

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



PROTECCIÓN EN BAJA TENSIÓN CONTRA SOBRETENSIONES DE ORIGEN ATMOSFÉRICO

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

CARLOS MELÉNDEZ SANTILLÁN

**PROMOCIÓN
2006-I**

**LIMA – PERÚ
2010**

**PROTECCIÓN EN BAJA TENSIÓN CONTRA
SOBRETENSIONES DE ORIGEN ATMOSFÉRICO**

SUMARIO

Los sistemas de distribución eléctrica no han sufrido cambios importantes, mientras que el equipo eléctrico y electrónico ha llegado a ser mucho más sofisticado y sensible, identificándose a la actividad transitoria como la perturbación más común en causar interrupción o daños a las cargas críticas.

El presente informe muestra el origen, tipos, efectos y consecuencias en instalaciones de baja tensión debido a las sobretensiones provocadas principalmente por descargas atmosféricas. Hago mención a los principios de protección que se tienen en cuenta en la fabricación de equipos eléctricos y electrónicos, y hasta alguno de ellos ya incorporan ciertos dispositivos que se emplean en la fabricación de los supresores pero que muchas veces resultan insuficientes, principalmente ante transitorios de gran energía (de origen atmosférico).

Un supresor de transitorios de buena calidad limita la amplitud de las sobretensiones transitorias en todo momento, sin importar sus puntos de origen, a niveles que no son perjudiciales a las cargas eléctricas y electrónicas.

Aquí, enfoco el tema en la necesidad del uso de supresores como principal instrumento de protección, haciendo una descripción y a la vez mencionando las características y parámetros principales a tener en cuenta en la elección de un protector, así como las ventajas y desventajas de las tecnologías más utilizadas en la fabricación de estos dispositivos de supresión.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Alcance	3
1.3 Justificación	3
CAPÍTULO II	
LAS SOBRETENSIONES TRANSITORIAS	
2.1 Introducción	4
2.2 Las descargas atmosféricas	5
2.2.1 Introducción	5
2.2.2 Clasificación de rayos	6
2.2.3 Características	6
2.3 Tipos de sobretensiones transitorias atmosféricas	7
2.3.1 Sobretensiones transitorias por conducción	7
2.3.2 Sobretensiones transitorias por inducción	8
2.3.3 Sobretensiones transitorias debido al aumento de potencial de tierra	9
2.4 Principios de protección contra sobretensiones transitorias	11
2.4.1 Los principios de protección	11
2.4.2 Principio de coordinación de aislamiento	11
2.5 Impacto de las sobretensiones transitorias en instalaciones de BT	15
2.5.1 Efectos	15
2.5.2 Consecuencias	16
CAPÍTULO III	
PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRETENSIONES TRANSITORIAS	

MEDIANTE EL USO DE SUPRESORES

3.1	Introducción	17
3.2	Principio de operación	18
3.3	Categorías de ubicación	19
3.4	Clasificación de los supresores de acuerdo a la conexión con la carga	20
3.4.1	Protección en paralelo	20
3.4.2	Protección en serie	22
3.5	Modos de protección	23
3.5.1	Modo diferencial o simétrico	23
3.5.2	Modo común o asimétrico	24
3.6	Estandarización de ondas para la protección de sobretensiones transitorias	24

CAPÍTULO IV**DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS MÁS UTILIZADAS****EN LA FABRICACION DE SUPRESORES**

4.1	Introducción	25
4.2	Supresores con tecnología diodo	27
4.3	Supresores con tecnología varistor	29
4.4	Supresores con tecnología descarga de gas	31
4.5	Supresores con tecnología híbrida	32

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
---------------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA	36
---------------------	-----------

PRÓLOGO

Este informe fue realizado con el propósito de dar a conocer alternativas de protección que existen con los dispositivos protectores (supresores) contra las sobretensiones transitorias y mostrar las virtudes y deficiencias de las tecnologías más utilizadas en su fabricación, para ayudar a que el usuario tenga en cuenta ciertos puntos para la elección conveniente de el o los dispositivos de protección.

Estas perturbaciones transitorias que pueden parecer inofensivas y no se les presta interés, en realidad causan gran daño. Las sobretensiones transitorias representan un peligro para personas y destruyen a menudo instalaciones, aparatos eléctricos y electrónicos. Los daños no solo se limitan a las instalaciones industriales y profesionales sino que también se extienden a los aparatos de uso domestico. Sin ninguna medida de protección eficaz contra estas sobretensiones hay que calcular altos costos de mantenimiento, de reparación, adquisición nueva de los dispositivos afectados, pérdidas por paralización de la producción, etc. De esta manera es comprensible que las medidas de protección para evitar destrucciones debido a sobretensiones resulten interesantes e importantes.

Este informe lo desarrollé recopilando y cruzando información coincidente y redundante de textos, publicaciones, datos de fabricantes, investigaciones y páginas web, donde pude notar que en su mayoría se rigen en base a normas IEEE (principalmente la IEEE C62.41 y IEEE C62.45).

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las sobretensiones transitorias son picos de voltaje de grandes magnitudes con duración de nano a microsegundos de aparición aleatoria y bipolar en la onda senoidal. Estas sobretensiones causan graves daños a los equipos conectados a la línea, desde su envejecimiento precoz a incendios o destrucción del mismo.

Las líneas que ingresan alimentando y comunicando sistemas eléctricos e informáticos, pueden introducir también los efectos de las descargas atmosféricas. En las instalaciones eléctricas, las líneas de la red de distribución eléctrica y la red de telefonía son las más propensas a recibir y propagar estas sobretensiones, ya que tienen grandes longitudes de cables fuera de las construcciones (viviendas, edificios, industrias, estaciones de telecomunicación, etc.), formando una malla de interconexión entre todas las instalaciones.

Los supresores existen en una gran variedad de configuraciones de tensión de servicio y métodos de conexión y proporcionan distintos niveles de protección de acuerdo a las necesidades de cada aplicación. En los equipos o en redes de baja tensión o uso final, la necesidad del uso de supresores dependerá de una evaluación técnica objetiva del nivel de riesgo por sobretensiones transitorias a que pueda ser sometido dicho equipo o instalación. En tal evaluación técnica, se puede tener en cuenta entre otros factores, el uso de la instalación, la densidad de rayos a tierra, las condiciones climáticas de la zona, las personas que podrían someterse a una sobretensión y los equipos a proteger.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Contribuir a la realización previsible de un concepto de protección individual o coordinada en instalaciones nuevas, ampliaciones o renovaciones de equipos constituidos a base de componentes electrónicos (equipos sensibles), de tal manera, asegurar el normal funcionamiento de dichos equipos minimizando al máximo las sobretensiones transitorias que se puedan presentar debido a descargas atmosféricas, mediante el uso de dispositivos supresores de voltaje.

1.1.2 Objetivos específicos

- Conocer la magnitud y duración de las sobretensiones transitorias representativas que son de origen atmosférico, las cuales se pueden producir de manera directa o indirecta.
- Identificar y seleccionar dispositivos supresores adecuados que protejan en todo momento las cargas sensibles contra sobretensiones transitorias originadas por descargas atmosféricas.

1.2 Alcance

Este informe sobre protección contra sobretensiones transitorias pretende ser una útil herramienta para todos aquellos interesados que se vean implicados frente a la problemática de las sobretensiones transitorias principalmente de origen atmosférico y que necesiten, en consecuencia, conocer un poco más e incorporar en lo posible la mejor protección en baja tensión. El tema es amplio, por eso, este informe está centrado en el uso del supresor (TVSS - Transient Voltage Surge Supressor) como principal instrumento de defensa en instalaciones eléctricas sensibles o de riesgo, y en el análisis de las principales tecnologías utilizadas actualmente en la fabricación de estos dispositivos de protección.

1.3 Justificación

Las sobretensiones transitorias o más comúnmente llamados transitorios de voltaje son el fenómeno eléctrico no deseado que impacta más frecuentemente los equipos a base de componentes electrónicos. En nuestros días la industria esta en gran parte controlada por equipos o procesos automatizados en los cuales la electrónica esta muy presente.

Las sobretensiones inesperadas traen consigo consecuencias dramáticas para las instalaciones y cargas sensibles. Se presentan problemas como falla inexplicable de equipos, deterioro y perdida de datos, paralizaciones continuas de su red (datos, voz, comunicaciones, etc.), los costos asociados a estos posibles problemas pueden ser muy elevados, generando perdidas millonarias a quien las sufre. Los desperfectos causados por sobretensiones transitorias de mayor magnitud son de origen externo (descargas atmosféricas).

La electrónica susceptible a las sobretensiones transitorias puede ser protegida con supresores y esto es un paso más hacia la seguridad total de una instalación.

CAPÍTULO II

LAS SOBRETENSIONES TRANSITORIAS

2.1 Introducción

Las consecuencias finales en los receptores debido a las sobretensiones transitorias son el deterioro y la destrucción de los mismos. Estas sobretensiones pueden ser, además, peligrosas para las personas, ya sea de manera indirecta a partir de los materiales afectados (el mal funcionamiento o la destrucción de un equipo puede convertirse en un peligro para una persona: muerte por un incendio provocado por la caída de un rayo, aparatos enchufados a la red, etc.) o de manera directa (caída directa de un rayo, muerte por la caída de un rayo en la línea telefónica cuando una persona usaba el teléfono, etc.).

La presencia cada vez más frecuente de electrónica sensible otorga a los equipos una vulnerabilidad aumentada a las sobretensiones transitorias.

Una sobretensión es una onda o impulso de tensión que se superpone a la tensión nominal de la red (Figura 2.1), produciendo un gran aumento del valor eficaz de la tensión de la línea durante un período de tiempo muy corto.

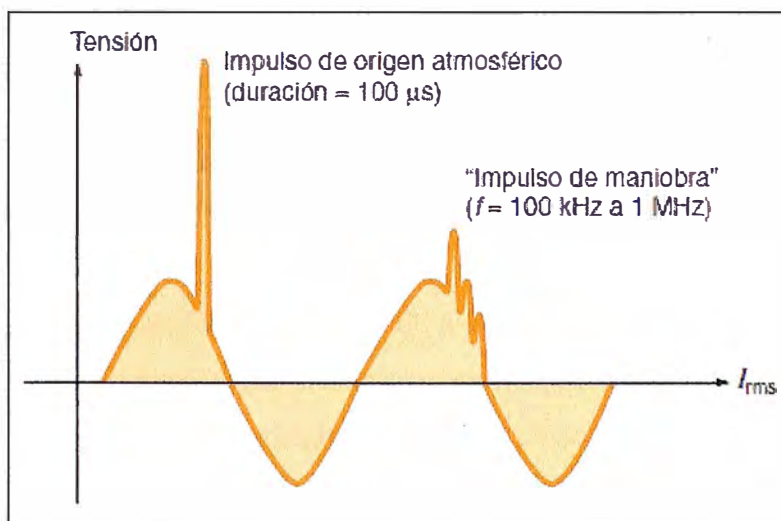


Figura 2.1. Ejemplos de sobretensión

Este tipo de sobretensión se caracteriza por lo siguiente (Figura 2.2):

- El tiempo de subida (t_f) se mide en μs .
- El gradiente S se mide en $\text{kA}/\mu\text{s}$.

Estos dos parámetros afectan al equipo y producen radiaciones electromagnéticas. Además, la duración de la sobretensión (T) produce un aumento de energía en los circuitos eléctricos que puede destruir el equipo.

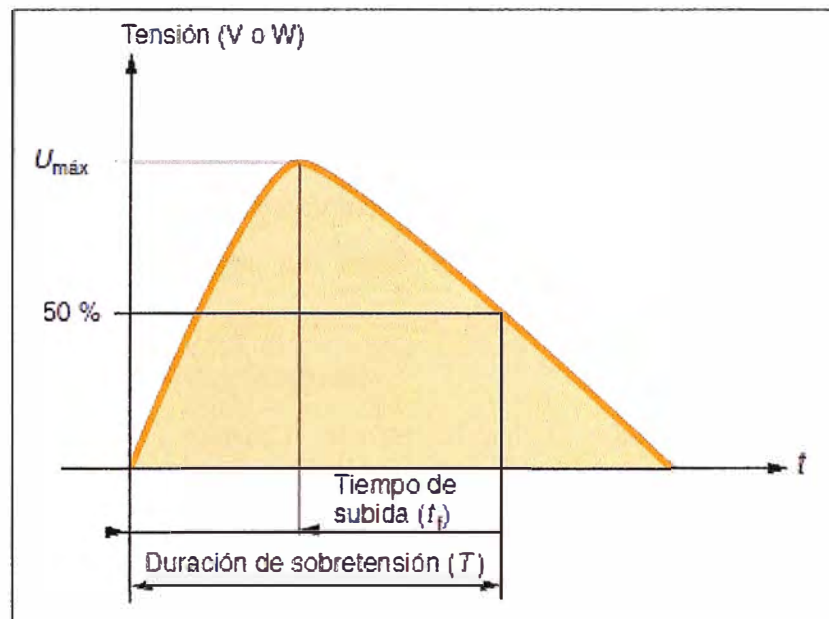


Figura 2.2. Principales características de la sobretensión

Las sobretensiones transitorias pueden tener tres orígenes bien diferenciados:

- Sobretensiones de maniobra sobre las redes.
- Sobretensiones debidas a descargas electrostáticas.
- Sobretensiones de origen atmosférico.

Estas últimas son las más nefastas para los equipos y las instalaciones eléctricas o electrónicas debido a importantes energías creadas en tiempos muy cortos. Pueden ser provocadas por un golpe de rayo directo sobre la red eléctrica o inducidas por inducciones o por subidas de tierra.

2.2 Las descargas atmosféricas

2.2.1 Introducción

La causa principal de los picos de voltaje de alta energía se encuentra en la caída de un rayo en las proximidades. Las cargas críticas son particularmente vulnerables a los picos de voltaje que se presentan en la red luego del impacto directo de un rayo sobre las propias líneas, torres o antenas, o aquellos picos que se producen en las propias instalaciones, ya que estas se comportan como antenas que captan la gran cantidad de energía radiada en forma de ondas electromagnéticas generadas por los rayos.

La caída de rayos y, por tanto, las sobretensiones transitorias de origen atmosférico representan un serio problema que se debe tener en cuenta.

2.2.2 Clasificación de rayos

Los rayos se clasifican según el sentido de su desplazamiento y la polaridad de la nube que se descarga.

a) Según la polaridad de la nube:

- Rayo negativo: cuando la nube está cargada negativamente y la tierra, positivamente. Los rayos negativos son muy frecuentes en lugares en los que el terreno es llano y el clima templado.
- Rayo positivo: cuando la nube está cargada positivamente y la tierra, negativamente. Estos rayos son muy extraños y peligrosos.

b) Según el sentido de desplazamiento:

- Rayo descendente: cuando el rayo se dirige de la nube al suelo. Este tipo de rayo es muy frecuente en climas cálidos y donde el terreno es muy llano.
- Rayo ascendente: cuando el rayo se dirige desde el suelo hasta la nube. Este tipo de rayo, mucho más destructivo que el anterior, se crea, especialmente, en lugares montañosos o donde existen prominencias importantes.

2.2.3 Características

Para poder conocer tanto la magnitud como la duración de estos impulsos, es conveniente ver algunos aspectos de la formación y caída de los rayos. Más del 90% de las descargas que se producen entre tierra y nube ocurren entre la tierra cargada positivamente y la nube cargada negativamente. Este tipo de descarga se caracteriza por tener un valor de pico de corriente que típicamente se encuentra alrededor de 30 KA (30.000Ampere), valores de pico de corriente que excedan los 130 KA son muy raros. Cerca del 75% de estos rayos exhiben varias descargas sucesivas, las cuales siguen a la descarga inicial después de unos 200 milisegundos. Mientras que un valor típico es de tres descargas, se han registrado hasta 20 descargas sucesivas.

Los rayos que se producen entre tierra cargada negativamente y nube cargada positivamente presentan una descarga única de alta energía cuyo pico de corriente puede llegar a ser hasta de 200KA.

Los tiempos de crecimiento de tensión y corriente varían entre 1 y 100 μ s (el tiempo de crecimiento es aquel en el cual un impulso pasa del 10% al 90% del valor máximo) para la primera descarga, y entre 0.1 y 1 μ s para descargas posteriores, mientras el tiempo de caída puede variar de 20 a 350 μ s para la descarga inicial y entre 5 y 50 μ s para las descargas siguientes (el tiempo de caída para el cual el impulso cae al 50% de su valor máximo).

Sumado a la gran corriente y energía del impulso, otro problema preocupante es la gran variación de la corriente con respecto del tiempo (dI/dT), lo cual puede producir excesivos valores de tensión debido a la inductancia que presentan los conductores de AC ($V=L*dI/dT$). Velocidades de crecimiento de la corriente tan grande como $10KA/\mu s$ para la descarga inicial del rayo, y un orden de magnitud mayor para las descargas siguientes, pueden ser observadas. También se han medido velocidades de crecimiento de la tensión de hasta $12 KV/\mu s$, siendo esta forma de onda caracterizada por un marcado crecimiento en el voltaje y un tiempo de caída alargado, en el cual, se disipa la energía del impulso.

Los impulsos pueden ingresar al sistema eléctrico de varias maneras. La más frecuente es la descarga directa, sin embargo mecanismos más sutiles como el acoplamiento conductivo, inductivo y capacitivo pueden permitir que las influencias destructivas de las descargas sean llevadas a las líneas de energía, de datos o a los sistemas locales de puesta a tierra, ubicados a algunos kilómetros de distancia del punto de impacto del rayo.

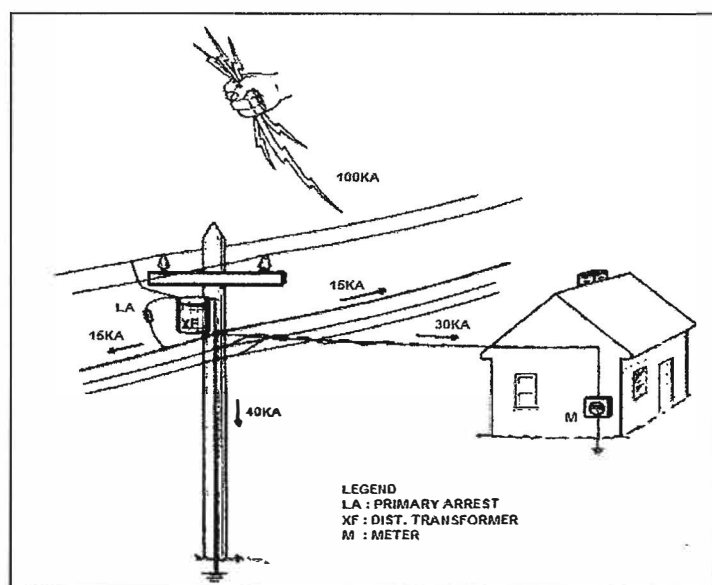


Figura 2.3 División de corriente asumida por una descarga de 100KA.

2.3 Tipos de sobretensiones transitorias atmosféricas

Se distinguen tres tipos de sobretensiones en función de la caída del rayo:

2.3.1 Sobretensiones transitorias por conducción

Durante un golpe de rayo directo sobre una línea de distribución de energía o de comunicaciones, se crea una onda de corriente que se propaga por ambas partes del punto de impacto y alcanzará todas las instalaciones distribuidas por la línea misma, incluso las que están localizadas a varios kilómetros de dicho punto. Estas corrientes son tan más destructoras en cuanto que la mayoría de la energía del golpe de rayo está "conducida" por la red.

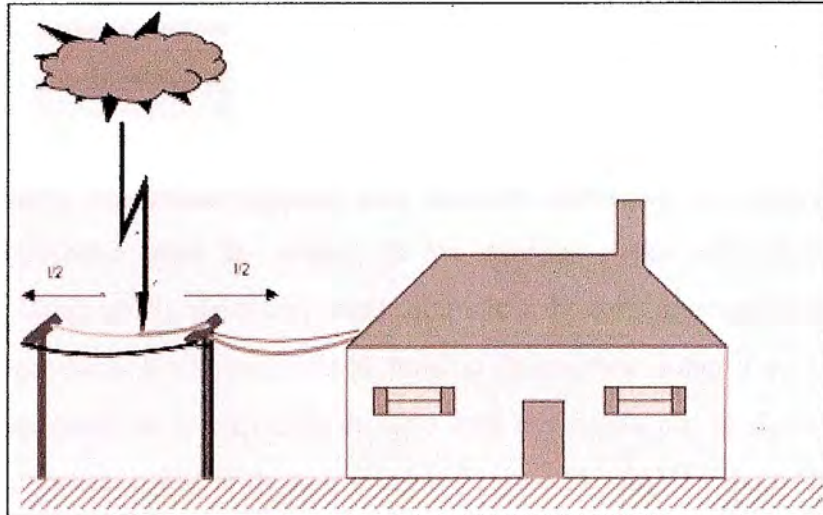


Figura 2.4 Sobretensiones por conducción

2.3.2 Sobretensiones transitorias por inducción

La caída de un rayo sobre un poste, árbol o irregularidad en el terreno será equivalente a una antena de gran longitud que emite un campo electromagnético muy elevado (Tabla 2.1). Todos los elementos metálicos localizados en un perímetro cercano se comportan como antenas que captan por "inducción" las bruscas variaciones de la expansión electromagnética inducida por el rayo. Sobretensiones y corrientes transitorias pueden aparecer sobre todos los equipos que están conectados y cuyos efectos son proporcionales a la potencia y a las cercanías del golpe de rayo. Aunque constituya un medio de protección contra el impacto directo del rayo, el aterramiento de las redes no constituye una garantía total de protección contra el rayo.

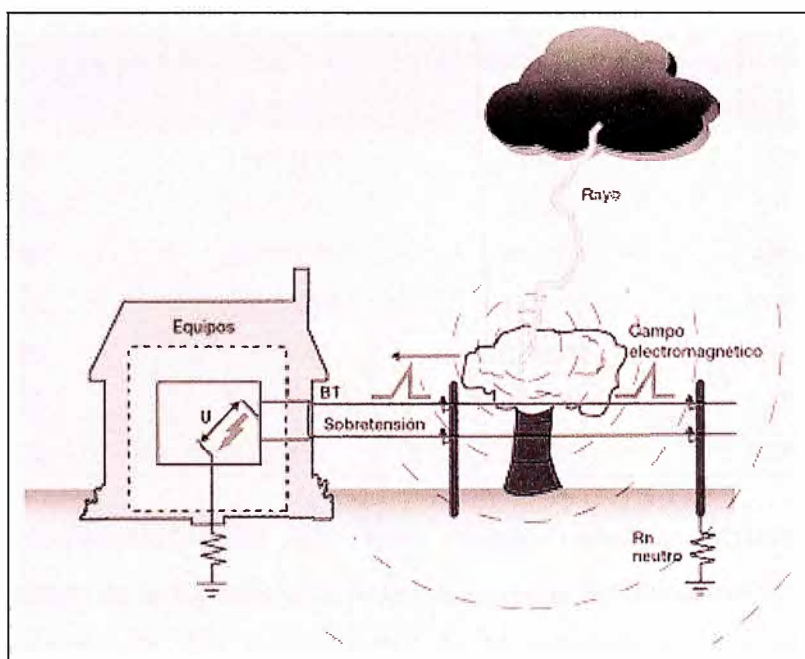


Figura 2.5 Sobretensiones por inducción.

2.3.3 Sobretensiones transitorias debido al aumento de potencial de tierra

La caída de un rayo sobre el terreno o en un pararrayos provoca una fuerte elevación del potencial de tierra en una zona de algunos kilómetros (si el rayo cae en un pararrayos, el potencial de tierra aumentará cuando éste dirija la corriente a tierra). Diferencias de potenciales aparecerán entre las masas de los equipos y las redes a las cuales están conectadas. El aumento de potencial puede inducir sobretensiones elevadas en los cables subterráneos y provocar la elevación de la tensión de las conexiones a tierra (Tabla 2.2).

Así como una parte de la corriente de rayo está despejada por la tierra del pararrayos, una proporción no despreciable de la corriente de rayo es también disipada hacia la tierra de la instalación bajo la forma de subidas de tierra.

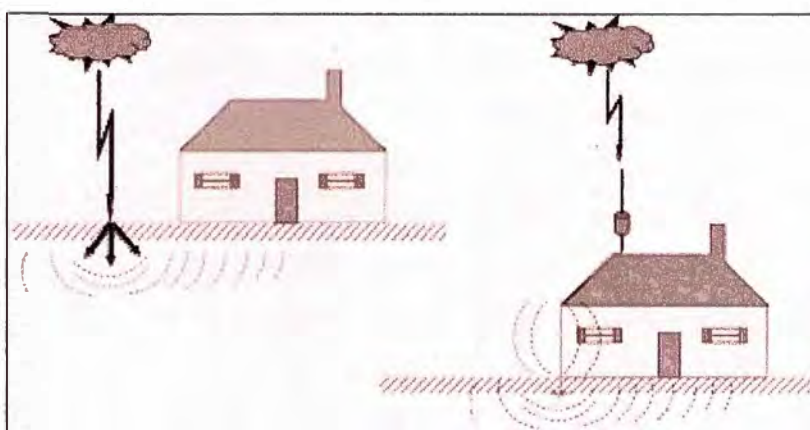


Figura 2.6 Sobretensiones debido al aumento de potencial de tierra.

Tabla 2.1 Campo magnético estático generado por el rayo (A/m), en función de la intensidad del rayo, medido a distintas distancias del punto de impacto

Pico de intensidad del rayo (kA)	Campo magnético estático generado por el rayo (A/m)		
	a 10m del rayo	a 100m del rayo	a 10km del rayo
10	$1.62 \cdot 10^2$	16.00	$16 \cdot 10^{-2}$
20	$3.22 \cdot 10^2$	32.00	$32 \cdot 10^{-2}$
30	$4.82 \cdot 10^2$	48.00	$48 \cdot 10^{-2}$
70	$1.12 \cdot 10^3$	$1.12 \cdot 10^2$	$112 \cdot 10^{-2}$
100	$1.62 \cdot 10^3$	$1.62 \cdot 10^2$	$162 \cdot 10^{-2}$
140	$2.22 \cdot 10^3$	$2.22 \cdot 10^2$	$222 \cdot 10^{-2}$
200	$3.2 \cdot 10^3$	$3.2 \cdot 10^2$	$320 \cdot 10^{-2}$

Dado que la conductividad del suelo tiene valores finitos, la corriente de descarga se distribuye por debajo de la superficie de la tierra en todas las direcciones, con zonas de alta conductividad que toman una mayor parte de la corriente y la transportan a largas distancias, hasta que se establece el equilibrio de potencial final en el suelo.

El efecto de protección de tierra depende, en gran parte, de la conductividad del suelo, pues cuanto mayor conductividad, mayor sobretensión en el suelo.

Tabla 2.2 Diferencia de potencial en el suelo producida por un rayo de 100kA con una resistividad del suelo de $1k\Omega.m$

Diferencia de potencial en V, kV o MV							
X en metros (distancia axial)							
Distancia D en metros	10	20	30	50	70	100	200
10	796 K	1,06 M	1,19 M	1,33 M	1,39 M	1,45 M	1,52 M
15	424 K	606 K	707 K	816 K	874 K	923 K	987 K
20	265 K	398 K	477 K	568 K	619 K	663 K	723 K
30	133 K	212 K	265 K	332 K	371 K	408 K	461 K
40	79,6 K	133 K	171 K	221 K	253 K	284 K	332 K
50	53,1 K	91,9 K	119 K	159 K	186 K	212 K	255 K
70	28,4 K	50,5 K	68,2 K	94,7 K	114 K	134 K	168 K
100	10,5 K	26,5 K	36,7 K	53,1 K	65,5 K	79,6 K	106 K
150	6,6 K	12,5 K	17,7 K	26,5 K	33,8 K	42,4 K	60,6 K
200	3,8 K	7,2 K	10,4 K	15,9 K	20,6 K	26,5 K	39,8 K
300	1,7 K	3,3 K	4,8 K	7,6 K	10,0 K	13,3 K	21,2 K
400	970	1,9 K	2,8 K	4,4 K	5,9 K	8,0 K	13,3 K
500	624	1,2 K	1,8 K	2,9 K	3,9 K	5,3 K	9,1 K
700	320	632	934	1,5 K	2,1 K	2,8 K	5,1 K
1 km	158	312	464	758	1,0 K	1,4 K	2,7 K
2 km	40	79	118	194	269	379	723
3 km	18	35	53	87	121	171	332
5 km	6	13	19	32	44	62	122
10 km	2	3	5	8	11	16	31

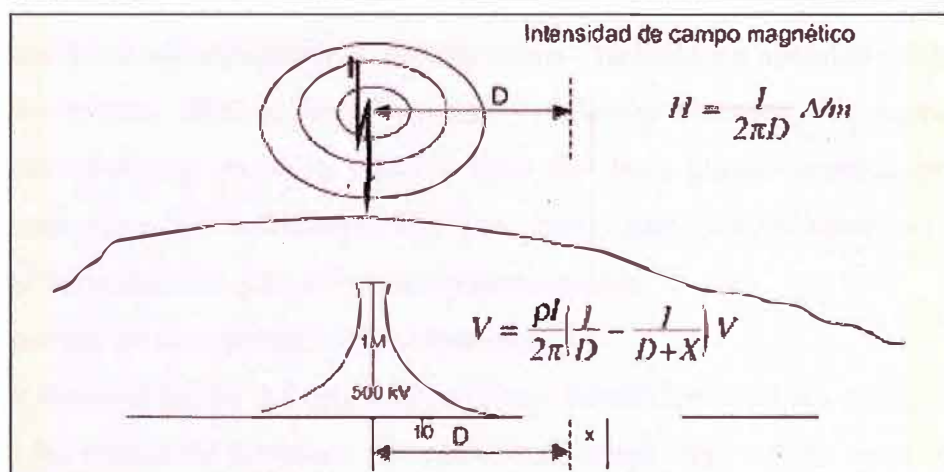


Figura 2.7 Cálculo de diferencias de potencial e intensidad de campo magnético.

2.4 Principios de protección contra sobretensiones transitorias

2.4.1 Los principios de protección

El nivel de sobretensión que puede soportar un material depende principalmente de la distancia de aislamiento. Esta denominación reagrupa dos nociones, una de la distancia en el gas (aire, SF₆, etc.) y la otra de la distancia de línea de fuga en los aislantes sólidos.

Estas dos distancias están directamente ligadas al afán de protección contra las sobretensiones, pero sus tensiones soportadas no son idénticas.

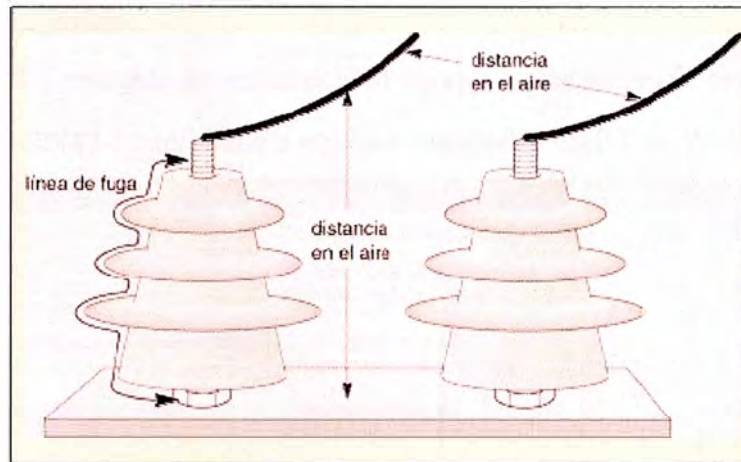


Figura 2.8 Distancia en el aire y línea de fuga.

a) Distancia de aislamiento en el aire

La distancia de aislamiento es la más corta entre dos conductores. Esta distancia, en el aire, es muy importante en el fenómeno de descargas. El riesgo de cebado depende de la tensión aplicada y/o del grado de contaminación (ver Tabla 2.3). Por esta razón, los aparatos eléctricos deben cumplir ciertas normas que definen, especialmente, categorías de sobretensiones y grados de contaminación.

b) Longitud de línea de fuga

La línea de fuga es la distancia más corta a lo largo de la superficie de un material aislante entre dos partes conductoras. En este campo, también los aparatos eléctricos deben cumplir las normas. Sin embargo, en una instalación eléctrica, las especificaciones constructivas (distancia de aislamiento y línea de fuga) pueden resultar insuficientes, especialmente para los receptores. Es, por tanto, muy conveniente el empleo de dispositivos de protección que se describe posteriormente.

2.4.2 Principio de coordinación de aislamiento

Estudiar la coordinación del aislamiento de una instalación eléctrica consiste en definir, a partir de los niveles de tensiones susceptibles de presentarse en esta instalación, uno o más niveles de protección contra las sobretensiones transitorias.

El nivel de protección se deduce de las condiciones:

- De la instalación.
- Del ambiente.
- De la utilización del material.

El estudio de estas condiciones permite determinar el nivel de sobretensión que podrá soportar el material durante su utilización. La elección del nivel de aislamiento adoptado permitirá asegurar que, frente a los choques de maniobra, al menos el nivel de aislamiento no será nunca sobrepasado.

Tabla 2.3 Tensiones de resistencia al choque y distancias de aislamiento
(IEC 60947-1) aplicable a equipos instalados en BT de 230/400V

Nivel de contaminación	Norma de construcción	A	B	C	D
	Tensión de aguante al choque (kV)	1.5	2.5	4	6
	Tensión de prueba a nivel del mar (kV) para una onda 1.2/50us	1.8	2.9	4.9	7.4
1.- Sin contaminación o únicamente contaminación seca no conductora	Distancia mínima de aislamiento en el aire (mm)	0.5	1.5	3	5.5
2.- Presencia normal de contaminación no conductora	Distancia mínima de aislamiento en el aire (mm)	0.5	1.5	3	5.5
3.- Presencia de contaminación conductora	Distancia mínima de aislamiento en el aire (mm)	0.8	1.5	3	5.5
4.- Conductividad permanente y elevada originada por la contaminación (polvo conductor, agua o nieve)	Distancia mínima de aislamiento en el aire (mm)	1.6	1.6	3	5.5
A: Para materiales conectados a circuitos en los cuales se toman medidas para limitar las sobretensiones transitorias a un nivel débil B: Para materiales que consumen energía, alimentados a partir de una instalación fija C: Para materiales de las instalaciones fijas, cuando la fiabilidad y la disponibilidad del material son objeto de especificaciones particulares D: Para materiales utilizados en el origen de la instalación					

a) Niveles básicos del aislamiento en BT

Los materiales deben elegirse de manera que su tensión nominal de ensayo a los choques sea al menos igual al valor de las sobretensiones presuntas en el lugar de su instalación, así, tenemos los niveles de aislamiento básico contemplados en la Tabla 2.3.

Ahora, frente a la caída del rayo, un compromiso deberá, generalmente, realizarse entre el nivel de protección y el riesgo de fallo admisible.

Se puede establecer una clasificación de tres niveles de protección contra los efectos de los rayos (directos como indirectos), los efectos de las sobretensiones de maniobra y las descargas electrostáticas: nivel primario, nivel secundario y nivel terciario.

b) Protección primaria

El nivel primario está constituido por los sistemas de pararrayos, terminales aéreos, estructuras metálicas, blindajes y tomas de tierra, y sería el encargado de captar el rayo, derivarlo y dispersarlo a tierra.

El principio se basa en una zona de protección determinada por una estructura más elevada que el resto. Existen tres grandes tipos de protección primaria:

- **Los pararrayos:** Son la forma más conocida de protección primaria contra rayos y son utilizados en edificios tanques de almacenamiento de combustibles, almacenes de explosivos, etc. Además, deben utilizarse si el edificio alberga un número elevado de personas, o materiales, instalaciones y equipos sensibles teniendo en cuenta la densidad de tormentas en la zona.

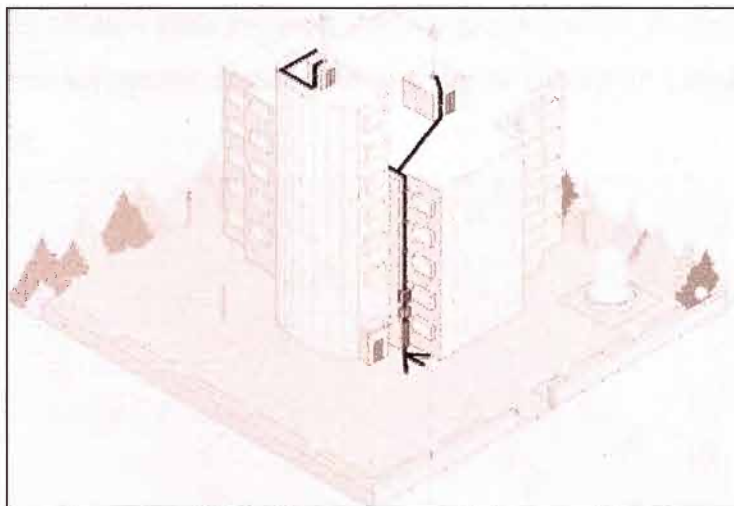


Figura 2.9 Pararrayos sobre un edificio.

- **Los tendidos aéreos:** Protección formada por uno o múltiples conductores aéreos situados sobre la estructura que se debe proteger. Los conductores se deberán unir a tierra mediante las bajantes en cada uno de sus extremos. El área protegida vendrá dada por el área formada por el conjunto de conductores aéreos. Se aplican principalmente por encima de líneas de alta tensión.

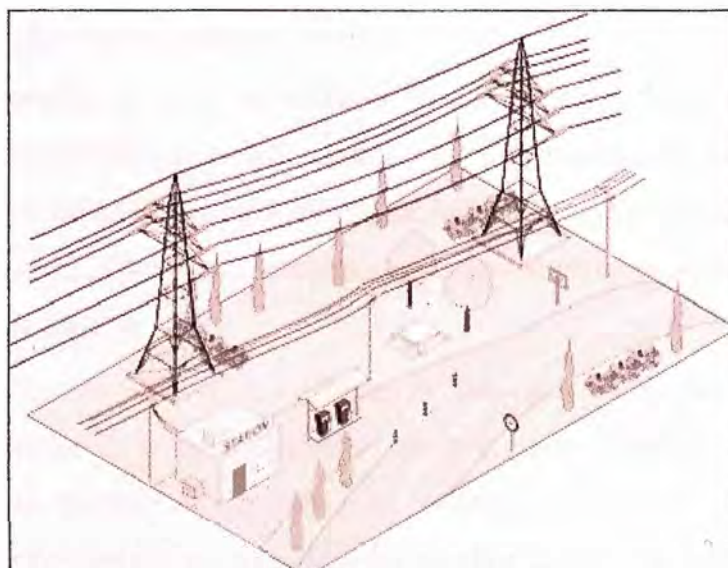


Figura 2.10 Tendido aéreo.

- **La caja mallada de Farada:** Este sistema consiste en multiplicar las líneas de descenso por el exterior de manera simétrica realizando uniones horizontales cuando el edificio es alto. El resultado consiste en obtener las mallas de 15x15m o 10x10m.

El efecto obtenido es una mejor equipotencialidad del edificio y la división de las corrientes de rayo, reduciendo así fuertemente los campos y las inducciones electromagnéticas. Es el sistema pasivo de protección externa que da mayores garantías. Es óptimo para proteger edificios con índices de riesgo muy elevados, muy sensibles informáticamente o en los que se fabriquen circuitos integrados por citar algunos.

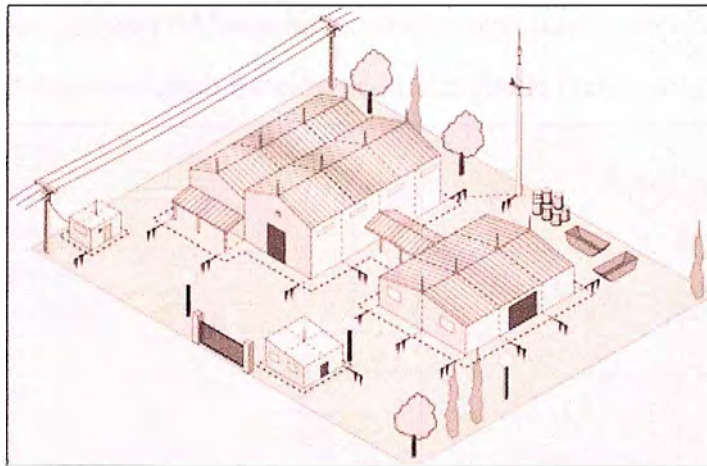


Figura 2.11 Caja mallada de Faraday.

c) Protección secundaria

El nivel secundario sería el necesario para la alimentación del equipo o sistema, en él se limitan las sobretensiones debidas a la caída indirecta de un rayo, a sobretensiones de maniobra o a descargas electrostáticas.

Su principio consiste en crear un circuito de derivación a tierra, permitiendo así la descarga de la corriente del rayo por conducción. Los supresores son dispositivos que pueden cumplir esta función, en la práctica tienen dos efectos: limitar la tensión de choque (protecciones paralelas), o limitar la potencia que se transmite (protecciones serie).

d) Protección terciaria

El nivel terciario se relaciona con las líneas de datos y transmisión, tarjetas de circuito impreso y componentes electrónicos, llamados también protección fina.

Obviamente, una protección óptima será aquella que posea los tres niveles de protección, aunque no siempre es necesario. En muchos casos, con la combinación de dos de ellos, se obtiene una protección satisfactoria.

- Aumento instantáneo del voltaje neutro-tierra. (funcionamiento errático de equipos electrónicos por pérdida de referencia).
- Envejecimiento de cables.
- Deterioro de los aislamientos.

2.5.2 Consecuencias

Las sobretensiones transitorias no controladas pueden y causarán daño al equipo electrónico sensible. Estos transitorios provocan:

- Altos costos de mantenimiento.
- Altos costos de producción.
- Retrasos de producción.
- Retrasos en los tiempos de entrega.
- Pérdida de datos.
- Pérdida total de los equipos.

CAPÍTULO III

PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRETENSIONES TRANSITORIAS MEDIANTE EL USO DE SUPRESORES

3.1 Introducción

Se dispone de poca información respecto a la estabilidad de los componentes en el momento en el que soportan sobretensiones. Sin embargo se conoce, generalmente, que la mayoría de los dispositivos de estado sólido no deben de estar sometidos a sobretensiones, aunque sean de corta duración, si éstas exceden incluso ligeramente los picos de sobretensión que se presentan durante el funcionamiento normal del equipo.

Las sobretensiones transitorias pueden originarse por maniobras de conexión o desconexión, descargas atmosféricas y descargas electrostáticas. Los transitorios eléctricos más severos son los ocasionados por las descargas atmosféricas. Las cargas sensibles empleadas en hospitales, estaciones de telecomunicaciones, centros de cómputo, en los controles industriales, etc. son más susceptibles a estos disturbios.

La Figura 3.1 muestra una sobretensión transitoria ocasionada por la conexión de un capacitor en un tomacorriente.

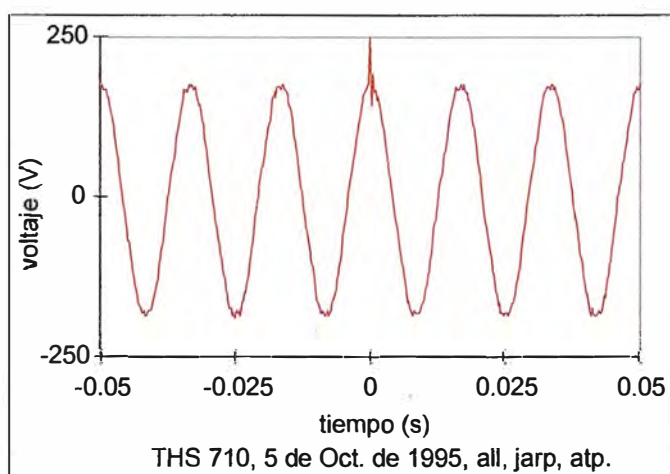


Figura 3.1 Sobretensión transitoria.

Existen varios componentes encargados de limitar o suprimir las sobretensiones transitorias. Ciertos dispositivos utilizados en la fabricación de aparatos de protección contra las sobretensiones están ya muchas veces incluidos en los aparatos de BT,

especialmente, en los aparatos electrónicos, pero a la vez, pueden ser insuficientes. De ahí la necesidad del uso de supresores de sobretensiones transitorias, estos protegen al equipo electrónico sensible. El equipo electromagnético tolera sobretensiones transitorias hasta que su aislamiento se perfora, en cambio, el equipo electrónico sensible puede dejar de funcionar o funcionar erráticamente antes de que ocurra daño visible.

3.2 Principio de operación

Los supresores de sobretensiones transitorias son conocidos como supresores de picos. La acción de estos protectores es la de recortar los picos de voltajes transitorios, drenando corriente en el caso de los tipo paralelo, presentando una impedancia serie grande en el caso de los tipo serie. Cuando el voltaje debido al disturbio excede cierto valor, el dispositivo de protección permite el paso de la corriente ocasionando una caída de potencial en la impedancia de la fuente. La Figura 3.2 ilustra la forma en que un dispositivo sujetador de tensión lleva a cabo su labor de protección. En la parte superior izquierda se presenta la forma de la tensión de circuito abierto, si ni el supresor ni alguna carga estuvieran presentes. En la parte superior derecha se muestra la característica tensión-corriente del supresor y las líneas tensión-corriente correspondientes a la impedancia transitoria (surge impedance) por donde se aproxima el disturbio. La intersección con el eje vertical son los voltajes de circuito abierto (sin supresor) mientras que la intersección con el eje horizontal es la corriente de corto circuito, esto es, la corriente que habría si se presentara un corto a la fuente del disturbio (un supresor que limita a voltaje cero). La tensión y la corriente resultantes son la intersección de estas dos características $v-i$, la del supresor y la de la fuente. En la parte inferior derecha aparece la tensión resultante cuando se tiene el supresor. Esta tensión resultante depende de dos impedancias:

- a) La del supresor en la zona de conducción.
- b) La de la fuente. Cabe recalcar que las fuentes de impulsos empleadas para probar los supresores categoría C tienen una impedancia menor que las de las fuentes empleadas para probar los de categorías A y B. También cabe mencionar que los supresores categoría C tienen mayor capacidad de corriente.

Para especificar un TVSS, se debe tener en cuenta:

- Clase o categoría.
- Tensión nominal.
- Tiempos de operación.

- Corriente de cortocircuito.
- Ambiente.

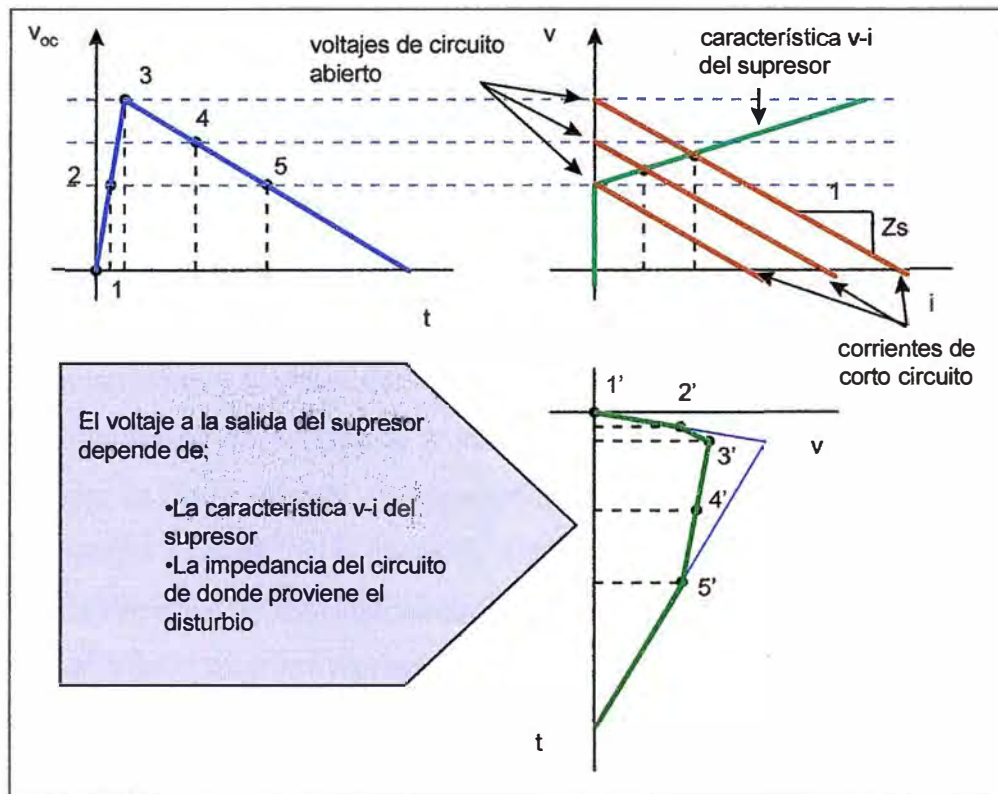


Figura 3.2 Sujeción de sobretensiones transitorias

3.3 Categorías de ubicación

Los supresores de sobretensiones transitorias también se pueden clasificar de acuerdo a su ubicación, de acuerdo a las categorías A, B y C. La Figura 3.3 ilustra la ubicación de las tres categorías.

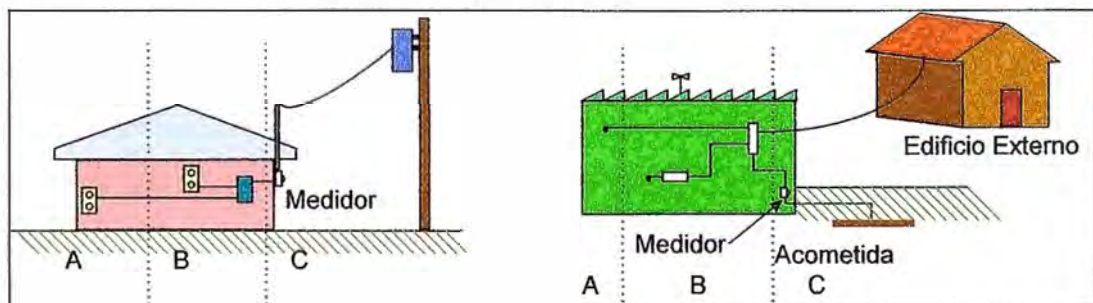


Figura 3.3 Ubicación de los supresores

La categoría C corresponde a las siguientes ubicaciones:

- Instalación exterior y acometida.
- Circuitos que van del medidor al medio de desconexión principal.
- Cables del poste al medidor.
- Líneas aéreas a edificios externos.

- Líneas subterráneas para bombas.

La categoría B corresponde a las ubicaciones siguientes:

- Alimentadores y circuitos derivados cortos.
- Tableros de distribución.
- Barrajes y alimentadores en plantas industriales.
- Tomacorrientes para aparatos grandes con cableados cercanos a la acometida.
- Sistemas de iluminación en edificios comerciales.

La categoría A corresponde a las ubicaciones siguientes:

- Tomacorrientes y circuitos derivados largos.

Esta clasificación es el resultado de un compromiso entre dos extremos:

- Proteger en forma sobrada sin importar la inversión inicial.
- No proteger evitando así la inversión inicial.

Entre estos extremos, el estándar recomienda que los protectores de categoría C deben ser capaces de tolerar mayores corrientes que los de categoría B, mientras que el B debe soportar mayores corrientes que los de categoría A. Es por esto que, en general, los de categoría C son más robustos y más costosos. La clasificación también sugiere que los de categoría A tengan un voltaje de sujeción menor, de esta manera los de clase B y C se encargan de manejar altas energías y los de categoría A se encargan de restringir las excursiones de la sobretensión transitoria para evitar disturbios en la operación del equipo sensible.

3.4 Clasificación de los supresores de acuerdo a la conexión con la carga

La conexión de los supresores puede ser en paralelo o en serie con la carga que protegen, siendo la conexión en paralelo la más utilizada actualmente.

3.4.1 Protección en paralelo

El tamaño de los supresores en paralelo no depende del tamaño de la carga, sino de su cercanía a la acometida y de la corriente que pueden conducir al realizar su labor de limitar las sobretensiones transitorias.

La filosofía general de funcionamiento de este tipo de protección es:

- En condiciones normales, los elementos presentan una impedancia muy alta para no alterar con su presencia el normal funcionamiento de la línea.
- Al alcanzar un nivel de tensión mayor que la tensión nominal de red, el dispositivo de protección pasa a tener una baja impedancia y deriva a tierra.

Las características principales de la protección en paralelo son las siguientes:

- La tensión nominal de alimentación de la protección debe obtenerse de los bornes de la instalación.
- En ausencia de sobretensión, ninguna corriente de fuga debe circular a través de la protección, que siempre está en posición de vigilancia.
- Cuando aparece una sobretensión que sobrepasa la tensión admisible para la instalación que se debe proteger, la protección conduce fuertemente la corriente hacia tierra, limitando la tensión al nivel de protección deseado (U_p).
- Cuando desaparece la sobretensión, la protección deja de actuar y se coloca en estado de vigilancia sin mantener la corriente (aunque se denomine corriente de seguimiento).

Los dispositivos paralelo se pueden clasificar a su vez en dos tipos:

- Sujetadores de tensión, “voltage clamping devices”. El dispositivo empieza a conducir cuando la tensión sobrepasa el valor del nivel de ruptura y recuperan el estado de circuito abierto cuando el voltaje disminuye por debajo de dicho valor.
- Dispositivos de arco, “crowbar devices”. El dispositivo empieza a conducir cuando la tensión sobrepasa el valor del voltaje de arco y la corriente sobrepasa el valor de disparo, una vez en conducción el voltaje en terminales cae repentinamente a ese voltaje de arco y se mantiene casi constante.

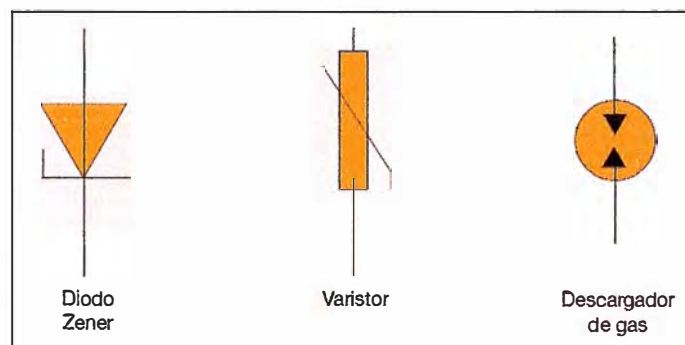


Figura 3.4 Simbología de dispositivos de protección

Entre los dispositivos sujetadores de tensión se tienen los siguientes:

- MOV (varistor de óxido metálico).
- Celdas de selenio.
- Diodos de avalancha, protectores zener.

La Figura 3.5.a) muestra la característica corriente-tensión de un supresor zener con voltaje de ruptura nominal de 15V a 1mA, obsérvese que la corriente es casi cero cuando el voltaje en terminales del supresor es inferior a 15V y la corriente crece rápidamente cuando el voltaje excede un valor cercano al nominal.

La Figura 3.5.b) corresponde a la característica corriente-tensión de un MOV de 150Vrms, la corriente es prácticamente cero para voltajes inferiores a 260V y para voltajes superiores la corriente crece rápidamente.

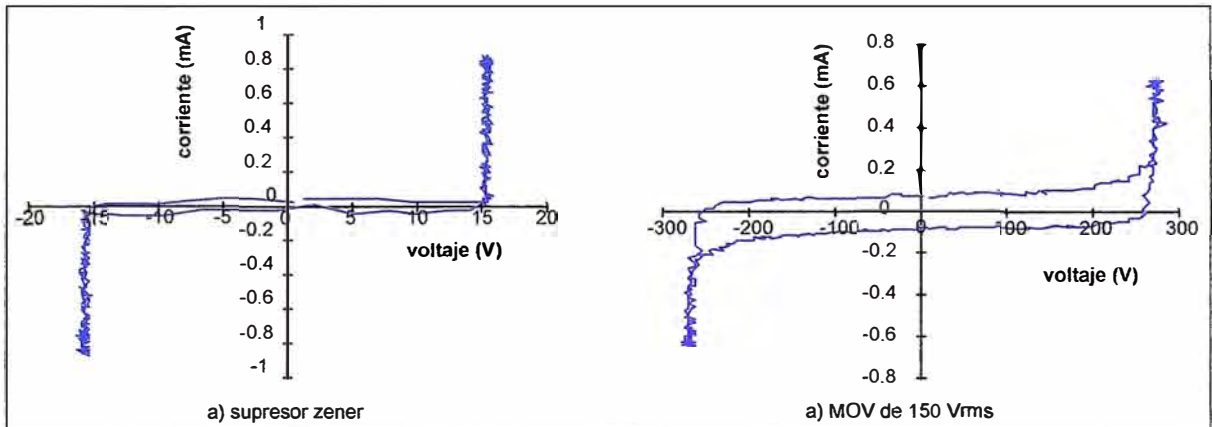


Figura 3.5 Característica I-V de un supresor zener bipolar y de un MOV de 150 Vrms

Entre los dispositivos de arco se encuentran los siguientes:

- Tubos de gas.
- Puntas de carbón con separación pequeña.
- Tiristores.

La Figura 3.6 muestra la característica corriente-tensión de un tubo de gas, el voltaje de arco es de 60V; pero el voltaje en terminales debe llegar a casi 100V para que entre en conducción, cuando el voltaje cae por debajo de 60V la corriente se hace cero.

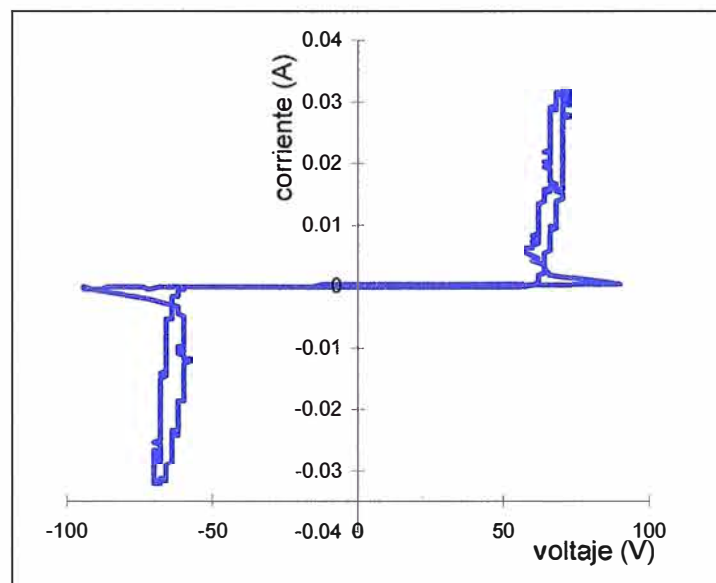


Figura 3.6 Característica I-V de un tubo de gas

3.4.2 Protección en serie

Los supresores serie utilizan elementos de protección como los utilizados en los protectores paralelo, pero incorporan un inductor o un resistor serie, debido a esto pueden

limitar mucho mejor las sobretensiones transitorias. Los elementos serie deben ser capaces de conducir la misma corriente que la carga, de ahí que las dimensiones y el costo de éstos sean dependientes de la carga.

3.5 Modos de protección

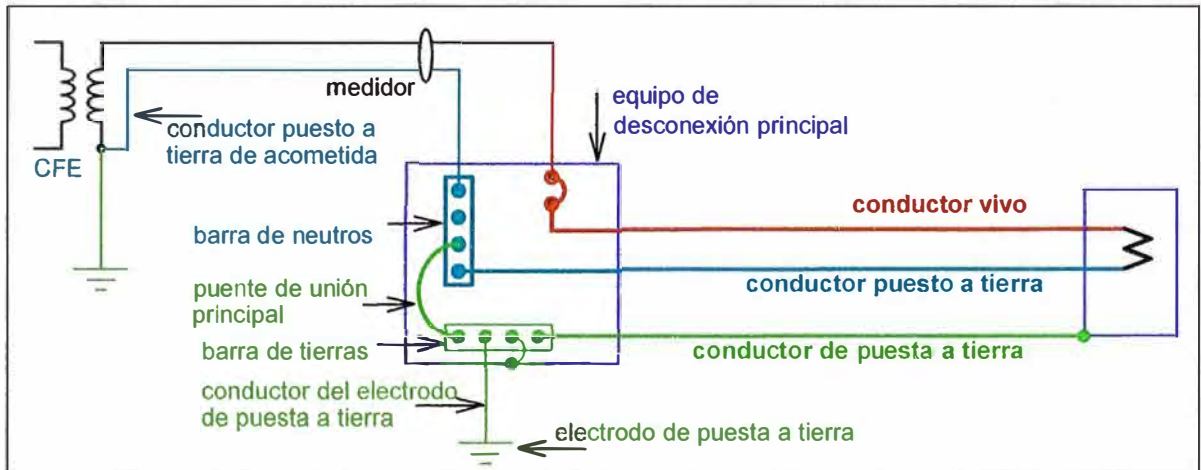


Figura 3.7 Alimentación monofásica: vivo, neutro y tierra

Consideremos un suministro monofásico de 230Vrms, 60 Hz, como el mostrado en la Figura 3.7, los conductores que normalmente llevan corriente son el vivo y el neutro. El conductor de puesta a tierra no lleva corriente sino bajo condiciones de falla o cuando hay errores de alambrado.

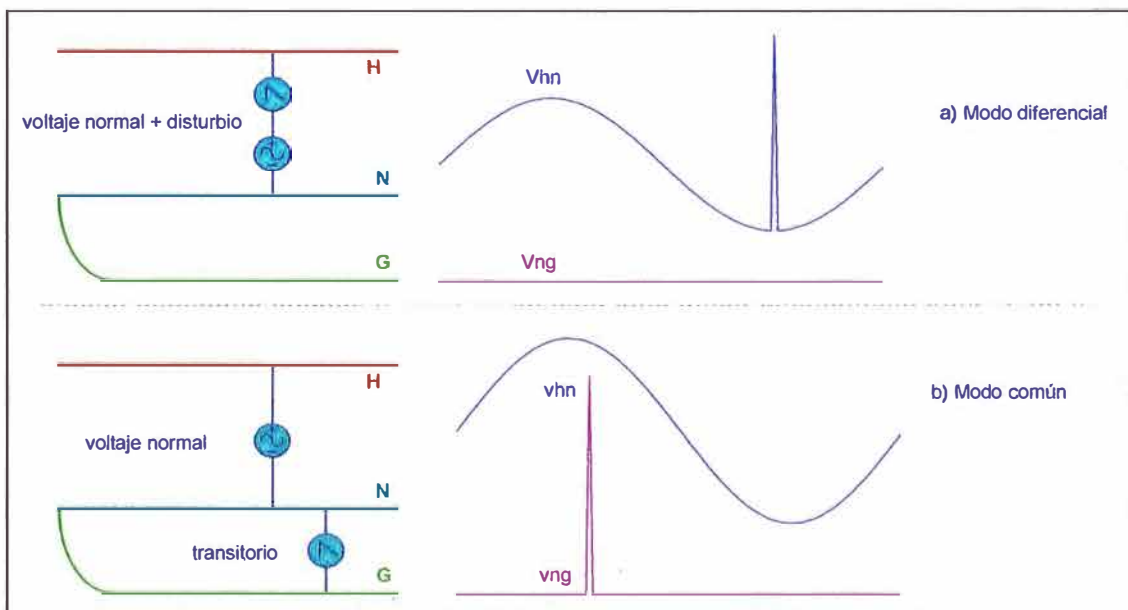


Figura 3.8 Transitorios de modo diferencial y de modo común

3.5.1 Modo diferencial o simétrico

La presencia de perturbaciones entre conductores activos (fase-neutro) son particularmente peligrosos para los equipos electrónicos y los materiales sensibles de tipo informático. La Figura 3.8.a) muestra un transitorio de modo diferencial. El modo

diferencial se hace presente entre los dos conductores que normalmente llevan corriente; en este caso esto corresponde a un transitorio entre vivo y neutro (o línea y neutro). El voltaje entre neutro y tierra no presenta transitorio alguno.

3.5.2 Modo común o asimétrico

Las perturbaciones entre un conductor activo y el de tierra (fase/tierra o neutro/tierra) son peligrosos para los aparatos en los que la masa está conectada a la tierra, debido a los riesgos de ruptura de la rigidez dieléctrica de los materiales. La Figura 3.8.b) ilustra un transitorio de modo común. Ahora los dos conductores del circuito, el vivo y el neutro se desplazan con respecto al conductor de puesta a tierra.

3.6 Estandarización de ondas para la protección de sobretensiones transitorias

La industria de supresión de transitorios ha adoptado el documento IEEE C62.41-1991 de la Sociedad de Ingeniería de Potencia del IEEE, como la norma para someter a pruebas a los supresores de transitorios. Esta guía sugiere formas de onda de tensión y corriente las cuales son las más representativas que se pueden utilizar para someter a pruebas a los dispositivos de supresión.

T_s	Rise time in μs	Frequently used T_s/T_r ratios:	
T_r	Decay time to half value in μs	Surge currents	Surge voltages
O_1	Nominal start	4/10 μs	1.2/50 μs
I_m	Peak value	8/20 μs	10/700 μs
		10/350 μs	
		10/1000 μs	

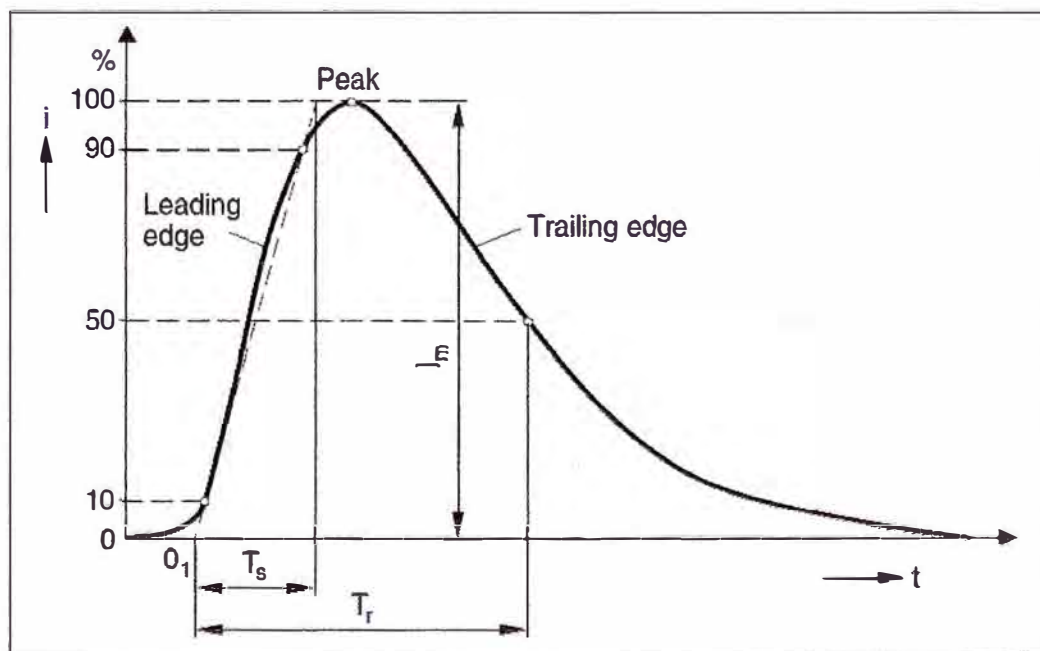


Figura 3.9 Formas de ondas estándar

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS MÁS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE SUPRESORES

4.1 Introducción

No importa si las sobretensiones son generadas por la actividad atmosférica (que son las de mayor intensidad), un dispositivo supresor de buena calidad tiene la única función de proteger el equipo electrónico sensible contra sobretensiones transitorias que se presentan de manera directa o indirecta en los circuitos de potencia de AC.

Las principales características de desempeño con las que debe contar son:

- Tiempo de respuesta
- Nivel de tensión de protección (U_p)
- Disipación de potencia
- Operación libre de disturbios
- Confiabilidad
- Vida

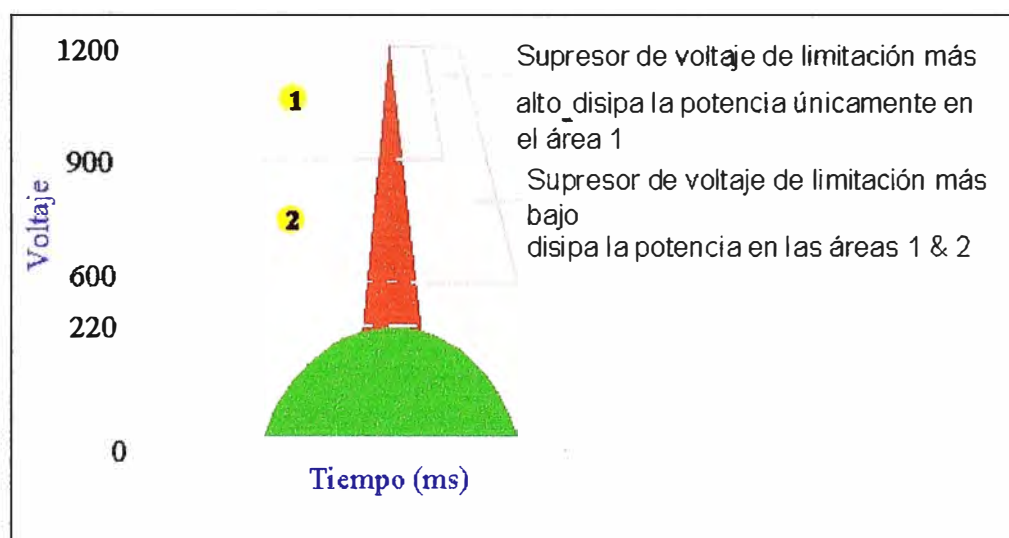


Figura 4.1 Comparación de disipación de potencia

Las sobretensiones transitorias son estandarizadas por diferentes formas de onda. La forma de onda del IEEE utilizada con más frecuencia para realizar pruebas es la onda combinada la cual está caracterizada por formas de onda de tensión en circuito abierto

(1.2/50 μ s) y corriente de cortocircuito (8/20 μ s), las cuales son de corta duración y alta frecuencia que típicamente son utilizadas para simular la actividad transitoria inducida por descargas atmosféricas. El impulso de prueba de corriente de mayor duración, energía y menor frecuencia (10/1000 μ s) es recomendado para simular la actividad transitoria distinta a los rayos. Los supresores de transitorios, sin importar su tecnología, deben estar sometidos a pruebas con las formas de onda de corta y larga duración para asegurar su buen funcionamiento.

Para someter a pruebas un supresor mediante una onda combinada se tiene:

- Se conecta a un circuito abierto para luego someterlo a un impulso de tensión que sube al 90% de su amplitud pico en 1.2 μ s y luego cae al 50% de dicho valor después de 50 μ s (Figura 4.2).
- Generando un impulso de corriente que llega a su valor máximo en 8 μ s y baja al 50% en 20 μ s, es pasado a un cortocircuito donde el supresor está conectado.

El supresor disipara aproximadamente 50 veces más potencia con la prueba de forma de onda 10/1000 μ s que con la de 8/20 μ s (Figura 4.3).

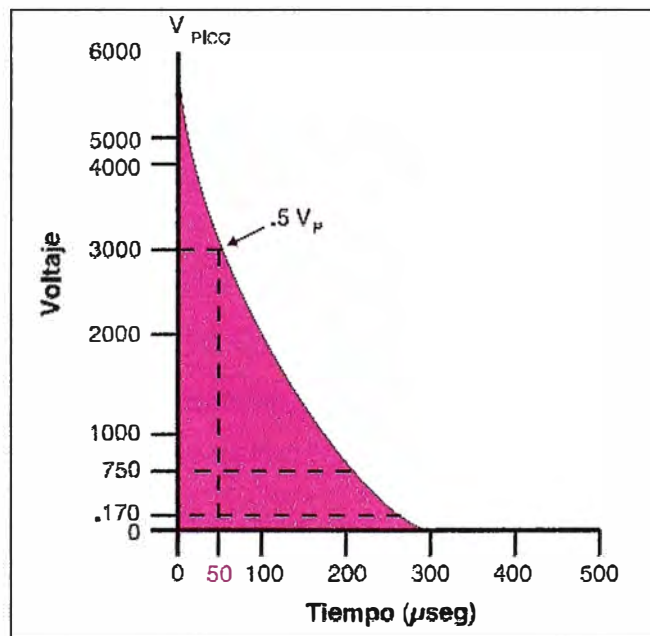


Figura 4.2 Forma de onda de prueba de laboratorio 1.2/50 μ s

Los niveles reales de tensión y corriente son seleccionados en referencia a la ubicación dentro del sistema de distribución eléctrica donde el supresor va a ser utilizado.

Es necesario hacer mención a los impulsos de larga duración para darle al usuario del supresor una idea clara de cómo va a funcionar cuando tenga que suprimir actividades transitorias que fatigan más al supresor, además de poder realizar una comparación más acorde de las tecnologías utilizadas en los supresores de sobretensiones.

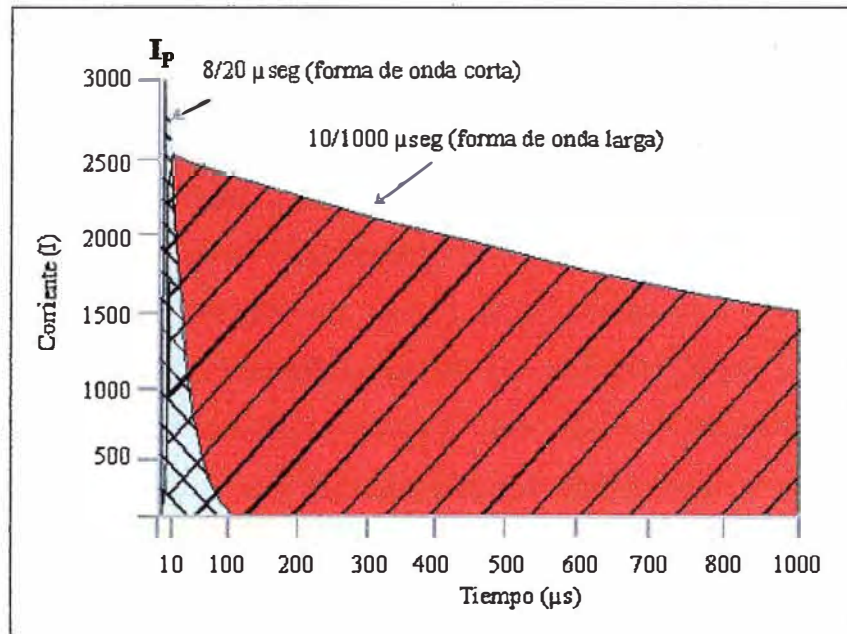


Figura 4.3 Forma de onda de prueba de laboratorio 8/20µs y 10/1000µs

Los fabricantes de supresores utilizan diferentes tecnologías, dentro de los cuales los más utilizados son los diodos supresores de avalancha de silicio (SASDs), los varistores de óxido de metal (MOVs), los tubos de descarga de gas (GDTs), o combinaciones de estos. Por lo tanto, resulta de interés ver comparaciones de las tecnologías.

4.2 Supresores con tecnología diodo

Los dispositivos llamados Diodos Supresores de Avalancha de Silicio (SASDs) son verdaderos semiconductores de estado sólido. Los supresores de transitorios fabricados con diodos no están afectados por limitaciones de voltaje de protección y su corriente de fuga es extremadamente baja (del orden de μA), proporcionan un tiempo de respuesta más rápido, un nivel de fijación más bajo, combinado con una vida útil muy larga en comparación con los MOVs y los GDTs. Las sobretensiones transitorias se caracterizan por su tiempo de subida muy rápido, entonces, un supresor debe responder de igual forma como para evitar que estas sobretensiones lleguen a un nivel lo suficientemente alto como para degradar a los componentes electrónicos o interrumpir la operación de los equipos. Teóricamente su tiempo de respuesta a la actividad transitoria es del orden de los picosegundos, pudiendo llegar a niveles de nanosegundos por la inductancia introducida en el circuito de supresión con los terminales de los componentes y empalmes, por lo tanto, probablemente un supresor de transitorios fabricado con SASDs muestre un tiempo de respuesta dentro del circuito de 5 nanosegundos a menos.

Las aplicaciones de los SASDs son muy similares a la de los MOVs, pero hay que tener cuidado ya que si usáramos un diodo unidireccional en una línea de corriente alterna

provocaríamos un corto circuito con la posible rotura tanto del diodo como cualquier parte del resto del circuito.

El diseño correcto de un equipo supresor de transitorios de calidad debe suprimir tan cerca como sea posible al valor de tensión pico de la onda senoidal AC, aún cuando disipa niveles extremadamente altos de energía transitoria (provocados principalmente por rayos). Esto representa un problema para esta tecnología ya que los diodos individualmente no pueden disipar mucha energía. La alternativa de solución para obtener un buen supresor de transitorios fabricado con SASDs, radica en incorporar suficientes diodos como para manejar las corrientes transitorias a las cuales estará sometido bajo condiciones transitorias tanto normales como extremas, esto conllevará a obtener un supresor físicamente de mayor tamaño y por lo general más costoso comparado con un supresor hecho a base de MOVs.

Los equipos de supresión fabricados con SASDs no tienen ninguna dificultad en mantener un nivel de tensión de protección estable en cualquier ubicación mientras conducen valores máximos de corriente y tienen una buena coordinación para una conducción simultánea a diferencia de los MOVs. Estos diodos supresores pueden cubrir un rango de tensiones de disparo de 440V hasta valores cercanos a 1V.

Es importante señalar que los fabricantes de supresores con otra tecnología, generalmente, limitan las pruebas de sus productos a impulsos de corriente de corta duración ($8/20\mu\text{s}$), utilizados para simular aquellos impulsos generados por rayos, obviando las pruebas de larga duración ($10/1000\mu\text{s}$). La razón para evadirlas, es que pueden dañar a sus productos de supresión (sin diodos), antes de haber llegado a los consumidores.

Los supresores con tecnología de diodos no se degradan con el uso ni a través del tiempo, mientras no se excedan sus límites de capacidad de disipación de energía. La destrucción física del componente se produce normalmente por cortocircuito interno.



Figura 4.4 Modelos de diodo supresor

4.3 Supresores con tecnología varistor

Los varistores son estructuras bidireccionales fabricadas a partir de óxido metálico. Estos varistores (MOVs) son resistores variables no lineales con propiedades de semiconductores. Tienen condiciones relevantes como capacidad de operar a altas temperaturas, resistentes a la corrosión, elaboración y materia prima de bajo costo, ajuste de disparo por medio del grosor del dispositivo. Los MOVs tienen la característica que, a medida que el varistor conduzca corriente transitoria, su resistencia interna varía inversa y proporcionalmente para mantener una caída constante de tensión a través suyo. Los MOVs también son relativamente rápidos, su tiempo de respuesta dentro del circuito se espera que este en los niveles de 35 a 50 nanosegundos aproximadamente. Hay dos ventajas asociadas con los MOVs en relación con su uso en los supresores de transitorios: son económicos y disipan valores razonablemente altos de corriente transitoria.

En los puntos principales de distribución y de mayor exposición se deben utilizar supresores con disipación de mayor energía en comparación con los tableros secundarios o en las tomas eléctricas (uso final).

A diferencia de los SASDs, el MOV es evaluado de manera individual con capacidades razonablemente altas de corriente transitoria, pero a la vez no pueden mantener un nivel de tensión de protección (U_p) estable a medida que conducen valores mayores de corriente transitoria.

Hay que tener muy en cuenta que, cuanto mayor es la capacidad de supresión del dispositivo el valor de U_p aumenta.

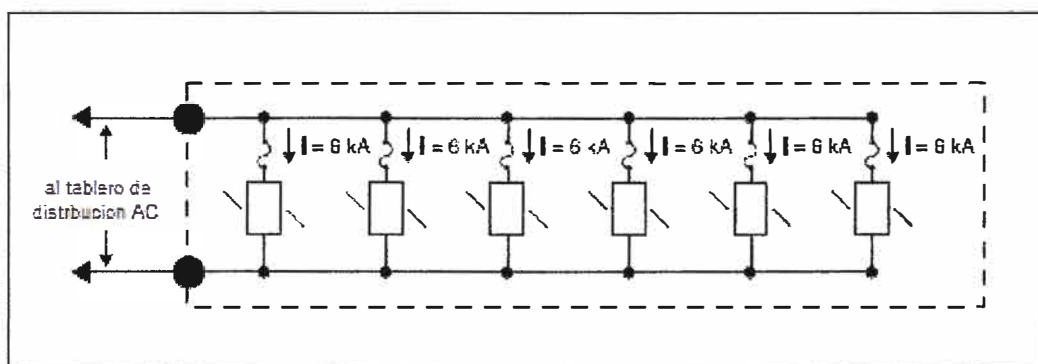


Figura 4.5 Circuito con MOVs en paralelo

En la figura 4.5 se aprecian múltiples varistores conectados en paralelo. Ciertos fabricantes de supresores frecuentemente simplemente suman las capacidades de corriente de cada componente varistor para afirmar capacidades impresionantes de manejo de sobrecorriente. Simplemente no es verdad ya que llega a ser “imposible” coordinar la

conducción simultánea de múltiples MOVs debido a la variación de tolerancias de los componentes y ciclos de degradación.

Se distinguen dos tipos de varistores: de carburo de silicio y de óxido de zinc, siendo este último el más utilizado ya que tiene mejor característica intensidad-tensión.

La conducción de corriente en el MOV se da a través de las partículas de óxido de metal, estos se degradan con el uso y se debilitan a medida que sus características resistivas cambian. Esta degradación llega a ser más profundo a medida que el MOV conduce más a menudo y/o conduce valores mayores de corriente, por lo que su tiempo de vida tiene un límite, no importando si los MOVs son más robustos.

Estas partículas de óxido de metal o se fusionarán (pudiendo cortocircuitarse) o incrementarán su resistencia (quemándose) hasta no existir conducción de corriente. Los ciclos típicos de degradación del MOV empiezan cuando el componente deja de conducir corriente en su punto original de recorte, resultando en niveles más altos de U_p . Con el tiempo, los valores de tensión requeridos para activar el MOV llegarán a niveles tan extremos que lo vuelve inservible, y en ciertos casos, el MOV ya no funciona como varistor sino como resistor, dicho resistor puede calentarse a medida que conduce corriente y así presentar un riesgo de incendio.

En la figura 4.6 se aprecia que, aunque el MOV de 20mm se espera que aguante mil impulsos de corriente de 500A (8/20 μ s), solo soporta un impulso de 6.5KA (8/20 μ s). Su capacidad de sobrecorriente disminuye de manera importante a medida que se somete a impulsos de corriente de larga duración 10/1000 μ s, en esta situación es muy probable que este MOV falle al ser sometido a mil impulsos de corriente de 40A o cuando tiene que suprimir un solo impulso de corriente de 200A.

En la misma figura se puede apreciar algo similar en el caso para un MOV más robusto (32mm).

Los fabricantes de varistores mencionan que estos pasan a ser deficientes luego de que su nivel de tensión de protección inicial ha sufrido un cambio de +/- 10%.

Los varistores son elementos que aguantan en un espacio de tiempo muy corto sobretensiones de pico muy elevado (15-20 KV en μ s), pero se destruyen con valores bajos de tensión en unos pocos segundos.

Cuando los varistores conducen corriente en estado normal se dice que existe corriente de fuga (aproximadamente 5mA para un MOV de 20mm.), esto se presenta cuando sus valores U_p se establecen demasiado cerca al voltaje pico de la onda senoidal de la red AC.

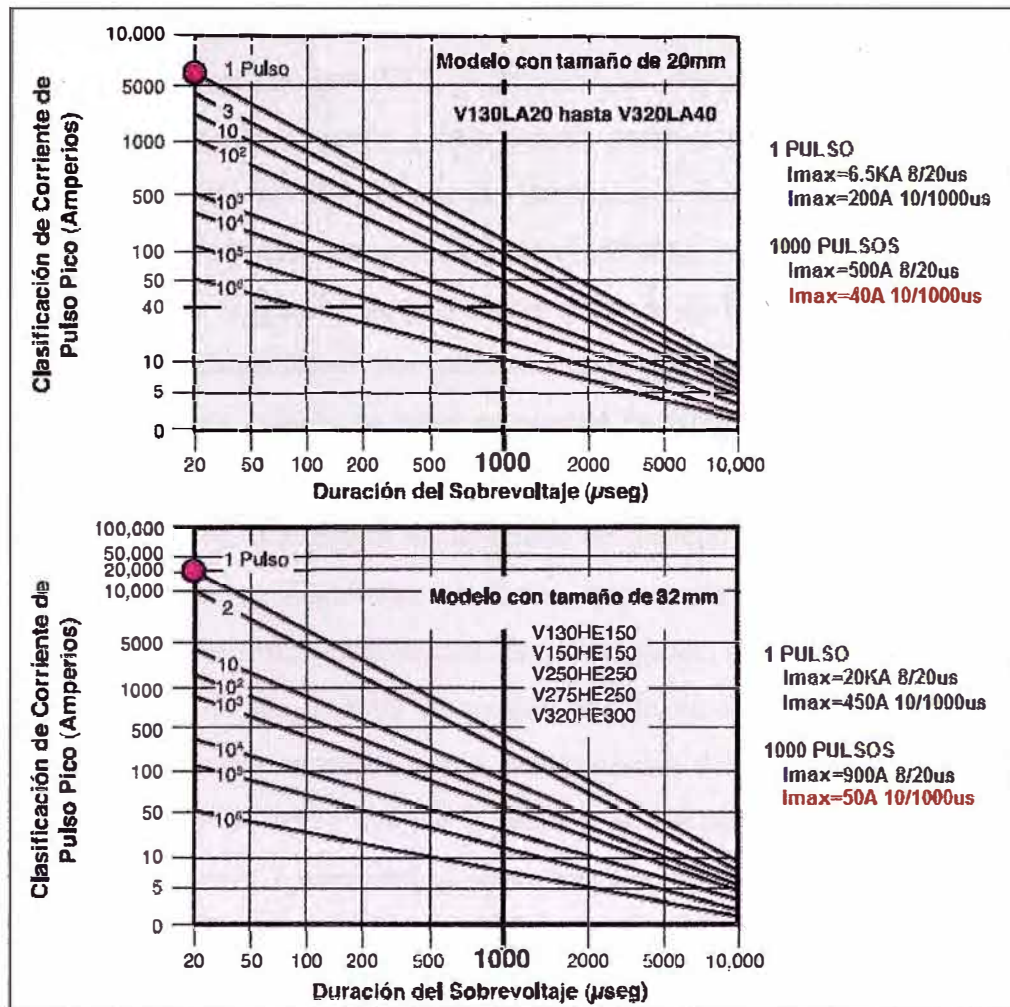


Figura 4.6 Datos de transitorios y vida del MOV

Dentro de los parámetros importantes para un varistor están el nivel de protección (U_p) y la tensión máxima de servicio permanente o tensión de ruptura (U_c). Un varistor con un valor U_c elevado tendrá un valor U_p elevado, con lo cual brindará una protección ineficaz, sin embargo, este tipo de varistor será insensible a sobretensiones temporales de amplitud moderada. Al contrario, un varistor con un valor U_c bajo tendrá un valor de U_p bajo y proporcionará una protección satisfactoria, pero este tipo de varistores será sensible a sobretensiones temporales de amplitud moderada.



Figura 4.7 Modelos de MOVs

4.3 Supresores con tecnología descarga de gas

Los tubos de descarga de gas (GDTs) consisten de dos electrodos dentro de un tubo hermético con una mezcla de gases a determinada presión. Su función principal es la de funcionar como circuito abierto a tensiones normales y hacer fluir la corriente de rayo desde que la sobretensión que aparece entre sus electrodos es lo suficientemente alta como para ionizar el gas. Su capacidad de protección depende de la separación y la longitud de los electrodos y se caracterizan por permanecer completamente abiertos, sin ninguna circulación de corriente cuando la señal es normal (a diferencia de los MOVs), esto es importante ya que reduce su envejecimiento debido a calentamiento.

Estos dispositivos de arco tienen la capacidad de manejar grandes corrientes ya que la tensión en sus terminales disminuye en forma importante cuando están en estado de conducción y tienen una vida relativamente larga comparado con los MOV.

En un descargador de gas de 230V de tensión estable, en el caso de llegarle impulsos de gran pendiente, este valor aumenta como consecuencia del tiempo de ionización, pero sigue manteniéndose entre 700 y 800V con pendientes que aumentan a razón de 10 kV/ms. La tensión aumenta, antes del encendido, aproximadamente 700V y cae inmediatamente a unos 2V en el arco. La tensión de arco es de 10 a 100V para corrientes de 1 a 1000A.

A pesar de que el disparo del descargador sea rápido, el pico de tensión residual todavía sigue siendo grande para poder ser absorbido directamente por equipos electrónicos.

Aun cuando los GDTs tienen gran aplicación, los equipos sensibles requieren protección de alta velocidad y niveles de tensión más precisos que los disponibles con esta tecnología. Cuanto mayor es la pendiente del impulso perturbador, tanto más alto es el valor de reacción de la distancia de descarga de gas, y más corto el tiempo de reacción pero insuficiente. La corriente de derivación puede ascender a varias decenas de KA, pero no son adecuadas para manejar las velocidades de interferencia causadas por un rayo, ya que requieren de un tiempo determinado de ionización para suprimir un transitorio y a la vez un valor U_p elevado comparado con los MOVs o SASDs.



Figura 4.8 Modelo de un GDT

4.4 Supresores con tecnología híbrida

Son supresores de transitorios que combinan dos o más tecnologías para proporcionar la supresión en un amplio intervalo de voltajes, índices de elevación y contenido de energía que un dispositivo por si sólo no cubre satisfactoriamente. Algunos fabricantes de supresores utilizan combinaciones tanto SASDs con MOVs o GDTs con SADS/MOVs en sus diseños híbridos. Esto es un intento de aprovechar las ventajas y eliminar las desventajas de las características de desempeño asociadas con las tecnologías individuales de supresión.

Por ejemplo, los circuitos de SASDs pueden ser utilizados para aprovechar los tiempos de respuesta elevados y un nivel de tensión de protección estable, y las etapas de MOVs para manejar los requerimientos de disipación de alta energía. Sin embargo, debido a las características operacionales tan distintas de las dos tecnologías, las etapas de los MOVs no pueden ser coordinadas para conducir confiablemente en conjunto con las etapas de los SASDs. Las mismas razones mencionadas referentes a la coordinación simultánea de conducción entre los componentes individuales de MOVs explican el porqué. Con frecuencia, resulta una falla prematura del supresor de las etapas de SASDs porque simplemente no incorporan suficientes diodos para disipar niveles adecuados de energía transitoria. Las etapas de los MOVs continúan funcionando pero siguen siendo afectadas por las mismas deficiencias de los productos con puros MOVs.

También existen dispositivos híbridos que combinan normalmente un tubo de descarga en gas, para un manejo de alta energía, con un MOV o un SASD para una respuesta de operación rápida.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Principalmente enfocados en los provocados por descargas atmosféricas, los transitorios son inesperados picos de voltaje o corrientes de corta duración.

Los equipos eléctricos se vuelven cada vez más complejos e integrados, su desventaja es que cada vez son más susceptibles a los disturbios de energía como son las sobretensiones transitorias. Por eso, se debe contar con una protección eficaz contra este fenómeno, tanto para personas y equipos.

Muestro como alternativa de protección el uso del TVSS con las virtudes y deficiencias de las tecnologías más utilizadas en su fabricación.

1. Antes de realizar una protección contra sobretensiones transitorias se debe tener en cuenta ciertos puntos: existencia de pararrayos, antecedentes de rayos de alta intensidad, riesgo de impacto directo en la línea o en elementos externos conectados a este, que tan sensibles son los equipos a proteger.
2. Si la instalación ya cuenta con protección externa contra descargas atmosféricas como lo son los pararrayos, aun así es necesario la protección contra sobretensiones transitorias, ya que a través de estos también se logran introducir en las instalaciones.
3. Para una buena elección del dispositivo de protección, es importante tener en cuenta la densidad de tormentas indicando sus aspectos más importantes y representativos, además de la clasificación y ubicación de los equipos de protección de acuerdo a la zona respectiva, características de los equipos a proteger, las pruebas realizadas a los elementos de protección que certifiquen su calidad y buen funcionamiento.
4. El voltaje soportado a los impulsos por el material a proteger debe ser mayor que el nivel de tensión de protección del supresor (U_p), siendo este mayor que la tensión umbral o de ruptura y este a su vez mayor que la tensión nominal de la red. Cuanto mayor es la capacidad de soportar corriente de un protector, mayor es también su tensión residual.
5. Si bien es cierto que los transitorios más comunes son los de modo diferencial, se debe contar con protección entre fases, de fase a neutro (conductor puesto a tierra), de fase a tierra (puesta a tierra de equipos) y de neutro a tierra.

6. La filosofía de protección contra sobretensiones transitorias de las tres tecnologías mencionadas en la fabricación de supresores tienen el mismo fin: proteger los equipos recortando las sobretensiones y drenando la corriente excesiva a tierra.
7. Las expectativas de vida de los supresores a base de MOVs es menor con respecto a los supresores con tecnología SASDs o GDTs, pero ninguno tiene vida infinita. A la vez los GDTs tienen menor rapidez de reacción comparados con los MOVs y SASDs pero tienen mayor capacidad de soporte de energía que estos últimos.

CARACTERISTICAS TIPICAS					
Elemento	Velocidad	Energía	Fuga	Costo	Vida
Ideal	rápida	alta	cero	bajo	Infinita
SAD	rápida	baja	baja	medio	larga
MOV	media	alta	alta	bajo	se degrada
GDT	media	alta	cero	medio	se degrada
Hibrido	rápida	alta	baja	medio	se degrada

8. Los supresores muchas veces son fabricados con MOVs en paralelo, pero debe saberse que estos no comparten la corriente por igual, dependerá de las características propias de cada varistor (tolerancias, degradación, impedancia, etc.).
9. Para evitar las corrientes de fuga en un MOV, sería ideal conseguir estos dispositivos con U_c alto y U_p bajo.
10. Una correcta protección contra sobretensiones, con el mismo principio de la tecnología híbrida, es una protección escalonada y coordinada, que actúen secuencialmente, de forma que sean capaces de soportar toda la corriente del rayo y de dejar una tensión residual no perjudicial para los equipos existentes. Para que dos supresores estén bien coordinados, no deben estar próximos, la longitud del cable entre ellos debe ser aproximadamente 10 metros. Si esto no fuese posible, se debe instalar entre ellos una bobina de desacoplo. Esta protección escalonada dependerá de la necesidad del usuario pudiendo combinar dos o las tres tecnologías, pero siempre el protector de cabecera debe ser el que tenga mayor soporte de capacidad de energía tratándose de sobretensiones de origen atmosférico combinado con la rapidez del otro(s).
11. Finalmente, mencionaré que los supresores de transitorios no realizarán su función de proteger si no están conectados a un conductor de puesta a tierra, para esto es indispensable seguir las instrucciones de instalación del fabricante.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Franklin France, “El enfoque global del rayo”.
<http://www.franklin-france.com/spip.php?article386>
- [2] CMOS, “Conociendo los rayos”.
http://www.c-mos.com/pdfsproductos/ECNPV_002.pdf
- [3] SISPROINT, “El rayo”.
<http://www.sisproint.com/rayo.htm>
- [4] Schneider Electric, “Guía de elección de protección contra sobretensiones”.
<http://biblioteca.schneiderelectric.es/nbd/docs/index/485/1>
- [5] IEEE Std 1100-1992, “IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment” (IEEE Emerald Book), Inst. of Electrical & Electronics Engineers (December 1992).
- [6] IEEE C62.41-1991, “IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits”, Institute of Electrical and Electronics Engineers / May-1991.
- [7] Francois D. Martzloff, “Coordination of Surge Protectors in Low-Voltage AC Power Circuits”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, Jan/Feb 1980.
- [8] Allan Greenwood, “Electrical Transient in Power Systems”, 2nd Edition, Wiley-Interscience / April 1991.
- [9] IEEE PC62.41.1/D5-10 September 2001, “Draft Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits”, Selective revision of IEEE Std C62.41-1991, amended per Ballot Resolution.
- [10] Schneider Electric, “Guía de protección contra sobretensiones”.
<http://biblioteca.schneiderelectric.es/nbd/docs/index/476/1>
- [11] IEEE Std C62.45-2002, “IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits”, Revision of IEEE Std C62.45-1992, IEEE Power Engineering Society.
- [12] Octavio Alvarez Fregoso y Raul Reyes Ortiz, “Desarrollo de Varistores de ZnO”, Depto. Materiales Metálicos y Cerámicos/Instituto de Investigaciones en Materiales –UNAM, 1992.

- [13] EPCOS, “SIOV Metal Oxide Varistors”.
<http://www.schmid-multitech.sk/images/SIOVMetalOxideVaristors.pdf>

- [14] ITECSA, “Supresores”
<http://itecsa.net/SUPRESORES2.HTML>

- [15] POWER QUALITY, “Cover Story: Comparing SASD and MOV Surge Suppression Technology for Protecting Sensitive Electronic Equipment”
<http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/jabaez/clases/e242/supresores/comparacion.pdf>

- [16] Pipeline & Gas Journal, “Surge Suppression Devices Made For Sensitive SCADA Systems”
http://www.oildompublishing.com/PGJ/pgjarchive/Sept_06/surge.pdf

- [17] Jesus Roberto Urresti Ibañez, “Modelización y Fabricación de Dispositivos TVS para Aplicaciones en Baja Tensión”, Escuela Tecnica Superior de Ingeniería, Memoria para optar por el Grado de Doctor en Ingeniería Electrónica, Bellaterra/Oct. 2008.

- [18] Ernesto Meléndez Meléndez, “Efecto de las Sobretensiones por Descargas Atmosféricas y la conexión a Tierra en Equipos de Baja Tensión”, Instituto Politecnico Nacional, Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, Mexico DF/Nov. 2005.