 220/380 V a los edificios de viviendas. El día 4 de junio de 1984 una de estas casetas transformadoras, en Bad Kreuznach, sufrió la descarga de un rayo. En la figura 2.20 se pueden ver los daños causados: Separadores de salida de baja tensión totalmente destruidos.

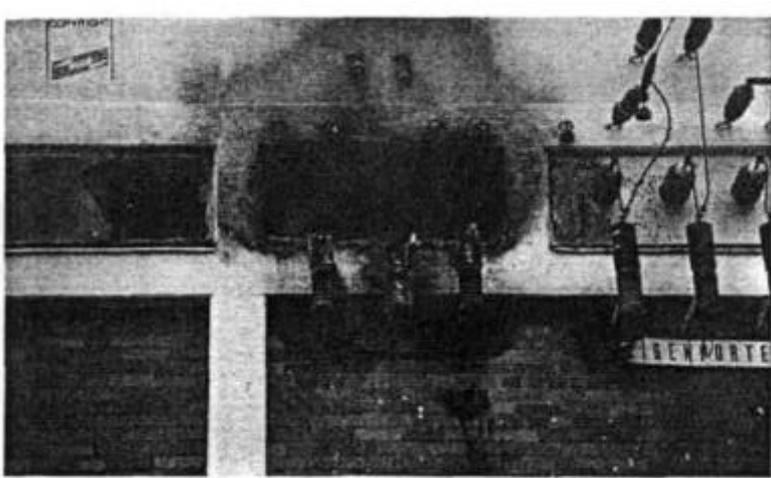


Fig. 2.16. Derivador de sobretensiones destruido como consecuencia de la descarga de un rayo. Neumarkt, 1983.

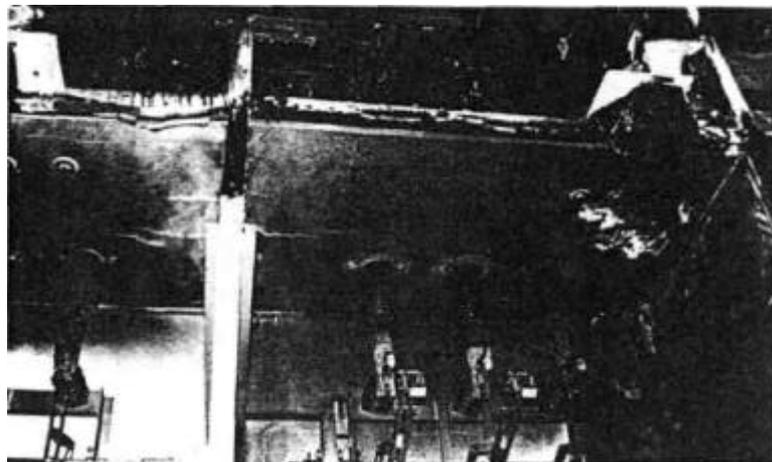


Fig. 2.17. Daños causados por sobretensiones de rayo en la unidad de transformación de 20 kV. Neumarkt, 1983.

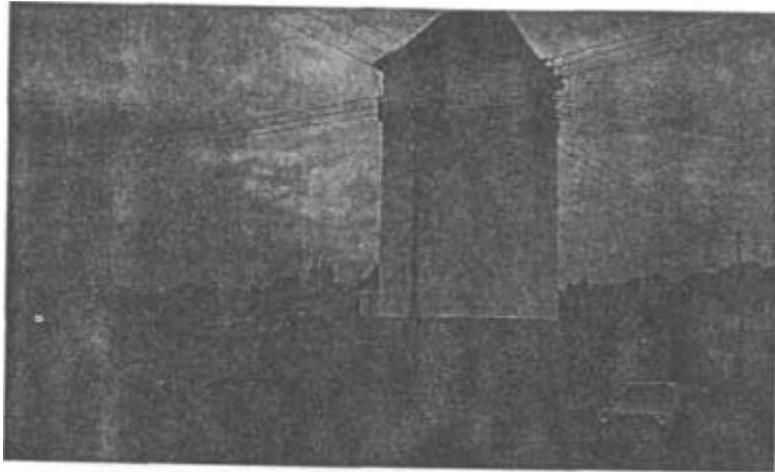


Fig. 2.18. Caseta de la subestación de transformación.

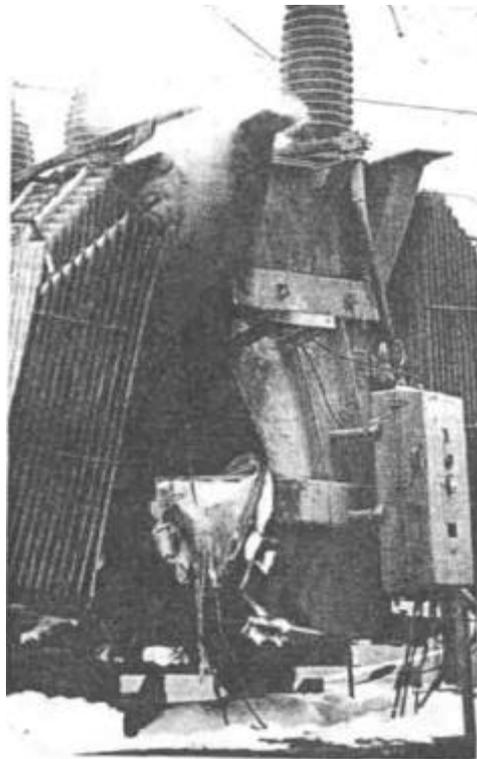


Fig. 2.19. Transformador de 110 kV, explotado como consecuencia de una descarga de rayo. Neu-markt, 1983.



Fig. 2.20. Daños originados por la descarga de rayos en la torre de la subestación transformadora. Bad Kreuznach, 1984.

2.2.4. Daños en edificios de viviendas

El 31 de julio de 1986 descargó un rayo en la antena de la vivienda unifamiliar, representada en la figura 2.22, en la ciudad de Neumarkt. La antena no estaba puesta a tierra, no se disponía de una instalación de pararrayos.

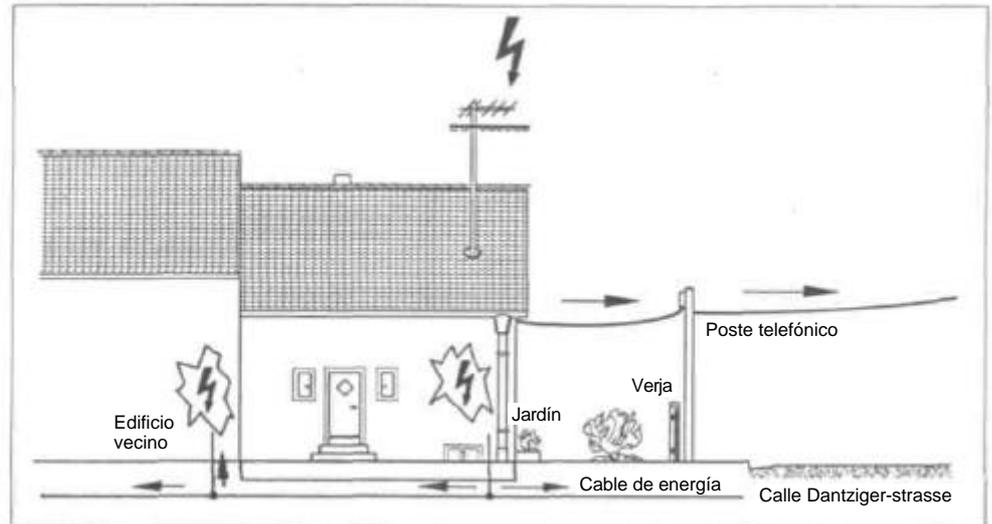


Fig. 2.21. Edificio de vivienda en el que cayó un rayo. (Neumarkt, Julio 1986).



Fig. 2.22. Edificio afectado por la descarga de un rayo en Neumarkt, 1986. a) Vista de conjunto.

Las dramáticas consecuencias originadas por la descarga de un rayo, que busca su camino, preferentemente por medio de pasos de chispas y perforaciones por todo el tendido eléctrico de la casa, pueden verse en las figura 2.23 hasta 1).

Trozos de antena se encontraron en el terreno vecino, a más de 10 metros de distancia. La corriente de rayo fluyó por el tubo del mástil de antena (figura 2.23) y llegó hasta los alambres del entramado del techo del cuarto de los niños, situado debajo (Figura 2.24), y los desintegró. Desde aquí, la corriente de rayo pasó a la instalación eléctrica, y discurrió por los conductores de la instalación, que se encontraban empotrados en las paredes (Figura 2.25).

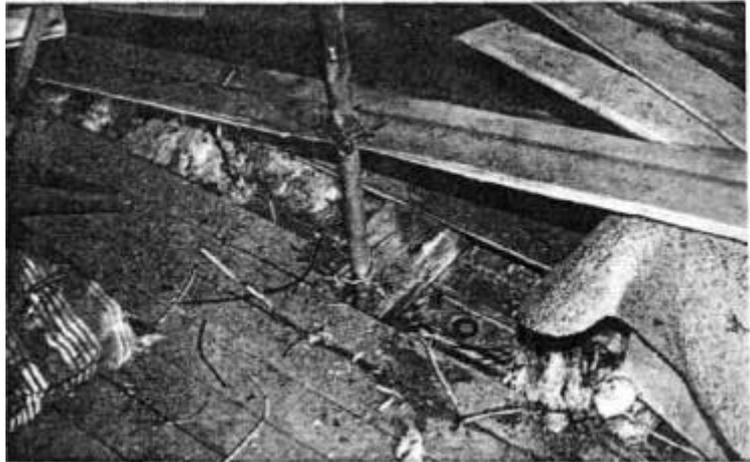


Fig. 2.23. b) Mástil de la antena (en el desván).

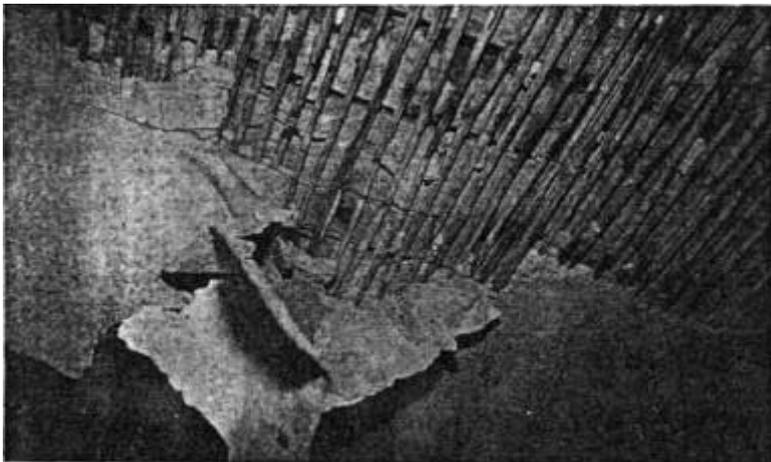


Fig. 2.24. c) Paso de la corriente de rayo a los alambres del entramado de techo.

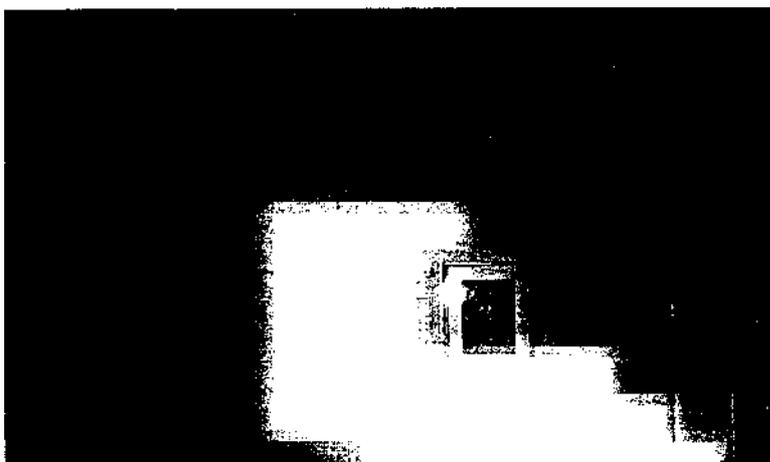


Fig. 2.25. d) Perforaciones y paso de chispas hacia los conductores de corriente de 8.T. empotrados en las paredes.



Fig. 2.26. e) Restos del incendio producido en una de las camas.



A causa de la proyección de piezas de una caja de distribución de la habitación, incandescentes, sobre una de las camas, ésta se incendió (Figura 2.26). A lo largo del cable de la antena fluyeron corrientes parciales de rayo, quedando aquella desprendida de la pared, y el televisor conectado al cable de antena, quedó igual destruido (Figura 2.27).

Fig. 2.27. f) Daños producidos en el cable de la antena.

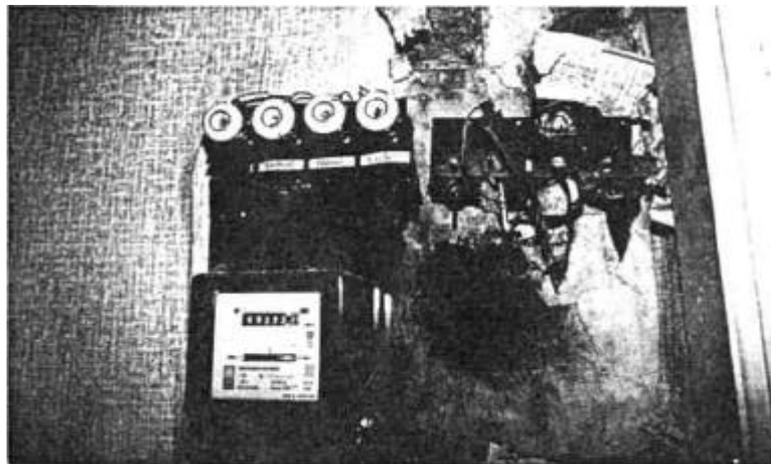


Fig. 2.28. g) Caja de distribución eléctrica completamente destruida.

En la figura 2.28, pueden verse los restos de la caja de distribución eléctrica, situada en el piso superior de la vivienda. En la primera planta se encuentra la cocina. Todos los electrodomésticos de la cocina resultaron seriamente averiados (Figura 2.29). El teléfono, instalado en el pasillo de la planta baja, al igual que todo el resto de la instalación telefónica, se vieron igualmente implicados en la destrucción. (Figura 2.30).

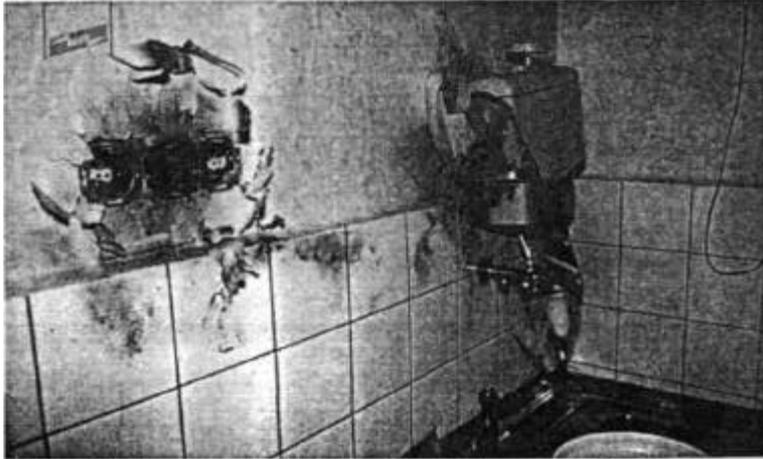


Fig. 2.29. h) Calentador eléctrico de agua destruido.

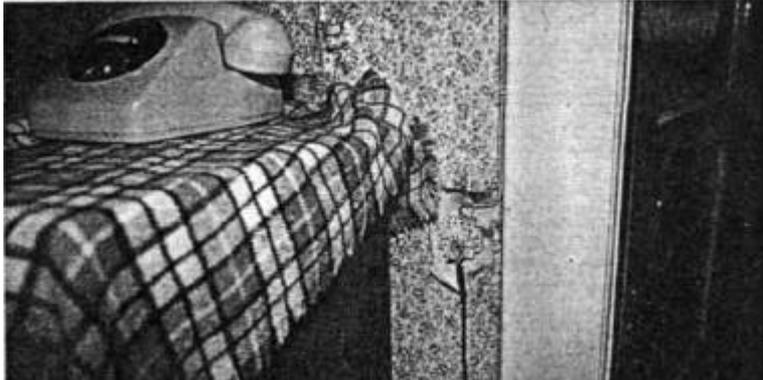


Fig. 2.30. i) Corrientes parciales de rayo afectaron asimismo a la instalación telefónica, que se vio igualmente afectada.

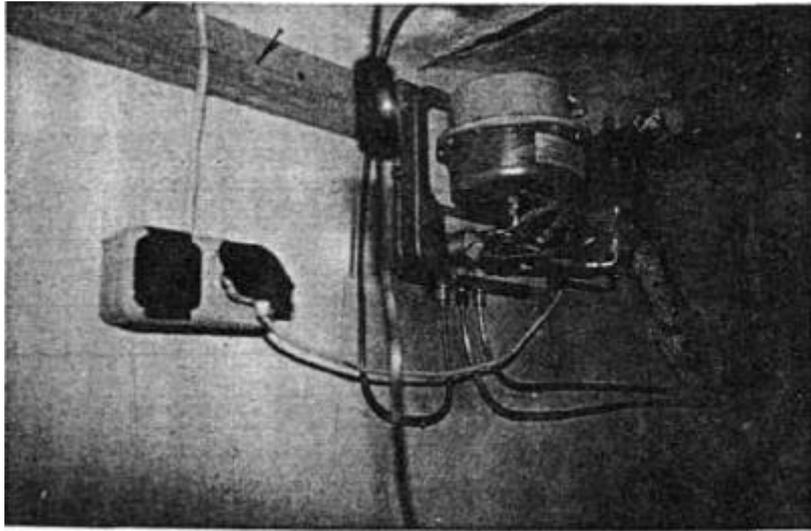


Fig. 2.31. j) Perforación y paso de la corriente desde el cable de B.T. hasta el conducto del aceite.

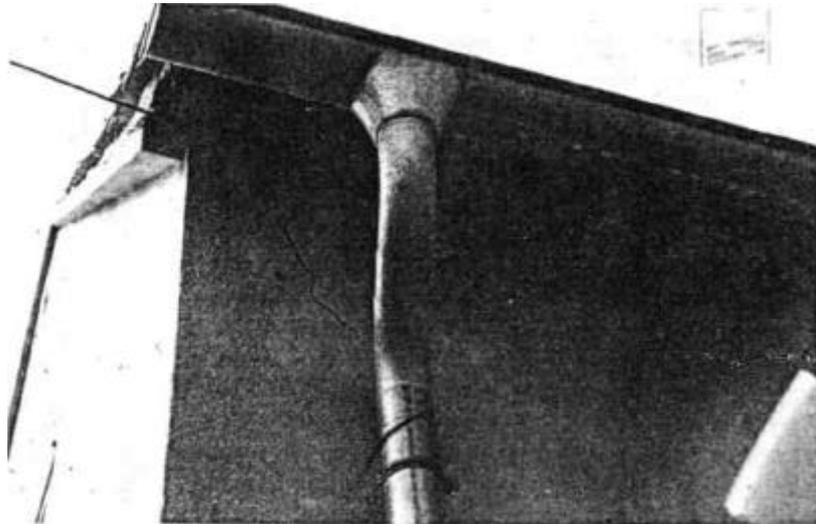


Fig. 2.32. k) Grietas en el muro bajo el caballete del tejado y bajo la techumbre.



Fig. 2.33. l) Ventana del sótano arrancada de cuajo.

En el sótano la bomba de aceite para la calefacción resultó también averiada, y el aceite estuvo goteando sobre el suelo. (Figura 2.31.)

Con ocasión de esta descarga de rayo, toda la techumbre fue levantada e, n varios milímetros: en la figura 2.32 pueden verse claramente las grietas producidas.

Debido a la onda expansiva producida por la explosión de las diferentes conducciones, y de los arcos voltaicos originados, saltaron incluso las ventanas del sótano (Figura 2.33).

La casa que estaba asegurada muy por debajo de su valor, tuvo que ser reconstruida después, prácticamente.

En un radio de varios kilómetros, y como consecuencia de esta descarga de rayo, quedaron averiadas numerosas instalaciones telefónicas. Se vieron asimismo afectados los semáforos de todo el barrio, y como consecuencia de los disparos indebidos saltaron los interruptores de protección diferencial hasta una distancia de kms.

Tras las aclaraciones anteriores, es fácil de comprender el hecho de que, en las instalaciones vecinas, se hayan producido asimismo daños (ver también párrafos 3.1.3.) originados por las sobretensiones consecutivas a las descargas de rayos. Todas las instalaciones de teléfono y de B.T. están interconectadas, y a través de estas conducciones pueden penetrar corrientes parciales de rayos en otras instalaciones ajenas. (Figura 2.34).

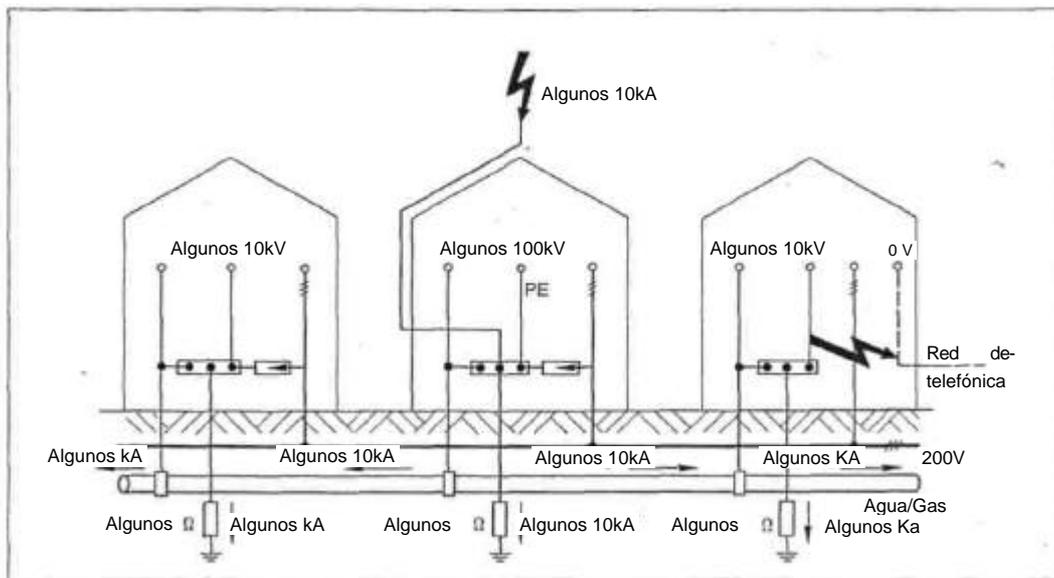


Fig. 2.34. Daños causados por sobretensión en edificios vecinos.

Se muestran aquí algunos ejemplos de averías, que suelen producirse comúnmente en la práctica.

2.2.5. Daños originados por disparos indebidos de interruptores de protección

Las sobretensiones producidas por las tormentas, no sólo perforan aislamientos o destruyen aparatos electrónicos, sino que con sus corrientes de derivación hacen saltar indebidamente los interruptores de protección convencionales, contra corrientes de fallo (FI) /24/. Estos interruptores de protección diferencial se disparan con corrientes punta de tan solo algunos amperios.

En /16/, se informa, por ejemplo:

"Numerosos accidentes y muertes de animales domésticos se deben a disparos indebidos de interruptores de protección, originados indirectamente como consecuencia de descargas de rayos. En una factoría avícola intensiva, una desconexión debida al disparo de un interruptor de protección, como consecuencia de una descarga indirecta de rayo, ocasionó la muerte de 14.000 pollos, que fallecieron ahogados al fallar la ventilación de la granja".

A este respecto, hay que aclarar que, en las factorías o granjas de producción intensiva de pollos, por cada 100 m² de superficie se crían hasta 1 5.000 pollos, en crianza intensiva, hasta que alcanzan la edad de 6 semanas, en que son sacri-

ficados. Durante este período de tiempo, se les hace llegar mecánicamente el alimento. (Figura 2.36). Además del suministro adecuado de agua y pienso, es de importancia capital una adecuada ventilación de las granjas. (Figura 2.37).

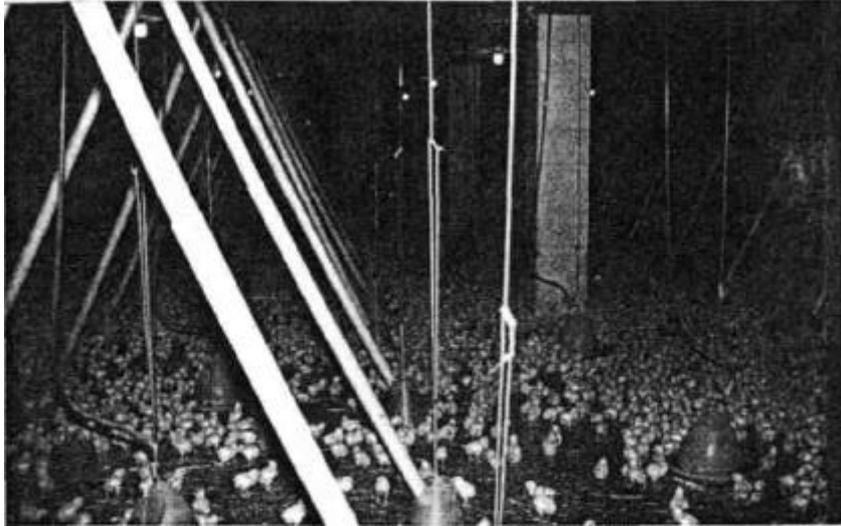


Fig. 2.35. Cría intensiva de pollos en una granja avícola.



Fig. 2.36. Suministro automático de pienso.

Si se produce un fallo en los ventiladores, ocasionado, por ejemplo, por el disparo indebido de los interruptores de protección, los animales mueren, por asfixia, en unos 20 minutos.

Otros daños, de importancia similar, se han producido en instalaciones de congeladores, al producirse el disparo de los interruptores de protección, como consecuencia indirecta de una descarga de rayo.

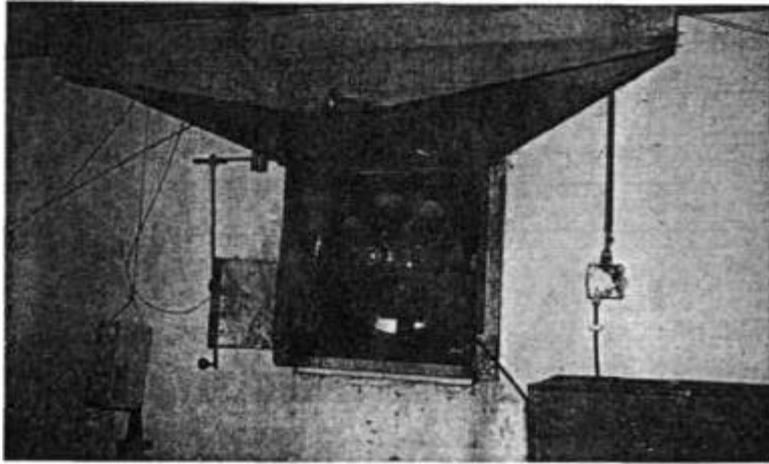


Fig. 2.37. Ventilador instalado en una granja avícola de producción intensiva.

3. Causas de los daños por sobretensiones

Las instalaciones eléctricas, equipadas con aparatos electrónicos /25/, pueden verse expuestas a peligros derivados de sobretensiones por (Figura 3.1):

- campos electromagnéticos originados por procesos de conmutación en instalaciones de alta tensión (**SEMP** = *Switching Electromagnetic Pulse*),
- por impulsos de descargas eléctricas originados por rayos (**LEMP** = *Lightning Electromagnetic Pulse*),

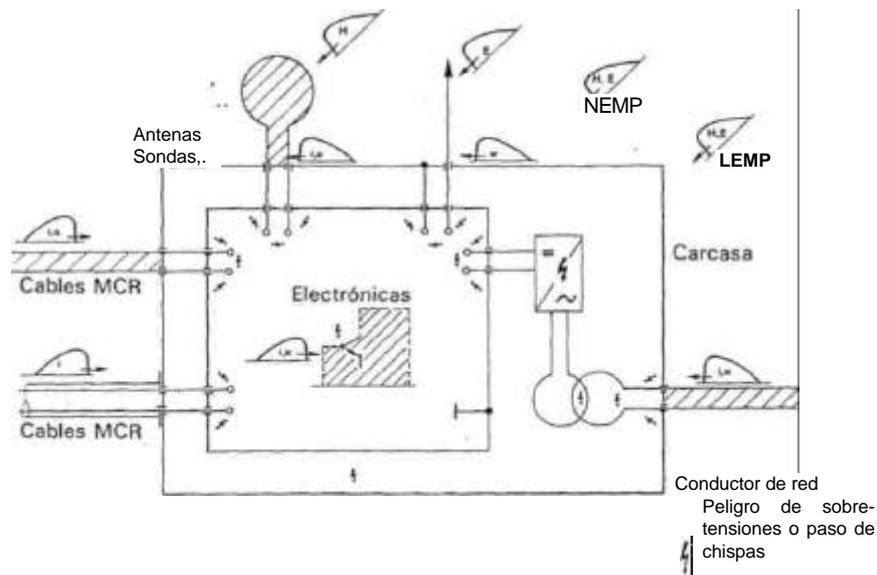


Fig. 3.1. Amenaza para un aparato, equipado con elementos electrónicos a causa de campos electromagnéticos: conmutaciones de las instalaciones de alta intensidad, descargas de rayos (LEMP) y explosiones nucleares (NEMP), y también daños originados en las conexiones de los cables por las corrientes de choque y las tensiones de choque.

- por explosiones nucleares (NEMP = *Nuclear Electromagnetic Pulse*)
- por tensiones punta o corrientes punta, se producen en las instalaciones de baja tensión a causa de procesos de conmutación o por descargas electrostáticas (ESD = *Electrostatic Discharges*),
- por descargas directas de rayo, que es a su vez, el factor de máxima peligrosidad.

3.1. SOBRETENSIONES OCASIONADAS POR LAS TORMENTAS

Las causas de las sobretensiones ocasionadas por las tormentas, pueden clasificarse fundamentalmente en:

- Descargas directas/descargas cercanas
- Descargas lejanas de rayo (Figura 3.2)

En caso de una descarga directa de rayo (Figura 3.2 caso a), el rayo cae directamente sobre el edificio a proteger. Cuando se trata de una descarga próxima, el rayo cae en alguna parte de una instalación muy extensa, o cae en un conductor (por ejemplo tuberías, o redes de energía o de información), que se encuentran directamente unidas a la instalación a proteger.

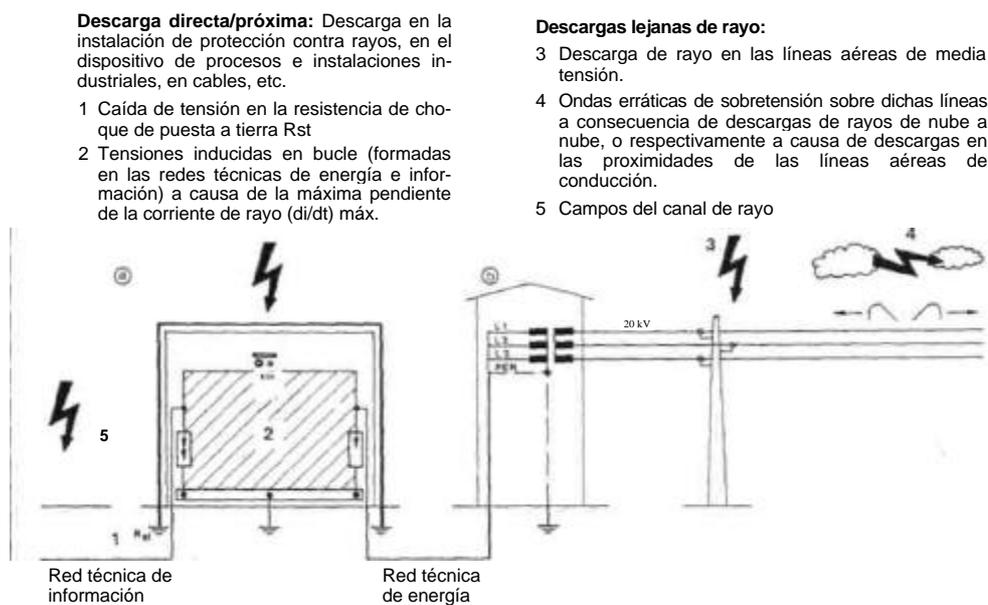


Fig. 3.2 Causas de las sobretensiones en descargas de rayos.

En el caso de una descarga lejana (Figura 3.2, caso b), se ven afectadas, por ejemplo, líneas aéreas de conducción, de media tensión, a causa de las descargas que se producen de nube a nube y que se propagan como ondas progresivas sobre estas líneas aéreas, o bien se originan las sobretensiones por inducción a causa de descargas de rayos en las proximidades de las instalaciones a proteger.

3.1.1. Descarga directa/Descarga próxima de rayo

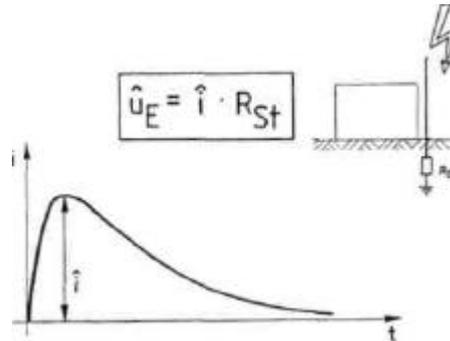
Las sobretensiones que se producen en caso de una descarga directa o próxima de rayo son:

- Caída de tensión en la resistencia de puesta a tierra de choque (1 en la figura 3.2).
- Tensiones inducidas en bucles metálicos (2 en la figura 3.2).

3.1.1. Elevación de tensión en la resistencia de puesta a tierra de choque

Con ayuda del valor máximo \hat{i} de la corriente de rayo (Tabla 3.3) se calcula la caída máxima de tensión \hat{U}_E , que tiene lugar en la resistencia de puesta a tierra de choque R_{St} , del edificio afectado /26/:

$$\hat{U}_E = \hat{i} \cdot R_{St}$$



	IEC/TC 81	VG 969 Exigencias alta normal		KTA 2206
Rayo positivo (kA/ms)	200	200	100	500
1. Rayo negativo (kA/ms)				100
Rayo consecutivo negativo (kA)	50	50	25	50

(Autor: J. Wiesinger)

Ejemplo:

$$\hat{U}_E = 100 \text{ kA} \cdot 1\Omega = 100 \text{ kV}$$

Fig. 3.3. Valores límite del valor máximo \hat{i} de la corriente de rayo.

Esta elevación de tensión \hat{U}_E no es peligrosa para la instalación que se ha de proteger, si la compensación de potencial para protección contra rayos (ver párrafo 4.2), está realizada consecuentemente. En la actualidad, tanto en la normativa nacional, /1/, como en las normas internacionales de protección contra rayos /3/, se exige la total compensación de potencial para protección contra rayos, en la que todos los conductores que penetren o salgan de la instalación a proteger deben estar con la instalación de puesta a tierra, bien sea directamente, o bien mediante vías de chispas o mediante aparatos de protección contra sobretensiones. Cuando tiene lugar la descarga de un rayo, el potencial de toda la instalación se eleva en un valor \hat{U}_E , pero dentro de la misma instalación no se producen las peligrosas diferencias de potencial.

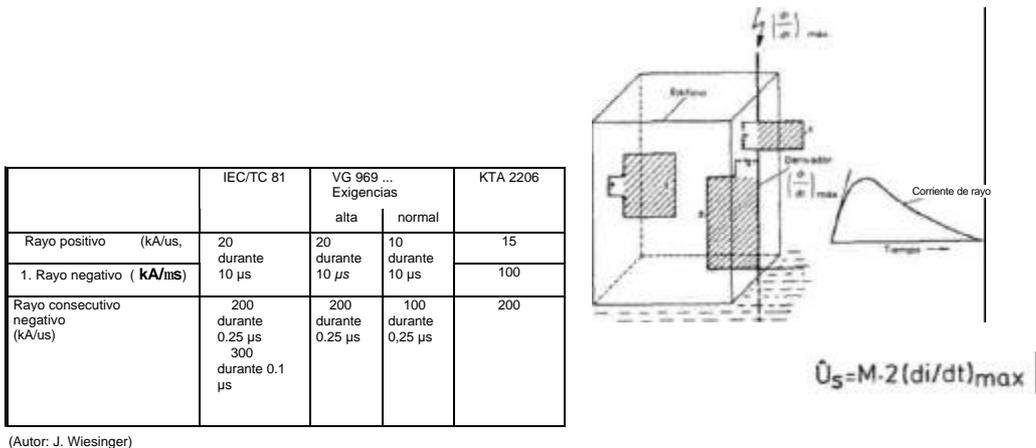


Fig. 3.4. Valores límite para el valor máximo de la pendiente de corriente del rayo (di/dt) máx.

3.1.1.2. Tensiones inducidas en bucles metálicos

El valor máximo de la pendiente de la corriente de rayo $(di/dt)_{max}$ (tabla 3.4), es el que influye en el valor de las tensiones electromagnéticas inducidas en todos los bucles de instalación, abiertos o cerrados (2 bucles en la figura 3.2), que se encuentran en las proximidades de conductores atravesados por una corriente de rayo.

Para poder realizar un cálculo de las amplitudes de tensión con que hay que contar en edificios o en instalaciones técnicas, en caso de descarga de rayo, se utilizan las ecuaciones expuestas en la tabla 3.5 /6/ para calcular las tensiones máximas inducidas \hat{U}_E para bucles cuadrados, situados en las cercanías de pararrayos - supuestos como ilimitados en su extensión.

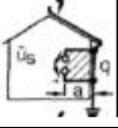
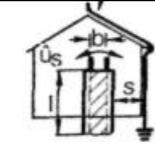
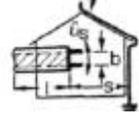
Bucles de la instalación	Tensión inducida máxima	Ejemplos de cálculo		
		$(di/dt)_{max}$	Magnitudes	\hat{u}_s
	$\hat{u}_s = k_{u1} \cdot \left(\frac{di}{dt}\right)_{max}$	100 kA/ μ s	q = 50mm2 a = 10m k _{u1} = 15000 $\frac{V}{kA/\mu s}$	1500 kV
	$\hat{u}_s = k_{u2} \cdot \left(\frac{di}{dt}\right)_{max}$		a = 10 m s = 1m k _{u2} = 5000 $\frac{V}{kA/\mu s}$	500 kV
	$\hat{u}_s = k_{u3} \cdot \left(\frac{di}{dt}\right)_{max}$		b = 3mm s = 1m l = 10m k _{u3} = 0,6 $\frac{V}{m \cdot kA/\mu s}$	600 V
	$\hat{u}_s = k_{u4} \cdot b \cdot \left(\frac{di}{dt}\right)_{max}$		b = 3mm s = 1 m l = 10 m k _{u4} = 0,5 $\frac{V}{mm \cdot kA/\mu s}$	150V

Fig. 3.5. Tensiones máximas inducidas en bucles de instalación.

Además de los efectos de la inducción en bucles "planos", configurados por los conductores en instalaciones y tendidos eléctricos, interesan también los efectos de la inducción, producidos en bucles muy estrechos, pero muy alargados, que se forman a causa de hilos tendidos en paralelo, no blindados, y entrelazados entre sí, como puede ser el caso de los cables de telecomunicaciones, cuando se encuentran cerca de dispositivos de pararrayos. Estas tensiones transversales, que se forman entre los hilos, son particularmente peligrosas para los componentes electrónicos.

En la figura 3.6 se muestra la manera en que se forman estos bucles de instalación en edificios: En el edificio se encuentran instalados dos redes, 1 y 2, independientes entre sí. La red 1 es, por ejemplo, la red técnica de energía, y la red 2 es otro tipo de red eléctrica, por ejemplo una red de información: red de datos, o una red de antenas; también puede ser una red no eléctrica, por ejemplo, una red de tuberías de conducción de agua o de gas [27].

A pesar de disponerse de una protección exterior contra descargas de rayos, y de una compensación de potencial, satisfactoria y completamente realizada según DIN VDE 0185/1/, se pueden inducir entre las entradas de aparatos E₁ y E₂. Estas sobretensiones pueden tener una amplitud de hasta algunos centenares de kilovoltios, y originar, por lo tanto, en el aparato perforaciones eléctricas.

Estas peligrosas sobretensiones en los aparatos (figura 3.7), con este tipo de tendido de los conductores, y faltando el efecto de blindaje de las paredes de los edificios (ver párrafo 4.3.1) son inevitables, incluso si se dispone de una protec-

ción exterior contra descargas de rayos, y con una compensación de potencial para protección contra rayos totalmente realizada. Cuando se produce una descarga de un rayo en la instalación exterior de protección contra rayos, fluyen por las redes 1 y 2 corrientes parciales de rayo, que alcanzan magnitudes de hasta algunos kiloamperios, y estas corrientes buscan su camino a través del aparato.

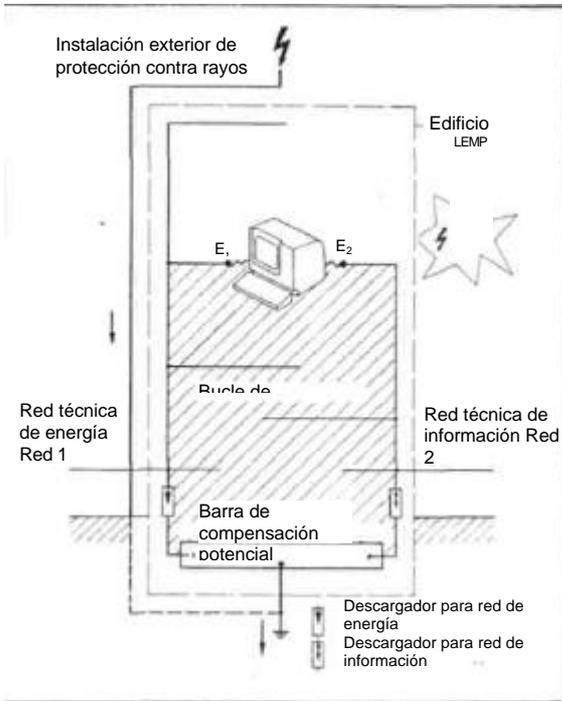


Fig. 3.6. Formación de bucles en diferentes redes.

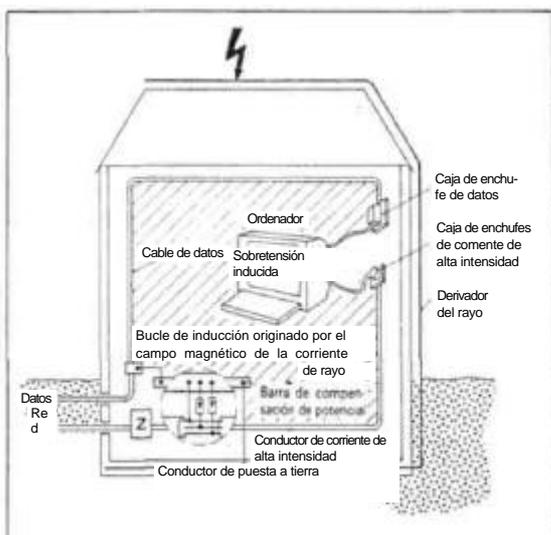


Fig. 3.7. Puesta en peligro de un aparato electrónico a causa de sobretensiones inducidas por descargas de rayo.

Cuando tenga que protegerse un aparato, que se encuentra conectado a dos redes independientes entre sí, hay que tomar una serie de medidas complementarias de protección en la entrada del aparato. (Ver párrafo 5.4.4.).

3.1.2. Descarga lejana de rayo

Cuando tienen lugar descargas lejanas de rayos, pueden suceder dos cosas: o bien se propagan ondas de sobretensiones a la velocidad de la luz a lo largo de los conductores (3 y 4 en la figura 3.2), o bien el rayo puede descargar junto a la instalación que se trata de proteger (5 en la figura 3.2), con lo que los campos electromagnéticos del rayo afectan a la instalación a proteger.

A base de los daños producidos durante los años 1 985/86 a causa de sobretensiones de tormentas, se ha demostrado que las instalaciones y equipos electrónicos están expuestos a las sobretensiones y sobrecorrientes inducidas o transmitidas por los conductores, y ésto hasta una distancia de más de 1 km del punto en que hubo descargado el rayo (Figura 3.8). Las razones de la extensión de la zona expuesta a peligros por sobretensiones y sobrecorrientes inducidas, radica en la creciente sensibilidad de los componentes electrónicos, en especial en los aparatos de técnicas de la información, en la cada vez mayor extensión de los conductores que atraviesan los edificios y en la gran complejidad de las redes.



Fig. 3.8. Peligro de sobretensiones de rayo en un círculo de 1 Km alrededor del punto en que se produce la descarga del rayo.

Como ejemplo de la creciente extensión superficial de redes de información, citemos tan solo la longitud autorizada de las conducciones directas de datos entre dos aparatos de tratamiento de datos: Las interfaces fijadas en la época de la introducción del tratamiento electrónico de datos V.24/V.28, precibían unos valores característicos para el accionamiento de los aparatos, que permitían una longitud máxima de los conductores de 15 metros. En la actualidad se dispone de activadores de líneas y de interfaces, que permiten la conexión directa a través de líneas de dos hilos entrelazados con una longitud de línea de hasta 1000 metros.

En las corrientes parciales de rayo en los cables, se producen tensiones transversales y tensiones longitudinales (figura 3.9). La tensión longitudinal u_l se presenta entre el hilo y el blindaje metálico del cable, es decir, que afecta al aislamiento de los aparatos conectados entre las bornas de entrada y la caja puesta a tierra. La tensión transversal u_t tiene lugar entre los diversos hilos y afecta a los circuitos de entrada de los aparatos conectados.

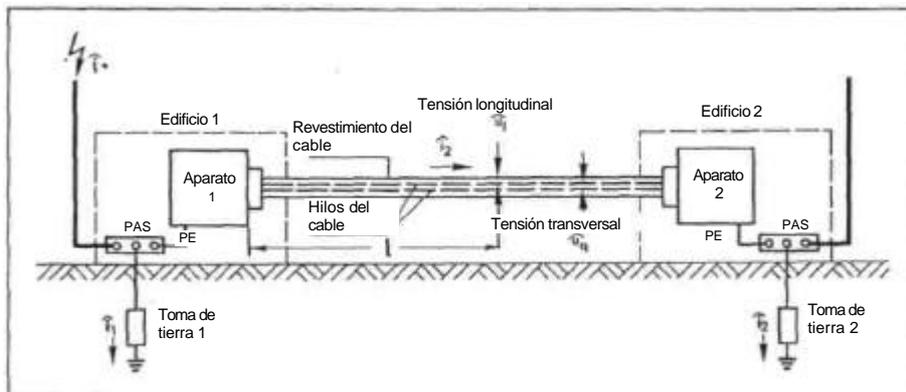


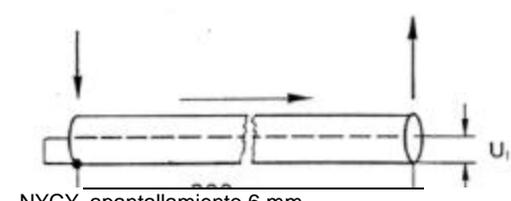
Fig. 3.9. Sobretensiones de un cable.

La tensión longitudinal \hat{u}_l puede calcularse, conociendo la corriente parcial de rayo \hat{I}_2 , a través de la resistencia de acoplo R_k del cable.

3.1.3. Acoplamiento de corrientes punta en los cables de señales

A continuación vamos a mostrar, con ayuda de algunos ejemplos, la forma en que las corrientes de punta pueden acoplarse, óhmicamente, inductiva y capacitivamente en los cables de señales de instalaciones muy extensas.

Tabla 3.1. Resistencias de acoplamiento de choque, en caso de corrientes de rayo.

Apantallamiento	Resistencia de corriente continua R^*_c in m^2/m	Resistencia de acoplamiento de choque R^*_k in m^2/m
Cable con revestimiento de aluminio 35mm Ø	0,24	0,17
Cable con revestimiento de plomo 35 mm Ø	1,0	0,95
Cable NYCY con apantallamiento 2,5 mm	7	7
Cable NYCY con apantallamiento 6 mm	3	3
Cable NYCY con apantallamiento 10 mm	1,7	1,7
Cable para telecomunicaciones con malla de cobre. Hilos 1,2 0 6 pares	2	2
20 pares	0,9	0,9
Tubo de acero 64 mm Ø x 1,3 mm	0,5	0,08
Tubo de cobre 64 mm Ø x 1,3 mm	0,07	0,04
Conductor apantallado de tubo de acero 600 mm Ø/8 mm en 10 cm separación de cable	0,01	30
Conductor de acoplamiento en alambre de acero 10 mm Ø en 10 cm separación del cable	1,5	300
<p>Corriente de choque de rayo 8/20, $\bar{i} = 5 \text{ kA}$:</p> $\hat{U}_i = R^*_k I \bar{i} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 5 \cdot 10^3 = 3 \cdot 10^3 \text{ V} = 3 \text{ kV}$  <p>NYCY apantallamiento 6 mm</p>		

Se partirá de la disposición ya enunciada anteriormente, en la que un aparato 1, está situado en un edificio 1, y un aparato 2, lo está en otro edificio 2, estando conectados ambos aparatos entre sí por medio de un cable de señales. Además, los dos aparatos se encuentran conectados a la correspondiente barra colectora de compensación de potencial (PAS) —por ejemplo a través del conductor de protección PE— en los dos edificios.

3.1.3.1. Acoplamiento óhmico

En la figura 3.10, se muestra como, al producirse la descarga de un rayo en el edificio 1, en la resistencia óhmica de propagación R_{A1} tiene lugar una elevación de tensión de algunos centenares de kV. Estas tensiones son más que suficientes para perforar los aislamientos en los aparatos 1 y 2, de manera que después puede fluir, sin problemas, una corriente de punta óhmica acoplada desde PAS 1 a través del aparato 1, del cable de señales, del aparato 2, de la PAS 2 y de R_{A2} . La magnitud de la corriente de punta acoplada (valor cresta de la corriente: algunos kA) viene determinada por la relación entre las resistencias óhmicas R_{A1} y R_{A2} .

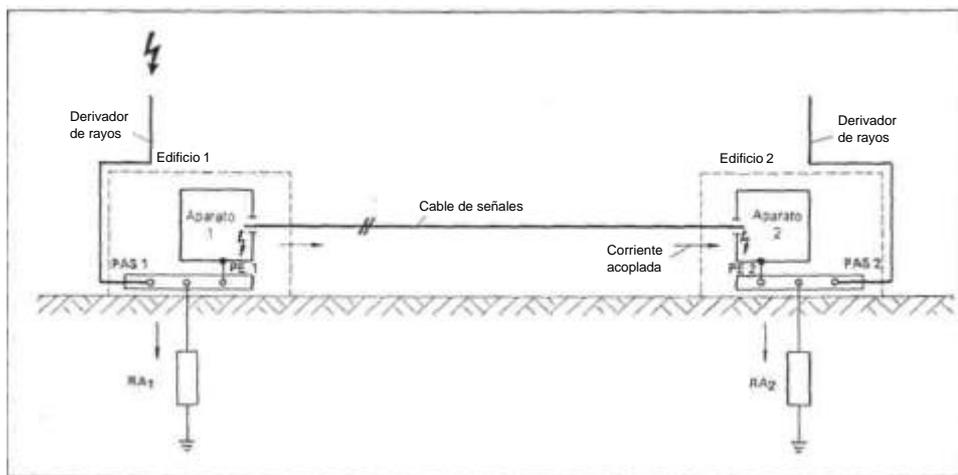


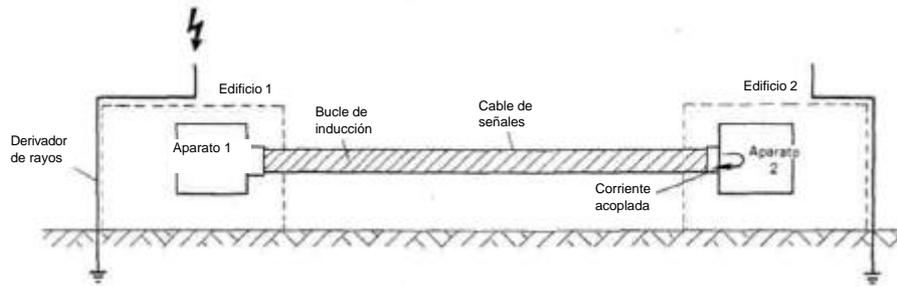
Fig. 3.10. Acoplamiento óhmico.

3.1.3.2. Acoplamiento inductivo

Como ya hemos indicado antes, los campos magnéticos que se forman partiendo del canal del rayo o de los conductores recorridos por la corriente de rayo, inducen tensiones en los bucles metálicos.

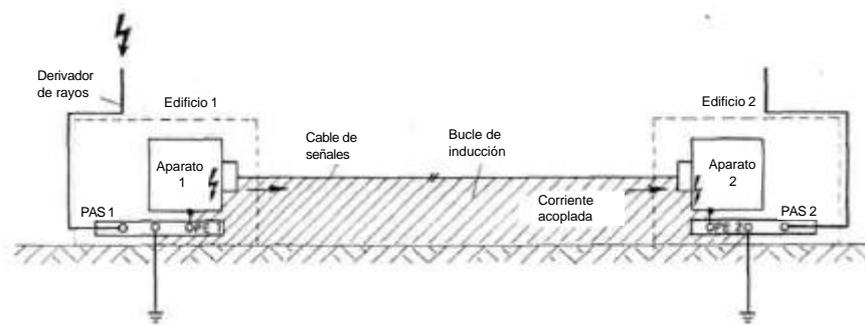
La figura 3.11, muestra como el cable de señales de dos hilos que une el aparato 1 con el aparato 2, forma un bucle de inducción en el cual, al descargar un rayo en el edificio 1, se induce una tensión característica ("Tensión transversal" de algunos kV), la cual tiene como consecuencia una corriente acoplada de hasta algunos kA. Estas tensiones y corrientes suponen una carga excesiva para los componentes de las entradas o salidas de los aparatos.

Otra posibilidad de acoplamiento inductivo, se ha representado en la figura 3.1 2. En este caso, el bucle de inducción está compuesto por el cable de señales y el suelo. Al descargar un rayo en el edificio 1, se induce en el bucle una alta tensión (algunas decenas de kV), lo cual tiene como consecuencia la perforación de los aislamientos en los aparatos 1 y 2, y una corriente acoplada de algunos kA.



a) Bucle de inducción entre conductores de un cable de señales

Fig. 3.11. Acoplamiento inductivo.



b) Bucle de inducción entre cable de señales y tierra

Fig. 3.12. Acoplamiento inductivo.

3.1.3.3. Acoplamiento capacitivo

Cuando descarga un rayo sobre la tierra o sobre un pararrayos, el canal del rayo o el derivador de rayos, y como consecuencia de la caída de tensión en la

resistencia de propagación R_A experimenta una elevación de tensión de algunos cientos de kV frente al entorno.

El cable de señales entre el aparato 1 y el aparato 2, en la figura 3.13, está acoplado capacitivamente con uno de esos canales de rayo o con el pararrayos. Las capacidades de acoplamiento (condensadores) se cargan y dan lugar a una corriente acoplada de algunas decenas de A, la cual tras producir perforaciones en los aislamientos de los aparatos 1 y 2, fluye finalmente a tierra.

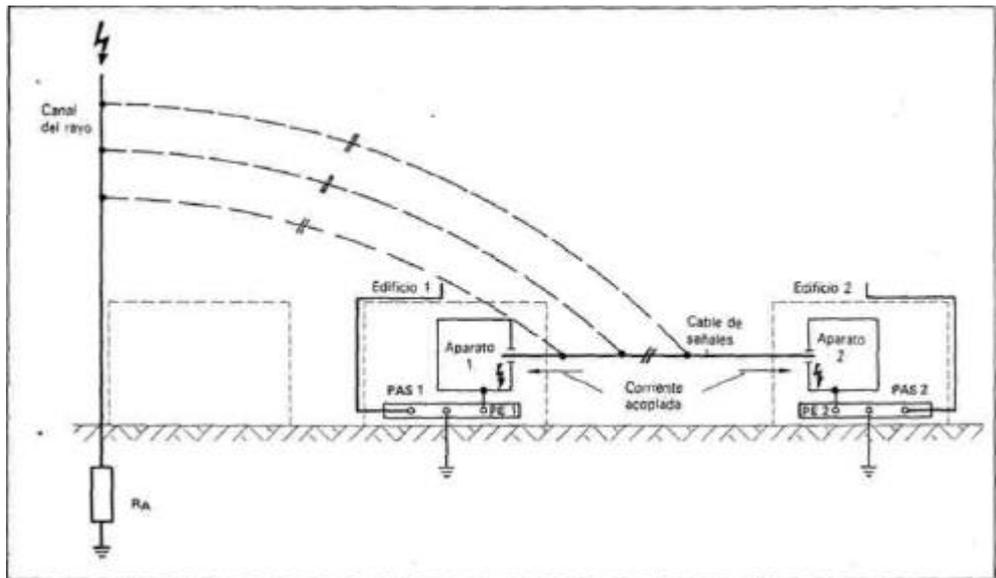


Fig. 3.13. Acoplamiento capacitivo.

3.1.4. Magnitud de las sobretensiones de rayo

En el caso de las descargas de rayo lejanas, se trata en primer lugar del peligro que suponen sobretensiones de algunas decenas de kV. Las intensidades, que aparecen aquí, son relativamente pequeñas. Cuando se trata de descargas directas de rayo, están en primer plano los elevados parámetros de las corrientes de rayo: hay que contar en este caso con intensidades de 150 kA y aún más, pudiendo aparecer, al mismo tiempo, puntas de tensión de algunos cientos de kV.

Al peligro de algunas decenas de kV en caso de descargas lejanas de rayo o al peligro de algunos centenares de kV en caso de descarga directa de rayo se oponen las tensiones de punta de perforación de tan solo algunos kV en las

Tabla 3.2. Tensiones de aislamiento o perforación en circuitos e instalaciones eléctricas de B.T.

Aparatos/Cables/Conducciones		Sobretensión de choque/ Sobretensión de descarga de choque (1,2/50)
Frente a carcasa/Tierra	Aparatos de corriente de alta intensidad	5...8 kV
	Aparatos de telecomunicaciones	1...3kV
Tensiones transversales entre las bornas de entrada de aparatos/circuitos electrónicos	Circuitos con componentes discretos (Resistencias, condensadores, etc.)	0,5...5kV
	Circuitos integrados Técnica bipolar (TTL)	50...100 V*)
	Circuitos integrados Técnica bipolar High Level HTTL Amplificadores operacionales	50...300V*)
	Circuitos integrados Técnica MOS	70...100V
Cable de Telecomunicaciones		5...8kV
Cable de señal y de medida, cables de corriente de alta intensidad		Hasta 20 kV
Cables de corriente de alta intensidad		Hasta 30 kV

instalaciones de baja tensión. (Tabla 3.2). La resistencia a la tensión de algunos componentes electrónicos, empleados en estas instalaciones es únicamente de algunos V.

Resumiendo, el peligro causado por sobretensiones derivadas de la descarga de rayos, es por lo tanto unas 100 hasta 10.000 veces superior a las tensiones de las instalaciones convencionales de baja tensión que éstas pueden soportar sin destruirse.

En consecuencia, estos elevadísimos valores de las sobretensiones originadas por descargas de rayo, deberán reducirse a valores tolerables, claramente por debajo de las tensiones de descarga o de perforación, mediante el empleo de los adecuados aparatos de protección contra sobretensiones. Si se tratara de conseguir una protección, incluso en el caso de descarga directa de rayo, los aparatos de protección contra sobretensiones empleados, deberán estar en condiciones de derivar, sin destruirse, elevadas corrientes parciales de rayo.

3.2. Sobretensiones de conmutación

Las sobretensiones originadas por procesos de conmutación /28/, en instalaciones de alta tensión /29, 30/, pueden actuar, mediante acoplamiento capacitivo, también sobre las instalaciones de baja tensión, produciendo aquí, en casos especiales, sobretensiones de más de 1 5 kV /31/.

Estas sobretensiones de conmutación, en el lado de la alta tensión, pueden producirse, p. ej. a causa de:

- *Desconexión de una línea de alta tensión, que funcionaba sin carga (comportamiento capacitivo):* Cuando el interruptor abre, la capacidad de la línea está cargada al valor de tensión, de la tensión de red que hubiera en el momento de la apertura (Figura 3.14). Con ello pueden producirse, en un plazo de algunos milisegundos, una tan gran diferencia de tensión entre la red y la línea desconectada, que puede dar lugar a un arco inverso entre los contactos de conmutación que no estuvieran aún lo suficientemente alejados uno de otro. La tensión del conductor pasa ahora al valor actual de la tensión de red, con lo que el arco voltaico entre los elementos del conmutador se apaga.

El proceso que acabamos de describir puede repetirse varias veces. La sobretensión de conmutación, producida por el ajuste al valor actual de la tensión de red, presenta un desarrollo de una oscilación amortiguada con una

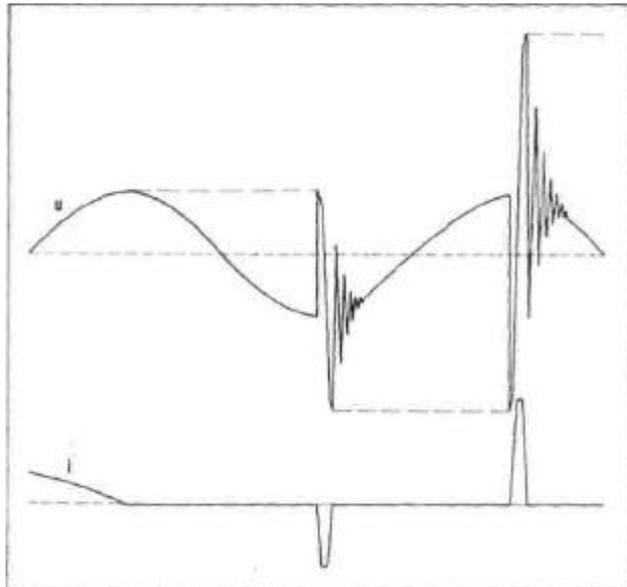


Fig. 3.14. Sobretensión de conmutación, al desconectar una capacidad.

frecuencia de algunos cientos de kHz. La primera amplitud de estas sobretensiones de conmutación, tiene, en cada caso, la magnitud equivalente a la diferencia de tensión entre los elementos de conmutación en el momento de producirse el arco inverso.

Estos valores de la amplitud pueden llegar así, a tener un valor muchas veces superior al de la tensión nominal de red.

- *Desconexión de un transformador de marcha en vacío:*

Un transformador, además de su inductividad tiene también una capacidad del bobinado. Si se desconecta un transformador, que trabaja en vacío, de la red, entonces la capacidad del bobinado se carga a base de la energía del campo magnético. El circuito formado de este modo por la inductancia y la capacidad continúa oscilando hasta que la totalidad de la energía en la resistencia óhmica de este circuito se haya transformado en calor. Las sobretensiones de conmutación, originadas de esta forma, pueden llegar igualmente a presentar valores de la amplitud que superan en mucho los valores de la tensión de red.

- *Derivación a tierra en redes aisladas de tierra*

Si en el conductor exterior de una red no puesta rígidamente a tierra se produce una derivación a tierra, entonces el potencial de la totalidad del sistema de conductores se altera con el valor de la tensión de tierra-conductor, del conductor afectado. Si se produce ahora el arco voltaico, entonces tienen lugar los mismos procesos que en el caso de desconexión de un conductor de funcionamiento en vacío, o respectivamente en la desconexión de un condensador: se producen sobretensiones de conmutación en forma de una oscilación atenuada.

Al lado de estas sobretensiones de conmutación en el lado de la alta tensión, que repercuten capacitivamente sobre las instalaciones de baja tensión, las variaciones repentinas de la intensidad producidas en instalaciones de alta tensión pueden dar lugar en instalaciones de baja tensión a sobretensiones, a causa de acoplamiento inductivos. Estas repentinas alteraciones de la intensidad pueden originarse por:

- Conexión o desconexión de una carga grande.
- Presencia de un cortocircuito, de un cortocircuito de derivación a tierra, o de una doble derivación a tierra.
- Supresión de un cortocircuito, de un cortocircuito de derivación a tierra o de una doble derivación a tierra.

Mediciones efectuadas en conductores de baja tensión (conductores secundarios) en instalaciones de alta tensión, han demostrado que, en caso de procesos de conmutación en el lado de la alta tensión, se pueden presentar sobretensiones con valores punta superiores a 15 kV. /31.32/.

Las causas de sobretensiones por conmutaciones, que se originan en las instalaciones de baja tensión misma, pueden ser:

- *Desconexión de cargas inductivas*, que están conectadas en *paralelo a la fuente de tensión*, como p. ej.: transformadores, bobinas de reactancias, bobinas de relés o contactores. Las sobretensiones de conmutación se producen aquí en forma similar a las descritas arriba en el caso de desconexión de un transformador de alta tensión de funcionamiento en vacío.
- *Desconexión de inductancias en la rama serie del circuito de corriente*, como p. ej.: bucles de conductores, bobinas longitudinales o la inductancia del conductor o de las barras de corriente mismas. Estas inductancias del circuito de corriente intentan mantener el flujo de la corriente incluso en caso de interrupción del circuito. La magnitud de las sobretensiones por conmutación, así originadas, depende de los valores de la corriente en el momento de producirse la desconexión.
- Esta separación de los circuitos de corriente puede efectuarse intencionadamente, mediante *interrupciones o conmutadores*, pero también puede suceder involuntariamente, p. ej.: a causa del disparo de fusibles, o de interruptores de protección o por rotura de algún conductor, antes del paso natural de la corriente por cero. Debido a estas variaciones de la intensidad, producidas repentinamente, se originan sobretensiones de conmutación, generalmente en forma de oscilaciones atenuadas, que alcanzan valores superiores en muchas veces al valor nominal de la tensión en la instalación.
- Estas sobretensiones de conmutación pueden tener lugar también durante el funcionamiento con *control de entrada de fase*; por causa de *chispeo* entre escobillas y anillos en los colectores; por *reducción repentina* de la carga en máquinas y transformadores.

Numerosas mediciones /33/ en diferentes tipos de instalaciones de baja tensión han demostrado que, en las denominadas instalaciones de servicio "rudo" (fabricación, química, fábricas de cables) no suelen presentarse valores extremadamente altos de sobretensiones de conmutación. Sobretensiones particularmente elevadas se producen, por el contrario, al encenderse o ponerse en marcha diversos electrodomésticos: molinillos de café, aspiradores, dispositivos con lámparas fluorescentes etc. Las sobretensiones más importantes se han constatado en los arcos voltaicos de conmutación en aparatos conmutadores.

3.3. IMPULSO ELECTROMAGNÉTICO NUCLEAR

Los sistemas de comunicación, los controles electrónicos y los sistemas de suministro de corriente son de importancia básica para la sociedad actual. El fallo de estos elementos, por espacio de horas o de días, originado por los impulsos electromagnéticos (NEMP) producidos durante una explosión nuclear, podría dar lugar a un caos en las estructuras modernas. La Sociedad Internacional Radio-

Científica, URSI (*Union Radio-Scientifique Internationale*) ha realizado un estudio sobre esta problemática /34/, que pretende llamar la atención de la opinión pública sobre este fenómeno y sobre sus muy serias consecuencias. El trabajo del URSI se ocupa más de las repercusiones del NEMP a un nivel de grandes superficies, sobre los sistemas electrónicos y eléctricos, que sobre los posibles efectos locales, y se basa, para el estudio, en la literatura técnica especializada que es accesible al público.

3.3.1. Explosión a gran altura

Explosiones o detonaciones nucleares a gran altura pueden dar lugar a interrupciones en los sistemas de comunicaciones o de suministro de corriente, aun cuando no se manifiesten otros efectos de dichas explosiones, como pueden ser: onda de presión, calor y precipitación radioactiva.

En estas explosiones a gran altura (explosión exoatmosférica) el impulso electromagnético NEMP de una sola explosión, actuaría sobre toda la superficie terrestre visible desde el punto de la explosión, es decir, que podría extenderse a todo un país o incluso a todo un continente (Figura 3.15).

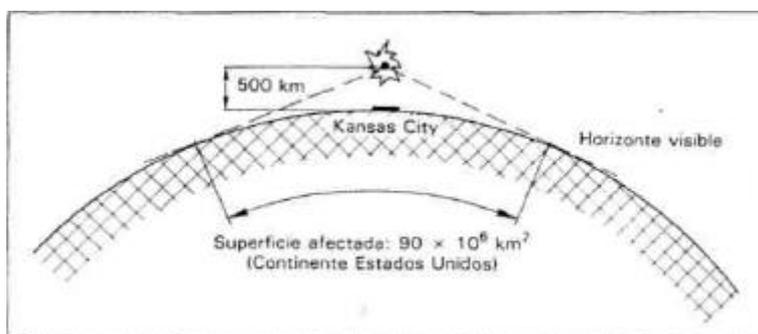


Fig. 3.15. NEMP-Superficie afectada.

Al producirse la explosión se produce una irradiación de rayos gamma, (figura 3.16), que tendría una duración del orden de algunos nanosegundos. Los cuantos de rayos gamma, que se mueven en dirección a la tierra, alcanzarían a una altura de 20 a 40 km. a las capas atmosféricas más densas, y extraerían de las moléculas del aire (Efecto Compton) electrones, en una zona de ionización con la conocida forma del hongo nuclear. Estos electrones en principio, se mueven por lo regular en sentido radial desde el foco de la explosión. Debido al campo magnético de la tierra, estos electrones son desviados de su dirección primitiva, y se producen así componentes transversales de la corriente, lo cual origina a su vez un nuevo impulso electromagnético radial (dirigido esta vez directamente hacia la superficie de la tierra) de mayor energía.

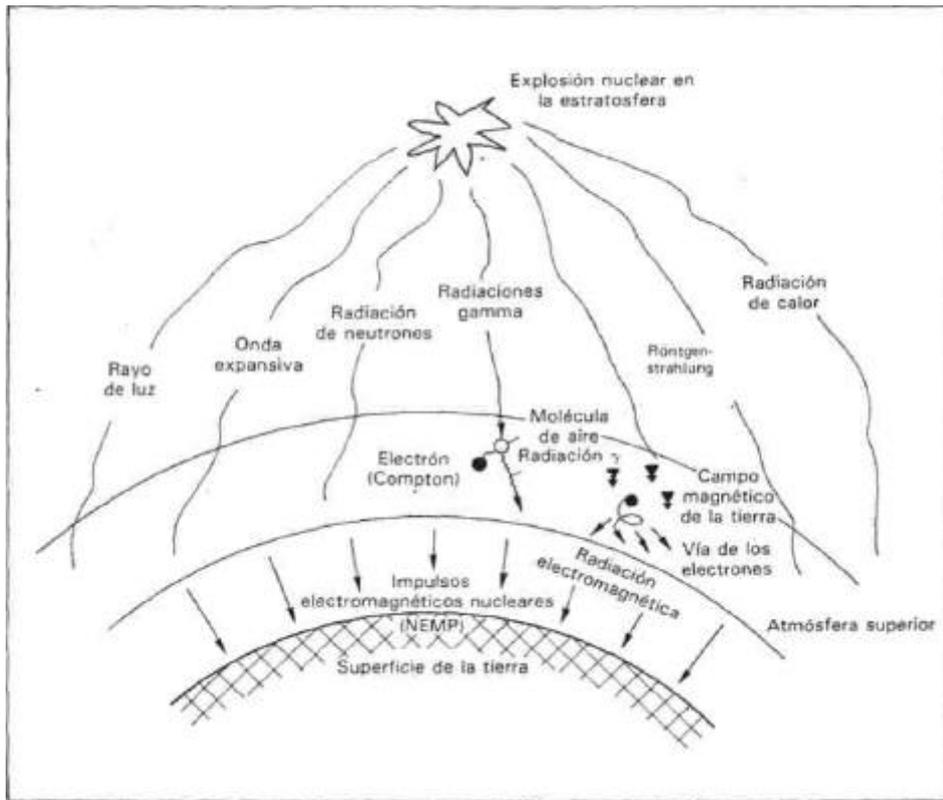
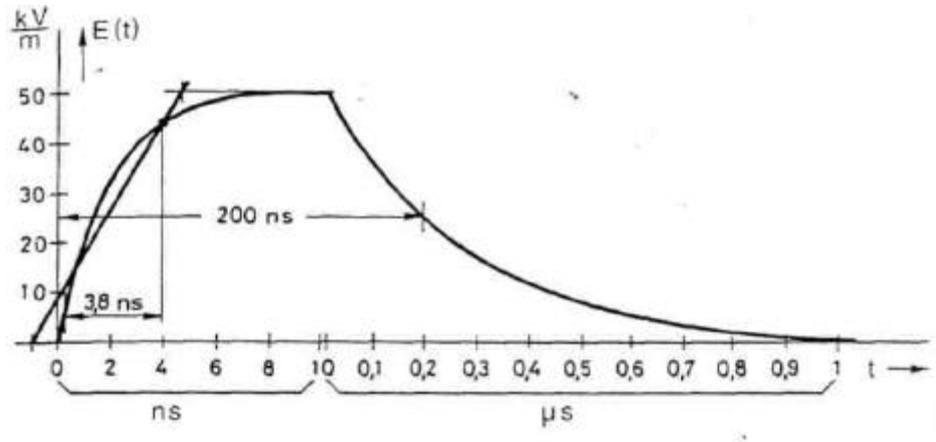


Fig. 3.16. NEMP producidos por explosión nuclear a una altura muy elevada.

El NEMP (figura 3.17) tiene un tiempo de ascenso de menos de 10 nanosegundos y la duración del mismo está en su orden de algunos cientos de nanosegundos. Estos tiempos difieren notablemente de los tiempos de sobretensiones originados por procesos atmosféricos o por procesos de conmutación.

En consecuencia, la protección lograda frente a estas sobretensiones (atmosféricas y de conmutación) no representan una protección contra el impulso electromagnético nuclear.

Otro tipo de impulso electromagnético puede ser producido por la influencia sobre el campo magnético de la tierra, derivado de una explosión nuclear. Este impulso tiene una amplitud bastante más pequeña, pero una duración mucho mayor (centésimas de segundo) que el descrito anteriormente y se conoce con el nombre de NEMP magnético-hidro-dinámico (MHD-NEMP). Los campos del MHD-NEMP dan lugar a perturbaciones en los cables de tierra y en los cables submarinos, tanto en los cables de telecomunicaciones como en los cables de suministro de corriente.



$$E = E_0(e^{-t/t_1} - e^{-t/t_2}) \quad t_1 = 270\text{ns} \quad t_2 = 1,9\text{ns}$$

$$E_0 = 52,2 \text{ kV/m}$$

Fig. 3.17. Componentes eléctricos de HEMP.

3.3.2. Consecuencias y repercusiones

En esta época de las Técnicas de la Información, la sociedad se ha hecho dependiente de los sistemas electrónicos, los cuales son muy sensibles frente a sobretensiones y sobreintensidades de corto tiempo. Las redes de telecomunicaciones, redes de alta tensión, redes de tendido eléctrico de ferrocarriles, todo el sistema de control del tráfico aéreo, los suministros de agua y de gas, y la totalidad de los procesos industriales están dirigidos y regulados por elementos, dispositivos e instalaciones que, normalmente, contienen semiconductores que precisamente están sumamente expuestos a los efectos del NEMP.

Ahora bien, el que todos estos equipos e instalaciones fallasen en caso de una explosión nuclear a grandes alturas, es algo que depende de muchos factores, entre ellos de la construcción y del dimensionado de los sistemas. Todos los elementos conductores eléctricos, expuestos al NEMP, pueden absorber energía, como una antena, y conducir dicha energía hasta que ésta se transforme en ca-

lor, y en parte se realiza esta transformación con acompañamiento de paso de chispas. Esto se puede aplicar en mayor medida a las líneas de telecomunicación. La intensidad del campo eléctrico puede ser hasta millones de veces superior a las intensidades del campo eléctrico utilizadas normalmente para los fines de telecomunicación, es decir, que pueden llegar a ser, por ejemplo, 10^{11} mayores que las intensidades de campo para las que está dimensionado un receptor de radio de FM (ondas ultracortas).

En una red extensa, los impulsos electromagnéticos pueden influenciar o destruir, prácticamente simultáneamente en diversos puntos, los consumidores o medios de servicio conectados. Si bien se considera por muchos autores que las sobretensiones originadas por rayos o por conmutaciones son mucho más elevadas que las producidas por NEMP, sin embargo la presencia simultánea de impulsos en la mayor parte de redes muy complejas, hace que nos enfrentemos a una situación totalmente nueva, la cual, bajo ciertas condiciones, puede interferir gravemente, o incluso destruir la estabilidad y la potencia de dichas redes. Además¹ son posibles efectos adicionales, de suma importancia sobre las redes síncronas (p. ej. sobre las redes de suministro de corriente). Inestabilidad y cargas aún superiores pudieran ser el resultado de varios impulsos electromagnéticos.

Cualquier cálculo real del riesgo debe basarse en destrucción total o en graves daños de los sistemas de comunicación, del suministro de corriente y de los equipos electrónicos. Con todo ello pudiera tener lugar, entre la población civil, una situación auténticamente caótica. La situación más difícil sobrevendría como consecuencia de los posibles fallos de largo tiempo, producidos a causa de la destrucción de equipos e instalaciones esenciales, para los que primero, habría que fabricar y luego montar las piezas de repuesto. La posible interrupción de las comunicaciones internacionales podría ejercer asimismo influencias nefastas sobre el desarrollo de una descarga nuclear.

En el sector del análisis, verificación y diseño de medidas de protección contra el impulso electromagnético nuclear se han realizado ya numerosos trabajos científicos, pero aún hay que seguir estudiando otros muchos aspectos parciales del problema.

3.3.3. Otros efectos

Debido a una serie de efectos secundarios, las explosiones nucleares en la atmósfera pueden alterar las características de la ionosfera y la atmósfera misma, originando así una serie de efectos y repercusiones sobre la comunicación y la propagación de las radio-ondas en todas las frecuencias. Estos efectos dan lugar, entre otras consecuencias, a graves ruidos y perturbaciones para la transmisión; elevan la densidad de los electrones e iones; ocasionan alteraciones estructurales y modificaciones de la composición química a largo plazo. En especial, en el sector de la comunicación por onda corta, se pueden interrumpir las comunicaciones por muchas horas. Igualmente es cuestionable si las señales procedentes

de satélites de telecomunicaciones estarán en situación de atravesar las capas de la ionosfera, alteradas por la explosión nuclear.

También el efecto Argus, en el que partículas cargadas rodean las órbitas del campo magnético de la tierra, puede interferir, perturbar o incluso imposibilitar la propagación de las radio-ondas, y la comunicación vía satélite. Finalmente, las detonaciones nucleares pueden generar cinturones artificiales de electrones, que rodeen a la tierra, y que permanecerán a lo largo de meses.

Además de todos los efectos enunciados, las irradiaciones Gamma, las radiaciones de neutrones y los rayos X (*Transient Radiation Effects*, **TRE**), pueden ocasionar alteraciones o modificaciones temporales, pero a veces definitivas, de las propiedades y características de los componentes semi-conductores y de otros productos y materiales sensibles de precisión.

Interés especial ofrece el estudio de estos efectos sobre los satélites en el espacio, alejados notablemente del punto de una explosión nuclear, ya que en este caso, al encontrarse los satélites fuera de la atmósfera, no puede actuar ésta como filtro para las radiaciones. Debido a la interrelación y a los efectos de realimentación entre estas radiaciones y el sistema, se origina un impulso electromagnético generado por el sistema (*System Generated EMP*, **SGEMP**), que supone un grave peligro para los sistemas de satélites.

Las explosiones nucleares a baja altura dan lugar a la onda de explosión, a temblores en la tierra, radiación térmica, radiación radiactiva directa, precipitaciones radiactivas y un impulso electromagnético (NEMP endoatmosférico). Las redes de suministro de corriente y de comunicaciones son casi siempre sensibles a estos efectos. En determinados casos, los fallos y averías ocasionados por NEMP pueden afectar a una zona mucho más amplia que la zona de averías producidas por la onda de presión y por la onda térmica. Sin embargo, por lo menos, los efectos para la vida civil de un NEMP endoatmosférico no parece que fueran a ser de la misma magnitud que los dilatados efectos de un NEMP exoatmosférico.

4. Medidas de protección

Para el dimensionado de las medidas de protección, es de importancia primordial la determinación de si el aparato o el sistema ha de ser protegido contra destrucción solamente, o también contra averías y fallos. Así como las averías en los aparatos están en primer plano de las consideraciones "clásicas" sobre "Compatibilidad electromagnética" (EMV), en las consideraciones relativas a la protección contra sobretensiones tiene prioridad la posible destrucción del aparato.

Contrariamente a las averías o perturbaciones electromagnéticas habituales, las descargas de rayo y las explosiones nucleares son fenómenos relativamente escasos, y de corta duración. Por lo tanto, en general, habrá que limitarse a poder proteger a un aparato contra la destrucción originada por sobretensiones, asumiendo, a cambio, errores o falseamientos a corto plazo, en las señales y su propagación. Así se procederá, por lo regular, en las instalaciones de baja tensión, en muchos sectores de la técnica de medida, regulación y control, en la técnica de telecomunicaciones y en el tratamiento electrónico de datos. Tan sólo en casos excepcionales, como por ejemplo en los controles y regulaciones de las centrales nucleares, en las instalaciones avisadoras de peligro y en instalaciones militares de disponibilidad operativa inmediata y constante, no deben producirse falseamientos de las señales como consecuencia de descargas de rayos o de explosiones nucleares. Entretanto se está planteando la tarea de combinar la protección contra descargas de rayo con la protección contra sobretensiones de conmutación, contra descargas electrostáticas y contra impulsos electromagnéticos nucleares.

Las medidas que se van a describir en las páginas siguientes, como p. ej.: protección exterior contra rayos, protección interior contra rayos, apantallamiento, blindaje, limitación de sobretensiones, etc, son medidas que en la actualidad se superponen y se complementan. Todas estas medidas deben ser tomadas en consideración, si ello es posible, al planificar la construcción de las instalaciones; pero también pueden incorporarse, en parte, a posteriori a edificaciones, construcciones o instalaciones eléctricas ya existentes.

4.1. PROTECCIÓN EXTERIOR CONTRA RAYOS

Tanto en DIN VDE 0185/1/, como también en la normativa internacional de protección contra rayos /2, 3/, se hace una clara diferenciación entre "protección exterior contra rayos" y la "protección interior contra rayos", o respectivamente entre "Instalación exterior de protección contra rayos" y la "Instalación interior de protección contra rayos".

Se denomina "protección exterior contra rayos" a la totalidad de todos los dispositivos e instalaciones en el exterior, encima y adosados a la instalación que se ha de proteger, para captar y derivar la corriente de rayo a la instalación de puesta a tierra (Figura 4.1).

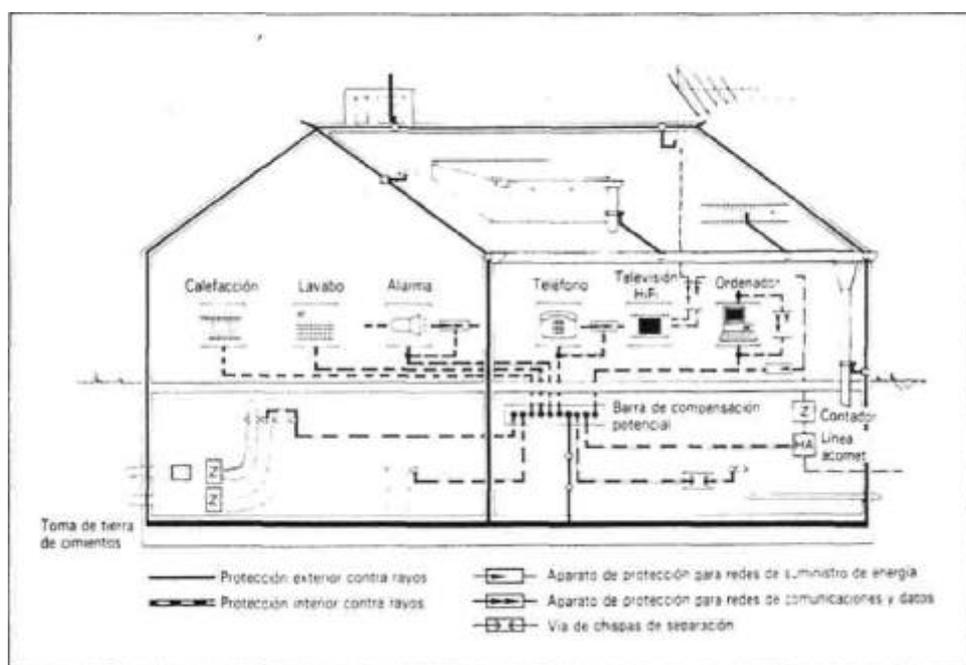


Fig. 4.1. Protección interior y exterior contra descargas de rayos, según DIN VDE 0185.

4.1.1. Dispositivos pararrayos

Se denominan *dispositivos pararrayos* a la totalidad de los elementos o piezas metálicos, situados encima, al lado, lateralmente, o cerca de la instalación que se trata de proteger, y que sirven como puntos para descarga del rayo.

El espacio de protección es el espacio considerado como protegido por un dispositivo de pararrayos frente a las descargas de rayo. En la Directriz VDE de protección contra rayos /1/, se subordina a los dispositivos de pararrayos de una altura de hasta 20 metros sobre el nivel del suelo, un espacio de protección, dentro del cual se considera que las construcciones e instalaciones se encuentran protegidas.

Para una línea captadora de pararrayos única, dispuesta horizontalmente, se define un *ángulo de protección* de 45° —medido en relación con la vertical. El espacio de protección así definido, incluye un espacio en forma de pabellón situado por debajo de la línea de pararrayos, y finaliza en los extremos del conductor de pararrayos en un cono inferior a 45° , cuyo extremo superior viene representado por la línea captadora de pararrayos misma. (Figura 4.2). Análogamente se expresa el espacio de protección de una punta captadora de hasta 20 metros de altura, por medio de un cono por debajo de 45° —medido frente a la vertical—, y cuya punta superior coincide con el extremo de la punta captadora. La forma más convencional del tendido de conductores de tejado sobre la superficie de la terraza (o superficie) del remate de un edificio, muy extendido, se describe en forma de un dispositivo pararrayos, en forma de malla, cuya abertura de mallas no debe ser mayor de 10 m x 20 m. Todo el espacio del edificio situado por debajo de esta estructura, puede considerarse como protegido (Figura 4.3). En /35/, se hace clara referencia al hecho de que se trata aquí de un espacio protegido estadístico, por el que son detenidos el 95% de todos los rayos que puedan descargar. Para aproximadamente un 5% de los eventuales rayos, hay que contar que éstos pueden descargar en el espacio protegido mismo o entre las mallas. Como en este tipo de rayos se trata de descargas con valores cresta de la intensidad muy bajos, (inferiores a 7 kA) los daños que podrían originar son de muy pequeña entidad. Según esta directriz VDE, y tal como se muestra en la figura 4.4 los edificios de altura superior a 30 metros, se protegen en las paredes laterales del edificio mediante líneas captadoras dispuestas en las paredes exteriores del edificio horizontalmente, para prevenir las descargas laterales de rayos, (a partir de 30 metros de altura, hay que instalar estas líneas cada 20 metros).

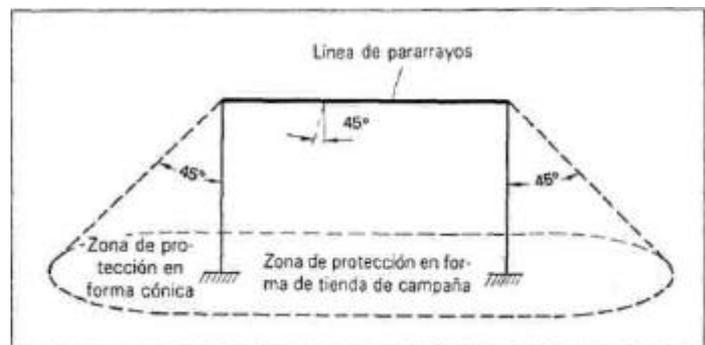


Fig. 4.2. Zona de protección de una línea pararrayos.

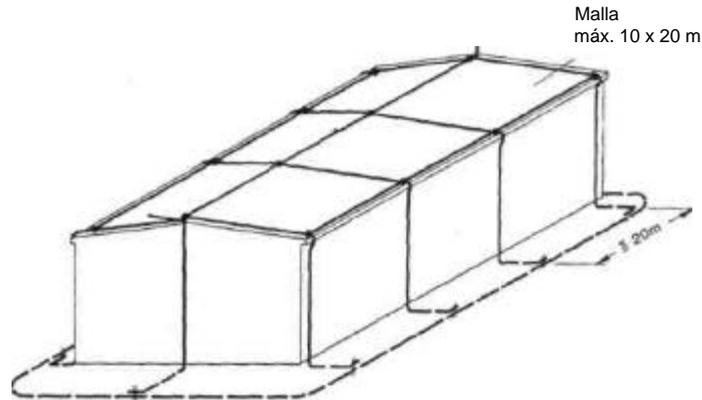


Fig. 4.3. Dispositivos pararrayos en forma de malla (máxima abertura 10 X 20 m) y derivadores situados a distancia unos de otros, de 20 m como máximo.

En los últimos años se ha impuesto, internacionalmente, el denominado *procedimiento de esfera de rayo* /26/ para determinar el espacio verdaderamente protegido contra descargas de rayos. Este procedimiento se puede aplicar en general, y en los objetos a proteger que presenten las más variadas y complejas formas, y también con una estructura cualquiera de los dispositivos pararrayos por muy sofisticados y complejos que éstos sean. El procedimiento se basa sobre la física de la descarga del rayo y tiene en cuenta, naturalmente, todas las condiciones marginales físicas en la determinación del espacio protegido.

Por lo general, se procede de la forma que describimos a continuación para realizar la determinación del espacio protegido, según el procedimiento del rayo de bola (esfera) /36/:

Se reproducen los objetos a proteger, p. ej. edificios, estadios deportivos, o instalaciones industriales, y los dispositivos de pararrayos previstos, en un modelo (p. ej. a una escala de 1:100 hasta 1:500). Después se construye una esfera, de acuerdo con la escala, con un radio que equivale a la longitud postulada de la descarga de captación del rayo. El modelo electrogeométrico se basa en considerar que el centro de la esfera se corresponde con la cabeza del rayo directriz, el cual se ha aproximado tanto a la tierra que la descarga de captación, que se produce desde el objeto puesto a tierra más próximo a él, da lugar a la unión con el rayo. En la práctica se aplican radios de esfera de 30 hasta 60 metros, sin olvidar que la seguridad de la protección se va reduciendo conforme se hace mayor el radio.

La "esfera de rayo" se hace pasar rodando, alrededor de todo el modelo (Figura 4.5), y también en todas las posiciones posibles. Si al hacer ésto, la esfera solamente toca las dispositivos pararrayos, ello indica que el objeto a proteger se encuentra totalmente situado dentro del espacio de protección. Si no se tocan algunos de los dispositivos pararrayos, éstos pueden considerarse superfluos. Si la bola, al hacerla girar por encima del modelo, toca el objeto a proteger en algún

punto, dicho objeto se encuentra insuficientemente protegido en este punto, y hay que completar la instalación de los elementos pararrayos de forma que la bola toque solamente a éstos. Cuando se trate de configuraciones muy sencillas de los dispositivos de pararrayos, como pueden ser p. ej. únicas puntas captadoras, o líneas captadoras, puede prescindirse de la realización de un modelo o maqueta, y verificando el efecto de protección mediante el análisis de la situación, basándose sobre el efecto antes indicado de la "esfera de rayo".

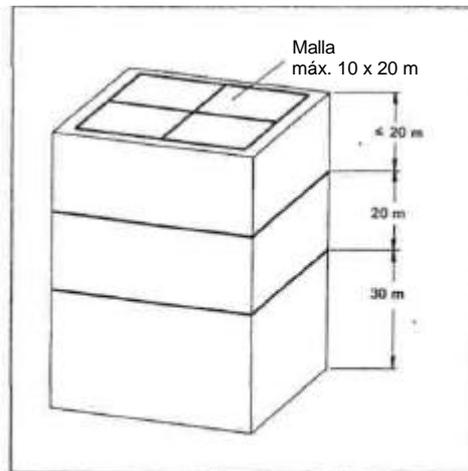


Fig. 4.4. Conductores pararrayos dispuestos en edificios de más de 30 m de altura.

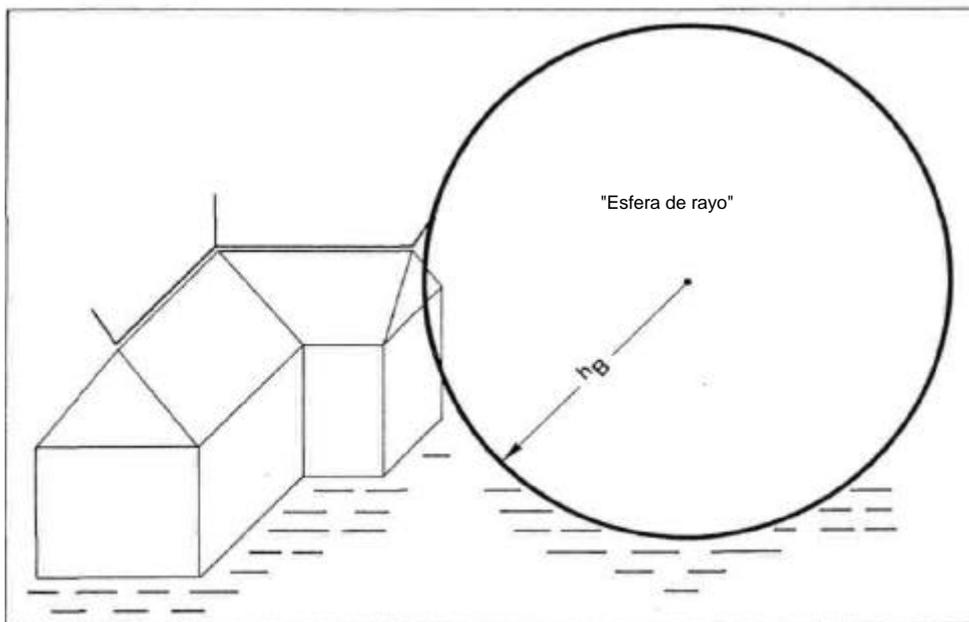
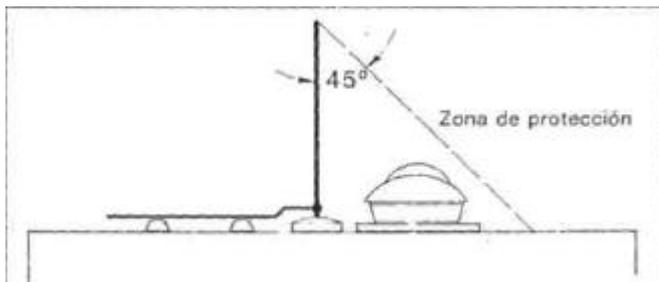


Fig. 4.5. Método para determinar el efecto de protección de las puntas y líneas captadoras, instalados en un edificio.

Instalaciones y equipos eléctricos y de maquinaria, de ascensores, instalaciones de aire acondicionado, etc, en los tejados, no deben unirse a los dispositivos pararrayos, en prevención de eventuales daños producidos por corrientes parciales de rayo. Instalaciones eléctricas de menores dimensiones, instaladas en los tejados, p. ej. ventiladores, pueden protegerse mediante la colocación de puntas captadoras, instaladas junto a dichos equipos, tal y como se muestra en la figura 4.6. (Tener en cuenta las distancias mínimas según /1, 3/.

Instalaciones de aire acondicionado y de ventilación de mayores dimensiones, situadas en los tejados o terrazas, se protegen más efectivamente por medio de líneas captadoras, dispuestas sobre dichas instalaciones, como se muestra en la figura 4.7.



Protección de un ventilador de tejado mediante una punta de captación según VDE 0185

Fig. 4.6. Protección de un ventilador de tejado, mediante una punta captadora según DIN VDE 0185.

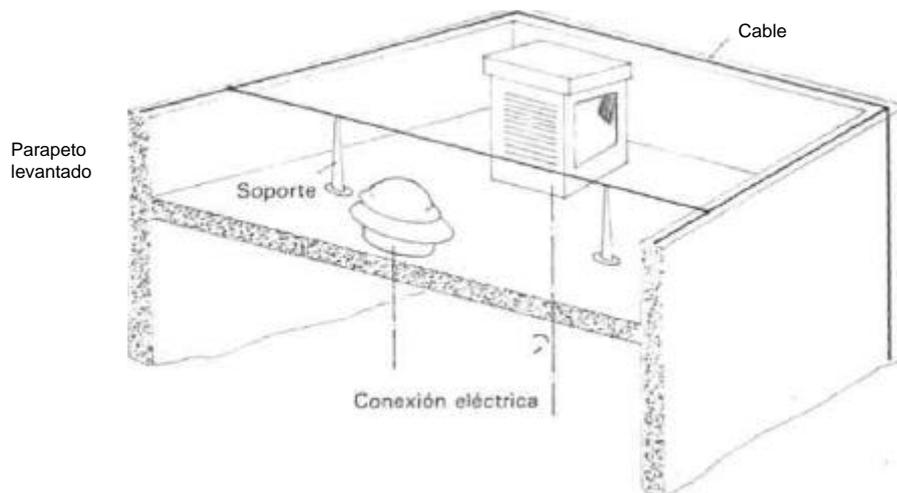


Fig. 4.7. Disposición de un plano de mallas "elevado" para tejados con elementos accionados eléctricamente en el tejado.

4.1.2. Derivadores

Se conoce con el nombre de derivadores a conexiones conductoras eléctricas, instaladas entre los dispositivos pararrayos y la instalación de puesta a tierra. En la directriz VDE de protección contra rayos /1/, se recomienda la instalación de las líneas captadoras y de los derivadores a unas distancias entre 5 hasta 7 metros, cuando se trata de proteger instalaciones amplias de redes de comunicaciones o de proceso de datos. Además en estas instalaciones se deben incluir los armados de todos los techos, paredes y suelos en la instalación de protección contra rayos.

4.1.3. Instalación de toma de tierra

La instalación de toma de tierra es el conjunto de todas las tomas de tierra locales, conectadas entre sí eléctricamente, o de las piezas de metal que actúan como tomas de tierra y de los cables de puesta a tierra.

Según DIN VDE 0800, parte 2 /4/, para los edificios de nueva construcción se recomienda la instalación de toma de tierra de cimientos /37/, que se encuentra empotrada, protegida contra la corrosión en los cimientos del edificio, y que rodea a la construcción en forma anular. La toma de tierra de cimientos debe estar provista de suficientes banderolas de conexión, para poder efectuar la conexión en el exterior de las derivaciones (situadas por ejemplo a una distancia de 5 metros entre sí), y en el interior del edificio para conexión de la compensación de potencial para protección contra rayos, (ver párrafo 4.2), de la compensación de potencial principal (según DIN VDE 0100, parte 410 /38/), y del colector de puesta a tierra (según DIN VDE 0800, parte 2 /4/). Los armados de los cimientos de un edificio se conectan a la instalación de toma de tierra (Figura 4.8). Si no fuera posible efectuar la instalación de una toma de tierra de cimientos, la mejor solución en estos casos es efectuar una toma de tierra circular según /1/.

4.2. PROTECCIÓN INTERIOR CONTRA RAYOS

La protección interior contra rayos, según /1/ es el conjunto de todas las medidas adoptadas contra las repercusiones de la corriente de rayo y de sus campos eléctricos y magnéticos sobre instalaciones y equipos eléctricos, dentro de un edificio.

Las normas para la protección interior contra rayos, se especifican en DIN VDE 0185 /1/, DIN VDE 0800, parte 1 /39/, DIN VDE 0800, parte 2 /4/, DIN VDE 0845 /5/ y IEC-81. /3/

La supresión de las diferencias de potencial, originadas con motivo de una descarga de rayo, requiere determinadas medidas, que van más allá de las exigen-

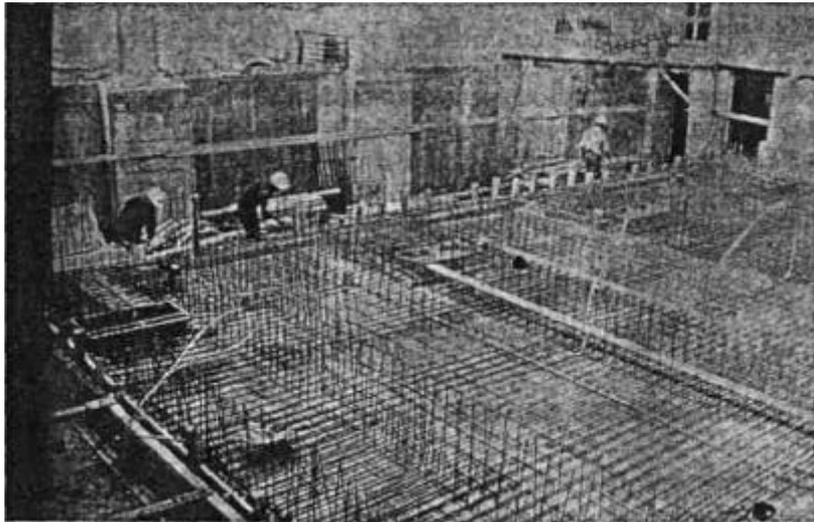


Fig. 4.3. Los maliazos de acero en los cimientos de un edificio, se unen con flejes de acero a fin de hacerlos conductores eléctricamente entre sí. (Foto Neuhaus).

cías según DIN VDE 0100, parte 410 y 540, /38,40/, y de **DIN VDE 0190 /41/** y que se denominan *compensación de potencial para protección contra descargas de rayos*.

La realización de una compensación de potencial para protección contra rayos, completa y total, es una exigencia ineludible para conseguir el objetivo de una perfecta protección interior contra rayos, o respectivamente para protección contra sobretensiones causadas por descargas de rayo; imprescindible para los equipos e instalaciones eléctricas y sobre todo electrónicas, de técnicas de información y de proceso de datos en los edificios. Mediante estas medidas, todas las instalaciones eléctricas de un edificio (incluidos los conductores de tensión de las instalaciones eléctricas que son receptores de sobretensiones) se elevar uniformemente al potencial que se presenta en la instalación de toma de tierra al producirse la descarga de un rayo: entre ellos no aparecen así peligrosas diferencias de potencial. /42/. La base de dimensionado para los materiales, componentes, piezas (como barra de compensación de potencial, bombas, etc) dentro del marco de la compensación de potencial para protección contra rayos, al igual que el dimensionado de los derivadores de sobretensiones, son los parámetros de la corriente de rayo.

Los parámetros de peligrosidad de la corriente de rayo, en caso de descarga directa de rayo, se recogen en las normas siguientes:

- Normas para aparatos de defensa VG 96 901 (para exigencias normales y para exigencias elevadas) /43/.
- Reglas de la Comisión Técnica Nuclear KTA 2206 (para rayos positivos y negativos, al igual que para rayos negativos múltiples; en preparación)

- Norma internacional de protección contra rayos IEC -81 /3/ (está previsto incluir una diferenciación para las diferentes clases de protección).
- DIN 48 810 /44/.

Los parámetros más importantes se recogen en las figuras 4.9 y 4.10.

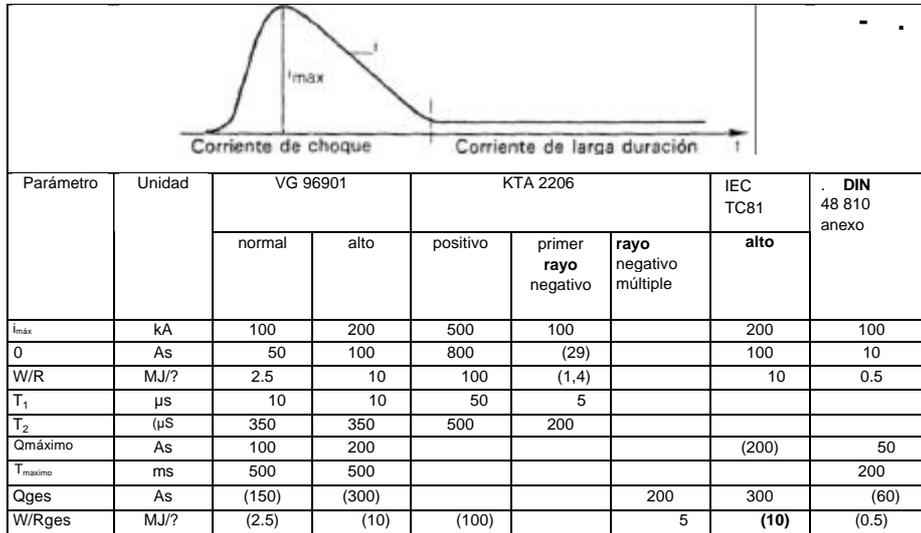


Fig. 4.9. Parámetros de la corriente del rayo en caso de descarga directa ("parámetros de energía").

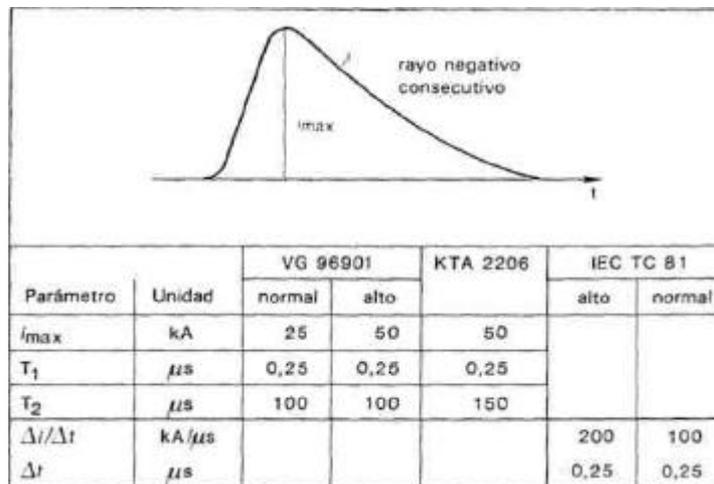


Fig. 4.10 Parámetros de la corriente del rayo en caso de descarga directa ("parámetros de pendiente de la corriente").

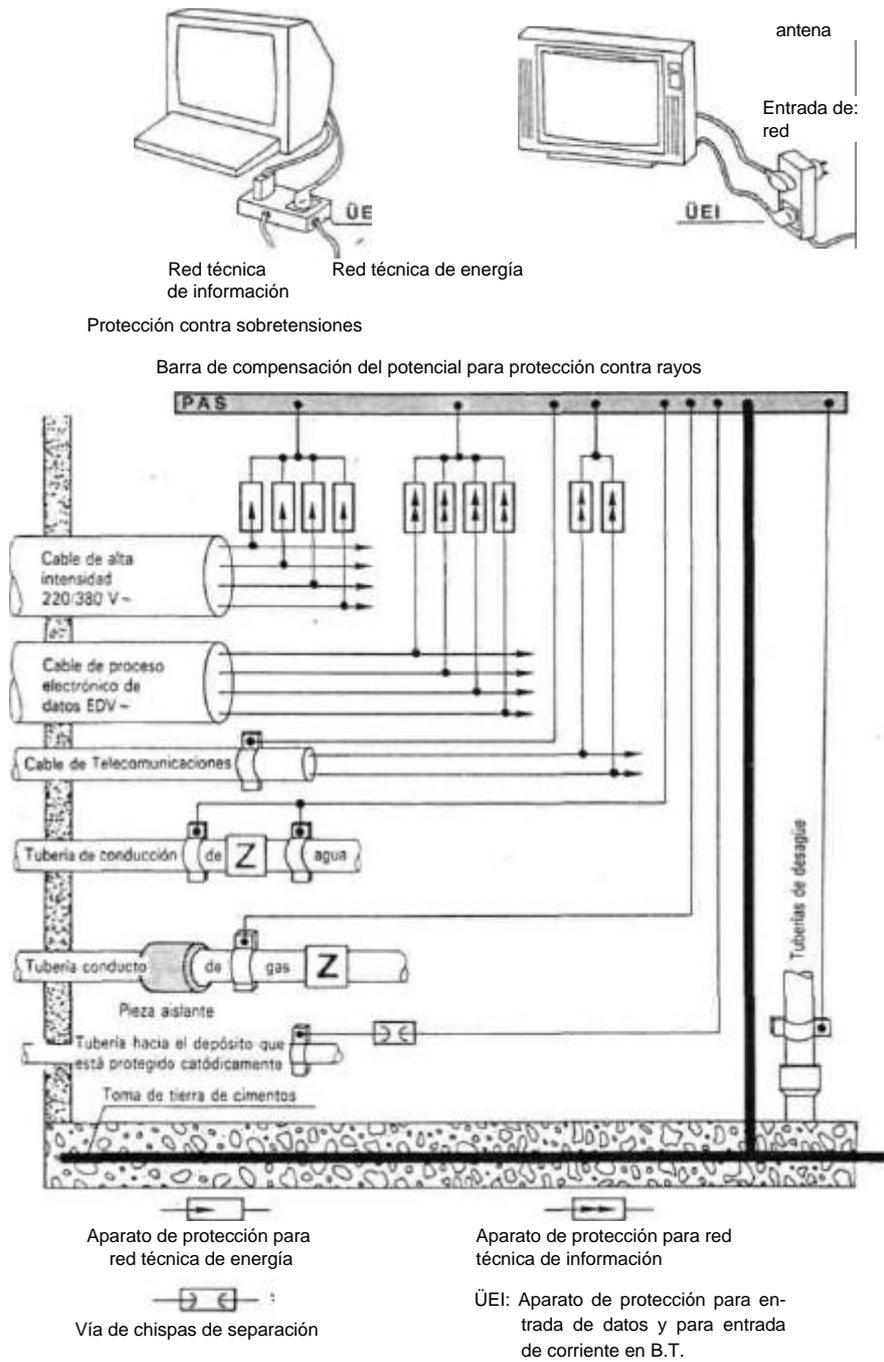


Fig. 4.11. Protección contra rayos. Compensación de potencial y protección contra sobretensiones.

En la actualidad, la compensación de potencial para protección contra rayos (figura 4.11), es algo considerado como imprescindible; representa la conexión de todas (sin excepción) las tuberías y conducciones metálicas que penetran en el edificio, es decir, también de los conductores de alimentación de B.T. y de los cables de telecomunicaciones, a la instalación de toma de tierra para protección contra rayos, por medio de conexiones directas, o a través de vías de chispas de separación y de descargadores de sobretensiones cuando se trate de cables conductores de tensión. Esta compensación de potencial para protección contra rayos se suele tener a nivel de suelo, lo más cerca posible al punto de entrada de los conductores (que en el caso ideal deberían penetrar todos por el mismo punto), y se efectúa con ayuda de una así llamada Barra colectora de compensación de potencial. En combinación con la compensación de potencial según las directrices VDE, sobre todo según DIN VDE 0100 /38, 40/, 01 90 /41 /, 0800 /39,4/ y según 0845 /5/, se asegura que toda la instalación de tuberías metálicas de un edificio, se encuentren conectadas a la barra de compensación de potencial, con lo que están incluidas en la instalación de protección contra rayos.

Conductores, instalaciones y tuberías metálicas, que penetran en una construcción, y que se conectan a la barra de compensación de potencial para protección contra rayos, son p. ej.:

- Tomas de tierra de telecomunicaciones
- Tomas de tierra según DIN VDE 0141 /45/
- Tomas de tierra auxiliares
- Tomas de tierra de medida
- Conductores blindados
- Cables de telecomunicaciones
- Cables de antena
- Cables de energía (tomando en consideración DIN VDE 0100 /38,40/
- Cañerías y tuberías de agua
- Tuberías de calefacción
- Tuberías del suministro de gas /47/
- Conductos de aire acondicionado

Elementos y conductores metálicos, *dentro* de un edificio, que deben ser conectados a la barra de compensación de potencial para protección contra rayos, son:

- Tuberías y cañerías de conducción de agua
- Tuberías de gas
- Tuberías de calefacción
- Tuberías para dispositivos extintores de fuego
- Guía y carriles de los ascensores
- Equipos o instalaciones de grúas
- Canales de ventilación y de acondicionamiento de aire.

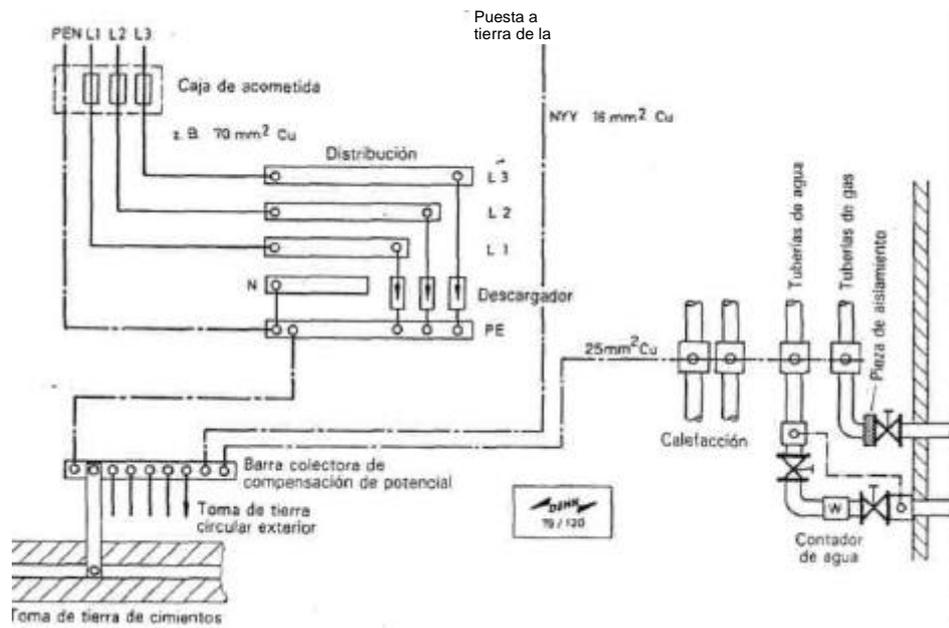


Fig. 4.12. Compensación de potencial con neutro unido (redes TN).

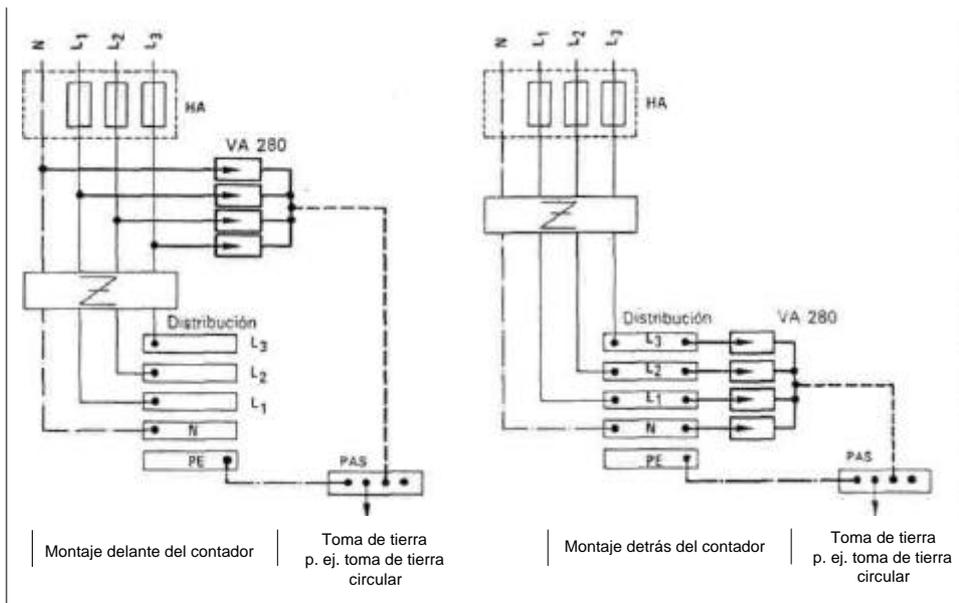


Fig. 4.13. Empleo de descargadores en caso de toma de tierra de protección (redes TT).

Según DIN VDE 01 85, parte 1 /1/, se deben conectar a través de descargadores (Figura 4.12 y 4.13), los siguientes elementos:

- Conductores y cables bajo tensión (conductores activos) de la instalación de corriente de baja tensión, con tensiones nominales hasta 1000 V.
- Conductores neutros (conductor N), en los que no esté autorizada la puesta a Tierra.

En la figura 4.14 /26/ se ha representado la compensación de potencial de protección contra rayos en una instalación industrial.

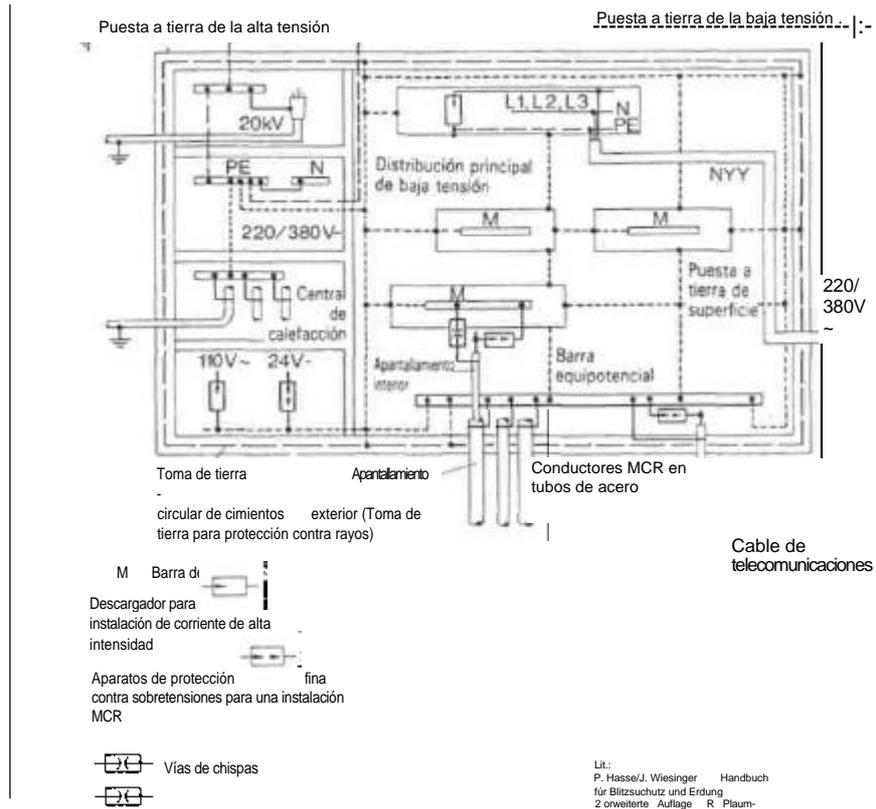


Fig. 4.14. Compensación de potencial en la Central de Control de una estación de compresión de gas.

4.3. BLINDAJE

El blindaje o apantallamiento de edificios, locales y aparatos se encuentra entre las medidas preventivas para evitar formación de sobretensiones en el inte-

rior de los mismos. Las medidas de apantallamiento o blindaje, han de ser previstas, ya, al realizar el proyecto de la construcción, pues simplifican y facilitan la adopción de otras medidas posteriores de protección, p. ej. el empleo de aparatos de protección contra sobretensiones.

Un blindaje contra los campos electromagnéticos debe realizarse, siempre que sea posible, en forma de envolturas cerradas de superficies — los conductores o cables eléctricos que penetren a través de este blindaje o apantallamiento se introducen a través de tubos de entrada metálicos, a los que se unen los blindajes metálicos de los cables, y en los que los conductores interiores de los cables se equipan con aparatos de protección contra sobretensiones, antes del punto de entrada.

4.3.1. Blindaje de edificios

Mediante la interconexión y la puesta a tierra de todos los componentes metálicos de un edificio (p. ej. elementos metálicos de las fachadas, armaduras de acero del hormigón, vigas y otros elementos portantes metálicos), se consigue un blindaje electromagnético de bastante importancia /1;4/.

En la figura 4.15 /50/, se muestra la forma de aprovechar la armadura de las estructuras metálicas del hormigón armado para el apantallamiento o blindaje del edificio. En la figura 4.16 /50/ se representa gráficamente la medida alcanzable de atenuación en el blindaje, en dependencia de la amplitud de mallas, del diámetro de los armados de acero en el hormigón y de la frecuencia.

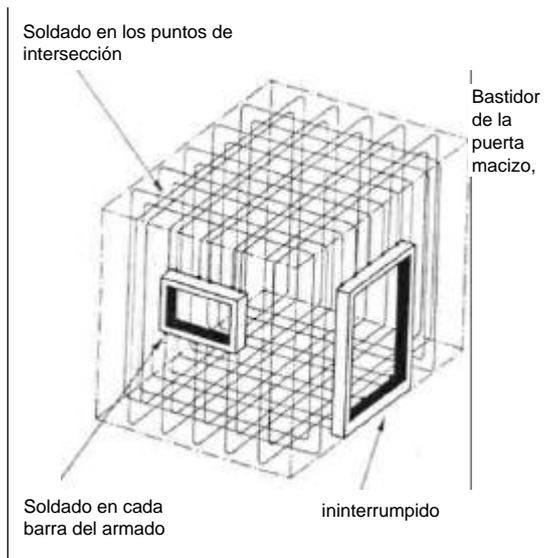


Fig. 4.15. Representación esquemática de un apantallamiento realizado con armados de hormigón, con orificios.

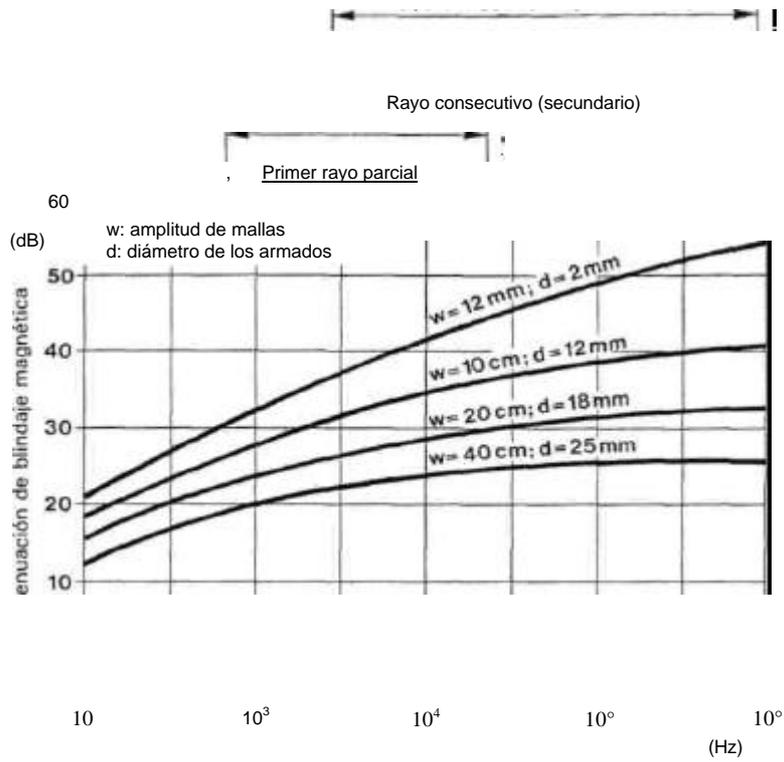


Fig. 4.16. Medida de la atenuación de blindaje de un apantallamiento realizado con armados de hormigón.

En la figura 4.17 se ha representado la medida de atenuación de blindaje en el centro de un local apantallado, detrás de huecos.

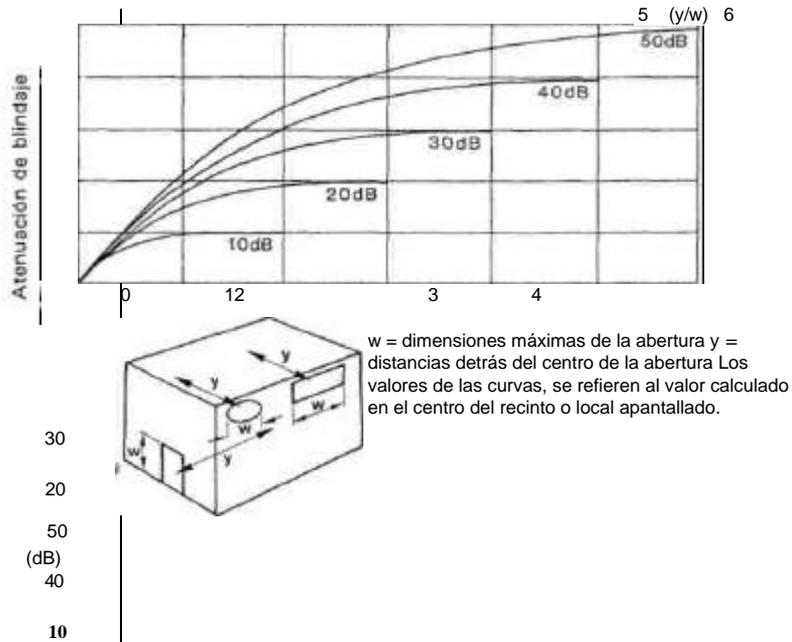


Fig. 4.17. Medida de la atenuación de blindaje detrás de los orificios o aberturas en un local o recinto apantallado.

Cuando se conecten las instalaciones vecinas por medio de cables o conductores de energía o de información, éstos deben ser, de acuerdo con DIN VDE 0845, parte 1 /5/:

- Cables con estructura de protección contra rayos
- Deben estar introducidos en tubos de acero de protección
- Se habrán de introducir en canales para cables realizados en hormigón, con armadura de acero continua y conectada (Figura 4.18) (ver también a este respecto párrafo 4.3.4).

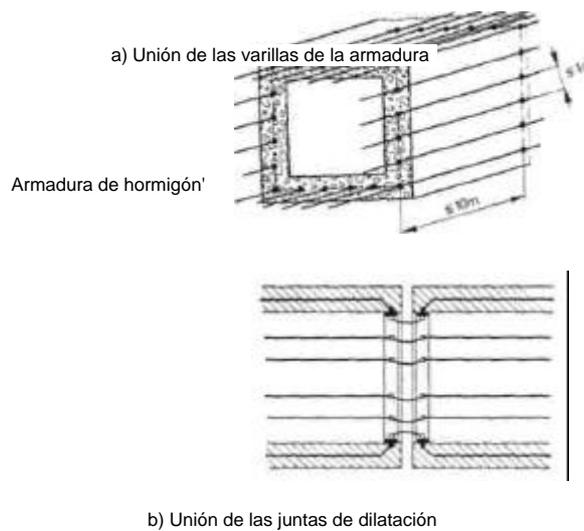


Fig. 4.18. Utilización de las armaduras del hormigón en canales de cable realizados en hormigón armado.

4.3.2. Blindaje de locales

Dentro de edificaciones constructivas, los recintos o locales en los que se encuentran dispositivos o equipos electrónicos muy sensibles, p. ej. equipos de proceso electrónico de datos, pueden protegerse con dispositivos de apantallamiento o blindaje que, con frecuencia, pueden instalarse a posteriori. /52/

En la figura 4.19 se muestra, por ejemplo, un recinto en el que se encuentra una instalación de proceso de datos con 4 aparatos unidos entre sí por medio

de conductores en forma de malla, y estando el local deficientemente apantallado o blindado. Los aparatos son alimentados por una red de energía exterior. A la instalación de datos llega un cable de señales apantallado, pero con un blindaje de realización desconocida y otro cable de señales sin blindaje alguno. Los cables de energía y de señales que entran en el recinto, lo hacen por puntos distintos del recinto de datos.

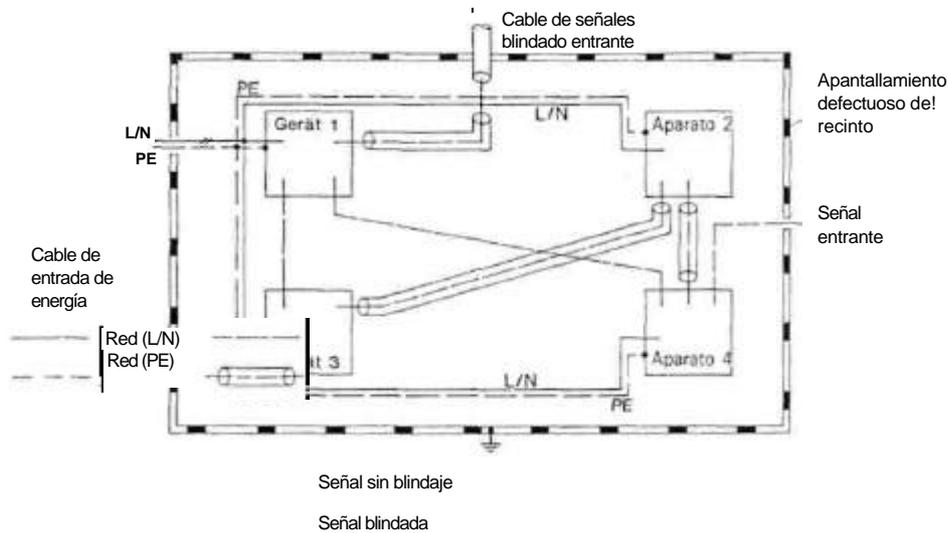


Fig. 4.19. Instalación de datos con entrada Incontrolada de cables.

En un *primer paso*, deberá optimizarse el apantallamiento del recinto de datos (Figura 4.20). Por lo regular, el recinto suele estar rodeado por hormigón armado. El apantallamiento existente puede mejorarse y completarse en muchos casos; por ejemplo, uniendo el armado de piezas aisladas unas de otras realizadas en hormigón pretensado, o cerrando las aberturas de las ventanas por medio de rejillas de malla ancha.

En la parte interior del recinto resulta muy conveniente disponer un carril circular como barra de compensación de potencial continua, que deberá ser unida, con la mayor frecuencia posible, al apantallamiento del recinto.

En un *segundo paso* deberán enlazarse, lo más intensamente posible, las carcasas de los aparatos y los racks de aparatos, uniéndolos asimismo con el carril (barra) circular y con el apantallamiento del local. El conductor de protección PE del conductor de energía debe incluirse en el entrelazado de protección; con ello se logran automáticamente bucles de cortocircuito paralelos a los conductores

activos de energía. Debe intentarse tender los cables internos de señales lo más próximos posible a las uniones conductoras puestas a tierra. Si se utilizaran cables de señales blindados, los blindajes deben conectarse en sus dos extremos.

Con las medidas que acabamos de indicar, se consigue una multitud de bucles de cortocircuito puestos a tierra, y con ello se logra una compensación de potencial en forma de mallas entrelazadas. (Figura 4.20).

En un *tercer paso*, los cables de energía y de señales entrantes se incluirán en la compensación de potencial con ayuda de la conexión de aparatos de protección contra sobretensiones dispuestos en el lugar de entrada de dichos cables, en el recinto de datos. (Figura 4.21).

Estos aparatos tienen la misión de controlar las sobretensiones y sobrecorrientes transmitidas por las líneas, para lo que se precisa una capacidad suficiente para soportar corrientes punta de choque.

En un *cuarto paso* se procederá al tratamiento de los cables de señales internos y de las entradas y salidas de datos (Figura 4.22). Las entradas y salidas de las platinas electrónicas, deben estar equipadas, ya de fábrica, con elementos de protección fina (p. ej. diodos de transorcción). Estos elementos de protección son necesarios, en cualquier caso, al efectuarse la conexión de cables o líneas procedentes del exterior, al igual que en el tendido de cables interiores no blindados, y en caso necesario, habrán de ser preconnectados en las salidas o entradas correspondientes. Una protección adicional final en los aparatos resulta superflua cuando los cables interiores de señales están blindados suficientemente en los dos lados (de entrada y de salida).

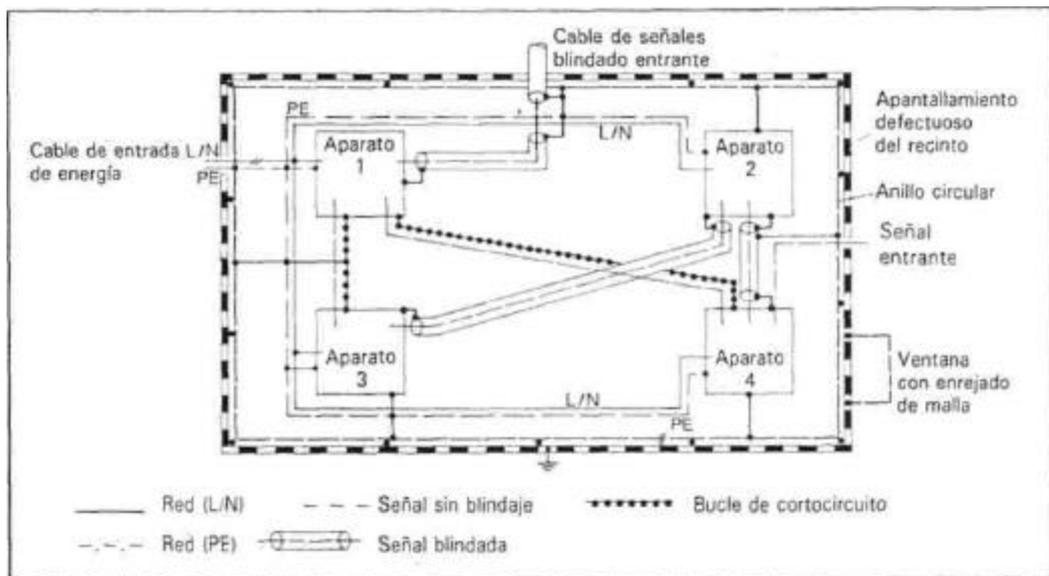


Fig. 4.20. 1. paso. Mejora del blindaje del recinto: colocación de un anillo circular. 2. paso. Compensación de potencial superficial mediante bucles de cortocircuito.

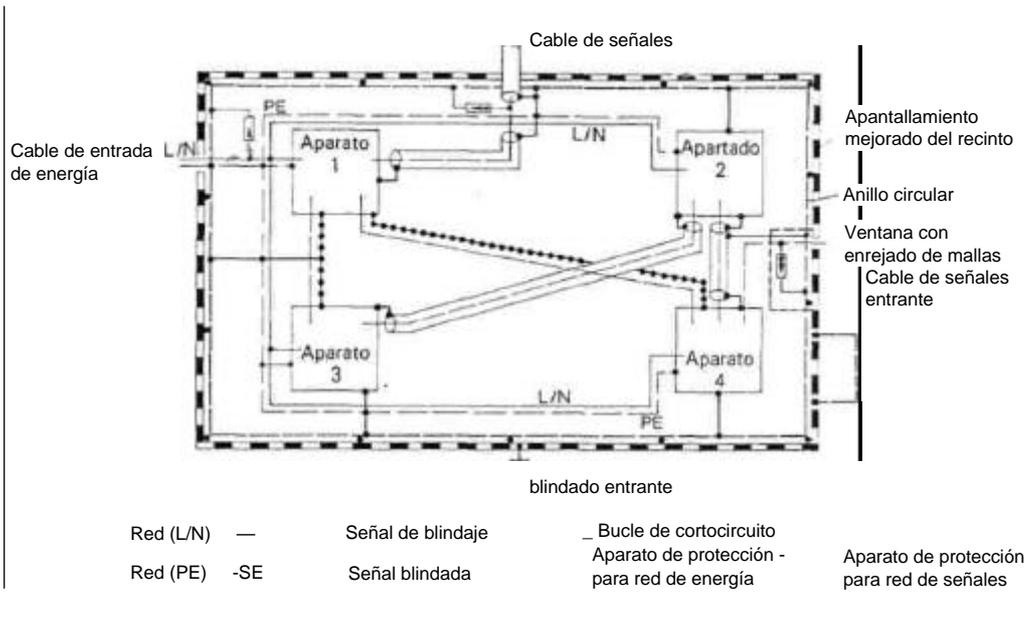


Fig. 4.21. 3. paso. Tratamiento de los cables entrantes.

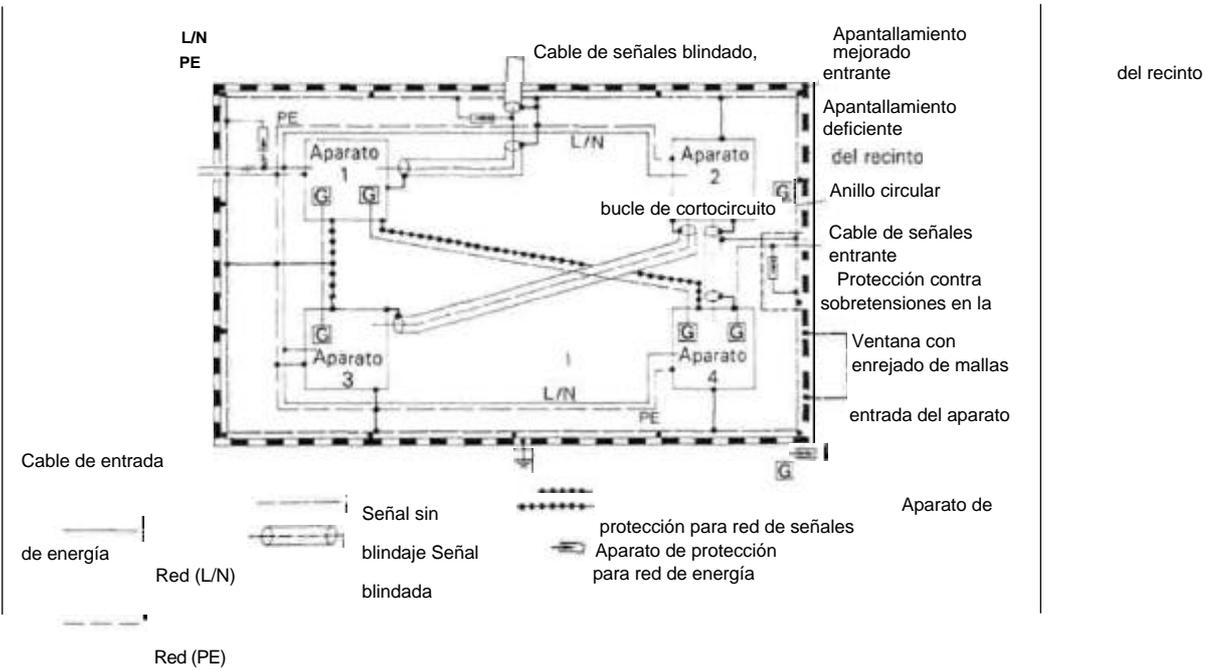


Fig. 4.22. 4. paso. Tratamiento de los cables internos de señales.

El concepto que hemos expuesto aquí, sobre la base de una compensación de potencial entrelazada para entradas de cables incontroladas a un recinto de tratamiento de datos, representa un compromiso entre las exigencias relativas a la compatibilidad electromagnética de la instalación de proceso de datos para las averías o fallos causados por rayos o por procesos de conmutación, y las prácticas de instalación más usuales, entre los instaladores de los equipos de proceso de datos, o respectivamente los usuarios de dichas instalaciones.

Al igual que en la técnica de la protección exterior contra rayos se ha impuesto la más amplia y extensa compensación de potencial, acreditándose como la medida de protección más efectiva, análogamente en la protección interior contra rayos, la interconexión lo más amplia posible de todas las partes de la instalación puestas a tierra, incluido el blindaje del recinto, es una exigencia asumible en la práctica, previa a la instalación y utilización de aparatos de protección contra sobretensiones.

4.3.3. Apantallamiento de aparatos

En primer lugar hay que asegurarse de que todos los aparatos que tengan componentes sensibles a las sobretensiones, y todas las líneas o cables de señales entre estos aparatos, estén rodeados de un "blindaje" continuo, estando realizado este blindaje mediante carcasas metálicas y revestimientos metálicos de los blindajes o apantallamientos de los cables.

Hay que prestar especial atención a que todas las entradas de los cables de red a los aparatos estén protegidas mediante conexión de los cables al "blindaje" por medio de aparatos de protección contra sobretensiones (Figura 4.23 a). Las entradas y salidas de los cables de señales sólo habrán de ser equipadas con dispositivos de protección contra sobretensiones, cuando las tensiones transversales o longitudinales alcancen valores demasiado elevados.

Cuando se conecten entre sí aparatos, mediante cables no blindados, se hace necesaria una protección adicional, excesivamente costosa. Todos los hilos de los cables han de protegerse contra la carcasa, y también entre sí, mediante aparatos de protección contra sobretensiones (Figura 4.23 b.)

Cuando se realice la metalización de las superficies por los más diversos procedimientos (metalización por evaporación, precipitados metálicos químicos, lacados, procedimiento de metalización por proyección, etc), para la consecución de blindajes metálicos, hay que asegurarse de que existe una aplicación suficiente del blindaje y que las características mecánicas cumplan las exigencias requeridas (51).

4.3.4. Blindaje de conductores (líneas)

Para conseguir, precisamente en las redes de señales, que las tensiones longitudinales alcancen valores muy pequeños, la resistencia de choque de acoplo de

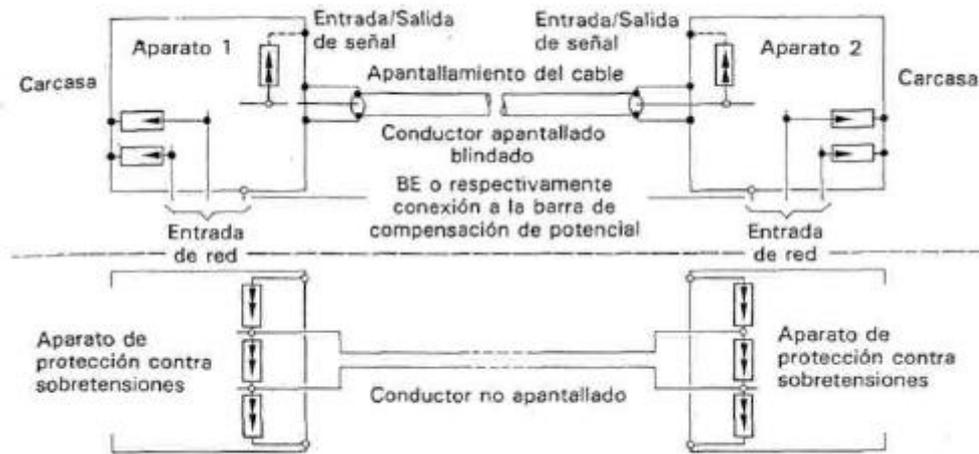


Fig. 4.23. Protección contra sobretensiones para aparatos.

los blindajes de los conductores debe ser lo suficientemente pequeña. Hay que tener en cuenta que la resistencia de choque de acoplo, en un blindaje, sólo puede ser efectiva si se encuentra correctamente conectada, y es bien conductora, a lo largo de todo el sentido longitudinal del cable; y además, en los dos extremos del blindaje, éste debe encontrarse conectado a la compensación de potencial para protección contra rayos.

Si no se utilizan cables especiales con blindajes de protección contra rayos (Ejecución: ver figuras 5.7 y 5.8; resistencia de choque de acoplo ver tabla 3.1), se recomienda el tendido de cables que rebasen a los edificios, en tubos de metal (Figura 4.24) (Para resistencias de choque de acoplo, ver tabla 3.1)

También puede conseguirse un blindaje continuo, tendiendo los cables en canales para cables realizados en hormigón, y cuyos armados de hierro estén correctamente interconectados. (Figura 4.24).

En los edificios se consigue asimismo un blindaje suficiente, mediante la interconexión de caballetes metálicos para cables, y el recubrimiento con tapas de chapas de acero unidas entre sí. (Figura 4.25).

El uso de estos sistemas de blindaje, que comporta altos gastos, o bien el inclinarse preferiblemente por aparatos limitadores de tensión (que con frecuencia han de utilizarse de todos modos para limitar las tensiones transversales) es algo que habrá de decidirse para cada caso en particular.

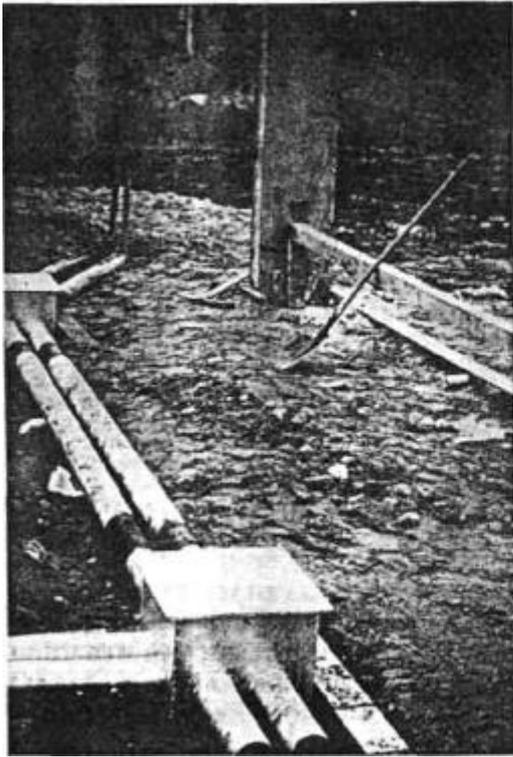


Fig. 4.24. Blindaje de conductores mediante tubos de hierro.

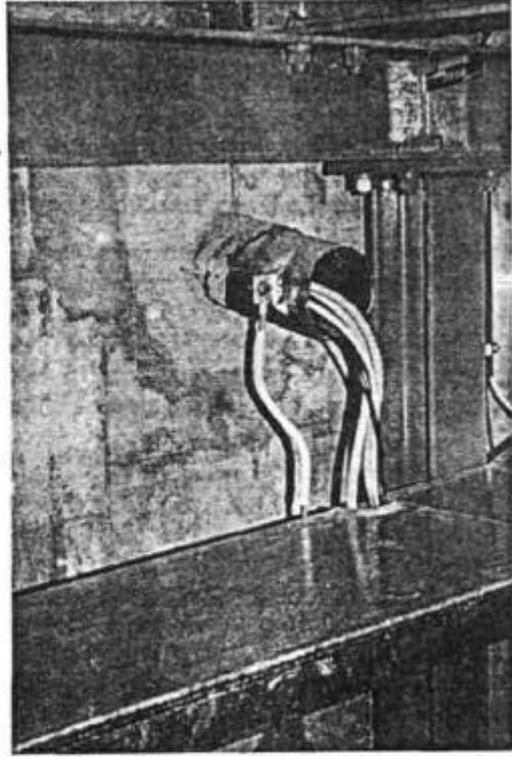


Fig. 4.25. Blindaje de conductores con cabalotes de cables, cubiertos, que están interconectados entre sí. (Foto Neuhaus).

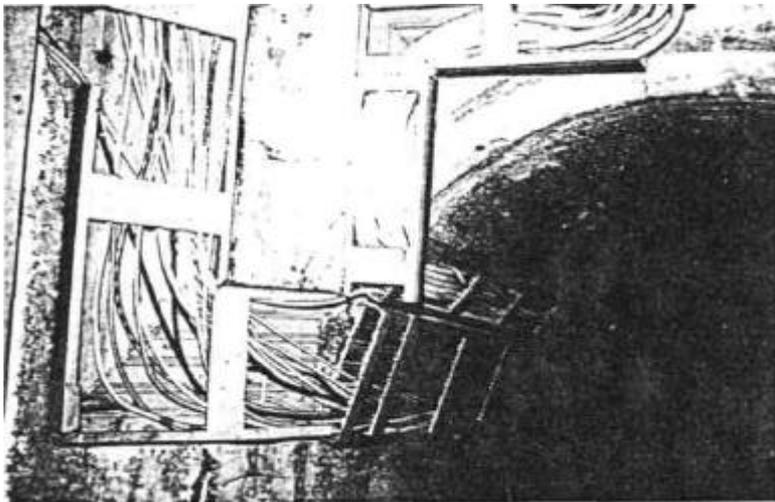


Fig. 4.26. Blindaje en canales de hormigón con armados de hierro unidos entre sí. (Foto H. Neuhaus).

4.4. COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN

Según las disposiciones IEC 664 /53/ y 664 A /54/, así como según las normas DIN VDE 01 09 /6/ y 01 10 /7/, la coordinación del aislamiento es la sincronización de las propiedades eléctricas de los aislamientos de los medios de servicio de una instalación, con el objeto de evitar daños, provocados por fallos en el aislamiento, que podrían dar lugar a daños en vidas humanas y a daños materiales, llevando la protección hasta el máximo técnico alcanzable y económicamente defendible. Este objetivo puede conseguirse, entre otras cosas, p. ej. mediante un dimensionado de los tendidos aéreos de acuerdo con las sobretensiones que se pudieran esperar, y teniendo en cuenta los valores característicos de los aparatos de protección contra sobretensiones eventualmente utilizados. Indicativo para el dimensionado de los tendidos de líneas son las tensiones de choque según tabla 4.1. Las tensiones de choque para dimensionado se calculan entonces de acuerdo con la clase de sobretensiones y según el ámbito de la tensión nominal del medio de servicio.

Para la coordinación de los medios de servicio a los distintos tipos de sobretensiones, hay que tener en consideración:

- sobretensiones, que penetran desde el exterior en el medio de servicio a través de las bornas de conexión,
- sobretensiones generadas en el medio de servicio mismo, y que se producen en las bornas de conexión.

Tabla 4.1. Dimensionado de tensiones de choque, según DIN VDE 01 10, tabla 1/7.

Tensiones Conductor-Tierra en V Derivadas de Tensiones Nominales de red de hasta U_{eff} y U_0	Dimensionado de Tensión de choque en V para clases de sobretensiones			
	I	II	III	IV
50	330	500	800	1500
100	500	800	1500	2500
150	800	1500	2500	4000
300	1500	2500	4000	6000
600	2500	4000	6000	8000
1000	4000	6000	8000	12000

Según DIN VDE 01 10, parte 2, /7/, el valor de sobretensión prevista en un determinado medio de servicio se fija como sigue:

1. Medios de servicio con valor de sobretensiones I: están previstos para utilización, únicamente en aparatos o en instalaciones en las que no se pueden presentar sobretensiones, o que se encuentren protegidos especialmente contra sobretensiones por medio de descargadores de sobretensiones, filtros o capacidades.

Observación: los medios de servicio de esta clase suelen funcionar con pequeñas tensiones.

2. Medios de servicio con valor de sobretensiones II: para empleo en instalaciones o partes de instalaciones en las que no hay que tener en consideración las sobretensiones de rayo.

Observación: Entre los aparatos de esta clase, se incluyen los electrodomésticos.

3. Medios de servicio con valor de sobretensiones III: destinados al empleo en instalaciones en las que no es necesario tener en cuenta las sobretensiones de rayo, pero en las que, debido a las exigencias especiales a dichos medios de servicio o a las redes dependientes de ellos con respecto a la seguridad y disponibilidad, se hace necesaria la adopción de medidas especiales de protección.

Observación: a este grupo pertenecen medios operativos o de servicio para instalaciones fijas, p. ej.: dispositivos de protección, relés, contactores, interruptores, enchufes y cajas de enchufes.

4. Medios de servicio con valor de sobretensiones IV: destinados al empleo en instalaciones en las que hay que tener en cuenta el peligro de las sobretensiones de rayo.

El informe IEC 664, /53/, contiene una representación esquemática, muy clara, de las exigencias y disposiciones anteriores. (Figura 4.27).

Según las normas citadas /53;54;6;7/ las sobretensiones que se puedan producir en una instalación de este tipo en los puntos de intersección, o puntos de enlace, pueden ser controladas e influenciadas por medio de los adecuados dispositivos de protección contra sobretensiones. (Ver párrafo 5.4.). Está autorizado, incluso, el dimensionar líneas aéreas, de acuerdo con la categoría de sobretensiones inmediatamente inferior, si las sobretensiones transitorias que se produzcan pueden limitarse con ayuda del montaje de aparatos de protección contra sobretensiones, que limiten dichas sobretensiones a los valores autorizados para la categoría en cuestión.

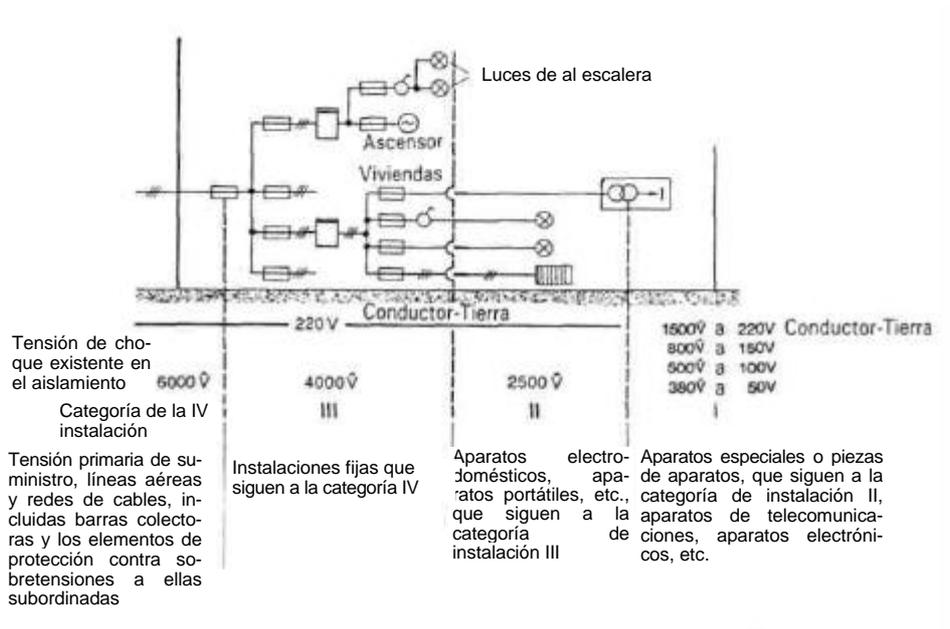


Fig. 4.27 Valores preferencia les para tensiones de choque en las diferentes categorías de instalaciones según Raport-IEC, publicación 664 equivalente a DIN VDE 0110.

4.5. EJEMPLO DE CONEXIONES (UNIONES) OPTOELECTRONICAS

En instalaciones con grandes amplitudes de banda de transmisión, y con componentes electrónicos muy sensibles, además de la utilización consecuente de aparatos de protección contra sobretensiones, se separan también elementos de circuitos o redes parciales, con ayuda de la introducción de etapas de acoplo optoelectrónicas /55/. (Figura 4.28).

Antes de que entremos en el estudio de las posibilidades de utilización y de los límites de empleo de los elementos y componentes opto electrónicos en el ámbito de la protección contra sobretensiones, vamos a explicar un poco estos componentes y aparatos.

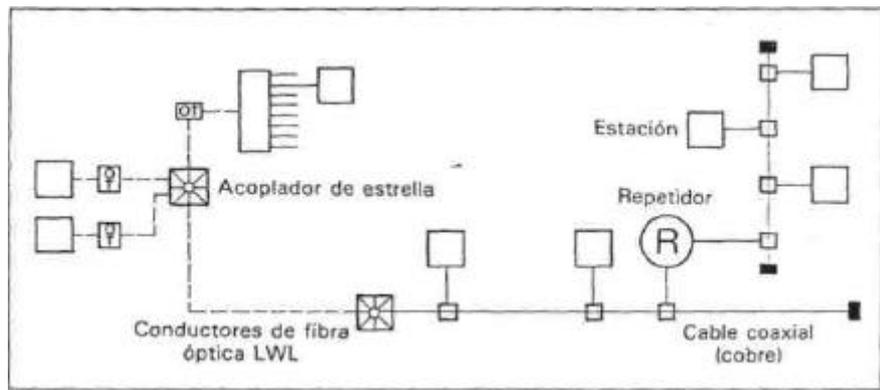


Fig. 4.28. Ejemplo de la estructura mixta de una red, en la que se conjuntan conductores de transmisión ópticos y eléctricos.

4.5.1. Sistema de transmisión por conductor de fibra óptica

Una unión opto electrónica está formada por emisor, conductor de fibra óptica y receptor. En el emisor, la señal eléctrica se transforma en una señal óptica, que después es transmitida a través de un conductor de ondas ópticas (fibra óptica) hasta un receptor. En el receptor se vuelve a transformar la señal óptica en una señal eléctrica. Para la emisora se emplean diodos emisores de luz (LED) o diodos láser. Los conductores de señales ópticas se fabrican preferentemente en fibra de vidrio, y en algunos casos aislados se utilizan también algunos plásticos. Las fibras, aisladas, tienen un diámetro de 100 1 50 μm . En un conductor de fibra óptica se unen algunas decenas o algunas centenas de fibras. Para el receptor se emplean fotodiodos, fotoelementos, foto transistores y fototiristores. En la figura 4.29 se muestra el principio de funcionamiento de un sistema optoelectrónico para transmisión de datos a grandes distancias.

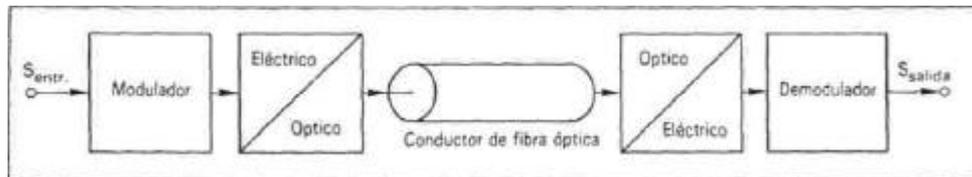


Fig. 4.29. Principio de un sistema de transmisión de datos por conductor de fibra óptica (figura Siemens).

Este sistema de transmisión por conductor de fibra óptica ofrece las siguientes ventajas, frente a los conductores convencionales con hilos o cables:

- no hay posibilidad de diafonías entre conductores

- gran capacidad de transmisión con peso muy reducido
- escasas necesidades de espacio al realizar el tendido.

Si el conductor óptico es, además, una estructura realizada en fibra de vidrio, hay que añadir las siguientes ventajas, desde el punto de vista de la protección contra sobretensiones:

- Aislamiento óptico entre emisor y receptor
- Insensibilidad frente a acoplos.

Sin embargo, no hay que olvidar que los cables de fibra óptica llevan frecuentemente una protección metálica contra daños mecánicos del mismo, y estos recubrimientos metálicos pueden llegar a calentarse, bajo la acción del rayo, de tal modo que el cable experimente daños sensibles.

Los componentes descritos hasta ahora se utilizan para la configuración de sistemas opto electrónicos, destinados a la transmisión de datos a grandes distancias. Si se tratara exclusivamente de efectuar la separación galvánica entre elementos de una instalación electrónica, entonces se emplearían optacopladores.

4.5.2. Optacopladores

El opto acoplador es una combinación de un componente emisor de radiaciones (entrada) y otro componente sensible a dichas radiaciones (salida).

La conducción óptica entre estos dos componentes se realiza a través de una delgadísima capa de un medio óptico, que al mismo tiempo aísla entre sí la entrada y la salida eléctricamente. (Figura 4.30). Actualmente se fabrican opto acopladores con un nivel de aislamiento entre entrada y salida desde algunos cientos de voltios hasta 10 kV.

Aquí queremos indicar que con esta tensión, se expresa únicamente nivel de aislamiento entre entrada y salida. En un opto acoplador se intercalan también entre sus conexiones elementos semiconductores, que siguen teniendo la conocida sensibilidad a sobretensiones; es decir: al utilizar estos opto acopladores en sistemas de transmisión, hay que cuidar de mantener una suficiente limitación de tensiones transversales.

También hay que decir que estos componentes semiconductores, o sea los diodos y el foto transistor, pueden quedar dañados térmicamente o incluso destruidos por pequeñas sobretensiones de larga duración con lo cual la resistencia de aislamiento puede quedar notablemente reducida entre entrada y salida.

Se utilizan los optacopladores como elementos opto electrónicos para transmisión de señales en caso de separación galvánica de partes sensibles de una instalación. (Figura 4.31). Por lo tanto, puede afirmarse que, en su función, son similares a transmisores, pudiendo emplearse, preferentemente, para bloquear

tensiones longitudinales. Sin embargo, no ofrecen protección contra tensiones transversales /55/.

Para el funcionamiento de la mayor parte de los tramos opto electrónicos, se aplican suministros de corriente de red, de modo que a través de estas entradas de alimentación puede tener lugar un acomplamiento galvánico, que comporta asimismo, riesgo de sobretensiones, por lo que se hace necesario disponer también aquí, de los aparatos necesarios de protección contra sobretensiones.

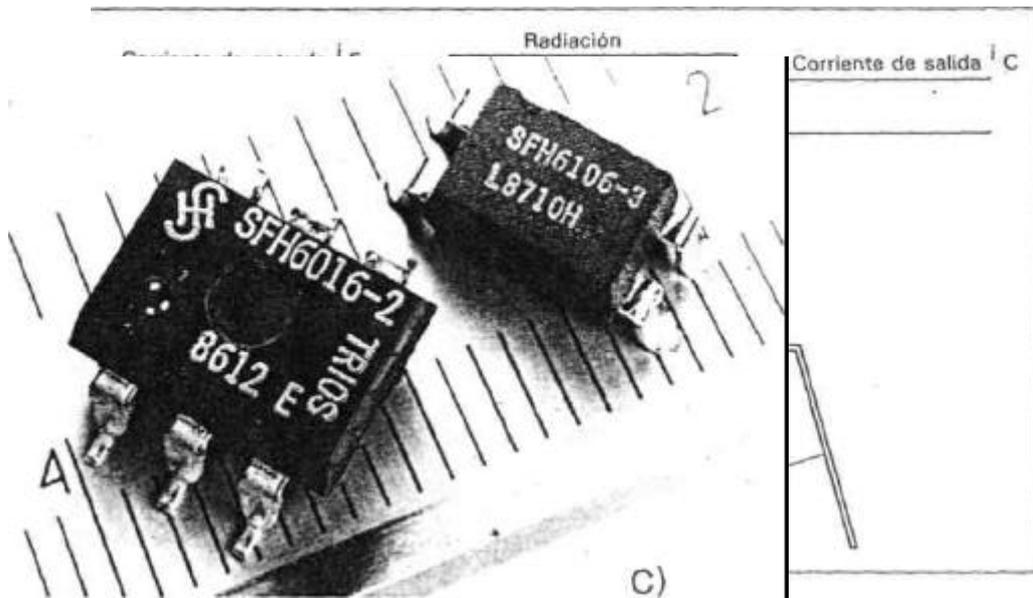


Fig. 4.30. Optoacoplador. a) esquema de funcionamiento, b) optoacoplador en su carcasa. (Figura Siemens).

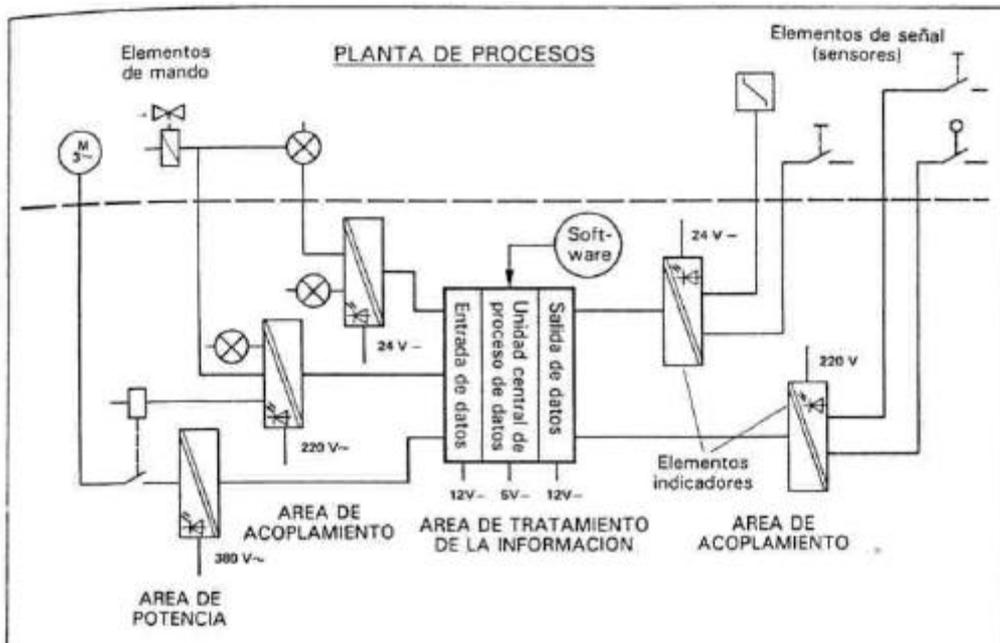


Fig. 4.31. Conexión de entrada y salida en una instalación altamente sensible, de proceso de datos, a través de optoacopladores.

5. Componentes y aparatos para la compensación de potencial de protección contra rayos y para la limitación de sobretensiones

Para la ejecución de la compensación de potencial para protección contra rayos según DIN VDE 0185 /1/ IEC-81 /3/; de la limitación de sobretensiones según DIN VDE 0109/01 10 /6,7/, así como también para la protección contra sobretensiones según DIN VDE 0845 /5/, son necesarios componentes y aparatos que, además, estén en situación de poder conducir corrientes de rayo, o partes importantes de estas corrientes, sin quedar destruidos o averiados al hacerlo.

En lo referente a los esfuerzos derivados de las corrientes de rayo para elementos de unión (bornas, conectores, bridas, abrazaderas, elementos de conexión y de puenteo) y para los aparatos de protección para limitación de sobretensiones, es indicativo los dos siguientes parámetros de corriente de rayo:

- *Carga:* $\int i \cdot dt$ (Integral de la corriente del rayo respecto al tiempo). La carga (As), junto con la caída de tensión anódica o catódica (V), da lugar a una transformación de la energía (J) en los puntos en los que la corriente de rayo sale del metal pasando al arco voltaico, y viceversa. La carga es, por lo tanto, responsable del desgaste de material producido en los electrodos de las vías de chispas, al igual que lo es para la conversión de energía en los varistores.
- *Energía específica* $\int i^2 \cdot dt$ (Integral del cuadro de la corriente de rayo respecto al tiempo).

La energía específica (A^2s o bien J/Ohmio), es responsable de la conversión de energía (J) en las resistencias de paso (Ohmios) de bornas, y también de los esfuerzos dinámicos, esto es, de los efectos de los impulsos electromagnéticos de fuerza en los conductores, cables y líneas atravesadas por la corriente de rayo, (y también de los arcos voltaicos producidos).

Los valores de la carga $Q = \int i \cdot dt$ y energía específica $W/R = \int i^2 \cdot dt$ se han expuesto en la figura 4.9.

A base de experiencias de campo, efectuadas a lo largo de decenas de años, existe un consenso internacional /53;58;59;60/, para considerar una simulación realista de las sobrecorrientes de rayo en caso de descargas lejanas de rayo en las redes de suministro de corriente, como corrientes de choque 8/20 /61/ con amplitudes de 5 kA, o respectivamente de 10 kA (Figura 5.1)

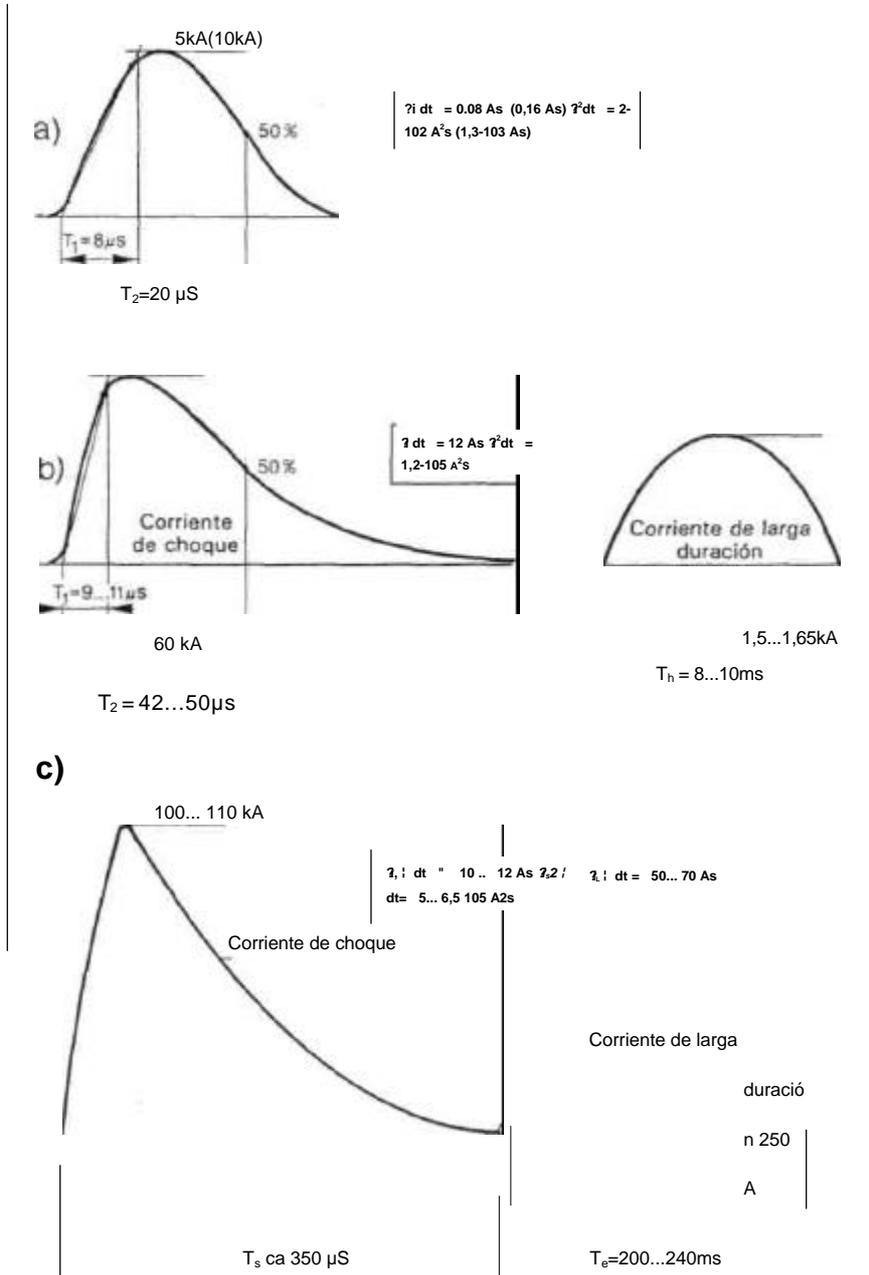


Fig. 5.1. Corriente de prueba a) Según DIN VDE 0675 para simulación de descargas lejanas de rayo, b) Según DIN 48 810 para simulación de descargas directas de rayo, c) Según DIN 48 810/anexo para mayores exigencias.

Para simulación de corrientes de rayo en caso de descargas directas de rayo en la instalación a proteger, se emplean las corrientes de prueba definidas en DIN 48 810 /44/ (Figura 5.1)

La figura 5.2 muestra la distribución estadística de los citados parámetros de corriente de rayo:

Para una comparación de las corrientes de prueba, indicadas en DIN 48 810 /44/, una corriente de choque 8/20 con valor de cresta de 5 kA según DIN VDE 0675 /60/, presenta una carga de tan solo 0,1 As y una energía específica de alrededor de 1 kJ/Ohmio.

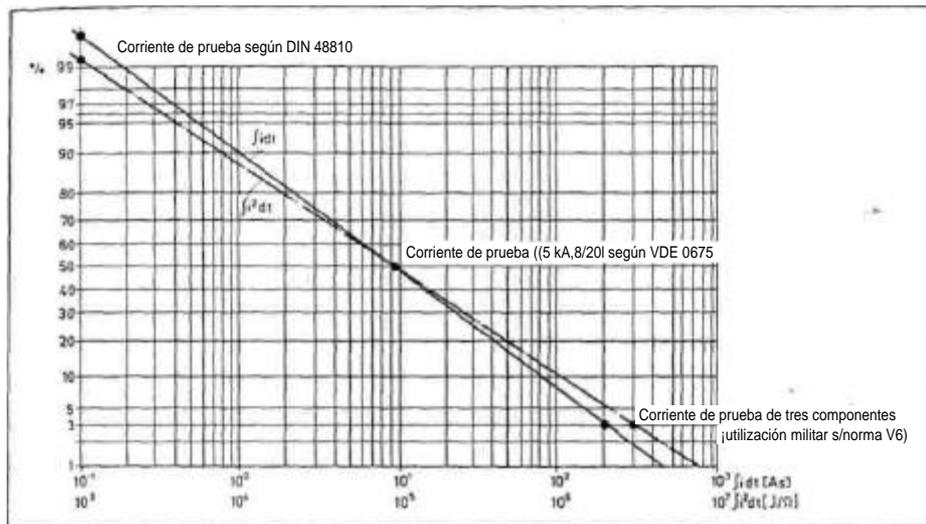


Fig. 5.2. Distribución estadística de los parámetros de corriente de rayo i_{dt} y $i^2 dt$ (según K. Berger) con valores de la corriente de prueba.

5.1. COMPONENTES Y ELEMENTOS DE CONEXIÓN Y UNIÓN, BARRAS DE COMPENSACIÓN DE POTENCIAL

Los componentes de unión y conexión, es decir, las uniones roscadas, remachadas o prensadas, adquieren hoy una importancia muy especial, en la ejecución de una compensación de potencial de protección contra rayos, consecuente. Mientras que las secciones de los conductores de los derivadores de rayo pueden ser fijadas exactamente por medio de cálculos para que puedan soportar las corrientes de rayo esperadas, hasta la fecha no es posible indicar criterios específicos de dimensionado para soportar corrientes de rayo en los elementos de unión.

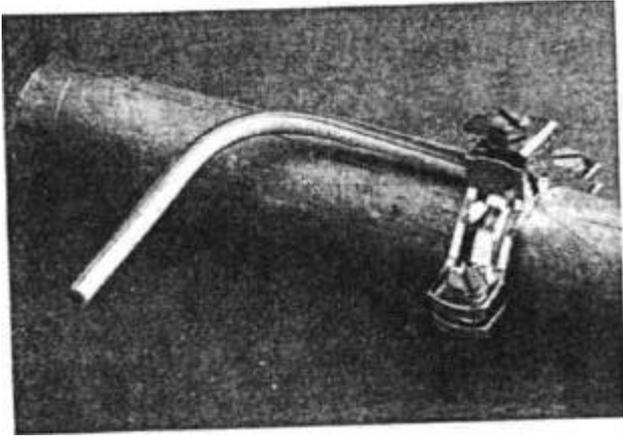


Fig. 5.3. Componentes de unión y conexión para la compensación de potencial de protección contra rayos, a) Abrazadera tubular de puesta a tierra.

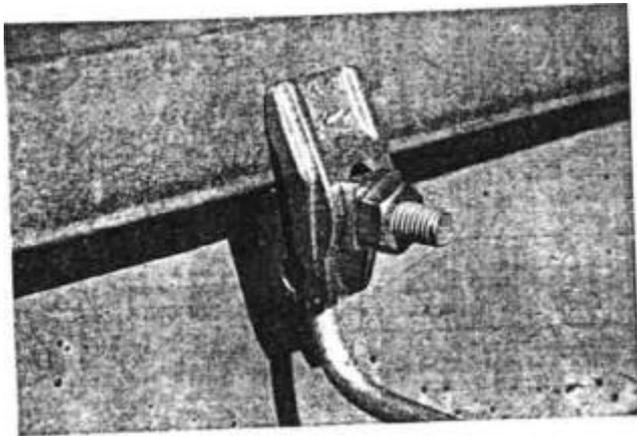


Fig. 5.4. Componentes de unión y conexión para la compensación de potencial de protección contra rayos, b) Borna de conexión en construcciones metálicas y chapas.



Fig. 5.5. Componentes de unión y conexión para la compensación de potencial de protección contra rayos. c) Borna de unión para armaduras de hormigón.

Por ello se ha desarrollado en laboratorio un procedimiento simulado para producir corrientes de rayo /44/, con ayuda del cual se puede comprobar la idoneidad de bornas de conexión, de conectores y de abrazaderas de unión.

Elementos y componentes típicos en la compensación de potencial para protección contra rayos, que cumplen las exigencias de la norma DIN 48 810 /44/, pueden verse en las figuras 5.3 hasta 5.5.

La barra de compensación de potencial es un perfil metálico que sirve para la unión e interconexión de conductores de protección, conductores de compensación de potencial, eventualmente también de los conductores para la puesta a tierra y conexión con la toma de tierra circular y las tomas de tierra verticales.

Esta barra de compensación de potencial se halla normalizada en DIN VDE 0618, parte 1 /62/, sirve para utilización en la compensación principal de potencial de acuerdo con DIN VDE 0100, partes 410 y 540 /38,40/, y DIN VDE 0185, partes 1 y 2, DIN VDE 01 90 /41 / y DIN VDE 0855, parte 1 /46/, para conexión o unión de los siguientes elementos:

- Conductores para la compensación principal de potencial
- Conductores PEN
- Conductores PE
- Conductores de puesta a tierra
- Otros cables o conductores de compensación
- Conductores de puesta a tierra para la toma de tierra de funcionamiento
- Conductores para la toma de tierra de protección contra rayos
- Banderolas de conexión de la toma de tierra de cimientos.

Una barra de compensación de potencial según DIN 0618 /62/ está provista de puntos de conexión, que son capaces de soportar corrientes de rayo para conductores a partir de 10 mm² de sección.

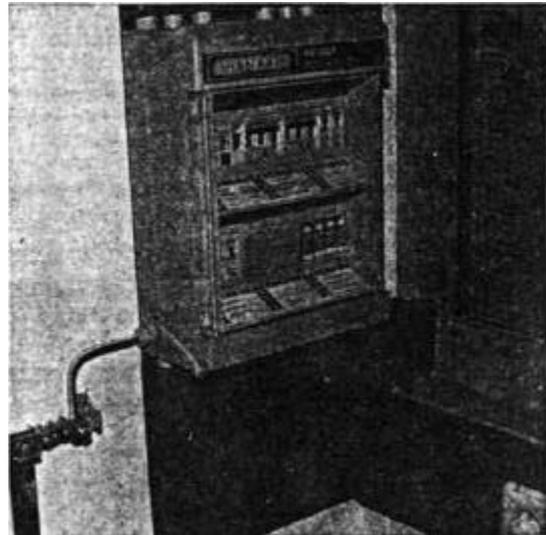


Fig. 5.6. Barra de compensación de potencial (según DIN VDE 0618 /62/) con bornas enchufables para secciones de conductor de 25 mm² hasta 95 mm².

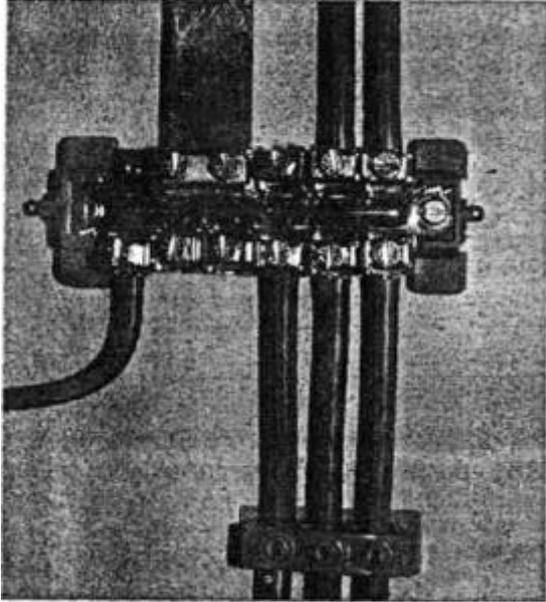


Fig. 5.6. (Cont.I)

5.2. CABLES CON BLINDAJE DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

Los cables con blindaje apantallado para protección contra rayos, y en los que las tensiones longitudinales o transversales que se puedan producir son muy pequeñas, tienen la estructura siguiente (Figura 5.7 y 5.8):

- Blindaje exterior con escasa resistencia de acoplamiento (pequeñas tensiones longitudinales)
- Hilos trenzados por parejas o también trenzados de tres en tres o de cuatro en cuatro hilos (muy pequeñas tensiones transversales).

Observación: Los blindajes de pares de hilos puestos a tierra unilateralmente sirven únicamente para evitar falseamientos de la señal a causa de influencias perturbadoras de pares de cables o de cable vecinos. Blindajes de pares de hilos, puestos a tierra unilateralmente y blindajes de cables puestos a tierra bilateralmente, que es una exigencia imprescindible para un apantallamiento con tra corrientes de rayo, pueden aplicarse simultáneamente, y por lo regular no se interfieren mutuamente.

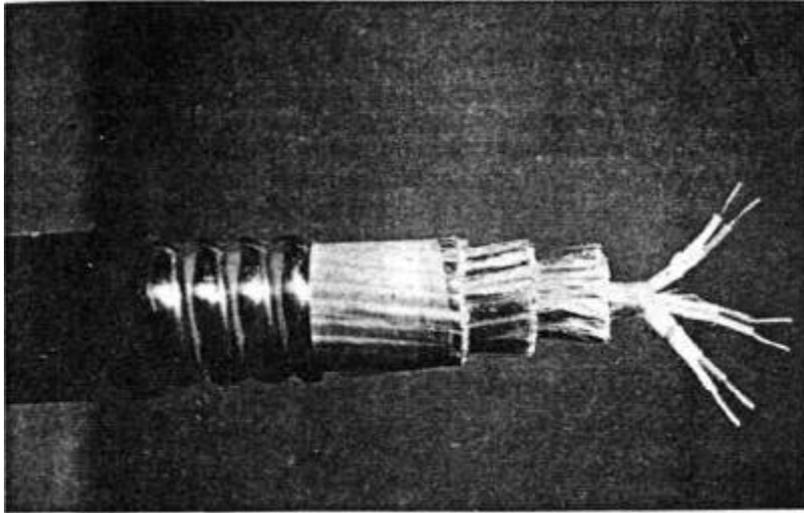
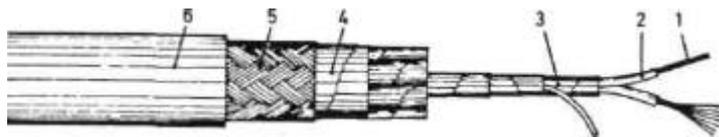


Fig. 5.7. Cable con blindaje de protección contra rayos. (Foto Kabelmetal).



- 1 Conductor Cu (hilo fino).
- 2 Aislamiento de PE.
- 3 Par de hilos apantallados (PiMF) con hilo paralelo.
- 4 Cinta de plástico.
- 5 Malla de cobre.
- 6 Revestimiento exterior de cloruro de polivinilo PVC

Fig. 5.8. Estructura de un cable MCR con apantallamiento exterior, revestimiento de los pares de hilos y los hilos trenzados por pares.

5.3. VÍAS DE CHISPAS DE SEPARACIÓN

Las vías de chispas aéreas encapsuladas, susceptibles de conducir corrientes de prueba según DIN 48 810 /44/, sin quedar destruidas, se incluyen bajo el concepto general de "Vías de chispas de separación".

Sirven, hasta llegar a su tensión de respuesta, para la separación eléctrica de dos instalaciones metálicas, y representan una conexión eléctrica (punto nominal de paso de chispas) para la corriente de rayo al atravesar los cables. Es-

te acomplamiento desaparece una vez atenuada la corriente de rayo. Se utilizan las vías de chispas de separación, en los puntos de aproximación entre la instalación de protección contra rayos y otros elementos de la instalación puestos a tierra, a fin de evitar pasos de chispas o perforaciones incontroladas en estos puntos.

Sirven asimismo para incluir a instalaciones metálicas, que por motivos de protección contra la corrosión, no pueden estar permanentemente interconectadas entre sí durante el servicio, en la compensación de potencial de protección contra rayos, lo cual se efectúa a través de vías de chispas de separación.

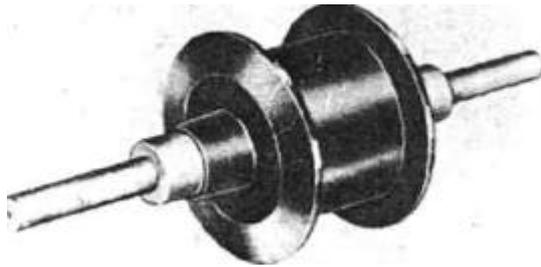


Fig. 5.9. Vía de chispas de separación.

En la figura 5.9 se representa una vía de chispas de separación, destinada a la unión del armado de acero de unos cimientos de hormigón, con una toma a tierra circular de acero cincado, dispuesta en el subsuelo. Entre estas dos instalaciones de puesta a tierra existe de modo permanente, y a causa de sus potenciales electrolíticos diferentes, una tensión de unos 400 mV. Estas dos instalaciones han de mantenerse, por lo tanto, separadas, durante el funcionamiento normal, para que no pueda fluir una corriente de corrosión altamente destructiva. En caso de una descarga de rayo, la vía de chispas de separación se activa y conecta ambas instalaciones entre sí, de modo que la corriente de rayo pueda fluir a través de las dos tomas de tierra. Una vez atenuada la corriente de rayo, la vía de chispas de separación se descarga, y la situación anterior de separación de las instalaciones se reanuda.

Las máximas exigencias las cumplen las vías de chispas de separación protegidas contra explosiones (Figura 5.11). Estas vías de chispas se emplean en zonas expuestas al peligro de explosiones, p. ej. para puentear las bridas de aislamiento en conducciones de tuberías, a fin de que no se produzca ningún tipo de paso de chispas abierto al tener lugar una descarga de rayo. La tensión de choque de respuesta $1,2/50/61/$ de estas vías de chispas de separación no debe ser nunca superior al 50% de la tensión alterna de perforación a 50 Hz (valor efectivo) de la brida de aislamiento que se trata de proteger /63/.

La tensión de choque de respuesta de una vía de chispas de separación depende de la pendiente (transconductancia) de la onda de tensión que llega. Cuanto más pendiente tenga la onda, tanto menor será el tiempo que tarde en producirse la perforación. Esta relación entre la tensión y el tiempo, se expone muy claramente en la curva característica de choque.

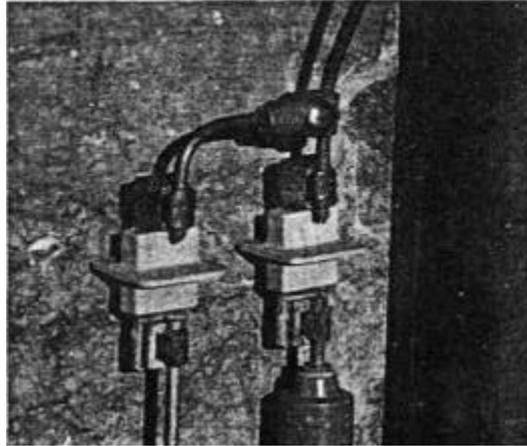


Fig. 5.10. Vía de chispas de separación entre el armado del hormigón y un anillo circular de acero en el subsuelo.

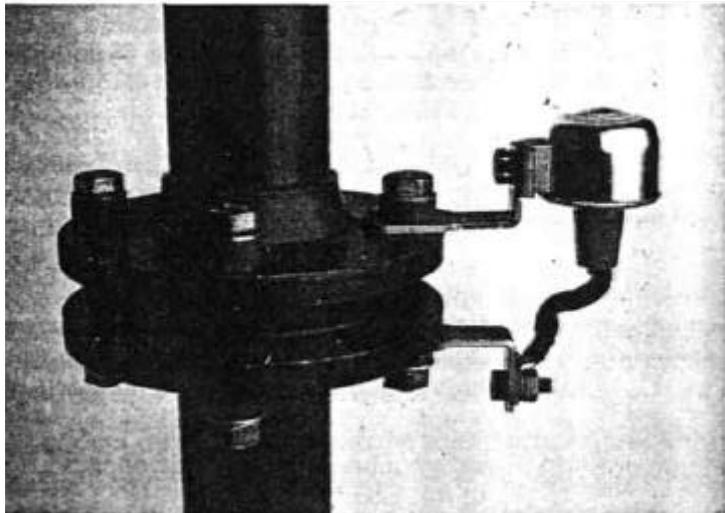


Fig. 5.11. Vía de chispas de separación, protegida contra explosiones.

En la figura 5.12 se muestra la característica de choque de la vía de chispas de separación, protegida contra explosiones, que se ha mostrado en la figura 5.11: esta característica se desarrolla sumamente plana, es decir, la vía de chispas limita también incluso los impulsos de sobretensiones de pendiente máxima, hasta un valor que permanece prácticamente estable de 2 kV /64/.

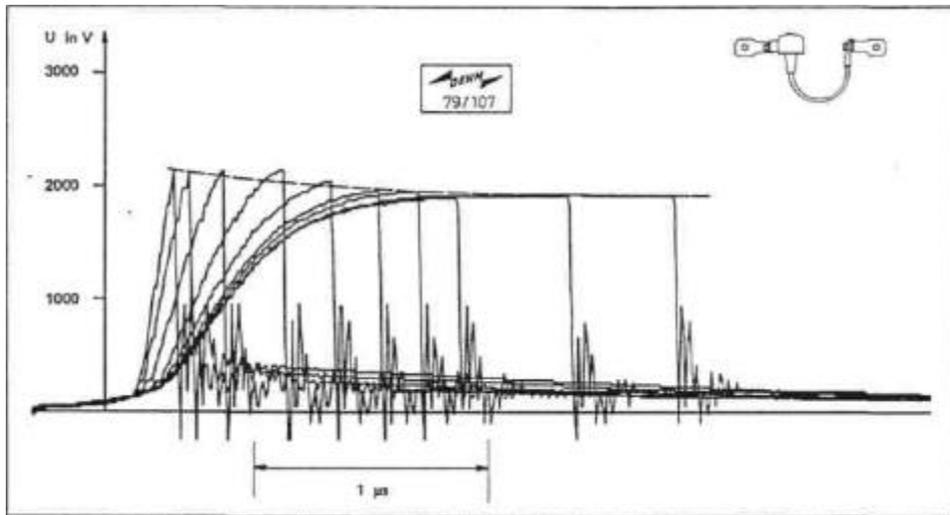


Fig. 5.12. Característica de choque de la vía de chispas de separación protegida contra explosiones.

Observación: Para la determinación de la tensión soportada en una pieza de aislamiento, no es únicamente decisiva la tensión de respuesta de una vía de chispas de separación conectada en paralelo /63/. Tras haberse encendido la vía de chispas, en la pieza $\ddot{u} = L \cdot (di/dt)_{\max}$, siendo L la inductividad del bucle y di/dt la pendiente de la corriente (Figura 5.13).

De la ecuación expuesta en /26/ se puede calcular el valor máximo de la inductividad para una longitud del bucle de 300₂mm, en un bucle cuadrado con una sección del conductor de 25 mm² Cu (r = 2,8 mm):

$$L = 0,16 \mu\text{H}.$$

Como al descargar un rayo directamente en un conductor tubular, la corriente de rayo fluye en ambos sentidos, puede suponerse la pendiente máxima de la corriente $(di/dt)_{\max} = 40 \text{ kA}/\mu\text{s}$.

Esto equivale en una onda de choque de 4/10 μs , a un valor cresta de 120 kA.

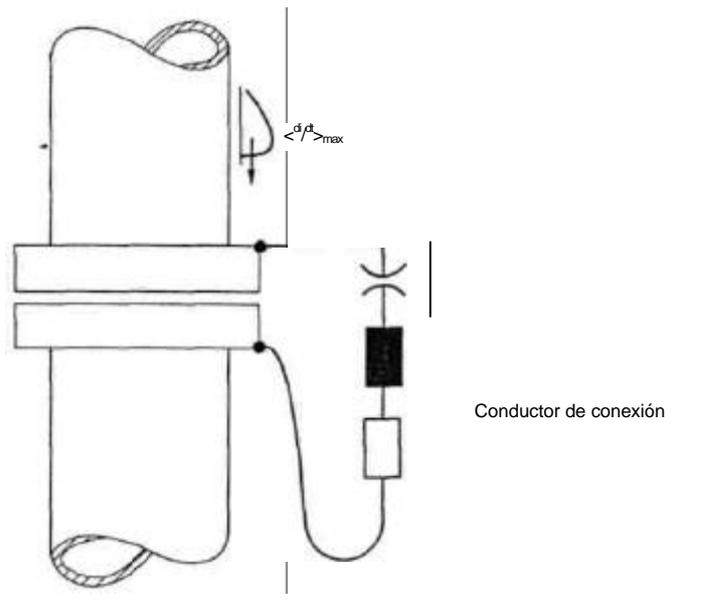


Fig. 5.13. Caída de tensión \hat{u} originada por $\langle di/dt \rangle_{\max}$.

Como de los datos arriba expuestos, para una longitud máxima de bucle de 300 mm, se obtiene el valor de cresta de la tensión como máximo $\hat{u} = 6,4$ kV, pueden conectarse en paralelo, sin necesidad de más comprobaciones, vías de chispas de separación y piezas o elementos aislantes con una tensión efectiva de descarga > 5 kV (es decir, valor cresta de $\hat{u} = 5\text{kV} \cdot \sqrt{2} \sim 7\text{kV}$).

Las máximas exigencias se aplican a vías de chispas de separación, que en el momento de la descarga del rayo deben hacer pasar la corriente de rayo a través de un aislamiento de protección, e inmediatamente después deben volver a presentar la resistencia de aislamiento total (Ver también apartados 6.4.7. y 6.4.8).

Estas vías de chispas de alta intensidad (figura 5.14) deben estar, asimismo, en situación de derivar elevadas corrientes de rayo, sin experimentar destrucción o daños graves, y deben cumplir para un servicio sin interrupciones, las mismas exigencias de fiabilidad que los aislamientos usuales.

Estas vías de chispas del tipo HSFS, se han acreditado extraordinariamente, sobre todo en el ámbito militar, de modo que han conseguido introducirse en las normas de VDE. Así, por ejemplo, se expone y detallan estas vías de chispas, en la norma DIN VDE 0804, parte 2 (proyecto de mayo 1985) /65/.

El ensayo de una de estas vías de chispas de alto rendimiento, con una corriente de rayo extremadamente grande (figuras 5.16 y 5.2) se reproduce en la

figura 5.1 5: al derivar la corriente de choque, extingue el arco voltaico a través de orificios especiales. Este tipo de vías de chispas se montan en cajas especiales, equipadas con chapas de rebotamiento (ver párrafos 6.4.7 y 6.4.8).

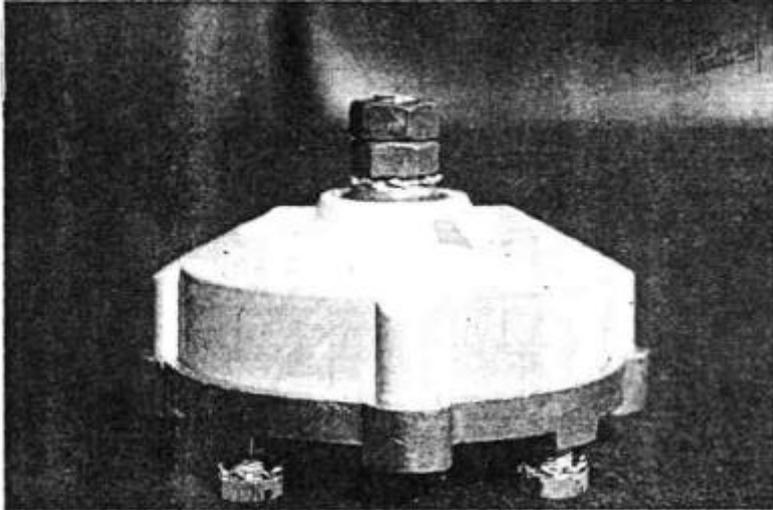


Fig. 5.14. Vía de chispas de corriente de alta intensidad tipo HSFS.

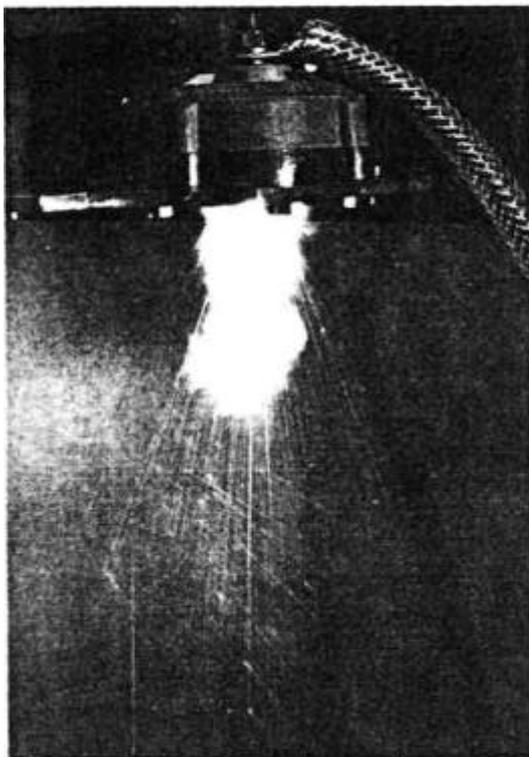
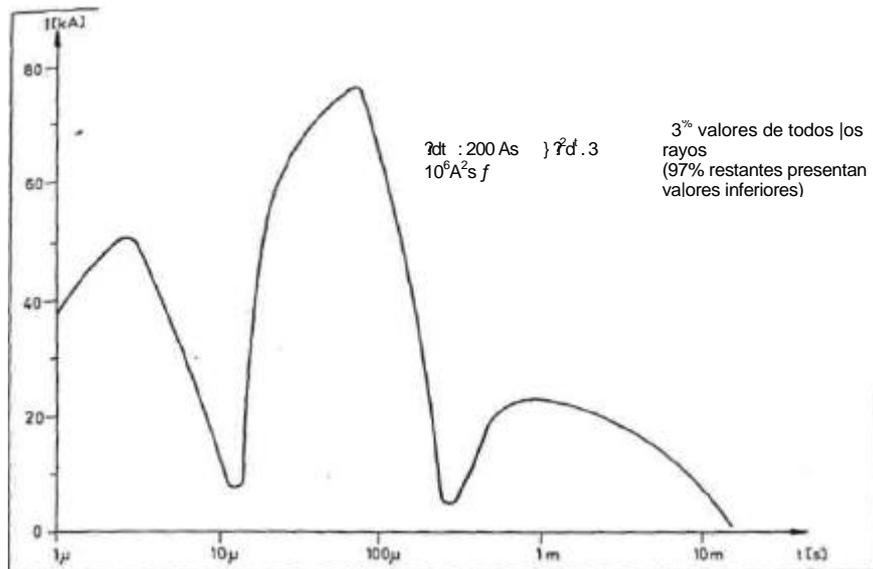


Fig. 5.15. Vía de chispas de alta intensidad, tipo HSFS, en un ensayo de laboratorio con simulación de corriente de alta intensidad (corriente de prueba de tres componentes, según figura 5.16).



5.4. ELEMENTOS Y APARATOS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES. FUNCIONAMIENTO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Los aparatos de protección contra sobretensiones (denominados "Descargadores de sobretensiones" en la norma DIN VDE 0845 /5/), son los elementos, circuitos de protección y aparatos que limitan las sobretensiones que se puedan presentar en las instalaciones, a valores permitidos.

5.4.1. Elementos constructivos

Los elementos constructivos que se emplean en la actualidad para circuitos de protección y en los aparatos de protección contra sobretensiones, son:

- Vías de descarga
- Varistores
- Diodos supresores

Todos estos elementos, cada uno con sus peculiaridades y características especiales, de las que se derivan las aplicaciones óptimas de dichos elementos, se expondrán con detalle en los capítulos siguientes.

5.4.1.1. Vías de descarga

Según DIN VDE 0845 /5/, "Las vías de descarga" pueden ser descargadores de gas, explosores de protección, o vías de chispas deslizantes, en los que el flujo de la corriente entre los electrodos se produce a través de una descarga de alto vacío.

Descargadores de gas (Figura 5.1 7) son vías de chispas en las que los electrodos, situados enfrentados entre sí, forman un espacio de descarga junto con el aislante que les rodea, existiendo en el citado espacio de descarga un gas noble, que generalmente es argón. Con frecuencia los electrodos y la pared del aislante — mienta están recubiertos de revestimientos emisores de gas. En la figura 5.18 se muestra el comportamiento típico de respuesta de un derivador de descarga de alto vacío.

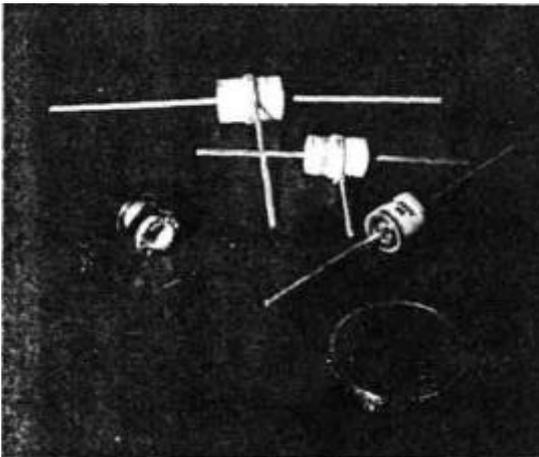


Fig. 5.17. Derivador de descarga de alto vacío con tres electrodos. (Foto Siemens).

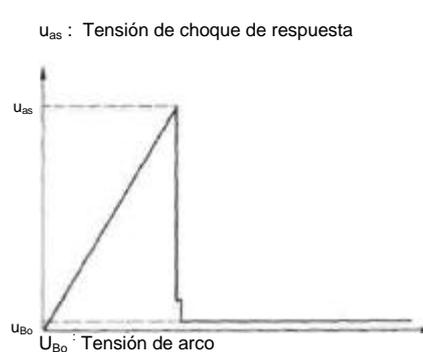


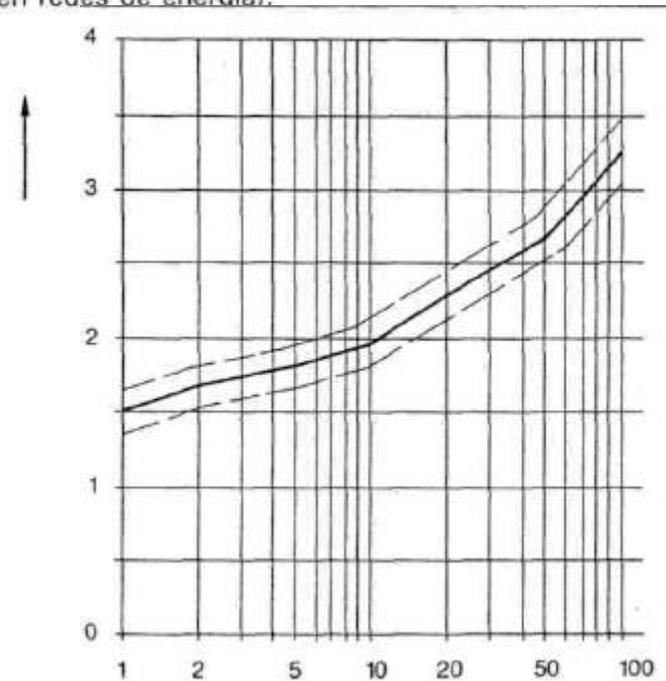
Fig. 5.18. Comportamiento de respuesta de un derivador de alto vacío.

Como puede verse en la figura 5.19 la tensión de respuesta de un descargador de este tipo, aumenta considerablemente al intensificarse la pendiente (du/dt) de la sobretensión que se ha de limitar.

Para el uso como limitador de sobretensiones, hay que tener en cuenta las características siguientes de los descargadores de gas:

- Capacidad de descarga de corriente (8/20): desde algunos kA hasta algunas decenas de kA.
- Largo tiempo de respuesta: algunos centenares de μs .
- Fuerte dependencia por parte de la tensión de respuesta del du/dt : desde algunos cientos de V hasta algunos kV.

- Tensión de arco: algunas decenas de V (por ello no es posible el empleo directo en redes de energía).



u
(kV)

→ $\left(\frac{\text{kV}}{\mu\text{s}}\right)$

$\frac{du}{dt}$

Fig. 5.19. Línea característica de tensión de choque de cuña del descargador de alto vacío (tensión continua de respuesta 800 V).

Explosores de protección. Son vías de chispas, cuyos electrodos se encuentran al aire y a la presión ambiente. Su comportamiento de respuesta es similar al de los descargadores de gas.

Los descargadores de gas y los explosores se utilizan para protección de:

- trayecto de descarga
- bornas de conexión
- conectores enchufables
- aislamientos de cables de datos.

Además se montan conectados en serie con varistores, en ciertos descargadores (Ver párrafo 5.4.2).

Vías de chispas deslizantes. En ellas la descarga tiene lugar de modo deslizante. En comparación con los descargadores de gas y los explosores de protección, la línea de tensión de choque de cuña de un derivador de descarga deslizante tiene un desarrollo mucho más plano /66/, siendo muy llamativa la reducida dispersión de los valores de medida, como puede verse en la figura 5.20. Los derivadores de descarga deslizantes y los descargadores de gas pueden emplearse también en instalaciones técnicas de energía (220 V, 50 Hz) (ver párrafo 5.4.2.), ya que están en situación de extinguir automáticamente la corriente sucesiva producida después de su activación.

Las vías de chispas deslizantes pueden dimensionarse de tal manera que sean capaces de soportar los esfuerzos y cargas originados por una descarga directa de rayo.

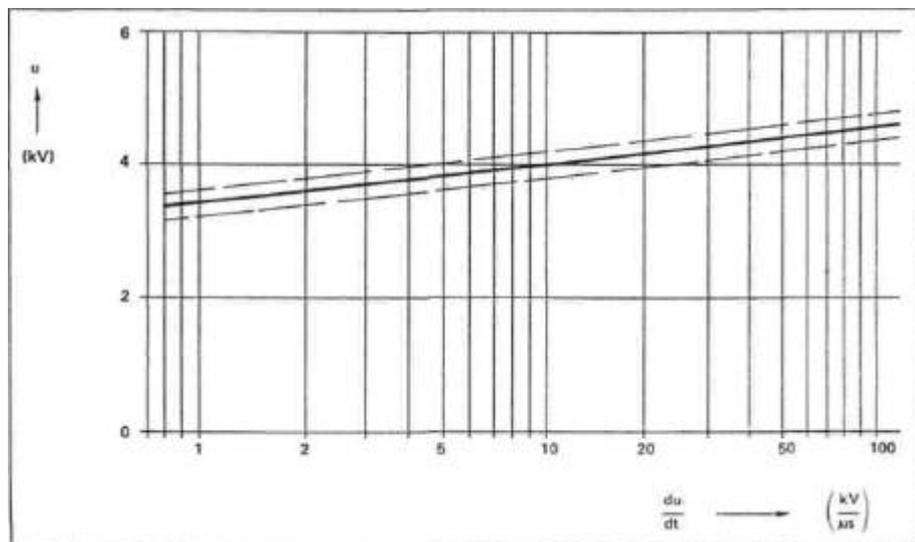


Fig. 5.20. Línea característica de tensión de choque de cuña de un descargador de descarga deslizante.

5.4.1.2. Varistores

Los varistores (Figura 5.21) son resistencias bipolares, no lineales, realizadas en carburo de silicio u óxido de cinc, con curva característica de corriente y tensión simétrica (Figura 5.22), cuyos valores de resistencia disminuyen al aumen-

tar la tensión. Esta dependencia de la tensión puede expresarse por medio de la ecuación siguiente:

$$I = K \cdot U^a$$

siendo a el coeficiente de no linealidad.

Este coeficiente de no linealidad es un valor característico para el comportamiento de la variación de la corriente en relación con la variación de la tensión a depende fuertemente de la densidad de corriente en el varistor, de modo que no es una constante. Por lo regular, el coeficiente de no linealidad a se refiere a un determinado margen operativo, para lo cual de la línea característica $U-I$ (Figura 5.23), se toman dos partes de valores corriente-tensión (U_1, I_1) y (U_2, I_2) , a partir de los cuales se puede calcular a , de la forma siguiente:

$$a = \frac{\log I_2 - \log I_1}{\log U_2 - \log U_1}$$

Normalmente se determina a a partir de los valores de $U-I$ para 1 mA y para 1 A. De la línea característica $U-I$, reproducida en la figura 5.23 se obtiene para a , el valor:

$$a = \frac{\log 1 - \log 10^3}{\log 240 - \log 200} \sim 38$$

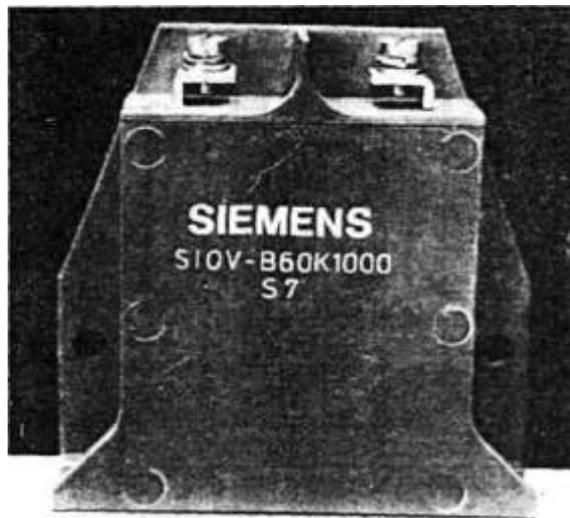


Fig. 5.21. Varistor. (Foto Siemens).

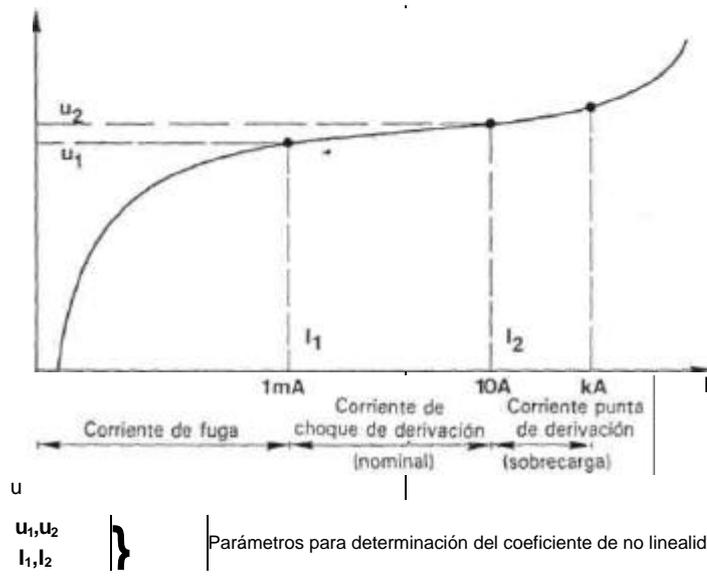


Fig. 5.22. Línea característica de corriente-tensión en un varistor.

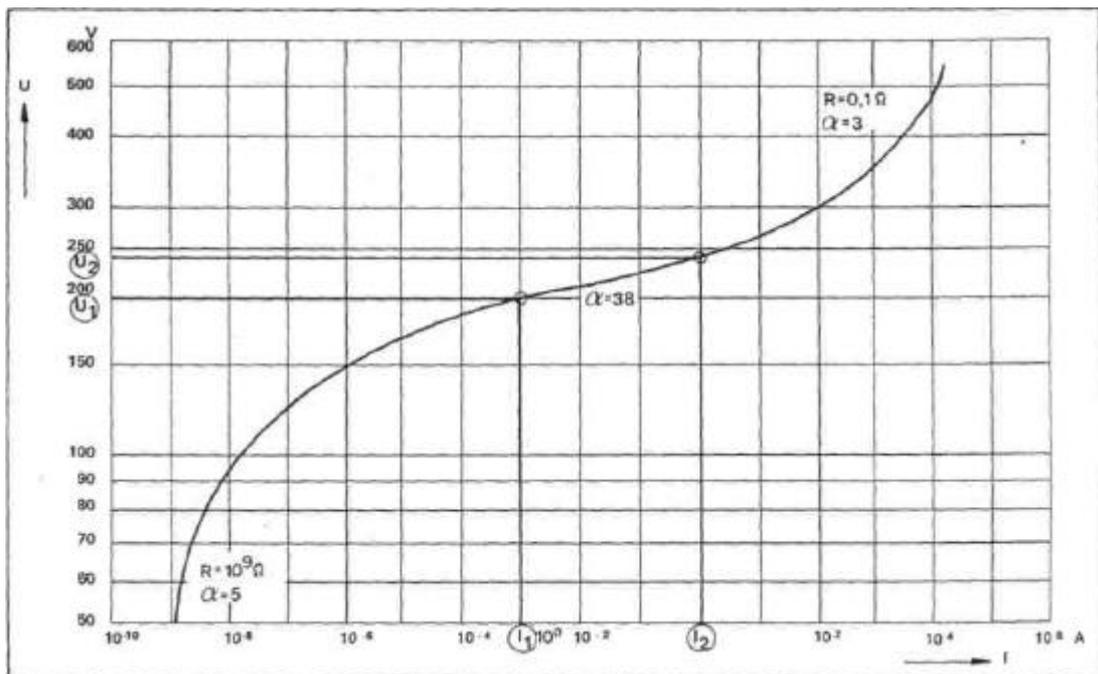


Fig. 5.23. Determinación de α a partir de la línea característica U/I (figura Siemens).

En la figura 5.24 se ha representado la línea característica U/I de un varistor de óxido de cinc (I), comparándola con la característica de un varistor de carburo de silicio (II), estando dimensionados ambos varistores para una tensión de servicio máxima de 200 V tensión continua, o 150 V tensión alterna.

De esta figura se deduce claramente, la "exactitud mayor" con que se pueden limitar sobretensiones, por un varistor de óxido metálico ($a \sim 30$), en comparación con la limitación que se consigue con un varistor de carburo de silicio ($a \sim 5$).

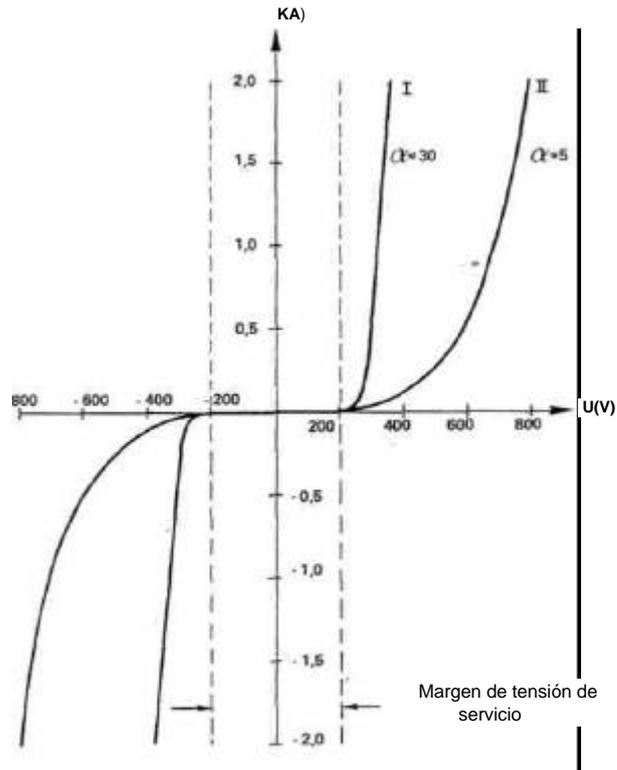


Fig. 5.24. Líneas características de varistores U/I (200V-, 150 V-) (figura Siemens).

Si se utilizan como limitadores de tensión, hay que prestar atención a las siguientes características de los varistores:

- Nivel de protección (dependiendo de la corriente y de a): en el ámbito de la corriente nominal de choque de derivación, superior en una proporción de 4 hasta 8 respecto de la tensión de servicio de la instalación.

- Capacidad de derivación de la corriente de choque (dependiendo del dimensionado del varistor): desde algunos cientos de A hasta algunos kA.
- Tiempos de respuesta muy cortos: inferiores a 25 μ s.

Los varistores se utilizan, especialmente, para protección de instalaciones técnicas de energía y aparatos (ver figura 5.4.2.), pero también pueden utilizarse para protección de componentes electrónicos pasivos, de relés y de transmisores.

Conectados en serie con vías de chispas de descarga, se montan en descargadores (ver párrafo 5.4.2.).

5.4.1.3. Diodos supresores

Los diodos supresores son diodos Zener rápidos, capaces de soportar corrientes de choque. (Figura 5.25)

En la figura 5.26 se muestra la línea característica de corriente y tensión de uno de estos diodos.

Para poder realizar una mejor comparación, se han representado juntas las líneas características U-I de varistores y de diodos supresores en la figura 5.27.

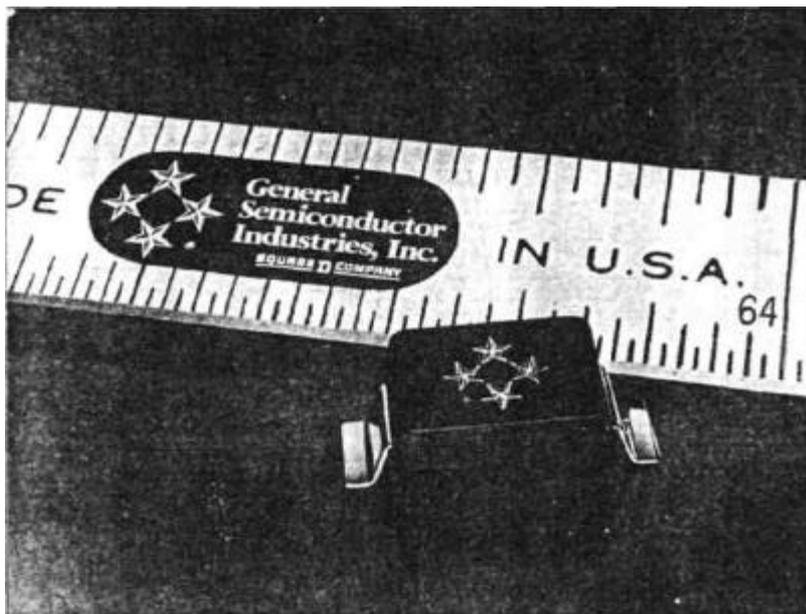


Fig. 5.25. Forma de ejecución de un diodo supresor. (Foto Sinus Elektronik).

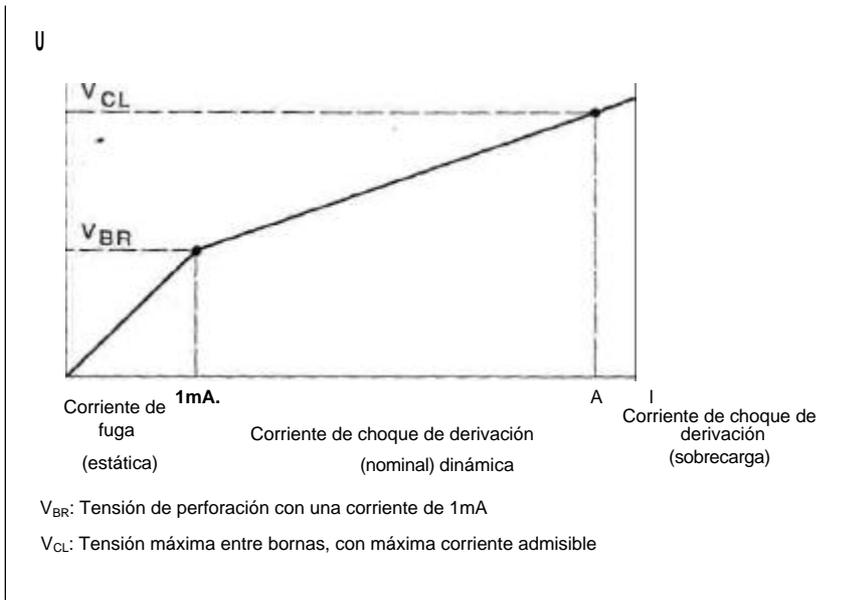


Fig. 5.26. Línea característica de un diodo supresor (corriente-tensión)

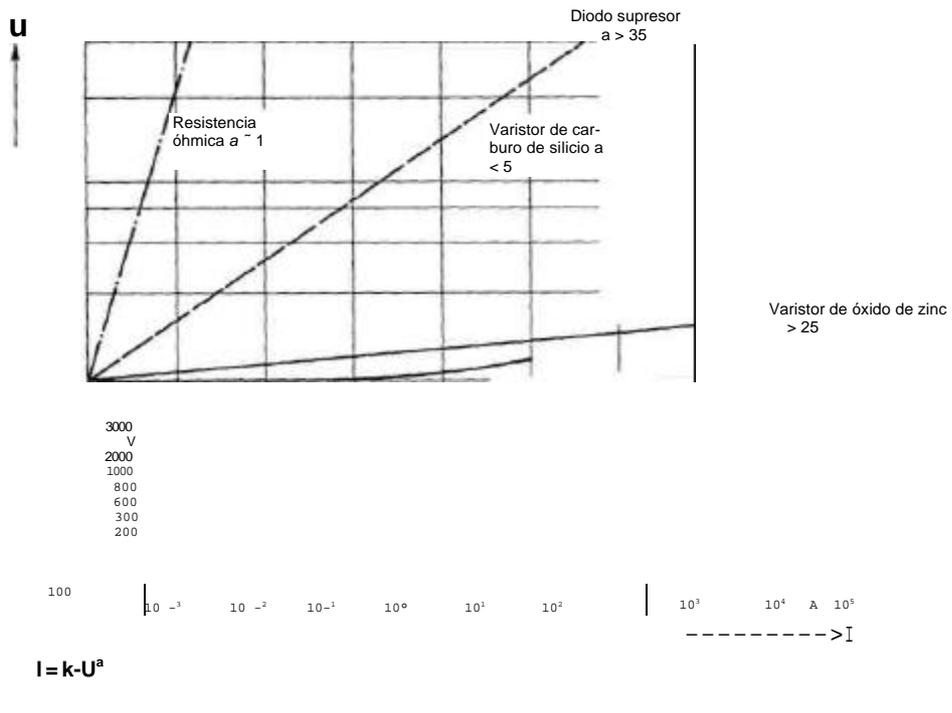


Fig. 5.27. Líneas características de varistores y diodos supresores.

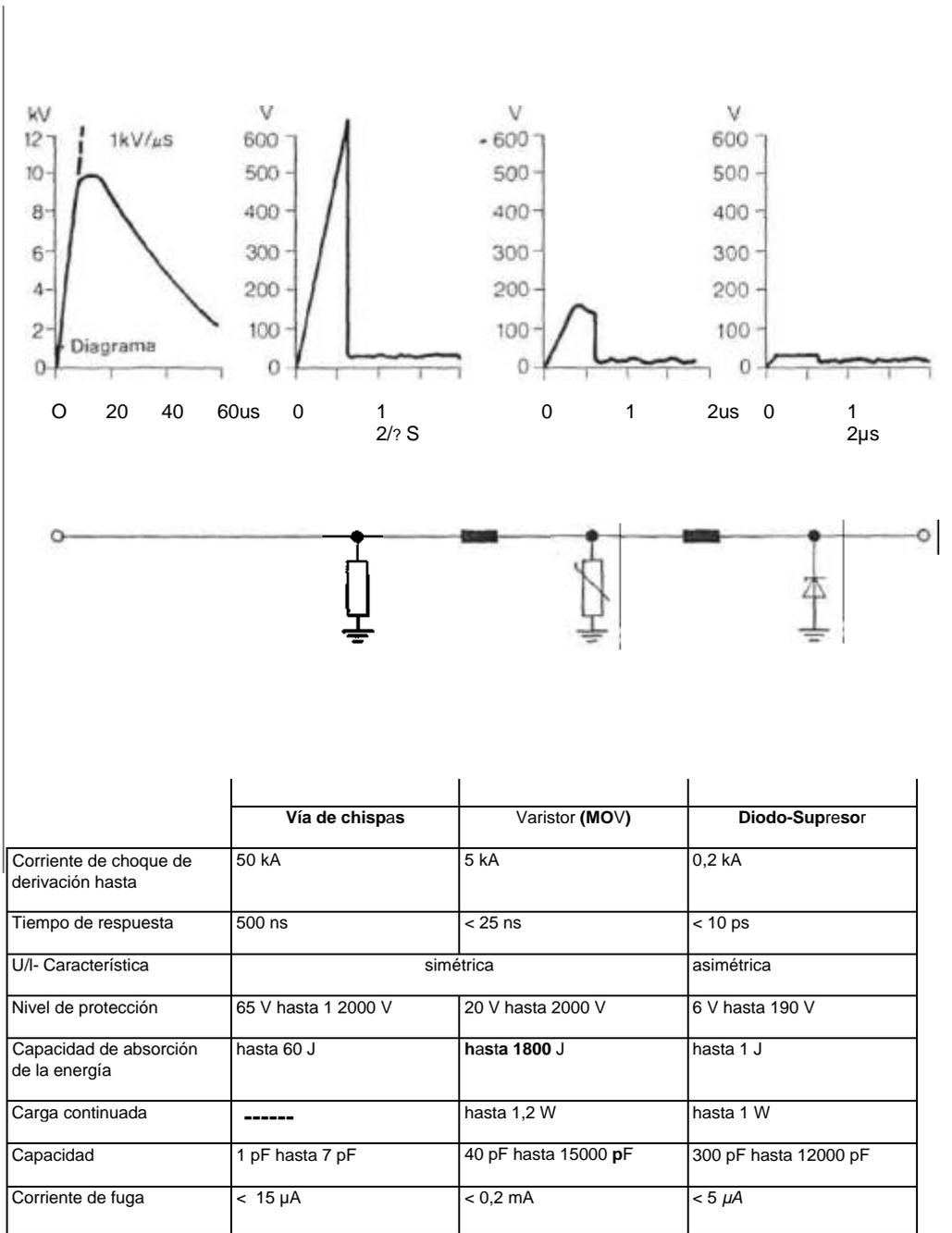


Fig. 5.28. Protección escalonada.

Para la utilización de diodos supresores como limitadores de sobretensiones, son de importancia las características siguientes:

- Nivel de protección (dependiente de la corriente y de a): en la zona de la corriente de choque de derivación es mayor en el factor 1,3 hasta 2, que la tensión de servicio de la instalación.
- Capacidad de derivación de corriente de choque: algunas decenas de kA.
- Tiempos de respuesta muy cortos: algunos picosegundos (ps)

Los diodos supresores suelen emplearse para protección de elementos con semiconductores. Se aplican, de preferencia, en aparatos de protección (ver párrafo 5.4.3.) juntamente con vías de descarga y con elementos de desacoplamiento.

5.4.1.4. Coordinación de los elementos de protección

Los elementos de protección, que hemos presentado hasta ahora, pueden utilizarse, coordinados en forma de protección escalonada, con los niveles de protección regulados y adaptados, tal y como se muestra en la tabla 5:28.

5.4.2. Descargadores para redes de energía

Los descargadores de sobretensiones (denominados desde ahora "descarga-dores" en forma abreviada) para redes de energía pueden clasificarse según sus campos de utilización, en:

- Descargadores para montaje en líneas aéreas.
- Descargadores para instalación en las zonas de entrada de un cable (conductor) de energía, en un edificio, para conseguir la compensación de potencial de protección contra rayos.
- Descargadores para montaje en instalaciones de edificios.
- Descargadores para montaje en cajas de enchufes.

Característico para descargadores son: la *tensión de servicio del descargador*, la corriente de choque nominal y el nivel de protección.

La tensión de servicio del descargador es aquella tensión que puede estar aplicada continuamente en las bornas del descargador y con la que el descargador esté en situación de extinguir una corriente sucesiva que fluye de la red, tras la corriente de choque nominal 8/20 con un valor cresta de p. ej. 5 kA. Con la tensión de servicio del descargador suele preindicarse la posibilidad de empleo de un descargador: Se puede utilizar un descargador con una tensión de servicio (tensión de apagado según DIN VDE 0675 /60/), de 280 V en redes, en las que la tensión máxima de servicio no sobrepase los 280 V; este tipo de descargadores

se instalan en redes de corriente alterna de 220/380 V, entre la compensación de potencial (o res. la "tierra") y el conductor fase.

La corriente de choque nominal de derivación es uno de los parámetros de dimensionado para un descargador; sus dimensiones y forma de onda dependen del campo de utilización del descargador.

La tensión, que aparece entre las bornas del descargador al paso de la corriente de choque nominal de derivación, se denomina tensión residual U_r /60/.

Con el nombre de nivel de protección se denomina el valor máximo en cada caso obtenido del 100% de la tensión de choque de rayo que origina la respuesta del descargador, /60,61/ y la tensión residual.

Actualmente se está elaborando una norma especial para "Descargadores de baja tensión" como parte de la norma DIN VDE 0675 /60/.

La figura 5.29 muestra diversas formas posibles de descargadores.

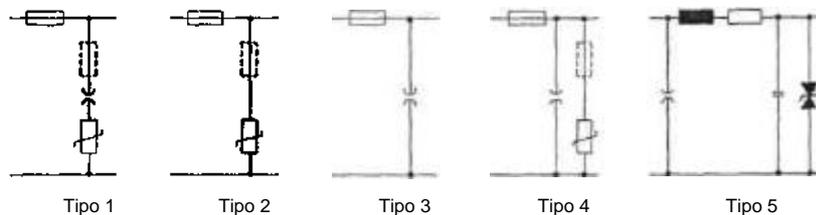


Fig. 5.29. Formas básicas constructivas de descargadores.

5.4.2.1. Descargadores para empleo en líneas aéreas

Los descargadores destinados a su empleo en líneas aéreas de baja tensión (figura 5.30), son por lo general del tipo 1 (figura 5.30) (conexión en serie de vía de chispas y de resistencia dependiente de la tensión, figura 5.31), estando dimensionados para una corriente nominal de choque de derivación 8/20 con un valor cresta de 5 kA /59,60/. Es esta una carga como la que se produce en la red de suministro de energía al tener lugar una descarga lejana de rayo. Si se trata de una descarga directa de rayo, este tipo de descargadores experimentan una sobrecarga, en cuyo caso, la vía de chispas p. ej. puede quedar soldada y la resistencia dependiente de la tensión se quema — en estos casos se activa un dispositivo de separación que separa de la red el descargador defectuoso o averiado, que es fácilmente reconocible por haberse soltado un casquillo indicador).



Fig. 5.30. Estructura del descargador de la Fig. 5.31.

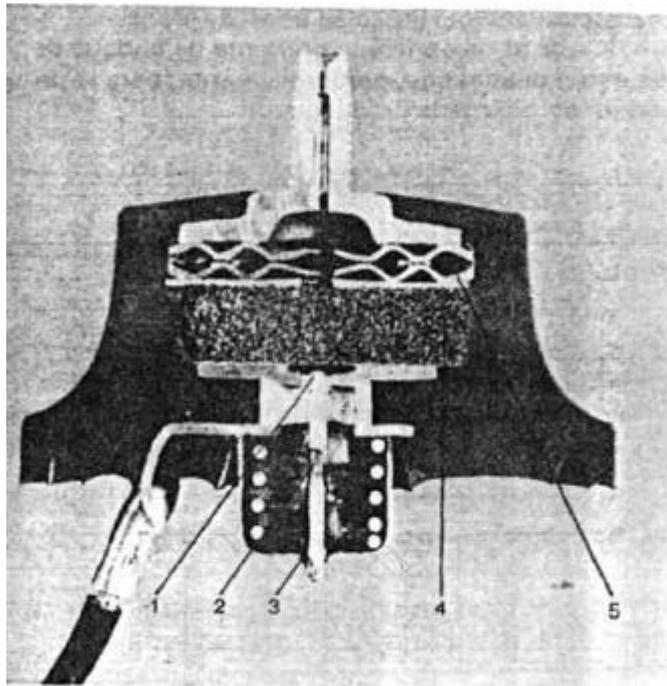


Fig. 5.31.

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Punto de soldadura. | 2. Conductor fusible |
| 3. Punto de señalización | 4. Material resistivo dependiente de la tensión |
| 5. Vías de chispas | |
- (Foto: Siemens)

En la figura 5.32 se ha indicado la tensión U_M que se produce al derivar una corriente de choque (8/20) de 5 kA, originada entre línea aérea y tierra.

U_M se compone de:

- Nivel de protección U_p (aproximadamente 2 kV)
- Caída de tensión en la inductancia del conductor de tierra (en la corriente de choque de 5 kA, 8/20, representa $(di/dt)_{max}$ aproximadamente 1 kA/ μ s, y en consecuencia el valor cresta de esta caída de tensión es aproximadamente de 10 kV).
- Caída de tensión en la resistencia de puesta a tierra de choque R_E (con valor cresta aproximado de 50 kV)

La suma de todos estos desarrollos de la tensión (ordenados en su orden de tiempo) dan lugar al diagrama de $U_M = f(t)$ en la figura 5.33 con un valor U_M de cresta de aproximadamente 55 kV. De ello se deduce claramente que, los des-cargadores instalados en líneas aéreas de baja tensión no son capaces de prote-

ger efectivamente instalaciones de consumidores a ellas conectados (figura 5.4.2.1. C,a), al derivar la corriente de choque de derivación estos descargadores están destinados, primordialmente, para la protección de las redes de líneas aéreas de baja tensión mismas.

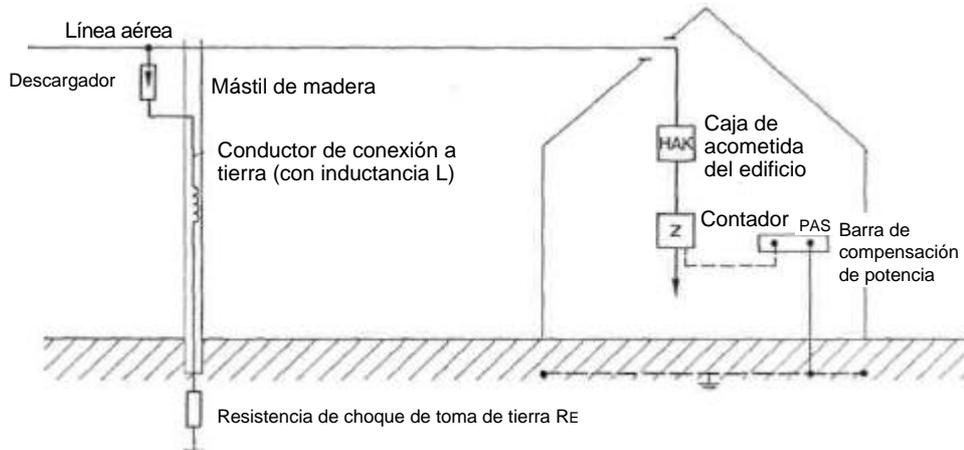


Fig. 5.32. Efecto de protección de descargadores de líneas aéreas. a) Al derivar la corriente de choque.

5.4.2.2. Descargadores para compensación de potencial de protección contra rayos

Descargadores de baja tensión se emplean dentro del marco de la compensación de potencial para protección contra rayos /1,3/ montándolos, por lo regular, en la entrada del cable de energía al edificio (Figura 4.1 1). Estos descargadores deben estar dimensionados de manera que sean capaces de soportar corrientes de choque de rayo (Corrientes de prueba según DIN 48 81 0 /44/, ver figura 5.A), y de limitar las sobretensiones, de acuerdo con la clase IV de protección contra sobretensiones, por debajo de 6 kV, según DIN VDE 0110 /7/ (ver figura 4.27).

A continuación se describen, a título de ejemplo, dos descargadores que cumplen estas exigencias, a saber: la vía de chispas de apagado y el DEHNVENTIL^(R).

La *vía de chispas de apagado*, según DIN VDE 0845 /5/, es una vía de descarga con elementos auxiliares de apagado — se trata por lo tanto de un descargador de la forma de construcción tipo 3, en la figura 5.29. En la figura 5.34 muestra una vía de chispas de apagado equipada con derivador de descarga deslizante (con aislamiento de gas). Estas vías de chispas de apagado (o de supresión)

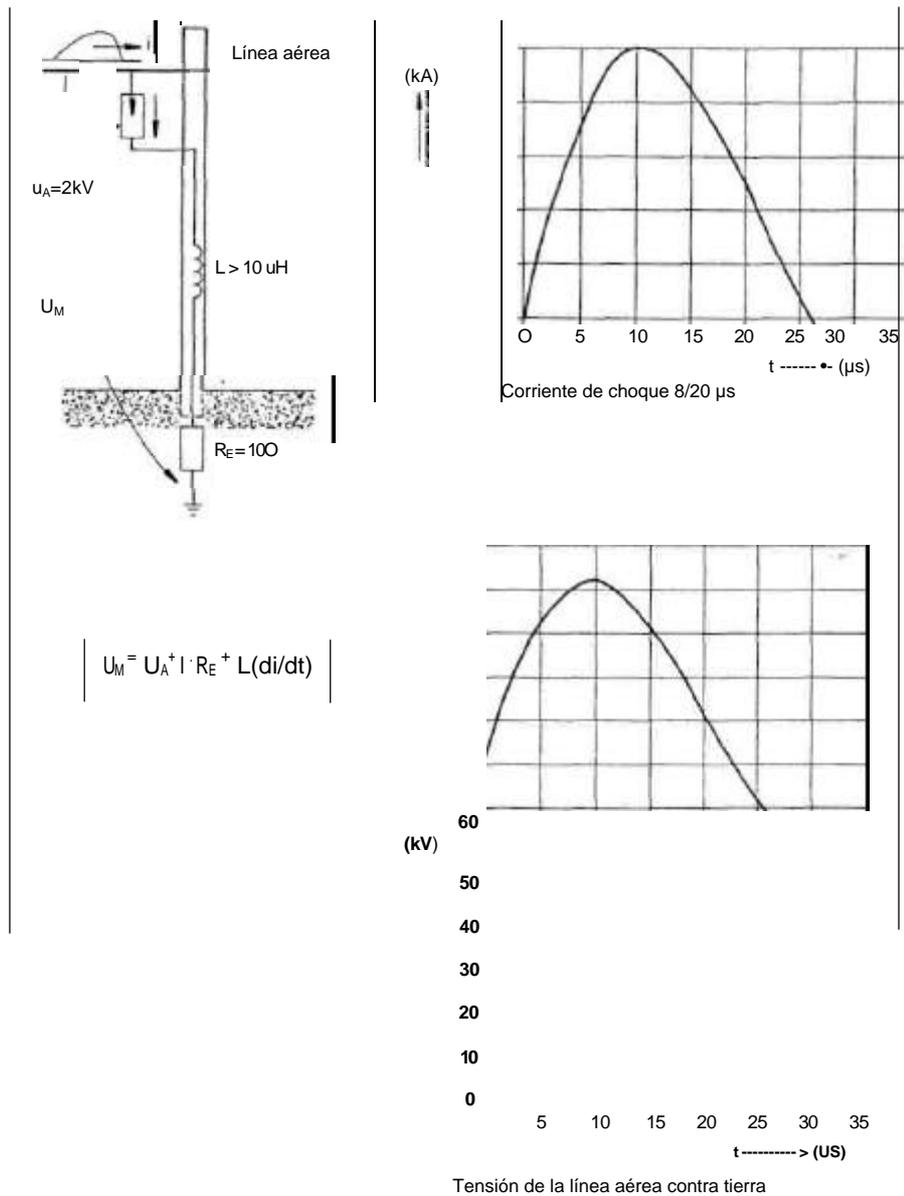


Fig. 5.33. b) Tensiones durante la derivación de una corriente de choque (8/20) de 5 kA.

y contrariamente a los descargadores de gas y a los explosores de protección, son capaces de anular o apagar automáticamente la corriente sucesiva de red. Su comportamiento básico en la limitación de una sobretensión causada por la descarga de un rayo, se expone en la figura 5.35. La tensión de arco de estos descargadores es de 80 V (frente a los 30 ... 40 V de una vía de chispas aéreas, y frente a los derivadores de descarga de alto vacío); de esta forma se reduce algo la corriente de cortocircuito de red. Este tipo de vías de chispas de apagado, combinadas con otros elementos limitadores de sobretensiones, se emplean también p. ej. en las cajas para interruptores de conexión de red. (Ver párrafo 6.4.7.).

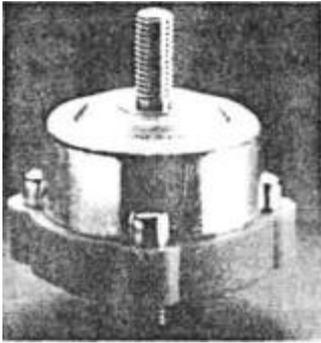


Fig. 5.34. Vía de chispas de apagado, tipo LFS.

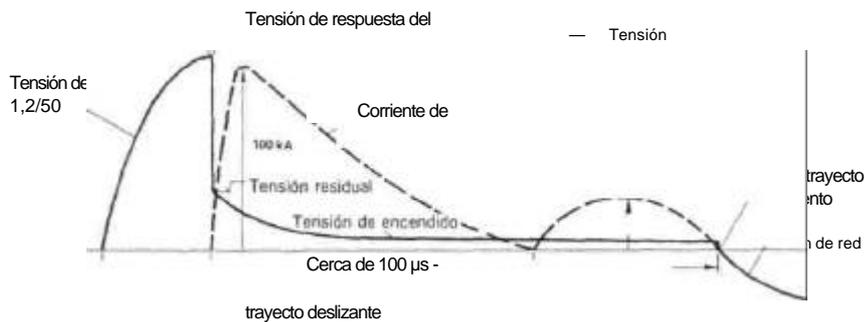


Fig. 5.35. Tensión y corriente durante una limitación de tensión realizada por una vía de chispas de apagado, tipo LFS (no está realizado a escala).

El DEHNVENTIL® (Figura 5.36) es un aparato de protección tetrapolar, que ha sido construido de acuerdo con el tipo 4 en la figura 5.4.2.A /67/: Se compone, por cada polo, de la conexión en paralelo de un derivador de descarga deslizante, capaz de soportar la corriente de rayo y de un varistor de óxido metálico vigilado térmicamente (Figura 5.37). Cuando se trata de pequeñas sobretensiones, sólo se activa el varistor; en caso de descargas directas de rayo, las vías de chispas deslizantes se encargan de la derivación de la corriente. Estos derivadores de descarga de deslizamiento están dimensionados de tal manera que estén en situación de anular (suprimir, apagar) con plena seguridad las corrientes sucesivas de la red. Las ondas de sobretensiones quedan limitadas a valores a 2 kV, valores absolutamente inocuos para las instalaciones de consumidores conectadas.

Cada uno de los varistores incorporados en un DEHNVENTIL® está equipado con un dispositivo térmico de vigilancia y separación. Este dispositivo separa de la red automáticamente, un varistor que presente alteraciones de su curva característica. En este caso, la protección de la instalación se sigue garantizando, gracias a las vías de chispas de apagado conectadas en paralelo. La lamparita indicadora incorporada indica que un varistor ha sido separado automáticamente de la red; también es posible la indicación a distancia. Además de lo expuesto, el

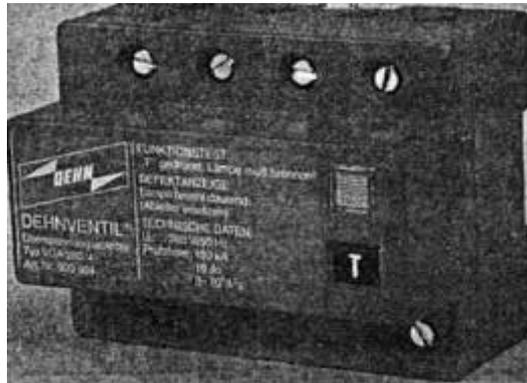


Fig. 5.36. DEHNVENTIL ". Tipo VGA 280.

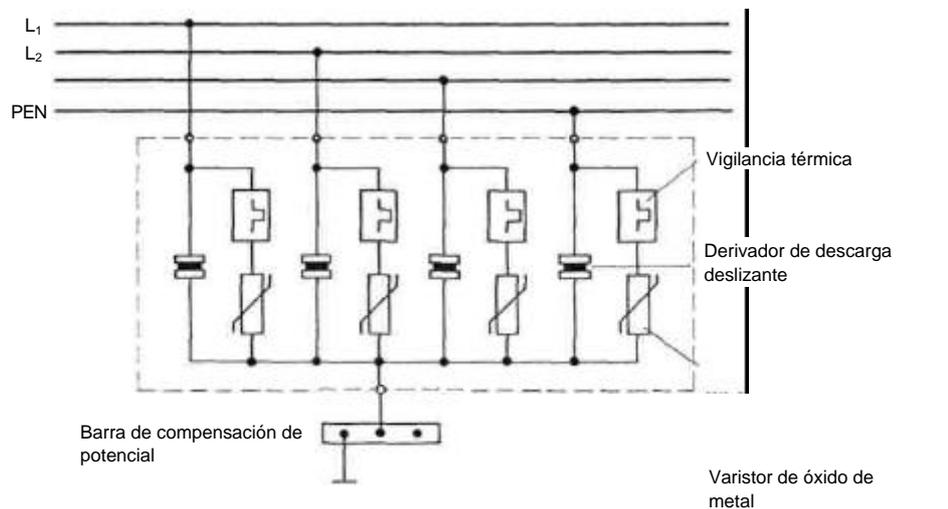


Fig. 5.37. DEHNVENTIL* Descargador de sobretensiones, también capaz de soportar descargas directas de rayos.

DEHNVENTIL^(R) lleva una tecla de prueba, con la que se puede realizar, en cualquier momento una verificación del aparato.

Hace algunos años se desarrollaron unos aparatos que protegen, tanto contra interferencias producidas por rayos como también contra interferencias electromagnéticas y contra impulsos electromagnéticos: estos aparatos se denominan "Aparatos de protección BEE", "B" por Blitz (rayo), "E" por Interferencia Electromagnética y "E" por Impulso electromagnético.

Para ello, en primer lugar es preciso una caja de acometida para conexión a la red (Figura 5.38), equipada con una protección contra sobretensiones, capaz de soportar corrientes de rayo (utilizando vías de chispas de apagado del tipo LFS y las vías de chispas de corriente de alta intensidad, tipo HSFS), para entrada de la red en instalaciones aisladas protegidas: este elemento, al igual que todos los demás aparatos del tipo BEE, están en situación de derivar, sin quedar destruidos, descargas directas de rayo; se suele utilizar con frecuencia para equipos y sistemas móviles de radiotransmisión (ver párrafo 6.4.7.).

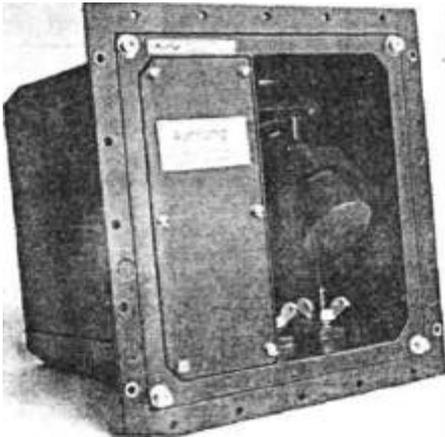


Fig. 5.38. Caja de acometida para conexión a la red con aislamiento de protección en el circuito de entrada.

El aparato de protección BEE, representado en la figura 5.39 se emplea para entrada de la red, a prueba contra descargas de rayo, en instalaciones eléctricas fijas, como son: depósitos, faros de señalización del tráfico marítimo, etc.

En la figura 5.40 puede verse un aparato de protección BEE para circuitos de corriente continua, p. ej. para grupos de suministro de corriente de emergencia.

5.4.2.3. Descargadores para utilización en instalaciones de edificios

Estos descargadores se montan en edificios, a efectos de la protección contra sobretensiones, según DIN VDE 0100 (§18) /68/, para la clase III de protección contra sobretensiones (ver figura 4.4.A), según DIN VDE 01 10 /7/. El montaje suele realizarse, p. ej. en distribuciones principales, o en distribuciones secundarias, y limitan las sobretensiones a valores inferiores a 4 kV.

Estos descargadores solamente tienen que derivar corrientes de choque, como las que se producen en caso de descargas lejanas de rayo, o en procesos de conmutación, y por ello se prueban con corrientes de choque 8/20 (Figura 5.1).

A continuación vamos a presentar algunos descargadores que cumplen todas estas exigencias.

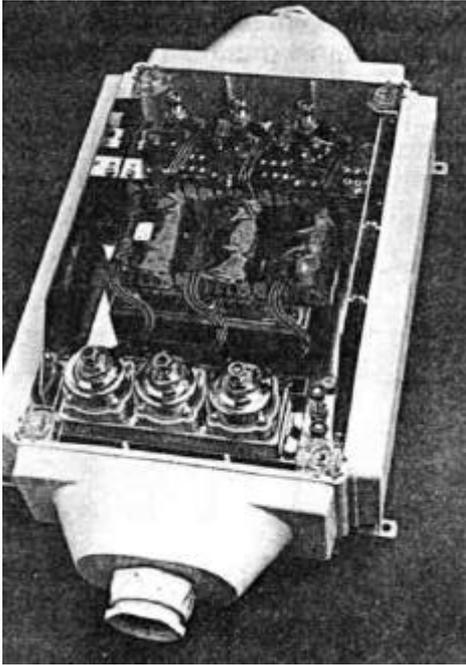


Fig. 5.39. Protección BEE (63 A) para conductores de red tripolares con toma de tierra de protección o con conexión al neutro.

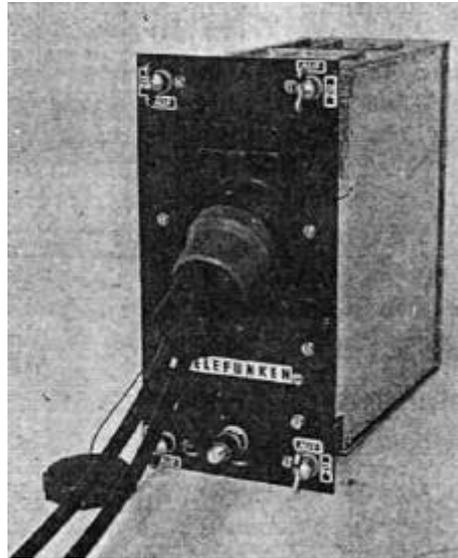


Fig. 5.40. Caja de conexiones de batería para conductores de corriente continua. (Figura ANT).

Un descargador, construido según DIN VDE 0675 /60/ o respectivamente según IEC 99-1, puede verse en la figura 5.41. Está realizado de acuerdo con el tipo 1 de la figura 5.29, como elemento para conexión en serie de vías de chispas aéreas y resistencia de carburo de silicio, dependiente de la tensión.

En la figura 5.42 se expone el desarrollo de principio de la tensión y la corriente durante la limitación de sobretensiones, realizada por medio de uno de estos "descargadores clásicos".

En la figura 5.43 se reproduce la línea característica de tensión de choque de cuña del descargador VA 280, la cual describe el comportamiento de respuesta de choque de la vía de chispas incorporada. La línea característica de protección se expone en la figura 5.44.

En la figura 5.44, se muestra la prueba de trabajo, según DIN VDE 0675 /60/ efectuada en este descargador, y realizada con tensión continua de derivación aplicada (equivalente a la "tensión de apagado" según DIN VDE 0675), con co-

riente de choque de derivación nominal (en este caso 5 kA, 8/20): el descargador debe apagar automáticamente, en 20 pruebas diferentes, la corriente sucesiva de red. Este tipo de descargadores, suelen montarse detrás del contador (figura 4.13) (Figura 5.45).



Fig. 5.41. Descargador VA 280.

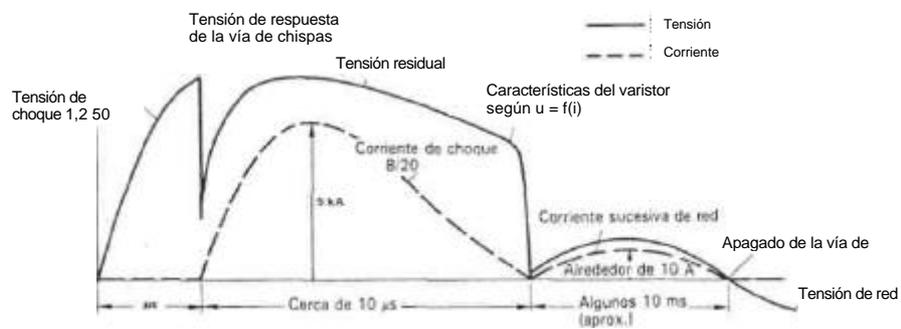


Fig. 5.42. Corriente y tensión durante una limitación de sobretensiones, llevada a cabo por un descargador con vía de chispas y con varistor de carburo de silicio (no está realizado a escala).

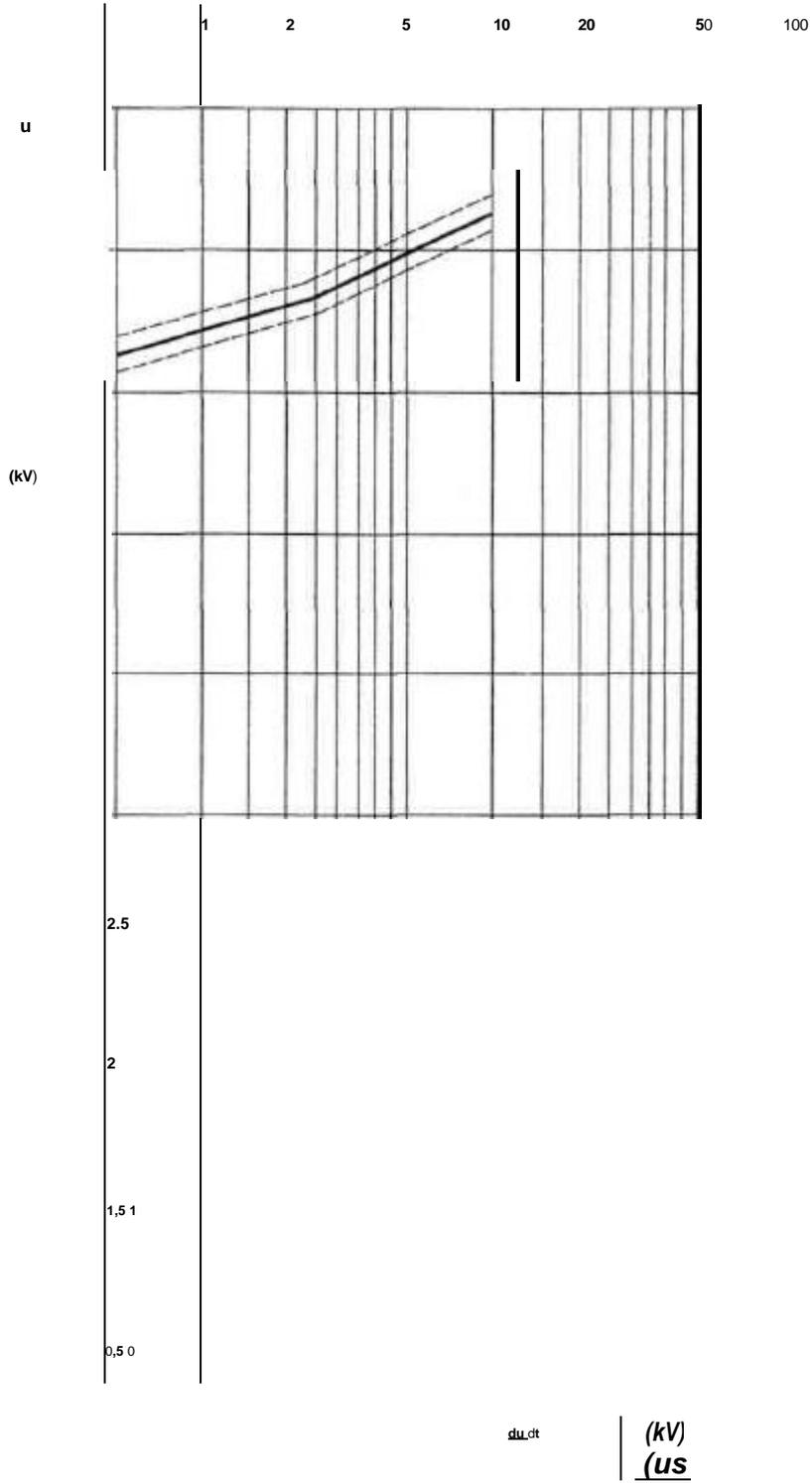


Fig. 5.43. Línea característica de tensión de choque de cuña de un descargador VA 280.

Si el descargador VA 280 (p. ej. en caso de una descarga directa de rayo) experimenta una sobrecarga, entonces su dispositivo incorporado de separación se activa automáticamente, y separa de la red el descargador averiado o defectuoso. El suministro de tensión a los consumidores de la instalación conectada tras el descargador, no se ve implicado ni dificultado por la separación de un descargador; sin embargo, estos descargadores averiados o defectuosos deberían ser rápidamente sustituidos, ya que no ofrecen ninguna protección contra sobretensiones. Se puede

reconocer el hecho de que un descargador está separado de la red, y con avería, por el botón levantado (si se trata de un descargador VA 280). (Figura 5.46).

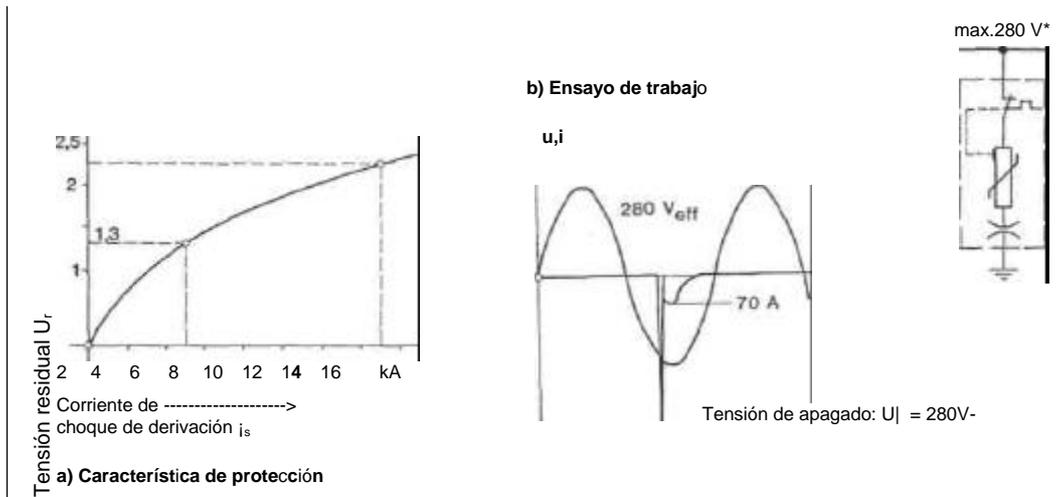


Fig. 5.44. Característica de protección y ensayo de trabajo del descargador VA 280.

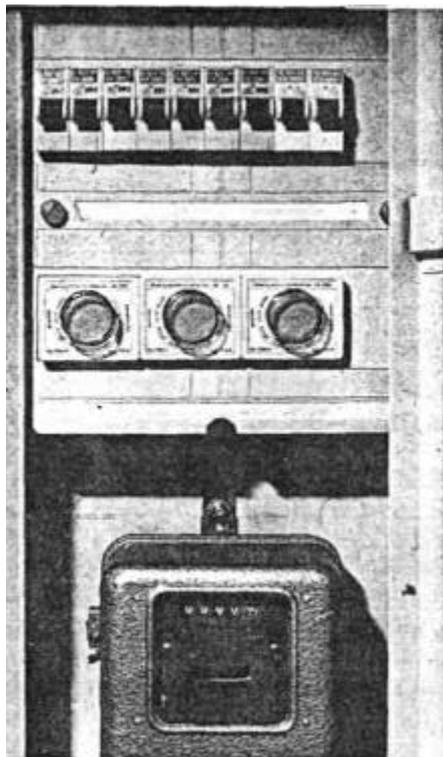


Fig. 5.45. Montaje del descargador VA 280.

En la figura 5.47 se reproduce un descargador destinado a montaje en la parte inferior de fusible NH del tamaño 00. En la figura 5.48, se puede ver otro ejemplo de montaje: es muy fácil realizar la sustitución de un descargador, con ayuda de una empuñadura de colocación de fusible NH, incluso estando aplicada la tensión de red.

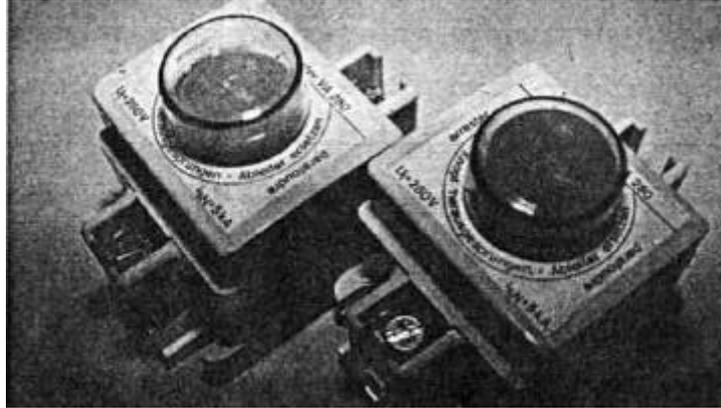


Fig. 5.46. Activación del dispositivo de separación de la red en un descargador Ventibleiter VA 280: el descargador situado a la derecha de la foto, está averiado y separado de la red, lo que se reconoce por el hecho de que el botón está levantado.



Fig. 5.47. Descargador tipo NHVA 280.

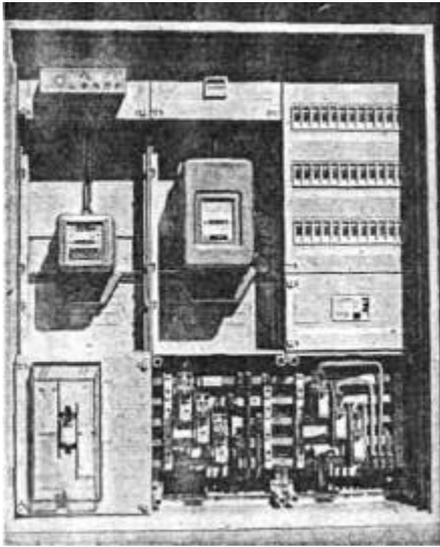
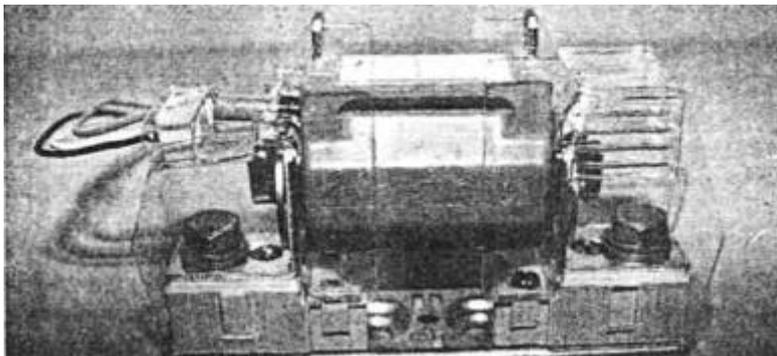


Fig. 5.48. Montaje del descargador NHVA 280.

Si se utilizan cuerpos inferiores de los fusibles, con microinterruptores (figura 5.49), entonces al producirse la separación del descargador (en caso de avería), salta una clavija que acciona estos interruptores. Con ello se hace posible un aviso o indicación a distancia, informando que es precisa la sustitución del descargador.



Los descargadores NHVA, si se montan en una caja encapsulada, resistente a la presión, pueden emplearse también en zonas expuestas al peligro de explosiones (Figura 5.51). El fallo o activación de uno de estos descargadores encapsulados, puede también avisarse a distancia, a través de micro-interruptores.

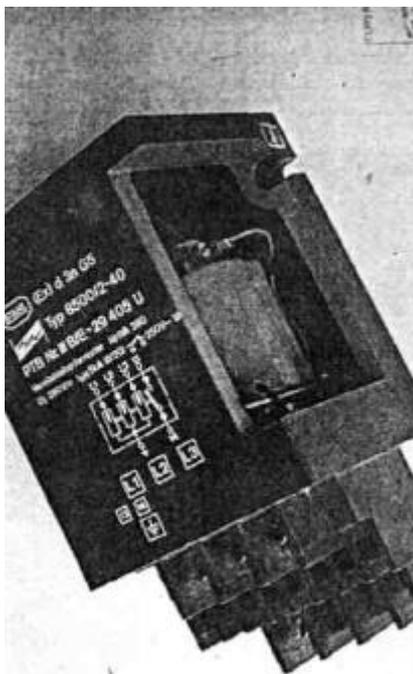


Fig. 5.50. Descargador NHVA en carcasa "encapsulada resistente a la presión".



Fig. 5.51. Descargador NHVA 280 en carcasa resistente a la presión, incorporada en una caja del tipo de protección contra explosiones "Seguridad Intensificada".

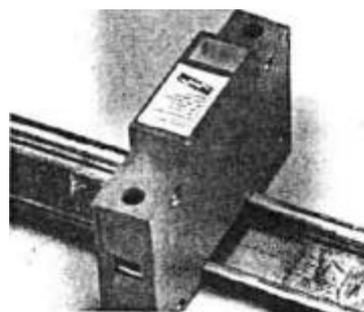


Fig. 5.52. Descargador del tipo VM 280.

En la figura 5.52 puede verse un moderno descargador, realizado en técnica modular, equipado con un varistor de óxido de cinc vigilado térmicamente, y que corresponde al tipo 2 en la figura 5.29. Este descargador puede instalarse en distribuciones, ya que precisa de un espacio muy reducido para su montaje (Figura 5.53).

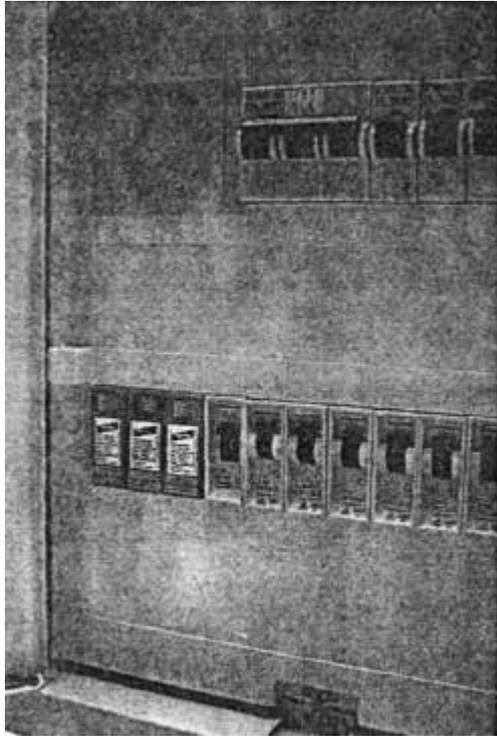


Fig. 5.53. Instalación del descargador tipo VM 280.



Fig. 5.54. El visor negro del descargador VM 280, a la derecha de la foto, señala que un dispositivo de corte ha actuado.

El comportamiento esencial en caso de una limitación de sobretensiones de rayos, se explica en la figura 5.55. Una prueba con tensiones de choque 1,2/50, realizada aproximadamente según DIN VDE 0675 /60/, o la determinación de una línea característica de tensión de choque de cuña, carecería en absoluto de sentido en estos elementos de resistencia, no lineales, al trazar una curva característica continua $u = f(i)$. La tensión de limitación viene fijada, exclusivamente, por la tensión residual en caso de derivación de una corriente de choque.

La activación del dispositivo de separación en el descargador VM 280 se visualiza a través de una tapa del orificio de inspección de color negro, sobre la

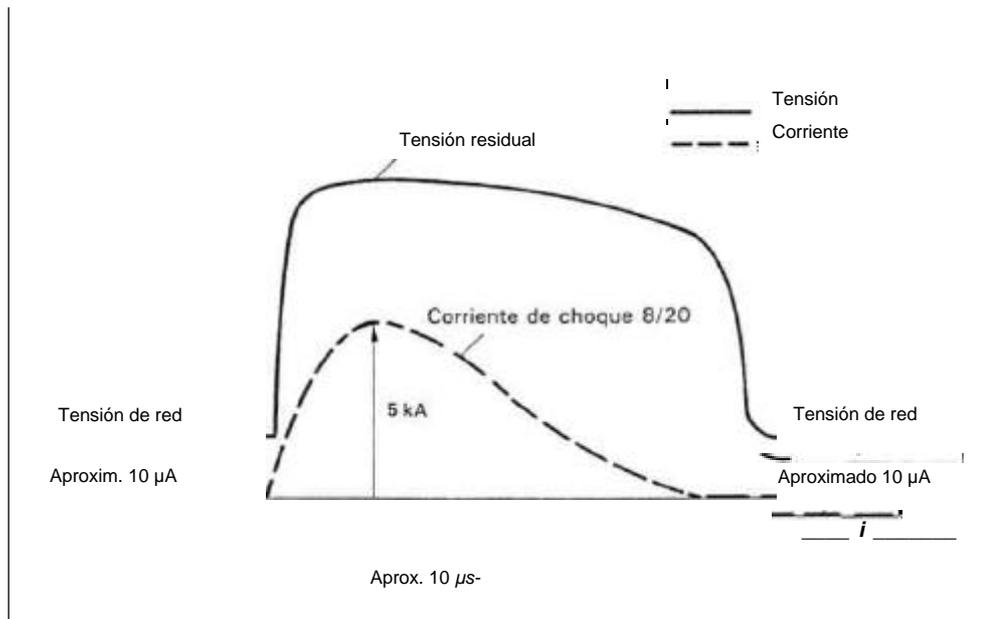


Fig. 5.55. Comportamiento de la tensión y de la corriente durante una limitación de sobretensiones realizada por el descargador VM 280 (no está realizado a escala).

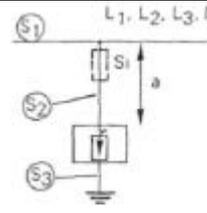
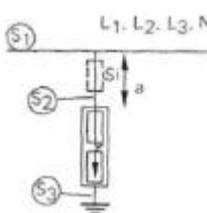
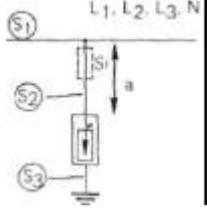
ventanilla (figura 5.54), y puede también transmitirse a distancia, por medio de un contacto normalmente cerrado libre.

Al elegir las secciones de los conductores de conexión, y en su caso también al elegir el dimensionado de los fusibles previos para descargador de baja tensión, hay que tener muy en cuenta las condiciones reproducidas en la figura 5.56, de acuerdo con DIN VDE 0100, partes 410 y 540 /41, 43/.

En la figura 5.57 se muestra la utilización de descargadores de baja tensión en una red TN, con sus ejecuciones posibles TN-C y TN-S.

En este punto permítasenos hacer algunas consideraciones relativas a la protección contra sobretensiones en instalaciones con interruptores de protección contra averías (fallos) /69/.

En el caso de los interruptores de protección diferencial FI, es decir, interruptores sensibles a las corrientes de choque, se suelen montar descargadores en los elementos de entrada de la red de suministro, por delante del interruptor de protección (Figura 5.58). Para que en estos casos no se produzcan tensiones de contacto excesivamente altas, ocasionadas por un descargador defectuoso o averiado, en la instalación de consumidores, la resistencia de puesta a tierra RE no debe sobrepasar determinados valores /70/.

Tipo de descar- gador	Esquema de montaje (unipolar)	Condiciones de montaje					
		S ₁	S ₂			S ₃ >	
			Largo a	Sección	Fusibles previos	Tendido especial del cable	
DEHNVENTIL®		<35 mm ² Cu >35 mm ² Cu	cual- quiera	Igual que S ₁ 35mm ²	si fusibles previos >100 AgL 100 A gL	no	10 hasta 25 mm ² Cu
		<25mm ² Cu >25mm ² Cu	cual- quiera	como Si	no	tendido a prueba de cortocircuito y derivación a tierra	6 hasta 25 mm ² Cu
VA y NHVA		<25mm ² Cu >25mm ² Cu	cual- quiera	como Si	no	tendido a prueba de cortocircuito y derivación a tierra	
		<25mm ² Cu >25 mm ² Cu	cual- quiera	como S ₁	si fusibles previos > 63 A gL	no	6 hasta 25 mm ² Cu
VM		<25mm ² Cu >25 mm ² Cu	cual- quiera	como S ₁	si fusibles previos > 63 A gL	no	
		<25mm ² Cu >25 mm ² Cu	cual- quiera	como S ₁	si fusibles previos > 63 A gL	no	6 hasta 25 mm ² Cu

Los datos son válidos para redes con corriente de cortocircuito de red hasta 25 kA/50 hz (en el lugar de montaje del descargador)

*) S3 se dimensiona como el cable principal de compensación de potencial según VD 0100, parte 540. S3 depende de la sección del conductor de protección que parte de la caja de acometida del edificio, o de la distribución principal. Supone 0,5 x sección del conductor principal de protección, pero en cualquier caso, como mínimo 6 mm² Cu y máximo 25 mm² Cu.

Fig. 5.56. Condiciones de montaje para descargadores de baja tensión DEHNVENTIL, VA NHVA y VM

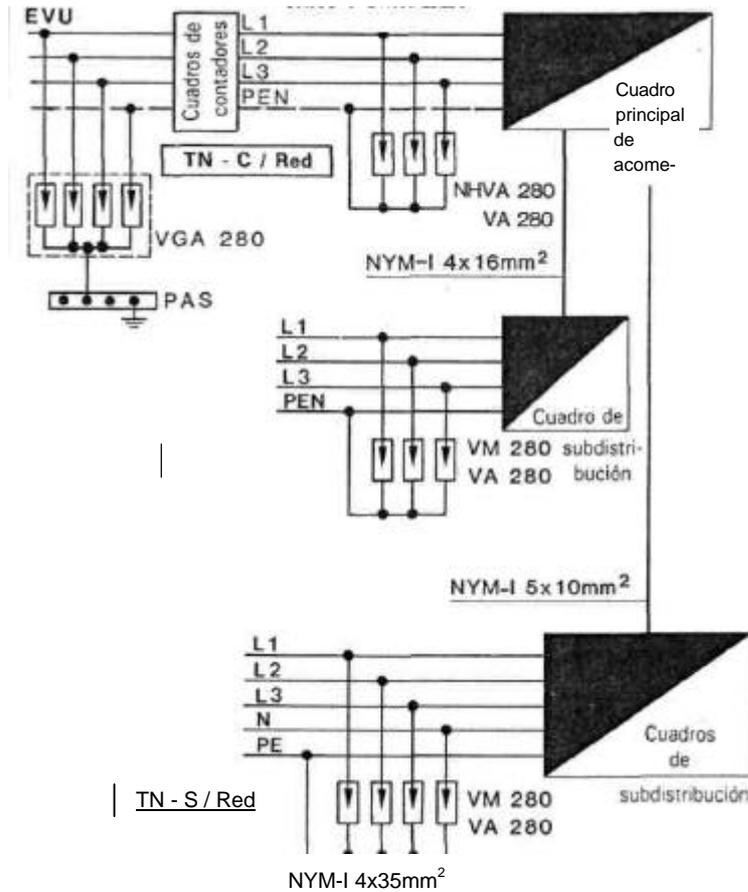


Fig. 5.57. Posibilidad de montaje de descargadores de baja tensión en redes TN.

Con el fin de que los interruptores de protección FI no se disparen indebidamente, como consecuencia de las repercusiones de descargas lejanas de rayos, causando una serie de daños subsiguientes, difícilmente evaluables, se hizo necesario el desarrollo de interruptores de protección FI, con retardo en el disparo, y que además, y contrariamente a los interruptores de protección FI convencionales, son resistentes a las corrientes de choque.

Este tipo de interruptores de protección FI, resistentes a corrientes de choque, se caracterizan y señalan según DIN VDE 0664, parte 1 /71/, con la letra [S]: Se trata de interruptores de protección FI de disparo retardado, que trabajan selectivamente, conectados en serie con interruptores de protección FI, de ejecución convencional. El montaje de estos interruptores de protección [S] debe realizarse por delante de las subdistribuciones, como interruptor principal de protección contra

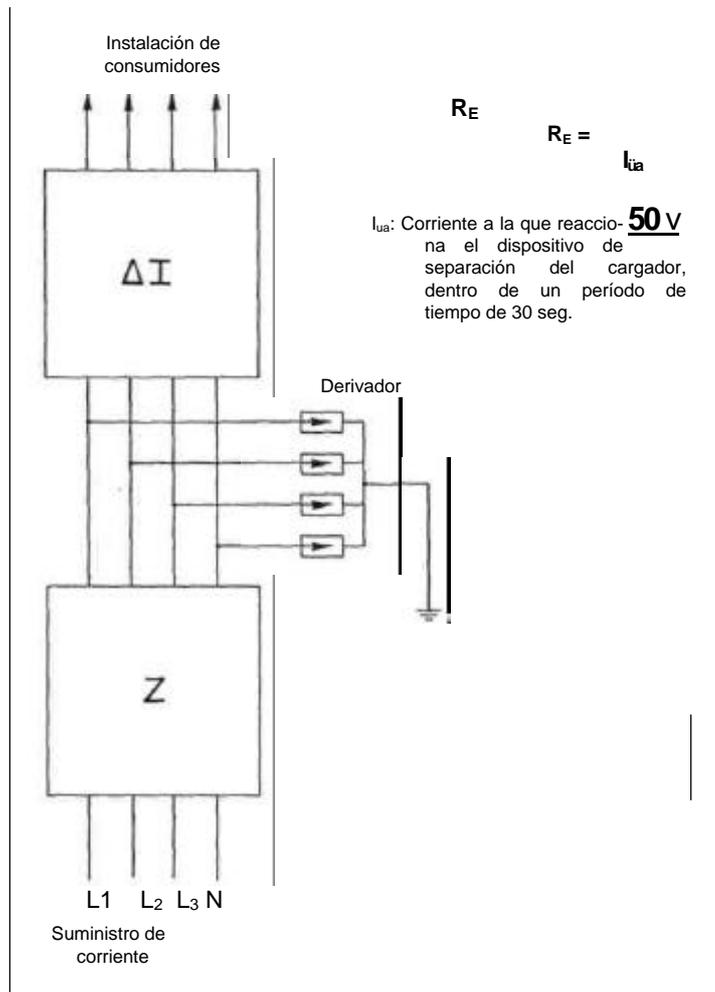


Fig. 5.58. Montaje de descargadores, por delante del interruptor de protección FI en la red TT, condiciones de montaje según OVE- EN 1, parte Id/1986.

corrientes de error. De esta manera, se consigue una suficiente protección para el caso de "contacto indirecto", es decir, para protección indirecta de personas y protección de objetos, o sea protección contra incendios, en toda la instalación conectada tras dicha subdistribución.

El interruptor de protección FI selectivo, según DIN VDE 0664, parte 1 /71/, no dispara en caso de corrientes de choque 8/20 inferiores a 3000 A, de manera que estos interruptores soportan esfuerzos, sin disparos indebidos, tal y como se presentan en la red en caso de descargas lejanas de rayos, o en procesos de conmutación en la red.

Este tipo de interruptores de protección diferencial selectivos permite el montaje adicional de descargadores de sobretensiones (Figura 5.59).

Una forma de protección de personas y equipos muy sencilla y económica está representada por la combinación de interruptores principales de protección contra corriente defectuosa con descargadores de sobretensiones en ejecución adaptable.

En la figura 5.60 puede verse uno de estos *adaptadores de protección contra sobretensiones*, que se insertan directamente en las bornas de salida de los *interruptores de protección FI*, resistentes a corrientes de choque (Figura 5.61).

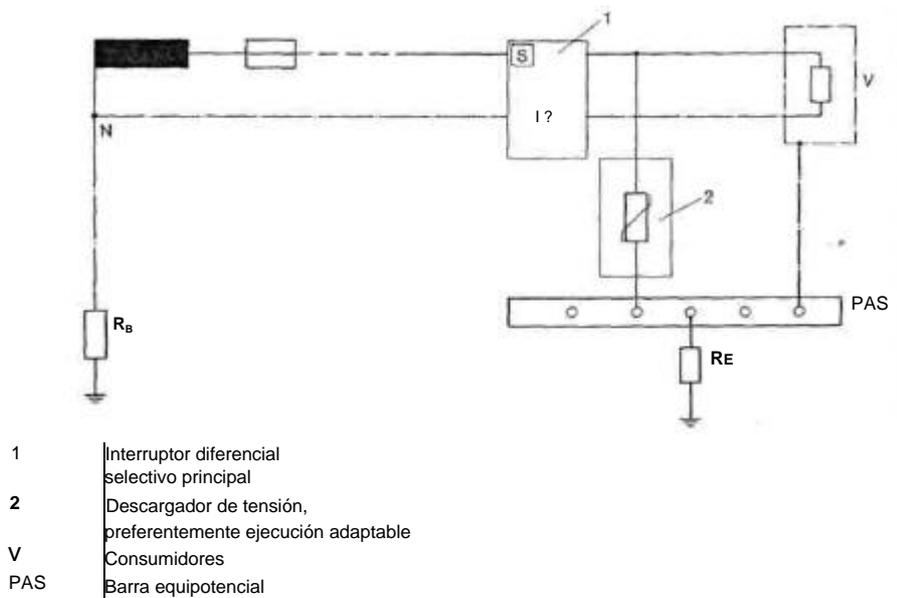
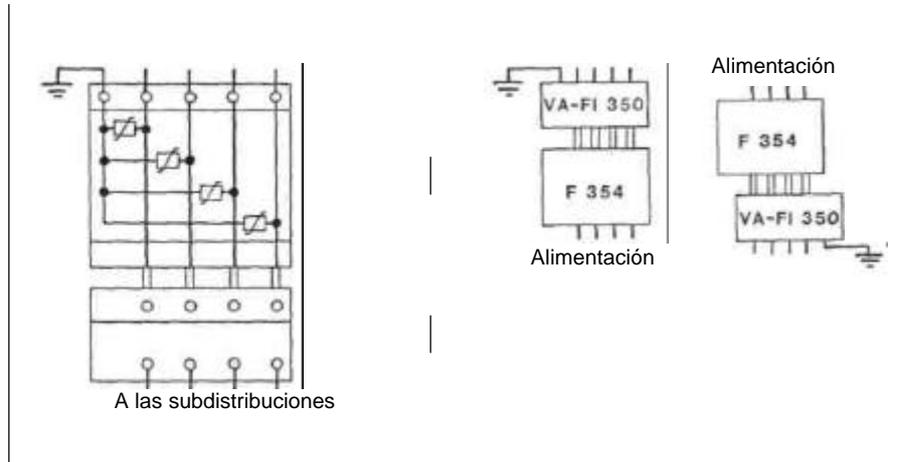


Fig. 5.59. Disposición del descargador e interruptor de protección de una red TT (diferencial selectivo).



Fig. 5.60. Adaptador para protección contra sobretensiones, tipo VA-FI 350.



VA-FI 350

I?

F 354

Alimentación

Fig. 5.61. Aparato de protección contra sobretensiones y fugas de corriente tipo 7354/VA-FI 350 ejecución tetrapolar.

En la figura 5.62 puede verse la combinación completa antes citada.



Fig. 5.62. Interruptor de protección contra corrientes defectuosas, resistente a corriente de choque, del tipo F 354, con un adaptador de protección contra sobretensiones conectado.

Con esta combinación de aparatos de protección se logran tres importantes ventajas:

1. La utilización de esta combinación de aparatos para protección indirecta de personas y para protección de cosas, se realiza centralizadamente in si-tu, subordinado a las subdistribuciones.
2. El elemento de funcionamiento del adaptador de protección contra sobretensiones es un varistor de óxido de zinc, el cual:
 - no precisa ningún tipo de vías de chispas de apagado, conectadas en serie para anulación de la corriente sucesiva. (Corriente sucesiva de red inferior a 10^{-5} A)
 - está continuamente en disposición de servicio,
 - tiene unos tiempos de reacción de unos 25 nanosegundos, es decir, que reacciona incluso a sobretensiones de gran pendiente,
 - soporta perfectamente, y sin detrimento de su función, la prueba de trabajo prescrita en DIN VDE 0675/IEC 99.1 /60.59/ con cerca de 5 kA, 8/20, y tensión de red aplicada simultáneamente de 250 V limitando las sobretensiones que pueden actuar sobre las instalaciones de consumidores conectadas, a valores inferiores a 1000 V, que ya no suponen peligro.
3. Debido a que el adaptador de protección contra sobretensiones está subordinado al interruptor de protección FI (Figura 5.61), aquél es vigilado conjuntamente por el interruptor de protección. O sea, que la tarea realizada por los dispositivos de separación, en el caso de los descargadores de interior, es efectuada aquí, de forma óptima, por el interruptor principal de protección FI.

Cuando haya que instalar descargadores en diferentes puntos de la red de energía, entonces hay que asegurarse de que existe un suficiente desacoplo de la inductividad de la línea entre ellos. En la figura 5.63 se indica la caída de tensión en estas inductividades de la línea para corrientes de derivación de choque 8/20 con amplitudes de diferente magnitud.

5.4.2.4. Descargador para empleo en cajas de enchufes

Los descargadores destinados a su utilización en cajas de enchufes están dimensionados para la clase de sobretensiones II (ver figura 4.27) según DIN VDE 01 10 /71. Estos aparatos están realizados como aparatos empotrables en cajas de enchufes, y limitan las sobretensiones a valores inferiores a 2,5 kV.

Estos descargadores están equipados con componentes limitadores de sobretensiones, que se conectan tanto entre L y PE, como también entre N y PE, de acuerdo con el tipo 1 ó tipo 2 según la figura 5.29. Estos aparatos, normalmen-

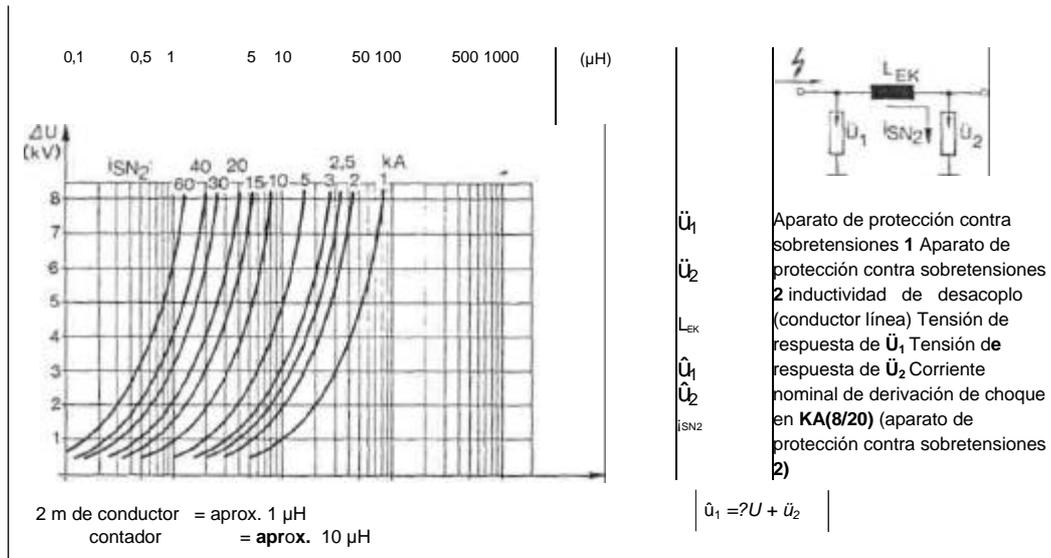


Fig. 5.63. Coordinación de aparatos de protección contra sobretensiones. Determinación de la inductividad de desacoplo (longitud de la línea).



Fig. 5.64. Descargador del tipo HE-P para montaje en cajas de enchufes Schuko.

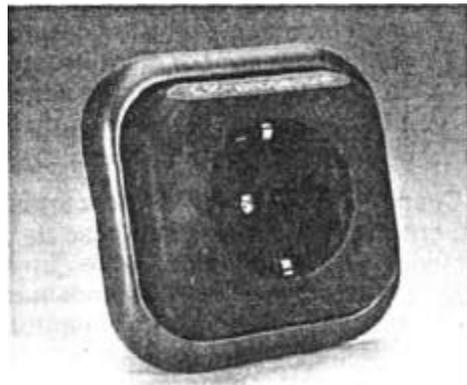


Fig. 5.65. Módulo de protección contra sobretensiones, del tipo NSM, para montaje en cajas de enchufes bajo pared, o en canales de cables.

te, tienen que soportar y limitar corrientes de choque, relativamente pequeñas 8/20, con valores de cresta de 2,5 kA típicos. Un aparato de protección de este tipo se ha representado en la figura 5.64, que está destinado a la protección de ordenadores personales o de amplificadores de antena. En la figura 5.65 se ha representado un módulo de protección contra sobretensiones, que puede montarse en caja de enchufes bajo pared o en canaletas de cables.

5.4.2.5. Visión de conjunto de estos aparatos

Los descargadores que hemos presentado se han resumido en un cuadro de la figura 5.66. Estos aparatos están destinados a instalaciones técnicas de energía, y en el cuadro se indican sus datos técnicos y las posibilidades de utilización.

5.4.2.6. Margen de protección de los descargadores

Debe tenerse en cuenta que cada descargador tiene un campo de protección, delimitado localmente, tal y como puede verse en la figura 5.66. En el caso más desfavorable, puede presentarse detrás de un descargador, en el extremo abierto de un cable, una sobretensión de una magnitud igual al doble de la tensión de respuesta U^A del descargador. (Ver figura 5.67 a).

5.4.3. Limitadores de sobretensiones para instalaciones técnicas de información

Según DIN VDE 0845/5/ se entiende con el concepto de "Limitadores de sobretensiones", no sólo componentes de protección, sino también circuitos de protección, que limitan las sobretensiones que se puedan presentar en instalaciones o en equipos, a valores tolerables.

Los circuitos de protección van reduciendo, en diversas fases, los impulsos de sobretensiones, mediante conexión sucesiva de diversos componentes limitadores de sobretensiones y con elementos de desacoplo (Figura 5.68). Los elementos limitadores de sobretensiones se van situando sucesivamente, en orden descendente en cuanto a la tensión de limitación y a la carga de energía. (Ver también a este respecto el párrafo 5.4.1.4.). Los elementos de desacoplo pueden ser resistencias, inductancias, capacidades o filtros.

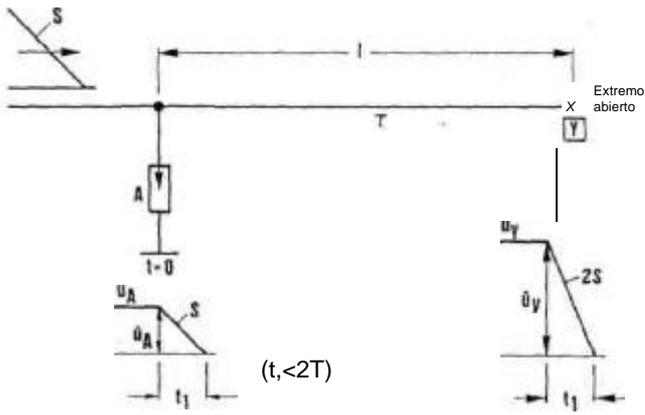
Dentro del marco de este escalonamiento de los niveles de protección, el dimensionado de la protección basta depende de las exigencias de la compensación de potencial para protección contra rayos. Los aparatos de protección basta se instalan en las entradas de los conductores de información en el edificio (ver figura 4.11), a efectos de protección de toda la instalación.

Los aparatos de protección fina se dimensionan de acuerdo con la sensibilidad frente a sobretensiones de los aparatos que se pretende proteger, y se suelen colocar por lo general, inmediatamente, por delante de las entradas a estos aparatos (Ver figura 4.1 1).

Los elementos de desacoplo entre protección fina y protección basta deben estar dimensionados de tal manera que, durante la derivación de corrientes de choque, sean capaces de soportar perfectamente las caídas de tensión que se produzcan entre ellos, y sin que influyan de forma negativa o indebida, el desarrollo normal del flujo de transmisión de datos.

	Para protección en descargas próximas/lejanas, efectos de inducción y sobretensiones de conmutación							Necesario adicionalmente para protección de descargas directas de rayo	
	Descargador VA 280	Descargador VA 500	Descargador NHVA 280	Descargador de sobretensiones VV 280	Descargador de sobretensiones VM 500	Protector para cajas de enchufes	DEHNVENTIL	R	Via de chispas de apagado LFS
		Descargador adaptador da protección contra sobreten. VA-FI 350							
	DIN VDE 0675. IEC 99.1			Anlehnung DIN VDE 0675. IEC 99.1			DIN 48810		
Según la norma/ Verificado según									
Tensión de servicio (max. de utiliz.l.)				550 V~			250 V~		
Nivel de protección (U _{AS} 100 ó UR con I _{stN})	<1,5kV		<1,5kV	<1,2kV	< 2,2 kV		<2kV		
Corriente nominal de derivación de choque I _{stN}	5 kA (8/20)	2,5 kA (8/20)	5 kA (8/20)	10 kA (8/20)	10 kA (8/20)	5 kA (8/20)	1,5 kA (8/20)	ca. 100 kA/10 As	ca. 100 kA/20 As
Montaje	Distribuciones (barra en serie!)		Distribución (Cuerpo inferior de fusibles tamaño 00)	Distribuciones		Adaptable a interruptor diferencia FI	Enchufable en cajas de enchufes	Distribución ó caja de protección separadas y al aire	Cajas de protección separadas (también al aire libre)
A Dispositivo de separación Fs Vía de chispas (al aire) SiC ... Varistor de carburo de silicio			ZnO ... Varistor de óxido de zinc GLA ... Vía de chispas deslizante						

Fig. 5.66. Descargadores para instalaciones de consumidores de baja tensión.



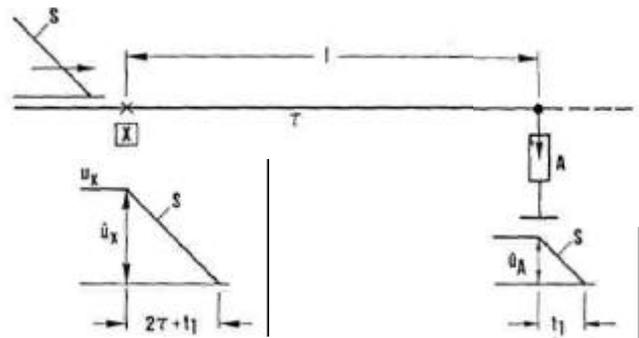
S: Pendiente de la tensión de choque entrante
 S en descargas lejanas de rayo: cerca de 10 kV/μs
 S en descargas directas de rayo: cerca de 100 ... 1000 kV/μs

Tiempo = l/v
 Conductores aéreos: v = 300 m/μs
 Cables: v ~ 150 m/μs

$$\hat{u}_y = \hat{u}_x + 2S \cdot T$$

máximo: $\hat{u}_y = 2\hat{u}_x$

Ejemplo:
 Línea aérea l = 30 m S = 10 kV/μs, $\hat{u}_x = 2$ kV
 $\hat{u}_y = 2$ (kV) + 2 * 10 (kV/μs) * 30 (m) * (1/300) (μs/m) = 4 kV



S: Pendiente de la tensión de choque entrante
 S En descargas lejanas de rayo: cerca de 10 kV/μs
 S En descargas directas de rayo: cerca de 100 ... 1000 kV/μs

T: Constante de tiempo de propagación de la onda de sobretensión.
 T = l/v

Conductores aéreos: v = 300 m/μs
 Cables: v ~ 150 m/μs

$$\hat{u}_x = \hat{u}_A + S \cdot 2T$$

Ejemplo:

Línea aérea l = 30 m S = 10 kV/μs, $\hat{u}_x = 2$ kV
 $\hat{u}_x = 2$ (kV) + 10 (kV/μs) * 2 * 30 (m) * (1/300) (μs/m) = 4 kV

Fig. 5.67. Efecto de protección de un descargador. a) Detrás de su lugar de emplazamiento, b) Por delante de su lugar de emplazamiento.



Fig. 5.68. Protección escalonada según DIN-VDE 0845.

5.4.3.1. Protección de instalaciones

En este párrafo vamos a exponer, a título de ejemplo, algunos aparatos de protección basta, que suelen instalarse en las entradas de las líneas de los edificios, dentro del marco de la compensación de potencial para protección contra rayos, a efectos de protección de instalaciones técnicas de información. Para ello, como puede verse en la figura 4.11, cada hilo de un conductor de información se equipa con uno de estos aparatos de protección, capaces de soportar suficientemente las corrientes de choque. Como componentes para empleo en este tipo de aparatos de protección basta, se utilizan descargadores de gas, descargadores deslizantes, y varistores.

La figura 5.69 muestra una caja con descargadores de gas, para conexión de 24 hilos de un cable de telecomunicaciones.

La tarjeta de protección basta, en formato de tarjeta Europa, que se representa en la figura 5.70, contiene 16 descargadores deslizantes, que se pueden montar en carcasas independientes o en carcasas de 19". Este tipo de aparatos de protección basta, sobre la base de la descarga deslizante son particularmente capaces de soportar corrientes de choque — así, por ejemplo, el aparato de protección representado en dicha figura puede soportar una carga total de 50 kA, 40 As y $5 \cdot 10^5$ J/Ohmio, sin experimentar destrucción alguna.

Adecuado al sistema de bornas en serie, está construido el aparato, compuesto de dos partes BLITZDUCTOR® KT (Figura 5.71), que se utiliza para dos pares de hilos (1 par de hilos ó 2 hilos solos). Su parte inferior de base, tipo A, contiene la protección basta (circuito con descargadores de gas), pudiendo utilizarse, como elemento básico, o bien sólo para protección de instalaciones (Nivel de pro-

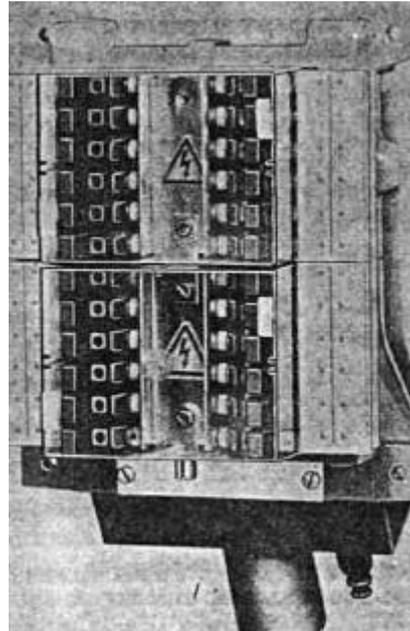


Fig. 5.69. Caja con descargadores de gas. (Foto ANT).

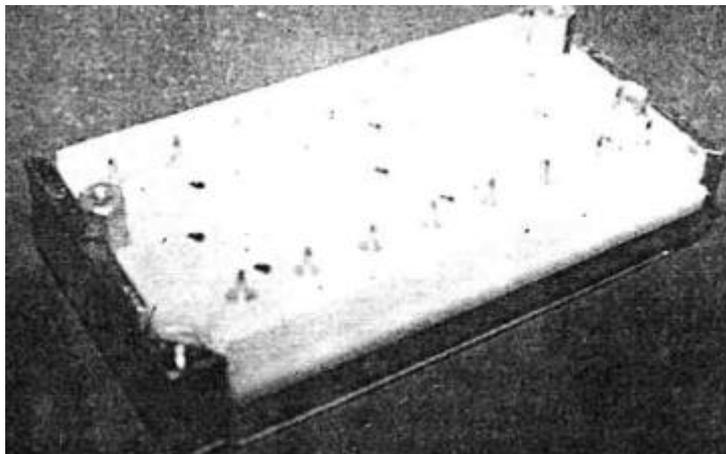


Fig. 5.70. Aparato de protección basta con 16 descargadores de gas.

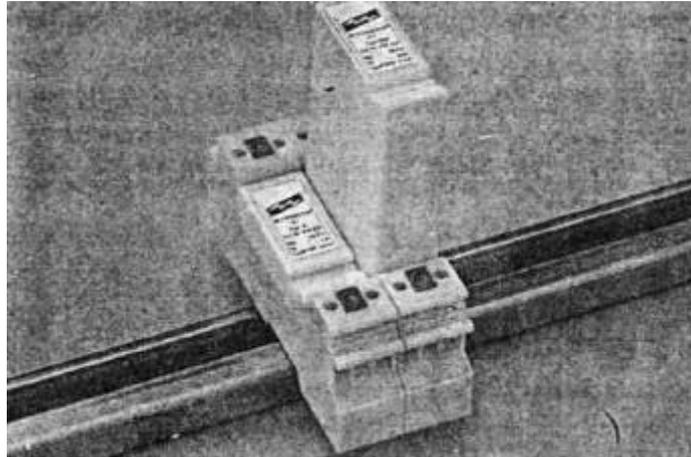


Fig. 5.71. Blitzductor ' KT. Izquierda: Parte inferior básica de protección basta (Tipo A). Derecha: Con parte superior montada de protección fina.

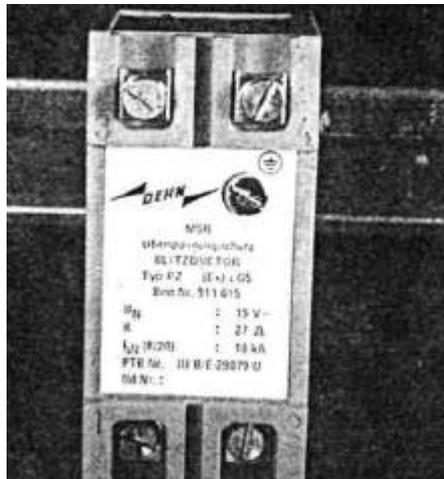


Fig. 5.72. Blitzductor • Tipo V.

tección 600 V), dentro del marco de la compensación de potencial de protección contra rayos, o bien, junto con su parte superior enchufable de protección fina, especialmente para protección fina de aparatos. (Ver párrafo 5.4.3.2.).

El BLITZDUCTOR existe también equipado con circuitos de varistores (Figura 5.72), los cuales ofrecen un nivel de protección de tan solo algunos cientos de V, dependiendo de la tensión nominal.

Para conexión de cables coaxiales, se dispone de aparatos especiales de protección basta, adaptados a su resistencia de ondas, con conexiones UHF, N y BNC (Figura 5.73)

En la figura 5.74 puede verse un aparato de protección basta, concebido especialmente para protección de sistemas de datos. Este aparato puede utilizarse en combinación con enchufes de protección de aparato (Figura 5.99), adaptado a las exigencias de las interfaces correspondientes, tal y como se ha descrito en el párrafo 5.4.3.2.

El limitador de sobretensiones ÜG 42 (Figura 5.75) es un aparato de protección contra sobretensiones, diseñado especialmente para empleo en zonas expuestas al peligro de explosión. Un caso típico de aplicación de este aparato es la protección contra sobretensiones en las sondas de valores de medida en depósitos cisterna. (Figura 5.76) El aparato limita las tensiones transversales y longitudinales a valores inferiores a 1,3 kV.

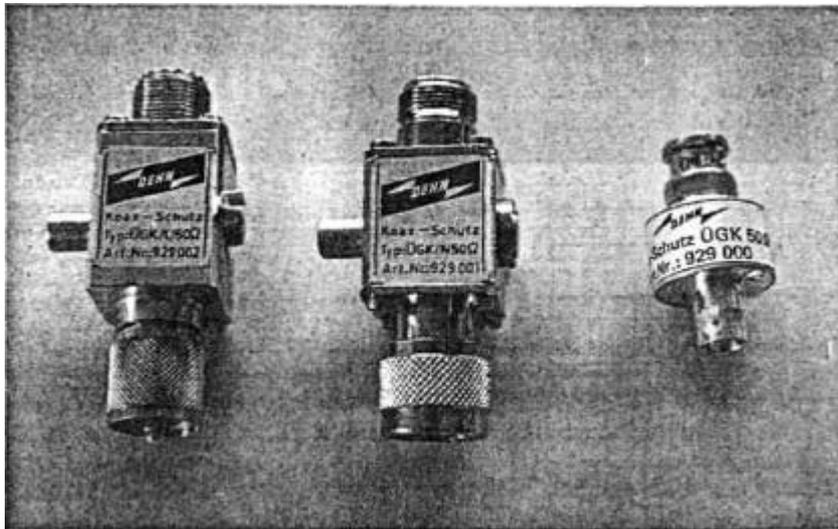


Fig. 5.73. Aparatos de protección basta para cables coaxiales.

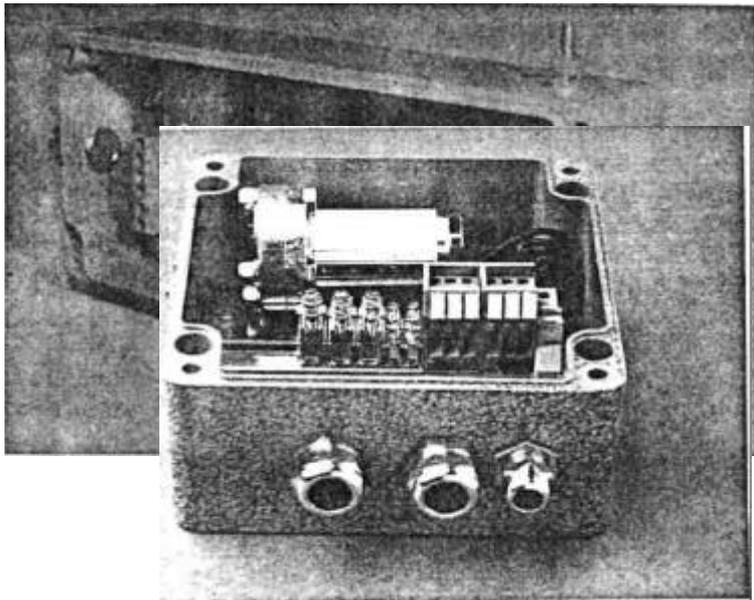
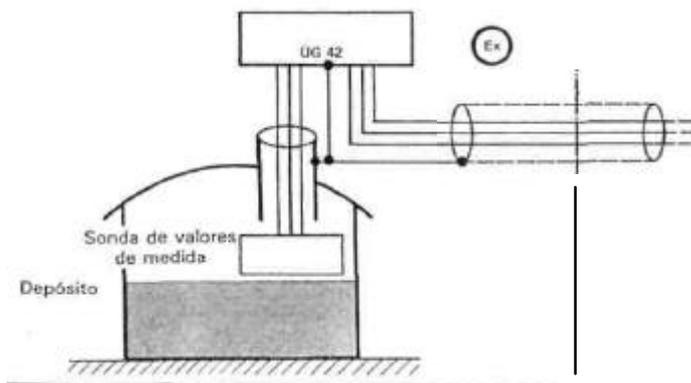


Fig. 5.74. Aparato de protección basta, tipo GS para sistemas de datos.

Fig. 5.75. Limitador de sobretensiones ÛG 42.

Fig. 5.76. Empleo del limitador de sobretensiones ÛG 42 Dará protección de una sonda de medida en un depósito.



Cable de FM (hacia el dispositivo electrónico de medida en el control central)

5.4.3.2. Protección de aparatos

Para la protección directa de aparatos se emplean aparatos de protección fi-i, cuyo comportamiento de transmisión y cuyo nivel de protección están perfectamente adaptados a los dispositivos que se trata de proteger. Como ejemplo, vamos a exponer a continuación algunos aparatos de protección fina, amablemente acreditados, describiendo su estructura, su funcionamiento y sus campos de aplicación.

Nos encontramos, en primer término, con el BLITZDUCTOR® , en su forma y construcción "clásica" (Figura 5.77). Este aparato fue diseñado, inicialmente, para protección contra sobretensiones de aparatos electrónicos en instalaciones de medición, regulación y control.

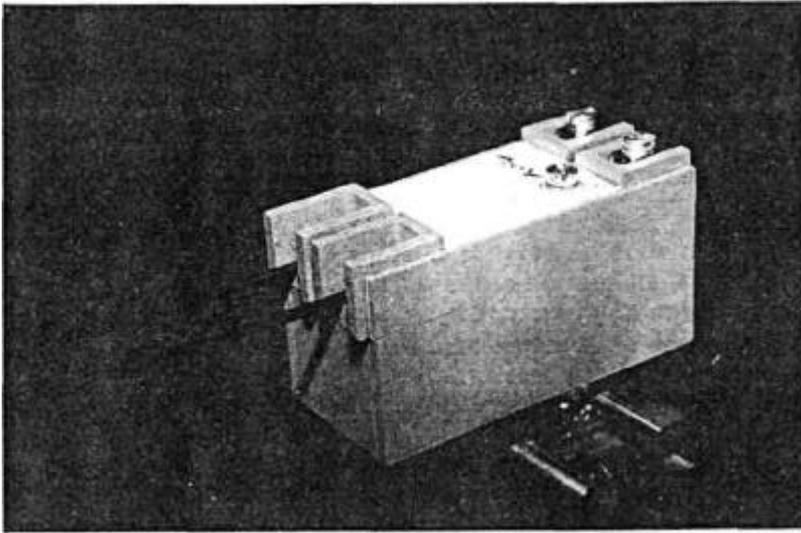


Fig. 5.77. Protector contra sobretensiones en instalaciones MSR (medición-regulación-control) tipo Blitzductor • .

Los BLITZDUCTORES están realizados con cuatro bornas y limitan, tanto tensiones transversales como también tensiones longitudinales (Figura 5.78). Estos aparatos se instalan, de preferencia, en las entradas de aparatos electrónicos o en los extremos, de líneas de medición, regulación y control.

Los BLITZDUCTORES® se eligen de acuerdo con la tensión de servicio de la instalación y con las características de los circuitos MCR (Se dispone asimismo de ejecuciones que pueden instalarse en zonas expuestas al peligro de explosión — en la figura 5.79 se muestra un ejemplo de disposición en una carcasa del tipo de protección "contra encendido "Seguridad intensa").

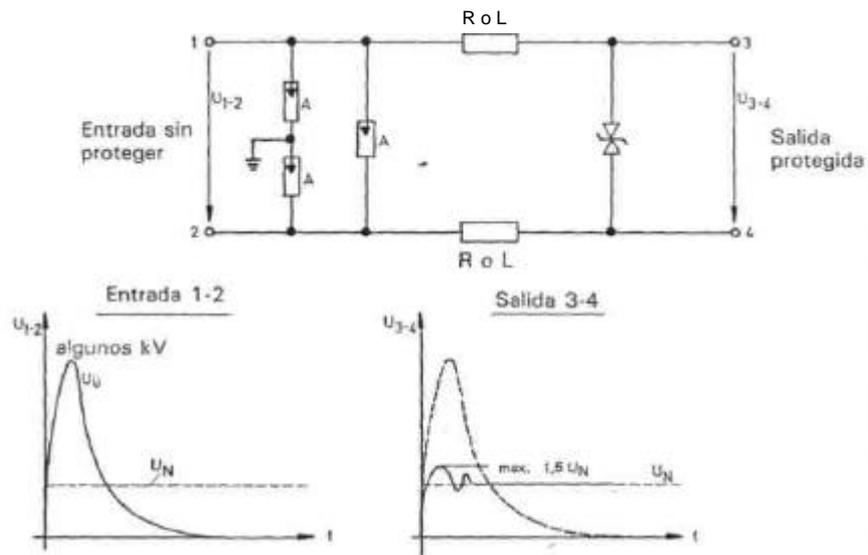


Fig. 5.78. Circuito y forma de funcionamiento de un Blitzductor[™].

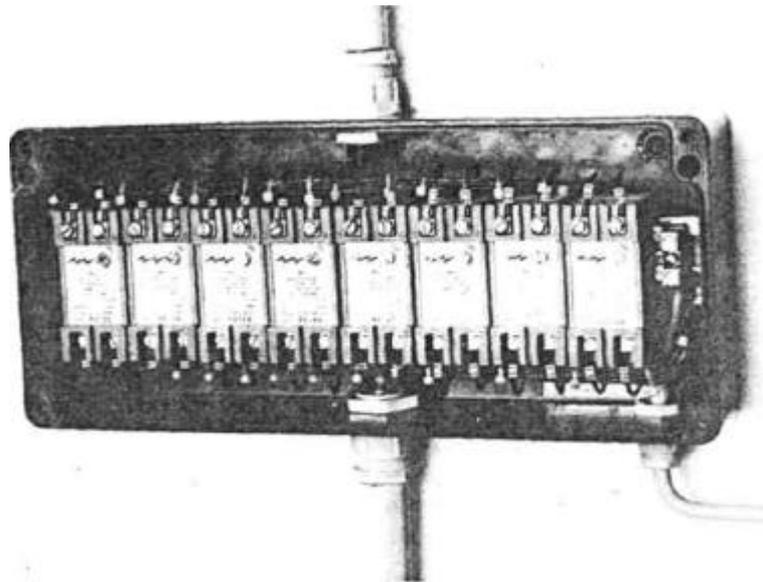


Fig. 5.79. Blitzductores (tipo de protección verificada (Ex)s G5), en una carcasa del tipo de protección contra chispas "Protección, seguridad intensa".

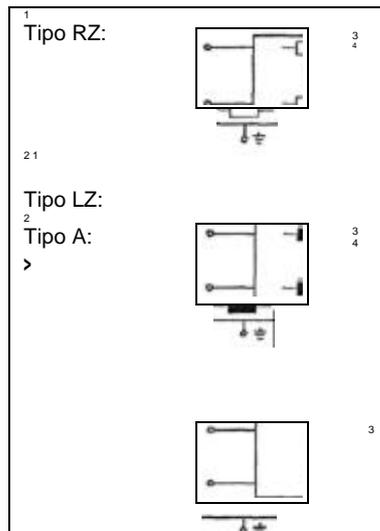


Fig. 5.80. Tipos de Blitzductor

Tipo RZ

Las resistencias longitudinales óhmicas R están en serie con las resistencias de los conductores de los circuitos de corriente de medida, regulación y control (MCR). Por eso, este tipo de aparatos de protección fina solamente puede utilizarse en circuitos de corriente, en los que está permitida una elevación de la resistencia, p. ej. en instalaciones con corrientes características. Las tensiones transversales se limitan hasta valores de unos pocos voltios, de modo que, p. ej. los amplificadores de medición pueden ser protegidos de forma totalmente efectiva.

Tipo LZ

El tipo LZ lleva, en lugar de resistencias longitudinales óhmicas R , inductancias L con pequeña resistencia a corriente continua. Este tipo se utiliza cuando no esté permitida ninguna clase de elevación, digna de mención, de la resistencia, p. ej. en cables de suministro de corriente o en conductores con compensación de la resistencia. Las tensiones transversales de entrada, de algunos kV, quedan limitadas a algunos voltios, de manera que este tipo puede emplearse, asimismo, en aparatos especialmente sensibles frente a tensiones transversales.

Tipo A

Este tipo incluye, exclusivamente, vías de chispas, que reducen igualmente las tensiones longitudinales y las transversales (p. ej. de 6 kV 1,2/50 en la entra-

da a 1,3 kV en la salida). En consecuencia, el tipo A puede montarse para protección de aparatos con una resistencia a tensiones de choque de mínimo 2 kV, por ejemplo: para sondas de valores límite, para termoelementos o potenciómetros, o dentro del ámbito de la compensación de potencial para protección contra rayos (ver párrafo 5.4.3.1.).

Los BLITZDUCTORES están sobredimensionados eléctricamente; pero, sin embargo, cuando se presentan sobreesfuerzos extremos, el defecto que se produce se manifiesta por un cortocircuito interno en el BLITZDUCTOR (Comportamiento "Fail-Safe").

En la técnica de MCR (medida, regulación y control) se trabaja con circuitos de corriente tanto simétricos (sin puesta a tierra) como también con circuitos de corriente asimétricos (puestos a tierra).

Los circuitos de corriente que trabajan simétricamente están menos expuestos a peligros de campos de perturbación que los circuitos realizados asimétricamente. En los circuitos de corriente simétricos, se utiliza por lo regular el BLITZDUCTOR® para "pares de hilos" que hemos presentado anteriormente, tal y como puede verse en la figura 5.81. Al efectuar la elección de BLITZDUCTOR para pares de hilos, hay que prestar atención a la resistencia a tensiones transversales y longitudinales de los aparatos que se pretende proteger: como puede verse en la tabla 5.81, este tipo de BLITZDUCTOR limita la tensión transversal (Salidas 3 y 4) fuertemente, pero la tensión longitudinal de salida (3 contra tierra, ó 4 contra tierra) sigue siendo de casi 1,2 kV (con una pendiente de la onda de tensión longitudinal entrante en la entrada 1 y 2, de 20 kV/μs). Sin embargo, los componentes electrónicos montados suelen tener una resistencia de aislamiento frente a la carcasa de mínimo 1,5 kV, por lo que la limitación de la tensión longitudinal es suficiente. Existen, sin embargo, ciertos casos, en los que no se puede llegar a alcanzar esta resistencia, debido a las peculiaridades del circuito de medida. Tampoco en los circuitos de corriente asimétricos contra tierra — por lo regular el polo negativo de la electrónica está puesto a tierra — se consigue alcanzar esta resistencia de aislamiento (contra tierra),

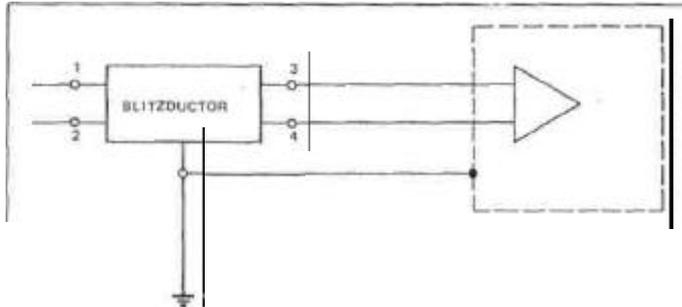


Fig. 5.81. Blitzductor-® para pares de hilos en circuitos simétricos.

tabla 5.1. Datos técnicos de los Blitzductores.

tipo		A	LZ	LZ/E	RZ	RZ/E	V
Pensión nominal	U_N	42V = hasta 110V =	12V= hasta 110V~	12V- hasta 110V-	12V = hasta 60V =	12V- hasta 24V-	22V-/17 V- hasta 320V-/250V-
/Iax. Tensión de Trabajo	U_{max}	1,15 U_N					
intensidad nominal ejecución Normal	I_N	0,6 A-1A-	1A (12V-U.15V- 12V- hasta 110V-) 0,6A (24V- hasta 110V-)	1A	0,3 A	0,3A	10A
ejecución (Ex)s G5		0,6A	1A (12V = u.15V =) 0,6A (24V- hasta 60V- 42V~u.60V~)		0,28A (12V-) 0,27A (15V-) 0,2A (12V- hasta 24V-)		—
corriente de derivación nominal (8/20)	I_{sN}	10kA					2 kA (hasta 31V-/25V-) 3 kA (85V-/60V-- hasta 320V~/250V~)
corriente de derivación máxima (8/20)	I_{sm}	aprox.1 5 kA					aprox. 8 kA
limitación de tensión /C n i_{sN} n 1 kV/ μ s	U_{qa}	800V	aprox. 1,5 U_N	aprox. 1.5 U_N	aprox. 1,6 U_N	aprox. 1,5 U_N	aprox. 5 U_N aprox. 5 U_N
limitación de tensión n i_{sN} n 1 kV/ μ s	U_s	600V	600V	aprox. 1,5 U_N	600V	aprox. 1,5 U_N	aprox. 5 U_N aprox. 5 U_N
tiempo de respuesta ra u_{qa} ra U_N	t_d	<1090ns < 100 ns	< 1ns < 100 ns	< 1 ns	< 1 ns < 100 ns	< 1 ns	<25 ns <25 ns
resistencia longitudinal del (C) conductor	R	-	<0,7O		21 hasta 82 O	21 hasta 39 O	-
inductividad longitudinal del (C) conductor	L	-	600 μ H		-	-	-

Tabla 5.1. Datos técnicos de los Blitzductores (continuación).

Capacidad entre conductor y t max.	C	< 5 pF	< 1 nF			< 20 nF
Frecuencia límite (atenuación de entrada <3 dB)	f _G	7 MHz	0,4 MHz	1,25 MHz	1,25 MHz	
Fusible previo max. ejecución Normal		según I _N				
Ejecución (Ex)s G5		1A	639 mA	-	según I _N	-
Resistencia a cortocircuitos con fusible previo		= fusible previo				
Temperatura de trabajo	?	-25° ... + 80°C				
Sección del conductor		hasta 2,5 mm ²				
Montaje sobre		Perfil G de 32 mm según EN 50 035				
Carcasa		Thermoplast, color amarillo (Normal) ó Duroplast, color rojo ((Ex)s G5)				
Medidas		38 x 82 x 46 mm				
Tipo de protección		Bornas IP 00, circuitos IP 65				
Autorizado Ejecución	Normal	FTZ: A 52-8, Nr, 1 21/1 25 a 1 5				
	Ejecución (Ex)s G5	PTB: III B/E-29 079 U				

Para estos casos de aplicación, se puede emplear el tipo de BLITZDUCTORES para hilos solos (Tipos RZ/E y LZ/E), los cuales se conectan como se muestra en la figura 5.82.

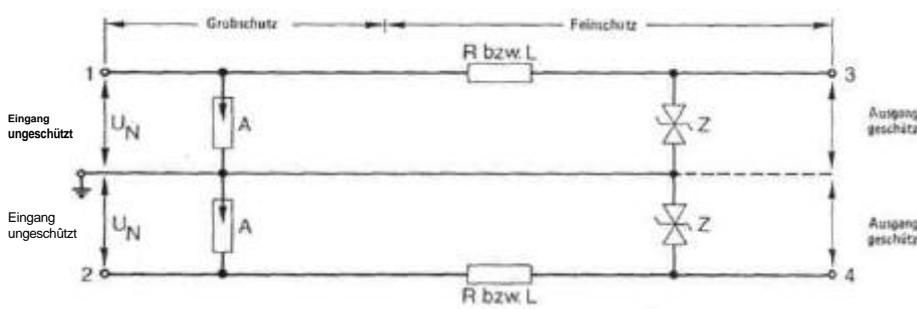


Fig. 5.82. Esquema de conexiones del Blitzductor • tipo RZ/E, o respectivamente LZ/E para dos hilos individuales.

Con esta forma constructiva de BLITZDUCTORES pueden limitar, en cada caso, las sobretensiones de dos hilos contra tierra, de manera muy ajustada (Tabla . 1). Una forma típica de aplicación de este modelo de aparato de protección contra sobretensiones, viene expuesta en la figura 5.83.

Las características de transmisión de cada uno de los tipos de BLITZDUCTO-ES (tipos RZ, LZ y A) pueden tomarse, en dependencia de la frecuencia de a señal de transmisión, de las curvas características de atenuación en la figura .84 1721.

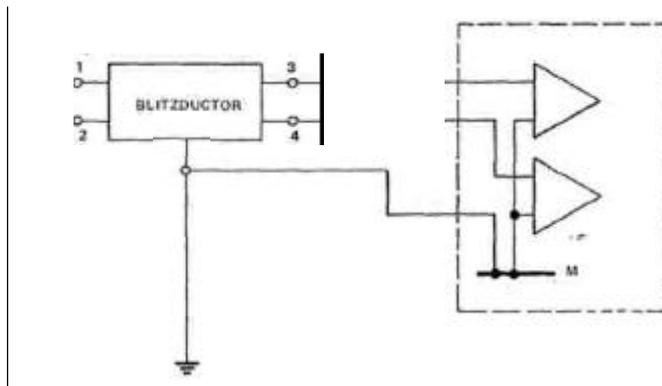


Fig. 5.83. Ejemplo de empleo de Blitzductor " para hilos individuales.

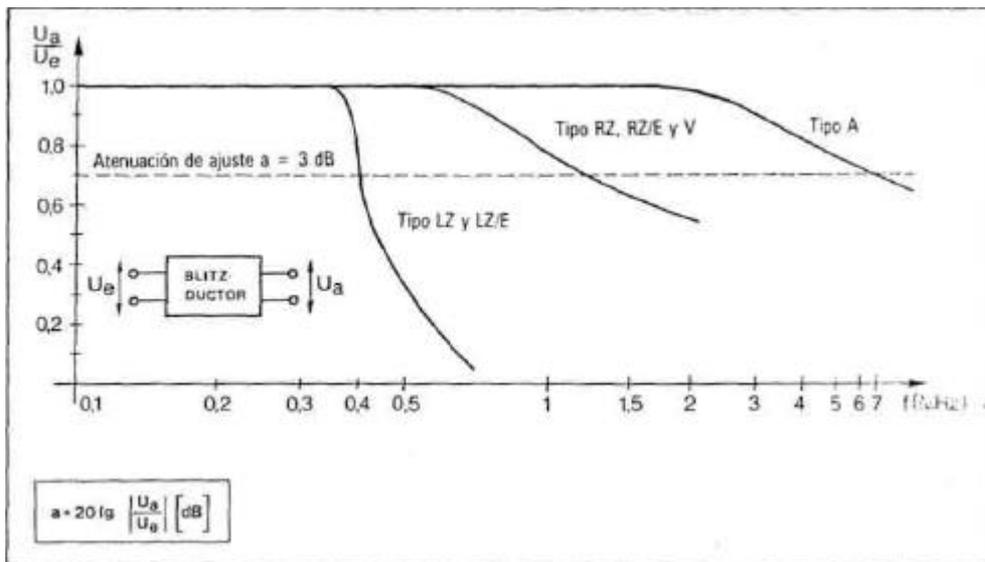


Fig. 5.84. Curvas características de los Blitzductores en el caso de transmisión de señales sinusoidales.

En instalaciones protegidas contra peligro de explosiones, en sistema Conduit, todos los cables y conductores están tendidos dentro de tubos metálicos, que tienen el tipo de protección contra encendido "Encapsulado resistente a la presión (Ex)d". (Figura 5.85).

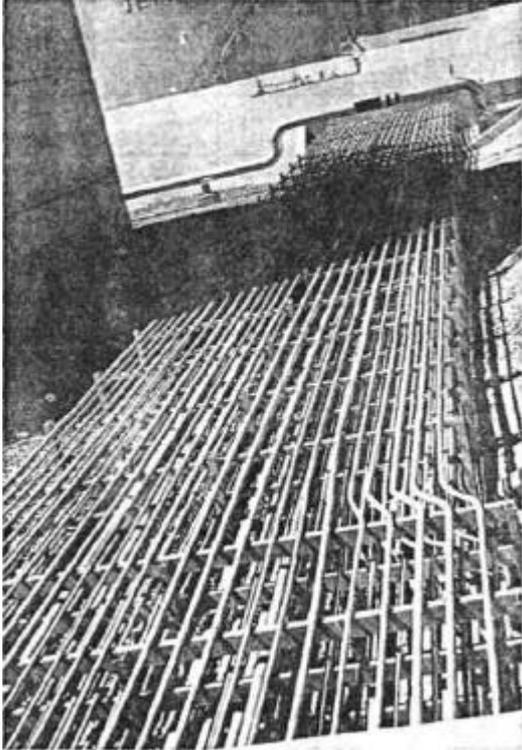


Fig. 5.85. Cisterna-depósito con sistema Conduit: los conductores y cables eléctricos están tendidos dentro de tubos metálicos.

En la figura 5.86 puede verse un BLITZDUCTOR de este tipo, montado en un revestimiento de tubo de acero, previsto para montaje en sistemas Conduit.



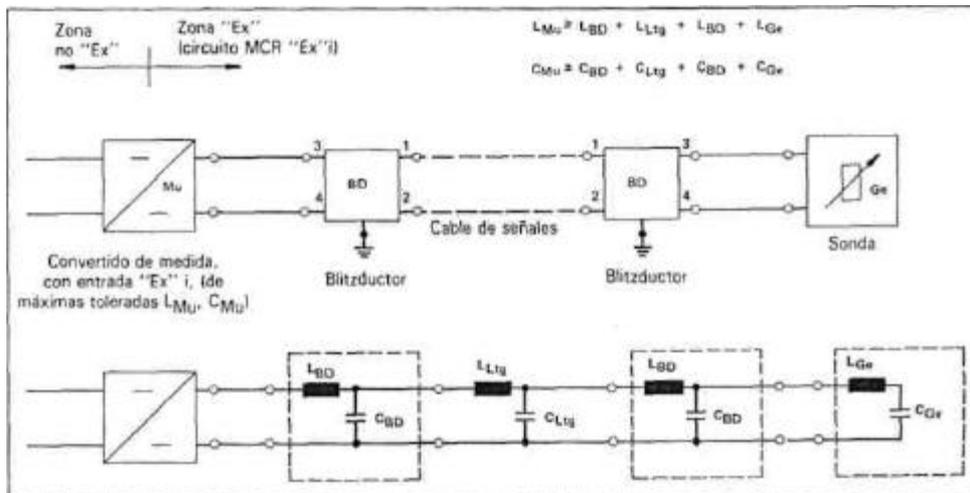
Fig. 5.86. Blitzductor del tipo LZC, para montaje en sistemas Conduit.

Las instalaciones MCR (medición, regulación y control) en zonas expuestas al peligro de explosiones, suelen realizarse, por lo regular, como circuitos de corriente de la clase de protección contra salto de chispas "Autoprotección (Ex)". Estos circuitos se les considera protegidos si se limita la energía que en ellas se puede disipar, y se evita la posibilidad de un salto de chispa o elevación de temperatura, de modo que tanto en servicio normal, como en caso de avería, no se puede originar una explosión en atmósferas explosivas.

La separación entre estos circuitos de corriente autoprotegidos y los circuitos que no están autoprotegidos, se realiza por medio de las denominadas "Barreras Zener". Estas limitan, en caso de sobretensión, la corriente y la tensión mediante resistencias y diodos Zener hasta valores necesarios para la autoprotección. En estos circuitos autoprotegidos, los aparatos MCR que se monten en ellos deben contar con salidas y entradas autoprotegidas con valores definidos (certificado PTB), para las capacidades e inductancias máximas permitidas, para su conexión exterior.

En el dimensionado de los circuitos autoprotegidos se parte, por lo tanto, exclusivamente, de la energía almacenada, en servicio regular, en las inductancias y capacidades del circuito. Una admisión de energía desde el exterior, como puede ser el caso en una descarga de rayo, no es aceptable en absoluto. Si estos circuitos de corriente autoprotegidos están expuestos a peligros a causa de tensiones o corrientes acopladas, deberán preverse los correspondientes aparatos de protección contra sobretensiones, y al hacer ésto, habrá que tener en cuenta, en el dimensionado del circuito autoprotegido, las inductancias y capacidades que se añaden.

En la figura 5.87 se muestra la protección contra sobretensiones (BLITZDUC-"OR:BD) de una sonda (Ge), la cual se encuentra conectada a un convertidor de



g. 5.87. Empleo de aparatos de protección contra sobretensiones en circuitos de medición, control y regulación (MCR) autoprotegidos.

medida (MU) a través de una línea de señales. Los valores máximos tolerados de LMU y CMU para la entrada autoprottegida del convertidor de medida, no pueden superarse en todo el circuito.

Observación: En circuitos de corriente autoprottegidos pueden utilizarse, según DIN VDE 0165 /75/, también BLITZDUCTORES en ejecución estándar (Sin certificado PTB).

Como complemento al acreditado programa de BLITZDUCTORES® , se ha desarrollado una nueva serie de modelos KT (para protección de aparatos de telecomunicaciones, MCR y de datos con 5 V hasta 220 V), a propósito para el sistema de bornas en serie (Figuras 5.89).

Fig. 5.88. Blitzductor " , modelo KT.

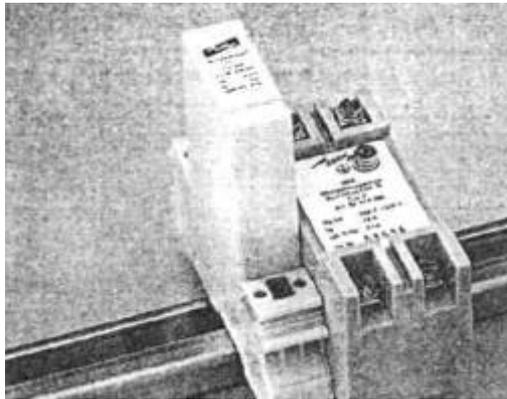
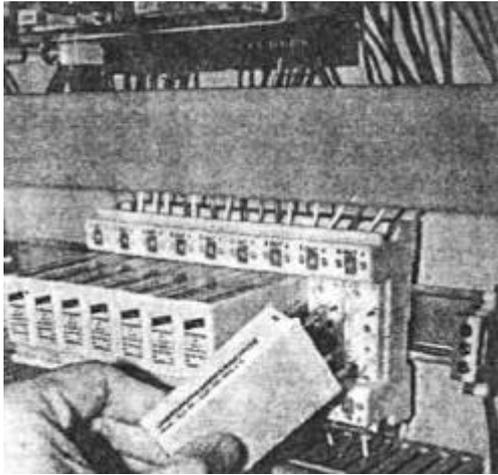


Fig. 5.89. Aparato de protección fina contra sobretensiones. Blitzductor KT (a la izquierda en la foto).

El BLITZDUCTOR® KT (Figura 5.90) puede fijarse directamente en las regle-as de bornas o, en lugar de estas bornas, sobre carriles de fijación (tanto según IN 50 022, como también según EN 50 035), permitiendo su forma de ejecu-ción, sumamente estrecha, una disposición con gran economía de espacio.

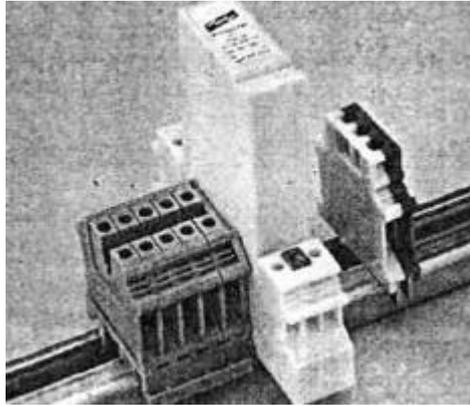


Fig. 5.90. Blitzductor™ KT, al lado de regletas de bornas convencionales.

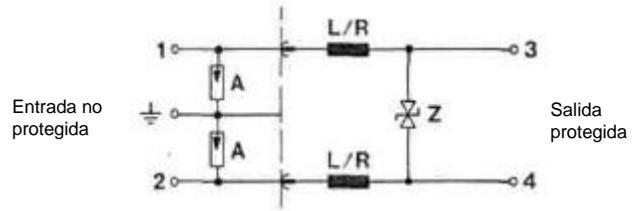
La característica peculiar de este aparato radica en su ejecución, realizada en dos partes (Figuras 5.9 y 5.92). La parte inferior, o elemento básico con protección basta contra sobretensiones integrada, puede utilizarse, o bien sola, o conjuntamente con la parte superior que se inserta sobre ella, encontrándose en dicha parte superior la protección fina contra sobretensiones que se ajusta exactamente al aparato electrónico que se trata de proteger.

Otra ventaja que ofrece esta construcción es que, en caso de retirar la parte superior insertada (por ejemplo, a efectos de medición o verificación), la unión de las bornas entrada/salida en el cuerpo inferior se mantiene, con lo que no se interrumpe el flujo de las señales.

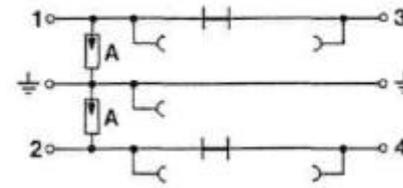
En el apartado 5.4.2.2. se presentan los denominados "Aparatos de protección BEE "para instalaciones técnicas de energía, que protegen tanto contra rayos e interferencias electromagnéticas, como también contra impulsos electromagnéticos. Combinaciones similares de aparatos de protección, existen igualmente para las técnicas de información.

Para conexiones de cables de telecomunicaciones, de datos y para cables MCR, se dispone de tarjetas de protección BEE, de 16 y de 32 polos, en formato Europa (Figura 5.93, figura 5.94) /73/. A este tipo de tarjetas pueden conectarse hasta 32 hilos individuales, con lo que sustituyen a 8 ó respectivamente a 16 BLITZ-DUCTORES/ Estas tarjetas de protección BEE pueden aplicarse tanto en cajas individuales (Figura 5.95) como en módulos insertables de 19" (Figura 5.96), o se pueden suministrar como armarios completos de protección (o lo que es lo mismo, para máximo 40 tarjetas BEE, ó 1280 hilos individuales) (Figura 5.97)

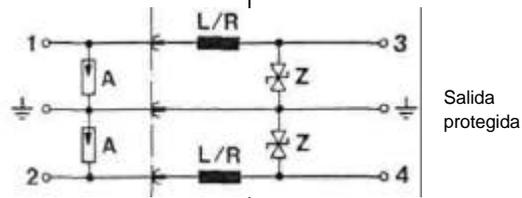
Tipo ALD



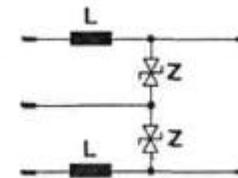
Base



Tipos ALE /ARE

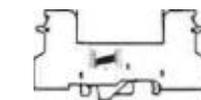
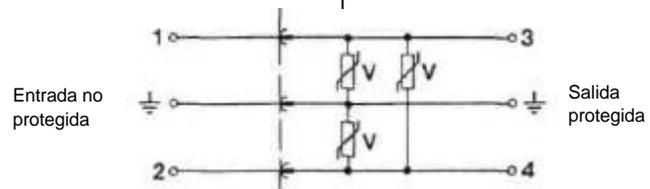


Parte superior



Entrada no protegida

Tipo VED



BLITZDUCTOR KT Completo

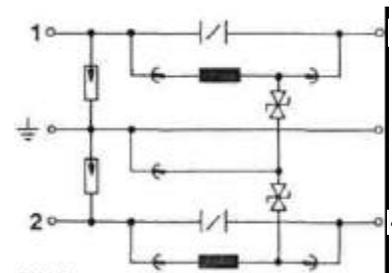


Fig. 5.91. Esquema de principio del Blitzductor ' KT.

Fig. 5.92. Estructura y circuito del Blitzductor • KT.

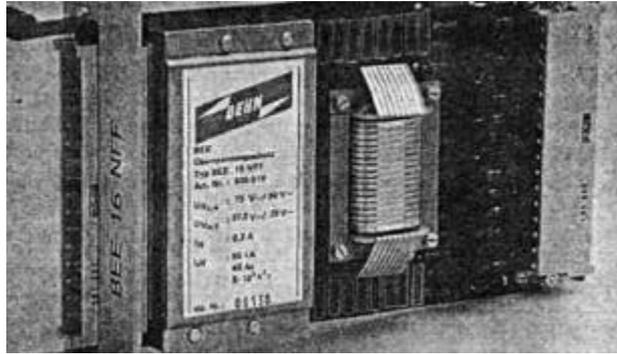
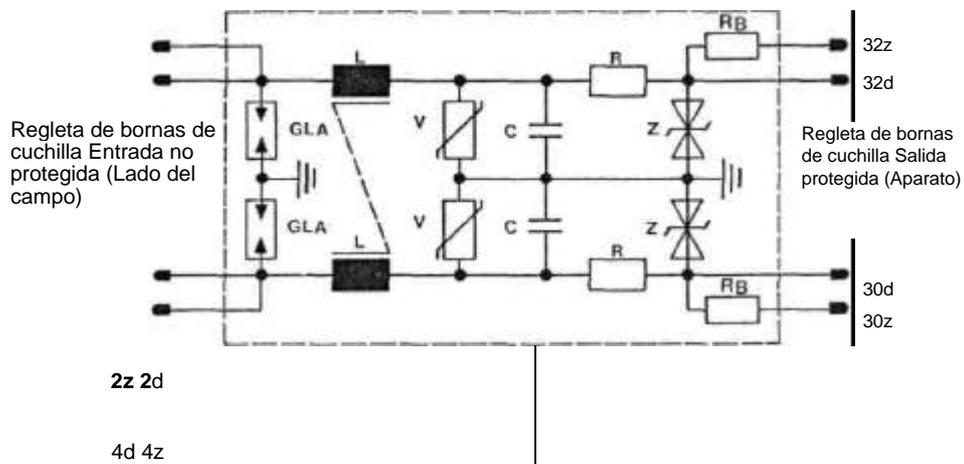


Fig. 5.93. Protección contra sobretensiones BEE 16 NFF, representado aquí para dos conductores individuales/1 conductor doble.



Denominación de las bornas según regletas enchufables de la forma F 32 Salidas 32d y 30d: Salida directa sin limitación de potencia Salidas 32z y 30z: La salida es una limitación de potencia a través de $R_B = 1,5 \Omega$ ($I_{m\acute{a}x.} = 2 \text{ mA}$)

Fig. 5.94. Protección contra sobretensiones BEE 16 NFF 2 hilos individuales/1 par.

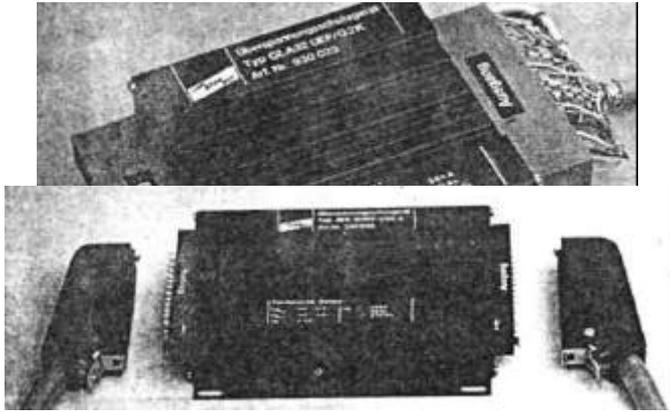


Fig. 5.95. Tarjetas de protección BEE en caja de aluminio, para montaje sobre pared, a) Con conexión roscada, b) Con conexión por clavija.

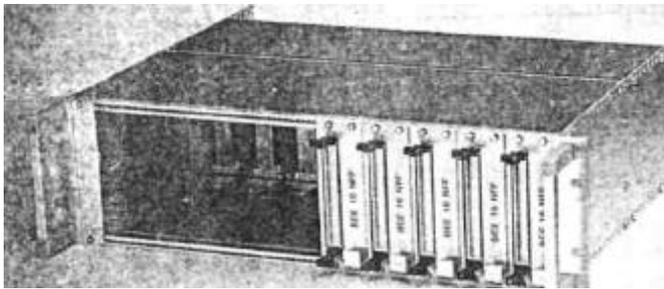
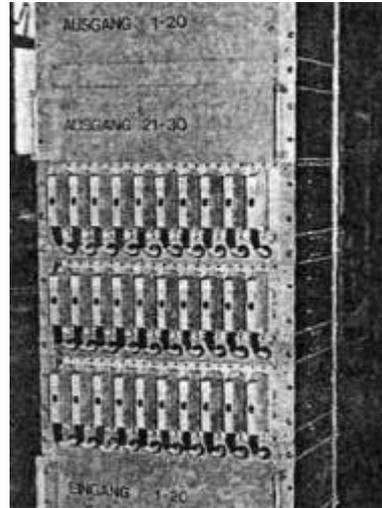


Fig. 5.96. Tarjetas de protección BEE en caja para módulos enchufables de 19".

Fig. 5.97. Tarjetas de protección BEE en un armario completo de montaje.



Para realizar una elección correcta de aparatos de protección contra sobretensiones, destinados a instalaciones de tratamiento y proceso de datos, debe disponerse de descripciones claras y unívocas de las interfaces, con todas sus características mecánicas y eléctricas:

- *Características mecánicas*, que indican el tipo de conexión que se utiliza en la correspondiente instalación técnica de información. Además de las variantes, como conectores D-subminiatura (de 9, 15 ó 25 polos) se utilizan también en muchos casos las cajas de conexión ADo 8, las conexiones BNC para sistemas coaxiales al igual que otras variantes, específicas de los fabricantes, como puede ser, p. ej. TWINAX para IBM.
- Las *características eléctricas* de las interfaces describen la estructura de los circuitos, la modalidad de servicio (interfaces de tensión o de corriente; interfaces para servicio simétrico o asimétrico: p. ej. V24/RS232C, V10/RS432 o respectivamente V11/RS422) el nivel de señal y la velocidad de transmisión de las señales.

Los aparatos de protección fina contra sobretensiones para instalaciones de proceso de datos, deben estar estructurados de tal manera que también se puedan montar, a posteriori, de manera simple, cumpliendo las exigencias en cuanto

a compatibilidad de las señales, y a efectos de protección de las más diversas instalaciones de proceso de datos.

Observación: Con frecuencia se hace necesario verificar en tests prácticos, en los laboratorios de corrientes de choque, la efectividad de un circuito de protección ya que los circuitos electrónicos de entrada en los aparatos a proteger, pueden ser muy diferentes, pese a la existencia de normas internacionales para las interfaces. De los arriba citados tests de corrientes de choque es imposible prescindir cuando se trata de interfaces específicas de los fabricantes.

A título de ejemplo, se presentarán a continuación algunos de los aparatos de protección, más frecuentemente utilizados/74/. La figura 5.98, muestra el circuito de un aparato de protección para el interface asimétrico V.24/RS 232 C, que se ha utilizado en el marco de protección contra rayos-compensación de potencial.

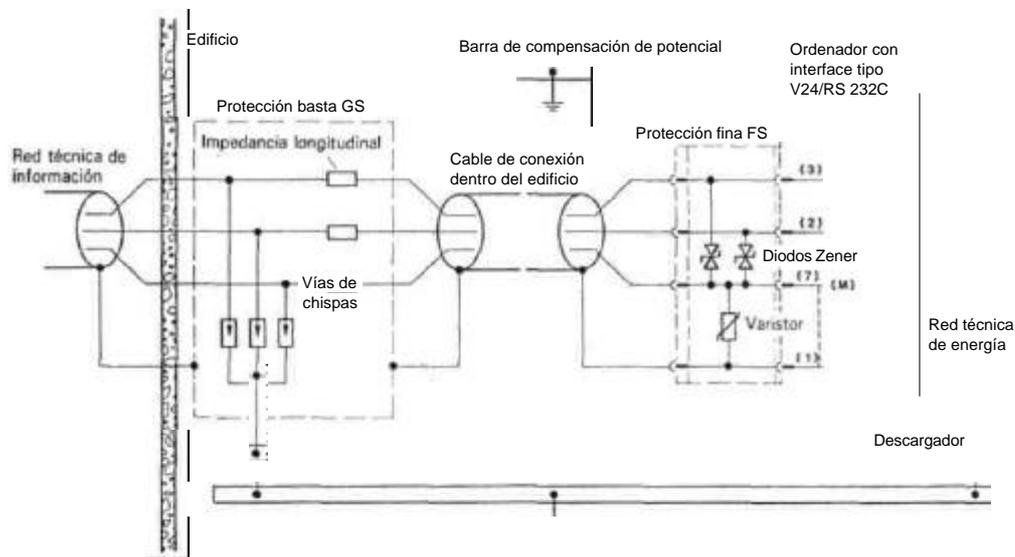


Fig. 5.98. Protección contra sobretensiones, capaz de soportar corrientes de rayo, para una instalación de proceso de datos con interface asimétrico. (V24/RS 232C).

En la entrada del edificio se monta el aparato de protección basta GS (Figura 5.74) cuyas vías de chispas están dimensionadas de tal manera, que estén en situación de poder derivar, sin destruirse, también corrientes parciales de rayo.

- Está previsto situar la limitación fina de sobretensiones a la entrada del ordenador con una clavija intermedia de 25 polos FS (Figura 5.99), cuyas clavijas están ocupadas y protegidas adecuadamente.
- También el suministro de corriente de la red está incluido en la compensación de potencial para protección contra corrientes de rayo, a través de derivadores capaces de soportar corrientes de rayo (Figura 5.98).

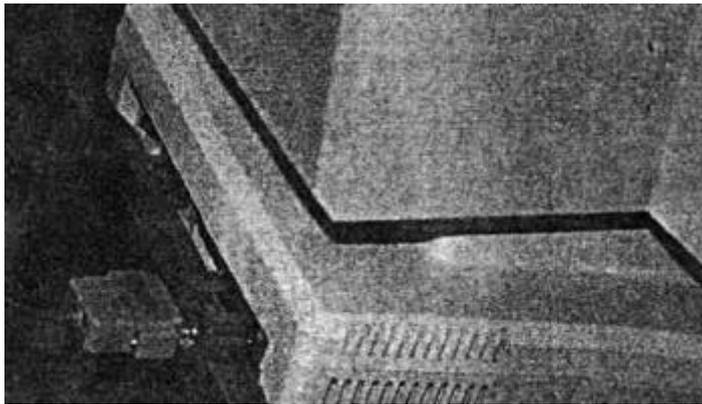
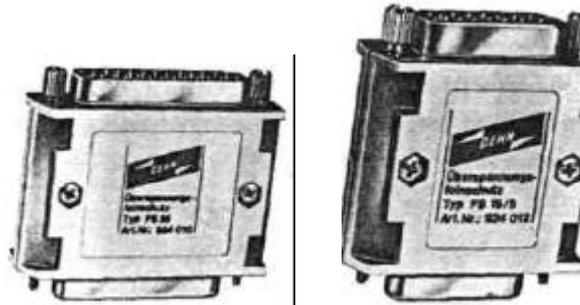


Fig. 5.99. Aparatos de protección fina, del tipo FS para instalaciones de proceso de datos, a) A la izquierda, de 15 polos; a la derecha, de 25 polos, b) Aparatos conectados ya al aparato de proceso de datos.

Junto a estos aparatos para protección escalonada contra sobretensiones, se dispone de módulos de protección contra sobretensiones en ejecución compacta (figura 5.100), que pueden instalarse igualmente en la central de ordenadores,

por ejemplo en bastidores de 19". Por mayor conveniencia, estos bastidores con sus módulos de protección contra sobretensiones, se instalan de tal modo, que simultáneamente puedan servir como distribuidores de señales. Estos módulos de protección están configurados y dimensionados de modo que se puedan montar en cajas de enchufes bajo pared, o en canales de instalación para protección de los periféricos de la instalación de proceso de datos.

Para protección de equipos e instalaciones de ordenadores, con conexiones coaxiales, para empleo en cámaras de vídeos (por ej. para vigilancia de objetivos de televisión), en monitores y en otros aparatos similares, existen aparatos especiales de (figura 5.101) protección fina en formato de tarjeta Europa. El circuito de las mismas se reproduce en la figura 5.102).

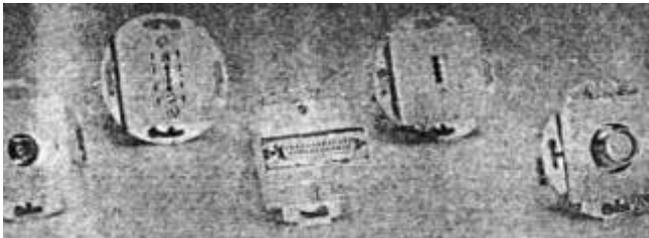


Fig. 5.100. Módulos de protección contra sobretensiones para montaje en cajas de enchufes bajo pared, canales de cables o en bastidores de 19". De izquierda a derecha, módulo de protección para:

- interfaces asimétrica (V24/RS232C) con clavija enchufable subminiatura D de 25 polos.
- interface simétrica (V. 1 1, Modems) con caja de enchufes de datos ADo 8 E.
- cable coaxial con bornas de montaje BNC.
- cable Twinax IBM con borna Twinax.

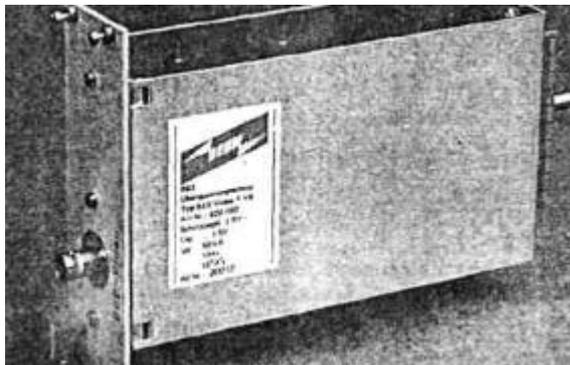


Fig. 5.101. Aparato de protección fina para ordenadores y sistemas de vídeo con conexiones coaxiales.

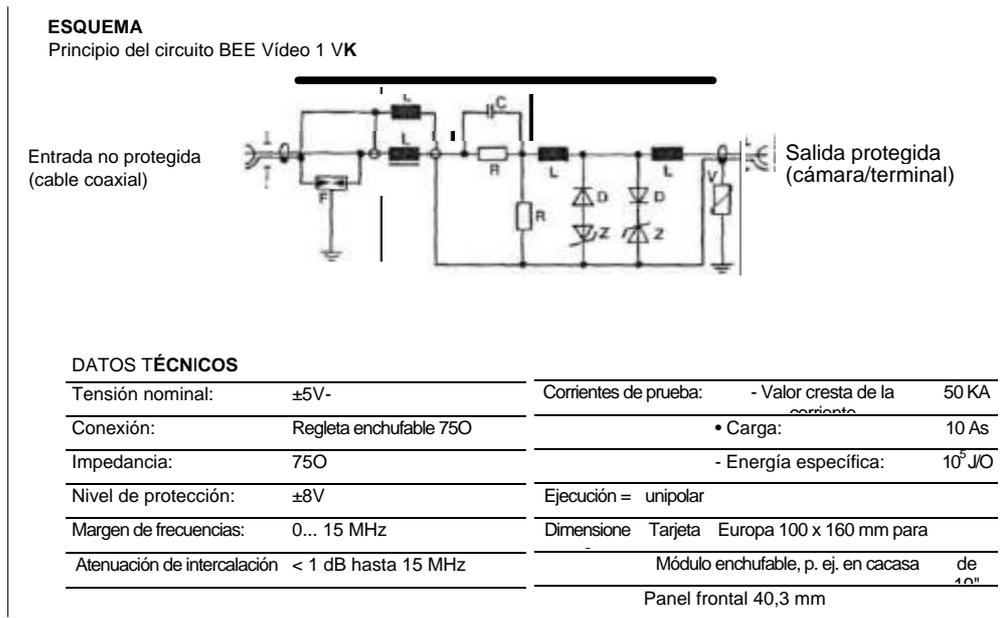


Fig. 5.102. BEE Vídeo I VK. Aparato de protección fina contra sobretensiones en formato tarjeta europea.

La figura 5.103, muestra un aparato de protección fina para ordenador, con conexiones Twinax (p. ej. para unidad central de IBM); está dimensionado para + 8 V de tensión nominal, y ofrece un nivel de protección inferior a 15 v.

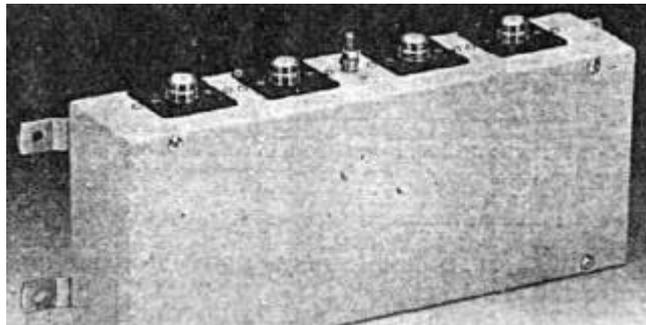


Fig. 5.103. Aparato de protección fina Twinax-ZE.

Las instrucciones siguientes de montaje para aparatos de protección fina deben ser particularmente atendidas, sobre todo en lo referente a su eficacia. Los aparatos para protección fina no se pueden instalar frecuentemente en el aparato o junto al aparato mismo o sistema que se ha de proteger; corrientemente se monta a alguna distancia de ellos. En estos casos, hay que tener un cuidado muy especial con el tendido de los conductores expuestos a sobretensiones, para que estén dispuestos de modo que no puedan producirse acoplos con los conductores ya protegidos.

Asimismo debe dedicarse especial atención a las tomas de tierra de los aparatos de protección contra sobretensiones, y de los aparatos electrónicos que hay que proteger. En la figura 5.104, la corriente de choque i_s , que fluye a tierra a través del aparato de protección contra subretensiones \dot{U}_G , ocasiona la caída de tensión consiguiente, sobre todo en la inductancia L del cable de puesta a tierra o en el cable de unión a la masa M del equipo electrónico, de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\hat{u} = L \cdot (di_s/dt)_{\max}$$

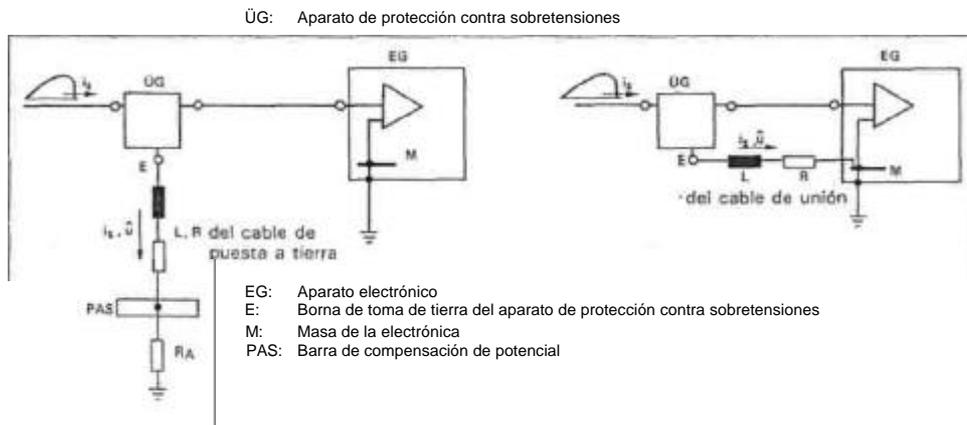


Fig. 5.104. Conexión falsa de la borna de conexión a tierra E, o de ésta con la masa de la electrónica M.

Para cálculos aproximativos, puede tomarse para estos cables o conductores de unión una inductividad de $1 \mu\text{H/m}$.

Si suponemos también que las corrientes de choque que se han de derivar tienen una pendiente máxima de aproximadamente $1 \text{ kA}/\mu\text{s}$, entonces tendremos que en estos cables o conductores de unión a tierra o masa, existe una caída de tensión de 1 kV/m . Si las uniones se efectúan, equivocadamente, tal y como se representa en la figura 5.104, esta caída de tensión aparece como tensión trans-

versal entre los conductores que llevan tensión de servicio y la masa del equipo electrónico M en la entrada del aparato que se pretende proteger. La unión, que se debe realizar es la que se muestra en la siguiente figura 5.105: La masa de la electrónica M está unida con la borna de tierra E del aparato de protección contra sobretensiones ÜG, y puesta a tierra allí mismo. Cuando se trate de aparatos electrónicos de gran sensibilidad y precisión, el conductor protegido suele configurarse como conductor blindado hacia el aparato de protección contra sobretensiones ÜG, de modo que dicha unión (entre M y E) se lleva a cabo a través del blindaje del cable, que está conectado por ambos lados.

Igualmente se ha de tener en cuenta, en el caso de conductores de puesta a tierra de gran longitud, en los que las corrientes de choque derivadas por el aparato de protección contra sobretensiones, pueden originar grandes caídas de tensión, la resistencia de aislamiento entre la etapa de red y la carcasa del aparato, que está puesta a tierra. En caso necesario, tal y como se expone en la figura 5.106, habría que unir los conductores de red a través de descargadores, al cable común de puesta a tierra. (Ver también a este respecto el párrafo 5.4.4.)

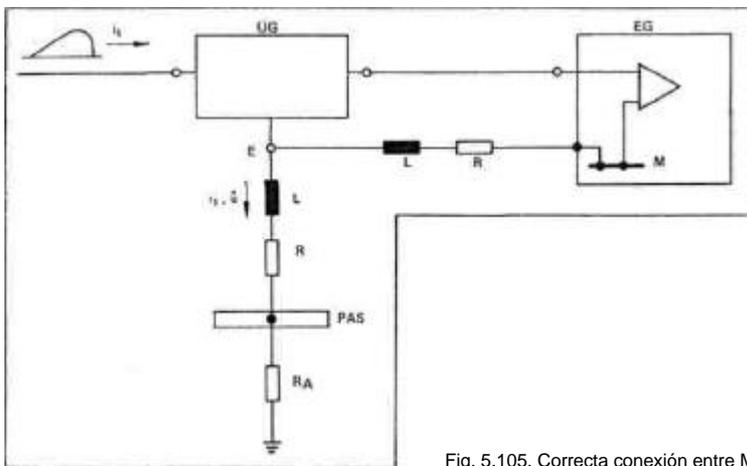


Fig. 5.105. Correcta conexión entre M y E.

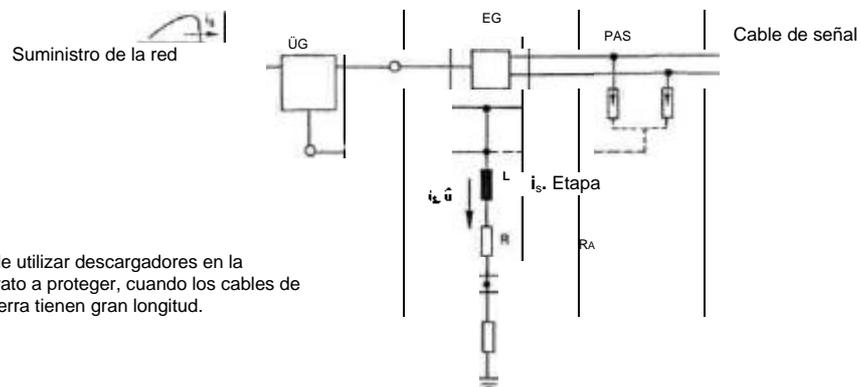


Fig.5.106. Necesidad de utilizar descargadores en la entrada de red al aparato a proteger, cuando los cables de toma de tierra tienen gran longitud.

5.4.4. Aparatos de protección para equipos a los que acceden diferentes redes

En este punto queremos volver a la figura 3.6, con las dos redes independientes entre sí, que coinciden en un aparato que ha de ser protegido.

El principio de protección para este aparato radica en la necesidad de tener que llevar a cabo la compensación de potencial para protección contra rayos entre las dos redes 1 y 2, directamente en las entradas E_1 y E_2 del aparato, para el caso de producirse una sobretensión.

En la figura 5.107 se muestra, con un ejemplo, la estructura y configuración de un aparato de este tipo /27/. La resistencia al paso de chispas entre las entradas E_1 y E_2 se consigue aquí, esencialmente, mediante el aislamiento del transformador de separación.

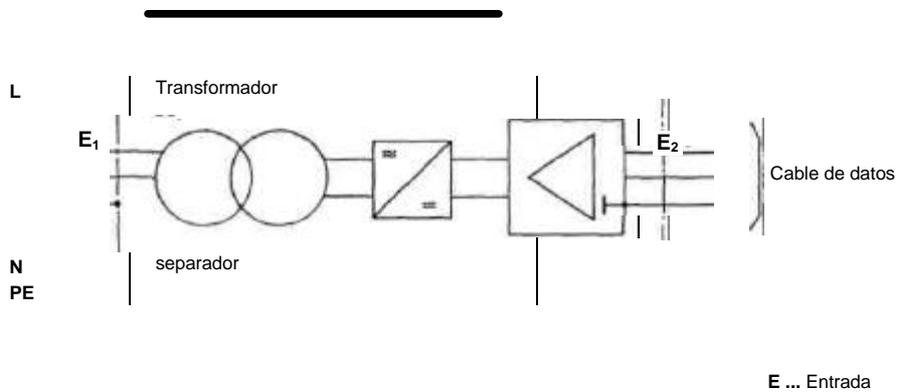


Fig. 5.107. Ejemplo de un aparato que se ha de proteger.

En la figura 5.108 se representa la topología de un aparato de protección adecuado:

El elemento de protección S_1 en la red de energía 1 puede incluir descargadores, vías de chispas de apagado o varistores (ver párrafo 5.4.2.). Si la red 2 es una red de datos, el elemento de protección S_2 puede estar formado por una combinación de vías de chispas de deslizamiento, o descargadores de gas, resistencias e inductancias, filtros y diodos. Estos dos elementos de protección S_1 y S_2 tienen como misión limitar las tensiones transversales entre los conductores de red (*differential mode protection*), conduciendo las corrientes paralelas desde los cables a la tierra de referencia (*common mode protection*).

Como en esta figura 5.108 puede verse, el aparato a proteger está puesto en derivación respecto al circuito de protección. Con ello se asegura que las tensiones entre las redes 1 y 2 queden limitadas, de tal modo, que la tensión de perforación del aparato entre las entradas E_1 y E_2 no sea sobrepasada. Se asegura, asimismo, que las corrientes "common mode" de la red 1 puedan ser transferidas a la red 2, y viceversa. Y finalmente, con ello se garantiza que entre los conductores de una misma red no se puedan producir sobretensiones peligrosas.

A continuación se muestran algunos ejemplos de ejecución para este tipo de aparatos de protección, que están en situación de acoplar dos redes entre sí, en caso de producirse una sobretensión. La figura 5.109, muestra un ejemplo muy sencillo, de un aparato de protección contra sobretensiones para estos casos.

Se pueden emplear, por ejemplo, para protección de aparatos que están conectados tanto con la red de baja tensión como también con la red de tuberías de conducción de agua. Se muestra prácticamente en la figura 5.110 sobre la base de un calentador de agua: el componente de protección Si está formado por varistores de óxido de metal, conectados en serie con una vía de chispas. El aparato de protección evita pasos de chispas de la red de conducción de energía eléctrica a la red de conducción de agua, y también entre los diferentes conductores de la red de energía.

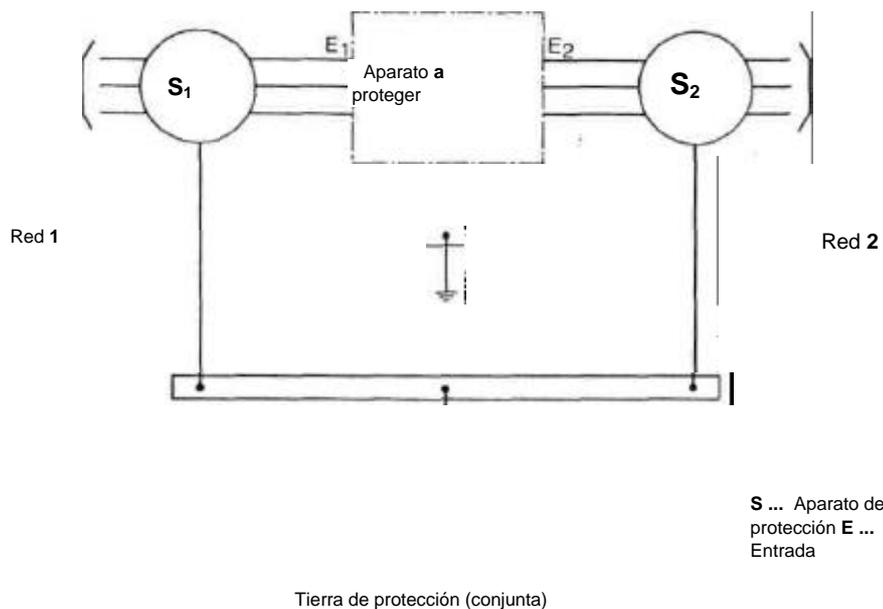
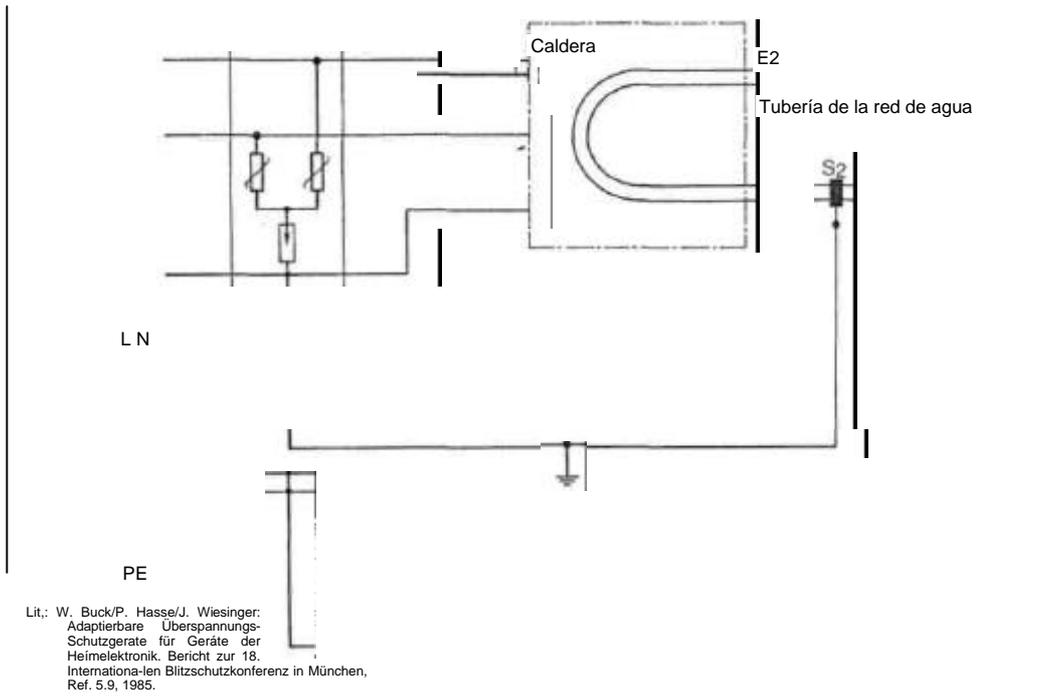


Fig. 5.108. Topología de un aparato de protección.



S ... Aparato de protección E ...
Entrada

Fig. 5.109. Protección contra sobretensiones en una caldera.

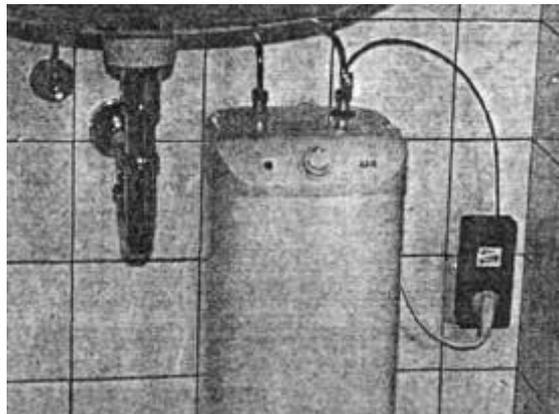


Fig. 5.110. Protección HE, tipo P (a la derecha de la foto).

5.4.4.1. Protección para televisores, aparatos de Vídeo y de HIFI

Como se explicaba en el párrafo 2.1., y de acuerdo con las estadísticas de muchas Compañías de Seguros, es notable el gran número de televisores, aparatos de Vídeos y aparatos de HiFi que son dañados o destruidos como consecuencia de las sobretensiones originadas durante las tormentas. Vamos a explicar, a continuación, con algo más de detalle, la problemática específica de estos casos, antes de entrar en la consideración de los aparatos de protección utilizables, de verdadera efectividad.

En DIN VDE 0855 /46/ se exige la conexión del tubo del mástil de la antena a la instalación de puesta a tierra a través de un cable de cobre con una sección de 16 mm^2 (Figura 5.111). Con esta medida se evitan completamente las repercusiones y consecuencias de los daños causados por acción directa de la corriente de rayo.

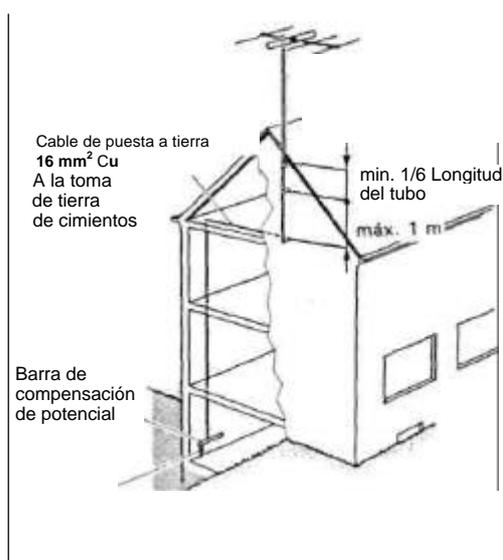


Fig. 5.111. Ejemplo de puesta a tierra correcta en una instalación de antena, según VDE 0855.

Pero, incluso, con un tendido correcto de la toma de tierra de la instalación de antena, no existe protección contra las sobretensiones originadas por la fuerte variación del campo magnético, que se forma como consecuencia de la corriente de rayo y que es inducida en todos los posibles bucles de conductores. Este tipo de bucles, se produce, por ejemplo, en caso de acción conjunta de los cables de puesta a tierra de la antena, de los cables de antena y de los cables de conducción de corriente de baja tensión.

Visto desde un televisor, (figura 5.1 12), la conexión a la antena y a la red se encuentran situadas en los extremos de un bucle de inducción abierto, que pue-

de llegar a abarcar incluso muchos metros cuadrados. En este bucle, y al producirse una descarga de rayo en las cercanías, se pueden llegar a inducir algunas decenas de miles de V e incluso centenas de miles de V. El aparato de televisión, con aislamiento de protección, forma, necesariamente, el punto de encuentro del bucle abierto, que es atravesado por la corriente de rayo.

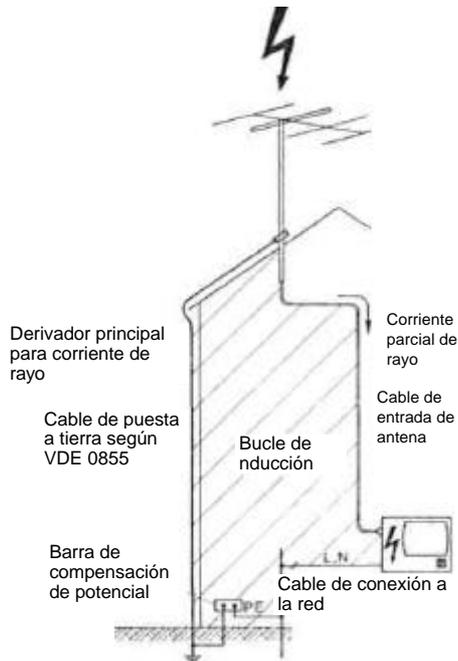


Fig. 5.112. Formación de bucles por los cables de antena, cable de toma de tierra y cables de corriente de alta intensidad.

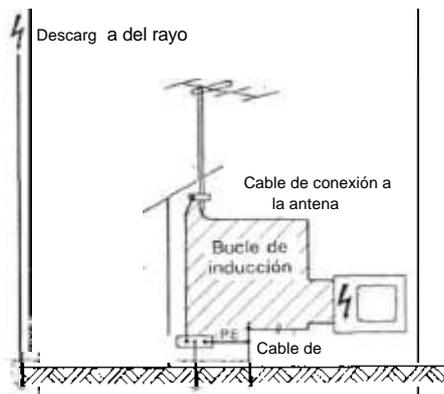


Fig. 5.113. Sobretensión provocada en un aparato de televisión por la descarga de un rayo en las proximidades del aparato.

La consecuencia de este bucle de inducción suele ser la destrucción de la etapa de la alta frecuencia y de la etapa de red. Si bien, a causa de este paso de chispas, las personas no suelen estar directamente expuestas a peligros, sí que puede tener lugar un peligro secundario, subsiguiente al posible incendio del televisor.

El concepto de protección, destinado a proteger aparatos de televisión, radios y aparatos de Vídeo, con aislamiento de protección, en el caso de descargas directas de rayo en la instalación de antena, tiene previsto el empleo de las medidas siguientes:

- El tubo del mástil de la antena de tejado debe estar conectado a la barra de compensación de potencial o respectivamente a la instalación de toma de tierra, de forma capaz de soportar corrientes de rayo.
- El conductor de protección PE de la red debe estar unido a la barra de compensación de potencial o a la instalación de toma de tierra.
- Ante el aparato a proteger, deben instalarse aparatos limitadores de sobretensiones que descarten absolutamente todas las situaciones incontroladas que puedan producirse al tener lugar una sobretensión de rayo, y que sean capaces de conducir las corrientes que van unidas a la limitación de tensión.

En la figura 5.114 está representada una instalación completa que incluye: aparato de protección "Protector HE" tipo C. Se cumplen las exigencias siguientes:

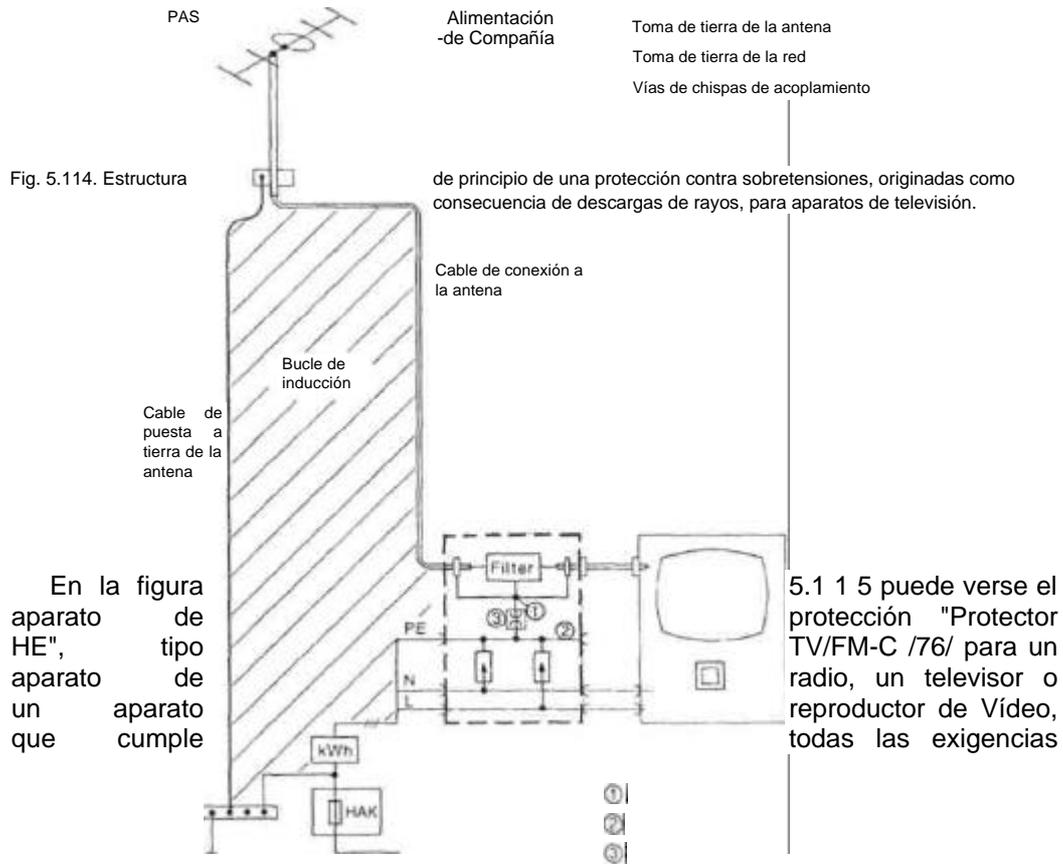
- En servicio no perturbado, la "tierra" de antena (es decir, el revestimiento blindado del cable de antena) y la "tierra" de la red (o sea: el conductor PE de la red), incluidos los conductores activos de red L y N están separados eléctricamente entre sí. En consecuencia, el usuario está protegido y seguro contra tensiones, corrientes, y también incluso contra tensiones de radiointerferencias.

Antes de que una sobretensión de rayo entre la conexión de la antena y la de la red pueda alcanzar valores peligrosos para el aislamiento de protección, en el aparato de protección se conectan las "tierras" de la antena con la "tierra" de la red durante todo el tiempo que dure dicha peligrosa sobretensión.

La sobretensión que se origina como consecuencia de la resistencia de acoplamiento entre el hilo del cable y el revestimiento del cable de antena, se limita a valores exentos de peligro con el uso de filtros adecuados.

En caso de una sobretensión de rayo, se asegura que las tensiones de choque entre los conductores activos de la conexión a la red L y N y el cable de protección PE, no alcancen niveles superiores a los permitidos para la clase de utilización 1, según IEC 664 /53,54/, es decir, que no sean superiores a 1,5 kV. (Ver tabla 4.1 y figura 4.27).

Se controlan las corrientes de choque unidas a la limitación de sobretensiones, y se descarta una corriente sucesiva de red subsiguiente a la limitación de tensión.



arriba anunciadas. El aparato de protección se enchufa en la caja de enchufes de red para el contacto de protección (figura 5.116) y se une, por medio de un cable coaxial corto, a la caja de enchufes de antena. La toma de la antena y la de la red del aparato de televisión, se conectan después con las correspondientes tomas de salida del "protector HE" (Figura 5.117).

El concepto de protección que acabamos de presentar con el aparato "Protector HE", ofrece una total protección contra sobretensiones en descargas lejanas, e incluso en descargas directas de rayo en la instalación de antena; igualmente,

ofrece protección contra las sobretensiones procedentes de la red de corriente para aparatos televisores, aparatos de radio y reproductores de Vídeo.

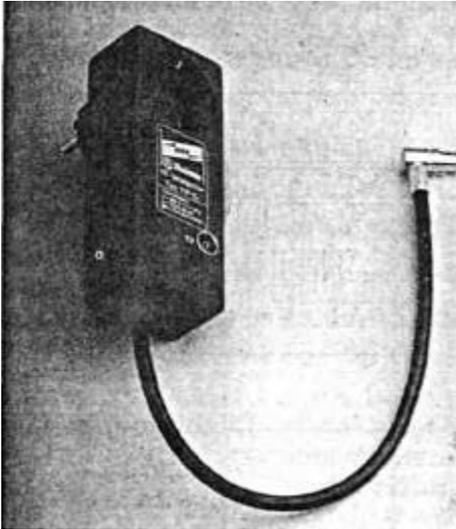


Fig. 5.115. Protector HE, del tipo TV/FMC



Fig. 5.116. Utilización del protector HE para protección de un aparato de televisión.

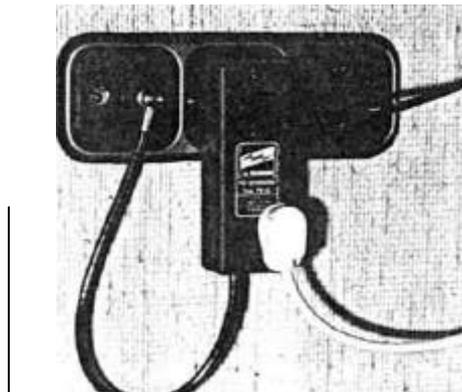


Fig. 5.117. Aplicación del protector HE para protección de un aparato de televisión.

5.4.4.2. Protección para ordenadores y computadoras

Las figuras 5.118 y 5.119 muestran el "Protector CS" /77/, un aparato de protección contra sobretensiones para ordenadores y computadoras. El componente de protección S-i está formado por varistores de óxido de metal y limita las sobretensiones, que penetran por éste conductor, hasta valores inferiores a 1 kV.

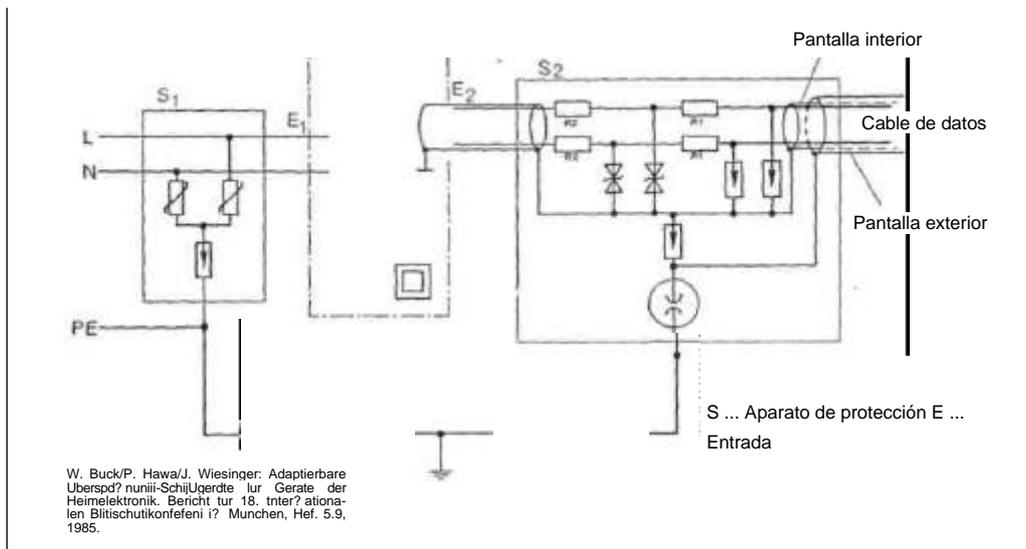


Fig. 5.118. Protección contra sobretensiones para una computadora (CS- Protector).

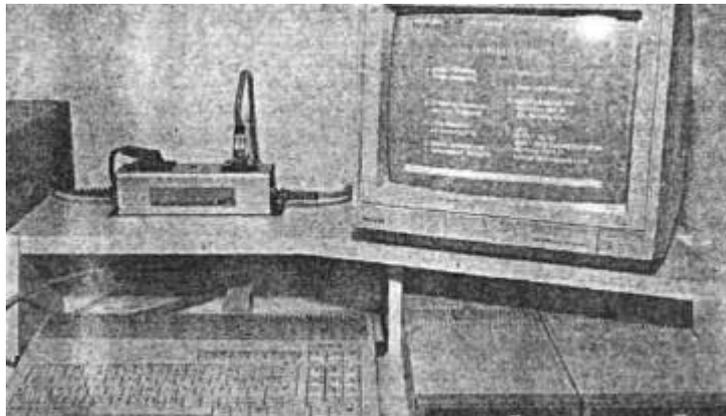


Fig. 5.119. El aparato protector CS protege un terminal.

El componente de protección S_2 para el cable de datos, está construido sobre la base de los componentes, conocidos ya en el "blitzductor" y acreditados a lo largo de muchos años son los siguientes: protección basta, elemento inter-medio y protección fina. El nivel de protección está situado por debajo de 1 5 V. Este componente de protección S_2 permite una velocidad de transmisión de datos de hasta un máximo de 19,4 kBit/s.

Existen "Protectores CS" para diferentes interfaces (Tabla 5.2), por ejemplo, para:

- Interfaces asimétricas, como Modem, V11, etc.
- Current Loop / Entradas para optoacopladores
- Vías de telecomunicación de 2 hilos, propiedad de Correos
- Interfaces asimétricas, como V.24/ RS 232 C.
- Cables coaxiales de 93 Ohmios
- Cables Twinax de 105 Ohmios (para instalaciones IBM).

Observación: Con el módulo de protección de red (figura 5.65) y con los correspondientes módulos de protección de datos (Figura 5.100) se puede realizar también el "Bypass" esencial desde el punto de vista de técnicas de protección (a través de los elementos de conexión modulares).

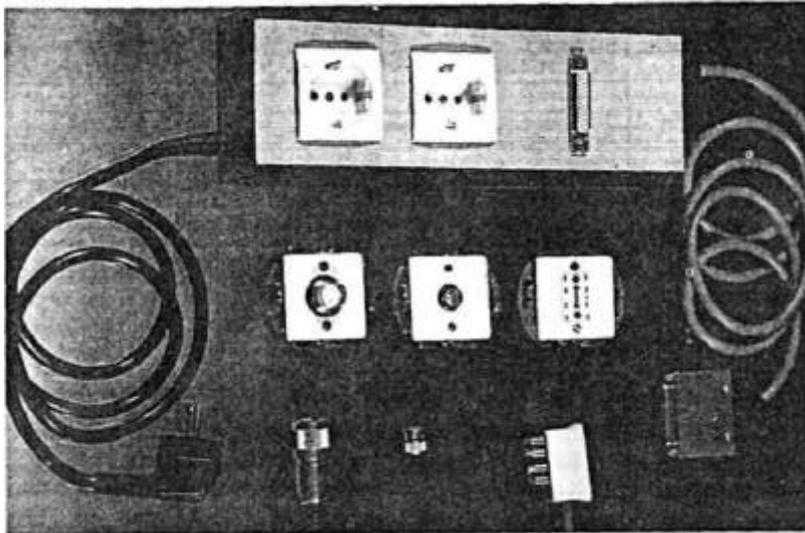
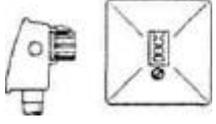
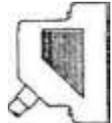


Fig. 5.120. Aparatos de protección contra sobretensiones para ordenadores: protectores CS.

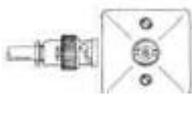
Tabla 5.2. Lista de los distintos tipos con datos técnicos.

Tipo CS-		ADO8-VII	ADO8-TTY	ADo 8 - PWM
Tipo de bases y clavijas		ADo S8 MD / ADo 8E		
		Posición de la llave A-A (ajustable)		Posición de la llave A-G (ajustable)
Tensión nominal lado red	UN	250V / 50 Hz		
lado datos		±8V	±12V	±130V
Corriente de derivación nominal (8/20)	i_{SN}	lado red 3 kA lado datos: 10 kA		
Nivel de protección con i_{SN} lado red		= 1 kV (L/N) < 1,5 kV (L ó N'PE)		
lado datos		= 15 V (A/A ó A/SG) < 200 V (SG/PG)	= 20 V (A/A)	< 600 V (A/A) < 600 V (A/PG)
Tiempo de respuesta lado red,	t_A	= 25 ns (L/N) = 100 ns (L ó N'PE)		
lado datos		< 1 ns (A/GS)	= 25 ns (SG/PG)	= 25 ns
Velocidad de transmisión de datos hasta		1 MBit/s	1 MBit/s	64 kBit/s
Hilos protegidos		2 pares de hilos/SG/PG	2 pares de hilos/SG/PG	2 hilos/S
Ocupación standard de hilos lado de datos		Emisión: 5/7 Recepción: 1/4 SG: 6, PG: 2/3	Emisión: 5/7 Recepción: 1/4 SG: 6, PG: 2/3	L_a : 1, L_b : 4, S: 2 resto de hilos conectados directamente
Resistencia longitudinal/hilo lado de datos	R_L	aprox. 400		
Temperatura de trabajo	a	-25°C... + 80°C		
Conexión red entrada		Enchufe de protección en ángulo (DIN 49411) con manguera (H05 VV-F3G, 3x1,5 mm ²), 1,4 m lg. negra		
salida protegida		Base de contacto de protección		
Datos de conexión entrada		Clavija de datos con manguera (LiYCY 4 x 0,5 mm ² con pares entrelazados y pantalla de protección 1,4 m longitud	Clavija de datos con manguera (LiYCY 7 x 0,25 mm ² , retorcidos por capas, y pantalla de protección 1,4 m longitud	
Salida/protegida		Base de datos		
Posibilidades de conexión de tierra		Tornillo de tierra M-5 en carcasa, para dar tierra a líneas de datos entre edificios		
Montaje / fijación		Aparato de mesa, posible montaje en pared con lengüetas		
Carcasa		Perfil de aluminio, anodizado		
Medidas		200 x 70 x 60 mm		
Autorizaciones		ZZF:121/202a 15	-	ZZF:121/202a 15

• tierra señal. PG: tierra protección, S: pantalla, PG: general con tierra (carcasa/lado real) unido

Tipo CS-	TAE-PWM-F	15-V11	25-V24
Tipo de bases y clavijas	TAE 6-F	MIL - C24 308 (DIN 41 652, en preparación)	
		15 polos (tamaño carcasa 2)	25 polos (tamaño carcasa 3)
		fijado mediante tornillo 4/40 UNC	
			
Tensión nominal lado red	UN 250 V/50 Hz	250 V / 50 Hz	250 V/50 Hz
lado datos	± 130 V		± 12 V
Corriente de dimensión nominal (8/20)	IsN	lado red: 3 kA	lado datos: 10 kA
Nivel de protección con i_sN :		=1 kV (L/N)	= 1,5 kV (L ó N/PE)
lado red			
lado datos	=600 V (A/A) =600 V (A/PG)	=15 V (A/A ó A/SG) =200 V (SG/PG)	=20 V (A/SG) =200 V (SG/PG)
Tiempo de respuesta lado red		=25 ns (L/N)	=100 ns (L ó N/PE)
lado datos	=25 ns		=1 ns (A/SG) =25 ns (SG/PG)
Velocidad de transmisión de datos hasta	64 kBit/s	1 MBit/s	1 MBit/s
Hilos protegidos	5 hilos/Pg	2 pares de hilos/SG/PG	2 hilos/SG/PG
Ocupación standard de hilos lado de datos	La:1, Lb:2, w:3 b2:5, a2:6, PG:4	Emisión: 2/9 recepción: 4/11 SG:8, PG:1	emisión:2, recepción:3, SG:7, PG:1
Resistencia longitudinal/hilo lado de datos	RL	aprox. 150	aprox. 150
Temperatura de trabajo		-25°C... + 80°C	
Conexión red entrada		Enchufe de protección de ángulo (DIN 49 411) con manguera (H05 VV-F3G, 3x1,5 mm ²), 1,4 m. lg. negra	
salida protegida		Base de contacto de protección	
Datos de conexión entrada	Clavija de datos con manguera (TAE S 4D, 4pol. codificación F), 1,4 m lang	Clavija de datos con manguera (LiYCY 7 x 0,25 mm ² , retorcidos por capas, y pantalla de protección), longitud 1,4 m.	Clavija de datos con manguera (LiYCY 7 x 0,25 mm ² , retorcidos por capas y pantalla de protección), longitud 1,4 m.
salida/protegida		Base de datos	
Posibilidades de conexión de tierra		Tornillo de tierra M-5 en carcasa, para dar tierra a líneas de datos entre edificios	
Montaje / fijación		Aparato de mesa, posible montaje de pared con lengüetas	
Carcasa		perfil de aluminio, anonzado	
Medidas		200 x 70 x 60 mm	
Autorizaciones			

A: hilo, SG: tierra de señal, PG: tierra de protección, S: pantalla, PG: general con tierra (carcasa/lado red) unido.

25-V24-EA	25-M	BNC	TWINAX 1	TWINAX 2
MIL-C 24 308 (DIN 41 652)		UG 910 B/U -Cr		Twinax
25 polos (tamaño carcasa 3) fijado mediante tornillo 4/40 UNC				
				
250 V / 50 Hz			250 V / 50 Hz	
±12 V	±15 V			±1 V
		lado red: 3 kA	lado datos: 10 kA	
		= 1 kv (L/N)	¿ 1,5 kv (L ó N/PE)	
=20 V (A/SGI) <200 V (SG P)	=25 V (A/SG) =200 V (SG/PG)	=20 V (A/S)		=20 V (A/A)
		= 25 ns (L/N)	= 100 ns (L ó N/PE)	
=1 ns (A/SG), =25 ns (SG PG)	=1 ns (A/SG), =25 ns (SG/PG)	=1 ns (A/S)		=1 ns (A/A)
1 MBit/s	1 MBit/s	50 MBit/s		10 MBit/s
2 hilos/SG/PG	12 hilos/SG/PG	hilos/S		2 hilos/S
2, 3, SG:7, PG:1	2/3/4/5/6/8/15/17/20 22/23/24 SG:7, PG:1	hilos/S		2 hilos/S
aprox. 150	aprox. 150	aprox. 100		aprox. 150
		-25°C... + 80°C		
Enchufe de protección en ángulo (DIN 49 411) con manguera (H05 VV-F3G, 3 x 1,5 mm ² , 1,4 m lang, negra				
Conector de 25 polos	Clavija de datos con manguera (LiYCY 16 x 0,14 mm ² , retorcidos por capas y pantalla de protección), 1,4 m longitud	Clavija de datos con HF- manguera 930 (RG.62 A/U 1,4 m longitud	1 Enchufe de datos con Twinax-manguera 1050 (HE-TW-K 1050/ 2 x AWG 20)	2 Enchufes de datos
Base de 25 polos		Base de datos		2 bases de datos
Tornillo de tierra M-5 en carcasa, para dar tierra o líneas de datos entre edificios				
Aparato de mesa, posible montaje en pared con lengüetas				
perfil de aluminio, anodizado				
280 x 70 x 60 mm	240 x 70 x 60 mm	200 x 70 x 60 mm		280 x 70 x 60 mm
	DEP: A 302 147 V DEP: A 303 046 W			

5.4.5. Estabilizador de tensión con protección contra sobretensiones integrado y con filtro de perturbaciones

Los estabilizadores de tensión que se representan en las figuras 5.121, no sólo se aplican como aparatos de protección contra sobretensiones, sino que también se emplean como protección en redes sujetas a grandes oscilaciones. Estos aparatos se usan para conexión a aparatos electrónicos muy conectados a redes que experimentan fuertes oscilaciones. Además de garantizar la estabilización de tensión, los aparatos electrónicos conectados a los DEHNconstant están protegidos contra sobretensiones y contra tensiones de perturbación.

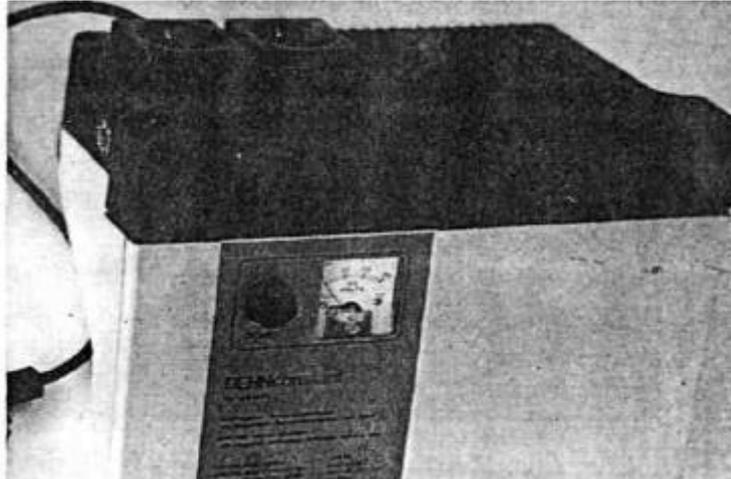


Fig. 5.121. Estabilizador electrónico de tensión DEHNconstant. a) Tipo CFÜ 2000 con 2000 VA de potencia de salida.

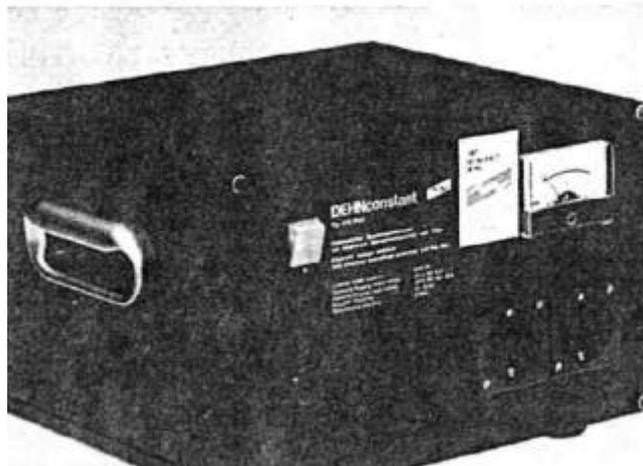


Fig. 5.122. Estabilizador electrónico de tensión DEHNconstant. b) Tipo CFÜ 2000 con 2000 VA de potencia de salida

Los campos de aplicación de los DEHNconstant están, sobre todo, en ordenadores, instalaciones de control de procesos, aparatos para visualización de datos, aparatos de medición, de verificación y aparatos de laboratorio (figura 5.1 23), en aparatos de utilización médica, en aparatos de vídeo, al igual que en el hogar y en la agricultura.



Fig. 5.123. Empleo del DEHNconstant, tipo CFÜ 1000, para protección de aparatos de laboratorio.

La figura 5.1 24 muestra la estructura de un DEHNconstant. La entrada de red está protegida contra sobretensiones por medio de varistores de óxido de metal y con una vía de chispas. A continuación viene el estabilizador de tensión, propiamente dicho, que limita oscilaciones de tensión en la entrada de + 1 5 % o respectivamente de -25 %, a ± 6 % en la salida. Esta regulación al valor nominal de 220 V se efectúa mediante conmutación de las tomas de un transformador.

Como elementos de conmutación se han utilizado Triacs, que controlan y excitan un regulador (Módulo en técnica híbrida de impresión en sustratos de Al₂O₃).

Finalmente, en la salida se encuentra un filtro de perturbaciones que protege a los consumidores postconectados, tanto contra tensiones de perturbación simétricas como asimétricas. Lo particular en este aparato es que, en caso de tensiones de perturbación asimétricas, actúa eficazmente sobre todos los conductores (L, N y PE). Precisamente, estas tensiones de perturbación asimétricas se originan a causa de emisiones de alta frecuencia, influencias perturbadoras ca-

pacitivas e inductivas procedentes de acciones de conmutación, influencias de los rayos e influencias derivadas de los impulsos electromagnéticos nucleares.

Las ventajas más notables de estos estabilizadores de tensión consisten en:

- son pequeños y ligeros en comparación con los aparatos estabilizadores de tensión convencionales, por lo que se pueden utilizar en todos los sitios.
- regulan y compensan las oscilaciones de tensión con gran rapidez (dentro de 2 períodos de tensión),
- los consumidores electrónicos no acusan ninguna perturbación, por conmutaciones, en el lado de la salida.

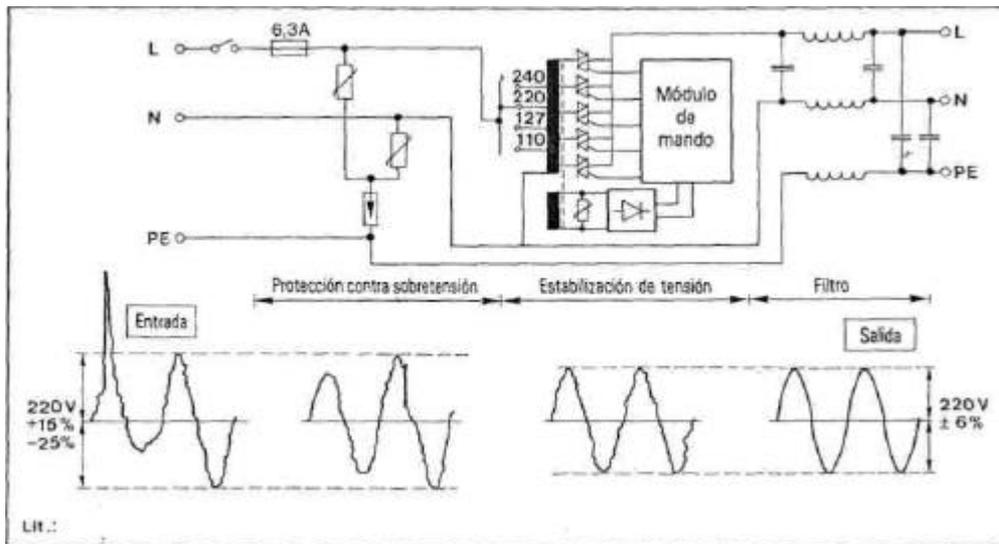


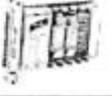
Fig. 5.124. DEHNconstant CFÜ 1000. Estabilizador de tensión electrónico con protección de sobretensión integrada y filtro de interferencias.

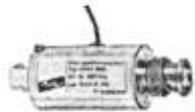
4.6. Visión de conjunto de los aparatos

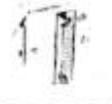
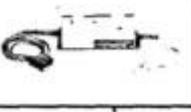
En la tabla 5.3 se encuentran los datos técnicos, valores de prueba y campos e aplicación de los aparatos de protección que hemos descrito.

Tabla 5.3. Programa de aparatos de protección contra sobretensiones DEHN (Marzo, 1986).

Lfd Nr.	Aparato de protección	Aparato/Tipo	Foto	Tensión de servicio máx. autorizado	Nivel de protección	Corrientes de prueba	Normas de prueba	Aplicación
1	Vías de chispas de separación	Vía de chispas de protección DFS		—	aprox. 20 kV	10 kA (8/20)	—	Conexión de palomillas a la instalación de protección contra rayos
2		Vías de chispas de separación KFSU		40 V =	aprox. 5 kV	50 kA/10 As/10 ⁵ A ² _s	DIN 48 810 (en preparación)	Puntos de aproximación entre instalación de protección contra rayos e instalaciones metálicas. Instalaciones de puesta a tierra separadas
3		Vía de chispas a prueba de explosiones Ex FS		40 =	aprox. 2 kV	100 kA/10 As/10 ⁵ A ² _s	DIN 48 810 (en preparación)	Puenteado de bridas de aislamiento de tuberías de cables, protegidas catódicamente (en la zona Ex).
4		Vía de chispas de corriente de alta intensidad HSFS		40 V =	aprox. 7,5 kV	120 kA/80 As/10 ⁶ A ² _s		Para acoplamiento de partes de una instalación en caso de descarga directa del rayo
5	Aparatos de protección para instalaciones de corriente de alta intensidad	Descargador VA 280 y VA 500		280V-/120V-0 500V-/120V-	aprox. 2 kV	5 kA (8/20) o 65 kA (4/10)	IEC 99.1 vde 0675	Instalaciones de baja tensión (montaje interior)
6		Descargador VM VM 280		280 V =	aprox. 1,5 kV	15 kA (8/20)	IEC 99.1 VDE 0675	Instalaciones de baja tensión (montaje interior)
7		Descargador NHVA 280		280 V =	aprox. 2 kV	5 kA (8/20) o 15 kA (8/20)	ICE 99.1 VDE 0675	Instalaciones de baja tensión (montaje interior)
8		Aparato de protección contra sobretensiones y corriente de defecto F354/VA-FI 350		220/380 V =	aprox. 1 kV	5 kA (8/20)	IEC 99.1 VDE 0675	Aparato combinado para protección de personas y cosas (montaje interior)

Lfd. Nr.	Aparato de protección	Aparato/Tipo	Foto	Tensión de servicio máx. autorizado	Nivel de protección	Corrientes de prueba	Normas de prueba	Aplicación
9		DEHNVENTIL*		280V-	aprox. 2kV	100 kA/10 As/ 5. 10 ⁵ A ² s		Instalaciones de baja tensión (montaje interior) para descargas directas de rayos 1
10		Via de chispas de apagado LFS		300V-/50V-	aprox. 9 kV	100 kA/20 As/ 0,1 • 10 ⁶ A ² s		Montaje interior y exterior para descargas directas de rayo
11	Aparatos de protección para instalaciones electrónicas	Blitzductor		12 V = hasta 320V-/250V- (según tipo)	aprox. 1,3 U _N hasta 1,2 kV (según tipo)	2 ... 20 kA (8/20) según tipo		Protección de instalaciones electrónicas MCR)
12		Blitzductor KT		15 V= hasta 200 V = (según tipo)	aprox. 1,3 U _N hasta 1 kV (según tipo)	3 ... 10 kA (8/20) según tipo		Protección de instalaciones eléctricas MCR
13		Blitzductor LZC		24 V-	aprox. 1,3 U _N	10 kA (8/20)		Instalaciones Ex en sistema Conduit
14		Limitador de sobretensión UG 42		42 V =	aprox. 1,3 kV	20 kA (8/20) o 50 kA (8/20)		Entradas de cables de medidas en zonas Ex (p. ej. en depósitos)
15		BEE 32 NF BEE 16NFF GLA 32 UEF		15V-/10V- hasta 90V-/60V-(según tipo)	aprox. 1,4 U _N hasta 3 kV (según tipo)	50 kA/40 As/ 5. 10 ⁵ A ² s		Instalaciones electrónicas MCR en sistemas de módulos enchufables
16		BEE Vídeo 1 VK BEE Vídeo 2 VK		± 5 V-	± 8 V	50 kA/10 As/10 ⁵ A ² s		Sistema de vídeo con 75íí. Cables coaxiales

Lfd. Nr.	Aparato de protección	Aparato/Tipo	Foto	Tensión de servicio máx. autorizado	Nivel de protección	Corrientes de prueba	Normas de prueba	Aplicación
17		DPL 1 G		110 V =	aprox. 600 V	5kA (8/20)	-	LSA PLUS
		DPL 1 F			aprox. 1,8 U _N	5kA (8/20)		
		DPL 10 G		110 Va	aprox. 600 V	10 kA (8/20)	-	
		DPL 10 F			aprox. 1,8 U _N	5 kA (8/20)		
18		ÜGK			aprox. 2 kV	5...15 kA (8/20) (según tipo)		† Sistemas de información
19		ÜGKF		± 5V	= 20 V	10 kA (8/20)		50 -75/93 -52 (conexión BNC, N y UHF)
20		Aparato de protección de datos GF		± 12 V	= 20 V	aprox. 10 kA (8/20)	-	Sistemas de datos
		GS 5			aprox. 1,5 kV			
		FS 15 FS 25						

Lid. Mr.	Aparato de protección	Aparato/Tipo	Figura	Max. tensión de servicio autorizada	Nivel de protección	Corriente de prueba	Norma para las pruebas	Aplicación
21	Módulos de protección para montaje en cajas de enchufes	NSM		220 V -	1 kV	2,5 kA (8/20)		t Cajas de enchufes emportrados
22		DSM		± 12 V	= 30 V	10 kA (8/20)		
23	Mini-módulos de protección en circuitos impresos	MM-NS		220 V~	aprox. 1 kV	2,5 kA (8/20)	-	Dentro de aparatos o en circuitos impresos
24		MM-DS		5V-/8V- bis15V~/24V-	aprox. 1,5 U _N	2,5 kA (8/20)	-	
25	Aparatos para protección de ordenadores en línea de energía y de datos	S-Protector		220 V-	aprox. 1 kV	2,5 kA (8/20)		Acoplamiento directo sobre enchufe Schuko
26		CS-Protector		Red: 250V/50Hz Datos: ±12 V	Red: s:1kV Datos: =30V	Red: 3kA (8/20) Datos 10kA (8/20)		En caja suelta para intercalar delante del ordenador
27		DL-Protector		± 12 V	= 30 V	10 kA (8/20)		Para variar líneas de datos

6. Ejemplos prácticos de realización de medidas de protección y del empleo de aparatos de protección

Con ejemplos prácticos se van a exponer a continuación ejecuciones de las medidas de protección contra sobretensiones, que se han descrito anteriormente, y el uso de aparatos de protección en instalaciones eléctricas que cuentan con aparatos electrónicos muy sensibles.

Se trata aquí de instalaciones que en el pasado, con mucha frecuencia, experimentaban las consecuencias dañosas y costosas derivadas de las acciones de los rayos, cuando no eran destruidas totalmente por las descargas de rayos.

Hace unos 15 años se comenzó el desarrollo de los limitadores de sobretensiones para instalaciones electrónicas sensibles. En aquellas instalaciones equipadas con los nuevos aparatos de protección, se instalaron también, simultáneamente "Contadores de corriente de rayo" /78/. De esta forma, hoy se puede verificar la acreditación de estos aparatos de protección contra sobretensiones, a lo largo de más de una década, disponiéndose de información real y fiable sobre el funcionamiento de los mismos, en instalaciones en las que, con anterioridad al montaje de los protectores contra sobretensiones, se producían anualmente 5 ó más interrupciones del servicio, causadas por averías consecuentes a sobretensiones o descargas de rayos.

En la figura 6.1 se reproduce uno de estos aparatos "Contadores de rayos / de corrientes de choque", con el que, al mismo tiempo, se puede registrar la activación y respuesta de los aparatos de protección contra sobretensiones. El aparato que reproducimos está constituido sobre la base del principio de la transformación de la corriente (figura 6.2), y con él se registran corrientes de choque con valores de cresta superiores a 200 A. Un contador de este tipo puede montarse sin necesidad de disminuir la sección, directamente en el derivador de rayo (Figura 6.3) o en el conductor de toma de tierra de un aparato de protección contra sobretensiones.

Con frecuencia es necesario realizar tests y pruebas de tensiones de choque / corrientes de choque, no sólo en el laboratorio o en el marco de la fabricación

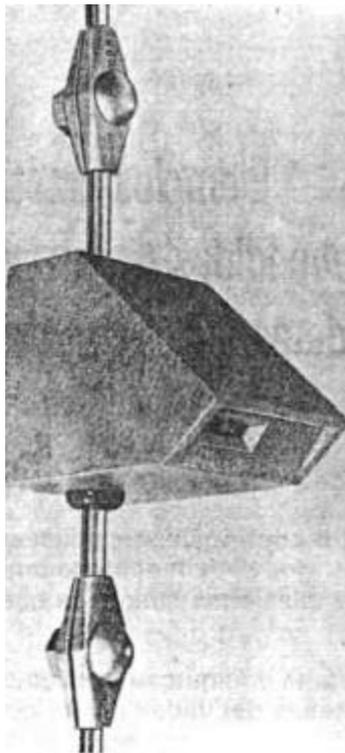


Fig. 6.1. Contador de rayos de corrientes de choque.

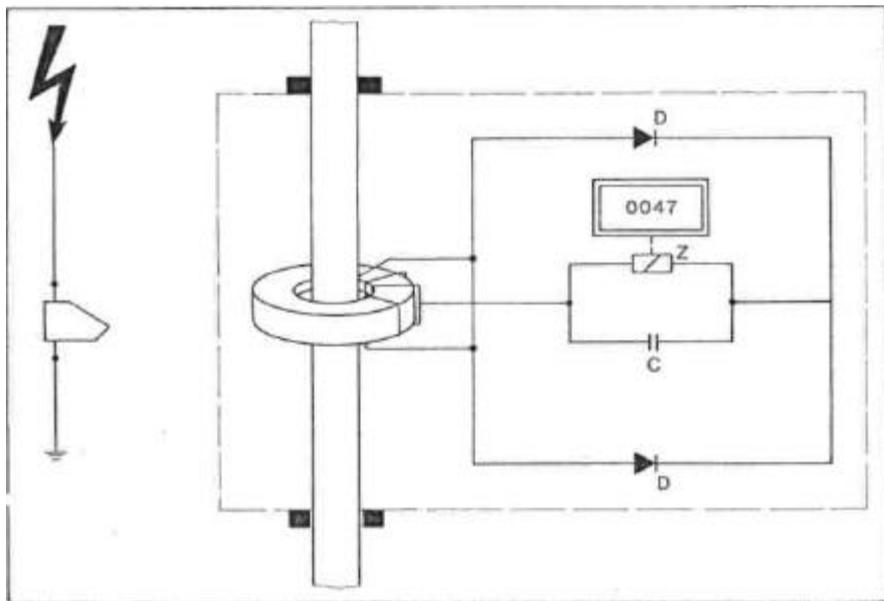


Fig. 6.2. Contador de impulsos de corriente. Equipamiento y circuito interior.

de los aparatos protectores, sino que se hace imprescindible efectuar estas pruebas en el lugar mismo del emplazamiento de la instalación que se ha de proteger. Para ello se ha acreditado el *generador híbrido /79/* representado en la figura 6.4.

En caso de cortocircuito, este generador proporciona una corriente de choque de la forma normalizada 8/20, con un valor máximo de cresta de 10 kA, al paso que durante su marcha en vacío, genera la onda de tensión de choque normalizada 1,250, con un valor de cresta de hasta 10 kV.

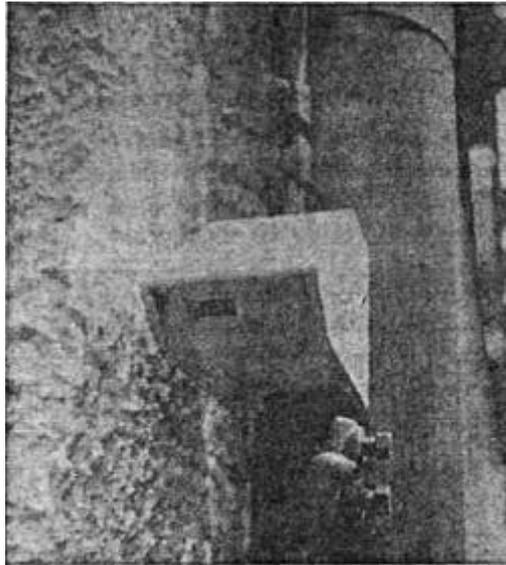


Fig. 6.3. Contador de rayos/corrientes de choque, instalado en una derivación de pararrayos.

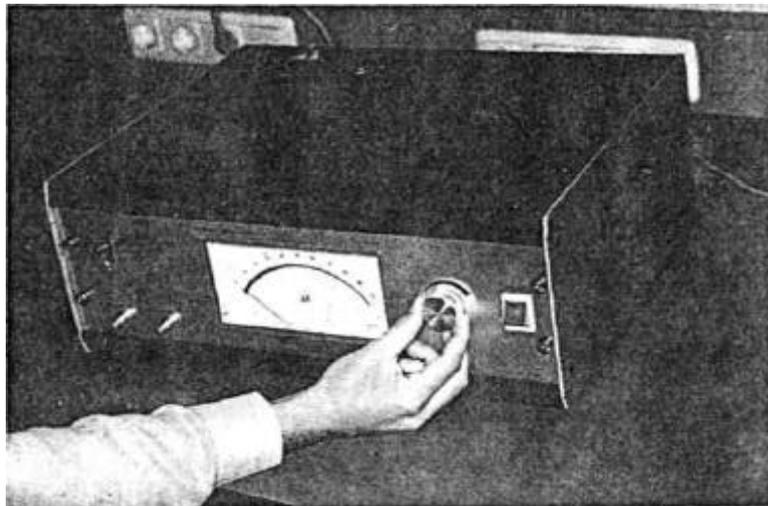


Fig. 6.4. Generador híbrido portátil.

6.1. PROTECCIÓN EXTERIOR CONTRA RAYOS

La instalación exterior contra rayos está compuesta, como ya hemos indicado en el párrafo 4.1., por dispositivos captadores, derivadores e instalación de toma de tierra.

En relación con la protección de instalaciones sensibles equipadas con aparatos electrónicos, puede optimizarse la instalación exterior de pararrayos, mediante inclusión, en cuanto a la construcción, de diversas piezas y elementos, como se muestra en los capítulos 6.1.1., 6.1.2. y 6.1.3.

6.1.1. Dispositivos pararrayos

Como dispositivos pararrayos suelen utilizarse varillas dispuestas en forma de malla, como puede verse en la figura 6.5. Las piezas o elementos metálicos existentes en el tejado o terraza de un edificio, suelen incluirse, por lo regular, en la instalación exterior de pararrayos, como piezas pararrayos. La figura 6.6. muestra la conexión del dispositivo pararrayos, en forma de mallas, al revestimiento de chapa continuo del murete de la terraza, que entonces actúa también como dispositivo pararrayos.

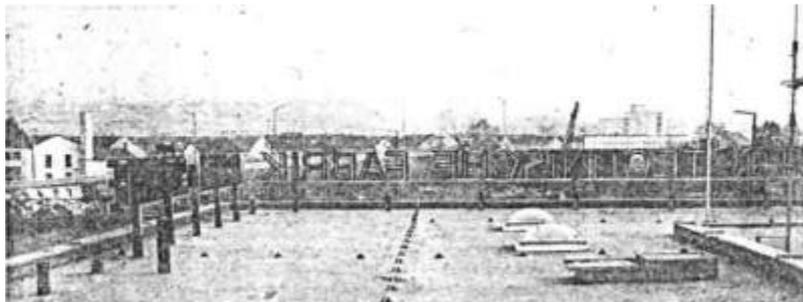


Fig. 6.5. Dispositivo pararrayos, en forma de mallas.

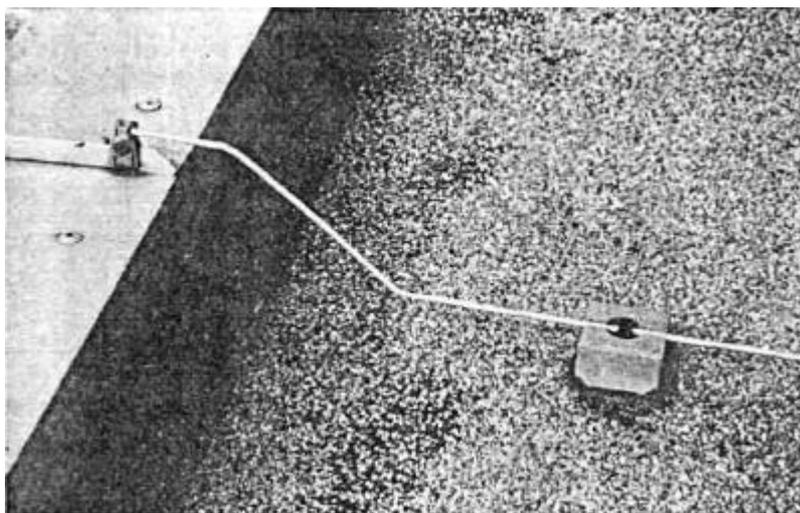


Fig. 6.6. Conexión del hilo del pararrayos al revestimiento de chapa del murete de la terraza.

Como complemento de estos dispositivos pararrayos en forma de mallas, se pueden disponer asimismo, según DIN VDE 0185/1 /, puntas captadoras, las cuales tienen un campo de protección, de forma cónica, con un ángulo de protección de 45° la vertical, y con una altura de protección total (edificio, y punta captadora incluida) de 20 metros. (Ver también las indicaciones del párrafo 4.1.1.).

Es distinto el campo de protección de puntas captadoras, que se disponen sobre tejados de edificios, para protección de instalaciones eléctricas (p. ej. ascensores, unidades de acondicionamiento de aire, aparatos de medida meteorológicos, balizamiento de obstáculos, cámaras de televisión) contra descargas directas de rayos. Para estas puntas captadoras tiene validez el ángulo de protección de 45° respecto la vertical, y con una altura de protección total (edificio, y punta

Los elementos y equipos eléctricos situados sobre los tejados a efectos de evitar su posible avería o destrucción por corrientes parciales de rayo, no deben conectarse directamente con los elementos de pararrayos, sino que deberían quedar protegidos mediante dispositivos pararrayos, colocados al lado o por encima de los mismos. En estos casos, no deben descuidarse determinadas distancias de aproximación /1,3/, que no deben ser nunca superadas.

En la figura 6.7 se ha representado la protección de un ventilador de tejado por medio de una punta conductora, dispuesta junto al mismo, la cual está unida a la instalación de protección contra rayos del edificio.

En la figura 6.8 puede verse una lámpara de balizamiento de obstáculos, que es protegida contra una eventual descarga directa de rayos, gracias a una punta captadora, que se ha montado inmediatamente junto a la lámpara.

Fig. 6.7. Tornillo purgador de aire en el tejado, dentro del cono de protección de una punta captadora.

Fig. 6.8. Protección de señalización de balizamiento de obstáculos en la torre de la televisión de Munich, en evitación de descargas directas

196 Ejemplos prácticos

de rayos, lo que se ha ejecutado aquí mediante una punta



captadora.

Cuando en el tejado existan extensas instalaciones de ventilación o de aire acondicionado, resulta en ocasiones más rentable disponer una red completa pararrayos (teniendo muy en cuenta las condiciones de acercamiento) sobre dichos equipos metálicos y eléctricos.

En la figura 6.9 se expone la manera en que se ha montado, en un tejado, un conjunto de líneas y puntas captadoras de acero cincado al fuego, sobre caballetes de madera, para protección de una instalación de refrigeración de ordenadores. De esta forma se consigue una zona de protección de mayor volumen, que mantiene la instalación de refrigeración libre de descargas directas de rayo.

En la figura 6.10 se ve el sistema de pararrayos, realizado en perfiles de aluminio, dispuesto sobre ventiladores y salidas de aire (incluidos los elementos eléctricos), instalado en una azotea.

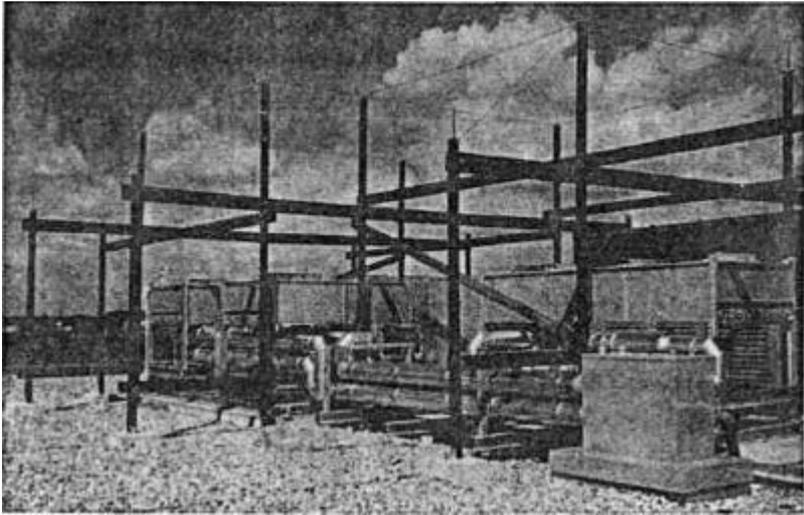


Fig. 6.9. Instalación de pararrayos sobre el tejado de la Central de Teléfonos de Kiel. (Foto Thormalen).

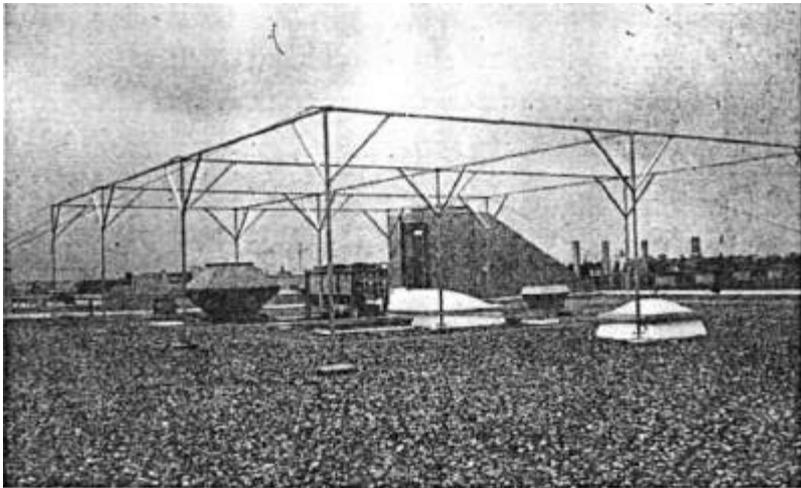


Fig. 6.10. Sistema pararrayos en la azotea de la Central de Energía de la BMW en Munich, a) Vista de conjunto de la instalación.

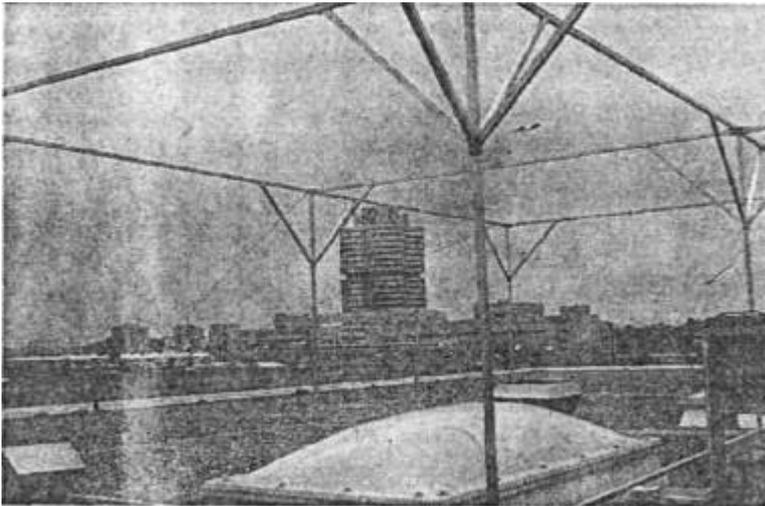


Fig. 6.11. Sistema para-rrayos en la azotea de la Central de Energía de la BMVen Munich, b) Detalle de la instalación de la figura 6.10: construcciones de bastidores en perfil de aluminio.

6.1.2. Derivadores

Por lo regular, se suelen tender derivadores (Figura 6.12) a distancias de 20 metros unos de otros (compárese con la figura 4.3). Cuando se trate de edificios con instalaciones técnicas de comunicaciones, esta distancia puede reducirse a 5 ó 7 metros, según DIN VDE 0185 /1/.

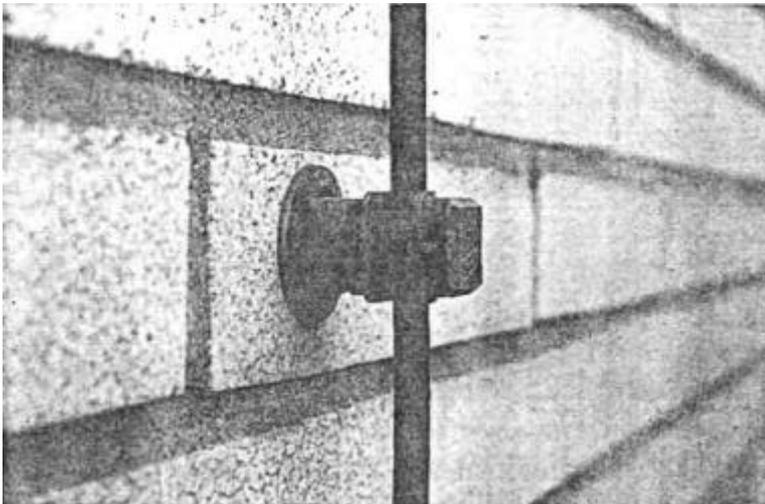


Fig. 6.12. Derivador, fijado a la pared con soporte DEHNSnap en plástico.

Precisamente, en las modernas técnicas de la construcción, se usan esqueletos de acero, vigas de acero, hormigón armado con acero, y con mucha frecuencia se emplean también revestimientos metálicos en el exterior de los edificios. Y todos estos elementos metálicos pueden integrarse en la instalación exterior de protección contra rayos. Cuando ya en la fase de diseño de un edificio se tiene en cuenta la instalación exterior de protección contra rayos, suelen encontrarse, frecuentemente, soluciones arquitectónicas muy favorables para la resolución de esta cuestión.

Con el ejemplo de una nave de fabricación realizada en prefabricados de hormigón, (Figura 6.13), puede explicarse perfectamente este procedimiento, paso a paso:

- Las armaduras del hormigón para el zócalo de los cimientos, para los pilares de la nave, están llevados hacia fuera, a través de cables de unión para conectarlos con el anillo circular de toma de tierra, alrededor de la nave, y hacia dentro, por medio de empalmes de unión para conexión con el armado de los pilares.
- Los hierros del armado de los pilares se unen a través de varillas o cables de conexión que se conexionan arriba y abajo (Figura 6.14).

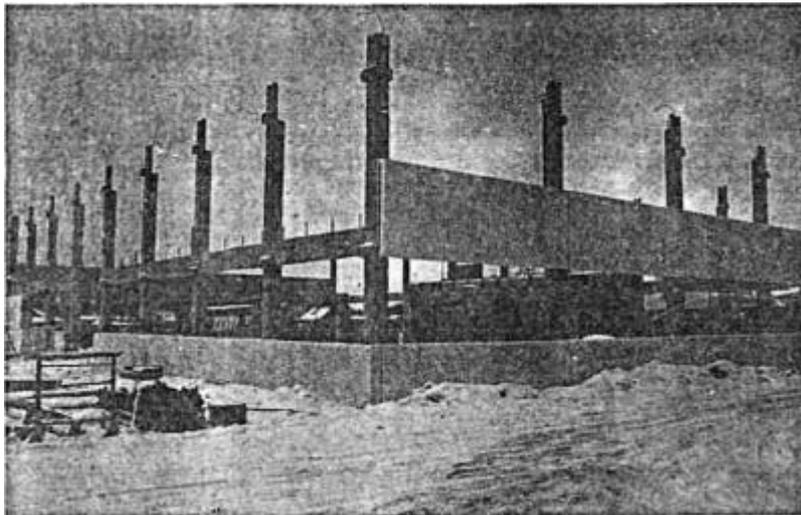


Fig. 6.1 3. Nave de fabricación realizada en prefabricados de hormigón, en la que se han incluido los hierros del armado en la instalación exterior de protección contra rayos, a) Vista de conjunto

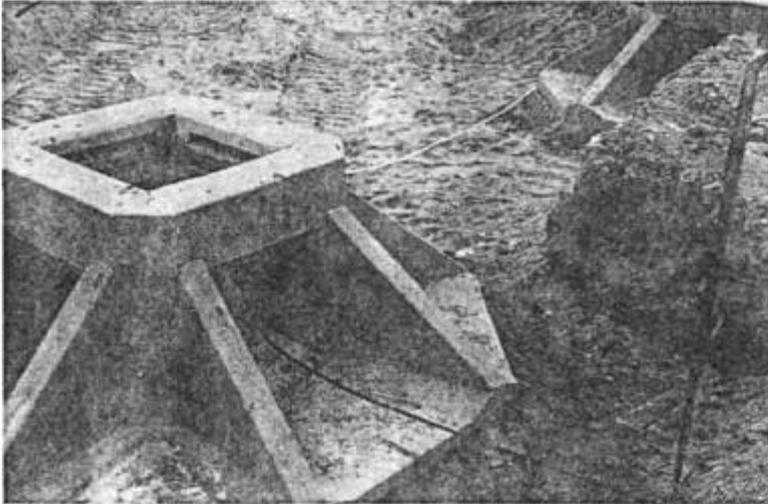


Fig. 6.14. b) Zócalo de los cimientos, con cable llevado al exterior y que está unido a la armadura del hormigón.

- En la figura 6.1 5 y 6.1 6 puede verse el pilar ya acabado, y dispuesto para su colocación en el zócalo de los cimientos de la nave, con la unión del armado, sacada hacia fuera.
- Las mallas metálicas del armado de los suelos, se unen entre sí mediante varillas o cables de acero interconectados (Figura 6.18) y se sacan hacia afuera, cerca de los pilares, para conexión posterior a la barra circular de compensación de potencial. (Figura 6.19).
- La parte superior del armado, ya interconectado, que sobresale de los pilares, se une posteriormente con las construcciones portantes metálicas de los parapetos y muretes de la nave. (Figura 6.20 y 6.21).
- Todas las tuberías o conductores que penetran en la nave de fabricación, como son tuberías de agua, aceite, calefacción, aire comprimido, y los conductores, como corriente de alta intensidad, cables de teléfono, de datos y de telecomunicaciones, se introducen en la nave a través de un canal de cables con armadura de hormigón, la cual está unida a la armadura del hormigón de la nave. El lugar por donde se produce la entrada en la nave es el mismo sitio en el que luego se realiza también la compensación de potencial para protección contra rayos.

De esta manera, en un trabajo de colaboración con el fabricante de los prefabricados de hormigón, y utilizando los pilares del entramado de hormigón armado como derivadores, se consigue una protección exterior óptima contra rayos.

Del mismo modo pueden utilizarse las traviesas y soportes de un edificio, construidos en acero, como derivadores. Figura 6.23.

Fig. 6.15. c) Jaula de la armadura de hormigón en un pilar de una nave de fabricación (durante la construcción), que lleva incorporado el cable de conexión.

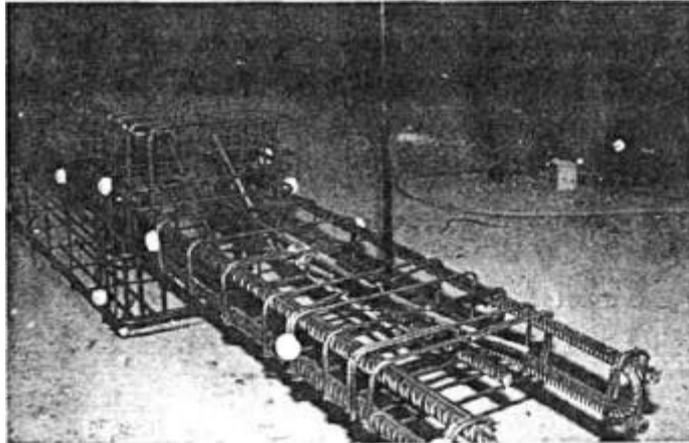


Fig- 6.16. d) Jaula del armado de un pilar de la nave (durante la fabricación) con el cable de conexión.

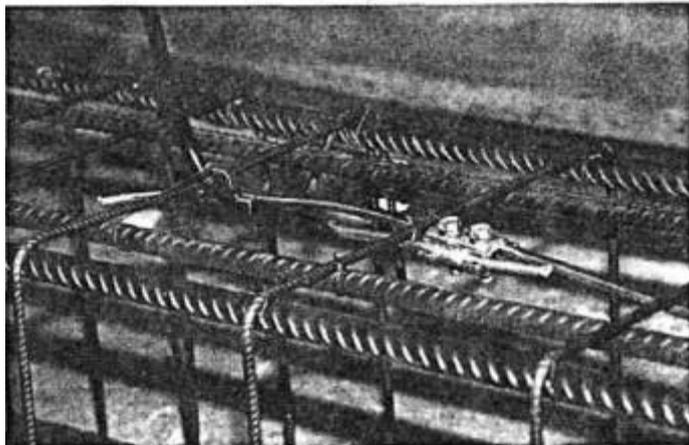
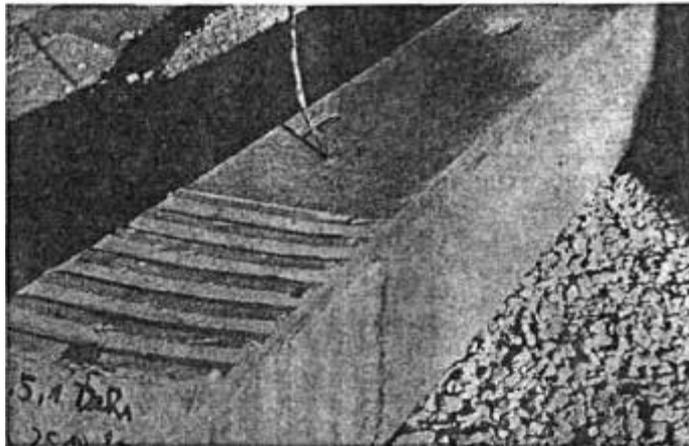


Fig. 6.17. e) Pilar de la nave de fabricación acabado, con cable de conexión para el armado de hormigón, llevado hacia fuera.



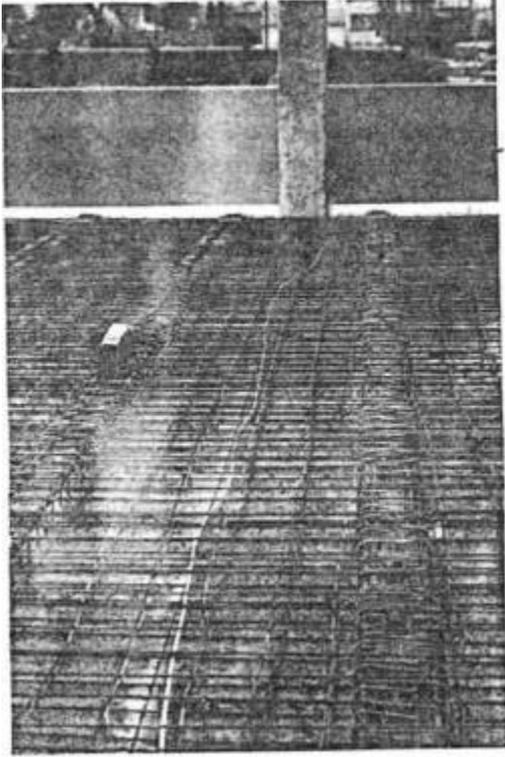


Fig. 6.18. f) Malla del armado de hormigón del suelo, interconectada en toda su extensión.

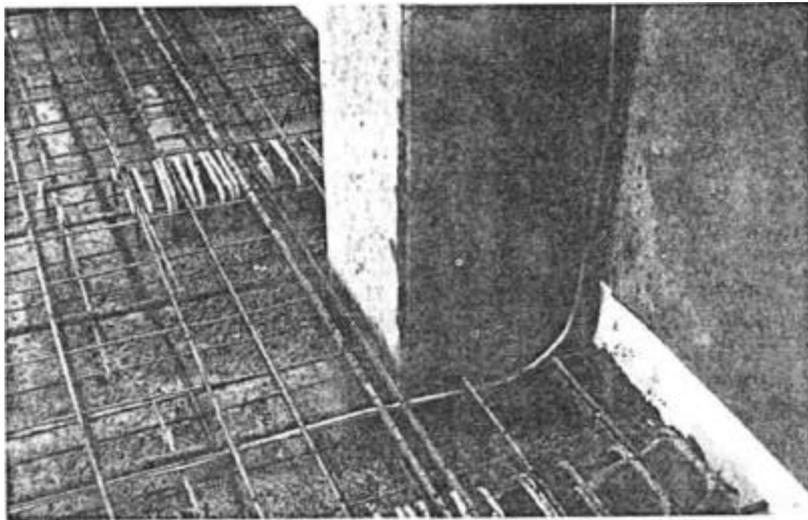


Fig. 6.19. g) Cable de conexión del armado de las mallas de hormigón del suelo, para posterior conexión a la barra de compensación de potencial.

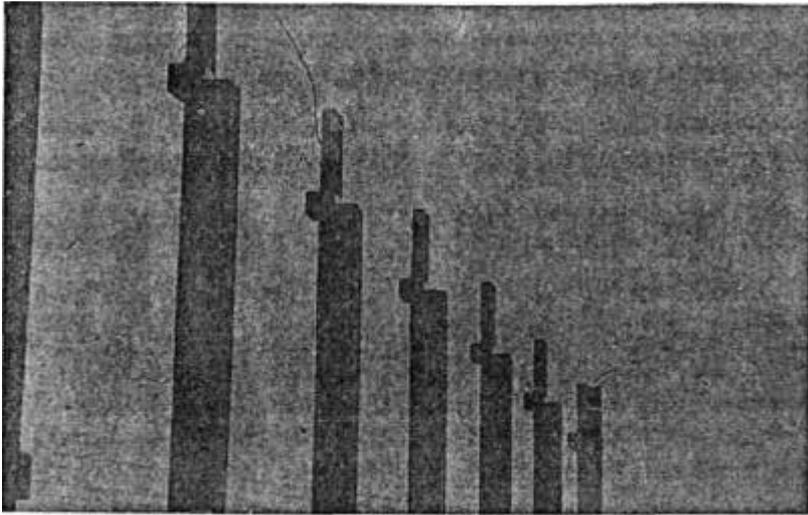


Fig. 6.20. h) Cables de conexión que sobresalen de la parte posterior de los cabezales de los pilares.

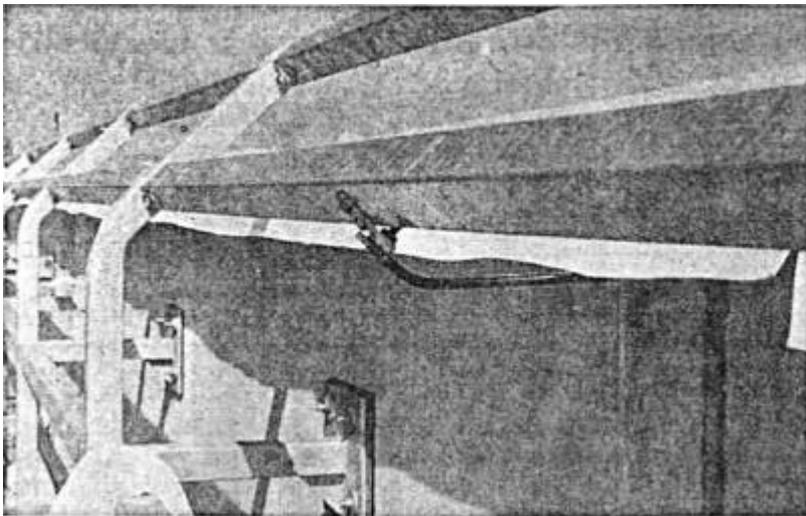


Fig. 6.21. i) Conexión con la construcción metálica de soporte del murete del tejado (de la azotea).

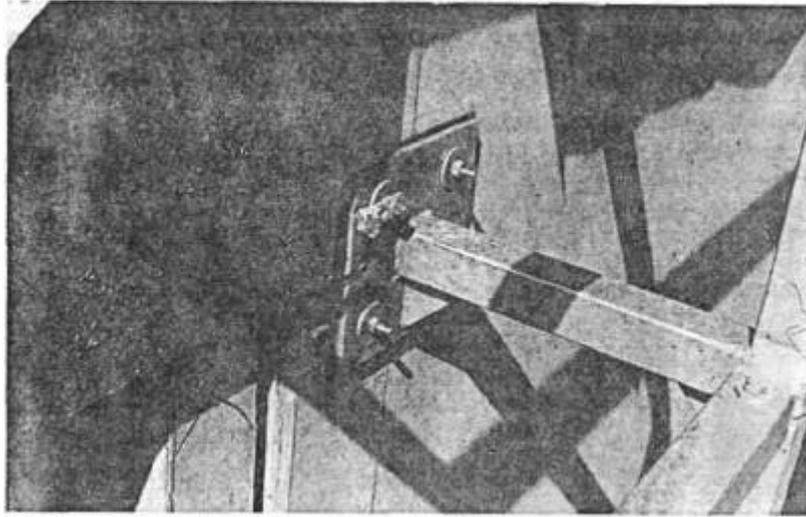


Fig. 6.22. j) Conexión de la construcción metálica del murete de la azotea.

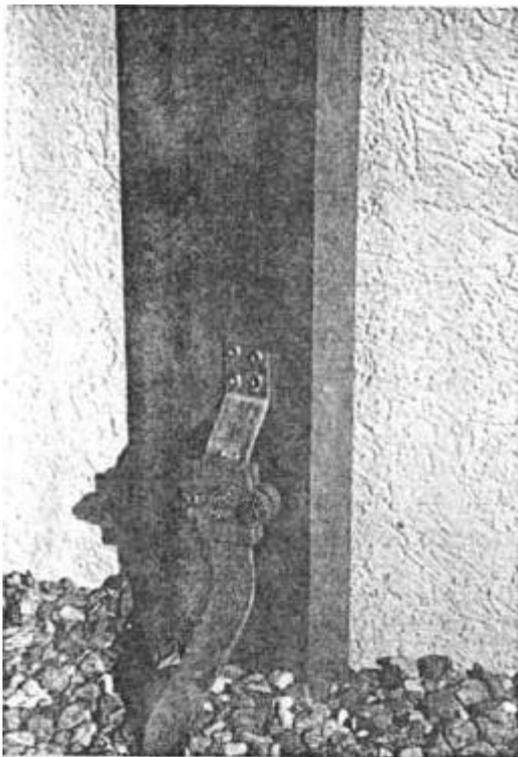


Fig. 6.23. Utilización de un pilar de acero como derivador.

6.1.3. Instalación de puesta a tierra

Especialmente, para conseguir una adecuada protección en las instalaciones informatizadas, deben incluirse todos los redondos del armado de hormigón en la instalación de toma de tierra (Figura 6.24), estando las diversas mallas y tramas del armado unidos entre sí a través de un cable adecuado, con sus correspondientes bornas. (Figura 6.25). Las tomas de tierra de los diversos edificios de un conjunto de instalaciones que han de ser protegidas, deben interconectar-se entre sí hasta formar una malla o entramado de toma de tierra superficial, (Figura 6.26).



Fig. 6.24. El armado de los cimientos se incluye en la instalación de toma de tierra.

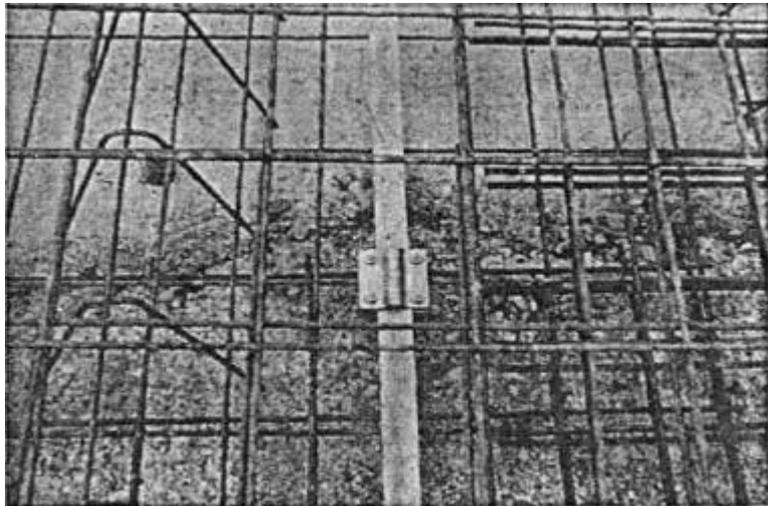


Fig. 6.25. Borna para unión de las mallas o entramados de hormigón con acero en flejes.

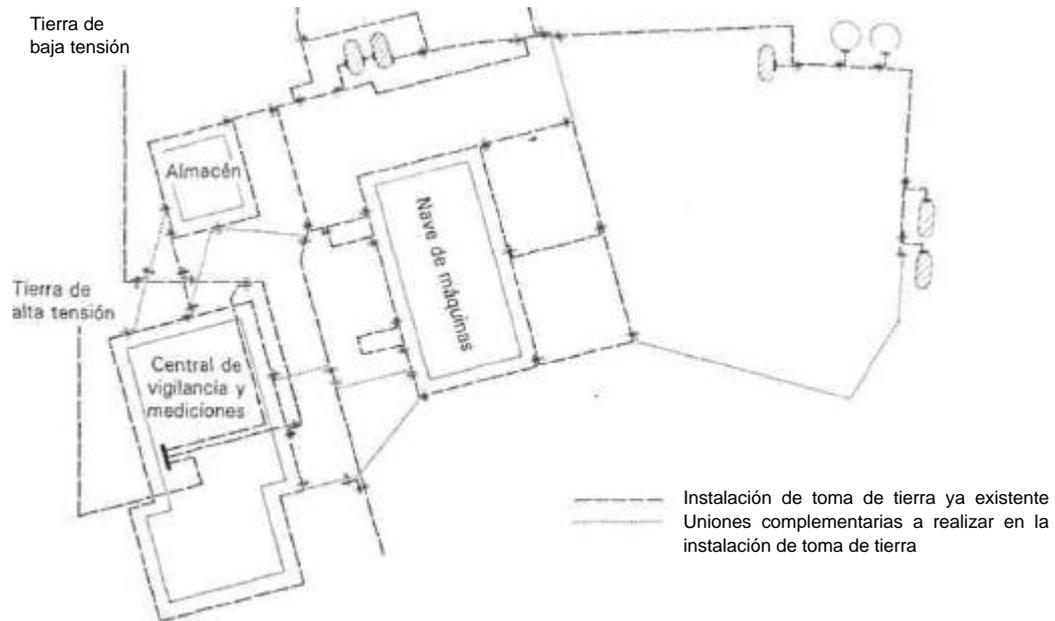


Fig. 6.26. Tomas de tierra de un conjunto de edificios, unidas entre sí, en forma de malla, para conseguir una toma de superficie.

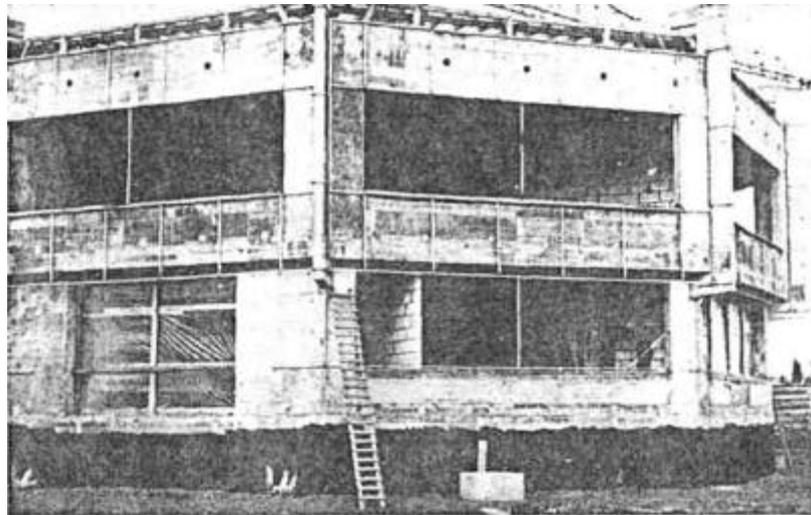


Fig. 6.27. Estructura metálica interna, de soporte, para elementos de una fachada, montados posteriormente.

6.2. BLINDAJES

En edificios que no cuenten con los blindajes o apantallamientos correspondientes (p. ej. edificios sin interconexión de la armadura del hormigón, o en tejados y fachadas metálicas), y que están provistos únicamente de las instalaciones convencionales de protección contra rayos (abertura de mallas de los conductores pararrayos 10x20 m, distancia entre derivadores 20 m), hay equipos y sistemas electrónicos muy sensibles, p. ej. ordenadores que están prácticamente "al aire" desde el punto de vista electromagnético. Para protección de instalaciones y equipos de este tipo, los armados de suelos, paredes y techos, deben interconectarse (ver figuras 6.18 y 6.24) hasta lograr la formación de una jaula de blindaje, lo más cerrada posible (Figura 4.15).

En los modernos edificios industriales y de oficinas, se suelen montar actualmente, con mucha frecuencia, fachadas vistas de materiales metálicos, que se instalan sobre la base de una construcción metálica interna de soporte. (Figura 6.27). Estas construcciones metálicas continuas pueden utilizarse perfectamente como derivadores de rayos. Las piezas y elementos metálicos de las fachadas se conectan después entre sí y con la construcción portante de manera eléctricamente conductora, pudiendo utilizarse de este modo a efectos de blindaje. (Figura 6.28).



Fig. 6.28. Revestimiento metálico de chapa, en una nave de fabricación, para blindaje, provisto de su correspondiente banderola de toma de tierra.

6.3. PROTECCIÓN INTERIOR CONTRA RAYOS. COMPENSACIÓN DE POTENCIAL PARA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

De acuerdo con el principio representado en la figura 4.11 se incluyen en la compensación de potencial para protección contra rayos todas las tuberías y conductores entrantes y salientes de un edificio, efectuándose, a ser posible, dichas entradas y salidas en un solo punto.

Los tubos y tuberías se conectan directamente o (en el caso de instalaciones protegidas catódicamente) a través de vías de chispas de separación a la barra de compensación de potencial.

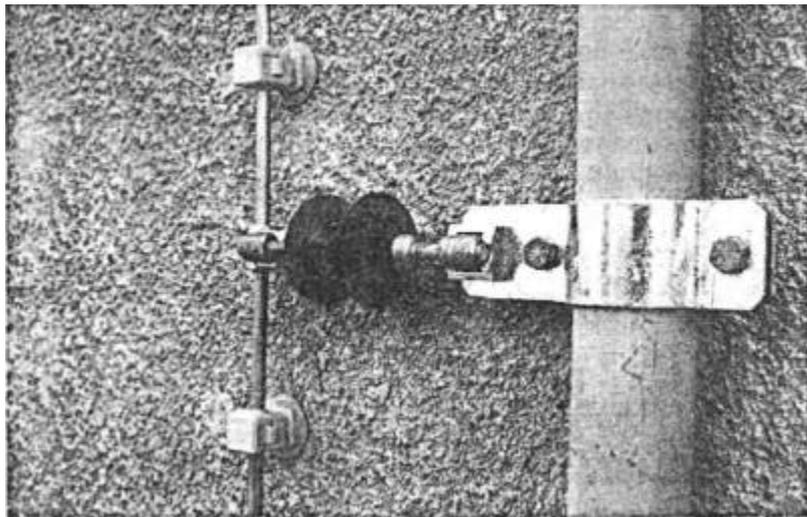


Fig. 6.29. Inclusión de una tubería de conducción, protegida catódicamente, en la compensación de potencial de protección contra rayos, a través de una vía de chispas de separación.

Todos los conductores eléctricos de energía se incluyen asimismo en la compensación de potencial para protección contra rayos; esta conexión a la compensación de potencial debe efectuarse lo más próxima posible al lugar de penetración de los conductores en el edificio, pero detrás de la caja de acometida.

Algunas empresas alemanas de suministro de energía eléctrica autorizan la instalación de descargadores por delante del contador. (Figura 6.30). Así, por ejemplo, en la empresa de suministro de electricidad a la ciudad de Lech, Augsburg (LEW) se dice:

"En redes de líneas aéreas de suministro, y previo acuerdo con la LEW, se pueden montar descargadores de sobretensiones, en carcasas precintadas, por delante del contador... Estos descargadores deben instalarse en una carcasa pre-

cintada, con mirilla de cristal, tipo de protección IP 54, inmediatamente por delante del armario de contadores. La conexión se efectúa en el espacio inferior de conexiones a la borna de derivación de A.I., o respectivamente al sistema de barras colectoras".

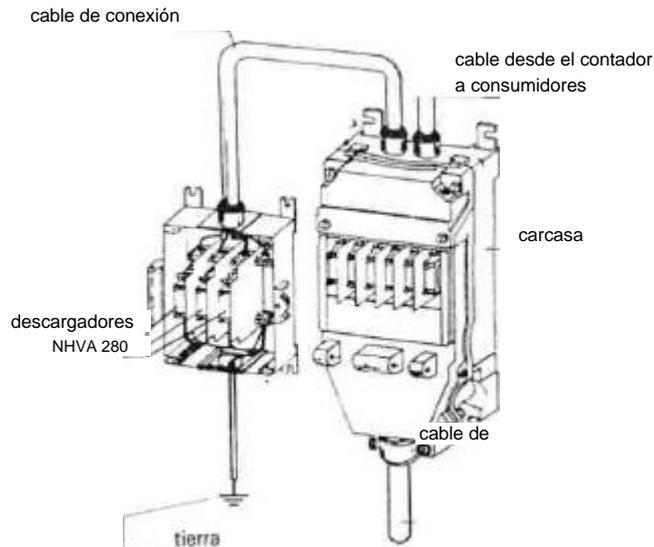


Fig. 6.30. Inclusión del cable de acometida a la casa, en la compensación de potencial de protección contra rayos. Propuesta de la empresa de electricidad de Koblenz "Koblenzer Elektrizitätswerke und Verkehrs-Aktiengesellschaft", KEVAG. (Foto KEVAG).

La figura 6.31 reproduce un descargador tetrapolar, capaz de soportar corrientes de rayo DEHNVENTIL®, en una caja metálica precintada con mirilla transparente, tal y como se usan, por ejemplo, para la compensación de potencial de protección contra rayos.

Los hilos de los conductores de redes de información se conectan en la entrada al edificio a la barra de compensación de potencial, por medio de BLITZDUC-TORES (Figura 6.32) o por medio de tarjetas BEE (Figura 6.33). En la figura 6.34 se representa una posibilidad para incluir cables de telecomunicaciones y equipos de telecomunicaciones, propiedad de Correos, en la compensación de potencial. En la figura 6.35 puede verse la instalación de un CS-Protector (autorizado por el Departamento Federal de Correos) por detrás de un Modem.

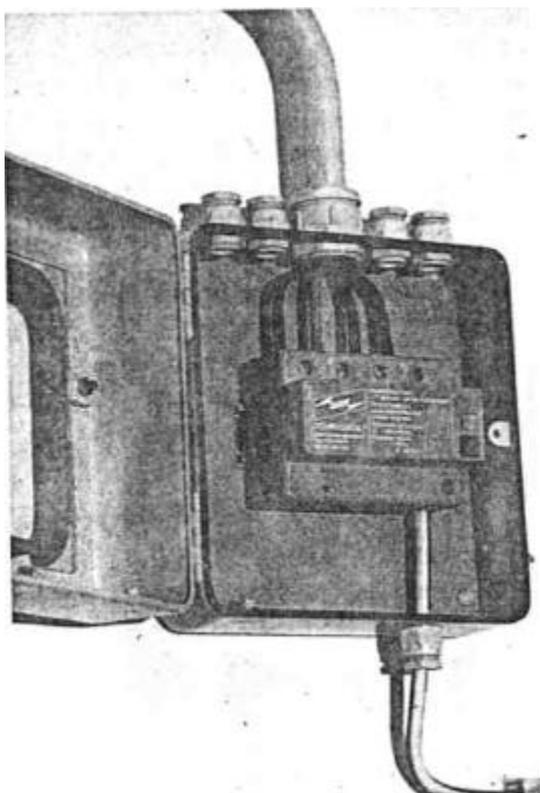


Fig. 6.31. DEHNVENTIL ' en caja metálica.



Fig. 6.32. a) Blitzductores,
tipo KT.

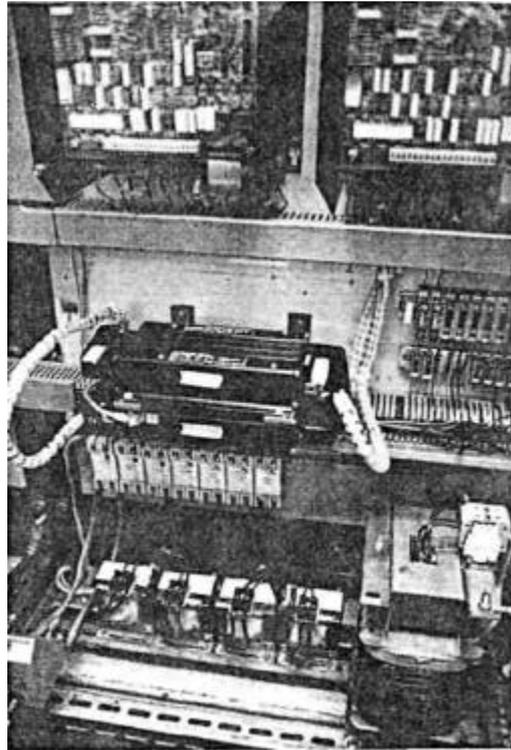


Fig. 6.33. b) Una tarjeta BEE (en caja metálica).

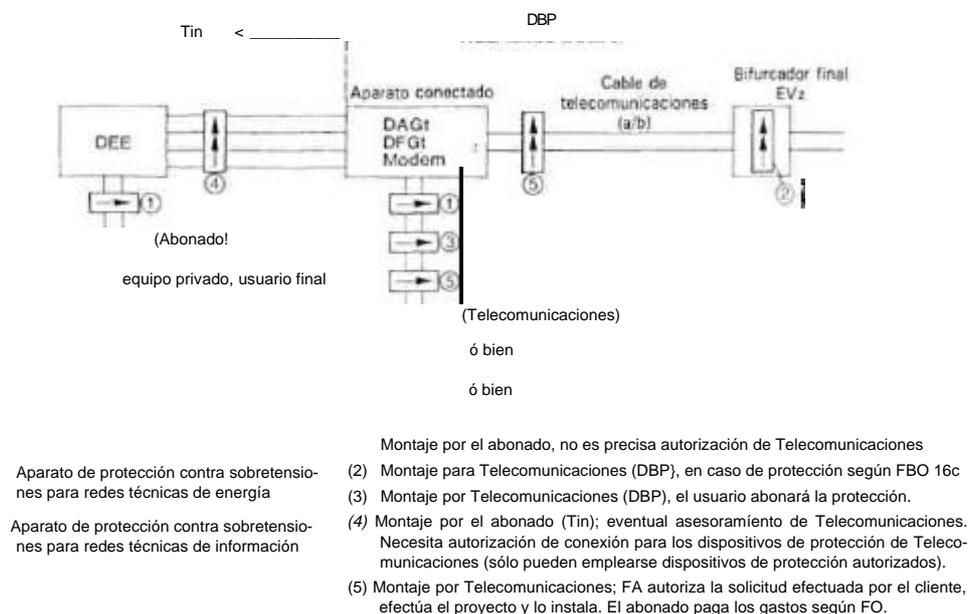


Fig. 6.34. Forma de incluir conductores de telecomunicaciones, propiedad de Telecomunicación en la compensación de potencial, mediante la instalación de aparatos de protección contra sobretensiones.

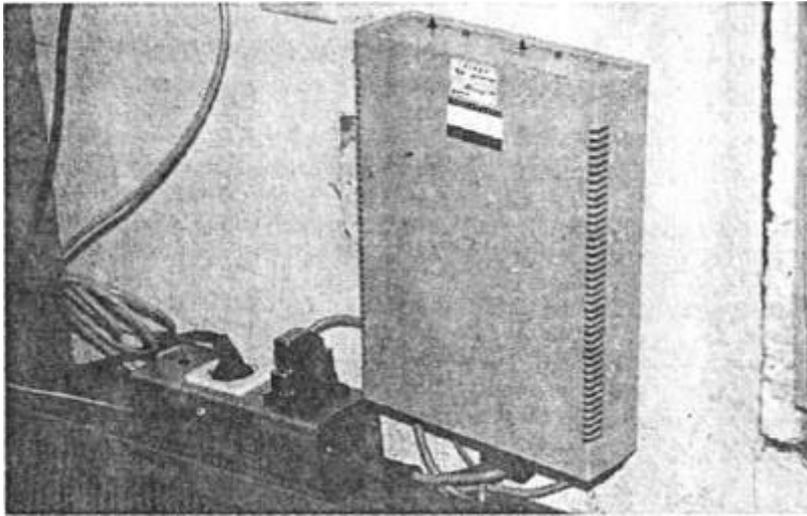


Fig. 6.35. Instalación de un FS-Protector, por detrás de un modem, propiedad del Servicio de Correos.

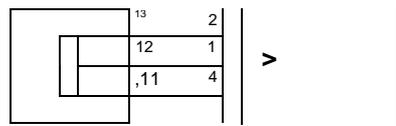
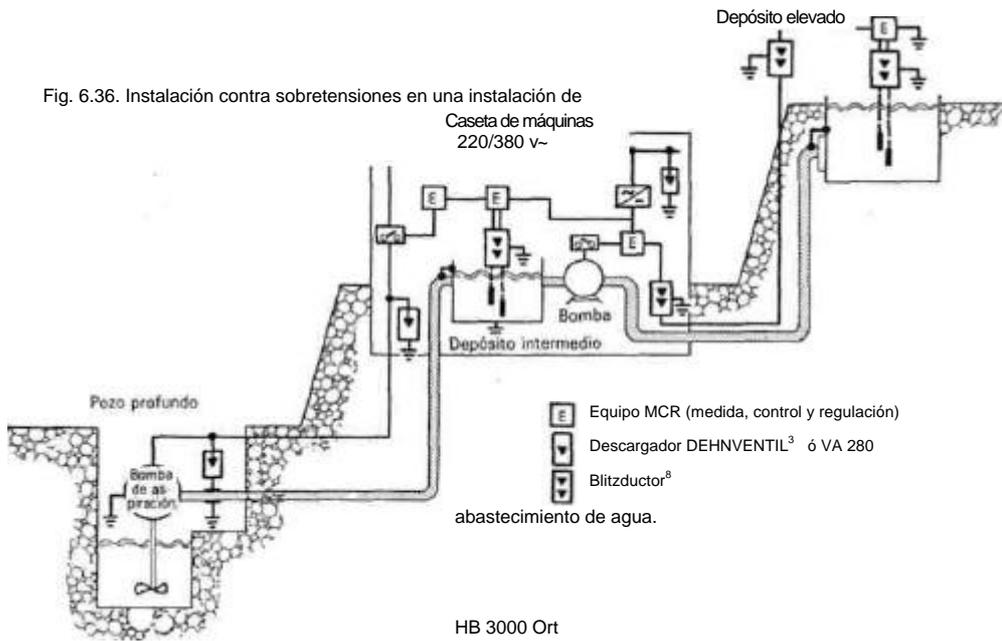
6.4. EMPLEO DE APARATOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

En los apartados siguientes se va a exponer el empleo de aparatos de protección contra sobretensiones en diferentes equipos, presuponiendo siempre que todas las instalaciones que se estudian disponen de su correspondiente protección contra rayos (exterior e interior), por lo que en las consideraciones siguientes se va a tratar, en esencia, de la protección de los aparatos electrónicos.

6.4.1. Red de abastecimiento de agua

En la figura 6.36 se ha representado el esquema de principio de una instalación de abastecimiento de agua con pozos de profundidad, caseta de máquinas y depósito elevado. En esta figura se han incluido todos los aparatos de protección necesarios para protección de las instalaciones y equipos técnicos de energía y de información contra sobretensiones.

En la figura 6.37 se muestra la forma de utilización de este tipo de aparatos protectores en el centro de mediciones de la empresa de abastecimiento de agua potable en una ciudad.



NHVA 280

L PEN
220V

Fig. 6.37. Protección contra sobretensiones de los dispositivos de medida en los depósitos elevados de agua, de una empresa de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Neumarkt/Opf. Protección del convertidor de medida GTÜ. (Salida de 5 mA y red).

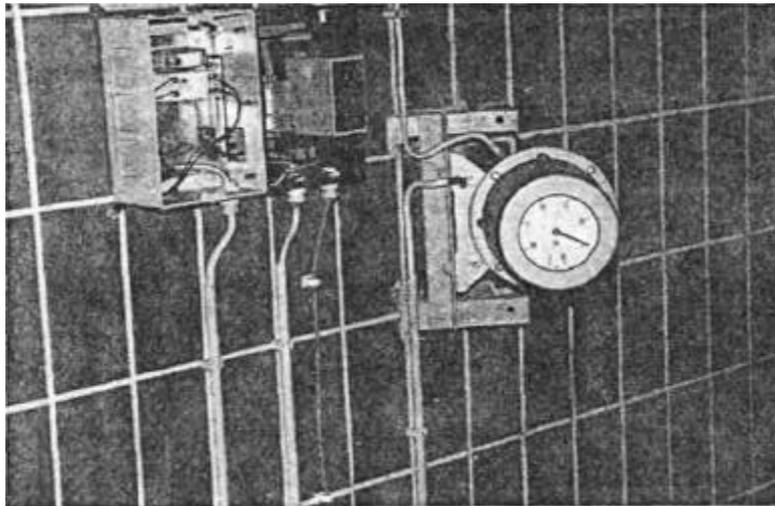


Fig. 6.38. Protección contra sobretensiones en los dispositivos de medida de los depósitos elevados de agua de la empresa de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Neu-mark/Opf. Protección del convertidor de medida GTÚ. (Salida 5 mA y red).

HB

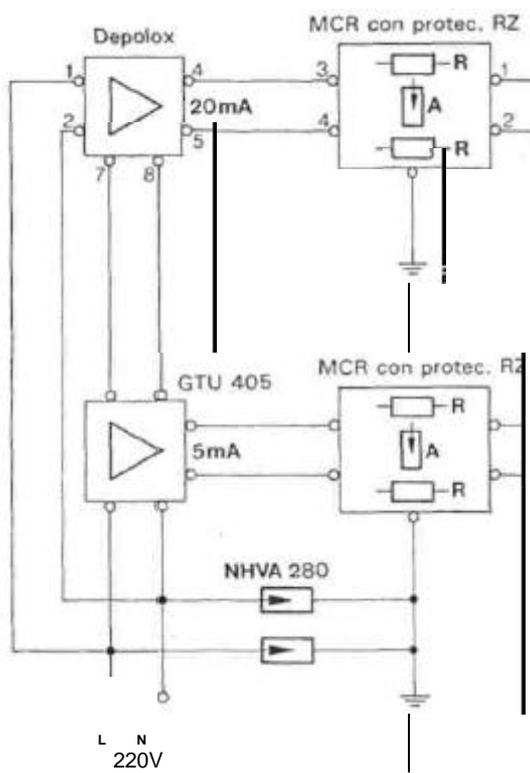


Fig. 6.39. Protección contra sobretensiones de los convertidores de medida Depolox son salida de 20 mA y GTU con salida de 5 mA.

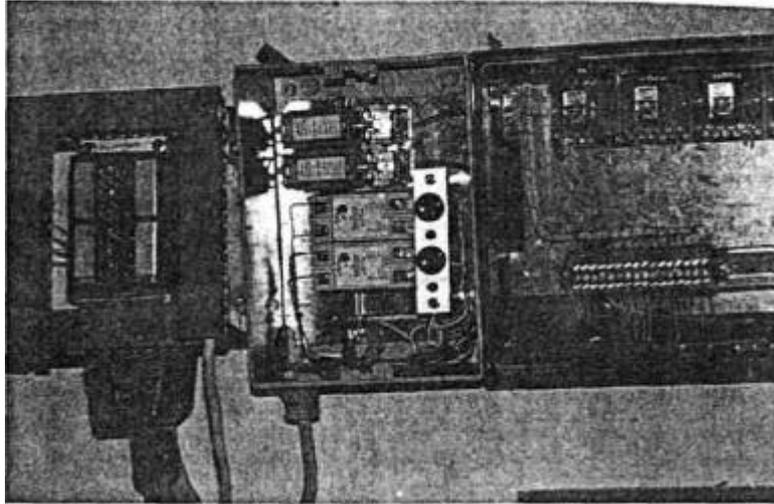


Fig. 6.40. Protección contra sobretensiones de los convertidores de medida Depolox. (Salida 20 mA y salida 5mA).

6.4.2. Estación depuradora de aguas

Los elementos eléctricos de una estación depuradora de aguas (figura 6.41), cuando se produce una tormenta, no sólo están expuestos a causa de las descar-

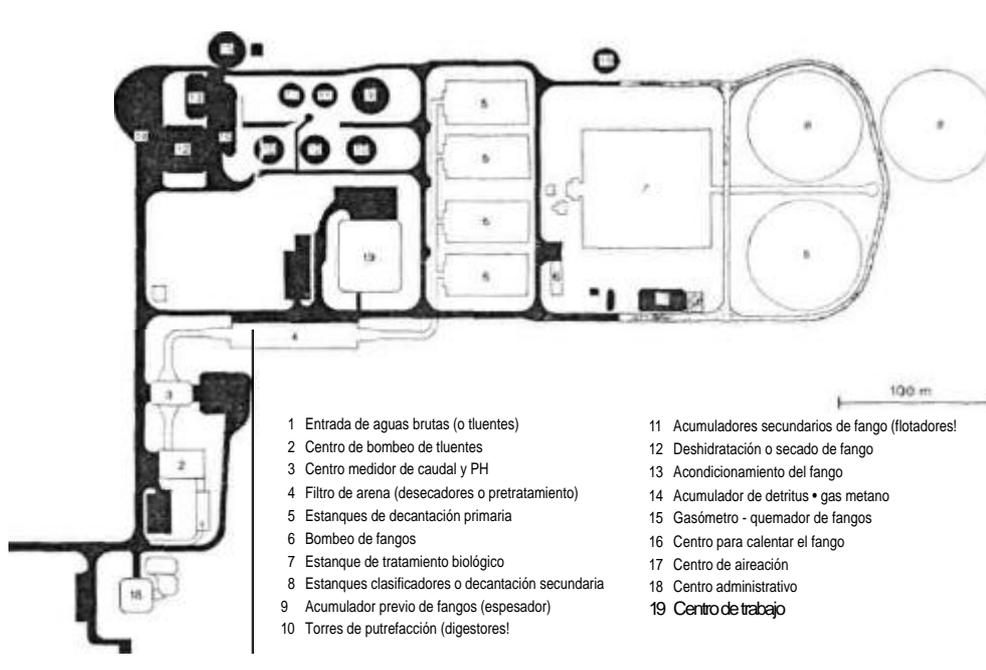


Fig. 6.41. Planta purificadora de aguas residuales.

gas directas de rayo, sino que también lo están a las consecuencias de las descargas próximas y lejanas, debido a que los elementos y equipos de medida, regulación y control, que se extienden por grandes espacios de superficie, se encuentran interconectados por medio de conductores de gran longitud, en los que se forman bucles de inducción, correspondientemente grandes.

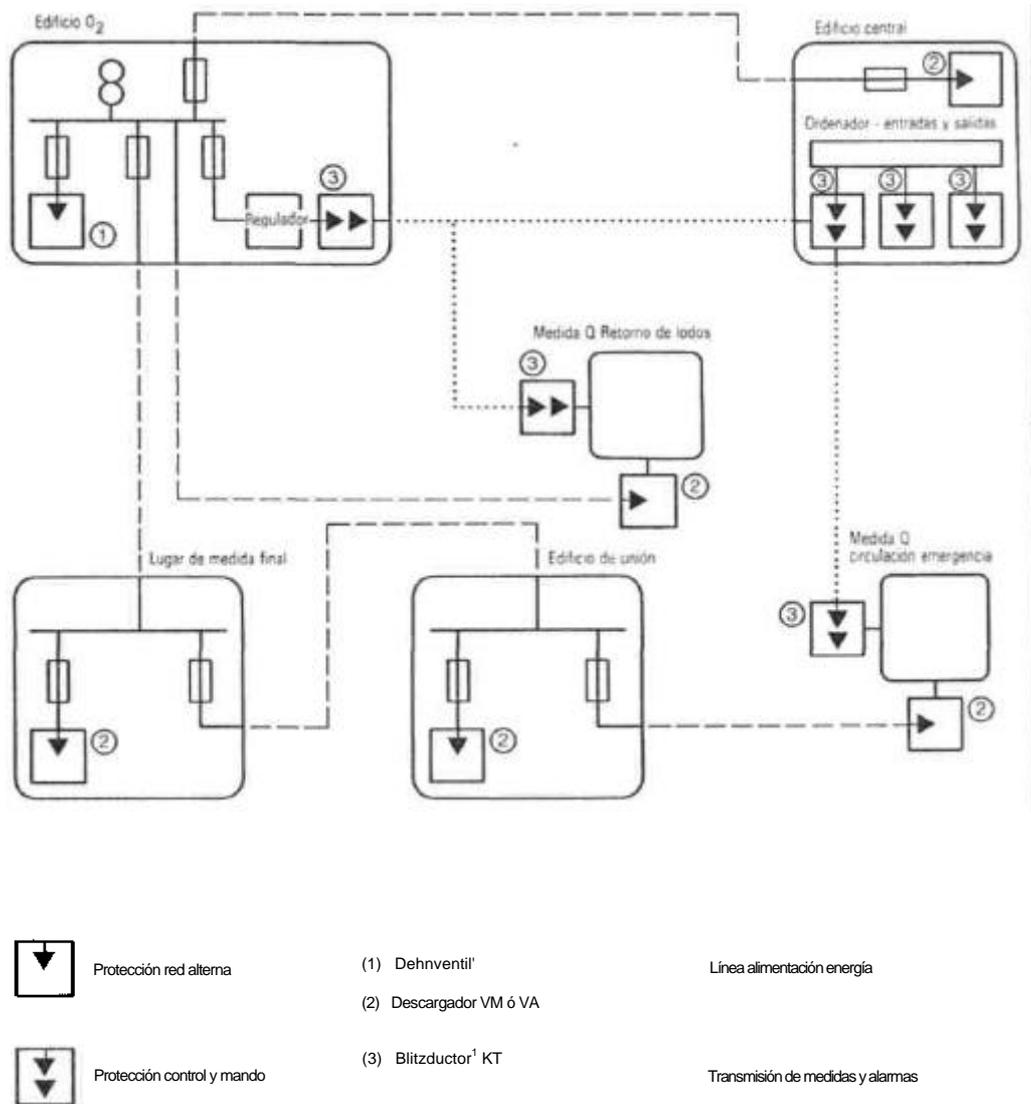


Fig. 6.42. Aparatos de protección contra sobretensiones utilizados en la estación depuradora de aguas residuales.

6.4.3. Estación compresora de gas

En la figura 6.43 se ha representado la estructura de principio de una instalación de la industria del gas, compuesta por un centro de control y varias subestaciones exteriores. Tanto las estaciones exteriores, pero sobre todo el centro de control, están equipados con un sinnúmero de aparatos electrónicos sumamente sensibles, para medición, regulación y control, y que han sido dimensionados para 12, 15 ó 24 V, con intensidades de trabajo de tan solo algunos pocos mA.

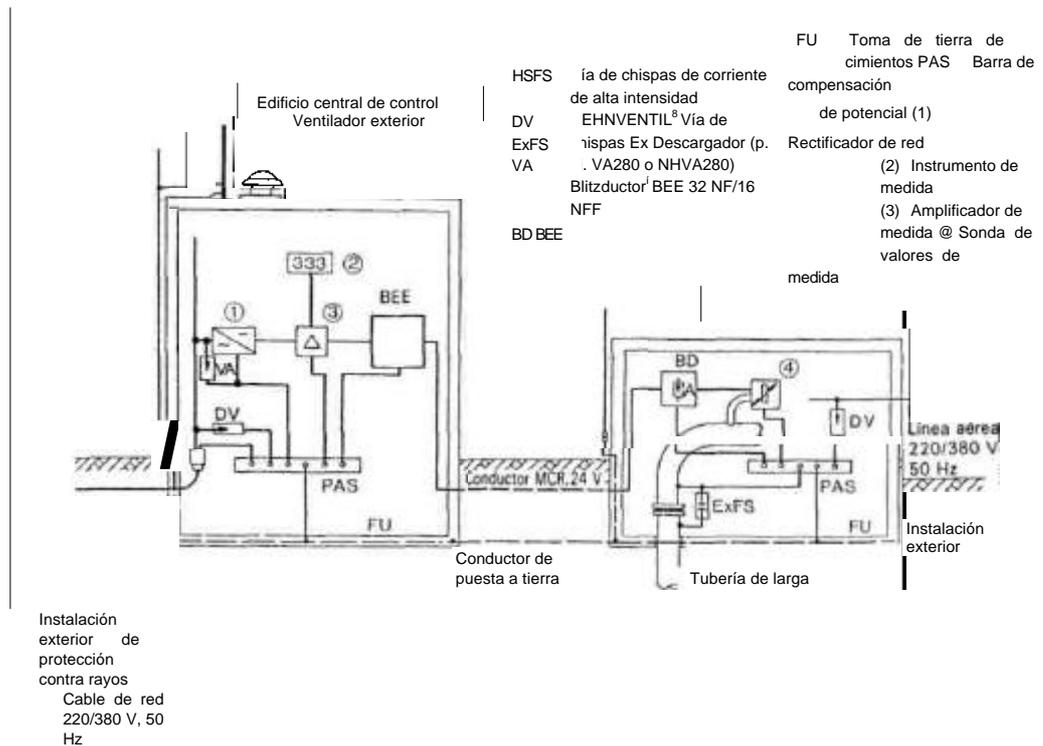


Fig. 6.43. Protección contra sobretensiones en una amplia instalación eléctrica, equipada con aparatos electrónicos.

En la figura 6.43 (p. ej. en una estación de comprensión de gas) se muestra la introducción, en la instalación exterior de protección, de una tubería a gran distancia, protegida catódicamente a través de una brida de aislamiento. En el interior de la estación se conecta esta tubería a la barra de compensación de potencial para protección contra rayos. La brida de aislamiento se puentea por medio de una vía de chispas de separación, en ejecución protegida contra explosiones. (Figura 6.44).

El suministro de energía a la estación exterior se lleva a cabo a través de una línea aérea; en la entrada al edificio se monta un DEHNVENTIL®. (Figura 6.45). El suministro de energía al edificio de control tiene lugar a través de un cable subterráneo; tras el DEHNVENTIL, dispuesto en la entrada del edificio, se han instalado otros descargadores de baja tensión en esta extensa instalación de baja tensión. (Figura 6.46).



Fig. 6.44. Protección contra sobretensiones para bridas de aislamiento, por medio de una vía de chispas de separación, protegida contra explosiones.

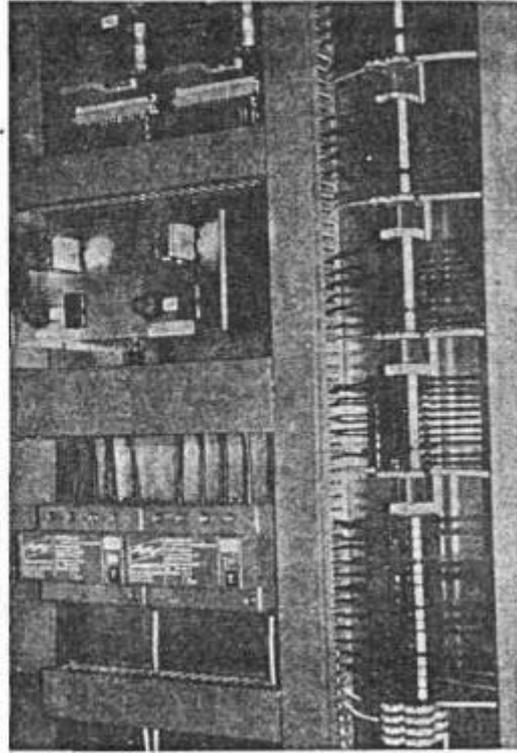


Fig. 6.45. 2 DEHVENTIL protegen la instalación de B.T., incluso para el caso eventual de descargas directas de rayo.

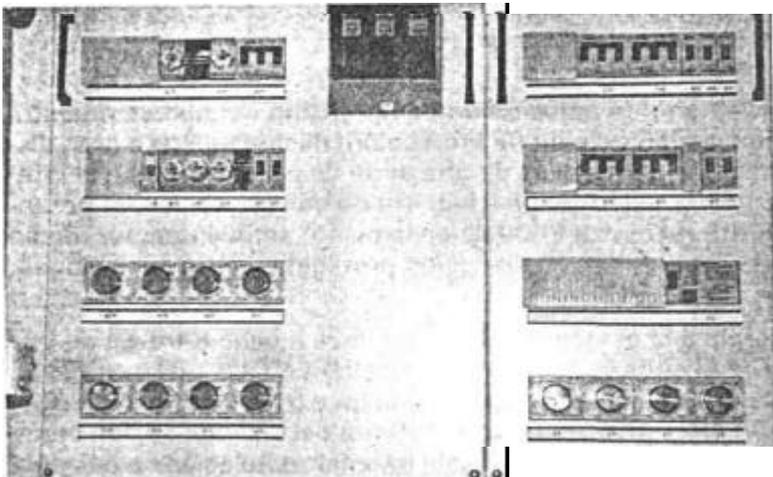


Fig. 6.46. Descargadores de baja tensión en las subdistribuciones del edificio de control, a) Descargador VA 280.

Cuando se trate de instalaciones exteriores de menores dimensiones, los cables técnicos de información con pocos hilos deben equiparse con aparatos de protección contra sobretensiones, utilizándose para estos casos, generalmente, BLITZDUCTORES (Figura 6.51). En el edificio de control suelen presentarse tales cantidades de cables de regulación, medida y control, que aquí resulta más económico y rentable el empleo de tarjetas de protección contra sobretensiones BEE (Figura 6.50).

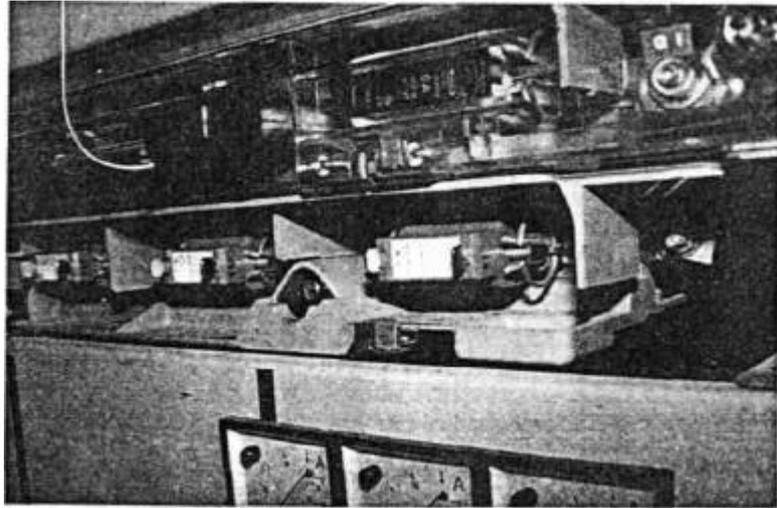


Fig. 6.47.
b) Descargador
NHVA 280.

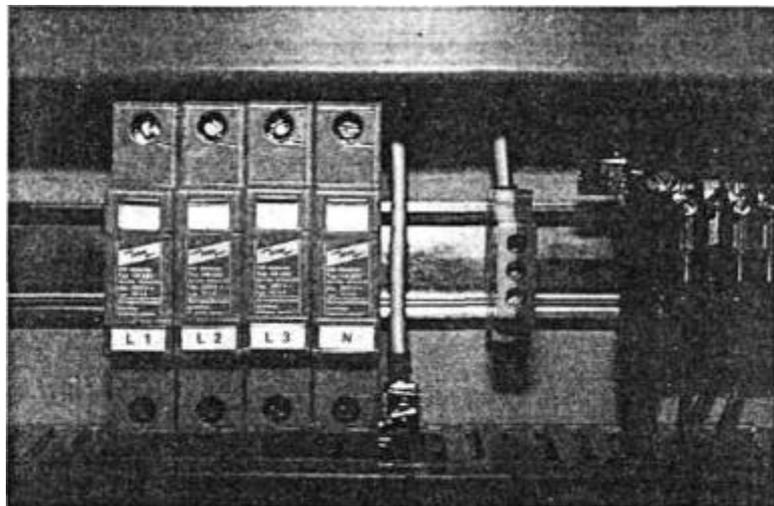


Fig. 6.48.
c) Descargador
VM 280.

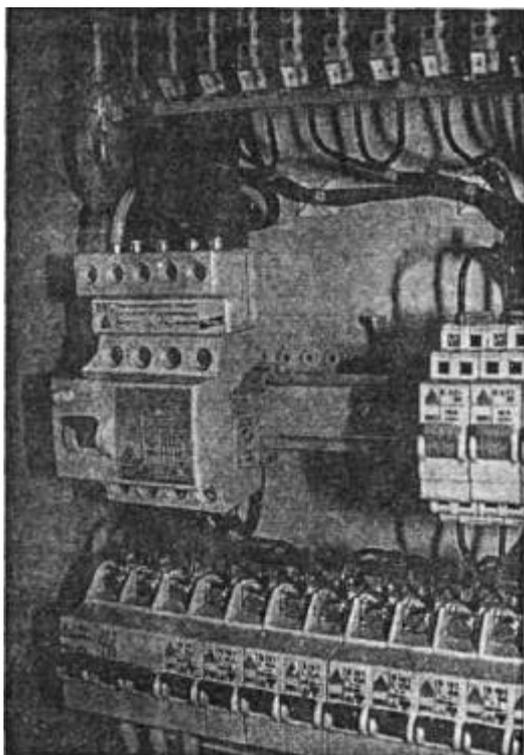


Fig. 6.49. Interruptor diferencial con adaptador de protección contra sobretensiones.

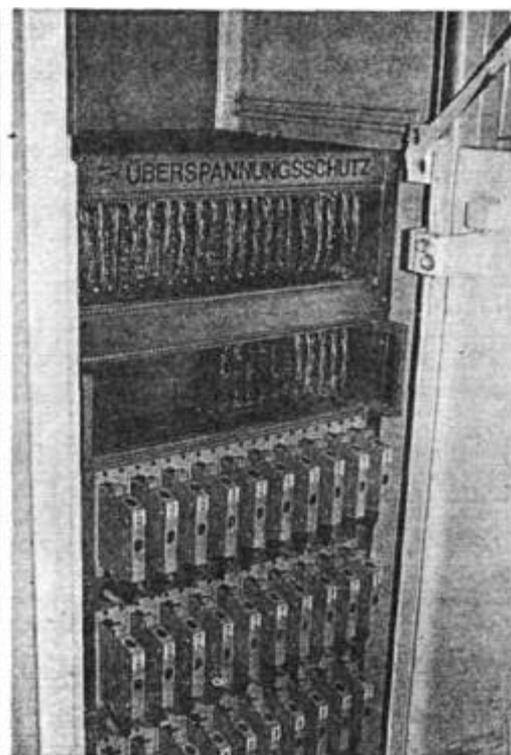


Fig. 6.50. Empleo de tarjetas de protección BEE, en el edificio de control.

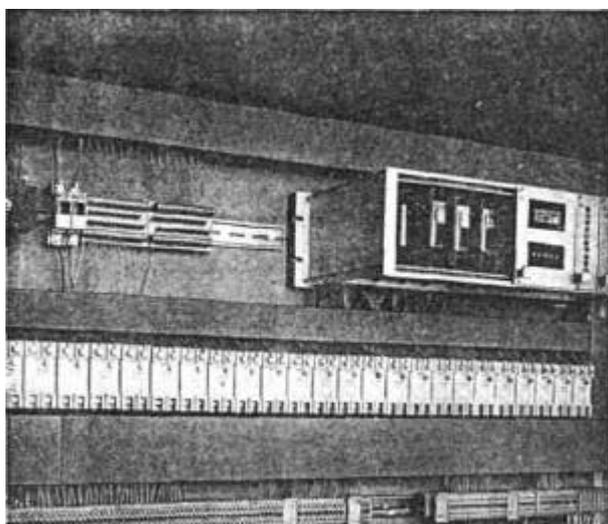


Fig. 6.51. Blitzductores protegen los dispositivos MCR (medición, regulación y control) de la instalación exterior.

La realización de estos principios fundamentales de protección, se demuestra sobre la base de fotografías de la "MEGAL" (Sociedad Centro-Europea de Transporte de Gas Natural), obtenidas de la estación de compresión de gas de Waid-haus (figura 6.52). Sin embargo, para una mejor comprensión de todo ello, vamos a exponer-primeramente algunas condiciones previas de la instalación.

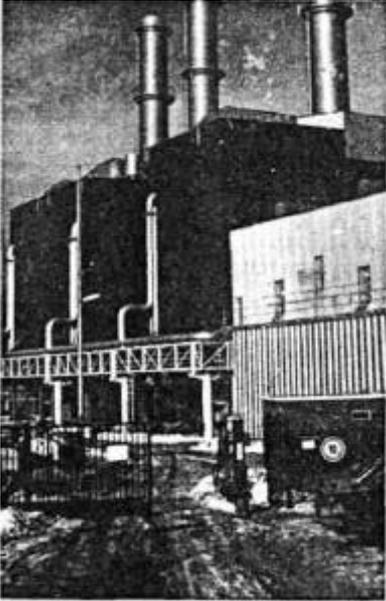


Fig. 6.52. Estación compresora s de ga en Waidhaus.

A través de una tubería a larga distancia de gas, de una longitud de 5.000 km, se transporta el gas natural, procedente de Rusia (URSS), a través de Checoslovaquia, hasta Alemania y Francia. En Alemania existen 3 estaciones de compresión de gas, a las que llega el gas en una presión de servicio de 50 bar, para su posterior transporte y distribución.

En cada una de las tres estaciones de compresión de gas, existen tres máquinas compresoras de gas, una de las cuales, en cada caso, es de reserva. Cada una de las máquinas tiene una potencia de 1 5.000 PS. En la instalación MEGAL, de Waidhaus, pueden comprimirse hasta 1,5 millones de m³ de gas por hora. En este tipo de estaciones es de importancia capital la continua disponibilidad y el continuo funcionamiento de toda la instalación. El tiempo de reparación, en caso de una avería en la estación, suele ser de acuerdo con la experiencia, aproximadamente de una hora, incluso el tiempo de búsqueda y localización de la avería. Una vez subsanada, hace falta que transcurran otras dos horas hasta que la estación esté en disposición de volver a comprimir el gas hasta la presión de 80 bar. Los costos para una hora de fallo de la estación, se elevan a la ingente cantidad de 1 millón de marcos alemanes !!!!

En consecuencia, es esencial tratar de reducir al mínimo, con medidas preventivas económicamente rentables, las posibles averías y trastornos de funcionamiento de la instalación. De acuerdo con las directrices /80/ de la "Pipeline Engineering" todos los conductores de corriente de alta intensidad, y todos los conductores MCR, que se extienden fuera de los edificios, y todos los dispositivos MCR en la estación Megal de Waidhaus han sido equipados con protectores contra sobretensiones. Como puede verse en la figura 6.53, en la central de control se han utilizado tarjetas de protección BEE, mientras que en las instalaciones del campo se han empleado BLITZDUCTORES.

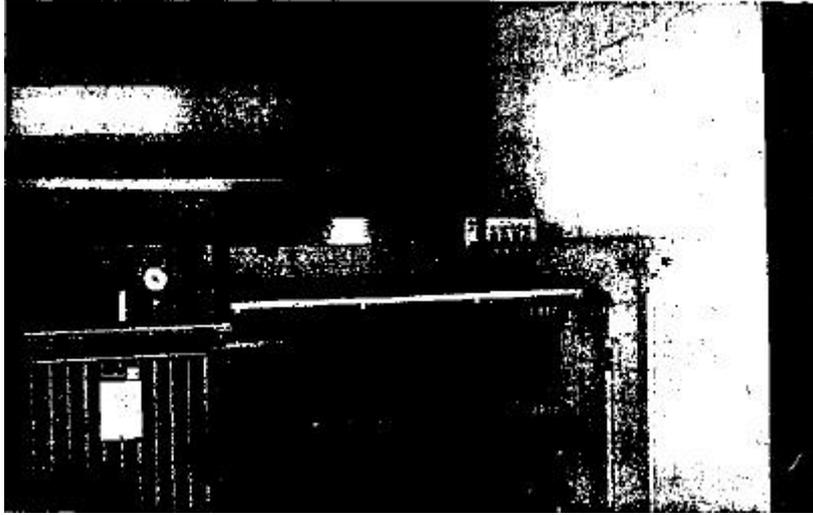


Fig. 6.53. Aparatos de protección contra sobretensiones instalados en la estación de compresión de Megal, en Waidhaus. a) Descargadores VA 280 en la central de transformadores.

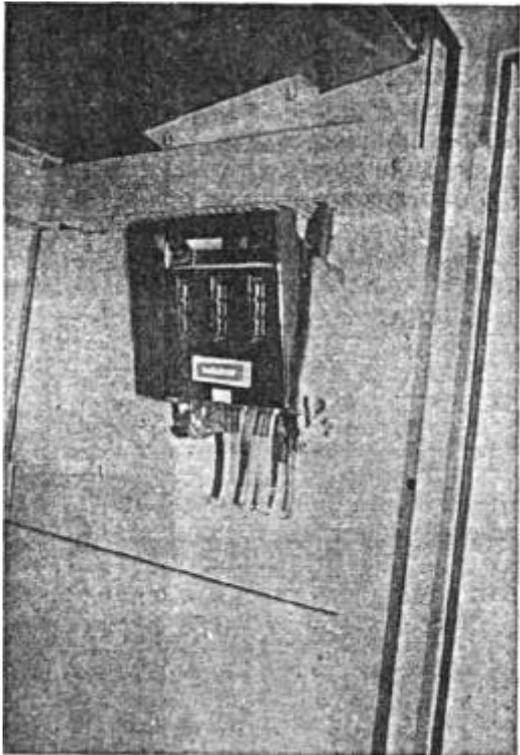


Fig. 6.54. b) Descargador NHVA 280 en el centro de distribución de cargas.

Fig. 6.55. c) Descargadores NHVA 280 en la entrada de suministro de corriente de alta intensidad al armario de mando "Secado del gas".

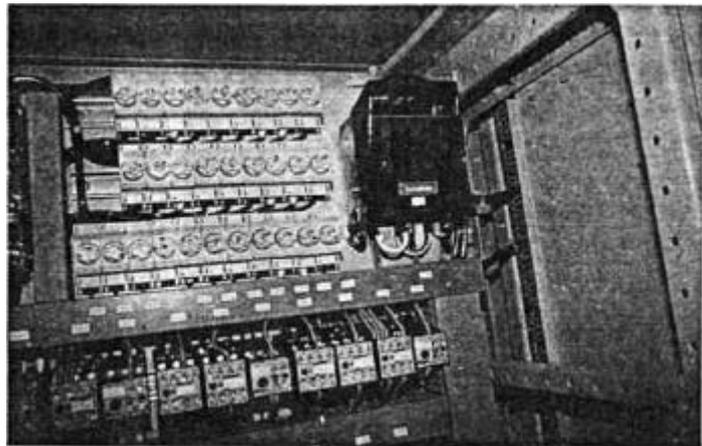


Fig. 6.56. d) Descargador VA 280 en la entrada de corriente de alta intensidad al armario de mando "Secado de gas".

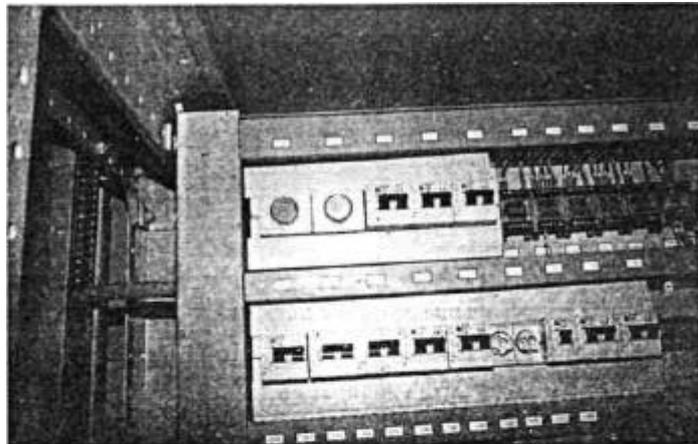
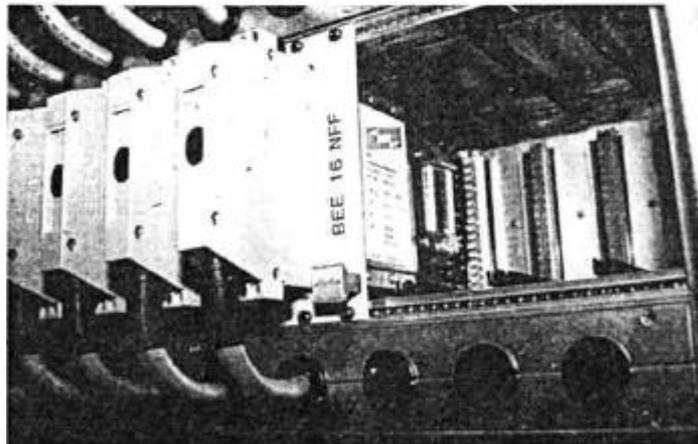


Fig. 6.57. f) Limitador de sobretensiones BEE 16 NFF en el armario de mando de la central de mando y control.



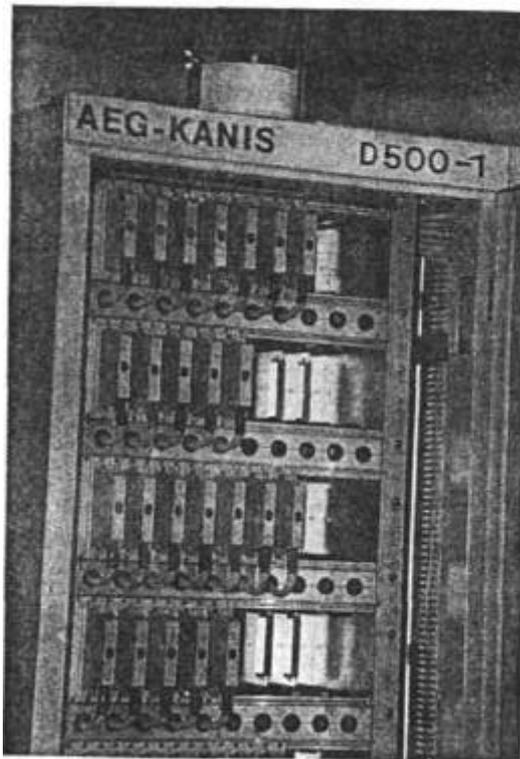


Fig. 6.58. e) Limitador de sobretensiones BEE 16 NF en el armario de mando de la central de mando y control.

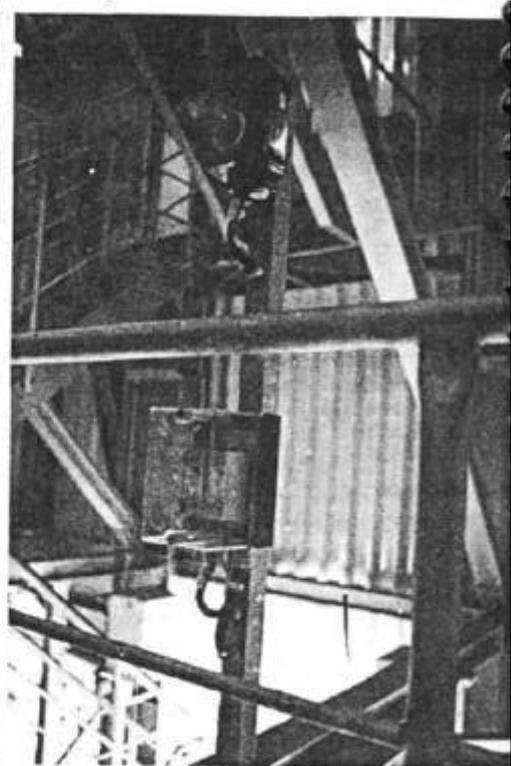


Fig. 6.59. g) Blitzductor en el interruptor de mando de la nave "Técnica de procesos".

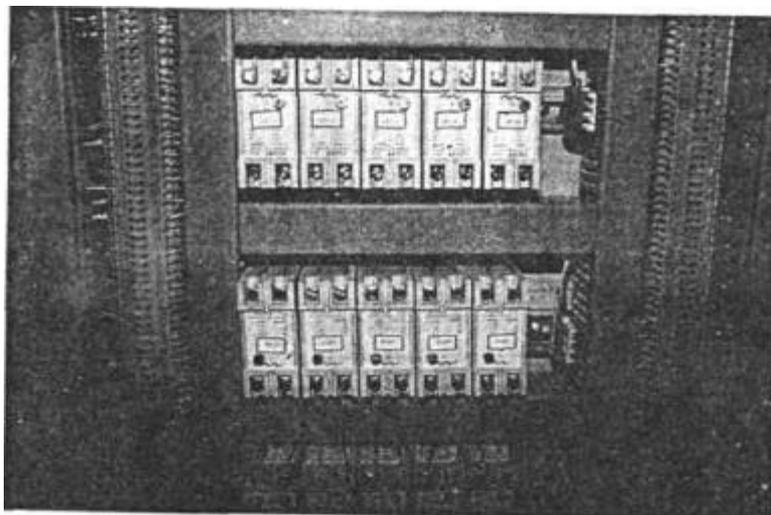


Fig. 6.60. h) Blitzductores en el armario de mando "Secado de gas".



Fig. 6.61. i) Blitzductores en el mismo armario de mando "Filtro 3".

6.4.4. Fábricas

En el mayor centro de fabricación de camiones controlado por ordenador de Europa, situado en el Sur de Alemania, se venían produciendo, de manera continuada, daños derivados de sobretensiones ocasionadas por las tormentas. Con frecuencia se producían paradas de las cadenas, con los consiguientes fallos de la producción, y ésto no sólo en caso de descargas de rayo, sino también como consecuencia de descargas lejanas. Las naves de fabricación se encuentran situadas en un terreno fabril, que tiene una longitud de 1,5 km y una anchura de 1 km. En esta fábrica trabajan 10.000 empleados, que en turnos no alterados por fallos producen 400 camiones en cada turno. Los ordenadores del centro de material están conectados con los ordenadores de control de la producción a través de una transmisión de datos por corriente continua (GDÜ). Esta transmisión es un sistema digital, simétrico, que trabaja con 350 mV. Después de que repetidas veces, se hubieran producido daños graves como consecuencia de sobretensiones por rayos, en la primavera de 1982 se equiparon 15 tramos del sistema GDÜ, en sus dos extremos con BLITZDUCTORES. En el verano de 1982, y durante las numerosas tormentas que se produjeron en aquella fecha, los 15 tramos protegidos y los aparatos a ellos conectados funcionaron perfectamente, mientras que en las zonas de la instalación que no se habían protegido aún, hubo nuevamente graves averías a causa de las sobretensiones ocasionadas por las tormentas.

Por todo ello, en la primavera de 1984 se procedió a equipar la totalidad de la citada instalación GDÜ con aparatos de protección contra sobretensiones — desde aquel momento, incluso durante las tormentas más intensas, el sistema funciona a la perfección.

En dicha instalación se han instalada los siguientes aparatos de protección:

- Descargadores VA 280 en la red de suministro de corriente de alta intensidad.
- Tarjetas BEE para proteger los ordenadores en la central de mando.

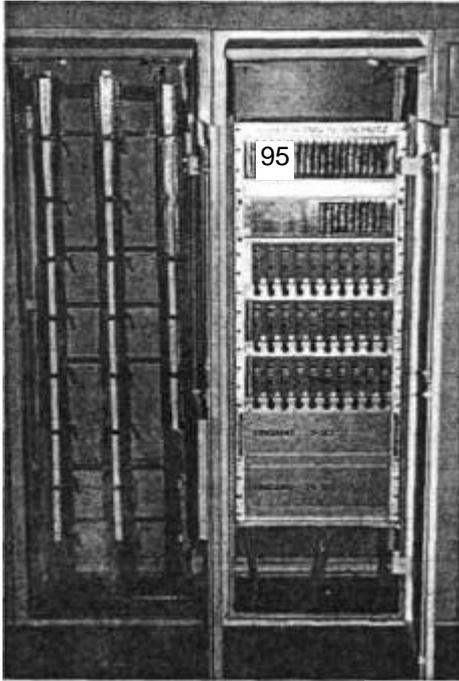


Fig. 6.62. Armario de mando protegido contra sobretensiones, mediante tarjetas BEE 16 NF (1 2 V-), en el que todos los cables del sistema GDÜ entrantes y salientes están protegidos, a) Armario de protección, al lado de un distribuidor de señales.



Fig. 6.63. b) Salidas protegidas de los conductores (hacia la central).

Fig. 6.64. Entrada de señales protegida con Blitzductores (tipo LZ, 12 V-) en un terminal de la Oficina de Encargados de una nave de montaje.

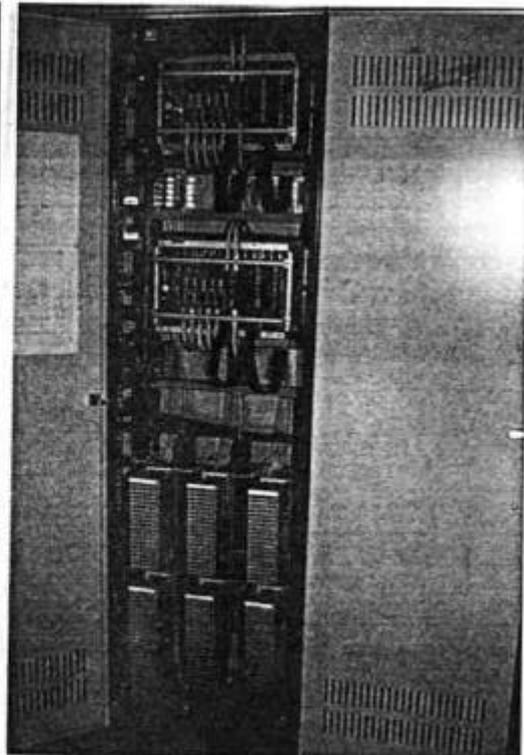
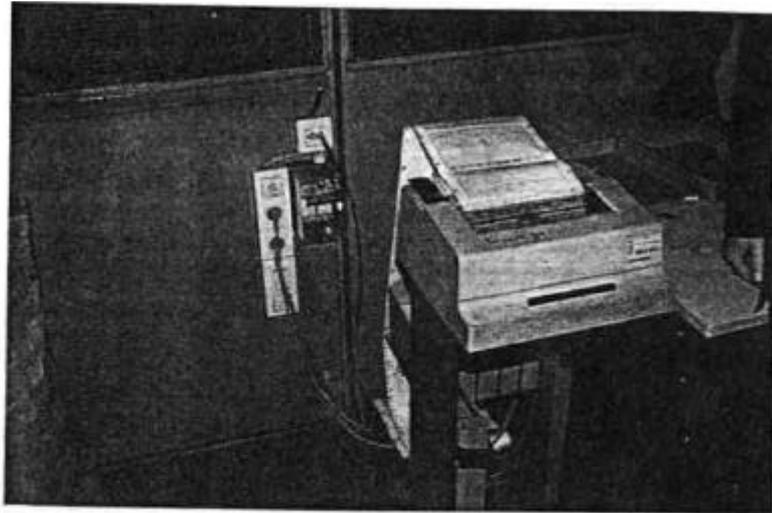


Fig. 6.65. Entrada de señales protegida con Blitzductores (tipo LZ, 12 V-) en un terminal de la Oficina de Encargados en una nave de montaje.

Fig. 6.66. Instalación de aviso de incendios.

Las averías por sobretensiones durante las tormentas se presentaron también en la instalación de aviso de incendios (Figura 6.66) de la fábrica de camiones arriba citada. Por lo tanto, algunos conductores de bucle, particularmente expuestos al riesgo, se protegieron con BLITZDUCTORES. (Figura 6.67).

Para este tipo de instalaciones de aviso de incendios, se dispone asimismo de armarios de protección (Figura 6.68).

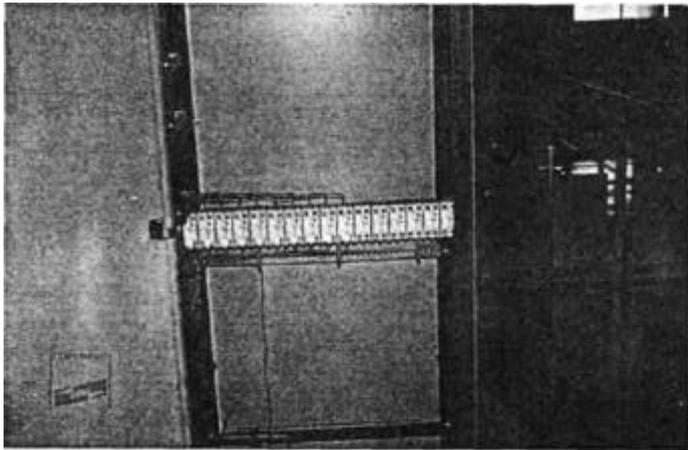


Fig. 6.67. Conductores de bucles, protegidos con Blitzductores, instalados en el armario de protección, al lado del equipo de aviso de incendios (10 conductores equipados con dispositivos de protección, 6 Blitzductores de reserva).

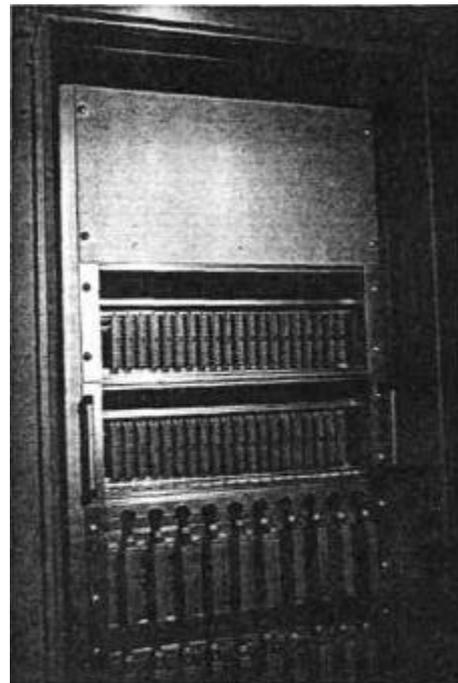


Fig. 6.68. Armario completo de protección para central de aviso de incendios, equipado con 40 tarjetas BEE para conexión de 320 conductores de bucle.

En la figura 6.69 se muestra la forma de proteger instalaciones más reducidas de control, medida y regulación, centrales de aviso de incendio, equipos e instalaciones de alarma y de altavoces (ELA), mediante el empleo de BLITZDUCTORES.

Las conexiones de los cables de datos a larga distancia, de máquinas controladas por CNC (Figura 6.70), se protegen igualmente con ayuda de BLITZDUCTORES o de tarjetas BEE (Figura 6.71).

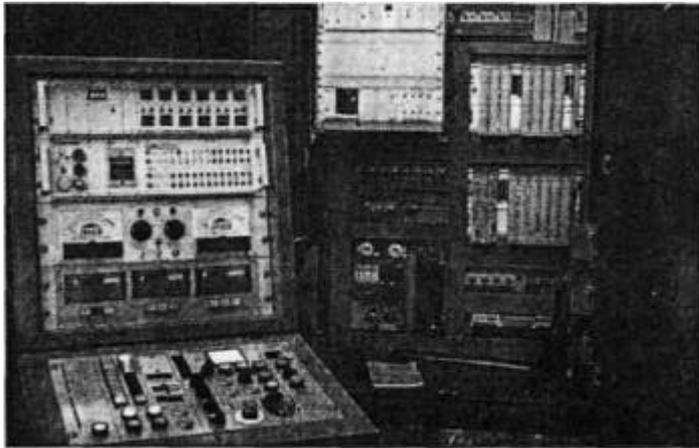


Fig. 6.70. Control CNC de una máquina de fabricación, protegida en el lado de la red con descargadores.

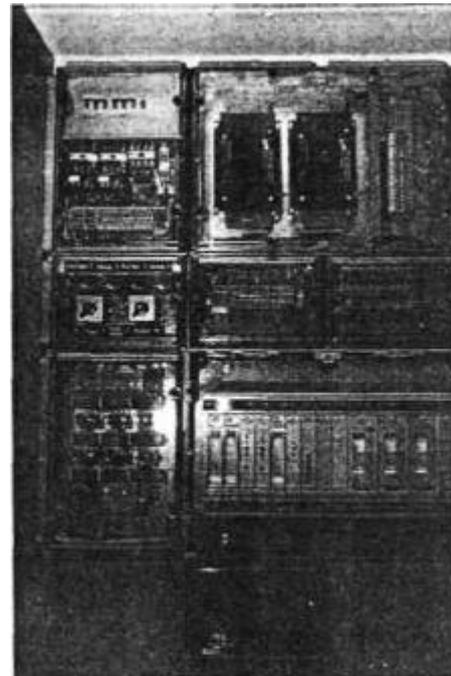
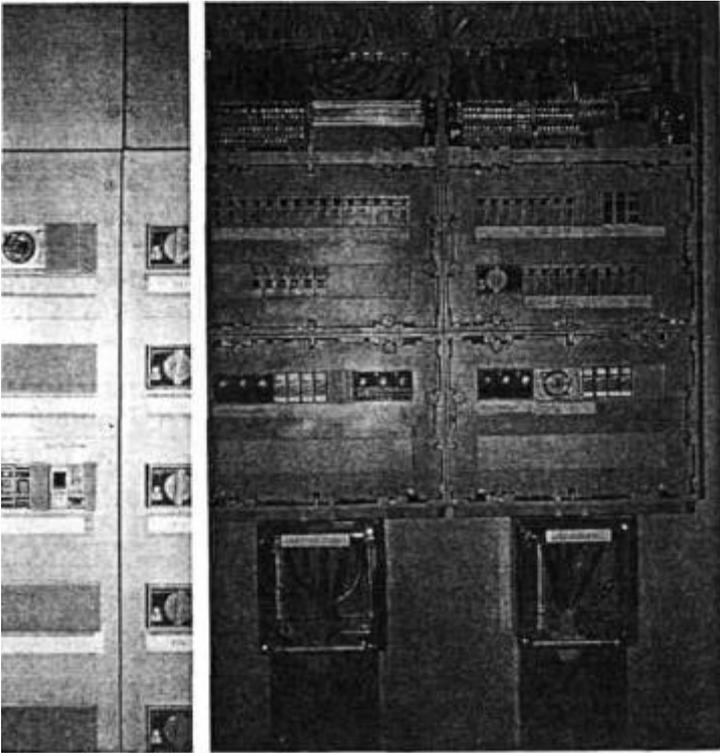
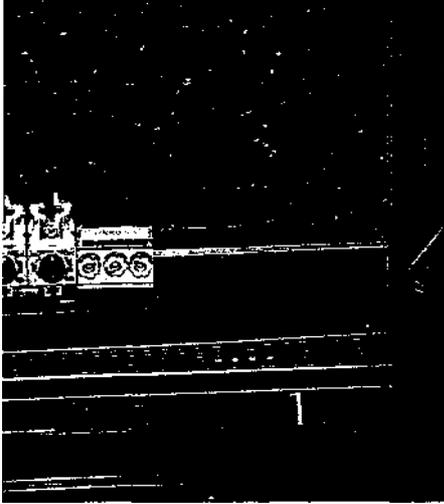


Fig. 6.71. Protección de cables de datos para controles CNC de máquinas de fabricación, mediante tarjetas BEE (dispuestas en carcasa metálica, a la derecha de la fotografía).

6.4.5. Centrales de Empresas públicas Municipales

Fig. 6.72. Protección contra sobretensiones de la instalación eléctrica y de los aparatos electrónicos en la central de las Empresas Municipales de la ciudad de Neuwied. a) VA 1 80 en la distribución principal.



ib-distribuciones.

Fig. 6.74. c) VM 280 en las entradas de suministro de corriente (en B.T.) a la central de proceso de datos.

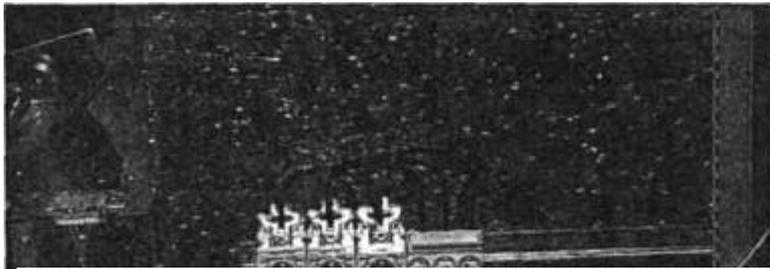


Fig. 6.72. Protección contra sobretensiones de la instalación eléctrica y de los aparatos electrónicos en la central de las Empresas Municipales de la ciudad de Neuwied. a) VA 180 en la distribución principal.

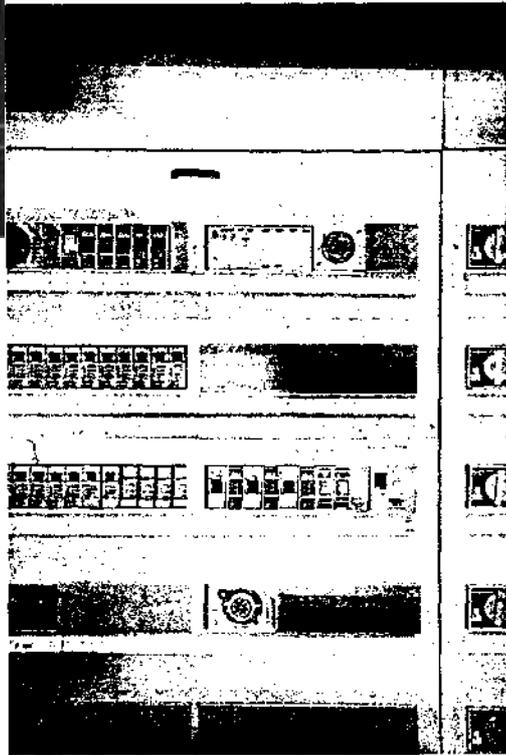


Fig. 6.73. b) VM 280 en las sub-distribuciones.

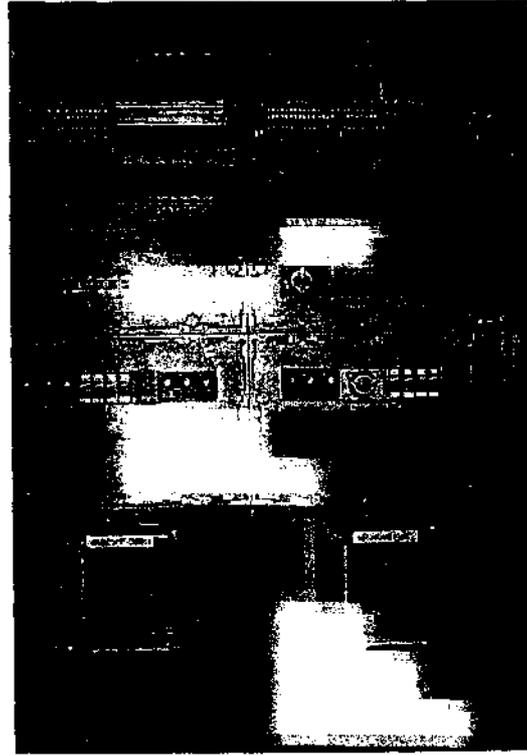


Fig. 6.74. c) VM 280 en las entradas de suministro de corriente (en B.T.) a la central de proceso de datos.

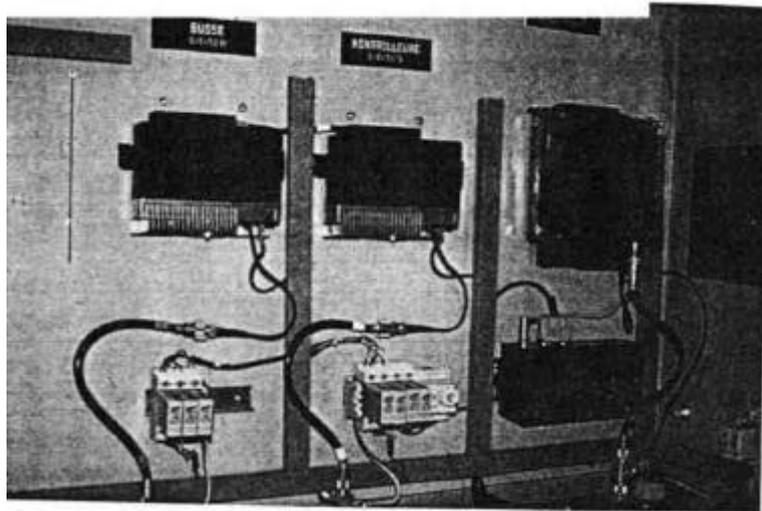


Fig. 6.75. d) Blitzductores del tipo KT protegen los accionamientos de los aparatos de radiotelefonía.

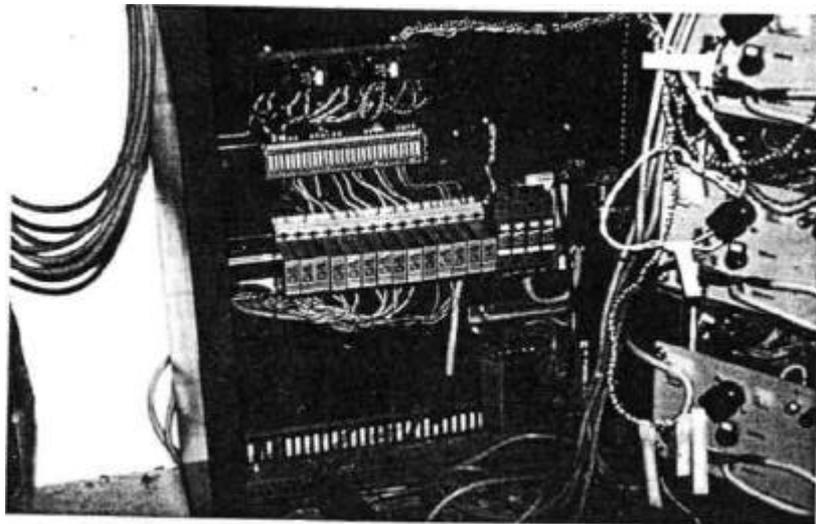


Fig. 6.76. e) Blitzductores tipo KT y VM 280 en la central de ELA.

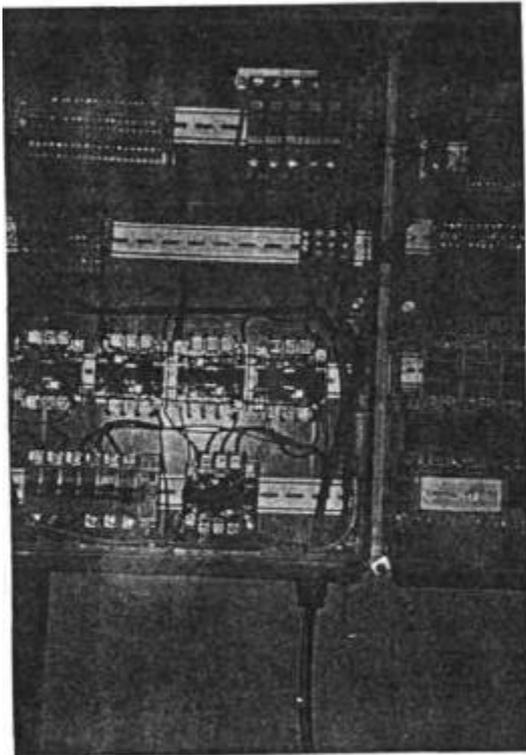


Fig. 6.77. f) VM 280 y Blitzductores en el control de los dispositivos de apertura de puertas y de interfonos de potería.

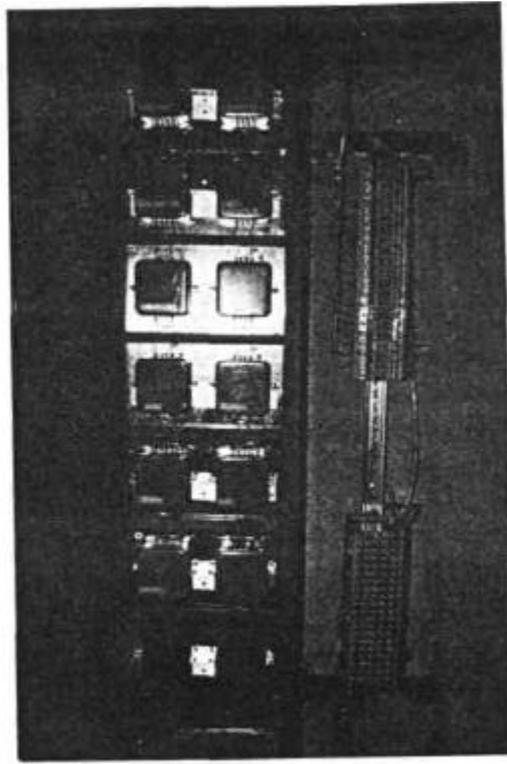


Fig. 6.78. i) Blitzductores tipo KT en la central de accionamientos a distancia, con cables de señales de NF (BF).

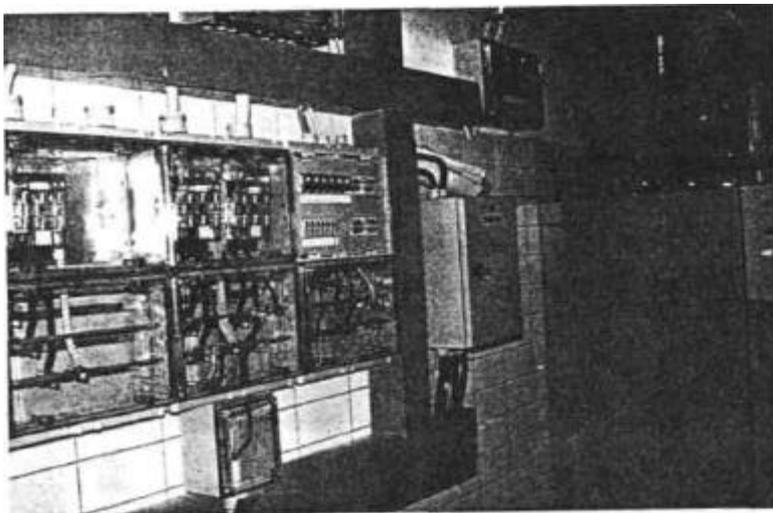


Fig. 6.79. g) VA 280 en la instalación de rectificación y ondulación.

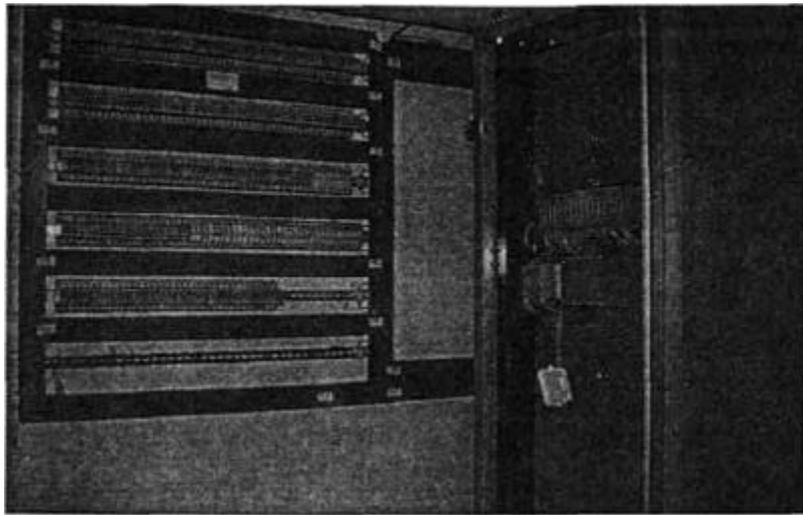


Fig. 6.80. h) Blitzductores tipo KT en la instalación de accionamiento a distancia, con cables de señales de 0 hasta 20 mA y 24 V/60 V binarios.

6.4.6. Instalaciones de ordenadores

Como ya se ha indicado en el capítulo 5.4.3.2., para poder efectuar correctamente la elección de los aparatos de protección contra sobretensiones, con destino a equipos e instalaciones de proceso de datos, se precisa disponer de descripciones exactas de los interfaces. A continuación, y a título de ejemplo, vamos a reseñar una serie de aparatos de protección de diferentes fabricantes, utilizados en diferentes tipos de ordenadores, y que a lo largo del tiempo y con la experiencia, se han acreditado como muy útiles. El caso más simple en la protección contra sobretensiones se presenta cuando se trata de un Ordenador Personal (PC), el cual se encuentra conectado únicamente a la red técnica de energía. En este caso, es suficiente con interconectar un HE-Protector, (Figura 6.81), o bien puede utilizarse, como alternativa, una caja de enchufes de red protegida contra sobretensiones (Figura 5.65).

En un sistema de transmisión de datos de IBM "Twinax", se encuentran conectados la unidad central y los terminales, tal y como se expone en la figura 6.82.

En la figura 6.83 se muestra una vista parcial de la sala de ordenadores de una fábrica, en la que se ha instalado una unidad central IBM 38. Tres cables Twinax, procedentes de otros tres edificios, están llevados a través del aparato de protección contra sobretensiones (Figura 6.84), y después se conectan a la unidad central. Todos los terminales correspondientes a esta instalación IBM, instalados en los diferentes edificios de la fábrica, se encuentran protegidos con CS-Protectores (Figura 6.86).

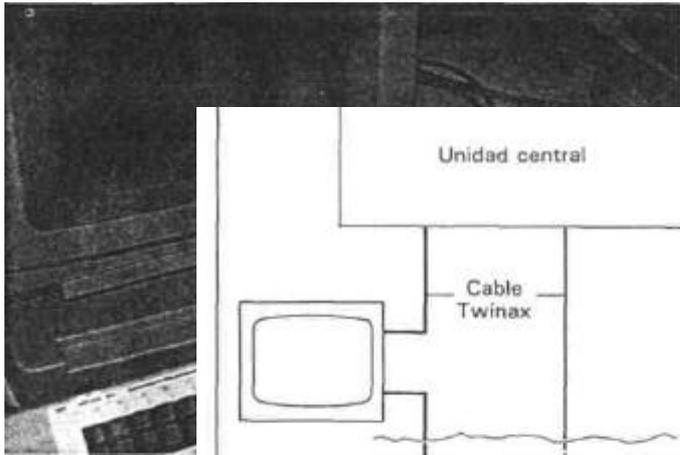


Fig. 6.81. Protección de un ordenador personal (PC) con ayuda de un HE- Protector (para la red).

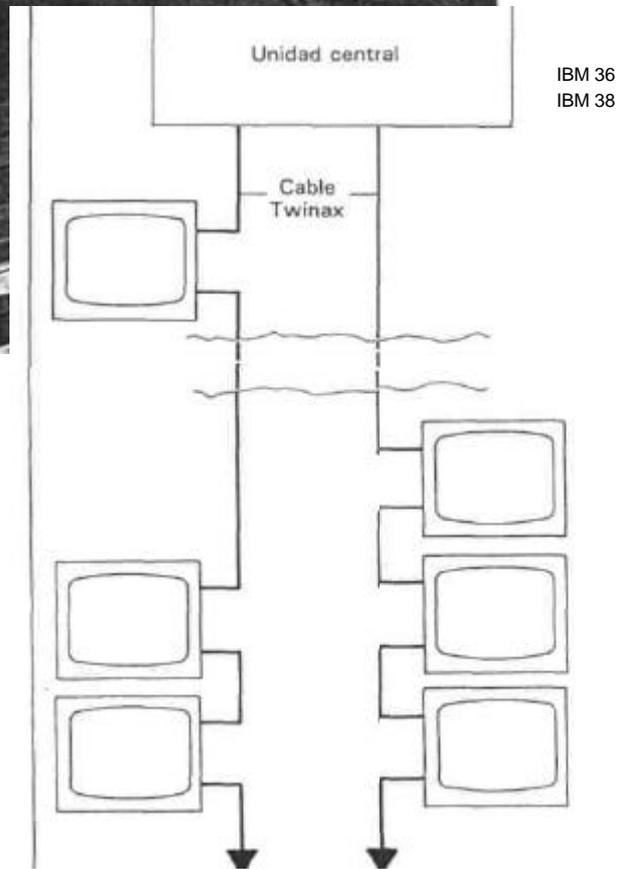


Fig. 6.82. Transmisión de datos IBM Sistema Twinax.

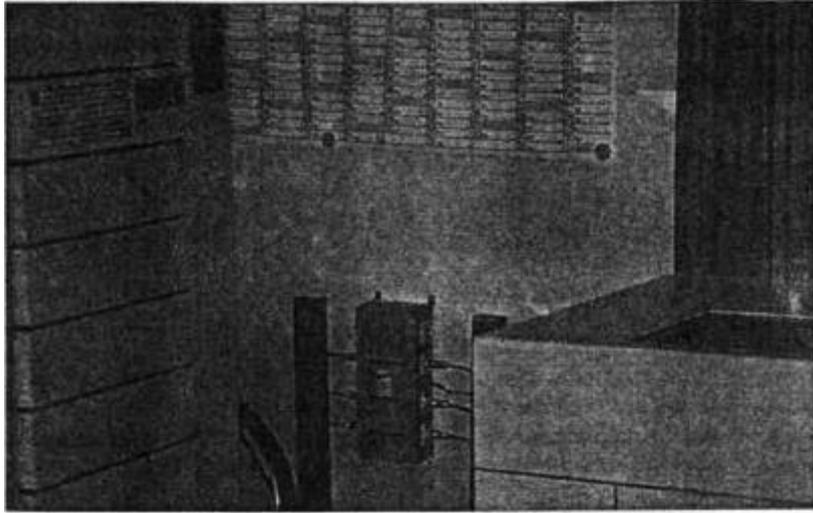


Fig. 6.83. Protección de la unidad central de ordenadores IBM 38. a) Sala de ordenadores.

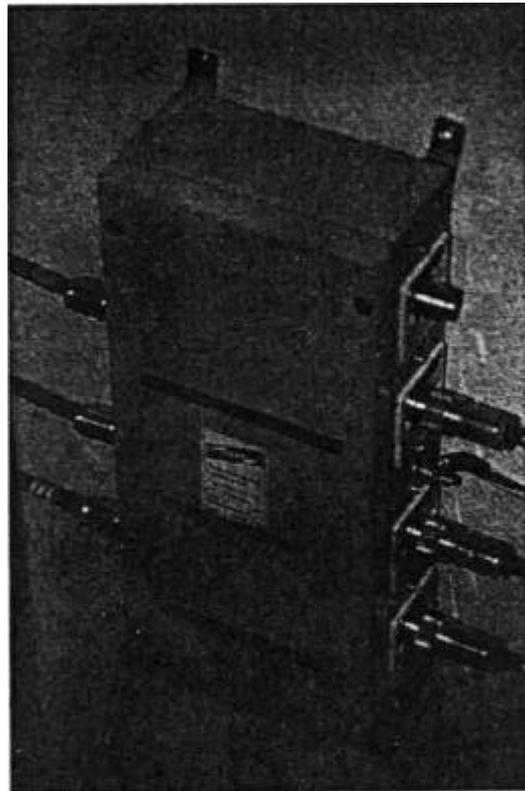


Fig. 6.84. b) Aparato de protección contra sobretensiones, tipo Twinax-ZE con 3 cables de datos conectados.

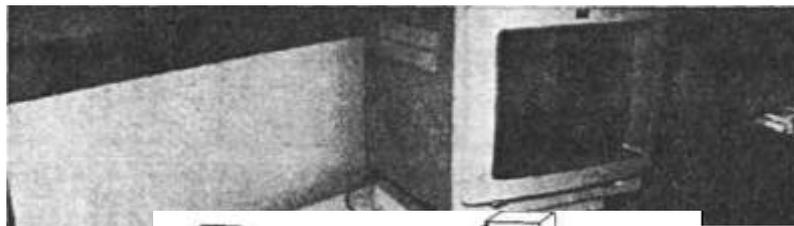


Fig. 6.85. Protección de las entradas (red y Twi-nax: entrada y salida) de un terminal IBM, con ayuda de CS-Protector, del tipo CS- Twinax-2.

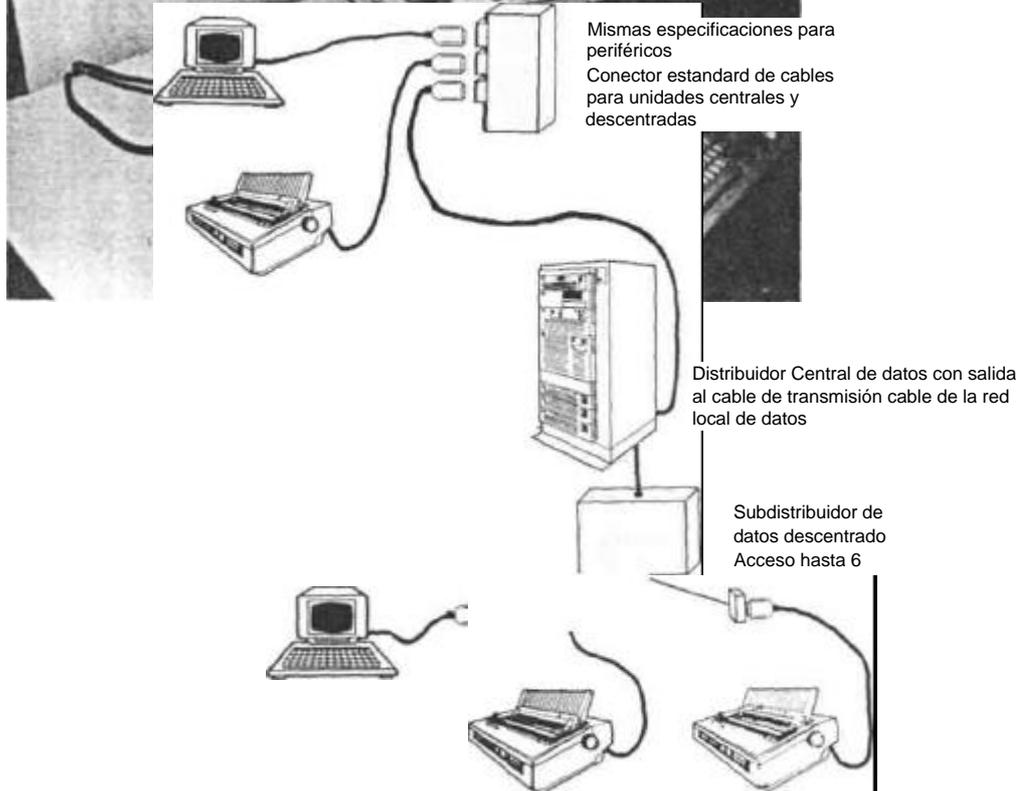


Fig. 6.86. Conexión de periféricos con 20 mA ESS sobre una red local en forma de estrella. Sistema 300-SICOMP-Siemens.

La instalación de ordenadores Siemens 300-SICOMP se realiza según el esquema de principio reproducido en la figura 6.86 /81/.

Los aparatos para protección contra sobretensiones, montados en esta instalación, se utilizan como sigue:

- En la red de suministro de energía se instalan en los distribuidores descargadores de baja tensión, p. ej. del tipo VM 280 (Figura 5.52).
- En la central de ordenadores, suele existir un distribuidor de señales, en el que se conectan BLITZDUCTORES a todos los cables de datos procedentes del exterior (Figuras 6.87 a y b).

Los aparatos periféricos se protegen, de la forma usual, mediante CS-Protectores.

Las entradas de datos de la unidad de un "Digital Equipment Rechner" con interfaces V24, pueden protegerse con aparatos de protección fina enchufables, tal y como se muestra en las figuras 6.88 a y b.

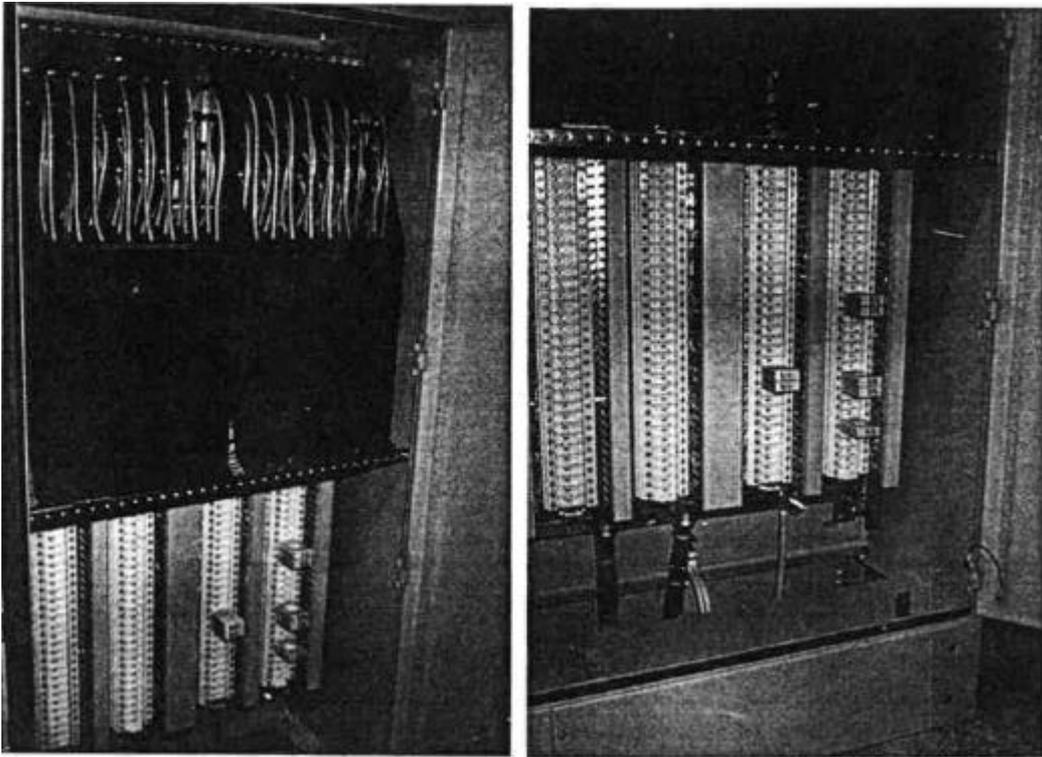


Fig. 6.87. Protección de las entradas de datos en la unidad central del ordenador SICOMP con Blitzductores KT, tipo ALE, incorporados en la parte inferior del armario de distribución de señales (fabricación CNC, Neubauer).

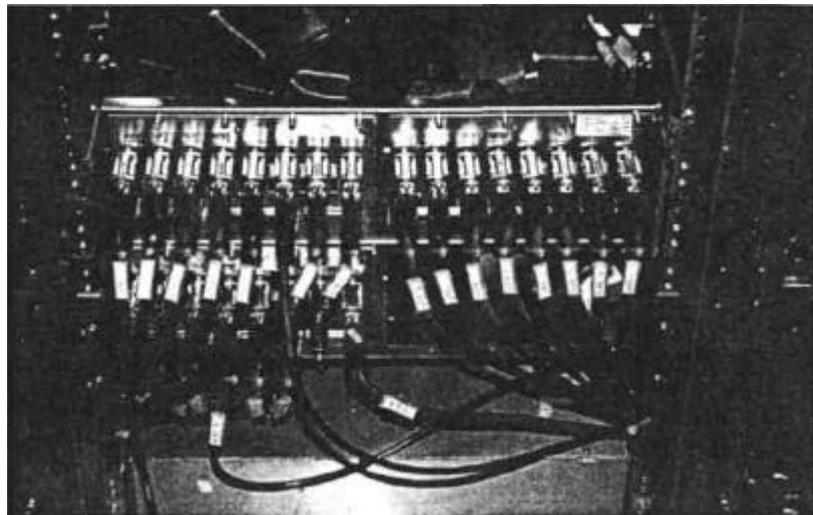
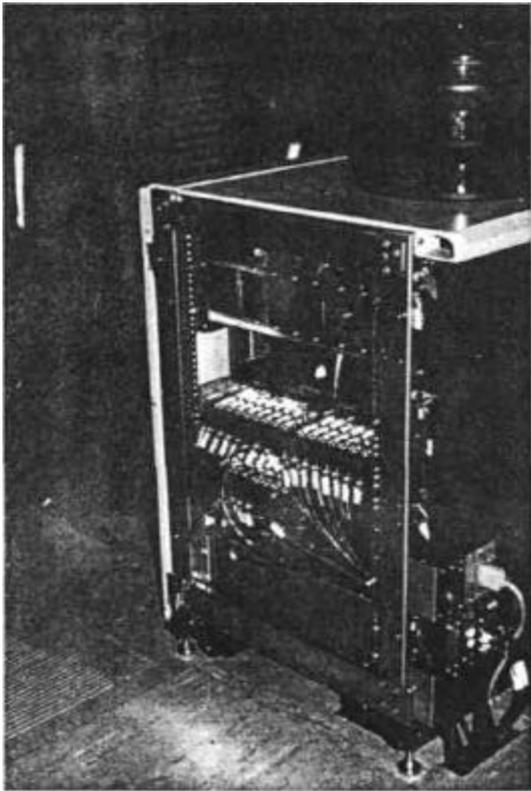


Fig. 6.88. Ejemplo de utilización de los adaptadores de protección fina del tipo FS 25, en las entradas de los aparatos (interfaces V24) de una Unidad Central de Procesos (CPY) de Digital Equipment.

6.4.7. Unidades móviles de telecomunicaciones

Una unidad móvil de telecomunicaciones debe ser protegida contra tensiones peligrosas de contacto y contra sobretensiones (Figura 6.89 a y b). En el contenido del caso expuesto, se trataba de proteger contra sobretensiones la conexión a la red (que disponía de aislamiento de protección) /82/:

- incluso en caso de descargas directas de rayo,
- también contra impulsos nucleares electromagnéticos (NEMP)

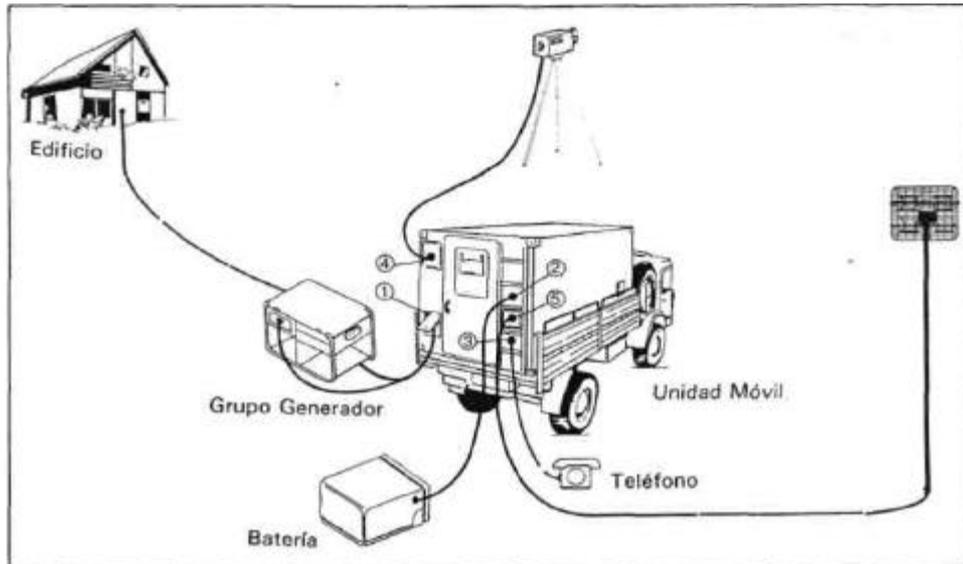


Fig. 6.89. Unidad móvil de televisión en carcasa metálica con entradas de cable protegidas contra rayos e influencias EMP y EMI.

A causa de la influencia indirecta, derivada de las sobretensiones y repercusiones de una descarga de rayo o de impulsos NEMP sobre una unidad móvil de telecomunicaciones y sobre sus sistemas electrónicos, se pueden originar tensiones tan elevadas entre los conductores de conexión a la red y las partes metálicas de la unidad, separadas de los conductores, que los aislamientos protegidos, aun cuando sean dobles, son perforados y destruidos.

Las sobretensiones en el lado de conexión a la red, deben limitarse de tal modo, que el aislamiento de protección no sea puesto en peligro. Un circuito de protección contra sobretensiones se intercala en la entrada de la red, entre los cables entrantes y la carcasa de la unidad móvil; el aislamiento de protección y los dispositivos de protección contra sobretensiones deben ser compatibles entre sí.

Un circuito que cumple las exigencias de la protección contra sobretensiones y de aislamiento, se expone en la figura 6.90. Como puede verse, se ha intercalado entre los cables de entrada de red (L1, L2 y L3, N y PE) y la carga de la unidad móvil de telecomunicaciones, un dispositivo de descargadores (figura 6.91) compuesto por 5 vías de chispas de extinción del tipo LFS y por una vía de chispas de corriente de alta intensidad, tipo HSFS. La tensión alterna de respuesta de este dispositivo de derivadores es de 5 kV, y la tensión de choque de respuesta es de 10 kV.

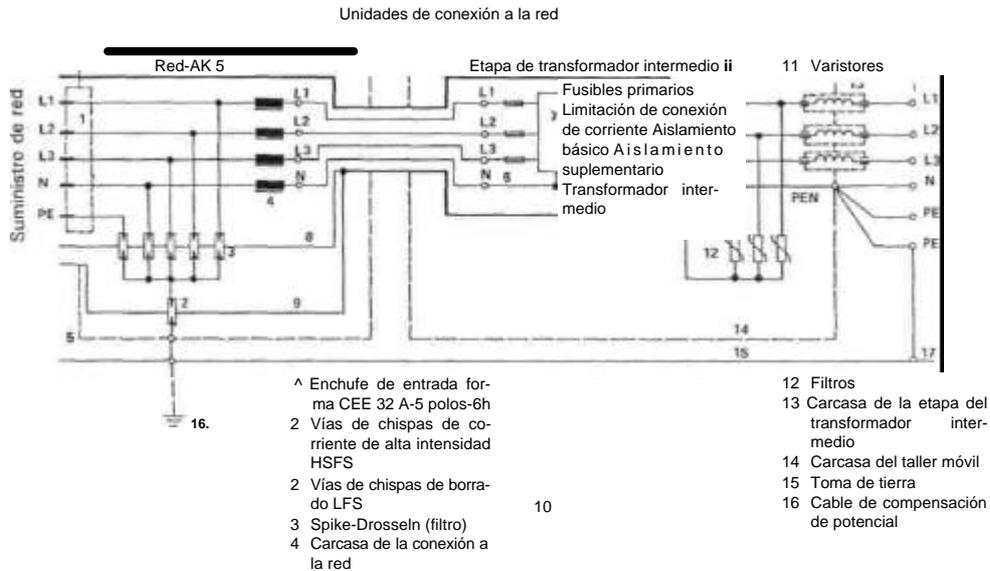


Fig. 6.90. Esquema de principio de la conexión de red protegida contra sobretensión en una unidad móvil, con aislamiento de protección.

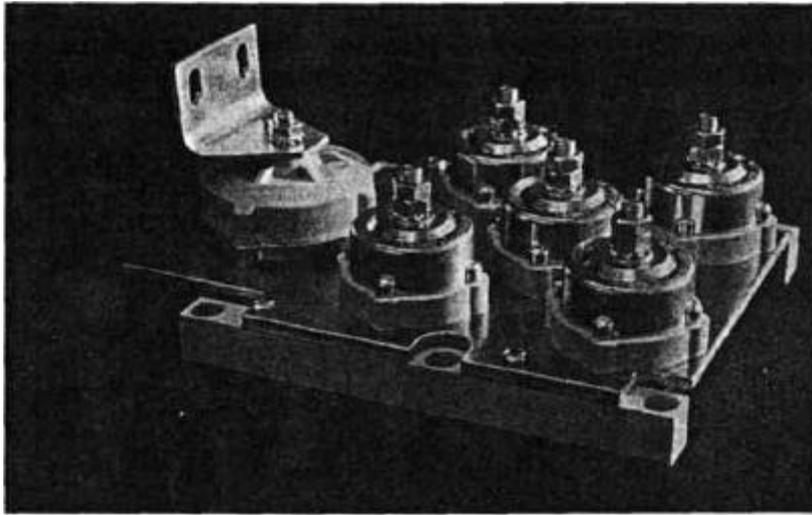


Fig. 6.91. Dispositivo de derivación formado por cinco vías de chispas de extinción, tipo LFS y por una vía de chispas de corriente de alta intensidad HSFS.

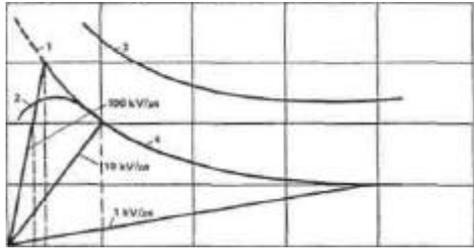
El aislamiento entre el circuito de entrada de red y la caja de la unidad móvil de telecomunicaciones, al igual que el aislamiento entre el circuito de entrada y el de salida del transformador intermedio, están dimensionados de acuerdo con la citada tensión de respuesta. Las sobretensiones que estén por debajo del nivel indicado (las sobretensiones usuales por conmutaciones son neutralizadas por el aislamiento).

En servicio sin averías, el dispositivo de descargadores garantiza un doble aislamiento. El aislamiento básico viene formado por las vías de chispas de extinción, que presentan también el comportamiento de extinción o de apagado, de acuerdo con DIN VDE 0675 /60/; el aislamiento auxiliar o complementario es realizado por medio de la vía de chispas de corriente de alta intensidad.

Antes y durante el encendido, se producen en el dispositivo de descargadores puntas de tensión, cuyo nivel depende de la pendiente de las sobretensiones.

Al acrecentarse la pendiente de la tensión, se eleva la tensión de respuesta del dispositivo de descargadores. Intercalando bobinas de choque (limitadores) se atenúan las puntas de tensión que aparecen en caso de pendientes muy grandes de la tensión, con lo que queda protegido, de forma fiable y efectiva el transformador intermedio. (Figura 6.92). En la red interna de la unidad móvil, y en el lado del secundario del transformador intermedio, se emplea la medida de protección de puesta a cero. Las sobretensiones que se pueden presentar en el lado del secundario, antes de que se active el dispositivo de protección de los derivadores, se limitan mediante varistores. Para protección contra sobretensiones de

alta frecuencia — en especial en caso de acción de impulsos electromagnéticos de origen nuclear — se utilizan auxiliarmente filtros de paso RFI.



- 1 Spike-Drossel (sin filtro)
- 2 Spike-Drossel (con filtro)
- 3 Curva característica de la tensión de choque del aislamiento del transformador
- 4 Curva característica de la tensión de choque de las vías de chispas (LFS y HSFS en serie)

Fig. 6.92. Curvas características de la tensión de choque, coordinadas en el equipo de descargadores de sobretensión y del transformador de aislamiento.

El conductor de protección del cable de entrada de red PE, no se precisa si se utiliza el aislamiento de protección. Sin embargo, y debido al uso de cables de conexión de red convencionales, y con los dispositivos de enchufe de varios conductores, muchas veces el conductor de protección PE es llevado obligadamente hasta la caja de acoplamiento del cable a la unidad móvil. El conductor de protección no debe terminar aquí en vacío, ya que en caso de la acción de una sobretensión, se produciría un paso de chispas en el secundario hacia el dispositivo de enchufe. Por eso, el conductor de protección PE, es tratado exactamente igual que un conductor de tensión, y cuenta, en su extremo, con una vía de chispas de extinción.

Cuando tenga lugar una descarga directa de rayo, hay que contar que, en el caso más desfavorable, toda la corriente de rayo pase a través del cable de entrada de red. El dispositivo de descargadores ha sido dimensionado, por lo tanto, de modo que sea capaz de soportar, varias veces, las corrientes del 90% de todos los rayos medidos hasta la fecha.

El dispositivo de descargadores debe cumplir las exigencias siguientes:

- La resistencia de aislamiento y las tensiones de respuesta no deben variar sustancialmente como consecuencia de múltiples cargas de corrientes de rayo (con el fin de garantizar de forma continuada el aislamiento de protección de la entrada de red).
- Después de la activación del dispositivo de descargadores a consecuencia de una sobretensión, la corriente sucesiva de red, que fluya por dicho dispositivo, debe extinguirse automáticamente.

Estas exigencias se reparten a lo largo de varias vías de chispas, como puede verse en la figura 6.90. A los cables de entrada de la corriente de red L1, L2, L3, N y PE se conectaron cinco vías de chispas de extinción del tipo LFS, que en su comportamiento aislante equivalen al aislamiento básico.

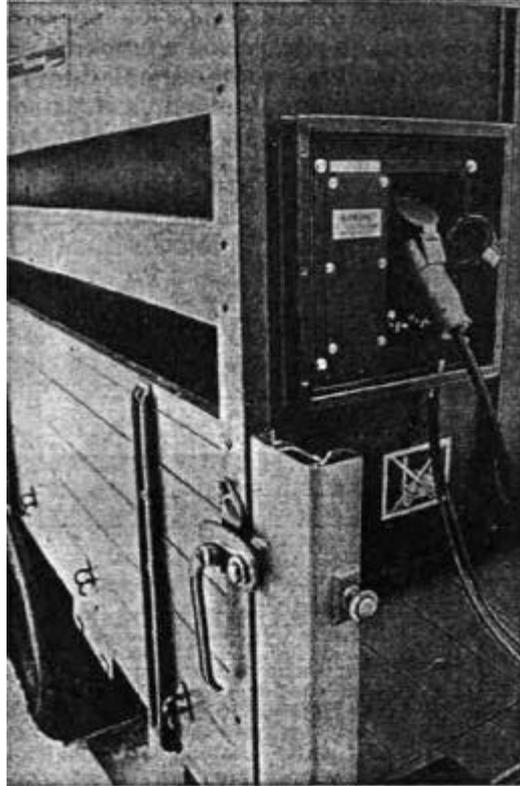


Fig. 6.93. Caja de acometida de red, montada en una unidad móvil.

Las vías de chispas de extinción se reúnen en el pie, y se conectan a la carcasa de la acometida red a través de una vía de chispas de corriente de alta intensidad, del tipo HSFS. Esta vía de chispas es capaz de llevar toda la corriente de rayo, disponiendo, además, de características muy buenas y fiables de aislamiento, conformes a las exigencias a un aislamiento auxiliar.

La conexión en serie de vías de chispas de extinción LFS y de vías de chispas de corriente de alta intensidad HSFS, cumplen así las exigencias de un doble aislamiento, con protección contra sobretensiones capaz de soportar la corriente de rayo.

El dispositivo de vías de chispas se monta en una caja de conexión a la red (Figura 5.38), que se introduce, de forma muy simple, por ejemplo, en una cabina de radiotelefonía direccional. tal y como puede verse en la figura 6.93.

6.4.8. Repetidores de televisión

Los repetidores de televisión (figura 6.94) suelen montarse, de preferencia, en las cimas de montañas, por lo que están sumamente expuestos a las descargas de rayos.

El suministro de energía a los repetidores se efectúa a través de la red de Alta Tensión: desde el valle suele tenderse una línea aérea, que al llegar al monte, pasa a ser un cable subterráneo. Como medida de protección, en el repetidor suele emplearse con frecuencia el aislamiento de protección en la entrada de los cables de red y la segura separación eléctrica mediante un transformador intermedio.

Un caso notable de daños causados por descargas de rayo se refiere a lo sucedido en un repetidor de televisión de la Radio-Televisión austríaca en la zona de Steiermark /83/.



Fig. 6.94. Mástil de un repetidor de televisión.

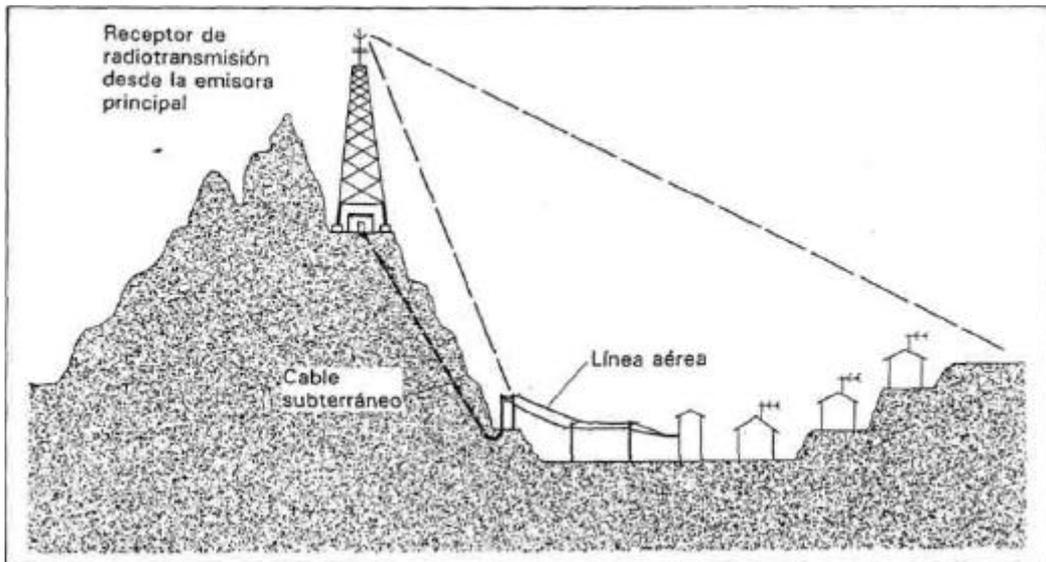


Fig. 6.95. Repetidor de televisión.

Dentro de las medidas de protección contra sobretensiones para este repetidor, se utilizaron descargadores de sobretensiones con capacidades nominales de derivación de 5 kA, 8/20 según DIN VDE 0675 /60/. Estos derivadores están diseñados exclusivamente para corrientes de choque, como se presentan en el caso de descargas lejanas de rayo. En una descarga directa de rayo, pueden quedar totalmente destruidas.

Cuando en el año 1981 se produjo, efectivamente, una descarga directa de rayo en el repetidor de televisión, estos descargadores quedaron destruidos (Figura 6.96). Como consecuencia, quedó un conductor exterior del cable de red de corriente de alta intensidad a la toma de tierra de la estación repetidora. Como en la entrada de red, con aislamiento de protección, el conductor neutro no está unido a la toma de tierra de la estación, no se podía formar una corriente de cortocircuito, que hubiera podido hacer que se activaran los fusibles preconnectados. A través de la resistencia de puesta a tierra de la estación, de unos 7 Ohmios, fluyó, durante varios meses una corriente de casi 30 A sin que se pudiera notar. Todas las partes que se podían tocar en la estación repetidora local de la emisora, mástil de emisión, aparatos, etc — y que estaban unidas a la toma de tierra de la estación, estuvieron llevando durante este tiempo tensión de red.

Además del peligro a que estaban expuestas las personas, como consecuencia del contacto con las piezas conductoras, se produjeron lógicamente, elevadísimos gastos de electricidad. Esta peligrosa situación de la estación se descubrió al tratar de averiguar la razón de los inmensos gastos de corriente, consecuentes al enorme incremento de consumo de energía que estaba teniendo lugar.

Este ejemplo de una avería muestra claramente el hecho de que, en unión con la medida de protección "Aislamiento de protección" únicamente pueden utilizarse descargadores, que sean capaces de soportar cargas extremas y que tengan un gran fiabilidad de acción aislante.

Desde otoño de 1982 se han instalado en aquella estación repetidora nuevos aparatos de protección contra sobretensiones, compuestos por: vías de chispas de extinción (apagado) del tipo LFS y vías de chispas de corriente de alta intensidad, tipo HSFS. (Figuras 6.97 y 6.98).

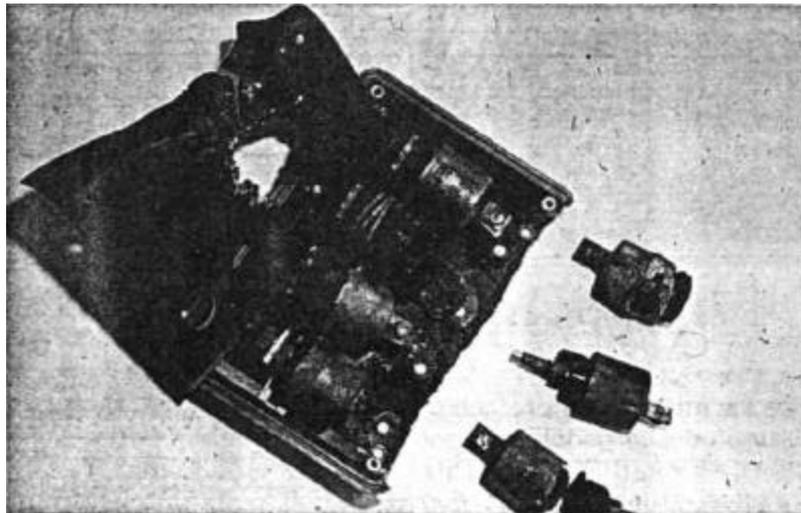


Fig. 6.96. Descargadores de sobretensiones, destruidos a consecuencia de una descarga directa de rayo en la estación repetidora de la Radio-Televisión austriaca "Braunhuberkogel" en la Steimerk. (Descargadores de tipo convencional).

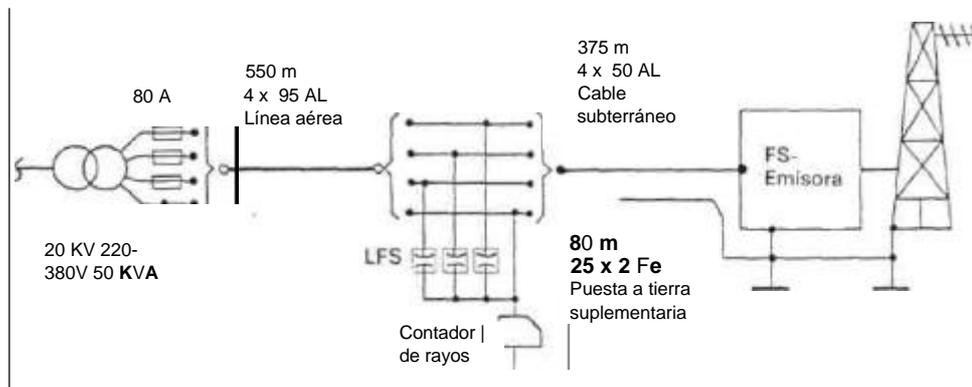


Fig. 6.97. Alimentación de tensión de un repetidor de la ORF.

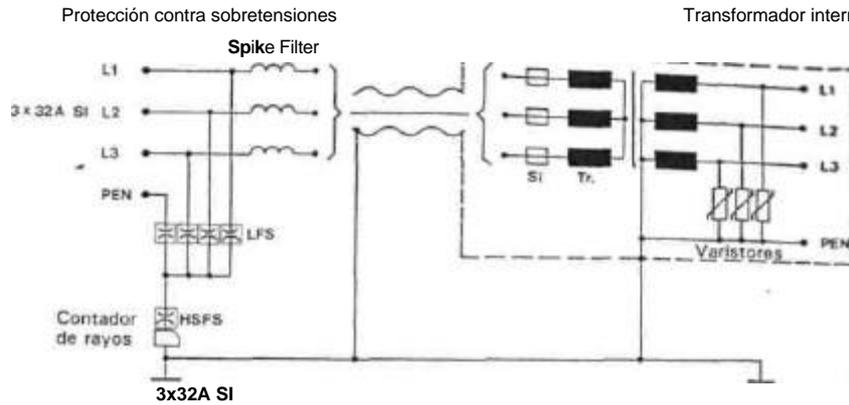


Fig. 6.98. Esquema de la protección contra sobretensiones en el repetidor.

En el mástil de la línea aérea y en la emisora se han instalado contadores para corriente de rayo, en cada uno de los conductores de conexión a la toma de tierra de los correspondientes aparatos de protección contra sobretensiones. Estos contadores, desde la fecha de su instalación hasta julio de 1 987, han registrado 1 1 descargas directas de rayo en el mástil, y 17 descargas directas en la emisora. Los aparatos de protección han conseguido que estas descargas de rayos se cancelaran sin averías y sin interrupción del funcionamiento del repetidor.

7. Palabras finales

Los conceptos de protección contra sobretensiones, expuestos en este libro, incluyen diversas medidas de protección, que en parte, deben realizarse durante la construcción de los edificios, y que se incluyen dentro de la Protección exterior contra Descargas de Rayo, como p. ej.: la unión de los armazones de acero del hormigón para formar jaulas de apantallamiento o blindaje lo más cerradas posibles. También contemplan las medidas, muy concretas, de empleo de aparatos de protección, tanto en el marco de la compensación de potencial para protección contra rayos, como también para protección directa de los aparatos. Es-

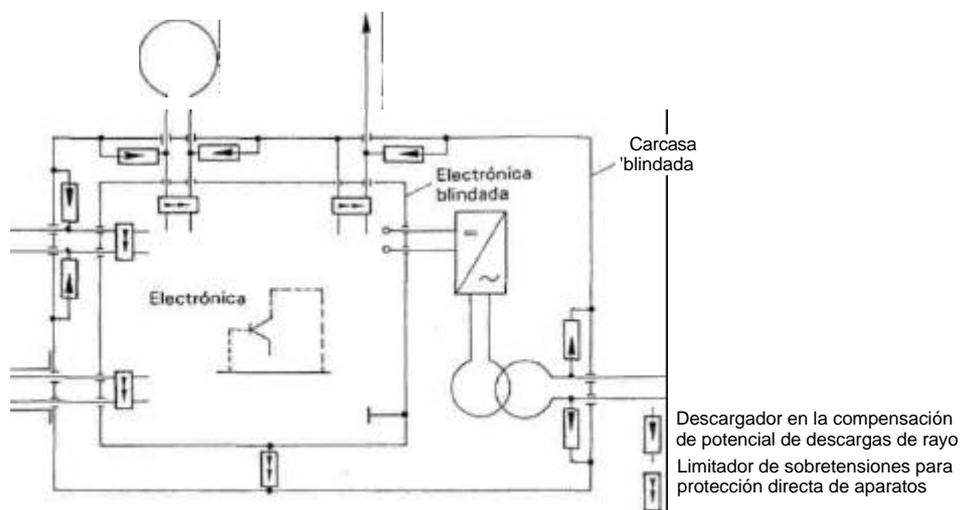


Fig. 7.1. Protección de sobretensiones en sistemas electrónicos. (Comparación con los peligros para dichos aparatos, que se han reseñado en la figura 5.1.).

tos descargadores y limitadores de sobretensiones, pueden montarse, igualmente, con posterioridad, para protección de los diversos aparatos — es decir, sin tener que intervenir en los circuitos interiores de dichos aparatos. En la figura 7 A se expone de manera general la utilización de las medidas de protección, en comparación con los peligros por sobretensiones a que están expuestos los sistemas electrónicos, y que se han expuesto conjuntamente en la figura 5.1.

Con las posibilidades actuales de la técnica de protección contra sobretensiones, no solamente es posible la protección segura de instalaciones de baja tensión y de aparatos electrónicos de extremada sensibilidad contra los peligros de las sobretensiones consecuentes a procesos de conmutación o conexión, subsiguientes a descargas electrostáticas, o las producidas como consecuencia de descargas lejanas de rayos, sino que hoy día, también es posible garantizar una protección efectiva frente a las descargas directas de rayos, y frente a los peligros de las explosiones nucleares.

8. Bibliografía

- /1 / DIN VDE 0185/11.82: Instalación de protección contra rayos — Parte 1: Generalidades para su instalación — Parte 2: Instalación de equipos especiales. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /2/ Hasse, P.; Wiesinger, J.: Protección contra rayos (Trabajo IEC). Comunicaciones DIN 65 (1986), Cuaderno 10, páginas 531-532.
- 131 Comunicación Técnica IEC 81 (Central Office) 6 (Draft): Standards for lightning protection of structures. Parte 1: General Principies. Int. Elektrotex. Commiss. (IEC) Ginebra.
- /4/ DIN VDE 0800, parte 2/07.85: Técnica de telecomunicaciones; Toma de tierra y compensación de potencial. Editorial VDE, GmbH, Berlín.
- /5/ DIN VDE 0845, parte 1/10.87: Protección de instalaciones de telecomunicación contra efectos causados por descargas de rayo, por cargas estáticas y por sobretensiones procedentes de circuitos de corriente de alta intensidad; Medidas contra sobretensiones. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /6/ DIN VDE 0109/12.83: Coordinación del aislamiento en instalaciones de baja tensión, incluidas las distancias de descargas aéreas para medios de servicio. Informe IEC. Publicaciones 664 y 664 A. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /7/ DIN VDE 0110/10.85 (proyecto): coordinación del aislamiento para medios de funcionamiento en instalaciones de baja tensión. — Parte 1: Consideraciones fundamentales — Parte 2: Dimensionado de las distancias de descarga y de las distancias aéreas. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /8/ VG 96 900/03.82: Protección contra impulsos electromagnéticos nucleares (NEMP), y contra descarga de rayo. Visión general. Editorial Beuth, Berlín.
- /9/ Hasse, P.+ Wieseinger, J.: Novedades en la técnica de protección contra rayos. ETZ (Elektrotechnische Zeitschrift) 108 (1988), Cuaderno 13, páginas 612-618.
- /10/ Asociación de Aseguradores e.V.: Protección contra sobretensiones en instalaciones eléctricas. Directrices para prevenir daños materiales. Colonia, 1 983.

- /11/ Seguro TELA: Prevención de daños. Departamento: Diversas instalaciones. Edición 045-3. Dispositivos para protección contra rayos y sobretensiones.
- /12/ Instituto Gerling para Investigación de daños y para prevención de daños GmbH: protección contra rayos para instalaciones electrónicas. Colonia.
- /13/ Seguros Winterthur: tensiones de perturbación, sobretensiones; causas y soluciones. Información Técnica de Seguros Winterthur, (1985), Nr. 10.
- /14/ Estadísticas para el Informe de Actividades de 1986. Departamento de Prevención de Incendios para la Alta Austria. Linz, 1987.
- /15/ Gugenbauer, A.: Rayos — Maravillas del fuego en la naturaleza. Prevención de Incendios 165. Cuaderno 3/84, páginas 4/5. Departamento para Prevención de Incendios en Alta Austria, Linz, 1984.
- /16/ Gugenbauer, A.: Rayos — Las maravillas del fuego en la naturaleza. El Servicio Austríaco de Bomberos. Cuaderno 7/1983.
- /17/ Süddeutsche Zeitung: Las Compañías de Seguros para la Electrónica, ven posibilidades.: El mercado no está aún saturado. Pero los gastos por daños se incrementan. Nr. 34, 11.02.1987. Página 28.
- /18/ v. Thaden, H-W.: Incendio de una cisterna a causa de la descarga de un rayo. Erdöl un Kohle-Erdgas-Petrochemie. Año 19, páginas 422, 424, 1966.
- /19/ Brood, T.G.P.: Informe sobre los incendios producidos en dos depósitos-cisterna protegidos, y destinados al almacenamiento de líquidos inflamables, a causa de la descarga de un rayo. 13 Conferencia Internacional para Prevención de Daños causados por Rayos. Venecia, 1976. Informe R-45.
- /20/ Westdeutsche Allgemeine Zeitung: Catástrofe en un depósito-cisterna en Herne: Descarga de un rayo, a pesar de contar con instalación de protección. 04.12.1984.
- /21/ Hasse, P.: Protección contra sobretensiones en distribuidores y sobre la barra de perfil. Elektro-Handel 1986, cuaderno 3.
- /22/ Der Spiegel: Descarga de un rayo en un reactor nuclear Cuaderno 36, 1983, página 15.
- /23/ Neumarkter Tagblatt: Cortocircuito en una central nuclear. 22.05.1985.
- /24/ Hasse, P.; Prade, G.: El comportamiento de disparo de los interruptores de protección FI, en caso de tormentas, de/der elektromeister + deutsches elektro-handwerk, cuaderno 4. 1980, páginas 203-207.
- /25/ Hasse, P.: Compatibilidad electromagnética (EMV) en la práctica; Protección de instalaciones de baja tensión con aparatos electrónicos, frente a sobretensiones. — Medidas de protección y aparatos. 1982, Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /26/ Hasse, P.; Wieseinger, J.: Manual para protección contra rayos y toma de tierra. 2ª edición, 1982, Editorial R. Pflaum, München — Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /27/ Buck, W.; Hasse, P.; Wieseinger, J.: Aparatos adaptables para protección contra sobretensiones para los electrodomésticos. 18 Conferencia Internacional

- de Protección contra Rayos, München 1985 — 100 años de ABB, Colaboración Nr. 5.9. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /28/ Hasse, P.: Protección de instalaciones de baja tensión con equipos electrónicos frente a sobretensiones. Seminario: "protección de sistemas electrónicos contra influencias externas", 1 981, página 27-76. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /29/ FGH Mannheim: Sobretensiones transitorias. Informe Técnico de las FGH Mann-heim. etz-a. Elektrotechnische Zeitschrift. Tomo 96, cuaderno 1, 1976, páginas 2.27.
- /30/ Lang, U.; Lindner, H.: Sobretensiones en instalaciones de alta tensión — Protección de dispositivos secundarios. Elektrizitätswirtschaft, cuaderno 22, 1986.
- /31/ Menge H. — D.: Resultados de las mediciones de sobretensiones transitorias en instalaciones de líneas aéreas, etz-a. Elektrotechnische Zeitschrift, Tomo 97, cuaderno 1, 1976, páginas 15-17.
- /32/ VDEW: Indicaciones para la medición de sobretensiones transitorias en líneas secundarias, dentro de instalaciones de líneas aéreas. Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke-VDEW e.V. Edición de octubre de 1975.
- /33/ Rehder, H.: Tensiones de perturbación en redes de baja tensión, etz. Electro-technische Zeitschrift. Tomo 100, cuaderno 5, 1979, páginas 21 6-220.
- /34/ El impulso nuclear electro-magnético (NEMP) y sus repercusiones. ZVEI — Normenanzeiger. Septiembre 1985. página 14.
- /35/ Twachtmann, W.: DIN 57 185/VDE 01 85; la nueva directriz para la instalación de equipos pararrayos, etz. Elektrotechnische Zeitschrift. Tomo 103, cuaderno 2, 1982, páginas 55-60.
- /36/ Wieseinger, J.: Rayos-Protección contra rayos. Reaseguradora Bávara, 1987.
- /37/ VDWE: Directrices para el empotramiento de tomas de tierra de cimientos en los cimientos de un edificio. Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke — VDEW e.V. 1987.
- /38/ DIN VDE 0100, parte 410/11.83: Disposiciones para la realización de instalaciones de corriente de alta intensidad, con tensiones nominales de hasta 1000 V — Medidas de protección; protección contra corrientes peligrosas a través del cuerpo humano — Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /39/ DIN VDE 0800 partel /04.84: Técnica de Telecomunicaciones; Realización y funcionamiento de las instalaciones. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /40/ DIN VDE 0100 parte 540/05.06: Disposiciones para la realización de instalaciones de corriente de alta intensidad con tensiones nominales de hasta 1000 V — Selección y montaje de medios operativos eléctricos, toma de tierra, con ductor de protección, conductor de compensación de potencial. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /41 / DIN VDE 01 90/06.86: Inclusión de las tuberías de gas y de conducción de agua en la compensación de potencial principal de las instalaciones eléctricas — Directrices técnicas de las DVGW. Editorial VDE GmbH, Berlín.

- /42/ Hasse, P.: VDE 0185, partes 1 y 2; Nuevas directrices para la realización de instalaciones de protección contra rayos. Cuadernos 21-22-22-24 / 1982.
- /43/ VG 96 901 parte 4/10.85: Protección contra el impulso nuclear electromagnético (NEMP) y contra descarga de rayos. Conceptos fundamentales. Datos de peligrosidad. Editorial Beuth, -Berlín.
- /44/ DIN 48 810/08.86: Instalación de pararrayos; Piezas de conexión y vías de chispas de separación. Exigencias. Pruebas. Editorial Beuth, Berlín.
- /45/ DIN VDE 0141/07.76: Disposiciones VDE para toma de tierra de instalaciones de tensión alterna con tensiones nominales superiores a 1 kV. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /46/ DIN VDE 0855, parte 1 /05.84: Instalaciones de antenas. Instalaciones y funcionamiento. Editorial VDE, Berlín.
- /47/ DVGW GW 309: Puenteado eléctrico en caso de separación de tuberías. Editorial ZfGW GmbH, Frankfurt.
- /48/ DIN VDE 0131/04.84: Instalación y funcionamiento de instalaciones de vallas eléctricas. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /49/ DIN VDE 0150/04.83: Protección contra corrosión ocasionada por corrientes parásitas procedentes de instalaciones de corriente continua. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /50/ VG 96 907, parte 2 /1 2.86: Protección contra impulso nuclear electromagnético (NEMP) y contra descargas de rayos. Medidas de construcción y dispositivos de protección. Peculiaridades para diversas aplicaciones. Editorial Beuth, Colonia.
- /51/ VG 96 907 parte 1/12.85: Protección contra impulso nuclear electromagnético (NEMP) y contra descargas de rayos. Medidas de construcción y dispositivos de protección. Generalidades. Editorial Beuth, Colonia.
- /52/ Hasse, P.; Wiesenger, J.: Protección de equipos y aparatos de ordenadores contra perturbaciones ocasionadas por rayos. 18 Conferencia Internacional de Protección contra Rayos. München 1985. Colaboración 5.4.
- /53/ Internat. Electrotechnical Commis. Publicación IEC 664/1980. Insulation coordinaron wythin low-voltage systems including clearances and creepage dis-tances for equipment.
- /54/ Internat. Electrithench. Commis.: Informe IEC: Publicación 664A/1981: First supplement to Publication 664/1980. Editorial VDE, Offenbach.
- /55/ Trapp. N.: La optimización de la protección interior contra rayos, mediante empleo de módulos y elementos optoelectrónicos. 16 Conferen. Intern. Protec. contra rayos. Szeged 1981.
- /56/ Siemens: Semiconductores optoelectrónicos. Manual de datos 1981/1982, Siemens AG, München. Departamento: componentes.
- /57/ Bohm, W.: Puntos de separación en controles electrónicos, de/der elektromejster+ deutsches elektrohandwerk, 1981, cuaderno 21, páginas 1594-1596.

- /58/ IEEE — Estudio 587/1980: IEEE guide for surge voltages in low-voltage ac po-wer circuits.
- /59/ Internat. Elektro. Commis.: Publicación 99/1970: Lightning arresters — Part 1: Non linear resistor type arresters for a.c. systems.
- /60/ DIN VDE 0675, parte 1 / 05.72: Directrices para aparatos de protección contra sobretensiones — Descargadores para redes de tensión alterna. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /61/ DIN VDE 0432, parte 2/10.78: Alta tensión: Técnica de pruebas-Técnicas de comprobaciones. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /62/ DIN VDE 0618 parte 1/08.87 (proyecto): medios de servicio para la compensación de potencial — Barra de compensación de potencial (PAS) para la compensación principal de potencial. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /63/ Comité de Trabajo DVGW/VDE para cuestiones sobre corrosión (AfK): Recomendaciones AfK Nr. 5/02.86. Protección catódica contra la corrosión en zonas expuestas al peligro de explosiones. Editorial ZfGW GmbH, Frankfurt.
- /64/ Dehn + Söhne: Vías de chispas para corrientes de rayo. Folleto Nr. 309/386.
- /65/ DIN VDE 0804 parte 2/05.85 (proyecto): Técnica de telecomunicaciones — Fabricación y verificación de los aparatos. Fiabilidad de los componentes y de los aislamientos. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /66/ Hasse, P.; Wieseinger, J.: Exigencias de prueba para componentes y aparatos destinados a limitación de sobretensiones y sobrecorrientes, en caso de descargas directas e indirectas de rayo en instalaciones de baja tensión. 17 Conferencia Internacional de Protección contra Rayos. La Haya 1983, Colaboración 4.1.
- /67/ Hasse, P.; Wiesinger, J.: Protección contra sobretensiones en descargas directas e indirectas de rayos, etc. Elektrotechnische Zeitschrift, tomo 104, cuaderno 1, 1983.
- /68/ DIN VDE 0100/05.73.: Disposiciones para la realización de instalaciones de corriente de alta intensidad con tensiones nominales de hasta 1000 V. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /69/ Hasse, P.; Runtsch, E.: Protección de personas y cosas en instalaciones de baja tensión, etc. Elektrotechnische Zeitschrift, tomo 105, cuaderno 6/7, 1984, páginas 312-315.
- /70/ OVE —EN, parte 1 d/1 986: Normas para realización de instalaciones de corriente de alta intensidad, con tensiones nominales de hasta 1000 V y 1 500 V. Asociación Austríaca para Electrotecnia, Sección EN, Viena.
- /71/ DIN VDE 0664 parte 1/10.85: Dispositivos de protección para corrientes de error — Interruptores de protección para corrientes de error para tensión alterna de hasta 500 V y hasta 63 A. Editorial VDE GmbH, Berlín.
- /72/ Dehn + Söhne: BLITZDUCTOR® , Folleto Nr. 408/286.
- /73/ Dehn + Söhne: BEE 1 6 NFF/BEE 32 NF. Protección contra sobretensiones. Folleto Nr. 529/85.

- /74/ Hasse, P.; Müller, K-P.: Protección contra sobretensiones de instalaciones electrónicas de proceso de datos, etc. Elektronische Zeitschrift, tomo 108, 1987, cuaderno 13.
- /75/ DIN VDE 0165/09.83: Realización de instalaciones eléctricas en zonas expuestas al peligro de explosiones. Editorial VDE, GmbH, Berlín.
- /76/ Dehn + Söhne: HE-protector TV/FM-C- Aparato de protección contra sobretensiones. Folleto Nr. 539/85.
- lili* Dehn + Sdhne: CS-PROTECTOR. Folleto Nr. 548/387.
- /78/ Dehn + Sdhne: Contadores para corrientes de rayo y corrientes de choque. Folleto Nr. 262.12/68.
- /79/ Wiesinger, J.: Generador híbrido para tensiones de choque de rayo 1,2/50 en marcha en vacío, y corrientes de choque 8/20 en cortocircuito. 17 Conferencia Internacional para Protección contra Rayos. La Haya 1983, Colaboración 5.3.
- /80/ Pipeline Engineering: Directrices para protección contra rayos en sistemas de automatización y de técnicas de corriente de alta intensidad de la "Ruhrgas AG", Essen. Parte teórica. Situación a abril de 1983.
- /81/ Siemens — Sistema 300. Del Minordenador al Multiprocesador. Siemens. Nürnberg.
- /82/ Hasse, P.; Meuser, A.; Pivit, E.; Wiesinger, J.: Protección contra sobretensiones de la conexión a la red en una unidad móvil para telecomunicaciones, con aislamiento de protección para descargas directas de rayos, etc, tomo 103, cuaderno 2, página 52-54, 1982.
- /83/ Felhütter, W.; Hasse, P.; Pivit, E.: Protección contra sobretensiones de la entrada de red de un repetidor de televisión incluso en caso de descarga directa de rayos. 17 Congreso Internacional de Protección contra rayos. La Haya, 1093, Colaboración 3.2.