

# Análisis De Fallas Por Descargas Atmosféricas En Redes De Distribución 13.2 kv

Marina M. Aquino <sup>a,b</sup>, Alfredo A. Marquez <sup>a,b</sup>, Roberto J. Cabral <sup>a,b,c\*</sup>, Juan P. Silva <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Energía Eléctrica (LIDEE)

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería (FI)- Universidad Nacional de Misiones (UNaM)- Misiones, Argentina.

<sup>c</sup> CONICET, Argentina

e-mails: [robert\\_rjc@hotmail.com](mailto:robert_rjc@hotmail.com), [marinamagdalena597@gmail.com](mailto:marinamagdalena597@gmail.com), [freddy.andres.mar@gmail.com](mailto:freddy.andres.mar@gmail.com),  
[juampi.silva.12@gmail.com](mailto:juampi.silva.12@gmail.com).

---

## Resumen

Este trabajo tiene contribuciones importantes para el estudio y perfeccionamiento de sistemas de protección contra descargas atmosféricas (SPDA) bajo el enfoque de la selección y localización del tipo de estructura y puesta a tierra de los sistemas de distribución de energía eléctrica (SDEE). Se propone el estudio de una estructura comúnmente utilizada por las concesionarias de distribución de energía, en redes de distribución de 13, 2 Kv sin protección en la provincia de Misiones.

Para verificar la veracidad de los resultados obtenidos se contrastan con los cálculos realizados en IEEE std 1410-2010

**Palabras Clave** – Descargas atmosféricas; fallas; modelo matemático; puesta a tierra; redes de distribución; sobretensiones.

## 1 Introducción

En la provincia de Misiones, las redes de distribución de energías ante fenómenos de descargas atmosféricas se ven afectadas, es por eso que se pretende analizar el desempeño de las mismas ante estos eventos para proponer posibles mejoras para así optimizar las líneas de transmisión.

La metodología adoptada permite obtener una visión más detallada del comportamiento de las redes ante las descargas atmosféricas, lo que resulta fundamental para tomar medidas preventivas y correctivas adecuadas.

## 2 Estudio del arte

### 2.1 Descripción de fenómeno

La descarga atmosférica ocurre cuando se produce una rotura del dieléctrico del aire, que se encuentra separando dos cuerpos cargados con polaridades opuestas, ocasionando entonces el surgimiento de una corriente eléctrica impulsiva.

## 2.2 Corriente de retorno

Uno de los parámetros que caracteriza una descarga atmosférica es la corriente de retorno [1], Esta se puede obtener mediante el campo eléctrico radiado producto de la descarga.

$$I_p = \frac{-2\pi\epsilon_0 c^2 D}{v} E_p \quad (1)$$

Donde:  $E_p = cB_p$ ;  $B_p$  es el valor máximo de la inducción magnética;  $c$  es la velocidad de la luz;  $D$  es la distancia de la descarga a la antena;  $v$  es la velocidad de la corriente de retorno

La forma de onda esperada de la corriente de una descarga atmosférica se presenta en la Fig. 1 donde se puede observar el valor  $T_{10/90}$  el cual representa el tiempo del flanco de subida de la descarga entre  $I_{10}$  e  $I_{90}$ , el cual se suele estimar en  $2\mu s$ .

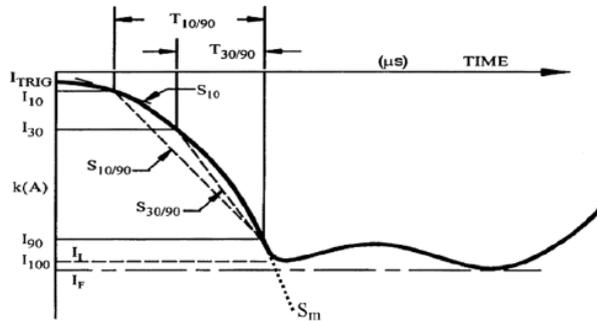


Fig. 1 : Forma de onda típica de la corriente de descarga de retorno [2]

## 2.3 Densidad de descarga GFD

La densidad de descargas atmosféricas (GFD por sus siglas en inglés - Ground Flash Density -) describe el número de descargas por km<sup>2</sup> en una región. Sin embargo, estas representan a la totalidad de las descargas que ocurren en una tormenta, es decir, la sumatoria de las descargas intra-nube, entre-nubes y nube-suelo

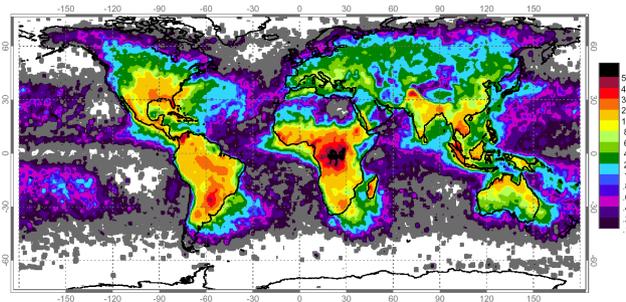


Fig. 2 : Numero de descargas anuales mundiales por km<sup>2</sup> por año. [3]

Para estimar el número de descargas de nube a tierra  $N_g$  se utiliza la ecuación (2) que se adecúa según la región [2]

$$N_g = 0.030 * T_d^{1.12} \quad (2)$$

Donde  $T_d$  es el nivel ceraunico de la región o días de tormenta [hs/año] y  $N_g$  es la densidad de descarga de la nube a tierra [rayos por  $km^2$  por año] [3]

También es posible determinar el GFD por medio de la densidad de ópticos según:

$$N_g = N_t / 3 \quad (3)$$

Donde  $N_t$  es la densidad total de ópticos [ por  $km^2$  por año].

La GFD puede verse afectada por la altura de los terrenos, más descargas son recolectados por estructuras mal altas. Es por esto que la densidad de descargas en campo abierto (sin considerar árboles o edificios cercanos) se estima.

$$N = N_g \left( \frac{28h^{0.6} + b}{10} \right) \quad (4)$$

Donde,  $N$  es la densidad de descargas a campo abierto,  $N_g$  es la densidad de descargas dada por (3),  $h$  es la altura del conductor superior en metros,  $b$  es el ancho de la estructura.

#### 2.4 Factor de blindaje

Los objetos cercanos a las líneas y estructuras de distribución de energía eléctrica, como edificios y los árboles pueden interceptar las descargas atmosféricas, que de otro modo influirían directamente en las líneas. La influencia de estos objetos contribuye a un factor de blindaje.

$$N_s = N(1 - S_f) \quad (5)$$

Donde  $N_s$  es el número de descargas recogidos por la línea protegida,  $N$  la densidad de descargas a campo abierto (4),  $S_f$  se define como la porción por unidad de línea protegida por objetos cercanos.

La Fig. 3 proporciona un medio para aproximar el factor de blindaje de objetos que se encuentran a diferentes alturas

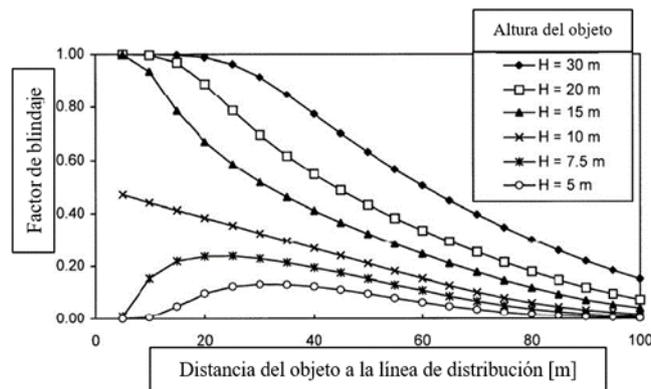


Fig. 3 : Factor de blindaje debido a objetos cercanos de diferentes alturas [2]

Como es posible obtener objetos a ambos lados de la línea la ecuación (5) resulta:

$$N_s = N(1 - (S_{f\text{izquierda}} + S_{f\text{Derecha}})) \quad (6)$$

Donde  $N_s$  es el número de descargas recogidos por la línea protegida,  $N$  la densidad de descargas a campo abierto (4),  $S_{f\text{izquierda}}$  y  $S_{f\text{Derecha}}$  Factores de blindaje a cada lado de la línea.

#### 2.5 Tasa de fala por descargas inducidas

El número de fallas por sobretensiones inducidas por descargas indirectas, cada 100km de línea al año puede estimarse la Fig. 4

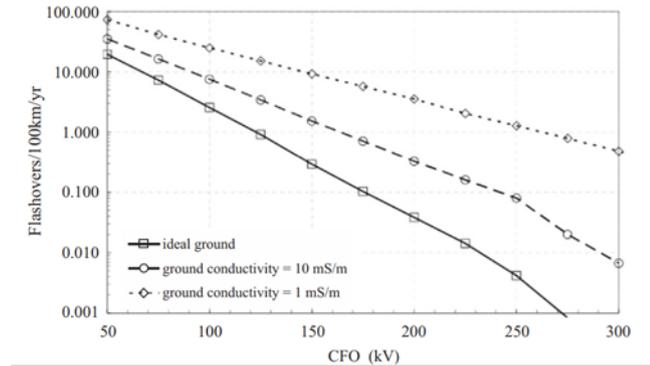


Fig. 4 : Número de descargas disruptivas de voltaje inducido versus nivel de aislamiento de la línea de distribución [2]

Las fallas inducidas resultan de:

$$Fallas_{induc} = N_g * \left( \frac{Flashover}{\frac{100 \text{ km}}{\text{año}}} \right) \quad (7)$$

### 2.6 Tasa de fallas totales

Suponiendo que todas las descargas directas provocarán una descarga disruptiva, el número estimado de descargas disruptivas directas se calcula por

$$Fallas_{totales} = Fallas_{dir} + Fallas_{induc} \quad (8)$$

### 2.7 CFO Critical flashover

Se define el CFO como el nivel de voltaje en el que estadísticamente hay un 50% de probabilidad de flashover y un 50% de probabilidad de soportar. Para determinar el CFO de estructura se considera el método de la adición de los componentes individuales:

$$CFO_T = CFO_{ins} + CFO_{add.sec} + \dots + CFO_{add.n} \quad (9)$$

Donde:  $CFO_T$  es el voltaje de flashover crítico de las múltiples formas de aislamientos en serie;  $CFO_{ins}$  es el voltaje de flashover crítico del aislamiento primario;  $CFO_{add.sec}$  es el CFO adicional agregado por el segundo componente;  $CFO_{add.n}$  es el CFO adicional agregado por el componente

### 2.8 Número de descargas disruptivas, porcentaje de descargas directas y resistencia de puesta a tierra

El número de descargas disruptivas se puede determinar usando el porcentaje de descargas directas que causan descargas disruptivas a partir de la figura

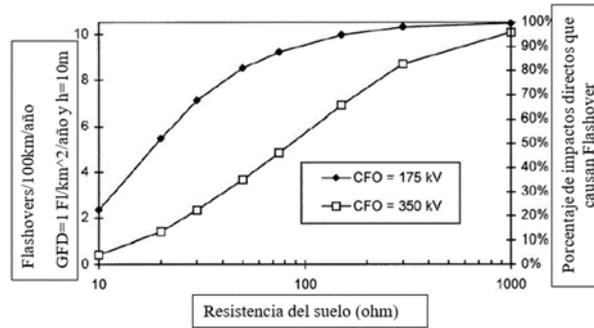


Fig. 5: Número de descargas disruptivas en función del porcentaje de descargas directas y resistencia de puesta a tierra – Adaptada de [2]

### 3 Metodología

#### 3.1 Circuitos de posibles sobretensiones por descargas atmosféricas

El análisis del desempeño de los sistemas de distribuciones ante situaciones de sobretensión de origen atmosférico requiere del análisis de los distintos circuitos posibles de falla en presencia de estos fenómenos. En este trabajo los circuitos de análisis se observan en la Fig. 6.

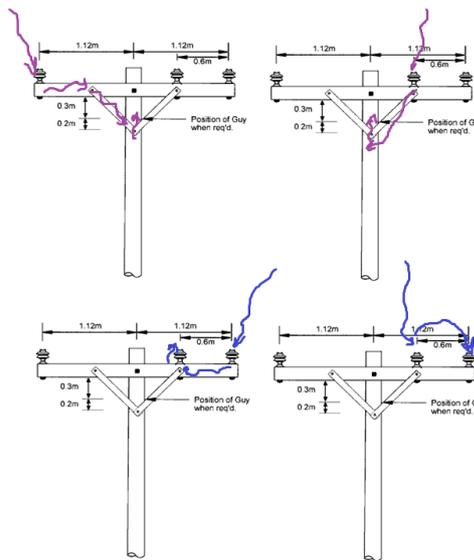


Fig. 6: circuitos de posibles fallas adaptado de (Std, 1410). [3]

Para determinar el desempeño de las redes de distribución se calculan los valores de CFO de los distintos circuitos de posibles fallas (Fig. 6). Se determinó el menor valor de CFO y se realizaron los cálculos del desempeño de alimentadores de distribución siguiendo los procedimientos de IEEE Std 1410 [2] adaptado para líneas de 13.2 kV.

### 4 Cálculos realizados

#### 5.1 Cálculo del Nivel de desempeño de un poste de línea de distribución de 13.2 kV, sin hilo de guardia

Una empresa de servicios públicos está realizando la revisión del diseño de una línea de distribución de tres conductores coplanar horizontal, de 13.2 kV (Fig. 6). El objetivo es estimar el nivel de desempeño contra rayos del diseño actual e investigar las mejoras.

a. Consideraciones:

- Se supone que las diagonales que fijan las crucetas con el poste son metálicas (conductoras)
- El tamaño de poste de madera estándar es de 12,2 m con una profundidad de plantación de 2 m.
- Crucetas de madera.
- Los aisladores son de clase ANSI 55-4, tipo pasador de porcelana (Fig. 7). [4]
- La densidad de flash ópticos es de 20 por km<sup>2</sup> por año.
- El ancho máximo de la estructura es de 2.24 m



Fig. 5 : Aislador ANSI 55-4 [4]

b. Niveles de aislación CFO

Los valores de aislación CFO para los posibles circuitos de la descarga disruptiva, para el poste de la Fig. 7 se obtienen de la tabla 2 [2] . A continuación, se adjunta la tabla 1 con los valores de CFO para cada caso de estudio.

TABLA I: CÁLCULOS DEL CFO PARA LOS POSIBLES CIRCUITOS DE LA DESCARGA DISRUPTIVA, PARA ESTRUCTURAS SIN BLINDAJE (Fig. 6).

Caso	Circuito de la descarga	CFO <sub>Total</sub> [kV]
1	Aislador izquierdo + 0,6m de Cruceta de madera + Metal + Poste restante	
	$105\text{kV} + 0,6\text{m} \times 250\text{kV/m} + 0 + 0,2\text{m} \times 65\text{kV/m}$	268
2	Aislador del centro + Metal + Poste restante	
	$105\text{kV} + 0 + 0,2\text{m} \times 235\text{kV/m}$	152
3	Aislador de la derecha + 0,6 m de Cruceta de madera + Aislador del centro	
	$105\text{kV} + 0,6\text{m} \times 250\text{kV/m} + 0,2\text{m} \times 105\text{kV}$	276
4	Conductor del centro + 0,6 m de Aire + Conductor derecho	
	$0 + 0,6\text{m} \times 600\text{kV/m} + 0$	360

### c. Cálculo de descargas directas

Las descargas directas pueden estimarse a partir de la densidad de flashes ópticos según (3) para la prov. de Misiones.

$$N_g = 203 = 6.6 \text{ Desc. km}^2/\text{año} \quad (10)$$

Para un conductor suspendido en campo abierto la densidad de descargas se calcula según (4), resultando:

Debido a la presencia de objetos cercanos como árboles y edificios es conveniente determinar un factor de blindaje  $S_f$  el cual puede ser obtenido de la Fig. 3. Para el ejemplo se tiene árboles de 10m de altura a una distancia de 10m de la línea resultando en un  $S_{f1} = 0.18$  y a la derecha se obtiene objetos a 20m que en su mayoría responden a una altura de 15m,  $S_{f2} = 0.64$ . El número de descargas recogidos por la línea protegida se calcula por (5), resultando en (12):

$$N_s = 76.691 - 0.82 = 13.8 \text{ Desc. } 100\text{km/año} \quad (12)$$

### d. Descargas inducidas

El número de descargas inducidas en campo abierto se puede estimar a partir de la Fig. 4. Usando el CFO más bajo (152 kV), y la curva para conductividad moderada de  $\sigma = 10 \text{ mS/m}$ , y escalado por la GFD calculada. Las descargas inducidas en terreno abierto se calculan a partir de (7) resultando en (13).

$$N_{\text{ind Terreno abierto}} = 13.2 \text{ Desc. } 100\text{km/año} \quad (13)$$

El número de descargas disruptivas de voltaje inducido debe estar entre el número de descargas disruptivas inducidas en campo abierto [2] (13.2 Desc./100 km/año), y el número de descargas disruptivas directas en campo abierto (76.69 Desc./100 km/año).

Como estimación, se supone que las descargas disruptivas de voltaje inducido son dos veces las descargas disruptivas inducidas en campo abierto, resultando 26.4 Desc/100 km/año

### e. Descargas totales para la configuración sin hilo de guarda

Se supone que todas las descargas causan fallas, entonces el total de fallas se calcula mediante (8), resultando en  $N_{\text{totales}} = 40.2 \text{ Desc./100 km/año}$ .

## 5 Análisis de resultados

Se obtuvo para el análisis de una estructura sin hilo de guardia el número de falla es de 40.2 Desc./100 km/año, para poder evaluar el desempeño de estas líneas de debería analizar la situaciones de las mismas con hilo de guardia.

## Referencias

- [1] V. L. Coelho, «Análise do desempenho de redes aéreas de distribuição de média tensão frente à ação das descargas atmosféricas,» Florianópolis, 2010.
- [2] I. P. & E. Society, «IEEE 1410 Guide for Improving the Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines,» New York,, 2010.

- [3] N. E. Observatory, «Where Lightning Strikes,» 2002. [En línea]. Available: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/2002/where-lightning-strikes>.
- [4] C. i. S.A, "Aislador campana tipo ANSI 55-4," [Online]. Available: <https://www.cimatelsrl.com/producto/3015/aislador-campana-tipo-ansi-55-4>