



11126
81

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores
CUAUTILÁN

ILUMINACIÓN E INSTALACIONES ELÉCTRICAS

PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES
EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL
DE LA U.H. EL ROSARIO.

TRABAJO DE SEMINARIO

Que para obtener el título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a

JUAN MANUEL SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

ASESOR: M. en A. PEDRO GUZMÁN TINAJERO

Cuautlán Izcalli, Edo. de México

2003

A

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:
Iluminación e Instalaciones Eléctricas. Protección Contra Sobretensiones
en el Sistema de Distribución Radial de la U.H. El Rosario.

que presenta el pasante: Juan Manuel Sánchez Hernández
con número de cuenta: 8710905-2 para obtener el título de :
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO.BUENO.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 16 de enero de 2003.

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>II</u>	<u>MAI. Pedro Guzmán Tinaiero</u>	<u>[Firma]</u>
<u>I</u>	<u>Ing. Jaime Rodríguez Martínez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>IV</u>	<u>Ing. Ramón Osorio Galicia</u>	<u>[Firma]</u>

B

Agradecimientos:

Gracias a mis PADRES: Cristina y Juan Manuel por haberme dado como parte de su herencia esta formación. Gracias por su paciencia.

Gracias a la UNAM por haber respaldado el apoyo de mis padres para que mi formación profesional sirva de sustento al desarrollo de nuestro país.

Gracias al Ing. Cristóbal de la Rosa Baños por su decisivo apoyo en la realización de éste trabajo.

Gracias a todos los Ingenieros de esta Facultad de Estudios Superiores que con su ejemplo y empeño inculcan en nosotros, sus alumnos, fijar nuestra visión hacia el horizonte.

Problema: Fallas frecuentes en los sistemas de aislamiento de las subestaciones tipo FRAC que dan servicio en la mediana tensión a la U.H. El Rosario del municipio de Tlalnepantla, en temporada de lluvia y como consecuencia principal de las maniobras de apertura y cierre de circuitos.

Objetivo : Reducir las constantes fallas por sobretensiones evitando el daño o envejecimiento prematuro del aislamiento de los equipos conectados al sistema subterráneo de 23 kV de Luz y Fuerza del Centro, que alimenta en baja tensión a la Unidad Habitacional "El Rosario" en el Municipio de Tlalnepantla Estado de México.

Hipótesis: La solución a la problemática de sobretensiones en el sistema subterráneo de 23 kV de la Unidad Habitacional "El Rosario", es instalar adecuadamente juegos de apartarrayos en los puntos de alta Impedancia y transición de línea aérea a cable subterráneo.

Índice

	página
INTRODUCCIÓN.	1
Capítulo I	
GENERALIDADES	
1 Sobrevoltajes en los sistemas de energía.	2
1.1 Esfuerzos dieléctricos aplicados sobre los materiales.	2
1.2 Sobrevoltajes de origen atmosférico o por rayo	2
1.2.1 Aislamiento	4
1.3 Sobrevoltajes por la operación de interruptores	6
1.4 Sobrevoltajes de la frecuencia de la energía.	7
Capítulo II	
2 Sobrevoltajes en el sistema de distribución.	8
Capítulo III	
3 Dispositivos de protección por sobrevoltaje.	10
3.1 Clasificación de supresores.	12
3.2 Selección del apartarrayos.	16

	página
Capítulo IV	
4. Coordinación del aislamiento.	20
4.1 Márgenes para el equipo aéreo.	20
4.2 Márgenes para el equipo subterráneo.	23

Capítulo V	
5 Instalación de apartarrayos en la Unidad Habitacional El Rosario.	25
5.1 Protección de sistemas de distribución subterráneo contra sobretensiones.	26
5.2 Niveles típicos de aislamiento para equipos.	33

Capítulo VI	
6 Ejemplo de la coordinación de aislamiento para apartarrayos.	34
6.1 Cálculos y resultados de la coordinación de aislamiento para los apartarrayos del sistema de distribución subterráneo de la U. H. El Rosario.	36
6.1.1 Equipo disponible para instalarse en el punto de transición. a) Características eléctricas del apartarrayos IOM-23	36

6.1.2 Consideraciones para los puntos de alta impedancia.	38
6.1.3 Cálculos para los puntos de transición.	39
6.1.4 Cálculo para los puntos de alta impedancia	41
6.2 Claros de montaje.	47
6.3 Distancia de flameo	49
6.4 Dimensiones	49
CONCLUSIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	50

INTRODUCCIÓN

El sistema subterráneo de la Unidad Habitacional "El Rosario" presenta fallas frecuentes en la configuración del aislamiento generalmente en las S.E. tipo FRAC, las cuales dan servicio en baja tensión a la unidad, estas fallas generalmente se presentan en temporada de lluvia y como consecuencia principal de las maniobras de apertura y cierre de circuitos.

Si bien es cierto que la mejor protección al equipo primario, como lo son los transformadores, es la instalación de un juego de apartarrayos por cada uno de estos, veremos que podemos encontrar otra alternativa que resulta más económica siempre y cuando se instalen apartarrayos con márgenes de protección adecuados en los puntos de alta impedancia. Esto evitará que cualquier onda de sobretensión que entre al cable a través de la transición se refleje positivamente con un valor de cercano al doble de su magnitud, pudiendo deteriorar el cable o el equipo conectado.

En el caso de la U. H. "El Rosario" se identifican como puntos de alta impedancia las fronteras ya que estas son puntos de enlace normalmente abiertos, por lo que se presenta una impedancia infinita en sus terminales, también se identifican como puntos con alta impedancia el último transformador que se encuentre en un arreglo radial, por lo que este trabajo pretende justificar la instalación de apartarrayos en estos puntos mediante el cálculo de la coordinación de aislamiento, este cálculo se detalla ampliamente a lo largo de este trabajo así como las distancias mínimas de no flameo que se deben de tomar en consideración para la instalación de los apartarrayos.

Se muestra la coordinación de aislamiento para los apartarrayos a instalar en los puntos mencionados y las distancias mínimas, o claros de montaje de estos equipos contra partes energizadas o contra tierra.

CAPITULO I

1 SOBREVOLTAJES EN LOS SISTEMAS DE ENERGÍA.

1.1 Esfuerzos dieléctricos aplicados sobre los materiales.

Los esfuerzos dieléctricos aplicados sobre los materiales son de origen muy variado y es posible que tengan una duración del orden de microsegundos con amplitudes de tensión elevadas o tiempos del orden de minutos y hasta horas con valores de tensión no muy altas y formas de onda senoidales, por lo que es necesario analizar la amplitud y la duración de las sobretensiones productoras de los esfuerzos dieléctricos en los materiales aislantes.

Un análisis breve de la naturaleza y características más importantes de estas sobretensiones, se hace a continuación:

Las sobretensiones que se presentan en los sistemas eléctricos pueden ser:

- De origen atmosférico o por rayo.
- Por maniobra de interruptores.
- Temporales a la frecuencia del sistema (sin exceder las tensiones máximas de diseño del equipo).

1.2 Sobretensiones de origen atmosférico o por rayo.

Estas sobretensiones son debidas a las descargas atmosféricas y por lo general se manifiestan inicialmente sobre las líneas de transmisión pudiendo ocurrir:

- Por descargas que inciden sobre la línea de transmisión.
- Por descargas que inciden sobre las estructuras (torres o postes) o sobre los hilos de guarda en las líneas de transmisión.
- Por descargas a tierra (suelo) en las proximidades de la línea de transmisión.

Los rayos son la causa más frecuente de los sobrevoltajes en los sistemas de distribución. Básicamente el rayo es una chispa gigantesca que proviene del desarrollo de millones de volts entre las nubes o entre una nube y la tierra; se pueden entregar millones de volts a un edificio, árbol o línea de distribución en la que caiga. En el caso de las líneas de distribución aéreas, no es necesario que el rayo caiga en la línea para producir sobrevoltajes peligrosos para el equipo. Esto se debe a que los "voltajes inducidos" causados por el colapso del campo electrostático con la caída cercana de un rayo pueden alcanzar valores hasta de 500 KV.

La cantidad de corriente en la caída de un rayo es una cantidad estadística, la que depende de la energía existente en la nube y de la diferencia en el voltaje entre ésta y la tierra, al iniciarse la descarga. Se han medido unas cuantas corrientes producidas por estas descargas que sobrepasan los 200 000 A, sin embargo el 50 % de todas las corrientes producidas por los rayos son menores que 15 000 A.

La duración del flujo de corriente en la mayoría de las descargas de corriente elevada es sólo de decenas o centenas de μ s. Sobre la base de 60 Hz, estos son tiempos extremadamente cortos si se considera que la mitad de un ciclo es equivalente a 1/120 s, o sea 100 000. Los rayos representan una amenaza importante para la continuidad del servicio y se les hace frente por medio de pararrayos en el sistema.

Los sistemas de energía eléctrica están expuestos a la intemperie y por ello están sujetos a descargas de rayos.

A diferencia de los sobrevoltajes de igual frecuencia que la energía y los sobrevoltajes por operación de interruptores, que son proporcionales al voltaje del sistema, los sobrevoltajes por rayo son independientes del voltaje del sistema pero dependen de las impedancias del sistema. Por ejemplo, una descarga directa de rayo en un conductor de fase de una línea aérea de transmisión generará un sobrevoltaje proporcional a la impedancia característica de la línea y proporcional a la magnitud de la corriente de la descarga del rayo.

Generalmente, se aplica un procedimiento coordinado de diseño para hacer mínimos los efectos de los rayos, el cual implica entre otras cosas: 1) blindaje de líneas y equipos, 2) aterrizaje efectivo, 3) aplicación de dispositivos de protección (supresores de sobrevoltajes).

Uno de los aspectos importantes que se deben considerar además del cortocircuito y la protección por relevadores, en el diseño de las instalaciones eléctricas, es el relacionado con las sobretensiones que pueden causar daño a los equipos y ser origen de otro tipo de fallas en el sistema en general a través de la denominada coordinación de protecciones.

A continuación se establecen algunas definiciones relacionadas con el tema de sobretensiones, dadas por la Comisión Internacional de Electrotecnia en su Norma IEC-71, publicada en 1976 y los anexos posteriores.

1.2.1 Aislamiento.- Se denominará aislamiento de una instalación exterior (intemperie) o de un aparato eléctrico, al elemento que tiene la aptitud de soportar la tensión o esfuerzos dieléctricos que le son aplicados. Este elemento denominado aislamiento es un material o arreglo de materiales que cumplen con esta función y que pueden ser líquido (aceite), gaseoso (SF_6) o sólido (resinas sintéticas), hule, polímeros o elastómeros, etc.

En las redes eléctricas y para propósito de diseño, se establece una diferencia entre aislamiento tipo externo y aislamiento tipo interno en los aparatos y en las subestaciones; dentro de los aislamientos internos se puede mencionar como ejemplo: los aceites, papel, cintas de lino, etc., de los transformadores el hexafluoruro de azufre (SF_6) de los interruptores; el aceite o aire comprimido usado dentro en los interruptores, y dentro de los aislamientos externos se tienen principalmente las distancias en aire a tierra (aisladores de porcelana, vidrio, resinas sintéticas), así como las distancias en aire entre partes vivas (de fase a fase) en las instalaciones y líneas de transmisión.

La tabla siguiente proporciona descripciones breves y causas típicas de los sobrevoltajes que más se presentan en los sistemas de energía. El nivel relativo de los sobrevoltajes debidos a estas causas se ilustra en la figura 1

Categoria	Descripción	Causas
Sobrevoltajes de la frecuencia de la energía	Sobrevoltajes temporales dominados por la componente de la frecuencia de la energía	Fallas eléctricas Cambios súbitos de carga Ferroresonancia
Sobrevoltajes por operación de interruptores	Sobrevoltajes temporales que resultan de una operación de interrupción	Energización de líneas Desenergización de bancos de capacitores Interrupción por falta Reestablecimiento de cierre a alta velocidad Energización/desenergización de transformadores, etc.
Sobrevoltajes por rayo	Sobrevoltajes temporales que se producen por una descarga eléctrica que termina en un conductor de fase, uno de guarda o cualquier otra parte de un sistema de energía	Rayo-Descargas de nube a tierra

Tabla 1. Causas típicas de los sobrevoltajes.

Para diseñar un sistema de energía eléctrica bien protegido, es importante entender perfectamente los tipos, la frecuencia y la magnitud de los sobrevoltajes que se esperen en el sistema en cuestión.

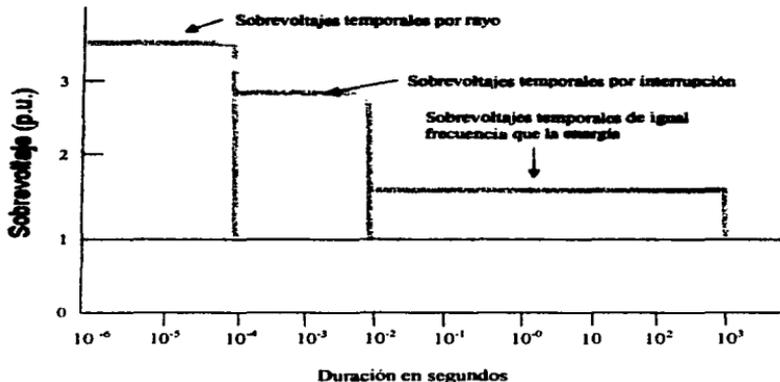


Fig. 1 intervalo típico de la magnitud y duración de los sobrevoltajes temporales de los sistemas de energía.

1.3 Sobrevoltajes por la operación de interruptores. La operación de interruptores es frecuente en el sistema de energía. Se efectúan una serie de operaciones de desconexión o conexión para los trabajos de rutina o bien en forma automática para los sistemas de control y protección. Las operaciones típicas de interruptores son las siguientes:

- 1 Líneas de transmisión o de distribución.
- 2 Cables
- 3 Capacitores de derivación/serie
- 4 Reactores en derivación
- 5 Transformadores
- 6 Generadores/Motores

TESIS COM
FALLA DE ORIGEN

Otra clase de transitorios por operación de interruptores son los que genera el "salto de arco en aislamiento" y por reencendido de los cortacircuitos. Estos fenómenos son equivalentes al cierre de un interruptor y generan sobrevoltaje que se propagan por el sistema.

Los sobrevoltajes que resultan de las operaciones de los interruptores son típicamente proporcionales al voltaje de la frecuencia de energía. Por ejemplo la energización de una línea trifásica puede resultar en un sobrevoltaje en el extremo abierto que puede ser muy alto, hasta de 5 p.u., dependiendo de la sincronización de la operación de los interruptores con respecto a la fuente.

1.4 Sobrevoltajes de la frecuencia de la energía. La magnitud de los sobrevoltajes de la frecuencia de la energía es típicamente baja en comparación con los sobrevoltajes por interrupción o por rayos.

Las causas más comunes de sobrevoltajes de la frecuencia de la energía son (1) fallas eléctricas, (2) cambios súbitos de carga y (3) ferorresonancia. Una falla eléctrica resulta en una interrupción del voltaje para la fase fallada y en un posible sobrevoltaje en las fases que no tienen falla. La magnitud del sobrevoltaje depende de los parámetros del circuito, tales como impedancia de secuencia positiva, negativa o nula así como de los parámetros de aterrizado del sistema, tales como impedancia de tierra, sistemas de aterrizaje único o múltiple, etc.

Otra fuente de sobrevoltajes de la frecuencia de energía es el llamado efecto **Ferranti** que ocurre cuando se desconecta la carga en el extremo de una línea de transmisión larga. En este caso la línea toma una corriente capacitiva de la fuente, que genera un gradiente de voltaje a lo largo de la línea de dicha fase, como para incrementar el voltaje en el extremo abierto de la línea. La ferorresonancia es otra causa de sobrevoltajes de la frecuencia de energía, pero menos frecuente. Puede ocurrir cuando se energizan líneas largas de transmisión y transformadores de potencia sin carga, en la operación de interruptores monofásicos de un transformador trifásico, y en otros casos en los que interviene un circuito magnético con núcleo de hierro conectado a un circuito sustancialmente capacitivo. Los sobrevoltajes que resultan de la ferorresonancia pueden ser serios y especialmente destructivos para los supresores sin descargador (descarga disruptiva) que haya en el sistema. La severidad de la ferorresonancia depende de la cantidad de reactancia capacitiva presente en el sistema.

CAPITULO II

2 SOBREVOLTAJES EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

típicamente los circuitos de distribución no están aislados para soportar descargas directas de rayos. Como resultado, las descargas directas producen un salto de arco. Las descargas directas en las líneas de distribución no son frecuentes ya que los postes no están tan altos y quedan protegidos por árboles y estructuras. Las líneas de distribución pueden ser vulnerables a los sobrevoltajes por descargas de rayos en árboles, en terrenos o en otros objetos cercanos. Estos sobrevoltajes se conocen como voltajes inducidos por rayos y son inyectados en el sistema de energía a través de acoplamiento. El acoplamiento puede ser conductivo por medio del suelo conductor y las estructuras de tierra del sistema de energía, inductivo o capacitivo. En una situación típica, pueden estar presentes todos los mecanismos de acoplamiento y dar lugar a un sobrevoltaje que vaya al sistema de energía. A estos voltajes se les llama sobrevoltajes inducidos y generalmente son mucho menores que los que ocurren después de una descarga directa. Raras veces exceden de 500 KV. Los sobrevoltajes inducidos por rayo son preocupantes para líneas de distribución de 35 KV o de voltajes menores, por que las líneas de mayor nivel de voltaje (69KV en adelante) tienen suficiente aislamiento para soportar dichos sobrevoltajes.

Los sobrevoltajes inducidos en las líneas de distribución son frecuentes por lo que es necesario aislarlas. Esto se traduce en la necesidad de un BIL (Basic Impulse Level) de 300 para las líneas de distribución. Adicionalmente debe protegerse los aparatos de energía, conectados a líneas de distribución y con BIL más bajo que los sobrevoltajes inducidos, como los transformadores de distribución (típicamente el BIL de los transformadores de distribución es de 100 KV). Es práctico proteger los transformadores con supresores de sobrevoltaje de las capacidades adecuadas.

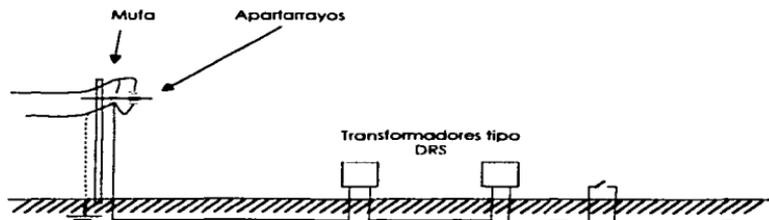
Se muestra en la figura 2 una configuración típica de un sistema de distribución subterráneo. En el caso típico se aplica un supresor de voltaje en el polo del elevador. Los sistemas de distribución subterránea residenciales presentan una impedancia característica relativamente baja (30 a 50 Ω). Cuando llega al sistema DRS un (sobrevoltaje) transitorio a través del sistema aéreo de alta impedancia en sobrevoltaje, y a causa de la presencia de un supresor de sobrevoltaje en el polo del elevador, el sobrevoltaje transmitido al cable será de un tiempo de elevación muy rápido, típicamente de una fracción de microsegundo. La magnitud del

sobrevoltaje la determinan las características del supresor. Este sobrevoltaje se propagará a lo largo del cable y se duplicará al llegar a una punta abierta o en el extremo del cable, en donde pueda haber un transformador. Si este sobrevoltaje es inferior al nivel BIL del cable DRS, no se requiere protección adicional alguna. Sin embargo, el BIL del cable típico DRS es relativamente bajo. Como ejemplo, la tabla 2 ilustra el BIL típico para las clases de cable más usuales. En la mayoría de los casos, si un cable está protegido con un supresor de sobrevoltaje en el polo del elevador solamente (de la capacidad recomendada de supresor), es posible que el sobrevoltaje que se desarrolle en el extremo abierto del cable sobrepase al BIL del cable con el potencial de falla. El uso de supresores de voltaje en los extremos abiertos, o mejor todavía, de supresores del tipo de codo en cada transformador, mejora de manera importante la protección del cable y el transformador.

Clase de cable en KV	BIL típico	Capacidad recomendada del supresor
15	95	9
25	125	18
34.5	150	25

Tabla 2. Niveles básicos típicos de aislamiento para cables.

Fig. 2 Esquema típico de protección para un sistema DRS.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CAPITULO III

3 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN POR SOBREVOLTAJE.

Los sobrevoltajes temporales que ocurren en el aparato de un sistema de energía sobrepasan a su capacidad de soporte. En este caso, si se deja el aparato sin proteger, ocurrirá una falla del aislamiento. Por lo tanto es necesario proteger contra sobrevoltajes los componentes de un sistema de energía.

Un dispositivo de protección por sobrevoltaje debe, en el caso ideal, limitar los voltajes entre las caras del aislamiento de un aparato de energía por abajo de un valor especificado, valor al que se llama nivel de protección. El dispositivo ideal de protección tiene la característica de voltaje-corriente indicada en la figura siguiente.

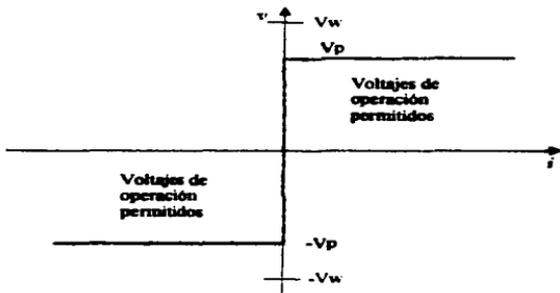


Fig.3 Características de voltaje/corriente del dispositivo ideal de protección por sobrevoltaje.

Específicamente, si el voltaje entre las terminales del dispositivo de protección es menor que el nivel de protección, el dispositivo debe tener entonces una impedancia infinitamente grande. Si el voltaje entre las terminales del dispositivo de protección es mayor que el nivel de protección, el dispositivo debe permitir el paso de la corriente eléctrica a través del mismo, de tal manera que el voltaje quede sujeto al valor del

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

nivel de protección. Una característica de esta naturaleza puede describirse matemáticamente con la ecuación:

$$I(t) = I_0 \left[\frac{\text{abs}(V(t))}{V_D} \right]^n$$

En la cual I_0 = una constante
 V_D = nivel de protección
 $\text{Abs}(\cdot)$ = valor absoluto del argumento (\cdot)
 $V(t)$ = voltaje entre terminales del dispositivo de protección
 $\text{Sign}(V(t))$ = señal de voltaje $V(t)$, + o -
 n = un número muy grande

Las características de protección de la figura anterior (Fig. 3) corresponden a un número muy grande de n .

Por supuesto no existe un dispositivo con tal característica; se ha llegado al desarrollo de dispositivos de protección que se acercan a lo indicado en la figura en grados variables. Los dispositivos que han resultado de la investigación y el desarrollo, han sido evolutivos según se menciona:

- Descargadores de aire
- Supresores de sobrevoltaje con descargador (descarga disruptiva)
- Supresores de expulsión
- Supresores del tipo de válvula con descargador (descarga disruptiva)
- Supresores de carburo de silicio (SiC) con descargador (descarga disruptiva)
- Varistores de metal y óxido
- Varistores en derivación de metal y óxido con descargador (descarga disruptiva), (**MOV's**)

Las características de aplicación más importantes de un dispositivo de protección son: el nivel de protección y el nivel de resellado.

Nivel de protección: Es el voltaje máximo que permite el dispositivo que se aplique entre sus terminales.

Nivel de resellado: es el voltaje máximo abajo del cual el dispositivo de protección no deja pasar por él una corriente eléctrica significativa.

Para resultados óptimos, los dos parámetros anteriores deben ser tan próximos como sea posible. Para el dispositivo de protección ideal, el nivel de protección es igual al nivel de resellado. Con la siguiente definición se cuantifica la cantidad de protección de las diversas tecnologías de dispositivos de protección:

$$PQI = \frac{V_r}{V_p}$$

donde:

V_r .- Voltaje de resellado
 V_p .-Voltaje de protección

se deduce que el dispositivo ideal tiene un índice de la calidad de protección de 1.

Los descargadores (descarga disruptiva) de aire proporcionan protección rudimentaria, los supresores de sobrevoltajes de carburo de silicio con descargador (descarga disruptiva) proporcionan mejor protección, y finalmente los **MOV**'s proporcionan aún mejor protección.

3.1 Clasificación de supresores.

Los supresores pueden clasificarse en los siguientes grupos.

- supresores de estación
- supresores intermedios
- supresores de distribución
- supresores secundarios/industriales/comerciales

La clasificación anterior se basa en las capacidades nominales en kilovolts. Históricamente, los supresores de estación proporcionan los niveles de protección más bajos en relación con su capacidad nominal (es decir, tienen el índice de calidad de protección más alto) y son capaces de descargar la más alta cantidad de energía. Los supresores intermedios tienen niveles de protección un poco más altos en relación con su capacidad nominal y son capaces de descargar un poco menos de energía. Los supresores de distribución y secundarios/industriales/comerciales tienen niveles de protección todavía

más altos y son capaces de descargar aún menos energía. Esta clasificación y descripción histórica de los supresores pueden ya no ser válidas. Por ejemplo, hay productos MOV que emplean bloques MOV para los supresores secundarios de la misma calidad que los supresores de clase de estación, y que por tanto tienen un índice de calidad de protección muy alto. Es importante, empero, adoptar esta clasificación para tener congruencia con las normas.

Las capacidades específicas de voltaje, niveles de protección y otras características mecánicas de unidades supresoras completas pueden encontrarse en las normas: American National Standard, IEEE Standard for Surge Arresters for AC Power Circuits, ANSI/IEEE C62.1-1981, American National Standard, Guide for the Application of Value-Type Surge Arresters for Alternating Circuit Systems, ANSI/IEEE C62.2-1981 y American National Standard, Standard for Metal Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits, ANSI/IEEE C62.11-1987. Como ejemplo, la tabla 5 (capítulo IV), tomada de la norma ANSI/IEEE C62.1-1981, presenta una lista de las capacidades estándar de voltaje para supresores de sobrevoltajes. Otro ejemplo es la tabla 6 (capítulo IV), tomada de la norma ANSI/IEEE C62.2-1987, la cual proporciona varios parámetros importantes y datos de aplicación para los supresores de estación y de clase intermedia. Con los fabricantes pueden obtenerse datos más exactos para los productos específicos que tienen disponibles.

Hay una variedad de dispositivos comerciales de supresión de voltajes transitorios basados en la tecnología MOV. La calidad de algunos de estos productos en términos de (1) sus características no lineales, (2) las características de absorción de energía y (3) la capacidad de manejo de corriente es muy alta.

Supresores de Distribución.	Supresores Intermedios	Supresores de estación
1		
3	3	3
6	6	6
9	9	9
10		
12	12	12
15	15	15
18		
21	21	21
	24	24
25		
27		
30	30	30
	36	36
	39	39
	48	48
	60	60
	72	72
	90	90
	96	96
	108	108
	120	120
		144
		168
		180
		192
		240
		258
		276
		294
		312
		372
		396
		420
		444
		468
		492
		540
		576
		612
		648
		684

Tabla 3. Capacidades de voltaje de los supresores de sobrevoltaje en kV.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

		Niveles de protección			Características de Durabilidad				
		Capacidad de cresta de supresores, p.u.			(1)	(2)	(3)	(4)	
Capacidades kV, RMS	Intervalo de aplicación, voltaje nominal del sistema, kV	Salto de chispa en frente de onda	Salto de chispa, 1.2/50 μ S	Salto de chispa sobrevoltaje de interrupción	Voltaje de descarga, 10 kA, onda de 8/20 μ S	sobrevoltaje de iniciación en el ciclo de servicio, ampères en la cresta	Descarga en línea de transmisión, mi	Soporte de alta corriente, ampères en la cresta	Alivio de presión, ampères simétricos RMS
Clase Intermedia									
3-6	2.4-7.2	2.47-2.83	2.24-2.83	No se requiere	1.77-2.36	5000	100	65 000	16 100
9-48	7.2-46	2.10-2.39	1.78-2.5	prueba	1.77-2.19	5000	100	65 000	16 100
60-120	69-138	1.76-2.26	1.63-1.84	2.06-2.43	1.77-2.02	5000	100	65 000	16 100

Tabla 4. Características de los supresores de voltaje Intermedios

3.2 Selección del apartarrayos.

La elección de la capacidad nominal de un apartarrayos para un sistema de distribución se basa en el voltaje línea a tierra del sistema y en la manera en que éste se encuentra conectado a tierra. La condición limitativa para un apartarrayos no suele tener que ver con la magnitud de las ondas de impulso (por conmutación o por los rayos) que debe enfrentar. Este hecho contrasta con la selección de los apartarrayos para los sistemas de transmisión. En la distribución, la capacidad nominal del apartarrayos se basa en el voltaje máximo línea a tierra de estado estable que debe aceptar. Normalmente esta condición limitativa es provocada cuando existe una falla línea a tierra en una de las otras fases.

De acuerdo con la norma A.N.S.I. C62.22 "**Guía para la aplicación de apartarrayos de óxido metálico para sistemas de corriente alterna**" la aplicación adecuada de los apartarrayos en los sistemas de distribución exige que se conozca:

- El voltaje normal máximo de operación del sistema de potencia y
- La magnitud y duración de los sobrevoltajes temporales (TOV) durante las condiciones anormales de operación. Esta información se debe comparar con la capacidad nominal MCOV del apartarrayos y con la capacidad TOV del mismo.

MCOV. El término "voltaje máximo continuo de operación", aparentemente es muy simple, pero a muchas empresas de servicio eléctrico les ha sido difícil de determinar. En un sistema de distribución, en donde el voltaje siempre está cambiando debido a las demandas variables de carga, y en donde el voltaje en una parte del sistema puede ser algo diferente del que se tiene en otras partes (por ejemplo cerca de la subestación y al final del alimentador) a veces es imposible definir sólo un MCOV.

Sin embargo, el MCOV del apartarrayos es un tanto más fácil de definir, ya que es aproximadamente el 84 % el régimen nominal de trabajo del propio apartarrayos, lo que significa que un apartarrayos con régimen de trabajo de 10 KV, que es el típicamente utilizado para un sistema de 13.2 KV, podría ser operado en forma continua con un voltaje máximo continuo línea a tierra de 8.4 KV o menos.

En la tabla 10 tomada de la Norma ANSI C62.22., se muestran los voltajes nominales de los apartarrayos de óxido metálico que se aplican comúnmente para sistemas de distribución.

TOV. Cuánto desplazamiento del voltaje se tendrá a es una función del tiempo de conexión a tierra del sistema. Por ejemplo en un sistema delta, una falla de línea a tierra hará que se provoque una desviación total, es decir el voltaje línea a tierra se convertirá en el voltaje línea a línea.

En la figura 4 se ilustra esta condición; cuando una fase tiene una falla, por ejemplo la fase A, no se tiene corriente, ya que el transformador está conectado en delta. En cierto sentido, en este punto la tierra es la fase A. Los apartarrayos de las fases B y C conectados a tierra ahora, de hecho estarán conectados de la fase B a la A y de la C a la A, o sea línea a línea. Esto significa que el voltaje a través de estos apartarrayos aumentará hasta en 1.73 por unidad. Este es el voltaje en el que se basa la capacidad nominal del apartarrayos, sea de entrehierro, de carburo de silicio o MOV

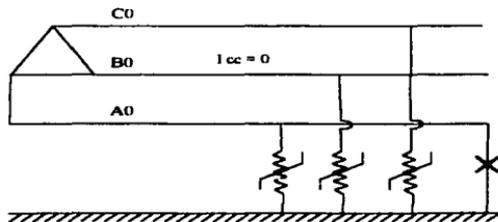


Fig.4 Falta de línea a tierra en un sistema delta.

La mayor parte de los sistemas de distribución se clasifican como sistemas tetrafilares con varias conexiones a tierra, el cuarto conductor es el neutro que se conecta a intervalos, a tierra. En la siguiente figura 5

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

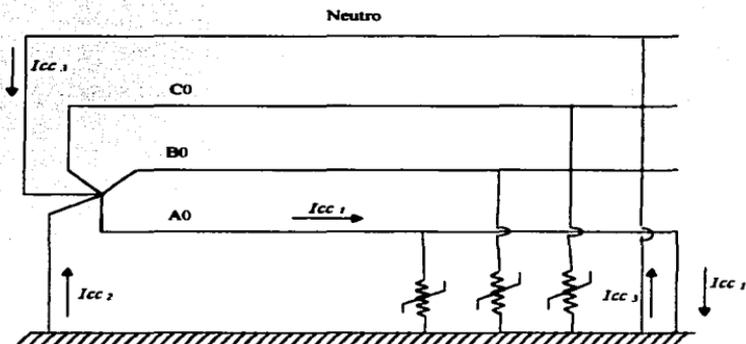


Fig.5 Falta de línea a tierra en un sistema en estrella con el neutro a tierra.

se ilustra este tipo de sistema en condición de falla sencilla de línea a tierra; este sistema conectado con firmeza a tierra, fluirá una considerable corriente de falla; si la conexión a tierra fuera perfecta, no habría diferencia de voltaje entre la tierra de la S. E. y el punto de falla, entonces el voltaje en el punto de falla sería cero y los apartarrayos conectados desde las otras fases no detectarían cambio de voltaje; sin embargo la tierra no es perfecta y en realidad se tiene una diferencia de potencial. La elevación de tensión en este tipo de falla se considera que es del 20 % (o del 25 % si se introduce la regulación como factor). En consecuencia, para esta condición, los apartarrayos de las fases B y C detectarían aproximadamente 1.25 por unidad a través de sus terminales.

En base a arduos trabajos y experiencia, el IEEE propuso que las capacidades nominales de los apartarrayos del tipo de entrehierro múltiple, seleccionados para sistemas con alambre desnudo y neutro con varias conexiones a tierra, fuera igual al voltaje nominal línea a neutro, o mayor que éste, multiplicado por el producto del factor de regulación 1.05 y el factor de elevación de voltaje 1.2. Esto es equivalente a 1.25 veces el voltaje nominal del sistema línea a neutro. Para un apartarrayos del tipo MOV, este voltaje se compara con el TOV nominal del MOV. En virtud de

que el apartarrayos MOV es más sensible a la existencia de una mala conexión a tierra, una mala regulación y a la saturación reducida que a veces se encuentra en los transformadores nuevos, en general se recomienda que para los MOV se considere un factor de 1.35.

El siguiente es un resumen de ésta y otras recomendaciones:

- Sistema de alambre desnudo con varias conexiones a tierra:

Capacidad nominal = voltaje nominal línea a tierra x 1.25 (abierto)

Capacidad nominal = voltaje nominal L - T x 1.35 (MOV)

- Sistema con alambre espaciador:

Capacidad nominal = voltaje nominal L - T x 1.5

Capacidad nominal con una sola conexión a tierra = voltaje nominal L - T x 1.4.

En la siguiente figura se muestra la capacidad temporal de sobrevoltaje del apartarrayos como una función del tiempo:

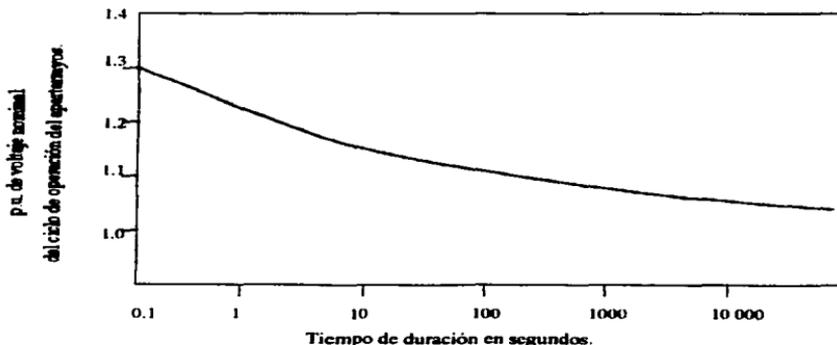


Fig. 6 Capacidad temporal de sobrevoltaje.

CAPITULO IV

4 COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO

4.1 Márgenes Para el equipo aéreo.

La aplicación de los apartarrayos para la transmisión y la distribución es diferente en cada caso.

En la transmisión, los rayos tienen una importancia secundaria en la aplicación de los apartarrayos. El interés primario son los sobrevoltajes transitorios de conmutación. Sin embargo, en un circuito de distribución, el voltaje relativamente bajo y las líneas cortas tienden a hacer de interés mínimo los sobrevoltajes transitorios de conmutación y, como consecuencia, los rayos tienen la importancia principal.

La reflexión de este hecho se puede ver en las características típicas publicadas para los apartarrayos de la clase de distribución, como se muestra en las tablas 5 y 6. Como se puede ver, se muestran las características para la formación de arco por frentes de onda y las descargas IR pero no para las ondas de sobrevoltajes transitorios de conmutación (como se muestra para los apartarrayos de transmisión de capacidad nominal más alta).

Capacidad Nominal del Apartarrayos	Formación de arco por frentes de onda máxima ANSI, cresta de KV		Voltaje máximo de descarga, cresta de KV a la corriente de impulso indicada de 8X20 μ s		
	Con desconector	Con entrehierro externo	5000 A	10 000A	20 000A
3	14.5	31	11	12	13.5
6	28	51	22	24	27
9	39	64	33	36	40
10	43	64	33	36	40
12	54	77	44	48	54
15	63	91	50	54	61
18	75	105	61	66	74
21	89	—	72	78	88
27	98	—	87	96	107

Tabla 5. Características de los apartarrayos de distribución, tomadas del manual: Carburo de silicio

Capacidad nominal del apartarrrayos	MCOV KV RMS	Nivel de protección contra el frente de onda*	Voltaje máximo de carga, onda de corriente 8X20 μ s		
			5KA	10 KA	20 KA
3	2.55	10.7	9.2	10.0	11.3
6	5.10	21.4	18.4	20.0	22.5
9	7.65	32.1	27.5	30.0	33.8
10	8.40	35.3	30.3	33.0	37.2
12	10.2	42.8	36.7	40.0	45.0
15	12.7	53.5	45.9	50.0	56.3
18	15.3	64.2	55.1	60.0	67.6
21	17.0	74.9	64.3	70.0	78.8
24	19.5	84.3	72.3	78.8	88.7
27	22.0	95.2	81.7	89.0	100.2
30	24.4	105.9	90.9	99.0	111.5
36	30.4	124.8	107.0	116.6	131.3

Tabla 6. Características de los apartarrrayos de distribución, tomadas del manual: MOV (servicio pesado)

Las dos características de protección que se utilizan normalmente para la coordinación del aislador son:

- Formación de arco por frentes de onda. Esto es lo primero que le sucede al apartarrrayos abierto: se forma arco. Esto es comparable a las características del aislamiento de frente rápido del equipo, como el nivel de aislamiento de onda cortada del transformador. Un MOV no tiene entrehierro pero tiene una formación de arco equivalente como se muestra en la tabla 6.
- Descarga IR a 10 KA. Una vez que en el apartarrrayos se forma el arco en el entrehierro, la corriente del rayo se descarga a través del material del bloque. Las normas recomiendan que se use un nivel de descarga de 10 KA para fines de coordinación. No obstante muchas empresas de servicio eléctrico están aplicando un nivel de descarga de 20 KA, con el fin de ganar un margen adicional. (Las características de descarga a través de un MOV son muy semejantes de modo que el cálculo del margen es casi idéntico.)

Es normal que el equipo de distribución se redefina como si estuviera en una clase de voltaje como de 15 KV o 25 KV. La mayor parte del equipo de las empresas de servicio eléctrico se opera en la clase de 15 KV. Un transformador de distribución en la clase de 15 KV se define mediante las siguientes características de aislamiento:

60 Hz, voltaje no disruptivo en 1 min = 34 KV

Onda cortada (tiempo corto) = 110 KV en 1.8 μ S

Nivel básico de aislamiento (BIL Basic Insulation Level) = 95 KV

Si se supone un sistema tetrafilario (7200 V L-T) de 12470 V, se seleccionaría la capacidad nominal del apartarrayos con base en lo comentado anteriormente, es decir, uno de 9 KV (con entrehierro múltiple o MOV).

Se puede ver en las tablas 5 y 6 que un apartarrayos con entrehierro múltiple de 9 KV tiene una formación de arco de 39 KV y una descarga IR a 10 KA. Se podrá trazar la gráfica de esto con las características del transformador, de la siguiente manera:

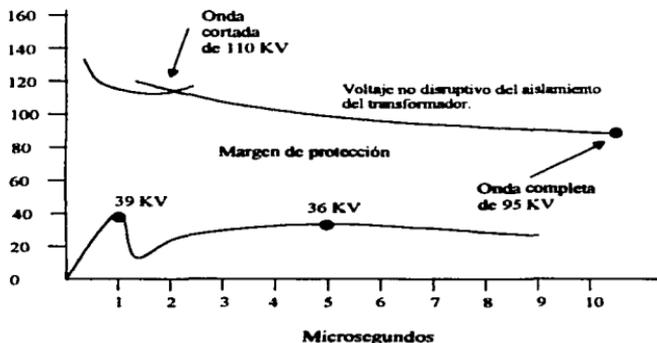


Fig.6 Coordinación de aislamiento

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las normas recomiendan márgenes del 20 % calculados por la fórmula:

$$\text{Margen} = \frac{\text{voltaje no disruptivo del aislamiento} - \text{nivel de protección}}{\text{Nivel de protección}} \times 100$$

Se calculan dos márgenes, uno para la onda cortada y otro para la onda completa (BIL) del transformador. Estos cálculos se llevan a cabo como sigue:

$$\text{Margen} = \frac{110 - 39}{39} \times 100 \% = 182\% \text{ (onda cortada)}$$

$$\% \text{ Margen} = \frac{95 - 36}{36} \times 100 \% = 164 \% \text{ (BIL)}$$

Como se puede ver, estos márgenes (182 y 164 %) están muy por encima del recomendado del 20 % y, en consecuencia, indican una buena práctica de protección. Si se estuviera utilizando un MOV, sencillamente se usaría la formación de arco equivalente y sólo se compararía la descarga IR y el BIL, dado que éste es el margen menor. Los márgenes serían similares.

4.2 Márgenes para equipo subterráneo.

Si el sistema es subterráneo, se debe tener más interés en los fenómenos de ondas viajeras y la duplicación consecuente de las ondas de sobrevoltaje en un punto abierto. Por ejemplo en la figura 7 se muestra un diseño residencial subterráneo típico. Una onda de sobrevoltaje que entrará al cable viajará hasta el punto abierto en donde duplicará su voltaje como se muestra en la figura, e iniciará su camino de regreso.

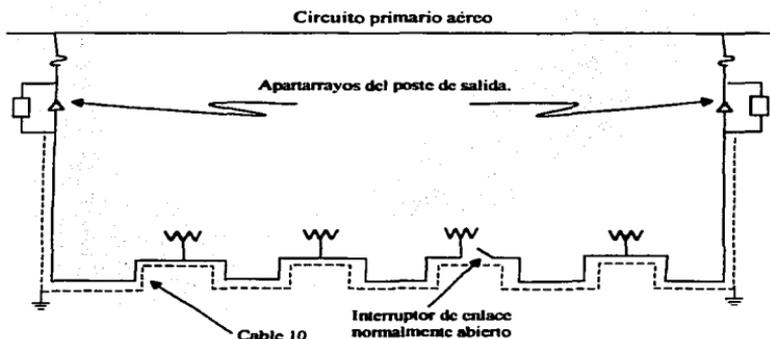


Fig.7 Circuito subterráneo

Esta onda reflejada más las ondas de entrada imponen aproximadamente el doble del voltaje normal en todo el cable y en todo el equipo conectado a él. Por ejemplo si se tuviera un apartarrayos con un nivel de descarga IR de 36 KV (sólo se está considerando el margen BIL) ahora se esperaría ver 72 KV impuestos a través del aislamiento de este equipo. Entonces el nuevo margen se calcularía como se indica:

$$\% \text{ Margen} = \frac{95 - 72}{72} \times 100 = 32 \%$$

Para niveles de voltaje más elevados, en donde los márgenes se vuelven considerablemente menores, es posible que sea necesario usar cosas como un apartarrayos en el punto abierto o apartarrayos en los postes de subida que tienen niveles de descarga más bajos.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CAPITULO V

5 INSTALACIÓN DE APARTARRAYOS EN LA UNIDAD HABITACIONAL "EL ROSARIO"

En revisiones efectuadas en la U.H. "El Rosario" se tienen puntos de transición de línea aérea a cable subterráneo que carecen del juego de apartarrayos, por lo que las sobretensiones que viajen a lo largo de la línea aérea y lleguen hasta el punto de transición entrarán al cable y seguirán su camino pasando por terminales, cable y transformadores. Es conveniente drenar a tierra una parte de la sobretensión en el punto de transición, de tal forma que proteja el aislamiento de los equipos subterráneos, para evitar el envejecimiento prematuro del aislamiento o el daño del mismo. Esta problemática se puede reducir considerablemente instalando protecciones que reduzcan las sobretensiones en el sistema de la U.H. y efectuando el mantenimiento preventivo general, contemplando la impermeabilización de los gabinetes para reducir la humedad y mantener una buena rigidez dieléctrica del aislamiento. Las protecciones a instalar son apartarrayos de óxidos metálicos en los puntos conflictivos. La instalación de estos apartarrayos, deben hacerse cumpliendo la **NORMA OFICIAL MEXICANA - 001 - SEDE - 1999**. Los artículos que se enuncian a continuación establecen y recomiendan lo siguiente:

Artículo:

280-11 Localización. En instalaciones en vía pública, deben instalarse apartarrayos en los puntos normalmente abiertos.

280-12 Tendido de los cables de los apartarrayos. El conductor utilizado para conectar el apartarrayos a la red o cables y a tierra no debe ser más largo de lo necesario, y se deben evitar curvas innecesarias.

280-23 Circuitos de 1 kV en adelante: Conductores de los apartarrayos. Los conductores entre apartarrayos y la red y entre aquellos y la conexión de puesta a tierra, no deben ser inferiores a 13.3 mm² (6 AWG) de cobre o aluminio.

280-24 Sistemas aéreos en anillo y en transiciones. Deben instalarse apartarrayos en el punto abierto de sistemas aéreos en anillo y en transiciones de línea aérea a subterránea.

280-29 Conexión de puesta a tierra. C) Apartarrayos instalados en terminales de cables subterráneos. Cuando se instalen en terminales de

cables subterráneos con cubiertas metálicas, éstas deben conectarse al mismo sistema de tierra de los apartarrayos.

5.1 Protección de sistemas de distribución subterráneos contra sobretensiones.

Una aplicación importante del apartarrayos, es la protección de circuitos de distribución subterránea y el equipo conectado a ellos. Los circuitos con cable generalmente son protegidos con apartarrayos en el punto de transición (Riser - Pole) para prevenir daños por descargas atmosféricas en la terminal del cable, el cable, o el equipo conectado.

El apartarrayos de óxidos metálicos (MOV) fácilmente protege la terminal y el aislamiento, pero se introduce una onda viajera de tensión en el cable. La onda viajera atraviesa el cable a una velocidad aproximada de 500 pies/ μ s (152.4 m/s) y se refleja positivamente si en el final del cable se presenta una impedancia alta, como en el caso de un transformador o un interruptor abierto. Si el apartarrayos no es aplicado en el punto abierto, la reflexión positiva produce una tensión cercana al doble de la onda, que puede dañar el cable y el equipo conectado, como se observa en la figura 8.

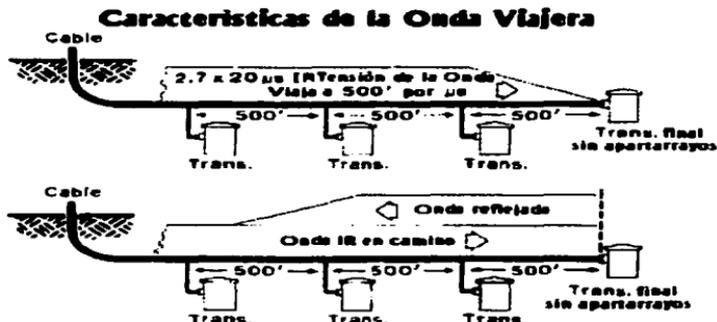


Fig. 8 Reflexión positiva de una onda se sobretensión en un punto de alta impedancia

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Para un sistema subterráneo de 13.8 kV, un apartarrayos localizado en la transición normalmente proporciona un margen de protección adecuado al cable y al equipo. Para sistemas con tensiones más elevadas, un apartarrayos solamente en el punto de transición, puede ser que no resulte adecuado, es decir, que no proporcione una buena protección al Basic Impulse Level ò BIL (Nivel Básico de Aislamiento al Impulso ò NBI) del equipo subterráneo. Para un sistema en donde no existen puntos de reflexión como en un sistema en anillo cerrado en donde ambos finales del anillo están protegidos por apartarrayos y el anillo nunca se abre, un apartarrayos en el punto de transición puede ser suficiente.

Un método común de protección para sistemas con tensiones mayores a 13.8 kV, es localizar un apartarrayos en el punto de transición y otro apartarrayos en el punto de reflexión, el cual podría ser el transformador final o un punto normalmente abierto.

El mejor método de protección para el equipo conectado al cable, es localizar un apartarrayos en el punto de transición y otro en cada equipo. Esta alternativa normalmente no es necesaria a menos que en cada equipo exista un punto abierto o de reflexión en el circuito subterráneo.

Normalmente los cálculos para la coordinación de aislamiento se realizan con una corriente de descarga del apartarrayos de 10 kA. El apartarrayos en un punto de reflexión lleva una corriente de descarga menor a 5 kA, para calcular el margen de protección para el equipo en el punto abierto las corrientes para las tensiones de descarga que se pueden ocupar son 5kA para 34.5 kV, 3 kA o menor para 24.9 kV y 13.2 kV.

El esfuerzo de onda cortada del aislamiento que va a ser protegido es normalmente coordinado con la descarga de tensión de 0.5 μ s del apartarrayos.

El nivel de aislamiento de maniobra del equipo es coordinado con la descarga de tensión para una corriente de 500 A del apartarrayos.

Las tensiones de descarga de los apartarrayos OHIO BRASS se pueden consultar en las tablas 7 y 8:

Tablas 7 y 8
(PDV 100 y PDV 6 respectivamente)
OHIO-BRASS

HEAVY DUTY
PDV-100 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

TENSIÓN NOMINAL	MCOV KV	No. DE CATALOGO	0.5 μSEC 10 KA MÁXIMA IR-KV	800 A MANCERA MÁXIMA IR-KV	8/20 MÁXIMA TENSIÓN DE DESCARGA - KV					
					1.5 KA	3 KA	6 KA	10 KA	20 KA	40 KA
3	2.55	217802	12.5	8.0	9.5	10.0	10.5	11.0	13.0	15.3
6	5.1	217805	25.0	16.0	19.0	20.0	21.0	22.0	26.0	30.5
9	7.65	217808	34.0	22.5	24.5	26.0	27.5	30.0	35.0	41.0
10	8.4	217809	36.5	23.5	26.0	28.0	29.5	32.0	37.5	43.5
12	10.2	213610	43.5	28.2	30.0	32.9	34.8	36.5	43.8	51.5
15	12.7	213613	54.2	35.0	36.4	41.0	43.4	46.0	54.6	64.2
18	15.3	213615	65.0	42.1	46.0	49.1	52.0	57.5	65.4	76.9
21	17.0	213617	69.5	44.9	49.2	52.5	55.7	61.5	69.9	82.2
24	19.5	213620	87.0	56.4	61.6	65.8	69.6	77.0	87.6	103.0
27	22.0	213622	97.7	63.2	69.2	73.9	78.2	86.5	98.4	116.7
30	24.4	213624	106.4	70.0	76.8	82.0	86.8	96.0	109.2	128.4
36	29.0	213629	130.0	84.2	92.0	98.2	104.0	115.0	130.8	153.8

NORMAL DUTY

PDV-66 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

TENSIÓN NOMINAL	MCOV KV	No. DE CATALOGO	0.5 μSEC 10 KA MÁXIMA IR-KV	800 A MANCERA MÁXIMA IR-KV	8/20 MÁXIMA TENSIÓN DE DESCARGA - KV					
					1.5 KA	3 KA	6 KA	10 KA	20 KA	40 KA
3	2.55	217253	12.5	8.5	9.8	10.3	11.0	12.3	14.3	16.5
6	5.1	217255	25.0	17.0	19.5	20.5	22.0	24.5	28.5	37.0
9	7.65	217256	33.5	23.0	26.0	28.0	30.0	33.0	39.0	50.5
10	8.4	217259	36.0	24.0	27.0	29.5	31.5	36.0	41.5	53.0
12	10.2	217280	50.0	34.0	36.0	41.0	44.0	49.0	57.0	74.0
15	12.7	217283	56.5	40.0	45.5	48.5	52.0	57.5	67.5	87.5
18	15.3	217285	67.0	46.0	52.0	56.0	60.0	66.0	78.0	101.0
21	17.0	217287	73.0	49.0	55.0	60.0	64.0	73.0	84.0	107.0
24	19.5	217270	92.0	63.0	71.5	76.5	82.0	90.5	106.5	136.0
27	22.0	217272	100.5	69.0	78.0	84.0	90.0	99.0	117.0	151.5
30	24.4	217274	108.0	72.0	81.0	88.5	94.5	106.0	124.5	159.0
36	29.0	217279	134.0	92.0	104.0	112.0	120.0	132.0	156.0	202.0

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

De especial importancia es la tensión de interrupción o tensión de maniobra que se genera durante el proceso de extinción de un arco eléctrico. La tensión transitoria no debe exceder los niveles de aislamiento, generalmente coordinados en la red.

La capacidad preliminar del apartarrayos se calcula con:

Capacidad nominal del apartarrayos = tensión nominal F- n x 1.35

La tensión máxima de operación continua MCOV (Maximum Continuous Operating Voltage) del apartarrayos se calcula con:

MCOV = Tensión máxima del sistema o equipo/1.73

En donde las tensiones nominales y máximas se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. NIVELES DE AISLAMIENTO NORMALIZADOS PARA EQUIPO DE LA CATEGORÍA 1. NMX-J-180/1-1997-ANCE

Tensión nominal del sistema U_n kV (valor eficaz)	Tensión máxima del equipo U_{n1} kV (valor eficaz)	Tensión de aguanete normalizada de corta duración a 60 Hz (de fase a tierra) kV (valor eficaz)	Tensión de aguanete normalizada de impulso por rayo kV (valor eficaz) ²
2.4	3.6	10	20
			40
4.4	5.5	19	45
			60
			75
6.9	7.2	20	40
			60
13.8	15.5	35	75
			95
			110
23	25.8	50	95
			125
			150
34.5	38	70	125
			150
			200
44	52	95	250
			325
69	72.5	140	325
		(185)	450
85-115	123	230	550
		230	550
		275	650
138	145	275	650
		325	750
150-161	170	360	850 ³
		395	950
		460	1050

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

- 1) Los valores de esta tabla están referidos a condiciones atmosféricas normalizadas
- 2) La tensión de aguante nominal de impulso por rayo de fase a fase es el mismo valor que la de fase a tierra.
- 3) Para la reposición de equipo en servicio se sigue conservando la tensión de aguante de impulso por rayo normalizado de 900 kV, para aislamiento interno.

En la siguiente tabla (Tabla 10) tomada de la Norma ANSI C62.22., se muestran los voltajes nominales de los apartarrayos de óxido metálico que se aplican comúnmente para sistemas de distribución.

Voltaje nominal, KV RMS		Capacidades nominales de voltaje del ciclo de operación en KV (MCOV)		
Voltaje Nominal	Rango B de Voltaje máximo	Tetrafilas estrella con neutro a tierra (conexiones múltiples a tierra)	Tetrafilas de baja impedancia puesta a tierra	Tetrafilas de alta impedancia puesta a tierra
2400	2540			3 (2.55)
4160Y/2400	4400Y2540	3 (2.55)	6 (5.1)	6 (5.1)
4260	4400			6 (5.1)
4800	5080			6 (5.1)
6900	7260			9 (7.65)
8320Y/4800	8800Y/5080	6 (5.1)	9 (7.65)	
12000Y/6930	12700Y/7330	9 (7.65)	12 (10.2)	
12470Y/7200	13200Y/7620	9 (7.65)	15 (2.7)	
		o 10 (8.4)		
13200Y/7620	13970Y/8070	10 (8.4)	15 (12.7)	
13800Y/7970	14605Y/8430	12 (10.1)	15 (12.7)	
13800	14520			18 (15.3)
20780Y/12000	22000Y/12700	15 (12.7)	21 (17.0)	
22840Y/13200	24200Y/13870	18 (15.3)	24 (19.5)	
23800	24340			30 (20.4)
24949Y/14400	25400Y/15240	18 (15.3)	27 (22.0)	
27600Y/15930	29255Y/16890	21 (17.0)	30 (24.4)	
34500Y/19920	36510Y/21080	27 (22.0)	36 (29.0)	

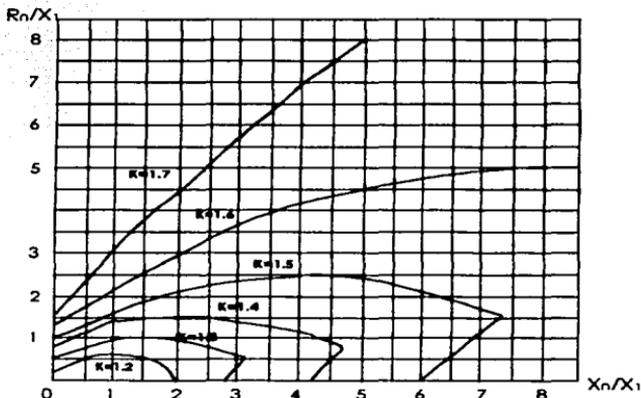
Tabla 10. Capacidades de voltaje comúnmente aplicadas de los apartarrayos de óxido metálico en los sistemas de distribución.

La sobre tensión temporal TOV (Temporary-Overvoltage) a la que se somete el apartarrayos se calcula de la manera siguiente:

$$\text{TOV} = \text{factor de aterrizamiento} \times \text{tensión máxima del sistema}$$

En donde el factor de aterrizamiento se obtiene de la siguiente curva (Figura 9) mediante las relaciones entre X_0/X_1 y R_0/X_1 , según el tipo de sistema.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



R_1 es la resistencia del sistema de secuencia positiva y negativa.
Relaciones entre R_0/X_1 y X_0/X_1 para valores constantes del factor de falla a tierra K cuando $R_1 \rightarrow 0$.

Fig. 9 Curva para calcular el factor de aterrizamiento.

Los márgenes de protección son calculados usando la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{\text{nivel de aislamiento o}}{\text{tensión de descarga del apartarrayos}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen}$$

Si el sistema es subterráneo, se debe tener más interés en los fenómenos de ondas viajeras y la duplicación consecuente de las ondas de sobretensión en un punto abierto. La figura 7 muestra un diseño residencial subterráneo típico.

Una onda viajera de sobre tensión que entrara al cable viajará hasta el punto abierto en donde duplicará su tensión, e iniciará su camino de regreso.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Esta onda reflejada más las ondas de entrada, imponen aproximadamente el doble de voltaje normal en todo el cable y en todo el equipo conectado a él.

5.2 Niveles típicos de aislamiento para equipos

Los niveles de aislamiento del equipo a proteger se pueden calcular de acuerdo con la tabla 11, la cual muestra algunos factores estimados que multiplicados por el BIL del equipo determinan los niveles de aislamiento para onda cortada y maniobra.

Tabla 11. FACTORES PARA ESTIMAR LA TENSIÓN DE PRUEBA PARA EQUIPO SUMERGIDO EN ACEITE MINERAL

DURACIÓN DEL IMPULSO	TENSIÓN DE PRUEBA	TIPO DE EQUIPO
FRENTE DE ONDA (0.5 μ s)	1.30 TO 1.50 X BIL	TRANSFORMADORES Y REACTORES
ONDA CORTADA (2 μ s)*	1.29 X BIL	BREAKERS 15.5 KV Y MAYORES
ONDA CORTADA (3 μ s)*	1.10 TO 1.15 X BIL	TRANSFORMADORES Y REACTORES
ONDA CORTADA (3 μ s)*	1.15 X BIL	BREAKERS 15.5 KV Y MAYORES
ONDA COMPLETA (1.2/50 μ s)	1.00 X BIL	TRANSFORMADORES Y REACTORES
MANIOBRA CON ONDA DE-250/2500 μ s	0.83 X BIL	TRANSFORMADORES Y REACTORES
MANIOBRA CON ONDA DE-250/2500 μ s	0.63 TO 0.69 X BIL	BOQUILLAS
MANIOBRA CON ONDA DE-250/2500 μ s	0.63 TO 0.69 X BIL	BREAKERS 362-800 KV **

*TIEMPO DE CORTE

**INCLUYE SOPLO DE AIRE E INTERRUPTORES EN SF6

Los estándares recomiendan márgenes de protección mínimos del 20% para la ONDA CORTADA y el NBI y del 15% para protección por MANIOBRA.

CAPITULO VI

4 Ejemplo de la coordinación de aislamiento para apartarayos.

Las características eléctricas mostradas en la Tabla 1 (capítulo 1), son usadas para determinar los márgenes de protección para los niveles de aislamiento utilizados. Las figuras 10 y 11 ilustran un sistema de 34.5 kV efectivamente aterrizado, 150 kV de BIL, protegido con un apartarayos con una tensión máxima continua de fase a tierra (MCOV) de 22 kV tipo PDV. La figura 10 muestra un equipo protegido con un PDV-100 con número de catalogo 213622 y la figura 11 muestra el mismo equipo protegido con un PDV-65 con número de catalogo 217272, cuyas características eléctricas se muestran en la tablas 7 y 8 mostradas anteriormente.

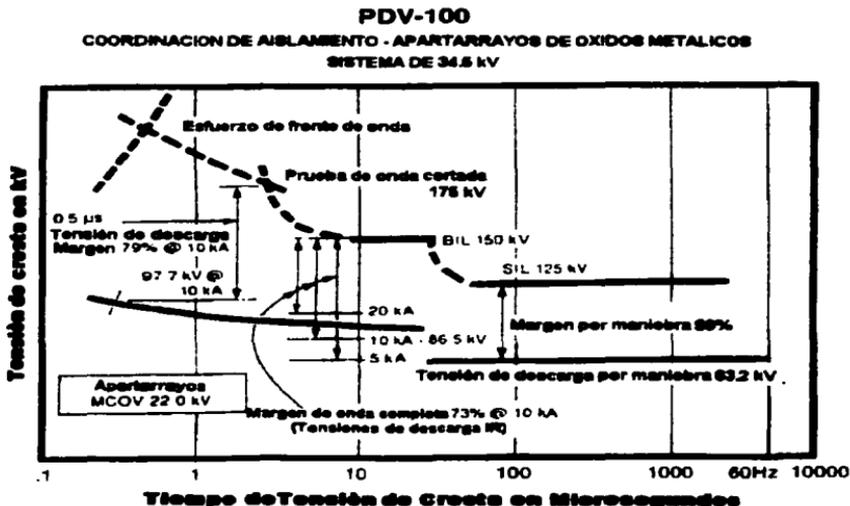


Figura 10. Coordinación de aislamiento para el apartarayos PDV-100 de Óxidos-Metálicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los márgenes de protección son calculados usando la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{\text{nivel de aislamiento}}{\text{tensión de descarga del apartarrayos}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen}$$

Los niveles de aislamiento son obtenidos del fabricante del equipo a ser protegido. Los voltajes de descarga son obtenidos de las tablas

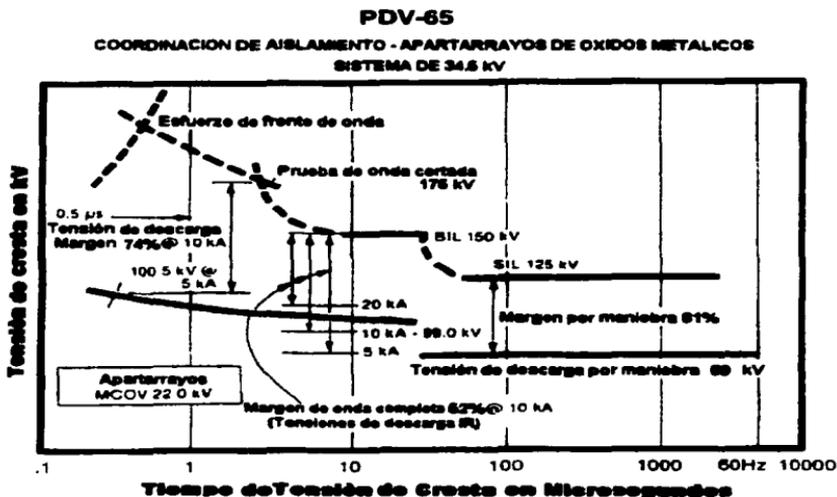


Figura 11. Coordinación de aislamiento para el apartarrayos PDV-65 de Óxidos-Metálicos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por ejemplo, el margen de protección para el BIL es determinado primero encontrando la descarga de voltaje del apartarrayos al nivel de corriente seleccionado. En este ejemplo, la corriente de descarga de 10 kA es usada como representativa de una descarga típica de rayo a través del apartarrayos. La tensión de descarga para 10 kA 8/20 μ s no. De catalogo 213622 es de 85 kV. El por ciento de margen de protección usando la fórmula es:

$$\left(\frac{150 \text{ kV}}{86.5 \text{ kV}} - 1 \right) \times 100 = 73\%$$

Los márgenes de protección para otros impulsos de corriente son encontrados de forma similar. En el caso del apartarrayos PDV-65, la tensión de descarga para 10 kA 8/20 μ s es de 99 kV. Esto resulta en un margen de protección del 52%.

6.1 Cálculos y resultados de la coordinación de aislamiento para los apartarrayos del sistema de distribución subterráneo de la U.H. El Rosario.

Los apartarrayos a coordinar para el sistema de distribución de 23 kV de la Unidad Habitacional "El Rosario" son los siguientes:

6.1.1 Equipo disponible para instalarse en el punto de transición.

De línea aérea a cable subterráneo (Riser – Pole):

a) Según la Norma de Materiales de Luz y Fuerza del Centro 2.0599, se tiene el apartarrayos IOM-23, cuyas características son:

Generales:

Clase	Intermedia o de acometida (Riser – Pole)
Tipo	Elementos valvulares de óxidos metálicos
Servicio	Intemperie
Temperatura ambiente	Entre 0 °C y 40 °C
Condición ambiental	Alto grado de contaminación
Material	Cuerpo de porcelana

Eléctricas:

a) Del sistema:

Tensión nominal 23 kV rms
 Frecuencia nominal 60 Hz

Altitud de operación 2300 msnm
 Tipo de Sistema "C" con $X_0/X_1 > 3$ y $R_0/X_1 > 1$

b) Del apartarayos:

Tensión de servicio: 24 kV rms

Tensión máxima de Operación continua MCOV: 19.5 kV rms

Clasificación de corriente: 10 kA

Nivel de protección de frente de onda (FOW) $0.5 \mu\text{s}$ (máx.): 66.6 kV

Tensión de descarga residual con onda de $8/20 \mu\text{s}$ (máx.) en 10 kA: 56 kV

Nivel de protección Por maniobra con onda De $250/2500 \mu\text{s}$ (máx.): 46.6 kV

Tensión de aguante de impulso por rayo NBI con onda de $1.2/50 \mu\text{s}$: 150 kV a 0 msnm

Tensión de aguante a 60 Hz 1 min. en seco: 70 kV
 10 s en húmedo: 60 kV

Corriente alta de descarga de corta duración con 2 descargas y onda de $4/10 \mu\text{s}$: 65 kA cresta

Corriente baja transitoria con onda de $45 \mu\text{s}$ a $60 \mu\text{s}$: 500 A cresta

Capacidad de disipación

de energía basada en la
MCOV del apartarrayos: 3.2 kJ/kV

Ciclo de servicio con
Onda de 8/20 μ s 20 operaciones con cresta de 10 kA
Tensión de ionización
Interna con 1.05 MCOV: 50 μ V (máx.)

USO:

Limita las sobretensiones que se transmiten de la línea aérea a circuitos subterráneos, protegiendo a los equipos instalados en estos, desviando las corrientes de descarga hacia tierra.

Se coloca en la acometida de transición de la línea aérea-cable subterráneo en cruceta 40, conectado a línea aérea de 23 kV y a tierra con cable Cud 1/0, o bien se instala en gabinetes.

CLAVE DEL NOMBRE:

I = Intermedia, clasificación del apartarrayos, también comprende al de acometida (Riser – Pole).

OM = Óxidos Metálicos, materiales con que son fabricados los elementos valvulares de los apartarrayos.

23 = 23 kV, tensión nominal del sistema.

6.1.2 Consideraciones para los puntos de alta impedancia.

Para los puntos de alta impedancia tenemos las siguientes opciones y sus características eléctricas se pueden observar en las tablas 7 y 8.

- Apartarrayos con envolvente polimérica de 24 kV marca OHIO BRASS, Normal Duty, PDV-65 no. de catalogo 217270 con corriente de descarga de 10 kA para onda de 8/20 μ s. En existencia en el almacén de Cables Subterráneos Indios Verdes.
- Apartarrayos propuesto con envolvente polimérica de 18 kV marca OHIO BRASS, Normal Duty, PDV-65 no. de catalogo 217265.
- Apartarrayos propuesto con envolvente polimérica de 18 kV marca OHIO BRASS, Heavy Duty, PDV-100 no. de catalogo 213615.

Seleccionando la tensión nominal del apartarrayos de forma preliminar tanto para la transición como en el punto abierto obtenemos:

Capacidad nominal del apartarrayos = $(23/1.73) \times 1.35 = 17.926 \text{ kV}$

De aquí se recomienda un apartarrayos de 18 kV en base a la tabla 11 de la ANSI para el sistema de 23 kV.

Ahora la tensión máxima de operación continua del apartarrayos es:

$\text{MCOV} = 25.8 \text{ kV} / 1.73 = 14.895 \text{ kV}$

Por lo que un apartarrayos cuyo MCOV sea menor a 14 895 no se debe instalar, de echo la norma ANSI especifica un apartarrayos con un MCOV de 15.3 kV cuya tensión nominal es de 18 kV (ver tabla 10).

La sobretensión temporal para el sistema a proteger será:

$\text{TOV} = 1.7 \times 25.8 \text{ kV} = 43.86 \text{ kV}$

$\% \text{TOV} = 43.86 \text{ kV} / 14.895 = 2.94 \%$

En caso de una falla a tierra en el sistema la sobretensión temporal es casi el doble del MCOV del apartarrayos

Calculando los niveles de tensión para la prueba de aislamiento en un transformador de 23 kV, que es el equipo principal a proteger, en base a la tabla 11, son los siguientes:

El nivel básico de aislamiento (BIL) es de 150 kV para línea aérea, sin embargo el equipo primario a proteger es subterráneo y tiene un nivel de aislamiento por norma de 125 kV, por lo tanto para onda completa (full wave $1.2 \times 50 \mu\text{s}$) es:

$1.00 \times \text{BIL} = 1.00 \times 125 \text{ kV} = 125 \text{ kV}$

Para la onda cortada (Front of wave $0.5 \mu\text{s}$) es:

$1.30 \times \text{BIL} = 1.30 \times 125 = 162.5 \text{ kV}$, sin embargo un valor usual es 165 kV

Finalmente la tensión por maniobra (SIL) es de:

$0.83 \times \text{BIL} = 0.83 \times 125 \text{ kV} = 103.75 \text{ kV} \approx 104 \text{ kV}$

6.1.3 Cálculos para los puntos de transición.

Calculando los márgenes de protección para los apartarrayos IOM-23 en los puntos de transición, en base a los datos tenemos:

De la fórmula: $\left(\frac{\text{nivel de aislamiento o}}{\text{tensión de descarga del apartarrayos}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen}$

$\left(\frac{\text{nivel de aislamiento para onda cortada}}{\text{tensión de descarga del apartarrazos para FOW en } 0.5 \mu\text{s}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para onda cortada}$

$$\left(\frac{165\text{kV}}{66.6\text{kV}} - 1 \right) \times 100 = 147.74 \% \text{ Margen para onda cortada}$$

$$\left(\frac{\text{nivel básico de aislamiento al impulso por rayo}}{\text{tensión de descarga del apartarrazos para onda de } 8/20 \mu\text{s}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para BIL}$$

$$\left(\frac{125\text{kV}}{56\text{kV}} - 1 \right) \times 100 = 123.21 \% \text{ Margen para BIL}$$

$$\left(\frac{\text{nivel básico de aislamiento al impulso por maniobra}}{\text{tensión de descarga del apartarrazos para corriente de } 500 \text{ A}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para SIL}$$

$$\left(\frac{104\text{kV}}{46.6\text{kV}} - 1 \right) \times 100 = 123.17 \% \text{ Margen para SIL}$$

De los cálculos anteriores podemos notar que los márgenes de protección son superiores al 20 % para el BIL y onda cortada, y superior al 15 % para maniobra, lo cual indican buena práctica de protección. Podemos notar que no es necesaria la corrección de los niveles de aislamiento para el equipo aéreo debido a que presenta un nivel de aislamiento de 150 kV en alturas menores a los 1000 msnm, corrigiendo este BIL a la altura de la ciudad de México obtendremos un BIL mayor a 150 kV y por la tanto los márgenes serán mayores a los mostrados anteriormente.

La gráfica de la coordinación de aislamiento para el punto de transición se muestra en la figura 12.

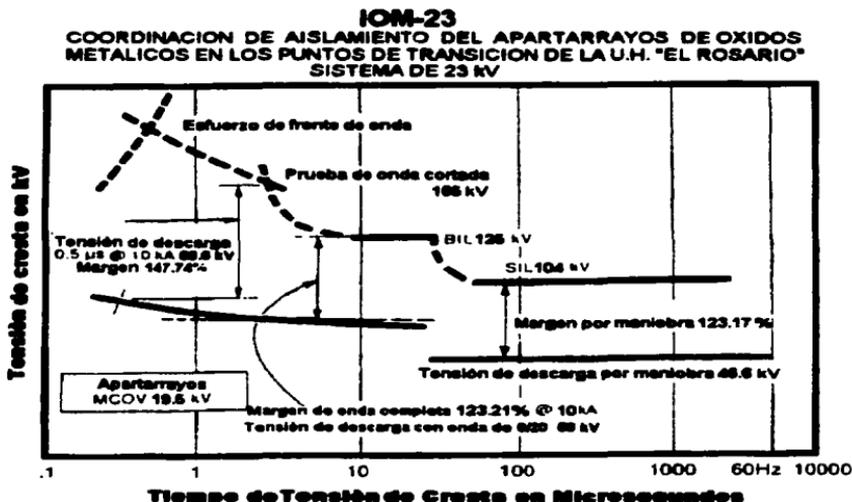


Figura 12. Coordinación de aislamiento para el apartarrayos IOM-23.

6.1.4 Cálculo para los puntos de alta impedancia.

a) Calculando los márgenes de protección para el apartarrayos OHIO BRASS de 24 kV, PDV-65, no. de catalogo 217270, para los puntos de alta impedancia, obtenemos:

De la fórmula:
$$\left(\frac{\text{nivel de aislamiento}}{\text{tensión de descarga del apartarrayos}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En este caso se debe de tomar en cuenta que la tensión se incrementa en aproximadamente el doble en los puntos a proteger, considerando que el apartarrayos en el punto de transición debe drenar una parte de la sobre tensión que entra al sistema subterráneo, podemos utilizar una corriente de descarga de 3 kA con onda de 8/20 μ s, entonces:

$$\left(\frac{\text{nivel de aislamiento para onda cortada}}{2 \times \text{tensión de descarga del apartarrayos para FOW en } 0.5 \mu\text{s}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para onda cortada}$$

$$\left(\frac{165 \text{ kV}}{2 \times 92 \text{ kV}} - 1 \right) \times 100 = -10.32 \% \text{ Margen para onda cortada}$$

$$\left(\frac{\text{nivel básico de aislamiento al impulso por rayo}}{2 \times \text{tensión de descarga del apartarrayos para onda de } 8/20 \mu\text{s}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para BIL}$$

$$\left(\frac{125 \text{ kV}}{2 \times 76.5 \text{ kV}} - 1 \right) \times 100 = -18.30 \% \text{ Margen para BIL}$$

$$\left(\frac{\text{nivel básico de aislamiento al impulso por maniobra}}{2 \times \text{tensión de descarga del apartarrayos para corriente de } 500 \text{ A}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para SIL}$$

$$\left(\frac{104 \text{ kV}}{2 \times 63 \text{ kV}} - 1 \right) \times 100 = -17.46 \% \text{ Margen para SIL}$$

Podemos ver (Figura 13) que se presentan márgenes de protección inadecuados en todos los casos, por lo que no se recomienda el uso de este apartarrayos en los puntos de alta impedancia.

OHIO BRASS PDV-65 24 KV NO. 217270

COORDINACION DE AISLAMIENTO DEL APARTARRAYOS DE OXIDOS METALICOS EN LOS PUNTOS DE ALTA IMPEDANCIA DE LA U.H. "EL ROSARIO" SISTEMA DE 23 KV

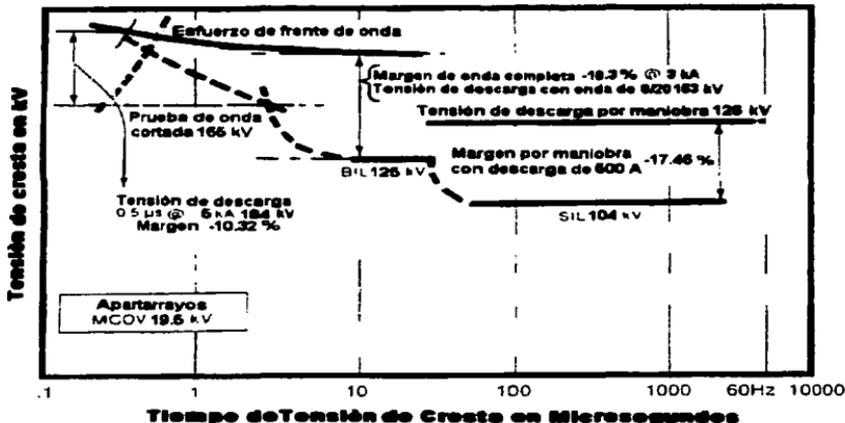


Figura 13. Coordinación de aislamiento para el apartarrayos PDV-65 de 24 kV.

b) Ahora calculando los márgenes de protección para el apartarrayos OHIO BRASS, 18 kV, Normal Duty, PDV-65 no. de catalogo 217265, para los puntos de alta impedancia, obtenemos:

$$\left(\frac{\text{nivel de aislamiento para onda cortada}}{2 \times \text{tensión de descarga del apartarrayos para FOW en } 0.5 \mu\text{s}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para onda cortada}$$

$$\left(\frac{165kV'}{2 \times 67kV'} - 1 \right) \times 100 = 23.13 \% \text{ Margen para onda cortada}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$\left(\frac{\text{nivel básico de aislamiento al impulso por rayo}}{2 \times \text{tensión de descarga del apartarrayos para onda de } 8/20 \mu\text{s}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para BIL}$$

$$\left(\frac{125kV'}{2 \times 56kV'} - 1 \right) \times 100 = 11.60 \% \text{ Margen para BIL}$$

$$\left(\frac{\text{nivel básico de aislamiento al impulso por maniobra}}{2 \times \text{tensión de descarga del apartarrayos para corriente de } 500 \text{ A}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para SIL}$$

$$\left(\frac{104kV'}{2 \times 46kV'} - 1 \right) \times 100 = 13.04 \% \text{ Margen para SIL}$$

En este caso los márgenes mejoran notablemente, sin embargo, no son adecuados como se puede visualizar en la Figura 14 que muestra la coordinación de aislamiento:

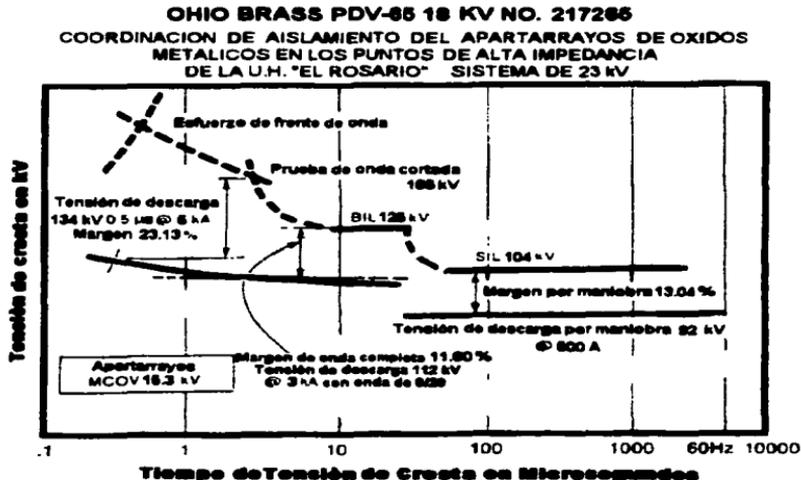


Figura 14. Coordinación de aislamiento para el apartarrayos PDV-65 de 18 kV.

e) De nuevo calculando los márgenes de protección para el apartarrazos OHIO BRASS, 18 kV, Heavy Duty, PDV-100 no. de catalogo 213615, para los puntos de alta impedancia, obtenemos:

$$\left(\frac{\text{nivel de aislamiento para onda cortada}}{2 \times \text{tensión de descarga del apartarrazos para FOW en } 0.5 \mu\text{s}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para onda cortada}$$

$$\left(\frac{165kV}{2 \times 65kV} - 1 \right) \times 100 = 26.92 \% \text{ Margen para onda cortada}$$

$$\left(\frac{\text{nivel básico de aislamiento al impulso por rayo}}{2 \times \text{tensión de descarga del apartarrazos para onda de } 8/20 \mu\text{s}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para BIL}$$

$$\left(\frac{125kV}{2 \times 49.1kV} - 1 \right) \times 100 = 27.29 \% \text{ Margen para BIL}$$

$$\left(\frac{\text{nivel básico de aislamiento al impulso por maniobra}}{2 \times \text{tensión de descarga del apartarrazos para corriente de } 500 \text{ A}} - 1 \right) \times 100 = \% \text{ Margen para SIL}$$

$$\left(\frac{104kV}{2 \times 42.1kV} - 1 \right) \times 100 = 23.51 \% \text{ Margen para SIL}$$

En este caso los márgenes de protección cumplen de manera adecuada para la coordinación de aislamiento, cuya gráfica se muestra en la Figura 15.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

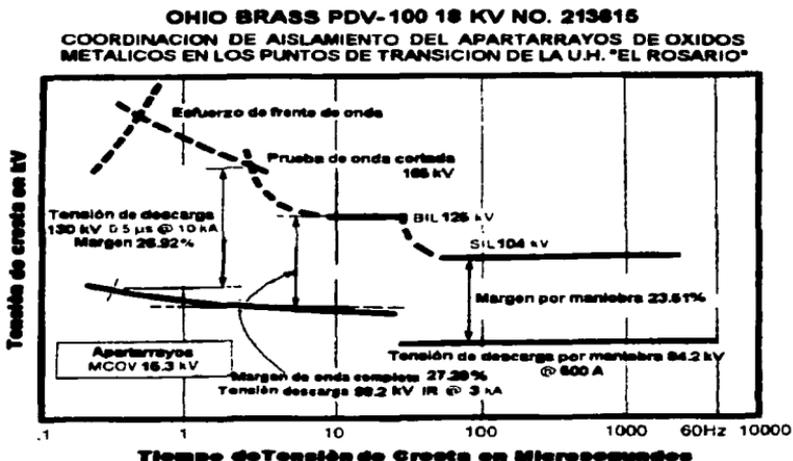


Figura 15. Coordinación de aislamiento para el apartarrayos PDV-100 de 18 kV.

De las gráficas y cálculos anteriores, el apartarrayos en los puntos de transición IOM-23 presenta márgenes adecuados, así mismo, podemos observar que el apartarrayos que cumple con los estándares establecidos para los puntos de alta impedancia es el OHIO BRASS PDV-100, 18 kV No. 213615.

El apartarrayos IOM-23 se colocará en los puntos de transición de acuerdo con la norma de montajes de Luz y Fuerza del Centro correspondiente a líneas aéreas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El apartarrayos OHIO BRASS PDV-100, 18 kV No. 213615, se montará en los puntos de alta impedancia, lo más cerca posible del transformador tratando que los tramos de cable sean lo más cortos posibles y evitando curvas innecesarias. El montaje de los apartarrayos se hará de acuerdo con la norma de montajes de Luz y Fuerza del Centro correspondiente a

montajes subterráneos y respetando las distancias de los claros de montaje mínimos recomendados por OHIO BRASS, los cuales se especifican a continuación.

6.2 Claros de montaje.

De las columnas mostradas en la tabla siguiente, los claros de montaje para los apartarrayos se pueden observar en el siguiente diagrama. Los claros tabulados son los mínimos recomendados y estos sujetos a modificaciones expuestas en la NOTA 1.

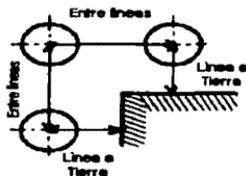


Figura 16. Claros de montaje para los apartarrayos OHIO-BRASS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

HEAVY DUTY
DYNAVAR PDV-100

TENSIÓN NOMINAL	MCOV	7" ALTURA	DISTANCIA DE FLAMEO DESDE LA TERMINAL HASTA LA BASE	CLAROS DE MONTAJE (1)		PESOS NETOS		
				LÍNEA A LÍNEA ENTRE CENTROS	LÍNEA A TIERRA	UNIDAD SOLAMENTE	UNIDAD CON BASE	UNIDAD CON BASE Y HERRAJES
KV	KV	PULGADAS	PULGADAS	PULGADAS	PULGADAS	LIBRAS	LIBRAS	LIBRAS
3	2.55	7.0	8.0	5	3	2.4	3.2	5.7
6	5.1	9.3	15.4	5.4	3.4	3.1	4.0	6.5
9	7.65	9.3	15.4	6	4	3.1	4.0	6.5
10	8.4	9.3	15.4	6.2	4.2	3.1	4.0	6.5
12	10.2	12.3	26.0	7.5	5.5	4.3	5.4	7.8
15	12.7	12.3	26.0	8.5	6.5	4.3	5.4	7.8
18	15.3	12.3	26.0	9.5	7.5	4.9	6.0	8.4
21	17	12.3	26.0	10.0	8.0	4.9	6.0	8.4
24	19.5	21.0	52.0	12.0	10.0	8.5	9.5	12.0
27	22.0	21.0	52.0	13.0	11.0	8.5	9.5	12.0
30	24.4	21.0	52.0	14.0	12.0	8.5	9.5	12.0
36	29.0	21.0	52.0	16.5	14.5	9.7	10.7	13.2

1. Línea a línea entre centros es equivalente a entre bases. Estos son los claros de montaje mínimos recomendados si no se especifica otra cosa en normas o en especificaciones. Suma 0.5 lb por apartarrayos, para un peso de empaque correcto.

Tabla 12. Características físicas de los apartarrayos.

6.3 Distancia de flameo.

Referida en la columna marcada como distancia de flameo, se ilustra en la figura siguiente.

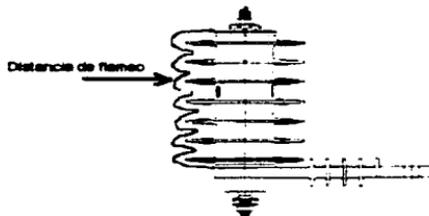


Figura 17. Distancia de flameo en un apartarrayos.

6.4 DIMENSIONES

Refiriéndonos a la columna marcada con "X", es la altura de los apartarrayos entre bomes del equipo y se muestra en la figura siguiente.

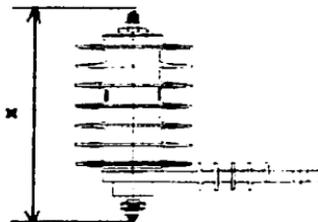


Figura 18. Dimensiones del apartarrayos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALIÓ
DE LA BIBLIOTECA

CONCLUSIONES:

De acuerdo con los resultados obtenidos de los cálculos realizados para la coordinación de aislamiento de los apartarrayos, en los puntos de transición y de alta impedancia en el sistema subterráneo de la U.H. El Rosario, se propone lo siguiente:

1. El apartarrayos IOM-23 de la Norma de Materiales de Luz y Fuerza, No. 2.0599, instalado en los puntos de transición presenta márgenes de protección adecuados, por lo que puede instalarse en el lugar mencionado, sin ningún problema.
2. Para los puntos de alta impedancia del sistema subterráneo de la Unidad Habitacional El Rosario, como lo son las fronteras y el transformador final del circuito radial, el apartarrayos de 24 kV marca OHIO BRASS, Normal Duty PDV-65, No. de catálogo 217270 con corriente de descarga de 10 kA, existente en el almacén del departamento de Cables Subterráneos Indios Verdes, presenta márgenes de protección inadecuados, por lo cual se sugiere la utilización del apartarrayos: OHIO BRASS PDV-100, 18 kV, No. de catálogo 213615 con corriente de descarga de 5 kA debido a que es el que presenta los márgenes de protección adecuados para la protección del sistema por sobretensiones. Este apartarrayos debe instalarse o montarse lo más cerca posible del transformador y procurando que los tramos de cable sean lo más corto posible y evitando curvas innecesarias.

El montaje de los apartarrayos se realizará de acuerdo con la Norma de Montajes de Luz Y Fuerza, correspondiente a Cables Subterráneos y respetando las distancias de los claros de montaje mínimos recomendados por OHIO BRASS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA:

1. Donald G. Fink. H. Wayne Beaty. Manual de Ingeniería Eléctrica. Tomo II. McGraw-Hill, décimo tercera Ed. México 1996.
2. Enríquez Harper Gilberto. Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas. Editorial Limusa. Décima reimpresión. México 1999.
3. Luz y Fuerza del Centro. Cables Subterráneos Normas de Materiales. No. 2.0599.
4. Secretaría de Energía. "NOM - 001 - SEDE - 1999. Instalaciones Eléctricas (Utilización)". Artículo 280 - Apartarrayos. México, Lunes 27 de septiembre de 1999.
5. HUBBELL - OHIO BRASS. Metal-Oxide Surge Arrester Protection of Distribution Systems. Manual EU1136-H. Hubbel / Ohio Brass. Wadsworth, Ohio USA 2001.
6. OHIO BRASS. Dyna Var Distribution Class (PDV) and Riser-Pole (PVR) Surge Arresters. Section 31. OHIO BRASS. Wadsworth, Ohio USA October 1996.
7. Anteproyecto ANCE. Coordinación de Aislamiento NMX - j - 150 / 1 - 1997 - ANCE. Documento de trabajo SC 23. ANCE, 21 de agosto de 1997.
8. IEEE. IEEE GUIDE FOR THE APPLICATION OF METAL-OXIDE. Std. C62.22, 1991.