

1126
87



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILAN

"DISEÑO, OPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE
INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.
ANÁLISIS DE SOBREVOLTAJES EN EL SISTEMA
ELÉCTRICO DE POTENCIA".

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

GIOVANI VALLE GARCÍA

ASESOR: Ing. Ma. De la Luz González Quijano

CUAUTILAN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

2003

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A



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



U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

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:

~~Diseño, Operación y Protección de Instalaciones Eléctricas~~

~~Industriales, Analisis de Sobrevoltajes en el Sistema Eléctrico
de Potencia~~

que presenta El pasante: Giovani Valle Garcia
con número de cuenta: 9518619-7 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.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 14 de Octubre de 2003

MODULO

PROFESOR

FIRMA

<u>III</u>	<u>Ing. Ma. de la Luz González Quijano</u>	
<u>I</u>	<u>Ma. Benjamín Contreras Santacruz</u>	
<u>IV</u>	<u>Ing. José Gustavo Orozco Hernández</u>	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

B

Las personas persistentes cosecharan frutos
Las personas mediocres cosecharan fracasos

Una persona culta es humilde y comparte sus conocimientos
Una persona presuntuosa carece de conocimientos

El hombre inteligente analiza y actúa
El hombre ignorante actúa sin razonar

A mis padres, por formar el pilar central de mi vida en base de su educación , apoyo de toda índole, e inteligencia y sabiduría para poder formarme sin desistir pese a los problemas, hostilidades, y depresiones cotidianas.

**A mi Abuela, que en paz descanse
Por ser una de las personas mas admirables,
siendo una fuente de inspiración para seguir adelante
y ser persistente , no olvidando la humildad**

**A mi Asesor (a), Ing. Ma. De la Luz González Quijano
por tener el interés para encaminarme a la realización
y culminación de mi trabajo de investigación**

A mis hermanos, por la sabiduría de sus consejos

ANÁLISIS DE SOBREVOLTAJES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

INDICE

Pág.

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPITULO I " ANTECEDENTES "

1.1. CENTRALES GENERADORAS.....	3
1.1.1. CLASIFICACION DE LAS SUBESTACIONES ELECTRICAS.....	5
1.1.2. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA SUBESTACIÓN.....	5
1.2. RED DE UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA.....	7
1.3. DEFINICIÓN DE UNA SUBESTACIÓN.....	8
1.3.1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.4. CLASIFICACION DE SUBESTACIONES	8
1.4.1. DEFINICIÓN.....	9
1.4.2. ELEMENTOS DE UNA SUBESTACIÓN.....	9

CAPITULO II "GENERACIÓN DE SOBREVOLTAJES"

2.1. INTRODUCCION.....	11
2.1.1. LA CARGA ELÉCTRICA.....	11
2.2. SISTEMA DE SOBREVOLTAJE.....	13
2.3. FERRORESONANCIA.....	14
2.4. CAPACITOR CONMUTADOR.....	17
2.5. CORRIENTE DE INTERRUPCIÓN.....	21
2.6. NIVEL DE TENSIÓN.....	23
2.7. PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIÓN.....	24
2.8. DESCARGAS ADMSFERICAS.....	25
2.9. MANIOBRAS DE INTERRUPTORES.....	30

CAPITULO III "REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO"

3.1. INTRODUCCIÓN	35
3.2. AISLAMIENTO DE TRANSFORMADOR.....	36
3.2.1. METODOS DE ENFRIAMIENTO	37
3.3. MATERIALES PARA AISLAMIENTOS.....	41
3.3.1. MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LOS ACEITES AISLANTES.....	42
3.4. NIVEL DE AISLAMIENTO.....	43
3.4.1. COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO.....	43
3.4.2. TENSIÓN NOMINAL.....	45
3.5. NIVEL BASICO DE IMPULSO.....	46
3.6. NORMAS DE AISLAMIENTO PARA LINEAS.....	50

CAPITULO IV "CARACTERÍSTICAS DE PARARRAYOS "

4.1. INTRODUCCIÓN.....	54
4.2. CUERNO DE ARQUEO.....	58
4.3. PARARRAYOS AUTOVALVULARES.....	59
4.4. FUNCIONAMIENTO DEL PARARRAYO.....	61
4.5. PARARRAYO DE OXIDOMETALICO.....	63
4.6. CARACTERÍSTICAS DE PARARRAYO.....	64
4.6.1. CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DE LOS PARARRAYOS PARA 23KV.....	66
4.6.2. CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DE LOS PARARRAYOS PARA 230KV.....	67

CAPITULO V "APLICACIONES"

5.1. PROBLEMAS	68
5.1.1. LOCALIZACIÓN DEL PARARRAYOS.....	69
5.1.2. EJEMPLOS.....	70
5.2. APLICACIONES DE LOS PARARRAYOS.....	76
5.2.1. REVISIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	77
5.3. DIAGRAMA DE PARARRAYOS.....	78
5.4. NOVEDADES.....	80
5.4.1. FUNCIONAMIENTO.....	82
5.5. NIVELES DE PROTECCIÓN.....	83
5.5.1. TABLAS	84
5.6. CONCLUSIONES	86
BIBLIOGRAFÍA.....	88

CAPITULO I
"ANTECEDENTES"

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este trabajo tiene la finalidad, de conocer las causas que pueden producirse por sobrevoltaje de diferente índole así como también conocer a grosso modo los elementos que conforman toda una red de potencia (SEP).

El objetivo de esta tesina es de saber los métodos de protección y analizar los diferentes voltajes que pueden causar daños severos en una instalación.

Esta tesina consta de cinco capítulos los cuales a continuación se mencionan brevemente:

El primer capítulo nos menciona muy superficialmente, como está constituido un sistema eléctrico de potencia (SEP), posteriormente nos enuncia algunos conceptos de los elementos más básicos del sistema eléctrico de potencia. Tenemos diagramas unifilares y gráficos para que el interesado de cualquier licenciatura pueda comprender dicho trabajo sin complicación alguna.

El segundo capítulo nos comenta los distintos tipos de sobrevoltaje (sobre tensiones) por lo que nos enriquece con análisis y también como se pueden contrarrestar o simplemente proteger.

En este capítulo observamos desde cuando surge por diversos factores hasta su protección.

En el tercer capítulo contiene los tipos de aislamiento de los elementos que se consideran más importantes. Desde su análisis hasta el tipo de materiales. Podemos observar las gráficas para poder seleccionar el tipo de aislamiento así

como también los materiales más eficaces, se introdujo algunas ecuaciones generales.

En el cuarto capítulo versa sobre los pararrayos es decir sobre los dispositivos de protección contra sobrevoltaje

También nos explica detalladamente desde su construcción hasta un análisis matemático para poderlo adaptar a nuestro sistema así como análisis gráficos de su colocación y tipos de materiales para diferentes equipos

El quinto y último capítulo, que es de "aplicación" , comentamos como en cualquier instalación donde se maneje mucho equipo de potencia(edificios, industrias , plantas, etc) utilizamos un sistema de protección contra sobrevoltaje ya sea el pararrayos por lo que se mencionan algunas aplicaciones.

También se muestran algunos tipos de equipos que pueden controlar los sobrevoltaje con sus características.

Por último terminamos con las conclusiones hechas por un servidor, culminando con las fuentes donde se sacó dicha información.

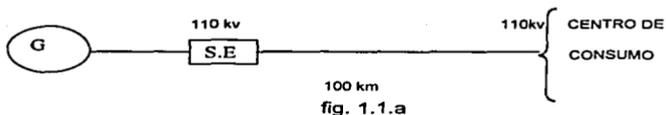
1.1.CENTRALES GENERADORAS

Algunas de las características técnicas (aislamiento, enfriamiento, etcétera), sus voltajes de generación en las centrales generadoras son relativamente bajos en relación con los voltajes de transmisión, por lo que si la energía eléctrica se va a transportar a grandes distancias estos voltajes de generación resultarían antieconómicos, debido a que se tendría gran caída de voltajes. De aquí se presenta la necesidad de transmitir la energía eléctrica a voltajes más elevados que resulten más económicos. Por ejemplo, si se va a transmitir energía eléctrica de una central generadora a un centro de consumo que está situado a 1,000 km de distancia, será necesario elevar el voltaje de generación que supondremos de 13.8 kV a otro de transmisión más conveniente que asumimos sea de 115 kV, como se muestra en la fig. 1.1

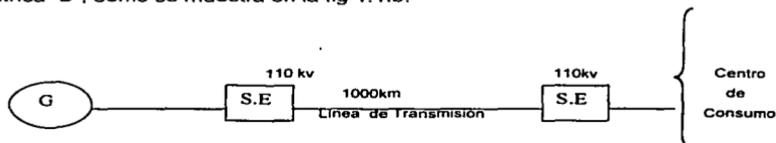


fig.1.1

en este caso para poder elevar el voltaje de generación de 13.8 kV al de transmisión de 115 kV es necesario emplear una subestación eléctrica "A": como se muestra en la fig 1.1.a



Suponiendo que la caída de voltaje en la línea de transmisión fuera cero volts, tendríamos en el centro de consumo 115 kV. Es claro que este voltaje no es posible emplearlo en instalaciones industriales y aún menos en comerciales y residenciales, de donde se desprende la necesidad de reducir el voltaje de transmisión de 115 kV a otro u otros más convenientes de distribución en centros urbanos de consumo. Por tal razón, será necesario emplear otra subestación eléctrica "B", como se muestra en la fig 1.1.b:



De lo anteriormente expuesto, se puede inferir que existe una estrecha relación entre las subestaciones eléctricas, líneas de transmisión y centrales generadoras.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

1.1.1.CLASIFICACION DE LAS SUBESTACIONES ELECTRICAS

En este caso es difícil hacer una clasificación de la subestación eléctricas , pero de acuerdo con lo anterior mencionado se pueden clasificar de la manera siguiente: generación –transmisión-distribución y utilización de la energía eléctrica.

1.1.2.ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA SUBESTACIÓN

A continuación hacemos una mención de los elementos mas importantes. Los elementos que constituyen una subestación se pueden clasificar en elementos principales o primarios y elementos secundarios:

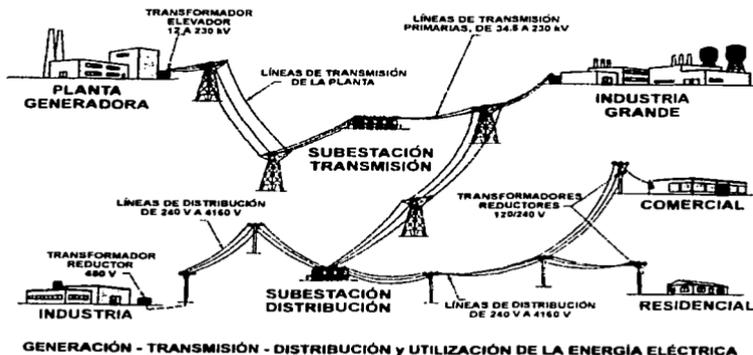
ELEMENTOS PRINCIPALES O PRIMARIOS

- 1.-transformador
- 2.-interruptor de potencia
- 3.-restaurador
- 4.-cuchillas fusible
- 5.-cuchilla desconectadora y cuchilla de prueba
- 6.- apartarrayos
- 7.-tablero dúplex de control
- 8.- condensadores
- 9.-transformadores de instrumento

ELEMENTOS SECUNDARIOS

- 1.-cables de potencia
- 2.- cables de control
- 3.- alumbrado
- 4.- estructura
- 5.- herrajes
- 6.- equipo contra incendio
- 7.- equipo de filtrado de aceite
- 8.- sistema de tierras
- 9.-carrier
- 10.- intercomunicación
- 11.- trincheras, ductos, conducto, drenaje
- 12.- cercas

1.2. RED DE SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA



Según lo expuesto en el tema anterior tenemos que, los generadores de la central eléctrica suministran voltajes de 26.000 voltios; ya que voltajes superiores no son adecuados por las dificultades que presenta su aislamiento y por el riesgo de cortocircuitos y sus consecuencias. Este voltaje se eleva mediante transformadores a tensiones entre 138.000 y 765.000 voltios para la línea de transporte primaria (cuanto más alta es la tensión en la línea, menor es la corriente y menores son las pérdidas, ya que éstas son proporcionales al cuadrado de la intensidad de corriente). En la subestación, el voltaje se transforma en tensiones entre 69.000 y 138.000 voltios para que sea posible transferir la electricidad al sistema de distribución. La tensión se baja de nuevo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

con transformadores en cada punto de distribución. La industria pesada suele trabajar a 33.000 voltios (33 kilovoltios), y los trenes eléctricos requieren de 15 a 25 kilovoltios. Para su suministro a los consumidores se baja más la tensión: la industria suele trabajar a tensiones entre 380 y 415 voltios, y las viviendas reciben entre 220 y 240 voltios en algunos países y entre 110 y 125 en otros.

Por lo que el desarrollo actual de los rectificadores de estado sólido para alta tensión hace posible una conversión económica de alta tensión de corriente alterna a alta tensión de corriente continua para la distribución de electricidad . Esto evita las pérdidas inductivas y capacitivas que se producen en la transmisión de corriente alterna.

1.3.DEFINICIÓN DE UNA SUBESTACIÓN

1.3.1INTRODUCCION

Ya sea para fines industriales, comerciales o de uso residencial, la energía eléctrica interviene en una gran cantidad de máquinas y equipo eléctrico. Un conjunto de equipo eléctrico utilizado para un fin determinado se le conoce como el nombre de "*subestación eléctrica*".

1.4.CLASIFICACION DE SUBESTACIONES

Por tal motivo es importante definir y clasificar las subestaciones. Como se ha visto con anterioridad, una subestación eléctrica no es más que una de las partes que intervienen en el proceso de generación-consumo de energía eléctrica, por lo cual podemos dar la siguiente definición:

1.4.1.DEFINICIÓN

Una subestación eléctrica es un conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten cambiar las características de energía eléctrica (voltaje, corriente, frecuencia, etcétera), tipo C.A. a C.C., o bien, conservarle dentro de ciertas características.

1.4.2.ELEMENTOS DE UNA SUBESTACIÓN

Algunos de los elementos que constituyen una subestación se clasifican de la siguiente forma:

ELEMENTOS PRINCIPALES O PRIMARIOS:

1. transformador
2. interruptor de potencia
3. restaurador
4. cuchillas fusible
5. cuchillas desconectoras y cuchillas de prueba
6. apartarrayos
7. tablero dúplex de control
8. condensadores
9. transformadores de instrumento

ELEMENTOS SECUNDARIOS

1. cables de potencia
2. cables de control
3. alumbrado
4. estructura
5. herrajes
6. equipo contra incendio
7. equipo de filtrado de aceite
8. sistema de tierras
9. carrier
10. intercomunicación
11. trincheras, ductos , conducto, drenajes
12. cercas

CAPITULO II
" GENERACIÓN DE SOBREVOLTAJES "

2.1.INTRODUCCIÓN

Podemos definir "rayo" como descarga eléctrica que se produce entre nubes o entre una de estas nubes y la tierra . La descarga es visible con trayectorias sinuosas y de ramificaciones irregulares, a veces de muchos kilómetros de distancia, fenómeno conocido con el nombre de relámpago. Se produce también una onda sonora llamada trueno.

2.1.1LA CARGA ELÉCTRICA.

No se conoce por completo el modo en el que se cargan las nubes de electricidad, pero la mayoría tienen carga negativa en la base y positiva en la cima. Las distintas hipótesis que explican cómo se produce esta polarización pueden dividirse en dos categorías: las que requieren hielo y las que no. Muchos meteorólogos creen que el hielo es un factor necesario porque los rayos no suelen observarse hasta la formación de hielo en las capas superiores de las nubes. Ciertos experimentos han mostrado que cuando las disoluciones de agua se congelan, el hielo gana carga negativa mientras que el agua queda cargada positivamente. Si después del inicio de la solidificación el aire en ascensión arranca pequeñas gotas de agua de las partículas congeladas, estas gotitas se concentrarán en la parte superior de la nube, y el hielo, en agregados más grandes, descenderá hasta la base. Por otra parte, ciertos experimentos han mostrado que las gotas de agua grandes, con caída rápida, se negativizan, mientras que las gotas pequeñas que caen con mayor lentitud se vuelven electropositivas. Por tanto, la polarización de una nube es probable que se

produzca por las distintas velocidades de caída de las gotas grandes y pequeñas. Como quiera que se forme, la carga negativa en la base de la nube induce otra positiva en la tierra situada debajo que actúa como la segunda placa de un condensador gigante. Cuando el potencial eléctrico entre dos nubes o entre una nube y la tierra alcanza una magnitud suficiente (unos 10.000 V por cm), el aire se ioniza a lo largo de una trayectoria estrecha, y se produce el destello de un relámpago. Muchos meteorólogos creen que esta es la forma en la que la carga negativa es transportada hacia el suelo y que así se mantiene la carga negativa total de la superficie de la Tierra.

Una nueva teoría sugiere que la polarización eléctrica de las nubes puede ser la causa de la precipitación y no una consecuencia de ella; asimismo postula que el potencial eléctrico existente entre la ionosfera capa superior de la atmósfera y la tierra induce la polarización. Según esta teoría, el flujo ascendente de aire caliente a través de una nube lleva consigo partículas con carga positiva que se acumulan en la cima de la nube y que atraen cargas negativas de la ionosfera. Estas son conducidas hacia la base de la nube por corrientes descendentes poderosas en la periferia de la nube; así se evita que las cargas opuestas se neutralicen unas con otras. Quizás el 90% de todos los rayos que van desde las nubes hasta el suelo son negativos; el resto son destellos positivos. Con menor frecuencia se pueden producir rayos desde la tierra hacia las nubes, en particular desde cumbres de montañas o desde objetos altos como las antenas de radio. Con cámaras de alta velocidad han mostrado que la mayoría de los destellos de rayos son sucesos múltiples compuestos de hasta 42 'rayos'

principales, cada uno de los cuales están precedidas por un rayo guía. Todos siguen una trayectoria ionizada inicial que puede ramificarse junto al flujo de corriente. El intervalo medio entre rayos sucesivos es de 0,02 s, y 0,25 s . Puesto que la duración de un rayo no supera los 0,0002 s, los lapsos entre rayos ocupan la mayor parte de la duración en un 'destello'. Los llamados rayos en láminas son sólo la reflexión de uno ordinario en las nubes. Los rayos en bola son un fenómeno raro en que la descarga toma la forma de una bola luminosa y lenta que a veces estalla y otras simplemente decae.

2.2.EL SISTEMA DE SOBREVOLTAJE

Existen varias causas de sobrevoltaje que deben ser analizadas, por ejemplo cuando tenemos un sobrevoltaje y este es captado por un supresor (pararrayos), o voltaje por los rayos, desplazamiento del neutro durante las fallas de línea-a-tierra y corriente que limitan el funcionamiento del fusible, estas son algunas fallas que pueden ser ocasionadas por sobrevoltaje. A continuación se presentan sobrevoltajes causados por el rayo:

- a) Ferroresonancia
- b) Capacitores conmutadores
- c) Interrupción de la corriente (interruptores en estado activo o desactivo)
- d) Contactos accidentales con los Sistemas de altos voltajes.

2.3.FERRORESONANCIA

Tenemos una forma particular de causa por sobrevoltaje. En los circuitos trifásicos, cada fase conmuta (cambia) , el fusible, o un conductor roto puede resultar en sobrevoltaje es cuando la ferresonancia actúa entre la impedancia, magnetizando el transformador y el sistema de capacitancia, aislándolo fase por fase.

Podemos observar la función del circuito, teniendo en cuenta que la Ferresonancia sea buena. Básicamente las condiciones necesarias deben ser cuando una o dos fases abren, el resultado es que la capacitancia empieza a energizar en serie con la impedancia no lineal, está se magnetiza para el transformador, como se muestra en la Figura 2.3a, dónde los conmutadores pudieran estar con los interruptores del fusible. En un polo del cable, la capacitancia podría ser de la longitud del cable, que conectado bajo tierra con la bobina montada a una zona metalizada semiconductora del transformador.

La ferresonancia no puede ser completamente evitada. Condiciones que son probables de producir la ferresonancia son las siguientes::

-El valor nominal del transformador pequeño; el valor nominal más pequeño es más susceptible de la ferresonancia. Los valores nominales de los devanados que son mayores que 300 kVA son menos susceptibles.

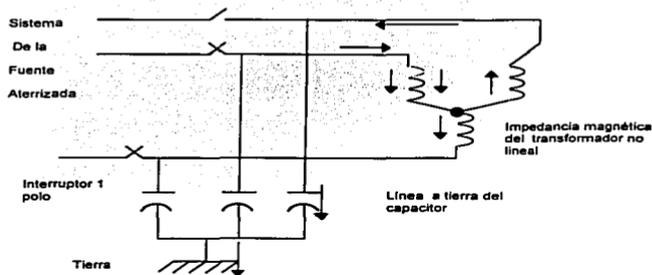


fig. 2.3a circuito monofásico conmutado por 3 fases

-Cargas; una carga tan pequeña como 4% estaría cerca de la inmunidad.

-Cualquier conexión trifásica es susceptible. Un transformador monofásico conectado de fase-a-fase en un sistema primario conectado con tierra es susceptible.

- En la alimentación primaria por los cables del subsuelo. El blindaje de los cables aumenta capacitancia y susceptibilidad. Los primeros cables de arriba generalmente proporcionan la inmunidad a menos que el voltaje sea superior que 15 kV. En 34.5 kV la ferresonancia está definitivamente después del alimentador. La capacitancia interior de transformador es suficiente para la resonancia.

- El voltaje primario mayor 5kV. Los voltajes debajo de 5kV proporcionan que no exista de forma considerable. Menores 15 kV, la ferresonancia es muy probable que exista. Las opiniones difieren en la susceptibilidad del rango de 5 a 15 kV

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

pero está existe de forma considerable. *Capacitores secundarios con neutro flotante*, incluso en conexión estrella aterrizada –estrella aterrizada esta latente la ferresonancia.

Si una fase del primario es energizada puede inducir magnéticamente y energizar por medio de la reactancia a las demás fases dando como resultado el efecto de capacitancia y así causa la resonancia. En la actualidad, el método más práctico de evitar la ferresonancia consiste en la conexión de estrella –estrella (Y-Y) conectado los transformadores con los primarios del transformador y los secundarios a el neutro, conectados con tierra y conecta al sistema el neutro del primario. El neutro del primario debe de ir aterrizado (Y) "cortocircuitado" con la conexión en serie de la reactancia del transformador y capacitancia del cable, previniendo lo establecido de un circuito resonante. Otras técnicas para eliminar son las siguientes:

- Deben conectarse los transformadores monofásicos (línea-a-neutro).
- La ferresonancia también puede minimizarse por una instalación trifásica que cambien sus estados (abrir o cerrar) y proteger los dispositivos para que no exista desfaseamiento y no pueda ocurrir está. Esto no puede ser posible en muchos casos y no puede ser completamente eficaz, pero es un modo para prevenirlo mejor.
- La ferresonancia puede ser prevenida si los cables y transformadores nunca maniobran (abren o cierran) juntos. Para lograr esto, los interruptores del transformador necesitan ser localizados en las terminales del transformador es decir en los polos elevadores Si también se requieren que cambie de estado el polo elevador, bloqueado es recomendable asegurarse al energizar que los demás polos de las fases elevadoras están

primero cerradas, y entonces todos los interruptores primarios del transformador estarán cerrados.

Para poder desenergizan a todas las fases deben abrirse primero al transformador antes de abrir al polo elevador. La regla por la cual nunca cambia el primario del cable y la alimentación del transformador, esto se aplica a los fusibles y otros dispositivos protección. Se requiere que los fusibles, relevadores o seccionadores al elevar el polo, el alimentador de la distribución se coordina a mantener dentro, en la falla del transformador, así el primario del transformador estará protegido. Por supuesto, que el cable primario de la falla se adaptaría un fusible al primer polo elevador, pero tal falla es más probable en poner en cortocircuito fuera de la capacitancia con la sección del cable conectada al transformador, y así prevenga la resonancia.

Si una conexión es susceptible debe usarse el método mencionado, y si el cable primario es largo y debe maniobrar con el transformador ó las 3-fase cambien de estado la protección no sería posible, entonces coloque al sistema un banco de capacitores en el secundario del transformador conectados a tierra neutro para por lo menos tenerlo con 5% cargado en el transformador.

2.4.CONMUTACIÓN POR CAPACITOR

Una segunda causa de sobrevoltaje es la del banco de conmutación(cambio de estado) por capacitor y ocurre en el momento que se energiza o se des-energiza. Por ejemplo, considere el siguiente capacitor de neutro aterrizado y energizado como se muestra en la Figura 2.4a

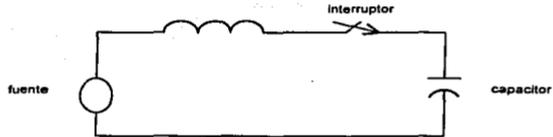


fig. 2.4a capacitor energizado

. Si las condiciones iniciales (pre-cerrando) es tal que el banco de capacitor no tiene carga (no hay voltaje) y el voltaje del sistema al contacto del cierre está en un máximo, el voltaje se dispara como se muestra en la Figura 2.4b.

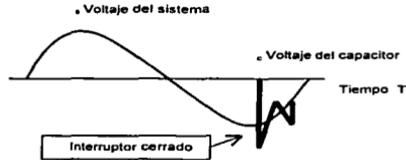


fig. 2.4b el voltaje del capacitor mientras esta cargado

La desenergización de un banco de capacitores es incluso una mayor preocupación. Pasando a la representación del sistema en Figura 2.4c, pero mostrando la apertura del interruptor ahora, nosotros a veces creamos las condiciones llamadas "la amplificación de voltaje".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

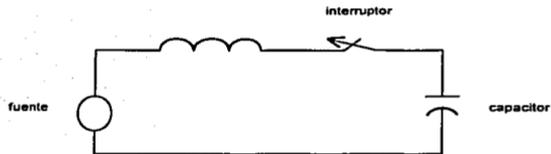
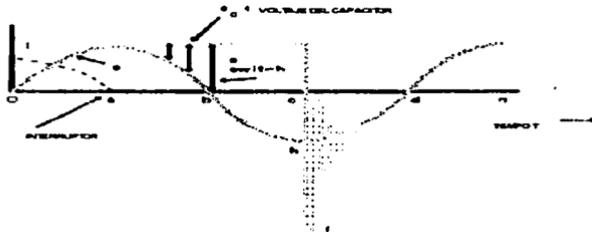


Fig. 2.4c capacitor desenergizado



Asuma que ese R y X_L son muy pequeños comparado a la reactancia capacitiva para que el voltaje del capacitor esté en estado estable debe ser igual que el voltaje de la fuente. Si se asume que el interruptor ha abierto en algún momento poco antes del tiempo "0", entonces la corriente de interrupción tomaría el lugar "normal" estará en cero con un tiempo 0 "a" .sobrevoltaje debido a la desenergización

Suponiendo el estado- estable 60 Hz corriente en adelantó con respecto al voltaje de la fuente por 90 grados, para que la fuente (del capacitor) alcance su valor máximo de voltaje en el tiempo "a." El resultado de interrupción es que el

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

voltaje del capacitor permanece al valor de la cresta debido a la carga que se encuentra "atrapada" en él. Sin embargo, el voltaje de la fuente continúa su frecuencia de 60Hz de variación, y el voltaje que gradualmente aparece por el interruptor es la diferencia entre el voltaje del capacitor fijo en un lado y el voltaje de la fuente en el otro. El voltaje del interruptor alcanza un máximo de dos veces el valor normal en el tiempo "c", en el medio ciclo la interrupción sigue.

Si el interruptor puede resistir el voltaje normal dos veces en este momento, la interrupción ha sido un éxito y se ha logrado. Debido a las resistencias de descarga, normalmente construidas en los capacitores, el voltaje del capacitor se drenaría fuera, finalmente desaparece. Sin embargo, si el interruptor no logra la recuperación dieléctrica adecuada, el arco puede reencender o "restablecer" entre los contactos algunas veces el período dura de "a" a "c", se reenergizaría al capacitor. Los máximos voltajes transitorios aparecerían si se restablece de la siguiente manera, toma el lugar el voltaje máximo del interruptor, tiempo "c." cuando la corriente se restablece en este momento, el voltaje del capacitor que está a más 1.0 intentando por juntar el voltaje del sistema a menos 1.0 ó "h". Debe viajar 2.0 para alcanzar el valor "h", y así puede alcanzar el sobre disparo en el punto "h" por 2.0. Entonces el voltaje resultante "f" es 3.0 tiempo normal. Desde la corriente del capacitor también sufre una oscilación de frecuencia natural, es teóricamente posible que una "frecuencia natural", el cero de la corriente pueda ocurrir después del tiempo "c." Una segunda interrupción podría dejar atrapada una carga en el capacitor con el voltaje "f" negativo 3.0 por unidad. Como el voltaje del sistema otra vez los balancea a más de 1.0, un voltaje máximo del interruptor de 4.0 podría resultar, y restableciendo en un tiempo "g" daría $4.0 + 1.0 = 5.0$ voltaje tiempo normal, etc., Sin embargo, comprendiendo esta naturaleza es raramente, si en la vida se haya encontrado dicho fenómeno. Los modernos interruptores generalmente no hacen la función de restablecer más de

una vez durante el borrado, Voltajes que se aproximan 3 tiempos normales sólo ocurrirán si el restablecimiento ocurre en el peor momento posible. Los voltajes en el orden de 2.5 tiempo normal son más típicos de medidas estándares.

2.5. INTERRUPTOR DE LA CORRIENTE (INTERRUPTORES)

Debido a que la mayoría de las corrientes de falla interrumpen los dispositivos, como los fusibles de expulsión, relevadores, los cortacircuitos, etc., logrando que el arco desaparezca para 60 hz con una corriente cero, produciendo transitorios de esta manera dos veces normales o menos. Es posible bajo algunas condiciones como corriente que limita funcionamiento del fusible o la apertura de interruptores de corrientes bajas donde la interrupción de la corriente actual ocurre antes del cero de corriente normal. Este es llamado "interrupción de corriente" puede causar voltajes altos que dependen del rango de corriente de interrupción, la cantidad de corriente interrumpida y la configuración del sistema.

Analizaremos la corriente interrupción abrupta asumiendo que la corriente se obliga a poner a cero en algún valor finito instantáneamente. Si esta corriente está fluyendo en una inductancia, no puede cambiar instantáneamente, pero si esta pasa por la capacitancia y/o resistencia asociadas con la inductancia, cambia instantáneamente, el voltaje del arco es abandonado. Considere el circuito de Figura 2.5a donde se ignora la resistencia y se asume que la reactancia capacitiva es más grande que la reactancia inductiva y que su corriente normal es despreciablemente, la ruptura comparada a i (i. e. $\omega_n = 1/\sqrt{LC}$ es muy grande)

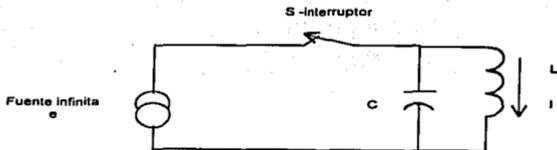


Figure 2.5a. Circuito que ilustra la corriente interrumpida

Cuando el interruptor actual de repente cambia de un valor i para poner a cero, i continúa fluyendo instantáneamente en L ; por consiguiente, también debe fluir en C . Una oscilación de frecuencia natural sucede en L y C . El voltaje de frecuencia natural máximo que aparece por L (y C) es:

$$E = \sqrt{L/C} \ i$$

Así, el voltaje es proporcional a la magnitud de corriente interrumpida y aumenta la impedancia del circuito siendo cambiado. Esta ecuación puede modificarse como sigue para expresar el voltaje transitorio de una manera diferente

$$E = \sqrt{L/C} \ i = \sqrt{\omega L / \omega C} \ i = \sqrt{xL} * xC \ i = xL \sqrt{x C / x L} \ i$$

Si xL es el voltaje normal, o alguna medida del voltaje normal por la inductancia, entonces el voltaje transitorio, e , es muchas veces normales por la relación ω_n / ω . Teóricamente, entonces, interrumpiéndose la corriente pueden producir los voltajes muy altos. En la práctica, sin embargo, L es a menudo no lineal que magnetiza la impedancia de un transformador. Las características magnéticas de transformadores modernos acopladas con la actuación del interruptor típica normalmente no dan lugar a los voltajes más de 2 veces del él normal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Contactos accidentales con los Sistemas de Altos Voltaje

Debido a las causas de sobrevoltaje son variables tenemos que cuando se construyen los circuitos primarios de distribución y posteriormente los circuitos de alto voltaje en un mismo polo, rompiendo el alto-voltaje de los conductores y pudiendo caer en él más bajo voltaje del circuito primario, posiblemente causando él más bajo rango, dando como resultado el fallar a lo largo de la línea entera u otro daño de equipo mayor.

2.6.NIVELES DE TENSION

Debido a las causas de los sobrevoltaje tomaremos en cuenta los criterios expuestos en la tabla 2.6a para poder considerar los niveles de tensión En el área de 230kv, el nivel básico de impulso a 2300 m.s.n.m., es de 900kv y utilizando los valores de la tabla 2.6b se obtiene que la separación mínima entre los buses flexibles (cable), que se van utilizaren este caso, para la tensión nominal de 230kv, es de 4.50 metros entre centros de buses y de 4.00 metros del centro de bus a los ejes de las columnas de las estructuras. Esto origina que la distancia entre ejes de columnas de un módulo de transformación sea de 17 metros

Tensión nominal del sistema kv	Nivel de aislamiento Al impulso a 2,300m Kv	Zonas de circulación del personal		Zonas de trabajo del Personal		
		Distancia adicional m	Altura mínima de partes vivas m	Distancia Adicional m	Distancia Mínima Horizontal m	Distancia Mínima Vertical M
23	125	2.25	3.00	1.75	3.00	3.00
85	450	2.25	3.43	1.75	3.00	3.00
230	900	2.25	4.76	1.75	4.26	3.76
400	1425	2.25	6.01	1.75	5.51	5.01

Fig. 2.6a distancia de seguridad

1	2	3	4	5	6	7
Tensión Nominal del sistema kv	Nivel de aislamiento Al impulso a 2,300m Kv	Distancia Mínima de no flameo a 2,300 m cm	Distancia Mínima de Fase a tierra a 2,300m cm	Distancia Mínima Entre fases a 2,300m cm	Distancia Normal entre centro de buses Rígidos Cm	Distancia Normal entre centros de Buses no rígidos cm
23	125	25.6	28.2	32.5	50	100
85	450	107	117.7	135.4	200	250
230	900	227.9	250.7	288.4	360	450
400	1425	354.6	375.9	432.3	650	500

Fig.2.6b distancia a tierra y entre fases a través del aire a 2,300 m de altitud

Columna 1 valores CEI corregidos para 2,300 m de altitud

Columna 4: valores de la columna 3 x 1.10 para V < 380 kv

valores de la columna 3 x 1.06 para V > 380 kv

Columna 5 valores de la columna 4 x 1.15

2.7.PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

Para poder diseñar una subestación es necesario protegerla de los tres tipos mas comunes de Sobretensiones que se-pueden presentar.

1. Sobretensiones debidas a descargas atmosféricas.
2. Sobretensiones debidas a maniobras de interruptores.
3. Sobretensiones debidas a desequilibrios en el sistema, provocadas por fallas a tierra o por pérdida súbita de carga.

De acuerdo a estos tres casos, los dos primeros son los más importantes. Para el equipo que trabaja a tensiones inferiores a 230 kV, las Sobretensiones que lo

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

afectan más son las provocadas por las descargas ; externas, que tienen una duración del orden de decenas de microsegundos. Para el equipo que trabaja a tensiones, superiores a 230 kV, las Sobretensiones más peligrosas son las ocasionadas por maniobras de interruptores, que tienen una duración del orden de miles de microsegundos y su magnitud es una función de la tensión nominal.

2.8.DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

Debido a que las cargas eléctricas en la atmósfera se producen por la fricción entre partículas de vapor de agua; cristales de hielo y granizo, en presencia de dos factores: aire húmedo y la incidencia de alta energía solar en la zona, en la inteligencia de que si existe sólo uno de estos elementos, no ocurre ninguna descarga. Este fenómeno se observa en los desiertos, donde no hay humedad o en las zonas costeras con poca incidencia solar. Las cargas se originan dentro de las nubes del tipo "cúmulos" con una gran energía térmica en su interior. Que provocan corrientes ascendentes, las cuales arrastran los cristales de hielo ligeros que en su ascenso chocan con las partículas pesadas de granizo que descienden a gran velocidad. Esto origina que los cristales de hielo desprendan electrones, provocando que la parte superior de la nube se cargue positivamente (cristales de hielo con falta de electrones) y la parte inferior se cargue negativamente La región negativa, parte inferior de la nube, produce por efecto capacitivo que la superficie terrestre: incluyendo líneas aéreas, buses, etc., que se encuentran debajo de la nube se carguen positivamente

Cuando el gradiente de tensión entre la nube y tierra supera la rigidez dieléctrica del aire, que es de unos 10 kV /cm, se produce la descarga eléctrica de la parte negativa de la nube a tierra con una velocidad aproximada de 1/6 de la de la luz.

La duración de una descarga es del orden 0.1 microsegundos. Su energía varía entre 10 y 100 kW-hr.

Entre 60 y 90% de las descargas son electronegativas, es decir, surge de la parte inferior de la nube. Entre 10 y 40% son descargas electropositivas, surgen de la parte superior de la nube. La descarga principal (1a.) Tiene varios puntos de inflexión, en algunos de los cuales se origina descargas secundarias, y a veces en los puntos de inflexión de las secundarias se originan terciarias, dependiendo de la energía del rayo. El diámetro del núcleo de plasma de un rayo es de unos 2cm. La trayectoria de los rayos es determinada por las condiciones del aire y la configuración del campo eléctrico del terreno en la zona. El rayo, que se dirige de nube a tierra, al tocar tierra provoca un flujo de corriente del orden de $1/10$ de la velocidad de la luz y de una magnitud que varía entre 1y 200 ka. Los rayo que van de tierra a nube suelen tener magnitudes que varían entre 100 y 1000 A. Como muestra la fig 2.8a

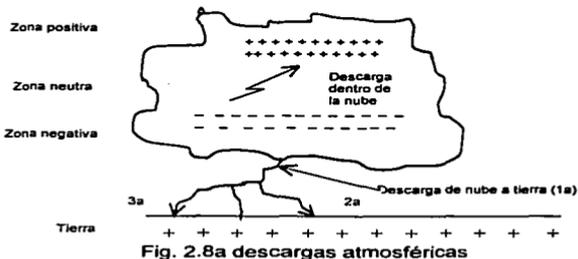


Fig. 2.8a descargas atmosféricas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los rayos de la parte (-) de una nube que se dirigen a la tierra (+) ocurren en forma simultánea con los rayos que se dirigen de tierra (+) a las nubes (-), conectándose en ambos sentidos la región (-) de la nube con la zona (+) de la tierra. De manera que cuando ambas descargas, ascendentes y descendentes se encuentran. Se produce el rayo en ambos sentidos. En ese instante se sobrecalienta violentamente el aire adyacente al rayo, generando una serie de ondas de presión (impulsos de presión) perpendiculares al eje del rayo. Al conjunto de ondas de presión originadas por un rayo se llama trueno.

Observamos que en la descarga de un rayo se producen hasta 40 descargas múltiples, siendo lo normal un conjunto de tres descargas por rayo. Las descargas entre zonas de diferentes polaridades, dentro de una nube, se observan desde tierra como relámpagos. La energía electromagnética de un rayo se transforma en luz (relámpago), sonido (trueno), ondas de radio frecuencia y calor. Este calor origina temperaturas de hasta 30.000°C que se producen en el centro del canal de descarga del rayo (plasma) en un lapso de millonésimas de segundo.

Definimos algunos términos relacionados con los fenómenos que se originan al producirse una descarga eléctrica:

Rayo. Energía electromagnética que provoca la descarga producida al neutralizarse la acumulación de descargas eléctricas de signos contrarios, que se forman dentro de una nube de ésta a tierra.

Relámpago. Efecto óptico producido por la ionización del aire al paso de la descarga de un rayo, que se desplaza con la velocidad de la luz.

Trueno. Efecto acústico producido por la compresión del aire adyacente a la descarga de un rayo, que se desplaza con una velocidad de 300 *m/s* y que llega a producir una temperatura en el punto de contacto con el aire de 10.000°C, aproximadamente.

Los blancos más directos de los rayos son los árboles o salientes del terreno. En terrenos planos y sin árboles (campos deportivos) o donde hay espejos de agua como son los ríos, lagos, piscinas, etc., los rayos caen en el pasto o en el agua. Al caer los rayos en el pasto producen superficies quemadas, en forma más o menos radial. Que siguen los caminos de menor resistencia, de acuerdo con la repartición de las impedancias del terreno citado, como se observa en la figura 2.8b. Las tensiones generadas en líneas o cables por descargas atmosféricas se calculan con la fórmula: $V = Z_0 I / 2$



Fig 2.8b descarga en un campo de hiebra

Donde :

V – kv

I – corriente de rayo en ka

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Z_0 – impedancia característica en ohms

Detallando:

$$Z_0 = \sqrt{L/C}$$

Donde:

$$\text{Para líneas} \left\{ \begin{array}{l} L = 2 \left(\frac{1}{4} + L_n 2h/r \right) \times 10^{-4} \text{ H/km} \\ C = 10^{-6} / \left(18 L_n 2h/r \right) \text{ F/km} \end{array} \right.$$

$$\text{Para cables} \left\{ \begin{array}{l} L = 2 \left(\frac{1}{4} + L_n R/r \right) \times 10^{-4} \text{ H/km} \\ C = k 10^{-6} / \left(18 L_n R/r \right) \text{ F/km} \end{array} \right.$$

h altura sobre el suelo (m) r radio del conductor (m)

R radio externo del conductor (m)

r radio externo del conductor (m)

k constante dieléctrica del aislamiento del cable

En líneas Z_0 varía entre 200 y 500

En cables Z_0 varía entre 40 y 70

Ejemplo:

Suponiendo una línea con $Z_0 = 200$ y considerando un rayo de 30 ka, la sobre tensión a tierra será:

$$V = (200 \times 30) / \sqrt{2} = 3\,000 \text{ kV}$$

Nivel cerámico. Es el número de descargas, incluyendo hasta las no visibles, que se producen en una región geográfica por kilómetro cuadrado y por año. El nivel cerámico se mide a través de un detector de rayos. Uniendo todos los puntos de igual nivel cerámico se obtienen las curvas isocerámicas de una región ó país. Las curvas isocerámicas se utilizan en el diseño de los sistemas de protección contra sobretensiones, dentro de los proyectos de subestaciones, líneas y plantas generadoras. De las ondas causadas por rayos, sólo llegan a la subestación aquellas cuya magnitud es inferior al nivel de aislamiento de la línea y que, por tanto, no alcanzan a contornear los aisladores de la instalación. Estas ondas pueden ser de polaridad positiva o negativa, predominando estas últimas.

2.9.MANIOBRAS DE INTERRUPTORES

De las ondas causadas por operación de interruptores, las sobretensiones más elevadas se obtienen al efectuarse la apertura de líneas largas o cables de potencia en vacío, apertura de corrientes de excitación de transformadores o reactancias y, sobre todo, cuando se efectúan recierres en líneas que hubieran quedado cargadas a una tensión elevada, al producirse la desconexión inicial. Los

elementos utilizados para limitar las sobretensiones por maniobra, van de acuerdo con el tipo y diseño de cada interruptor. En la tabla 2.9a se muestra la coordinación del aislamiento para las sobretensiones debidas a la operación de interruptores en diferentes tensiones.

Tensión nominal del circuito kv (eficaz)	Transformador		Pararrayos		Margen de protección mínimo en %
	NBI kv	Tensión de aislamiento por operación de interruptores kv cresta	Tensiones nominales kv (eficaz)	Tensiones de descarga por operación de interruptores kv (cresta)	
230	900	740	240(100%)	575	29
			195(80%)	550	34
			182(72%)	515	43
	825	680	240(100%)	575	18
			195(80%)	550	24
			182(72%)	515	32
	750	620	240(100%)	575	8
			195(80%)	550	13
			182(72%)	515	20

Tabla 2.9a ejemplo de coordinación de aislamiento por sobretensiones originadas por la operación de interruptores

El fenómeno de abrir una corriente y que aparezca una sobretensión, se basa en el principio de la conservación de la energía, es decir, existe una energía cinética debida al flujo de una corriente, al interrumpirse el flujo de ésta, la energía cinética se transforma en energía potencial, apareciendo una tensión eléctrica entre las terminales de los contactos abiertos. Dicho en otra forma, la energía que se almacena en la inductancia L de un transformador es $1/2 Li^2$, siendo i la magnitud de la corriente en el momento de interrumpirse el circuito. Al abrir la circulación de corriente entre los contactos, la energía se transforma en electrostática, o sea en $1/2 CV^2$, donde C es la capacitancia del sistema, y V es la tensión que aparece entre los contactos del interruptor. Esta transferencia de la energía almacenada en el campo magnético al campo eléctrico, se realiza por medio de un fenómeno de resonancia que ocurre cuando las reactancias inductiva y capacitiva son iguales, es decir:

$$X_L = X_C$$

Sustituyendo

$$2 fL = 1/(2 fc)$$

en donde, despejado, se obtiene la frecuencia de oscilación de la tensión

$$f = 1/(2\sqrt{Lc})$$

y cuyo valor pico se obtiene al igualar las dos energías y despejar el valor de V , es decir

$$\frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} CV^2$$

$$V = i \sqrt{L/C}$$

Al abrir un interruptor, en ningún caso se debe producir una sobretensión mayor de 2.5 veces la tensión nominal. También como ultima protección para evitarlas sobretensiones, cada subestación debe tener una red de tierra bien diseñada a la que se conectan los neutros de los transformadores, las descargas de los pararrayos, los cables de guarda, las estructuras metálicas, los tanques de los aparatos, rejillas y partes metálicas en general, que estarán siempre al potencial de la tierra circundante.

CAPITULO III
" REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO "

3.1.INTRODUCCIÓN

Considerando el aislante perfecto para las aplicaciones eléctricas, tendría que ser un material absolutamente no conductor, pero ese material no existe. Los materiales empleados como aislantes siempre conducen algo la electricidad, pero presentan una resistencia al paso de corriente eléctrica hasta $2,5 \times 10^{24}$ veces mayor que la de los buenos conductores eléctricos como la plata o el cobre. Estos materiales conductores tienen un gran número de electrones libres (electrones no estrechamente ligados a los núcleos) que pueden transportar la corriente; los buenos aislantes apenas poseen estos electrones. Algunos materiales, como el silicio o el germanio, que tienen un número limitado de electrones libres, se comportan como semiconductores, y son la materia básica de los transistores.

En los circuitos eléctricos normales suelen usarse plásticos como revestimiento aislante para los cables. Los cables muy finos, como los empleados en las bobinas (por ejemplo, en un transformador), pueden aislarse con una capa delgada de barniz. El aislamiento interno de los equipos eléctricos puede efectuarse con mica o mediante fibras de vidrio con un aglutinador plástico. En los equipos electrónicos y transformadores se emplea en ocasiones un papel especial para aplicaciones eléctricas. Las líneas de alta tensión se aíslan con vidrio, porcelana u otro material cerámico.

La elección del material aislante suele venir determinada por la aplicación. El polietileno y poli estireno se emplean en instalaciones de alta frecuencia, y el mylar se emplea en condensadores eléctricos. También hay que seleccionar los aislantes según la temperatura máxima que deban resistir. El teflón se emplea para temperaturas altas, entre 175 y 230 °C. Las condiciones mecánicas o

químicas adversas pueden exigir otros materiales. El nylon tiene una excelente resistencia a la abrasión, y el neopreno, la goma de silicona, los poliésteres de epoxy y los poliuretanos pueden proteger contra los productos químicos y la humedad.

3.2. AISLAMIENTOS DE TRANSFORMADOR

Considerando las máquinas eléctricas, en su vida, prácticamente los transformadores dependen del comportamiento de sus aislamientos para las condiciones normales de operación. Por esta razón, las asociaciones de fabricantes de equipo eléctrico y las normas nacionales e internacionales han designado básicamente cuatro tipos de aislamientos con especificaciones y límites de temperatura. Esta clasificación es la siguiente:

Aislamiento clase A. Diseñado para operar a no más de 55°C de elevación de temperatura, que es el próximo al punto de ebullición del agua, pero en el caso de los transformadores tipo seco, previene accidentes con materiales combustibles en el área con el transformador.

Aislamiento clase B. La elevación de temperatura puede no exceder los 80°C en las bobinas, por lo general estos transformadores son más pequeños que los que usan aislamientos clase A.

Aislamiento clase F. Esta clasificación se relaciona con elevaciones de temperatura en las bobinas de hasta 115°C. Por lo general, corresponden a transformadores pequeños tipo distribución de hasta 25°C.

Aislamiento clase H. Esta clase de materiales aislantes permiten diseñar para

elevaciones de temperatura de 150°C cuando está operando el transformador a una temperatura ambiente de 40°C, para que alcance hasta 190°C y con el punto más caliente no exceda a 220°C. Los materiales aislantes de clase H consisten de materiales o combinaciones de materiales, tales como: mica, fibra de vidrio, asbestos, elastómeros y silicones o resinas a base de éstos. En la actualidad, la mayoría de los transformadores tipo seco usan aislamientos tipo H. Las normas americanas ANSI y NEMA establecen que un aislamiento tipo H puede operar a 150°C hasta por 20 000 horas.

3.2.1 METODOS DE ENFRIAMIENTO

Tomando en cuenta como prevenir el rápido deterioro de los materiales aislantes dentro de un transformador, se deben proveer los medios de enfriamiento adecuados, tanto para el núcleo como para los devanados.

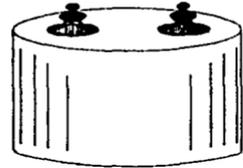
Los transformadores con potencia inferiores a 50 kv, se pueden enfriar por medio del flujo de aire circundante a los mismos. La caja metálica que los contiene se puede habilitar con rejillas de ventilación de manera que la corriente circula por ahí, los transformadores mayores es el mismo procedimiento lo que cambio la circulación forzada de aire limpio.

Los transformadores de tipo distribución menores de 200 kv están usualmente inmersos en aceite mineral y encerrados en tanques de acero. El aceite transporta el calor del transformador hacia el tanque, donde es disipado por radiación y convección hacia el aire exterior del transformador. Debido que el aceite es mejor que el aire, se usa invariablemente en los transformadores de alta tensión



TIPO AA
ENFRIAMIENTO POR AIRE

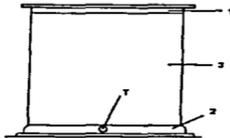
POR CONVECCIÓN EL AIRE FRÍO
ENTRA POR LA PARTE INFERIOR Y
SALE POR LAS REJILLAS
SUPERIORES



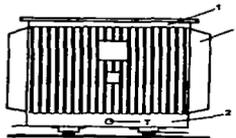
TIPO OA
ENFRIAMIENTO POR ACEITE

LAS BOBINAS SE ENCUENTRAN
SUMERGIDAS EN UN TANQUE CON ACEITE
LA SUPERFICIE DEL TANQUE PUEDE SER
LISA, CORRUGADA O CON TUBOS

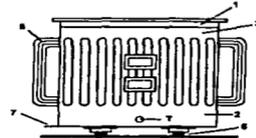
En el caso de transformadores enfriados por aceite, los tanques se construyen de lámina o placa de acero común. Estos tanques pueden ser lisos, con paredes onduladas o con tubos radiadores, según sea la capacidad de disipación deseada



(A)



(B)



(C)

TIPOS DE TANQUES PARA TRANSFORMADORES ENFRIADOS POR ACEITE

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

a) tanque liso b) tanque ondulado c) tanque con tubos radiadores

1.- tapa del tanque

5.- tubos radiadores

2.- base del tanque

6.- ruedas de rolar

3.- cuerpo del tanque

7.- punto de apoyo para maniobra

4.- aletas (en su caso)

Los aislamientos en un transformador de potencia son necesarios para mantener una separación adecuada entre dos puntos de diferente potencial, dentro del circuito eléctrico del propio transformador; en términos generales y dependiendo de los puntos que se van aislar, los aislamientos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

-Aislamiento principal o mayor, el cual comprende la separación entre devanados diferentes de una misma fase, así como la separación entre devanados y tierra.

-Aislamiento menor, que comprende la separación entre espiras (vueltas) adyacentes y además, la separación entre secciones del mismo devanado.

-Aislamiento entre fases diferentes, que comprende la separación entre los devanados de estas fases.

Los materiales que integran los aislamientos en un transformador son básicamente aceite y papel aislante, de altas características de rigidez dieléctrica; además, aunque en menor proporción, se utilizan otros materiales como madera, vidrio, porcelana, etc. De acuerdo a sus características térmicas, tanto el aceite como el papel se clasifican en la clase "A", los cuales deben operar a temperaturas máximas de 105°C, sin pérdida de vida por degradación térmica.

En los transformadores como ya se dijo existen materiales aislantes con otra clasificación diferente a la "A" pero debido a que la limitante es el aceite, por esa razón el aislamiento del transformador se considera como aislamiento clase "A". Por otra parte existen transformadores tipo seco clasificados con aislamiento clase H. Que son para temperaturas máximas de 125°C.

En la actualidad existen otros productos aislantes que están en proceso de desarrollo como lo es el silicón y el Hexafluoruro de azufre que se comienzan a utilizar en transformadores; pero hasta este momento no existe una clasificación definida para estos productos.

Además de la degradación térmica, la vida de estos materiales aislantes es afectada por la humedad, contaminación química, efecto corona, esfuerzos anormales de voltaje y esfuerzos mecánicos.

Con los transformadores de potencia en (servicio, los sistemas de aislamiento deben soportar esfuerzos dieléctricos debidos a la excitación continua de voltajes normales, a voltajes transitorios bajo condiciones de falla, Sobretensiones ocasionadas por maniobras y Sobretensiones de impulso debidos a descargas atmosféricas; Todas estas Sobretensiones implican severos esfuerzos eléctricos, sobre todo los frentes de onda de Sobretensiones de impulso, Llegándose a producir la falla de los aislamientos al sobrepasar los límites de diseño, errores en los mismos o deficiencias de construcción; durante su servicio, los aislamientos sufren deterioros que provocan la falla a largo plazo, estos deterioros son provocados por la presencia de pequeñas descargas eléctricas (parciales), las cuales ocurren a través de pequeñas partes del aislamiento, que por deterioro progresivo y generación de gas, llegan a provocar la falla; como ya se mencionó, otra causa de degradación a largo plazo lo constituye la temperatura y los

esfuerzos eléctricos continuos del voltaje normal de operación, Que provocan lo que se conoce como "Pérdida de vida de los aislamientos".

Para garantizar la operación satisfactoria de los aislamientos, dentro de ciertos limites establecidos de acuerdo a normas, diseño y coordinación de los aislamientos, tanto internos como de las instalaciones externas y ligadas a los transformadores, se han establecido pruebas de laboratorio tales como, de baja frecuencia de impulso y de maniobra. Tanto las pruebas de voltaje de baja frecuencia, como las pruebas de impulso y de maniobra, son definidas de acuerdo a normas y a voltajes nominales ya establecidos.

3.3.MATERIALES PARA LOS AISLAMIENTOS

Según uno de los materiales mas usado es el papel, es una de las partes más importantes en los transformadores modernos que merece una mención especial. El papel puede ser clasificado como un producto natural. Muchas clases de fibras se encuentran en la naturaleza de las cuales se puede hacer un papel dieléctrico de buena calidad. Papel kraft fibra de madera papel Manila cuerda de Manila kraft board fibra de madera press board. madera y algodón. El papel tiene una excelente resistencia dieléctrica y bajas pérdidas dieléctricas cuando está seco, pero puede absorber humedad muy rápidamente. Con objeto de superar esta dificultad, debe ser secado y tratado (impregnado) en algún líquido (aceite, barniz o resina) para excluir humedad y mantener la rigidez dieléctrica. Tal tratamiento llena los espacios huecos entre fibras e incrementa la rigidez dieléctrica.

Uno de los materiales de igual forma importante que se utiliza a menudo es el aceite. Es importante para el aislamiento del transformador. El aceite, como el papel, es un producto natural que contiene una variedad de impurezas y en diferentes cantidades. Es universalmente usado principalmente porque tiene un bajo costo comparado con cualquier otro aislante líquido sintético.

Tiene también la particular ventaja de impregnar plenamente el papel. Se considera que las corrientes de ruptura tienen en el aceite la particularidad de crear cargas eléctricas espaciales, que reducen el esfuerzo efectivo e incrementan la rigidez; mientras que en otros líquidos aislantes, las corrientes de ruptura una vez establecidas, producen una falla completa. Este fenómeno no está totalmente aclarado, aunque ha sido sujeto a gran cantidad de estudios.

El hecho es que papel impregnado de aceite es a la fecha, el material económico de más alta rigidez.

3.3.1 MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LOS ACEITES AISLANTES.

El aceite aislante normalmente no se utiliza inmediatamente después que ha finalizado su refinación. Si no que pasa por operaciones de almacenajes, y llenado de recipientes para su traslado a otros lugares. Si la refinación y acabado de aceite es de buena calidad y las operaciones posteriores de almacenamiento y manejo son llevadas a cabo en forma inadecuada el aceite puede contaminarse. Esto provocaría en el aceite una disminución en su capacidad dieléctrica y puesto que esta característica es una condición muy estricta en el equipo eléctrico, deben extremarse medidas de protección en cuanto a su almacenamiento. Transporte y manejo pues de ellos depende que el aceite se conserve en óptimas condiciones.

La prevención contra contaminación es básicamente un asunto de sentido común y ninguna precaución razonable debe ser desdeñada. El almacenamiento en tanques debe hacerse si estos están limpios y secos, además de que su pared interior sea recubierta con pintura resistente al aceite para evitar la corrosión y que cuenten con un sistema de preservación.

3.4.NIVEL DE AISLAMIENTO

Consideraremos una subestación para conocer en nivel de aislamiento, una vez determinada la tensión nominal de operación, se fija el nivel de aislamiento que, en forma indirecta, fija la resistencia de aislamiento que debe tener un equipo eléctrico para poder soportar Sobretensiones de diferentes procedencias.

Sobretensión externa, causa por descargas atmosféricas, (rayos), es la mayor importancia en instalaciones eléctricas con tensiones nominales inferiores a 300kv.

Sobretensión interna, debido a maniobras de interruptores, es la mayor importancia en instalaciones eléctricas con tensiones nominales superiores a 300kv

El nivel de aislamiento de una subestación se fija en función de la tensión nominal de operación, de las normas correspondientes y de los niveles de Sobretensiones existentes en el sistema. Se conoce con el nombre de Nivel Básico de Impulso (NBI) y sus unidades se dan en kilovolts.

3.4.1COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

Denominamos coordinación de aislamiento de una instalación eléctrica al ordenamiento de los niveles de aislamiento de los diferentes equipos, de tal manera que al presentarse una onda de sobretensión, ésta se descargue a través del elemento adecuado, que se le llama explosor o pararrayos, sin producir arcos ni daños a los equipos adyacentes.

La coordinación de aislamiento compara las características de operación de un pararrayos, dadas por sus curvas tensión-tiempo, contra las características de respuesta del aislamiento del equipo por proteger, dadas también por sus propias curvas tensión – tiempo. Dicho de otra forma, la coordinación de aislamiento se refiere a la correlación entre los esfuerzos dieléctricos aplicados y los esfuerzos dieléctricos resistentes.

En un sistema eléctrico es importante coordinar los aislamientos entre todo el equipo de la instalación. Para ello, se pueden considerar tres niveles de aislamiento como en la Fig. 3.4a

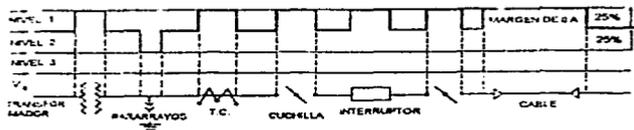


Figura 3.4a muestra un diagrama unifilar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En su parte superior se encuentran los tres niveles de sobretensión considerados en la coordinación de aislamiento, se indica el nivel que corresponde a cada aparato, V_n es la tensión nominal del sistema

Nivel 1, también llamado nivel alto. Se utiliza en los aislamientos internos, no auto recuperables (sin contacto con el aire), de aparatos como: transformadores, cables o interruptores.

Nivel 2, también llamado nivel medio o de seguridad. Está constituido por el nivel de aislamiento autorrecuperable de las partes vivas de los diferentes equipos que están en contacto con el aire. Este nivel se adecua de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar de la instalación y se utiliza en todos los aisladores de aparatos, buses y pasamuros de la subestación que están en contacto con el aire.

Nivel 3, también llamado nivel bajo o de protección. Está constituido por el nivel de tensión operación de los explosores de los pararrayos de protección.

Respecto a los intervalos entre los niveles de tensión, se considera que la diferencia entre los niveles medio y alto puede ser entre 0 y 25%. La diferencia entre los niveles medio y bajo (pararrayos) ser suficiente con un 15%. Sin embargo, como los pararrayos pueden estar instalados a una distancia algo mayor que la debida de los aparatos por proteger, las Sobretensiones que llegan a estos aparatos pueden ser ligeramente superiores a las de operación del pararrayos. Por lo tanto, es conveniente también, fijar una diferencia de 25% entre estos dos últimos niveles.

3.4.2.TENSIÓN NOMINAL

Considerando la tabla 3.4.2a en donde indicamos los valores normalizados de las tensiones nominales entre fases, adoptados por la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

tabla 3.4.2a

Tensiones nominales del sistema kv		Tensión máxima párale equipo kv
66	69	72.5
110	115	123
132	138	145
150	161	170
220	230	245
275	287	300
330	345	362
380	400	420
500		525
700 a 750		785

3.5.NIVEL BÁSICO DE IMPULSO

A partir de estos niveles de aislamiento se deben adoptar las disposiciones necesarias para evitar que se produzca el efecto corona en las barras colectoras, en los conectores y en cualquier punto de la instalación.

Por otra. La elección del nivel de aislamiento adecuado determina las características de aislamiento de los aparatos, las distancias entre las partes

conductoras de fase diferente y entre fase y tierra; tiene además, una repercusión importante en el costo de la subestación.

En la tabla se observa que la columna del nivel de aislamiento al impulso se divide en dos partes, una para el aislamiento pleno y la otra para el aislamiento reducido. A medida que el valor de la tensión máxima crece, el número de valores de tensión del aislamiento reducido también crece para un mismo valor de la tensión máxima.

En la tabla 3.5a aparecen los factores de corrección por altitud que se aplican a todos los aislamientos externos, o sea en contacto con el aire, de los equipos de alta tensión. Como se observa, para aisladores eléctricos situados en altitudes superiores a la normalizada de 1000m, el NBI de los aislamientos externos se reduce progresivamente a partir de 1000 m. Nivel de aislamiento externo e interno de los aparatos.

Ejemplo:

Analizar el caso de un sistema de 230 kV nominales, instalado a 2,300 metros de altura sobre el nivel del mar; seleccionar un transformador para cuyas bobinas, de acuerdo con la tabla 3.5a, se considera la tensión máxima de 245 kV. A este valor corresponde un NBI, para los aislamientos externos (boquillas) de 1050 kV al nivel del mar. De acuerdo con la tabla 3.5b, a la altura de 2,300 m.s.n.m. se tiene un factor de corrección por altitud de 0.87. Por tanto, el NBI de los aislamientos externos, de los aparatos con NBI de 1,050 kV al nivel del mar, que se instalan a 2,300 m, se reduce a 913 kV, o sea $1,050 \times 0.87 = 913$ kV.

Según la tabla 3.5a para el valor de 1,050 kv, se puede elegir para las bobinas del transformador cualquiera de los tres valores que aparecen en la columna de aislamiento reducido. Ahora bien para tener una buena coordinación de aislamiento entre las boquillas exteriores, cuyo NBI es de 913, y el bobinado interior, se debe escogerse el valor de 900kv.

Tabla 3.5a

Tensión máxima para el Equipo kv eficaz	Nivel de aislamiento al impulso		Nivel de aislamiento a baja frecuencia	
	Aislamiento pleno kv cresta	Aislamiento reducido kv cresta	Aislamiento pleno kv eficaz	Aislamiento reducido kv eficaz
		380		150
		450		185
		550		230
		450		185
		650		275
		550		230
		900		395
		825		360
100		750	185	325
123	450	1175	230	510
145	550	1050	275	460
170	650	900		395
245	750	1300	325	570
300	1050	1175		510
362		1050	460	460
420		1675		740
525		1550		680
		1425		630
		1300		570
		1800		790
		1675		740
		1550		680
		1425		63

Tabla 3.5b

Altitud M	Factor de corrección del nivel de aislamiento
1000	1.00
1200	0.98
1500	0.95
1800	0.92
2100	0.89
2400	0.86
2700	0.83
3000	0.80
3600	0.75
4200	0.70
4500	0.67

Corrección del nivel de aislamiento externo de los aparatos para altitudes mayores a 1000m

3.6.NORMAS DE AISLAMIENTO

El Reglamento de las Líneas dice, en sus artículos 2 y 24, lo siguiente:

Artículo 2." Tensiones

Se entiende por «tensión nominal», el valor convencional de la tensión eficaz entre fases con que se designa la línea y a la cual se refieren determinadas características de funcionamiento, y por «tensión más elevada» de la línea, al mayor valor de la tensión eficaz entre fases, que puede presentarse en un instante en un punto cualquiera de la línea, en condiciones normales de exploración, sin considerar las variaciones de tensión de corta duración debidas a defectos o a desconexiones brusca, de cargas importantes.

Las tensiones nominales normalizadas, así como los valores correspondientes de las tensiones más elevadas -según las normas CEI- se incluyen en el cuadro de la página siguiente.

Únicamente en el caso de que la línea objeto del proyecto sea extensión de una red ya existente. Podrá admitirse la utilización de una tensión nominal diferente de las anteriormente señaladas.

De *entre* ellas se recomienda la utilización de las tensiones que a continuación se indican:

20 - 66 - 132 - 220 Y 380 k V

Categoría de la línea	Tensión nominal (kv)	Tensión más elevada (kv)
3*	3	3.6
	6	7.2
	10	12
	15	17.5
	20	24
2*	30	36
	45	52
	66	72.6
1*	132	145
	220	245
	380	420

Si durante la vigencia del presente Reglamento y en ausencia de disposiciones sobre la materia, se considera conveniente la adopción de una tensión nominal superior a 380 kv, deberá justificarse de modo adecuado. La elección del nuevo escalón de tensión propuesto, de acuerdo con las recomendaciones. Organismos técnicos internacionales y con el criterio existen en los países limítrofes.

La tensión nominal de la línea, expresada en kilovoltios, se designará en lo sucesivo por la letra *U*.

En el siguiente artículo, las líneas quedan clasificadas en la siguiente forma:

Primera categoría: las de tensión nominal superior a 66 kV.

Segunda categoría: Las de tensión nominal comprendida entre 66 y 30 kV, ambas inclusive.

Tercera categoría: Las de tensión nominal inferior a 30 kv, e igualo superior a 1 kV.

Artículo 24. Nivel de aislamiento

El nivel de aislamiento se define por las tensiones soportadas bajo lluvia, a 50 Hz, durante un minuto y con onda de impulso de 1,2/50 microsegundos, según Normas de la Comisión Electrotécnica internacional. Los niveles de aislamiento mínimos correspondientes a la tensión más elevada de la línea, tal como ésta ha sido definida en el artículo 2", serán los reflejados en la siguiente tabla..

Categoría de la línea	Tensión mas elevada kv eficaz	Tensión de ensayo al choque kv cresta		Tensión de ensayo a frecuencia industrial kv eficaces	
		Neutros a tierra	Neutros aislados	Neutros a tierra	Neutros aislados
3*	3,6	45		16	
	7,2	60		22	
	12	75		28	
	17,5	95		38	
	24	125		50	
2*	36	170		70	
	52	250		95	
	72,5	325		140	
1*	100	380	450	150	185
	123	450	550	230	230
	145	550	650	375	275
	170	650	750	395	325
	245	900	1,050	680	460
	420	1.550			

En el caso de proyectarse líneas a una tensión superior a las incluidas en esta tabla, para la fijación de los niveles de aislamiento se recomienda atenerse a las normas sobre esta materia de la Comisión Electrotécnica Internacional.

CAPITULO IV
" CARACTERÍSTICAS DE LOS PARARRAYOS "

4.1.INTRODUCCIÓN

A continuación se muestra algunas características de los pararrayos expuestas por algunos autores de las cuales se tomaron las más importantes. Las Sobretensiones que se presentan en las instalaciones de un sistema pueden ser de dos tipos:

1. Sobretensiones de origen atmosférico.
2. Sobretensiones por fallas en el sistema.

En el estudio que ahora nos ocupa trataremos la protección contra Sobretensiones de origen atmosférico.

Apartarrayos. El apartarrayos es un dispositivo que nos permite proteger las instalaciones contra Sobretensiones de origen atmosférico.

Las ondas que se presentan durante una descarga atmosférica viajan a la velocidad de la luz y dañan el equipo si no se le tiene protegido correctamente; para la protección del mismo se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a) *Descargas directas sobre la instalación*
- b) *Descargas indirectas*

De los casos anteriores, el más interesante, por presentarse con mayor frecuencia, es el de las descargas indirectas. El apartarrayos, dispositivo que se encuentra conectado permanentemente en el sistema, opera cuando se presenta una sobretensión de determinada magnitud, descargando la corriente a tierra.

Su principio general de operación se basa en la formación de un arco eléctrico entre dos *explosores*, cuya separación está determinada de antemano de acuerdo con la tensión a la que va a operar. Como se muestra en la fig 4.1a

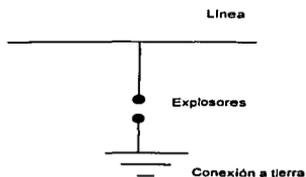


Fig4.1a

Se fabrican diferentes tipos de apartarrayos, basados en el principio general de operación; por ejemplo, los más empleados son los conocidos como "apartarrayos tipo autovalvular" y "apartarrayos de resistencia variable".

El apartarrayos tipo autovalvular tienen varias chapas de explosores conectados en serie por medio de resistencias variables, cuya función es dar una operación más sensible y precisa. Se emplea en los sistemas que operan a grandes tensiones, ya que representa una gran seguridad de operación. El apartarrayos de resistencia variable funda su principio de operación en el principio general, es decir, con dos explosores, y se conecta en serie a una resistencia variable. Se emplea en tensiones medianas y tiene mucha aceptación en sistemas de distribución. Como se muestra en la fig4.1b

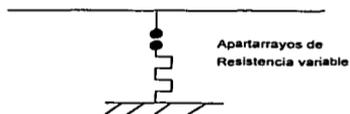


Fig 4.1b

La función del apartarrayos no es eliminar las ondas de sobretensión presentadas durante las descargas atmosféricas, sino limitar su magnitud a valores que no sean perjudiciales para las máquinas del sistema. Las ondas que normalmente se presentan son de 1.5×40 microseg. (onda americana) y 1×40 microseg. (onda europea). Esto quiere decir que alcanza su valor de frente en 1.5 a 1 microseg. (tiempo de frente de onda). La función del apartarrayos es cortar su valor máximo de onda (aplanar la onda). como se muestra fig 4.1c

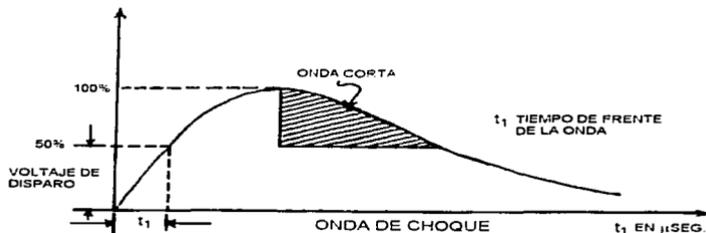
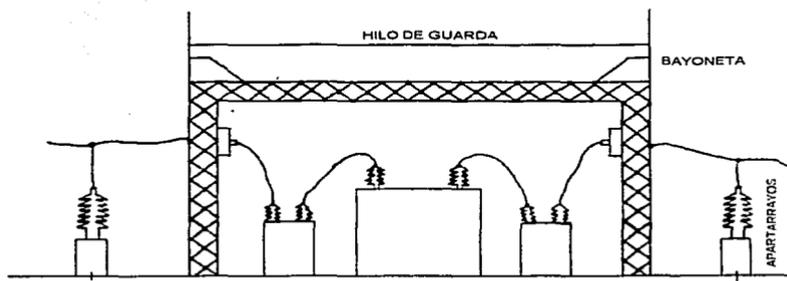


fig 4.1c

Las Sobretensiones originadas por descargas indirectas se deben a que se almacenan sobre las líneas cargas electrostáticas que al ocurrir la descarga se parten en dos y viajan en ambos sentidos de la línea a la velocidad de la luz.

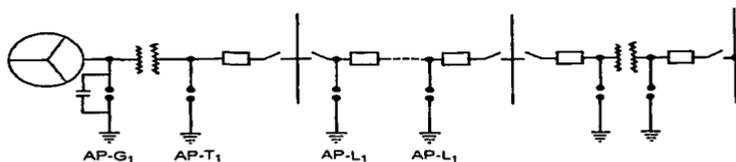
Los apartarrayos protegen también a las instalaciones contra descargas directas, para lo cual tiene un cierto radio de protección. Para dar mayor seguridad a las instalaciones contra descargas directas se instalan unas varillas conocidas como bayonetas e hilos de guarda semejantes a los que se colocan en las líneas de transmisión.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

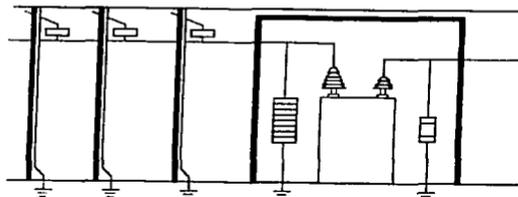


La tensión a que operan los pararrayos se conoce técnicamente como tensión de cebado del pararrayos

Localización del pararrayos



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



CONEXIÓN A TIERRA DE APARTARRAYOS

El condensador se emplea como filtro con los apartarrayos de los generadores.

4.2. CUERNO DE ARQUEO

Es el caso de los pararrayos más primitivos y pueden estar formados por un solo explosor, que es el caso más sencillo, o varios explosores en serie, conectados por un lado al circuito vivo que se va a proteger, y por el otro lado, a la red de tierra como se muestra en la figura 4.2a.

Este sistema, que sería el más económico, tiene el inconveniente de que una vez originado el arco en el explosor se ioniza el aire y la corriente de descarga se transforma en una corriente de cortocircuito a tierra que sólo se puede eliminar mediante la apertura de un interruptor o fusible adecuado. Su uso no es común. Se podría utilizar mediante el uso de un interruptor con circuito de recierre.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

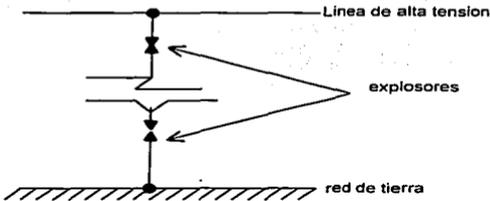
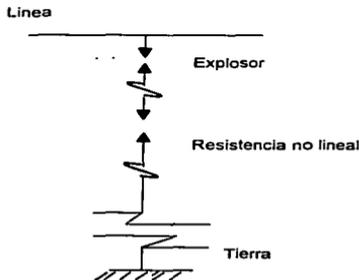


Fig. 4.2a

4.3. PARARRAYOS AUTOVALVULARES

Este grupo de pararrayos, llamados también de tipo convencional, está formado por una serie de resistencias no lineales de carburo de silicio, prácticamente sin inductancia, presentadas como pequeños cilindros de materia prensado. Las resistencias se conectan en serie con un conjunto de explosores intercalados entre los cilindros, como se muestra en la fig. 3.4a



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las resistencias evitan que, una vez iniciada la descarga en los explosores, se produzca una corriente permanente. A su vez permiten disminuir las distancias entre los electrodos. Proporcionando mayor sensibilidad al pararrayos. Aun en el caso de Sobretensiones reducidas.

Las resistencias no lineales son unos pequeños cilindros formados por pequeñas partículas de silicio (SiC) con dimensiones del orden de 200 micrones, como se observa en la figura 4.3a

La curva característica no lineal de tensión-corriente se obtiene a partir de la propiedad semiconductores eléctricas, por la interacción entre el carburo de silicio y el aglutinador que permite cierto contacto entre las partículas de SiC, ocasionando la obtención de una resistencia no lineal.

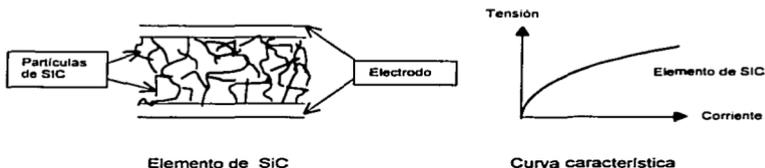


Fig. 4.3a

Los cilindros semiconductores tienen la propiedad de disminuir su resistencia en presencia de Sobretensiones y de aumentarla a un valor prácticamente infinito, al regresar la tensión a su valor nominal. Esto convierte al pararrayos en una válvula de seguridad para las altas tensiones que funcionan en el momento necesario,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

evitando la persistencia de la corriente de cortocircuito sin que se produzcan oscilaciones secundarias.

4.4.FUNCIONAMIENTO DEL PARARRAYAYO

Cuando se origina una sobretensión, se produce el arqueo de los entrehierros y la corriente resultante es limitada por las resistencias a pequeños valores, hasta que en una de las pasadas por cero de la onda de corriente, los explosores interrumpen definitivamente la corriente. En la figura 4.4a se observa el efecto de una onda de choque sobre un pararrayos de tipo valvular, en donde V_c = Valor de la tensión máxima de la onda de choque y en la fig 4.4b la corriente.

El frente escarpado que semeja una función escalón, tiene una duración de 1.2 microsegundos, y llega al valor de la mitad de V_c en un tiempo de 50 microsegundos.

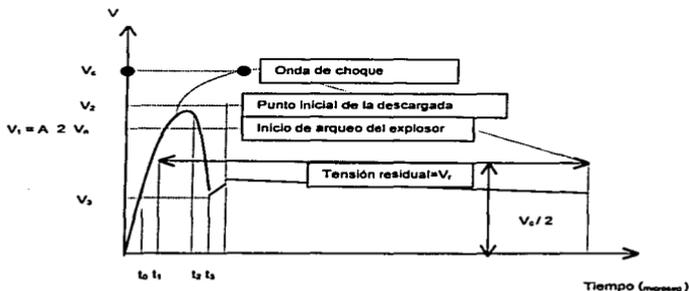


Fig. 4.4a

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

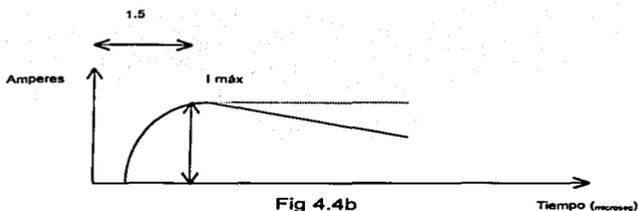


Fig 4.4b

En la figura se observa que una vez iniciada la onda de choque en t_0 , ésta empieza a crecer hasta llegar a V_1 , punto en que empieza a ionizarse el entrehierro del explosor, sigue creciendo la tensión y al llegar a V_2 , se produce el arco entre las terminales del explosor. El valor V_2 se relaciona con la amplitud de la tensión nominal V_n de la red, por medio de un coeficiente A , de acuerdo con la expresión

$$V_2 = A \sqrt{2} \cdot V_n$$

En donde A es una constante que depende de las características de diseño del pararrayos, y en forma práctica se le fija un valor de $2.4 A V_2$, se le llama tensión de arranque del pararrayos. A partir de este valor, la tensión descende rápidamente hasta llegar a V_1 , que se denomina tensión residual, y cuya magnitud aparece entre las terminales del pararrayos, en el momento en que la corriente de descarga; alcanza su valor máximo de intensidad I_m , de acuerdo con la expresión

$$V_3 = I_m R$$

Donde R es la magnitud en ohms, de la resistencia no lineal en el instante t_0

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

observando la gráfica se nota que el pararrayos reduce la onda de sobretensión del valor de pico V_2 al valor de la tensión residual V_3 en un tiempo muy breve, del orden de 8 microseg. Por otro lado, durante la descarga de la sobretensión, en la resistencia no lineal circula una corriente con un valor máximo I_m , que fija la capacidad de descarga máxima de energía a través del pararrayo sin que éste sufra deterioro alguno.

Cuando los pararrayos deban limitar también las sobretensiones que originan la operación de interruptores, los explosores, incluyen también un soplado magnético que cumple dos funciones extinguir más rápidamente el arco formado y oponer mayor resistencia a los reencendidos.

4.5. Pararrayos de óxidos metálicos

Tienen su base en las investigaciones que se han efectuado sobre las propiedades semiconductoras de los óxidos metálicos. Los fabricantes de equipo eléctrico han venido desarrollando desde hace unos quince años, otro tipo de pararrayos, el de óxido de zinc (ZnO). Este tipo está basado también en que la curva de tensión-corriente de las resistencias es menos lineal que el del caso de carburo de silicio. conduce cuando la tensión es superior a la tensión máxima de referencia, y cierra la conducción, prácticamente a un valor cero, cuando la tensión regresa a su valor normal.

Los pararrayos están constituidos por varias piezas de resistencia no lineal de óxido de zinc, apiladas dentro de una columna hueca de porcelana sin entrehierros. En la parte superior de la porcelana tienen una placa relevadora de presión que, en caso de una sobrepresión interna, se rompe y permite escapar los gases hacia arriba sin producir daños laterales. Las resistencias no lineales son

pequeños cilindros formados por partículas de óxido de zinc de menor tamaño que en el caso de los convencionales, según la figura 4.3a Las partículas están formadas por cristales de óxido de zinc de unos 10 micrones, rodeados por un material aglutinador de mayor resistencia eléctrica que el cristal el cual produce una separación entre los cristales del orden de 0.1 de micrón y permite cierto contacto entre los cristales de óxido, ocasionando una resistencia no lineal. La resistencia de los cristales es mucho menor que la del material aglutinador, de tal manera que cuando aparece una sobretensión entre los elementos no lineales casi toda la tensión aparece en la capa aglutinadora; así se produce un fenómeno multiplicador de corriente típico de la electrónica de estado sólido y se obtiene una característica extremadamente no lineal entre la tensión aplicada y la corriente resultante, que se aproxima al caso del pararrayos ideal.

La característica tensión corriente de estos pararrayos corresponde a la relación:

$$I = K V^n$$

que indica la corriente que circula en el pararrayos donde:

K- factor que depende de las dimensiones de la resistencia y de su material

n- exponente que tiene valores entre 4 y 6 para los autovalvulares y entre 30 y 40 para los de óxido de zinc.

4.6.CARACTERÍSTICAS DE PARARRAYO

Son unos dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalanceo del sistema

Un dispositivo de protección efectivo debe tener tres características principales:

- Comportarse como un aislador mientras la tensión aplicada no exceda de cierto valor predeterminado.
- Convertirse en conductor al alcanzar la tensión ese valor.
- Conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobretensión.

Una vez desaparecida la sobretensión y restablecida la tensión normal, el dispositivo de protección debe ser capaz de interrumpir la corriente. Estas características se logran con el aparato llamado pararrayos, el cual cumple con las siguientes funciones:

- a) Descargar las sobretensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión disruptiva de diseño.
- b) Conducir a tierra las corrientes de descarga producidas por las sobretensiones.
- c) Debe desaparecer la corriente de descarga al desaparecer las sobretensiones.
- d) No deben operar con sobretensiones temporales, de baja frecuencia.
- e) La tensión residual debe ser menor que la tensión que resisten los aparatos que protegen.

Las sobretensiones se agrupan en las categorías siguientes:

Sobretensiones de impulso por rayo. Son generadas por las descargas eléctricas en la atmósfera (rayos); tienen una duración del orden de decenas de microsegundos.

Sobretensiones de impulso por maniobra. Son originadas por la operación de los interruptores. Producen ondas con frecuencias del orden de 10 kHz y se amortiguan rápidamente. Tienen una duración del orden de milisegundos.

Sobretensiones de baja frecuencia (60 Hz). Se originan durante los rechazos de carga en un sistema, por desequilibrios en una red o corto circuito de fase a tierra tienen una duración del orden de algunos ciclos. Los pararrayos deben quedar conectados permanentemente a los circuitos que protegen y entrar en operación en el instante en que la sobretensión alcanza un valor convenido superior a la tensión máxima del sistema.

4.6.1 Características de protección de los pararrayos para 23 kv

Denominación de pararrayos (eficaz) kv	Voltaje nominal del circuito kv		Voltaje máximo de flameo onda de 1,200 kv/ microseg kv(cresta)	Voltaje máximo de flameo onda de 1.2 x 50 microseg kv (cresta)	Voltaje máximo de flameo 50 c.p.s kv (eficaz)	Voltaje máximo de descarga kv (cresta) corriente de 8 x 20 microseg		
	Neutro efectivo a tierra	$X_0/X_1 > 3$				5KA	10KA	20KA
24	276	33	76	81	42	492	555	635

Distancias a tierra y entre fases en subestaciones de 23 kv

Nivel de aislamiento a 2,300 m kv (cresta)	Distancia mínima de no flameo a 2,300 m cm	Distancia mínima de fase a tierra a 2,300m cm	Distancia mínima entre fases a 2,300 m cm	Separación normal entre centros de fases de buses no rígidos cm	Separación normal entre centros de fases de buses no rígidos cm	Altura mínima de partes vivas sobre zonas de circulación cm	Distancia mínima horizontal a partes vivas descubiertas cm	Distancia horizontal de trabajo cm	Distancia vertical de Trabajo
125	25.6	29 (26.6 x 1.1)	33 (29 x 1.15)	50	100	300	115	300	300

4.6.2. Características de protección de los pararrayos para 230kv

Denominación del pararrayos (eficaz)	Voltaje nominal del circuito kv	Voltaje máximo de cebado, frente de onda 1,200 kv/microseg kv cresta	Voltaje máximo de cebado, onda 1.2 x 50 microseg kv cresta	Voltaje máximo de cebado con sobrevoltajes debidos a operaciones de interruptores (cresta)	Voltaje mínimo de cebado 50 c. p.s kv(eficaz)	Voltaje máximo de descarga kv (cresta) corriente de 8 x 20 microseg		
						5KA	10KA	20KA
240	230	694	600	567	360	476	535	605

Distancias a tierra y entre fases en subestaciones de 230 kv

Nivel de aislamiento al impulso a 2,300 m	Distancia mínima de no flameo a 2,300 m cm	Distancia mínima de fase a tierra a 2,300m cm	Distancia mínima entre fases a 2,300 m cm	Separación normal entre centros de buses no rígidos cm	Separación normal entre centros de buses de zonas no rígidos cm	Altura mínima de partes vivas sobre zonas de circulación cm	Distancia mínima horizontal a partes vivas descubiertas cm	Distancia horizontal de trabajo cm	Distancia vertical de Trabajo
900	227.9	251 (227.9 x 1.1)	289 (251x 1.15)	360	450	476	300	426	376

CAPITULO V
"APLICACIONES"

5.1.PROBLEMAS

Seleccionar la tensión de operación de un pararrayos por maniobra de interruptor, en un sistema con tensión nominal de 230 kV.

a) El nivel básico de impulso del devanado del transformador es de 900 kV. El nivel de aislamiento que se permite soportar al devanado por la operación del interruptor, de acuerdo con las normas ANSI es:

$$0.83 \times 900 = 747 \text{ kV}$$

b) La Sobretenensión máxima generada por operación de interruptores es, según la norma ANSI, de 2.5 veces el valor pico de la tensión nominal a tierra

$$230 / \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times 2.5 = 468 \text{ kV}$$

c) La tensión de operación del pararrayos, por operación de interruptores, se selecciona considerando un 10% arriba de la sobretenensión máxima

$$468 \times 1.1 : 515 \text{ kV}$$

El margen de protección (*MP*) obtenido de acuerdo con los datos encontrados es de:

$$MP = 747 - 515 / 515 \times 100 = 45\%$$

que es mayor del 20% que como mínimo establece; la norma para ser correcto. De los datos obtenidos se puede concluir que, por un lado, se tiene buen margen para que el pararrayos no opere por maniobra de interruptor y, por el otro, también se tiene buen margen de protección para el equipo por proteger (transformador). El interruptor puede elevar a 468 kV la sobretensión de maniobra, el pararrayos opera a 515 kV, el transformador soporta 747 kV.

5.1.1. Localización del pararrayos.

La correcta protección de un equipo altamente sensible a las sobretensiones eléctricas, como pueden ser los transformadores o los cables de potencia depende de la distancia entre el punto en que se localizan los pararrayos y el punto donde se localizan el punto para proteger.

Entre los factores principales que afectan la separación de los pararrayos y el equipo por proteger se consideran los siguientes:

- a) Magnitud y pendiente de! frente de la onda de tensión incidente
- b) Características de protección del pararrayos
- c) Magnitud y forma de la onda de tensión que puede resistir el transformador
- d) Impedancia característica de líneas y buses

Los pararrayos producen la máxima protección en el punto donde se encuentran localizados, y su nivel de protección disminuye en ambos sentidos a partir del punto máximo; la protección del equipo disminuye a medida que éste se va alejando del pararrayos.

La tensión originada por una onda que aparece en un punto, a una distancia determinada del pararrayos, está dada por la expresión

$$V_p = V_o + 2 (dv/dt) \times D / 300$$

Donde:

V_p - tensión que aparece en punto p a una distancia D entre el punto y el pararrayos, originada por una sobretensión transitoria

V_o - tensión de máxima descarga del pararrayos, en kV
 dv/dt -pendiente del frente de onda incidente en kV/ μ .s

D - distancia en metros entre el pararrayos y el punto por proteger

300- velocidad de propagación de la onda en metros/ μ .s en conductores aéreos

5.1.2.EJEMPLOS

I. Determinar las características de un pararrayo del tipo de carburo de silicio, instalado, en el lado de 400 kV de una subestación de 400/230 kV.

solución

Por norma NBI = 1425 kV (cresta)

 NBM = 1050 kV (cresta)

El factor de sobretensión lo fijan los interruptores y es de 2.5 p.u., para el caso del neutro conectado sólidamente a tierra, en que $K_r = 0.8$ tensión máxima; 420 kV.

Tensión nominal del pararrayos V_n

$$V_n = K_t V_{max}$$

$$= 0.8 \times 420 = 336 \text{ kV}$$

Con este dato se entra al catálogo de un fabricante, en cuyas tablas se escoge el valor de catálogo inmediatamente superior, que para este caso es: $V_n = 360 \text{ kV}$ que corresponde a un pararrayos con los datos siguientes:

Tensión nominal $V_n = 360 \text{ kV}$

Tensión de descarga por maniobra $V_o = 81 \text{ S kV}$ (cresta)

Tensión de descarga, $1.2 \times 50 \mu\text{s} = 830 \text{ kV}$ (cresta)

Tensión residual. a $20 \text{ kA} = 820 \text{ kV}$ (cresta)

La corriente de descarga I_d se obtiene mediante la fórmula.

$$I_d = K (2 \text{ NBI} - V_t) / Z_o$$

K constante que depende de la distancia en metros a la que cae el rayo, y cuyos valores se indican a continuación:

Distancia de caída en metros	K
700	3
1600	2
.3200	1

V_t - caída de tensión debida a la resistencia interna del pararrayos

Z_o - impedancia característica de la línea = 280 ohms , para este caso se puede calcular por la fórmula:

$$Z_o = 138 \log_{10} (2h/r)$$

donde:

h -altura del conductor en metros.

r - radio del conductor en metros.

Suponiendo que la descarga del rayo ocurre a una distancia entre 700 y 1600 m, y además despreciando el valor de V_n , considerando las condiciones más críticas.

$$I_d = 2 \times (2 \times 1425/280) = 20.3 \text{ kA}$$

se selecciona una I_d de 20 kA.

Una vez obtenidos V_n e I_d se busca en las tablas de pararrayos de los fabricantes. En este caso no existe el valor de $V_n = 336$ kV. Entonces se trata con las dos alternativas que limitan a V_n por arriba y abajo, es decir. con $V_n = 312$ kV y $V_n = 372$ kV.

A continuación se tabulan los valores de las dos alternativas y se selecciona la económicamente más adecuada.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PARARRAYOS DE 312 Y 372 KV DE TENSIÓN NOMINAL

Tensión nominal V_n (en kV)	312	372
Tensión de descarga por impulso, con frente de onda de $1.2 \times 50 \mu\text{s} = V_n$ kV cresta	882	1053
Tensión residual por impulso de corriente de descarga de $8/20 \mu\text{s/kV}$	706	842
Índice de elevación de tensión (pendiente del frente de onda $\text{kv}/\mu\text{s}$)	1200	1200

En los pararrayos convencionales la pendiente alcanza un nivel de 100 kV / μs por cada 12 kv de tensión

Es decir :

$$dv/dt = 100/12 V_n \text{ KV} / \mu\text{s}.$$

Los dos márgenes de protección por rayo correspondientes a cada una de las dos alternativas, que son:

$$1.- MP = 1425-882 / 882 \times 100 = 61.6\%$$

$$2.- MP = 1425-1053 / 1053 \times 100 = 35.3\%$$

Ambos son valores de 35% que como mínimo establece la norma. Por tanto, la alternativa más adecuada económicamente es la 2.

La distancia máxima que se permite entre el pararrayos y el equipo que se va a proteger por descargas atmosféricas, para un margen de protección del 20%(caso de sistemas eléctricos firmemente aterrizados), se obtiene de la fórmula :

$$D = 300 (V_m - V_o) / 2x dv / dt$$

$$V_m = k \times NBI$$

V_m no debe ser mayor a 2, por el tiempo de ida y vuelta de la onda(2t) , es decir

$$V_m = 0.8 \times 1425 = 1140$$

$$\text{Caso 1 } [dv/dt]_1 = 100 / 12 \times V_n = 100/12 \times 882 = 7,350 \text{ kv } / \mu\text{s}$$

$$\text{Caso 2 } [dv/dt]_2 = 100 / 12 \times 1053 = 8,775 \text{ kv } / \mu\text{s}$$

La distancia para el caso 1

$$D_1 = 300(1140 - 1053) / 2 \times 7350 = 5027 \text{ m}$$

Para el caso 2

$$D_2 = 300 (1140 - 1053) / 2 \times 8775 = 1.49 \text{ m}$$

Como D_2 es difícil de conseguir físicamente, entonces conviene utilizar el valor de D_1 si en el caso 1 el pararrayos se instala a 3m del transformador, la tensión máxima que puede aparecer es

$$V_m = V_o + (2 \text{ dv} / \text{dt} \times D) / 300 = 882 + (2 \times 7350 \times 3) / 300 = 1,029 \text{ kv}$$

En cuyo caso el margen de protección por descarga atmosférica sería:

$$MP = (NBI \times V_m / V_m) \times 100 = (1425 - 1029 / 1029) \times 100 = 38.5\%$$

que está dentro de la norma del 20%.

El margen de protección por maniobra, considerando la sobretensión máxima de línea a tierra, que por norma no debe exceder de 2.5 p. u., sería aplicando la fórmula

$$MP_{\text{maniobra}} = (NBM - V_o / V_o) \times 100$$

Donde:

$$V_o = 2.5 \times \sqrt{2} / \sqrt{3} \times 420 = 857.2 \text{ kv}$$

Con el pararrayos del catalogo $V_o = 815 \text{ kv}$

$$MP_{\text{maniobra}} = 1050 - 815 / 815 \times 100 = 28.8\%$$

sin el pararrayos: $V_o - 857.2 \text{ kV}$

$$MP_{\text{maniobra}} = 1050 - 857.2 / 857.2 \times 100 = 22.50\%$$

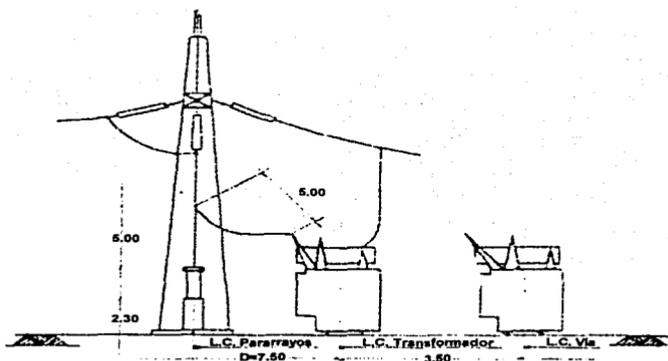
De lo cual se deduce que el margen de protección de un pararrayos lo fija la sobretensión por maniobra y no por descarga atmosférica.

2. Encontrar la tensión que aparece en ambos lados de un pararrayos, considerando que incide una onda con un frente de $1,000 \text{ kV } \mu\text{s}$. El pararrayos tiene una denominación de 240 kV y de acuerdo con la tabla tiene una tensión máxima de flameo, cuyo valor de pico es de 600 kV , con onda de $1.2 \times 50 \mu\text{s}$.

Como solución. indica que para proteger un transformador, con un **NBI** interior de 900 kV , y para estar dentro de un margen de protección adecuado, siempre y cuando consideremos que la tensión máxima admisible por el transformador, no exceda de 800 kV . los pararrayos deben instalarse a menos de 30 metros del mismo.

Ejemplo:

Determinar la separación máxima entre un transformador y el juego de pararrayos como se muestra en la fig 5.1.2a considerando que la tensión máxima a la que puede someterse un transformador de 400 kv es de 800 kv , si los pararrayos operan con una onda de $1.2 \times 50 \mu\text{s}$ y un valor de pico de 750 kv y la onda incidente avanza con un frente de $1,000 \text{ kv} / \mu\text{s}$



DISTANCIA MÁXIMA DEL PARARRAYOS

Fig. 5.1.2a

solución.

$$D = 300 (800 - 750) / 2 \times 1,000 = 7.5 \text{ metros}$$

Por norma se considera que la distancia D del pararrayos al objeto por proteger ya tiene incluido un margen de protección de 20%. En la realidad las distancias de los pararrayos no deben exceder de unos 15 metros del equipo por proteger.

5.2. Aplicaciones de los pararrayos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



5.2.1. REVISIÓN DE LA INSTALACIÓN.

El mantenimiento de cualquier sistema de protección contra el rayo es indispensable. Con el simple paso del tiempo, corrosión, golpes mecánicos, inclemencias atmosféricas, impactos de rayo, etc., algunos componentes del sistema de protección contra el rayo pueden perder su eficacia.

La revisión consiste en verificar que:

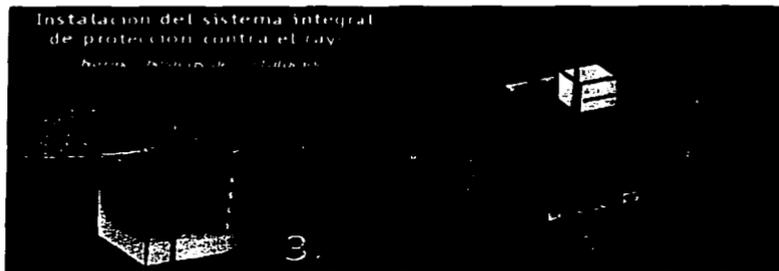
- Los componentes del sistema cumplen la normativa y reglamentos vigentes.
- Las ampliaciones o modificaciones producidas en la estructura quedan protegidas por el sistema de protección.
- Los conductores tengan buena continuidad eléctrica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

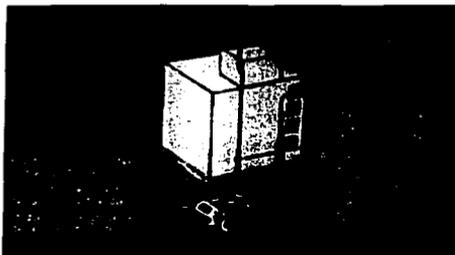
- Estén en buen estado las fijaciones de los diferentes componentes y protecciones mecánicas.
- La corrosión no haya afectado a ningún componente del sistema.
- Se respetan las distancias de seguridad.
- Estén en buen estado las uniones equipotenciales y sean suficientes.
- La resistencia de la toma de tierra tenga valor inferior a 10 .
- Por último, se elaborará un informe detallado que recogerá las constataciones e indique, cuando fuera necesario, las medidas correctivas a tomar.

Estas medidas deberán realizarse con el menor retraso para mantener la eficacia óptima del sistema.

5.3. Diagramas de pararrayos



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Instalación del sistema integral de protección contra el rayo. A modo de orientación, se indican unas normas básicas de instalación :

- a) El pararrayos estará al menos dos metros por encima de cualquier otro elemento dentro de su radio de protección.
- b) El conductor de bajada se instalará de forma que su recorrido sea lo más directo posible, evitando cualquier acodamiento brusco o remonte.
- c) Los conductores deben estar protegidos mediante un tubo de protección hasta una altura superior a 2m a partir del suelo.
- d) Se debe realizar la interconexión con el circuito de tierra en el fondo de la excavación, directamente al pie de cada bajante mediante un dispositivo que permita la desconexión y que esté emplazado en un registro de inspección que lleve el símbolo de tierra.
- e) Se recomienda la utilización de un preparado mejorado de la conductividad en terrenos de resistividad alta.
- f) La resistencia de la toma de tierra medida por medios convencionales debe ser inferior a 10.
- g) Las tomas de tierra deberán estar orientadas hacia el exterior del edificio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

- h) Todas las tomas de tierra deberán estar unidas entre sí y a la toma de tierra general del edificio.
- i) Los elementos constitutivos de las tomas de tierra de los pararrayos deberán distar al menos 2m de toda canalización metálica o eléctrica enterrada.

5.4.NOVEDADES

El nuevo descargador 3EK7 para redes de distribución de energía eléctrica , del tipo 3EK7 de Siemens ofrece una protección ejemplar a los equipos de las redes eléctricas de hasta 52 kV contra sobre tensiones, corriente nominal de descarga de 10 kA y capacidad máxima de absorción de energía de 4,5 kJ/kV. Su gran innovación es la goma de silicona empleada, que garantiza una resistencia extrema -aún bajo las condiciones más exigentes, como en climas de los más duros y en el severo ambiente industrial e impide la contaminación y la formación de películas de agua. Con ello se reducen al máximo las corrientes superficiales inducidas por depósitos conductores de suciedad. Gracias a su característica de repeler el agua, evita el desarrollo de capas conductoras y cerradas en su superficie, por lo que ni la fuerte neblina salina, típico de las zonas costeras, afecta a sus propiedades dieléctricas. Así, se evita la aparición de corrientes superficiales y se minimizan las descargas en la superficie del pararrayos.

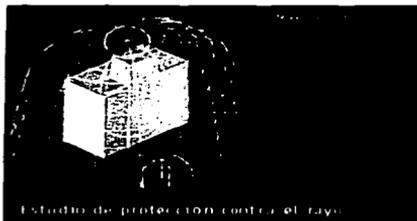
La prolongada vida útil de estos pararrayos está avalada por el uso de materiales de la máxima calidad y sistemas de fabricación de última generación, porque la resistencia mecánica del recubrimiento de goma de silicona protege el 3EK7 durante el transporte y la operación, en el montaje, frente al viento y de las inclemencias meteorológicas.

La ganancia de todos estos cuidados se traducen en la minimización de los tiempos de parada por falla durante la operación de la red. A diferencia de lo que ocurre con los pararrayos convencionales (con carcasa calada a presión o por contracción térmica), en el 3EK7 su carcasa de goma de silicona inyectada directamente sobre las resistencias de óxido metálico (MO) veda todo tipo de peligro de formación de huecos en lo que pudiere penetrar la humedad, una de las causas de falla más frecuentes en pararrayos de media tensión. Además las varillas de plástico reforzado con fibra de vidrio que delimitan y sujetan las resistencias de óxido metálico logran una gran resistencia mecánica que impide presiones internas en caso de sobrecarga, y las consecuentes roturas y/o expulsión de partes.

Además, en comparación con otros polímeros, la goma de silicona HTV utilizada en la carcasa es difícilmente inflamable y se utiliza con éxito desde hace más de 20 años, inclusive en redes de muy alta tensión. Su montaje de máxima simpleza, su comportamiento seguro en caso de sobrecarga, su alta resistencia a la radiación UV, como a las corrientes de fuga, a la erosión y al fuego (auto extingible, de acuerdo a IEC 707 -3mm- F V0) y su flexibilidad hasta -45°C , son algunas de las ventajas.

El 3EK7 se destaca por ser muy liviano (50 % más que los pararrayos de porcelana equivalentes), robusto y duradero y por ofrecer una extraordinaria relación costo-beneficio. Su capacidad de soportar todo tipo de agentes ambientales y su comportamiento en caso de falla a tierra, como así también su resistencia a cortocircuitos, lo hacen sobresalir. En la versión estándar, lleva montadas sobre un perno tuercas M12, arandelas y, por el lado de alta tensión, una brida. Esto brinda una gran versatilidad a la hora de montar el pararrayos de diversas maneras sobre dispositivos ya existentes sin necesitar más material.

Como muestra de su calidad, vale la pena citar que el 3EK7 ha superado con holgura todos los ensayos habituales conformes a las actuales especificaciones según IEC 60099-1, 60099-4 y ANSI / IEEE C62.11.



5.4.1 FUNCIONAMIENTO:

La formación de un rayo va precedida de una elevación del campo eléctrico ambiental por encima de los 10 kV/m. Esta energía natural es acumulada directamente por el dispositivo de cebado del pararrayos electropulsante dat-controler que de esta forma queda en situación de precontrol.

A medida que se acerca la descarga, se produce un intenso y brusco incremento del campo eléctrico. Originándose una zona de riesgo de impacto. Si esta zona de riesgo tiene lugar en la zona de protección del pararrayos, la brusca variación del campo eléctrico acciona simultáneamente el sistema de control del dat-controler que, en sincronía con la aproximación del rayo, proporciona una vía de descarga a tierra controlada y segura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Campo eléctrico ambiental como única fuente de alimentación. Totalmente autónomo y libre de mantenimiento. Su funcionamiento puede ser comprobado en cualquier momento.

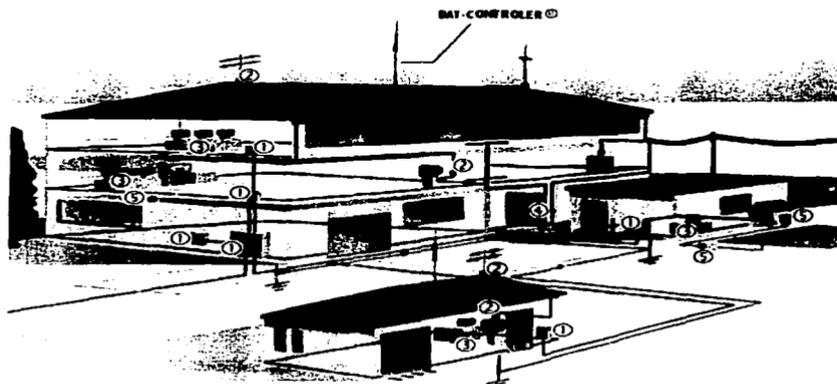
Pararrayos electropulsante DAT-CONTROLLER caracterizado por:

- a) Cumple Normas UNE 21 186* y NF C 17-102.
- b) Tiempos de avance en el cebado específicos de cada modelo.
- c) Radios de protección certificados para cada modelo y nivel.
- d) Funcionamiento efectivo en condiciones de lluvia. Aislamiento superior al 95%.
- e) Funcionamiento efectivo tras soportar corrientes de rayo repetitivas.

5.5.NIVELES DE PROTECCIÓN

Para el diseño de toda instalación de protección contra el rayo, en primer lugar se debe realizar un estudio previo que determinará el nivel de protección, el emplazamiento del pdc, el trazado de la bajante y la ubicación y tipo de la toma de tierra. Una de las partes fundamentales del estudio previo es el cálculo del riesgo de impacto directo. Cuanto más alto sea el riesgo, mayores serán las medidas de protección requeridas (para un riesgo muy alto NIVEL DE PROTECCIÓN I, para un riesgo medio NIVEL DE PROTECCION II y NIVEL DE PROTECCIÓN III, para un riesgo normal).

Para la máxima seguridad, la norma UNE 21 186. recomiendan el NIVEL DE PROTECCIÓN I.



Protección en líneas de suministro eléctrico.

5.5.1. TABLAS DE ALGUNOS APARATOS DE PROTECCIÓN

PROTECCIÓN PARA MAQUINAS



AT- 1503 RED 380- G

protección gruesa de líneas trifásicas.
 $I_p = 100kA$. Tensión residual $< 2kV$

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



AT-1401 RED SUB

protección para cuadros secundarios $I_p = 40kA$.
Tensión residual: 650V



AT-1501 red 220-G

protección gruesa de líneas monofásicas.
 $I_p = 100kA$. Tensión residual < 2kV



GUARDIAN

controlador de tensión umbral.
Tensiones máx./mín. y tiempo
de respuesta regulables.

AT-1001 Monofásico

AT-1003 Trifásico



AT-1103 red 380

protección de líneas trifásicas. $I_p = 20kA$.
Tensión residual: 390V



Protección en líneas telefónicas.

AT - 4102 FONO PLUS

protección de una línea telefónica. $I_p = 20kA$
Tensión residual: 100V



Protección en líneas de datos.

AT - 5115 DC15

tensión nominal: 15V. $I_p = 20kA$.
Tensión residual: 30V

5.6.CONCLUSIONES:

Este trabajo fue realizado en base a los sistemas de protección , en este caso los pararrayos, y hacemos mención desde los pioneros hasta los mas actuales, con el objetivo de poder conocer desde el funcionamiento hasta su operación , dando como resultado él porque se utilizan.

Uno de los objetivos primordiales es poder hacer el análisis de los distintos factores que pueden ocasionar sobrevoltaje , y es una de las causas mas reales. Cualquier lugar (industria, edificios etc.) no esta exento de que sufra un sobrevoltaje, y mas en lugares en donde se utilice gran cantidad de equipos, maquinaria (por mencionar algunos) se tiene que proteger contra estos sobrevoltaje.

Por dichas razones analizamos la generación de los sobrevoltaje, y contrarrestamos, dichos efectos en este caso con los pararrayos, tomando en cuenta los equipos que constituyen una industria, así como el material mas idóneo , como puede ser el aislamiento de el equipo a proteger .

Ejemplificamos la ubicación de los pararrayos con problemas prácticos , es una forma muy interesante de saber el área de protección así como la tolerancia que pude existir en el equipo de protección.

Algo muy importante que cabe recalcar, debido a que fue un "trabajo de seminario" no se profundizo en algunos temas por lo que hay información que se toco superficialmente , y es debido que el análisis de sobrevoltaje es muy extenso por lo que se tomo lo primordial.

BIBLIOGRAFÍA

Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión

2da edición

Enríquez Harper

Técnicas de alta tensión

2da edición

Enríquez Harper

Diseño de Subestaciones Eléctricas

2da edición

José Raúl Martín

Electrical power system

B.M. Weedy, V.J. Cory

Jonh Wiley and sons

4th edition

Electrical Power Technology

David W. Tyler

General NVQ.

<http://siemens.com.mx>