

Boletín 44

GUÍA PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO ANTE DESCARGAS ATMOSFERICAS DE LAS LÍNEAS AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN NORMA IEEE 1410

Boletín técnico N°44
PARTE 1
Ing. Gregor Rojas

GUÍA PARA MEJORAR COMPORTAMIENTO ANTE DESCARGAS ATMOSFERICAS DE LAS LÍNEAS AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN NORMA IEEE STD 1410

PARTE 1

Por:

Ing. Gregor Rojas
GERENTE NACIONAL
MERCADEO Y VENTAS
División materiales eléctricos

1. Generalidades.

Las líneas de transmisión y distribución eléctricas sirven para transportar y distribuir energía eléctrica, se dividen principalmente en dos grandes categorías, líneas de transmisión aéreas y líneas de transmisión subterráneas.

Las descargas atmosféricas son la mayor causa de fallas de las líneas aéreas típicas de distribución. La creciente preocupación por la calidad de la energía eléctrica ha creado aún más interés en las descargas atmosféricas y el mejoramiento de las protecciones contra las descargas atmosférica de las líneas aéreas de distribución está siendo considerado como una forma de reducir el número de interrupciones momentáneas y las disminuciones de voltaje.

Las descargas atmosféricas causan generalmente fallas temporales en las líneas aéreas de distribución. Si la falla es aclarada por un interruptor o por un conmutador, el circuito será cerrado exitosamente.

Este boletín técnico es la traducción de la norma IEEE 1410 que es una guía de diseño que contiene información sobre métodos para mejorar el rendimiento contra descargas atmosféricas de las líneas aéreas de distribución y está escrita para el diseñador de líneas de distribución. Esta guía reconoce que no existe un diseño de línea perfecto y que se hacen una serie de

compromisos en cualquier diseño de línea de distribución.

Si algunos parámetros como el voltaje, el tendido y la capacidad pueden estar predeterminados, otras decisiones se toman a discreción del diseñador o proyectista.

El diseñador puede ejercer control sobre el material y la geometría de la estructura, el blindaje si lo hay, la cantidad de aislamiento, la conexión a tierra y la ubicación de los descargadores o pararrayos.

Esta guía ayudará al diseñador de la línea de distribución a optimizar el diseño de la línea a la luz de las consideraciones de costo beneficio.

1.1 Alcance

Esta guía identificará los factores que contribuyen a las fallas causadas por descargas atmosférica en líneas aéreas de distribución y sugerirá mejoras a las construcciones existentes y a las nuevas.

Esta guía está limitada a la protección de líneas de distribución para sistemas de tensión hasta de 69 kV. Las consideraciones sobre protección de equipos están cubiertas en la IEEE Std C62.22

1.2 propósito

El propósito de esta guía consiste en presentar alternativas para reducir los flámeos causados por las descargas atmosféricas en las líneas aéreas de distribución.

2. Referencias

Esta guía será utilizada conjuntamente con la siguiente norma IEEE Std C62.22-1997, Guía para la aplicación de descargadores de óxido metálico para sistemas de corriente alterna.

Cuando esta norma sea reemplazada por una nueva revisión aprobada, deberá aplicar dicha revisión. Estas referencias se actualizarán automáticamente durante el proceso de edición.

3. Definiciones

- **Flameo inverso (Backflashover):** Flameo del aislamiento resultante de una descarga atmosférica a una parte de la red o de la instalación eléctrica que está normalmente a un potencial tierra.
- **Nivel básico de aislamiento al impulso, NBA (BIL) (Tensión nominal de prueba de impulso):** Capacidad de aislamiento al impulso de referencia expresada en términos del valor cresta del voltaje soportado de una onda estándar completa de tensión de impulso.
- **Voltaje de flameo de impulso crítico, VFIC (CFO) (aisladores):** Valor cresta de la onda de impulso que bajo condiciones especificadas causa flameo a través del medio que lo rodea en el 50% de las aplicaciones.
- **Descarga directa:** Descarga atmosférica directa a cualquier parte de la red o instalación eléctrica.
- **Línea de distribución:** Líneas eléctricas que distribuyen energía desde una subestación de suministro principal a los usuarios, generalmente a voltajes de 34.5 kV o menores. Esta guía aplica solo a voltajes de 69KV o menores.
- **Flameo (Flashover):** Descarga disruptiva a través del aire alrededor o sobre la superficie de un aislante sólido o líquido, entre partes de diferente potencial o polaridad, producido por la aplicación de un voltaje en el cual la trayectoria del arco llega a estar lo suficientemente ionizada para mantener un arco eléctrico.
- **Electrodo a tierra:** Conductor o un grupo de conductores en contacto íntimo con tierra con el fin de suministrar una conexión a tierra.
- **Densidad de descargas atmosférica a tierra, DRT (GFD) (Ng):** Es el número promedio de descargas atmosféricas por unidad de área entre la unidad de tiempo en una ubicación determinada.
- **Aislador tensor:** Elemento aislante, generalmente de forma alargada con orificios o ranuras transversales, con la finalidad de aislar dos secciones de una retenida o de proveer aislamiento entre la estructura y el anclaje, además de también de proveer protección en el caso de rotura de los cables.
- **Cable tensor o de retenida:** Cable trenzado que se utiliza como soporte de tensión semiflexible entre un poste o estructura y la varilla de anclaje, o entre estructuras.
- **Voltaje inducido (descargas atmosféricas):** Voltaje inducido en una red o instalación eléctrica por una descarga indirecta.
- **Primera descarga atmosférica de retorno:** Descarga atmosférica a tierra iniciada cuando la punta de un líder escalonado descendente colisiona con un líder ascendente desde tierra.
- **Relámpagos:** Descarga atmosférica completa que generalmente está compuesta por uno o más líderes de una nube seguidos por uno o más impactos de retorno.
- **Corte por descarga atmosférica:** Corte de energía después de un relámpago que resulta en una corriente de falla del sistema, lo que requiere la operación de un

dispositivo de conmutación para eliminar la falla.

- **Descarga atmosférica posterior:** Descarga atmosférica que puede seguir una trayectoria previamente establecida por una primera descarga
- **Desempeño de la línea ante descargas atmosféricas:** El funcionamiento de la línea expresado como el número anual de descargas disruptivas sobre la base de km de circuito o km de línea de torre.
- **Descargador de óxido metálico, POM (MOSA):** descargador o pararrayos que utiliza elementos tipo válvula fabricados de óxidos metálicos con resistencias no lineales.
- **Caída cercana:** Caída de una descarga atmosférica que no impacta directamente ninguna parte de una red pero induce una sobretensión significativa en ella.
- **Cable de guarda en parte superior, CGPS (OHGW):** Cable o cables puestos a tierra colocados por encima de los conductores de fases con el fin de interceptar descargas atmosféricas directas de forma de proteger las fases conductoras de descargas directas. Ellas pueden ser puestas a tierra directa o indirectamente a través espacios muy pequeños.
- **Ángulo de apantallamiento:** Es el ángulo entre la línea vertical a través del cable de guarda en la parte superior y las fases conductoras que pasan por debajo de ella.
- **Cable de protección:** Cables puestos a tierra colocados cerca de los conductores de fase con los siguientes propósitos:

- a) Proteger los conductores de fases contra descargas atmosféricas directas.
 - b) Reducir los voltajes inducidos de campos electromagnéticos externos.
 - c) Disminuir la impedancia de sobrevoltaje de un sistema de cable de guarda.
 - d) Aumentar la impedancia de sobrevoltaje mutua del sistema de cable de guarda a los conductores de fase protegidos.
- **Espacio de chispa (Spark gap):** Cualquier espacio de aire corto entre dos conductores aislados eléctricamente o conectados eléctricamente de manera remota entre sí.
 - **Descargador o supresor de sobrevoltaje:** Un elemento protector para limitar los picos de voltaje sobre el equipo, desviándolos a picos de corriente y retornando el equipo a su estado original. El elemento puede repetir estas funciones como se estipula.

4. Parámetros de las descargas atmosféricas

4.1 Incidencia de las descargas atmosféricas

Las descargas atmosféricas ocurren durante las tormentas de lluvias, las ventiscas de nieve y otros fenómenos naturales. No obstante, en la mayor parte de las áreas las tormentas de lluvias son la fuente principal de las descargas atmosféricas.

Las tempestades producen descargas atmosféricas dentro de la nube, nube a nube y nube a tierra. Las tormentas producen relámpagos intranube, nube a nube y nube a tierra. las descargas atmosféricas intranubes son los más frecuentes, pero las descargas nube a tierra afectan las líneas de distribución aéreas. Durante una tormenta, las interrupciones de energía son causadas por el viento y las descargas atmosféricas.

A veces se supone que las interrupciones causadas por el viento, los árboles y los equipos dañados son causadas por descargas atmosféricas lo que hará que la cantidad de interrupciones causadas por las mismas parezca artificialmente alta.

En la mayor parte de las regiones del mundo, se puede obtener una indicación de la actividad de las descargas atmosféricas a través de los datos ceráunicos o días de tormentas eléctricas por año.

En la figura 1 se muestra el mapa de nivel isoceráunico del mundo. El nivel ceráunico es una indicación de la actividad regional de las descargas atmosféricas basada en cantidades promedio derivadas de los niveles de observación históricamente disponibles.

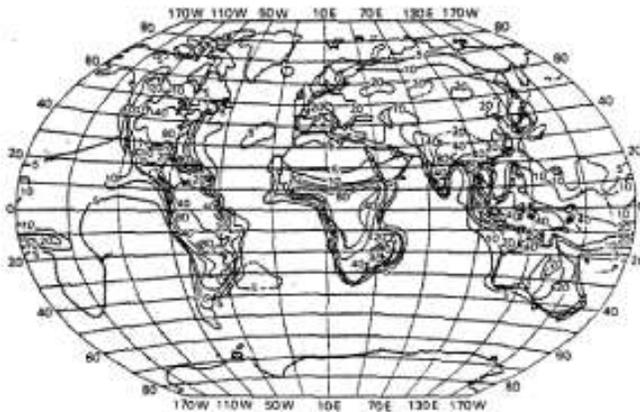


Figura 1. Mapa de nivel isoceráunico del mundo

Datos ceráunicos más detallados o mapas de regiones específicas del mundo se encuentran disponibles. Una descripción más detallada de la actividad de las descargas atmosféricas se puede obtener a través de los mapas de densidad de descargas a tierra, DRT (GFD map), los cuales son creados de información obtenida vía sistemas de detección de descarga atmosférica.

Una muestra del mapa DRT (GFD map) de los Estados Unidos de América se muestra en la figura 2.

Ing. Gregor Rojas

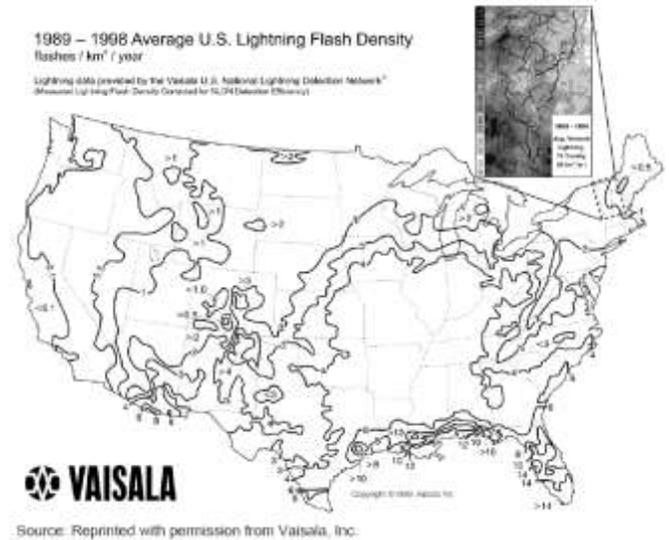


Figura 2. Mapa de nivel isoceráunico USA

Sistemas de localización de descargas y sistemas de contadores de relámpagos han sido desplegados en Norte América y otras partes del mundo. Con suficiente experiencia, estos sistemas pueden proveer mapas detallados de densidad de descargas a tierra.

Los mapas DRT proveerán mucho más detalle y seguridad que los que se han tenido disponibles con datos de truenos. Sistemas de localización suministran también cantidades estimadas que son más útiles y detalladas que los datos ceráunicos. Adicionalmente, además de proporcionar la frecuencia de las descargas atmosféricas, el sistema suministra también la fecha, tiempo, localización, número de descargas, corriente estimada del pico y polaridad.

En algunas regiones del mundo, estos sistemas están próximos a completar datos suficientes (siete años como mínimo) para fines de diseño.

Los mapas de densidad de descargas a tierra, mapas DRT (GFD maps) se están utilizando actualmente en el diseño de líneas de distribución, para estimar los flámeos causados por las descargas atmosféricas y para muchos otros tipos de análisis de descargas atmosférica.

La confiabilidad de una línea de distribución depende de su exposición a las descargas atmosféricas. Para determinar la exposición, el diseñador de la línea de distribución necesita conocer el número anual de descargas por unidad de área por unidad de tiempo. Esta densidad de descargas a tierra puede determinarse de varias maneras.

La densidad de descargas a tierra, DRT puede estimarse del nivel cerámico usando la ecuación (1):

$$N_g = 0.04 T_d^{1.25} \text{ (descargas /km}^2\text{/año) (1)}$$

Donde

T_d = Número de días de tormentas por año (nivel cerámico)

Otra forma de estimar la densidad de descargas es a través de los registros de horas de tormentas, como sigue:

$$N_g = 0.054 T_h^{1.1} \text{ (descargas /km}^2\text{/año) (2)}$$

El promedio estimado de la densidad de descargas puede obtenerse directamente de los datos de detección de descarga atmosférica de la red o de contadores de descargas. Si se dispone de datos por suficientes años, se tiene la ventaja de poder identificar variaciones regionales.

Las descargas atmosféricas y las tasas de interrupciones causadas por ellas presentan una variación considerable año tras año. La desviación estándar histórica por año de mediciones de actividad de descargas varía de 20% a 50% del promedio.

El promedio estimado de la DRT para regiones pequeñas tales como 10x10 km presentan una desviación estándar alta de 30% a 50% del promedio.

Regiones más grandes tales como 500x500 km presentan una desviación estándar más baja de 20% a 25% del promedio. En áreas de bajos niveles de actividad de descargas la desviación estándar relativa es alta.

Con estas desviaciones estándar tan altas, se requiere de muchos años de toma de datos para lograr un promedio estimado lo suficientemente seguro.

Esto es especialmente cierto cuando usamos datos de descargas a tierra para una región localizada o se estiman las tasas de interrupciones causadas por descargas atmosférica en una línea de distribución utilizando los datos de salidas totales.

4.2 Características eléctricas de la descarga atmosférica.

4.2.1 Distribuciones del pico de Corriente

Del resumen muy completo presentado por el Grupo de Trabajo 33.01 de CIGRE, se asume una distribución logarítmica normal de los parámetros de las descargas atmosféricas.

La ecuación para la función de densidad de probabilidad logarítmica normal para cualquier parámetro particular x viene dada por la Ecuación (3):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \beta \cdot x}} \cdot \exp\left(-\frac{z}{2}\right) \quad (3)$$

Donde

$$z = \frac{\ln(x/M)}{\beta}$$

M es el valor de la mediana del parámetro y β es la desviación estándar logarítmica (base e). Los valores de M y β para cada parámetro se informan en la Tabla 1 (Grupo de trabajo CIGRE 33.01)

TABLA 1 Parámetros de corriente de descarga atmosférica CIGRE (Grupo de trabajo CIGRE 33.01) Parámetros de distribución logarítmica normal para descargas descendentes negativas				
Parámetro	Primer impacto		Subsecuentes impactos	
	Media	β , logarítmico estándar desviación	Media	β , logarítmico estándar desviación
FRONT, μ s	-	-	-	-
$td_{10/90} = T_{10/90}/0.8$	5,63	0,576	0,75	0,921
$td_{30/90} = T_{30/90}/0.6$	3,83	0,553	0,67	1,013
$tm = IF/Sm$	1,28	0,611	0,308	0,708
STEEPNESS S kA/ μ s	-	-	-	-
Sm, Maximo	24,3	0,599	39,9	0,852
S10, at 10%	26	0,921	18,9	1,404
S10/90, 10-90%	5.0	0.645	15.4	0.944
S30/90, 30-90%	7.2	0.622	20.1	0.967
CREST CURRENT, kA	-	-	-	-
II, initial	27,7	0,461	11,8	0,530
IF, final	31,1	0,484	12,3	0,530
Initial/final	0,9	0,230	0,9	0,207
TAIL, tn, μ s	77,5	0,577	30,2	0,933
CHARGE, QI, C	4,65	0,882	0,938	0,882
$\int I^2 dt, (kA)^2s$	0,057	1,373	0,005	1,366
Inter stroke interval, ms	-	-	35	1,066

A fin de manejar la distribución probabilística de los valores pico de corriente en una forma simple, se adopta la siguiente expresión:

$$P(I_o \geq i_o) = \frac{1}{1 + (i_o/31)^{2.6}} \quad (4)$$

La ecuación (4) muestra la probabilidad de que la corriente pico del rayo lo sea igual o mayor que un valor dado i_o (kA) y se aplica a valores de lo inferiores a 200 kA. Esto está actualmente bajo revisión y las mediciones recientes de la red de detección de descargas atmosféricas en América del Norte indican la posibilidad de valores de corriente media más bajos.

La siguiente es una descripción de los parámetros de forma de onda (ver Figura 3):

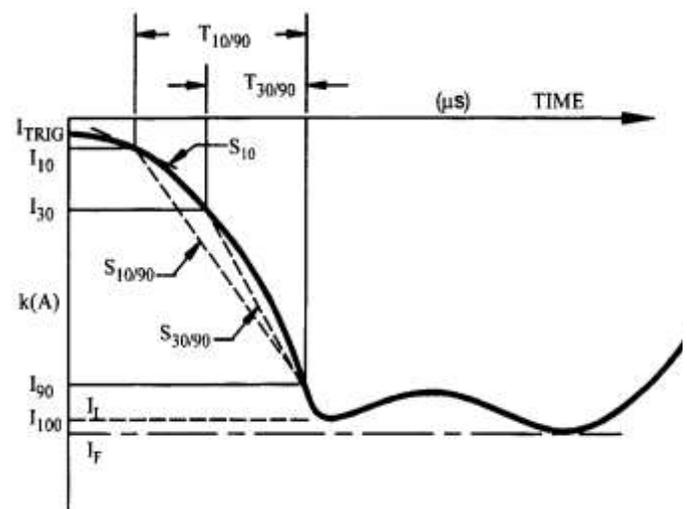


Figura 3. Descripción de los parámetros de forma de onda de una descarga atmosférica

I_{10} = 10 % de intercepción a lo largo de la forma de onda de la corriente de carrera

I_{30} = 30 % de intercepción a lo largo de la forma de onda de la corriente de carrera

I_{90} = 90 % de intercepción a lo largo de la forma de onda de la corriente de carrera

$T_{10/90}$ = tiempo entre las intercepciones I_{10} e I_{90} en el frente de onda

$T_{30/90}$ = tiempo entre las intercepciones I_{30} e I_{90} en el frente de onda

$td_{10/90}$ = Duración del frente de onda lineal equivalente derivada de $T_{10/90}$

$td_{30/90}$ = Duración del frente de onda lineal equivalente derivada de $T_{30/90}$

$S_m = \tan G$, tasa máxima de aumento de la corriente a lo largo del frente de onda

S_{10} = tasa instantánea de aumento de corriente en I_{10}

$S_{10/90}$ = inclinación promedio (a través de las intersecciones I_{10} e I_{90})

$S_{30/90}$ = pendiente promedio (a través de las intersecciones I_{30} e I_{90})

Q_1 = carga de impulso en forma de onda de corriente de impacto

5. Comportamiento de las líneas aéreas de distribución ante las descargas atmosférica

Esta sección describe como estimar el número de descargas disruptivas directas e inducidas para líneas de distribución.

Las descargas atmosférica pueden ser las responsables de muchas de las interrupciones de energía en las líneas de distribución.

Dichas descargas pueden causar flámeos por:

- a) Descargas directas
- b) Voltajes inducidos por descargas cercanas

Las descargas directas sobre las líneas de distribución generan flameo del aislamiento en la mayoría de los casos.

Por ejemplo, una descarga atmosférica tan pequeña como de 10 kA podría producir un sobrevoltaje de cerca de 2000 kV, la cual está excesivamente distante de los niveles de sobrevoltaje de líneas que operan hasta 69 kV. No obstante, la experiencia y las observaciones muestran que muchas de las salidas relacionadas con las descargas atmosférica de las líneas de bajo aislamiento son ocasionadas por descargas atmosféricas que impactan con tierra en las proximidades de la línea.

Las descargas atmosféricas pueden ser recolectadas por objetos muy altos, de tal modo

que la altura y la distancia de la línea de distribución a puntos de resguardo tales como árboles y edificios tendrá influencia en el comportamiento de la línea ante las descargas atmosférica.

5.1 Descargas atmosférica en líneas aéreas

5.1.1 Altura de la estructura

Las descargas atmosféricas pueden tener un efecto muy significativo en la confiabilidad de una línea, especialmente si sus postes son más altos que el medio que la rodea.

Muchas descargas atmosféricas son recolectados por las estructuras más altas. La tasa de recolección de descarga atmosférica N , en campo abierto (sin árboles o edificios en la cercanía), es estimada de acuerdo a la ecuación de Eriksson.

$$N = N_g (28h^{0.6} + b) / 10 \quad (5)$$

Donde:

h = Altura del poste (m)

b = Ancho de la estructura (m)

N_g = Densidad de descargas (descarga atmosférica/km²/año)

N = Descarga atmosférica/100km/año

Para la mayoría de las líneas de distribución el factor b , ancho de la estructura, es despreciable, es decir $b=0$

De la ecuación (5), si la altura del poste se aumenta un 20%, la rata de descarga atmosférica a la línea de distribución se incrementará en un 12%. Nótese que una línea de distribución puede recolectar muchas más descargas atmosféricas de los que se hubieran podido predecir en el modelo $4xH$, el cual fue utilizado durante varios años.

En el modelo $4xH$, el número de descarga atmosférica recolectado por la línea de distribución fue estimado por un ancho de dos veces la altura

de la línea , en ambos lados de la línea. La exposición de la línea de distribución a las descargas atmosférica depende de qué tanto sobresalen las estructuras sobre el terreno circundante.

Estructuras localizadas en lo alto de las montañas, cordilleras o cerros serán más vulnerables a las descargas atmosférica que aquellas protegidas por medios naturales.

5.1.2 Protección por árboles y estructuras cercanas

Los árboles y los edificios pueden desempeñar un papel muy importante en el comportamiento de las líneas de distribución ante las descargas atmosféricas.

Los árboles y los edificios pueden interceptar muchas descargas atmosférica que de otra manera pudieran caer sobre la línea. El factor de protección Sf, se define como la porción por unidad de una línea de distribución protegida por objetos cercanos. El número de descargas a la línea es entonces representada en la Ecuación (6):

$$N_s = N (1 - S_f) \quad (6)$$

Un factor de protección de 0.0 significa que la línea de distribución está en campo abierto y que no dispone de objetos para protecciones en las cercanías, y un factor de 1.0 significa que la línea de distribución está completamente protegida contra descargas directas atmosférica.

La figura 4 muestra los medios para aproximarse a los factores de protección con objetos de varias alturas, para una línea de distribución de 10 metros de altura.

Se asume que los objetos están en una línea uniforme y paralela a la línea de distribución. Se podría representar como una hilera de árboles o edificios paralela a la línea de

distribución.

La figura 4 puede utilizarse también para objetos que están ubicados en ambos lados de la línea de distribución si se suman los factores de protección para los lados derecho e izquierdo (si la suma de los factores de protección es mayor de uno, entonces el factor total de protección es igual a uno).

Como un ejemplo, consideremos una línea aérea de distribución de 10 metros de altura con las siguientes filas de edificios en cada lado:

- Una fila de edificios de 7.5 m de altura a 30 m del lado izquierdo de la línea de distribución ($S_{fi}=0.23$)
- Una fila de 15 m de altura a 40 m del lado derecha de la línea de distribución ($S_{fd} = 0.4$)

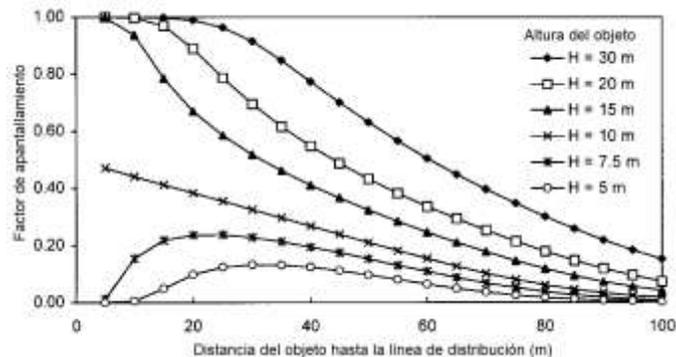


Figura 4. Factores de blindaje debido a objetos cercanos de diferentes alturas para una línea de distribución de 10 m de altura

Si la densidad de descargas a tierra DRT, es de 1 descarga/km²/año, el número de descarga atmosférica directos sobre la línea aérea de distribución en campo abierto sería de 11.15 descargas/100 km/año, [de la ecuación (5)]. Con las filas de edificios y arboles el numero de impactos directos podría reducirse como lo indica la ecuación 7.

$$N_s = N [1 - (Sf_{izq} + Sf_{der})] \quad (7)$$

$$= (11,15 \text{ flashes}/100\text{km/año})[1 - (0.23 + 0.4)]$$

$$= 4,12 \text{ flashes}/100\text{km/año}$$

A menos que el aislamiento de la línea de distribución esté protegido con cable de guarda o con descargadores, todas las descargas atmosféricas directas causarían flameo independientemente del nivel de aislamiento, el espaciamiento entre conductores o las puestas a tierra.

Por lo tanto, para estimar el número de flámeos debidos a descargas atmosféricas directas, utilizamos la ecuación (5) para una línea de distribución en campo abierto, o las ecuaciones (5) y (6) para una línea parcialmente protegida. Se asume que todos los flámeos causarían fallas en los circuitos de distribución.

5.2 Flámeos por voltajes Inducidos

De acuerdo a Rusck, el máximo voltaje que puede ser inducido en una línea de energía en el punto más cercano al rayo puede estimarse por:

Según Rusck, suponiendo una velocidad de descarga de retorno de $1,2 \times 10^8$ m/s y una forma de onda escalonada para la corriente de la descarga atmosférica, se puede estimar el máximo voltaje que se induce en una línea eléctrica en el punto más cercano a la descarga por la ecuación

$$V_{\max} = 38,8 (I_0 H_a / y) \text{ KV} \quad (8)$$

Donde:

I_0 : es la corriente pico de la descarga.

h_a : es la altura promedio de la línea sobre el nivel de tierra.

y : es la distancia más corta entre la línea y la descarga atmosférica.

La ecuación (8) es utilizada para un conductor monopolar infinitamente largo sobre una tierra perfectamente conductora. Tal ecuación ha sido deducida por Rusck del modelo más general que propuso.

Un cable neutro conectado a tierra o un cable blindado aéreo reducirá el voltaje a través del aislamiento por un factor que depende de la conexión a tierra y la proximidad del conductor conectado a tierra a los conductores de fase.

Este factor suele estar entre 0,6 y 0,9.

La frecuencia de descarga disruptiva o flameo de voltaje inducido puede aumentar drásticamente para bajos niveles de aislamiento.

La Figura 5 presenta la frecuencia de descarga disruptiva o flameo en función del voltaje crítico de descarga disruptiva (CFO) de la línea.

La figura 5 muestra los resultados de dos configuraciones de puesta a tierra. El circuito sin conexión a tierra no dispone de cable de neutro a tierra ni del cable protegido, tal como ocurre con el circuito de tres líneas sin puesta a tierra o el de cuatro líneas con una puesta a tierra.

Los resultados para un circuito con puestas a tierra son los de un circuito con un cable neutro a tierra o un cable protegido en la parte alta.

El circuito con puestas a tierra presenta muy pocos flámeos para un VFIC dado debido a que el cable de puesta a tierra reduce el esfuerzo del voltaje través del aislamiento.

Sin embargo, las estructuras de circuitos sin conexión a tierra pueden presentar mayores tendencias a presentar voltajes de flameo fase a tierra más altos que una disposición de circuito

equivalente con múltiples puestas a tierra, debido a la falta del cable de neutro a tierra.

Los valores están normalizados para una densidad de descarga, DRT (GFD) de una descarga /km²/año y una altura de la línea de distribución de 10 m. Los resultados se pueden escalar linealmente con respecto a la longitud y GFD.

Los resultados mostrados en la figura 5 son para una línea de distribución en campo abierto sin edificios y sin árboles en la cercanía.

El número de flámeos inducidos depende de la presencia de objetos cercanos que puedan proteger la línea de descargas directas.

Esto puede incrementar los flámeos por voltajes inducidos debido a que ocurren muchas descargas en las áreas cercanas

Como un punto de referencia, una línea de distribución en campo abierto con una altura de 10 metros y con una densidad de descargas a tierra, DRT de 1 descarga/km²/año tendrá aproximadamente 11 descargas /100 km/año debidas a descargas directas, utilizando la ecuación (4).

En campo abierto, los voltajes inducidos serán un problema solamente para líneas con muy bajos niveles de aislamiento.

Por ejemplo, el número de flameos por voltaje inducido excederá el número de flameos por descargas directas para un circuito sin puestas a tierra solamente si el voltaje de flameo de impulso crítico VFIC (CFO) es inferior a 75 kV (de la figura 5).

En áreas protegidas, los flameos generados por voltajes inducidos son los de mayor preocupación. Típicamente, una suposición que se utiliza para líneas de distribución es que si el voltaje de flameo

de impulso crítico es mayor o igual a 300 kV los flámeos por voltaje inducido serán eliminados.

Casi todas las mediciones de voltajes inducidos han sido inferiores a 300 kV, y la figura 5 indica que una línea con voltaje de flameo de impulso crítico mayor de 300 kV tendrá muy pocos flámeos generados por voltajes inducidos.

Otro factor a considerar es que la mayoría de las líneas de distribución tienen transformadores de distribución protegidos con descargadores de sobrevoltaje, los cuales proveen algún grado de reducción de los flámeos por voltajes inducidos.

No obstante, esta reducción puede llegar a ser pequeña en centros rurales y suburbanos.

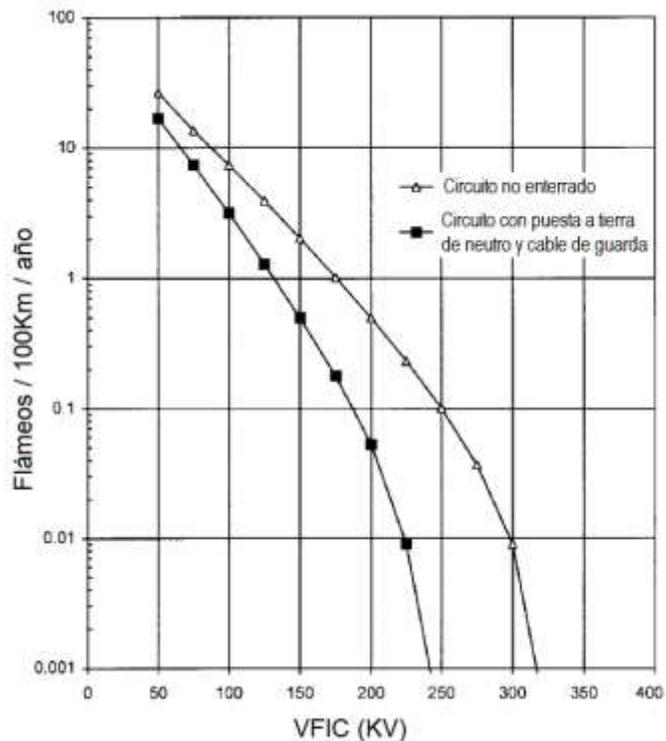


Figura 5. Número de flameos de voltajes inducidos versus nivel de aislamiento de la línea de distribución, voltaje de flameo de impulso crítico, VFIC en kV

Como se comento al inicio esta es la primera parte de la traducción de la norma IEEE 1410 con comentarios. en el próximo boletín técnico la parte final de esta excelente guía para mejorar comportamiento ante descargas atmosféricas de las líneas aéreas de distribución.