

Técnicas Convencionales y No Convencionales, aplicables en la mejoría de desempeño de Líneas de Transmisión del Sistema Interconectado Nacional Paraguayo ante Descargas Atmosféricas, utilizando el método de Monte Carlo.

Luis Antonio Sosa Almirón

ANDE

Paraguay

RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo presentar la implantación de un método de análisis de ingeniería que contribuya al proceso de mejoría de desempeño ante descargas atmosféricas de líneas de transmisión de alta tensión del Sistema Interconectado Nacional Paraguayo, mediante la aplicación de técnicas convencionales y no convencionales.

Con relación a las técnicas convencionales, se evalúan las tasas de falla ante la variación de la resistencia de puesta a tierra para una determinada soportabilidad de las cadenas de aisladores, así como para las cadenas de aisladores con diferentes soportabilidades, considerando un mismo valor de resistencia de puesta a tierra. También se evalúa el efecto del cable de guardia en el desempeño de la línea de transmisión.

Con la utilización de técnicas no convencionales como la instalación de descargadores ZnO, se pretende agregar un paso más a la evolución de las prácticas de la mejoría de desempeño aplicables a Líneas de Transmisión del SIN, ante descargas atmosféricas.

Dada la naturaleza fuertemente aleatoria del fenómeno en estudio, se utiliza el Método de Monte Carlo, en el cual los valores de distintas variables son obtenidas a partir de las funciones de densidad de probabilidad sugeridas por la literatura.

El Modelo Electrogeométrico es utilizado para determinar si el impacto del rayo se produce en el cable de guardia, en algunas de las fases o en el suelo.

El *MATLAB* es utilizado para la implantación del Método de Monte Carlo y del Modelo Electrogeométrico. El modelado de los fenómenos transitorios y el análisis de alternativas, son simulados en el *ATP*.

Con la metodología implantada, es posible evaluar el impacto de las distintas técnicas, convencionales y no convencionales utilizadas en la mejoría del desempeño de la línea en estudio ante descargas atmosféricas, obtener las diferentes tasas de fallas, así como otros resultados de interés.

PALABRAS CLAVES

Desempeño ante Rayos - Método de Monte Carlo – Modelo Electrogeométrico - Técnicas Convencionales y no Convencionales -Descargadores ZnO – Líneas de Transmisión.

1. INTRODUCCIÓN

Las líneas de transmisión (LT's) tienen como función el transporte de energía eléctrica y diversas son las causas que pueden ocasionar las fallas en las mismas. Las descargas atmosféricas siguen constituyendo una de las principales causas de cortos circuitos con la consecuente desconexión de las mismas. Considerando que las descargas atmosféricas así como las diferentes variables presentes en el fenómeno estudiado tienen marcado comportamiento aleatorio, para el análisis de desempeño ante rayos se recomienda la utilización de un método estadístico, que en el caso es el método de Monte Carlo. El Modelo Electrogeométrico es utilizado como modelo para determinar la ubicación del impacto de rayo en la línea.

Numerosas prácticas son realizadas para lograr la mejoría de desempeño de líneas de transmisión y que éstas pueden ser divididas en métodos estándares y métodos especiales, a las que denominaremos en adelante, Técnicas Convencionales y No Convencionales respectivamente [1].

2. DIRECTRICES PARA REPRESENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE MODELOS.

Para la representación de componentes de la línea así como los descargadores de ZnO escogieron modelos sugeridos por la literatura considerando que las sobretensiones resultantes son de frente rápido tal como fuera presentado en [2]. Así también, en [2] se realizaron comparaciones para la validación de los modelos utilizados.

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

Para la evaluación de sobretensiones y el análisis de desempeño se sugiere seguir el siguiente proceso:

El modelado de los parámetros del rayo y de los diferentes componentes de la línea son realizados siguiendo las directrices de representación expuestas en [2] y los objetivos específicos establecidos para el estudio en particular.

Se consideran cuatro vanos de línea a ambos lados de la torre en donde se evaluarán las sobretensiones, siendo que para los vanos más alejados a ambos extremos de la torre, se consideran a los mismos con una longitud de 3 km. Para la aplicación de descargadores instalados en las cadenas se consideran al menos 7 vanos a cada lado de la torre y en los extremos vanos suficientemente extensos para evitar reflexiones.

Los rayos impactan un área de 1 km², en donde se ubica la línea de transmisión.

Con el Método de Monte Carlo se determinan cada una de las variables aleatorias de entradas en cada simulación a partir de las funciones de densidad de probabilidad de cada una de las variables consideradas, utilizando las prestaciones del *MATLAB*. Se determina en número máximo de realizaciones a utilizarse en el Método de Monte Carlo.

Se consideran como variables aleatorias a: la ubicación del canal vertical de descarga en el área de 1 km², los valores de cresta T_1 y a valor medio T_2 de la corriente de rayo I y el valor del ángulo de fase para la tensión a frecuencia de operación.

Con el Modelo Electrogeométrico se determinan las distintas superficies de atracción producidas por cada rayo. A partir de estas, junto con la ubicación del canal de cada rayo: se verifica si el impacto del rayo se produce en: la torre, el cable de guardia, en una de las fases o en el suelo. Se estudian caídas de rayos

directas (en las fases) e indirectas (en la cabeza de la torre o el cable de guardia). Para determinar si el impacto se produjo en la torre o en el medio vano se asume que el 60 % de los rayos impactan en las torres que se encuentran ubicadas en el área de 1 km². No se considera la posibilidad de contorneos excepto en las cadenas de aisladores [3], [4], [5] y [6].

Se utiliza el Programa *ATP* (Alternative Transients Program) para realizar las simulaciones y evaluar las sobretensiones resultantes de cada caso.

Los archivos de salida (.pl4), generados en el *ATP*, correspondientes a cada caso son evaluados con el auxilio de rutinas en *MATLAB*. Con esto se obtienen las Tasas de Fallas del tramo de línea utilizando la siguiente fórmula [5]:

$$T_C = \frac{N_{tc}}{N_C} * N_g * W * L \quad (1)$$

4. RESULTADO DE SIMULACIONES.

Como presentado en [2], la convergencia del Método de Monte Carlo es verificada comparando la función densidad de probabilidad de una o más variables con sus funciones teóricas. El procedimiento es detenido cuando se consigue un error considerado adecuado. Para los estudios realizados se escogió la cantidad de 30.000 realizaciones en el Método de Monte Carlo, de los cuales 29.691 casos resultaron con rayos menores o iguales a 200 kA de acuerdo a lo sugerido en [4] y tiempos de duración a: valor de cresta T_1 y valor medio T_2 de acuerdo a [2]. Rayos mayores a 200 kA, corresponden a menos de 1 % de los casos generados en las 30.000 realizaciones del Método de Monte Carlo. Los resultados presentados a continuación están relacionados a estos 29.691 casos para simulaciones en el *ATP*. En la Tabla I son presentadas las cantidades y la ubicación de impactos de rayos en la línea de transmisión.

Tabla I: Cantidad y Ubicación de Impactos de rayos.

Ubicación del Impacto de Rayo	Cantidad de impactos
Cable de Guardia	5158
Fase A	44
Fase B	11
Fase C	0
Total	5213

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el análisis de la aplicación de técnicas convencionales y no convencionales aplicables en la mejoría de desempeño, así como otros resultados que son posibles obtener mediante la aplicación de una metodología basada en un método de coordinación de aislamiento estadístico y que no queda restringida solamente la obtención de las diferentes tasas de falla.

4.1 Análisis de la Aplicación de Técnicas Convencionales.

En este apartado se evalúan la tasas de falla ante la variación de la impedancia de puesta a tierra para una determinada soportabilidad de las cadenas de aisladores ($BIL=1050$ kV), así como para las cadenas de aisladores con diferentes soportabilidades ($BIL=1050$ kV y $BIL=1050$ kV), considerando un mismo valor de impedancia en este caso representada por una resistencia de puesta a tierra $R_o=20 \Omega$. También se evalúa el efecto del cable de guardia en el desempeño de la línea de transmisión. En todos los casos se asumió $\rho=$

2000 Ω .m y una densidad de rayos $N_g = 1$ rayo/km²/año. Más consideraciones sobre la densidad de rayos son realizadas en el apartado 4.3.

4.1.1 Influencias de la Variación de la Impedancia de Puesta a Tierra de la Soportabilidad de la Cadena de Aisladores.

Para evaluar la influencia de la impedancia de puesta a tierra, se varía los valores de resistencia de puesta a tierra en 5, 10, 20 y 70 Ω con BIL de 1050 kV para las cadenas de aisladores. Para evaluar la influencia de la soportabilidad de la cadena de aisladores se consideran a las mismas con $BIL=1050$ kV y $BIL=1280$ kV respectivamente. Para cada situación, se realizan las simulaciones y se verifican la cantidad de contorneos ocurridos. A partir de los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones y considerando los 29.691 casos, se obtienen los valores de las tasas de fallas totales, por contorneo inverso (BFR) y por fallas de blindaje ($SFFOR$) cuyos valores se presentan en la Tabla II. Las mismas, fueron obtenidas de acuerdo a la fórmula (1), con un ancho del área de impacto de rayos $W= 1$ km, largo de la línea de transmisión $L= 1$ km y $N_g = 1$ rayo/km²/año.

Tabla II: Valores de tasas de fallas para diferentes valores de R_o y BIL para cadena de aisladores.

Tasas de Falla	Influencia de R_o				Influencia del BIL	
	$R_o=5 \Omega$	$R_o=10 \Omega$	$R_o=20 \Omega$	$R_o=70 \Omega$	$BIL 1050 kV$ y $R_o=20 \Omega$	$BIL 1280 kV$ y $R_o=20 \Omega$
Fallas Totales/ km/año	0,0449	0,0565	0,0811	0,1095	0,0811	0,0610
Fallas/ km/año (BFR)	0,0430	0,0547	0,0793	0,1076	0,0793	0,0592
Fallas/ km/año ($SFFOR$)	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018

4.1.2 Influencia del Cable de Guardia.

Tal como presentado en la Tabla I, la mayoría de rayos son atraídos al cable de guardia. Fallas de blindaje se producen apenas en aproximadamente 1% de los casos. La intensidad máxima de corriente de rayo que impactan al cable de guardia quedó en 199,794 kA, mientras que la mínima fue de 3,19 kV. Debido al cable de guardia las corrientes máximas que pueden ocasionar falla de blindaje en las fases A y B quedaron limitadas a aproximadamente 22,76 y 13,11 kA respectivamente. A pesar del pequeño porcentaje de casos y de las pequeñas intensidades de corriente que impactan a las fases A y B, contorneos ocurren en el 100 y 90,9 % de los casos respectivamente. En el cable de Guardia estos porcentajes son marcadamente inferiores y tienen dependencia de R_o , tal como puede ser visto en la Tabla III. Es considera a la cadena de aisladores con para $BIL= 1050$ kV. Además de esto para que se produzcan contorneos son necesarias corrientes de mayor intensidad a las que ocasionan contorneos por fallas de blindaje como se puede ver en la Figura 1, en la que es posible notar que la máxima corriente capaz de producir falla de blindaje, que en este caso ocurrió en la fase A y que ocasiona contorneo en la misma (*Caso I* de la figura), no produce contorneo en el caso de que impacte al cable de guardia (*Caso II* de la figura).

Tabla III: Contorneos de acuerdo a ubicación del impacto de rayo.

Ubicación del Impacto de Rayo	N° de Contorneos - $R_o=70 \Omega$	Contorneos - $R_o=70 \Omega$ (%)	N° de Contorneos - $R_o=10 \Omega$	Contorneos - $R_o=10 \Omega$ (%)
Cable de Guardia	3196	62	1624	31,2
Fase A	44	100	44	100
Fase B	10	90,9	10	90,9
Fase C	0	0	0	0
Total	3250	62,3	1678	32,2

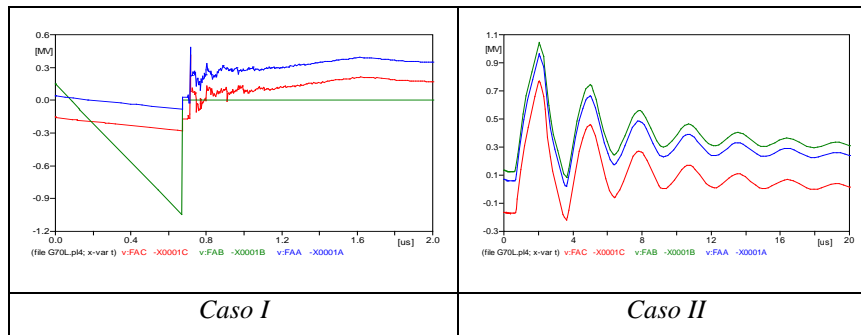


Figura 1: Sobretensiones resultantes, suponiendo que la máxima corriente que produce falla de blindaje en la fase A impacte a dicha fase y al cable de guardia.

4.2 Análisis de la Aplicación de Técnicas No Convencionales (Descargadores ZnO).

En la aplicación plicación de técnicas no convencionales, se considera la utilización de descargadores de ZnO en paralelo a las tres fases de la torre en la que se evalúan las sobretensiones originadas por rayos que impactan en la torre y en el medio vano adyacente a la misma. En el análisis se tiene en cuenta la Tabla IV, que contiene los valores para las entradas de las simulaciones en el ATP, tales como: ángulos de las tensiones de la fase A (θ) a 50 Hz y las intensidades de corrientes de rayos con sus respectivos tiempos de duración a valor de cresta T_1 y a valor medio T_2 , generados aplicando el Método de Monte Carlo [2].

Tabla IV: Corrientes de rayos y ángulos de tensiones a 50 Hz para la Fase A (θ).

Impacto	Casos	Parámetros del Rayo y $P(\%)$				θ (rad)
		$I(A)$	P (%)	$T_1(\mu s)$	$T_2(\mu s)$	
Cable de Guardia	1	3.190	99,73	1,09	86,58	6,26
	2	15.001	86,84	1,46	58,21	6,04
	3	40.052	33,94	1,01	47,44	5,93
	4	138.507	2,00	1,05	42,31	1,36
	5	199.794	0,80	4,74	80,85	1,77
Fase A	6	4.968	99,15	0,10	49,26	5,87
	7	7.002	97,95	1,17	33,78	4,71
	8	22.757	69,08	1,62	71,83	4,40
Fase B	9	4.882	99,19	1,63	95,43	5,06
	10	6.946	97,99	4,50	52,70	3,12
	11	13.109	90,36	1,57	23,73	4,56

Tal como presentado en [2], en determinados casos pueden ocurrir contorneos afectando una, dos y tres fases y se dan casos inclusive con valores tan bajos de resistencia de puesta a tierra como $R_o=5 \Omega$. Con la instalación de descargadores ZnO en las tres fases no se producen contorneos en ninguno de los casos tal como menciona la literatura. Las sobretensiones en todos los casos quedaron limitadas a valores inferiores a 500 kV. También las señalizaciones de las protecciones de la LT 220 kV SLO-CAP-ELA-COV, en tiempo adverso, indican ocurrencia de estos tipos de falla afectado a una, dos y tres fases [2].

4.2.1 Energía Absorbida por los pararrayos

En la Tabla V, se presentan las solicitaciones máximas de energía obtenidas en los descargadores instalados en las tres fases de la torre en donde se estudian las sobretensiones. Se tienen en cuenta las máximas corrientes que producen fallas de blindaje y una corriente con intensidad de 200 kA y $T_1 = 2 \mu s$, considerado como criterio conservador.

TABLA V: Solicitaciones de energía en los Descargadores de acuerdo a la ubicación del impacto de rayo.

Solicitud Máxima de Energía en los Descargadores ZnO					
Impacto en Cable de Guardia		Impacto en Fase A		Impacto en Fase B	
I (kA)	200	I (kA)	22,76	I (kA)	13,11
T_1 (μs)	2	T_1 (μs)	1,62	T_1 (μs)	1,57
T_2 (μs)	300	T_2 (μs)	71,83	T_2 (μs)	23,73
θ (rad)	0	θ (rad)	4,40	θ (rad)	4,56
$Fase A$ (kJ)	370	$Fase A$ (kJ)	836	$Fase A$ (kJ)	0
$Fase B$ (kJ)	751	$Fase B$ (kJ)	0	$Fase B$ (kJ)	112
$Fase C$ (kJ)	681	$Fase C$ (kJ)	0	$Fase C$ (kJ)	0

El cable de guardia contribuye en disminuir los requerimientos de energía de los descargadores a ser instalados en la línea (ya que limita a los rayos que pueden incidir directamente en las fases). Las solicitaciones de energía son compatibles con las características de descargadores ZnO con tensión nominal de 192 kV clase 3, disponibles comercialmente.

4.3 Otros resultados y constataciones

Con la implantación de la metodología de entre otros es posible identificar los contorneos que ocurren en cada una de las fases, ya que se evalúan las sobretensiones resultantes en las simulaciones una a una. En la Tabla VI, se presentan los porcentajes de contorneos que afectan a una, dos y tres fases, así como el porcentaje de contorneos según la combinación de fases afectadas. Los resultados presentados resultan de las simulaciones realizadas sobre el tramo de línea con $R_o=70 \Omega$ y $BIL=1050 \text{ kV}$ para las cadenas de aisladores

Tabla VI – Porcentajes de Contorneos ocurridos en las fases A, B, C y combinación de estas.

Contorneos según cantidad de fases afectadas (%)	1 Fase		2 Fases		3 Fases	
	34,16		35,26		30,58	
Contorneos según la combinación de fases afectadas (%)	A	B	C	AB	BC	ABC
		11,84	10,08	12,24	15,92	19,32

En la Tabla VII, se presentan los valores de Tasas de Fallas Totales ($\lambda = \text{fallas}/100 \text{ km/año}$), de la LT 220 kV SLO-CAP-ELA-COV (en tiempo adverso), con longitud aproximada de 116 km en el periodo 2007-2012, el valor máximo típico de tasa aceptable internacionalmente para líneas de transmisión de 230 kV (2 fallas/100 km/año) y que a efectos de comparación se asume como ideal [7], tasas para líneas ficticias con longitud de 100 km obtenidas a partir de los modelos implantados en los apartados anteriores en que se consideraban con longitud de 1 km y $N_g=1 \text{ rayos/km}^2/\text{año}$. En este apartado para el cálculo de dichas tasas se utilizan diversas expresiones para la obtención de N_g a partir del nivel cerámico tales como en Colombia, para Costa (N_{g_cCol}) y Montaña (N_{g_mCol}), la ecuación de Diniz (N_{g_D}), y la ecuación de Erikson-Anderson (N_{g_A-E}) para zonas templadas [8], con $R_o=10$ y 20Ω . Se puede notar que dependiendo de la expresión adoptada para el cálculo de N_g , es posible obtener valores de tasas de fallas que satisfagan el requisito ideal de tasa de falla a nivel internacional, dependiendo del valor de R_o , mismo considerando las condiciones particulares de naturaleza conservadora adoptadas para las mismas, tales como por ejemplo elevados valores de resistividad de suelo ($\rho=2000 \Omega.m$) para toda la línea y el criterio de contorneo para las cadenas de aisladores BIL de 1050 kV. Es ideal utilizar valores de densidad de rayos obtenidos a partir de datos de sistemas de localización de rayos tales como los LLS o el LIS de por lo menos durante 5 años [8].

Tabla VII: Tasas de Fallas Totales (λ) para los caso real, ideal y de líneas ficticias considerando diversas expresiones para N_g .

λ (Idea)	λ (Real)	Líneas ficticias	λ (a partir de N_{g_mCol})	λ (a partir de N_{g_cCol})	λ (a partir de N_{g_D})	λ (a partir de N_{g_A-E})
2	5,15	Para $R_o=10 \Omega$	1,42	4,29	13,55	30
		Para $R_o=20 \Omega$	2,04	6,16	19,45	43,06

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la aplicación del Método de Monte Carlo y la del Modelo Electrogeométrico en el *MATLAB*, se han logrado reproducir con éxito las variables aleatorias consideradas en el estudio.

Con la implantación de la metodología fueron posibles identificar los rangos de intensidades de corrientes de rayo que impactan en la cabeza de la torre y/o el cable de guardia, en la fase A y en la Fase B. No se produjeron fallas de blindaje en la Fase C. Así también se pudieron cuantificar las cantidades de impactos

XI SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO – CIGRÉ Paraguay
24, 25 y 26 de Setiembre de 2014

que alcanzaron a cada una de las partes de la línea citadas precedentemente. La probabilidad de impacto de rayos a la línea resultó en 17,5 %.

La tasa de falla por contorneo inverso (*BFR*) depende del valor de la impedancia de puesta a tierra de las torres. Consecuentemente la Tasa de Falla Total de la línea. Contorneos pueden producirse inclusive para valores bajos de resistencia de puesta a tierra dependiendo de los parámetros del rayo que impacta a la línea. La cantidad de contorneos por impactos directos no ha sido afectada por la variación de la impedancia de puesta a tierra.

La cantidad de contorneos por impactos directos e indirectos han sido afectados por la variación del *BIL* de la cadena de aisladores (para un mismo valor de impedancia de puesta a tierra). Aumentar el *BIL* de la cadena de aisladores, mejora el desempeño de la línea ante rayos, lo que implica en un incremento de la longitud de la cadena. Este aspecto debe ser evaluado convenientemente en el sentido técnico económico en cada caso. Realizar un adecuado mantenimiento de la integridad de las cadenas de aisladores de líneas tiene influencia el desempeño de la misma.

Sin el cable de guardia, la cantidad de rayos, así como la intensidad de las corrientes que inciden directamente a los conductores de fase aumentarían drásticamente, con el consecuente empeoramiento del desempeño de la línea. La metodología permite la evaluación de la configuración de la cabeza de la torre a ser utilizada y si la misma se adecua a los requerimientos de desempeño deseados.

La instalación de descargadores de ZnO en las tres fases de la torre estudiada, en todos los casos ha evitado el contorneo en las fases, inclusive para valores elevados de resistencia de puesta a tierra, en concordancia con la literatura relacionada. En todos los casos, las sobretensiones quedaron limitadas por debajo de 500 kV. Instalar de descargadores de ZnO puede ser un complemento aplicable en zonas críticas, en donde con técnicas convencionales, no se ha logrado un desempeño considerado adecuado, debido a factores medio ambientales tales como: elevados valores de resistividad de suelo, características geográficas de emplazamiento de la línea, densidad de descarga elevada, o combinación de estos.

Con la metodología implantada, es posible evaluar el impacto de las distintas técnicas, convencionales y no convencionales utilizadas en la mejoría del desempeño de la línea, así como otros resultados de interés y permite la inclusión de los distintos modelos que se quieran considerar según el caso en estudio.

El desempeño de líneas ante rayos es muy influenciado por aspectos medio ambientales de la zona del emplazamiento de la línea. Los mismos deben ser levantados cuidadosamente en cada caso para obtener resultados más realistas. Calcular las tasas de fallas utilizando cualquier expresión para la densidad de rayos puede conducir a resultados sumamente conservadores, orientando a medidas de protección excesivas y onerosas. Se recomienda estimular convenios de cooperación entre las diferentes entidades principalmente del sector público y ámbito académico de manera a acompañar el desarrollo del actual *LLS* de la Dirección de Meteorología e Hidrología dependiente de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil, que se ha iniciado con la instalación del primer sensor en Asunción en el año 2011 y que actualmente se encuentra en trámite de expansión, de manera a contribuir a que el sistema tenga una adecuada eficiencia, atendiendo a que los eventos de rayos tienen influencia en diversos ámbitos de interés de la sociedad y los niveles de precisión deseados en la localización y caracterización de los mismos puedan resultar distintos para cada aplicación deseada.

La metodología utilizada es aplicable a líneas de transmisión de los demás niveles de tensión del SIN, inclusive 500 kV, en donde se evalúan caídas directas e indirectas de los rayos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] IEEE, “*IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines*”. IEEE Std. 1243-1997, páginas 1-24.
- [2] Sosa Almirón, L. A., “*Técnica no convencional utilizando descargadores de ZnO, aplicables en la mejoría de desempeño de líneas de transmisión del SIN, ante sobretensiones de frente rápido*”, XV ERIAC - CIGRÉ., Foz do Iguacu–Brasil, Año 2013, páginas 1-8.
- [3] Zanetta, L. C., “*Transitorios Eletromagnéticos en Sistemas de Potencia*”, Editora da Universidade de São Paulo, 2003, páginas 442-462 y 629-670.
- [4] CIGRE Working Group 01 (Lightning) of Study Comitee 33 (Overvoltages and Insulation Coordination), “*Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines*”, CIGRE Brochure 63, 1991, páginas 13-20, 25-29.
- [5] Velazco, J.A.M., et al. “*Análisis de sobretensiones de origen atmosférico en líneas aéreas de transporte. Parte II: Cálculo Estadístico de Sobretensiones*”, Revista Latinoamericana del ATP, Octubre 2002, páginas 1-36.
- [6] Velazco, J.A.M., et al. “*Lightning Performance Analisis of an Overhead Transmission Line Protected by Surge Arrester*”, IEEE LATIN AMERICAN TRANSACTION, VOL. 7, NO. 1, MARCH 2009, páginas 63-65.
- [7] Correia, et al, “*Uma revisão do desempenho de linhas de transmissão em extra alta tensão ca quanto a descargas atmosféricas*”, XV ERIAC -CIGRÉ., Foz do Iguacu–Brasil, Año 2013, páginas 1-12.
- [8] Younes, C., et al. “*Caracterización de los parámetros del rayo en Colombia – Primera Edición*”, Universidad Nacional de Colombia, 2010, páginas 85-105.