

Revista Electrónica Nova Scientia

Simulación del blindaje a una línea de
distribución contra descargas atmosféricas
Simulation of the shield to a overhead
distribution line due to direct lightning strokes

B. Guevara Cortés¹, J. López Bonilla¹ y S. Vidal Beltrán¹

¹ESIME-Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional

México

José Luis López Bonilla. E-mail: jlopezb@ipn.mx

Resumen

En el presente trabajo se realiza un estudio por medio de simulaciones acerca de las sobretensiones generadas por descargas atmosféricas inducidas sobre las líneas de distribución de 23 kV, para justificar la implementación del uso de cable de guarda como protección a las líneas de distribución, como lo sugiere la norma "Distribución, Construcción e Instalaciones Aéreas en Media y Baja Tensión de la CFE" y respaldarse con la norma americana IEEE STD 1410 "Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines", e implementar una nueva configuración empleando los postes originales con nuevas distancias dieléctricas.

Palabras clave: blindaje, apartarrayos, descargas atmosféricas. ATP-Draw

Recepción: 07-01-2013

Aceptación: 09-09-2013

Abstract

This paper is a study through simulations about overvoltages generated by lightning induced on the distribution lines of 23 kV, to justify the implementation of an overhead ground wire use as protection for overhead distribution lines, as suggests the standard "Distribución, Construcción e Instalaciones Aéreas en Media y Baja Tensión de la CFE" and supported the IEEE STD 1410 "Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines", and implement a new configuration using the same concrete pole with new dielectric distances.

Keywords: Overhead ground wire, surge arresters, lightning, ATP-Draw

Introducción

Las descargas atmosféricas son una fuente importante de fallas (transitorias o permanentes) en los sistemas eléctricos de potencia, dándose mayor importancia en las líneas de transmisión debido a que por su longitud, atraviesan por diferentes tipos de clima y altitudes sobre el nivel del mar. Por lo anterior, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) reporta un alto porcentaje de fallas en las líneas de transmisión, por lo que la paraestatal junto con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IEE), han enfocado en perfeccionar las técnicas de blindaje en dichas líneas y en las subestaciones eléctricas [1]. En México se ha investigado muy poco sobre el estudio de la mitigación de los efectos transitorios al implementar el blindaje en las líneas de distribución (tensiones menores a 23 kV). Países como Japón, Brasil y Colombia entre otros [2-6] han abordado este tema donde se comprueban las ventajas de implementar el blindaje en las líneas de distribución para casos particulares.

En la zona central de nuestro país la red de distribución en 23 kV tiene una longitud de aproximadamente 30 694 km [7], de las cuales no cuenta con blindaje contra descarga atmosféricas.

En zonas urbanas, la red de distribución es mallada y se tienen estructuras y edificaciones más altas con pararrayos, por lo que es mínimo el efecto de la incidencia de las descargas atmosféricas sobre dichas líneas. El efecto de una red mallada tiene la ventaja de dividir las ondas electromagnéticas producidas por la descarga del rayo en cada punto de interconexión, por lo que aumenta el amortiguamiento y disminuyendo sus efectos. En esos casos no es recomendable blindar las líneas. Sin embargo, en zonas rurales se tienen líneas de distribución de gran longitud en forma radial (pocos puntos de interconexión) que pueden pasar en zonas arboladas, de alto nivel isoceraúnico, alta contaminación (zonas agrícolas o cercanas a brizas marinas) y en terrenos pedregosos, por lo que las líneas están más expuestas a los fenómenos asociados la incidencia de las descargas atmosféricas, afectando a la continuidad en el servicio.

El efecto que provoca la caída de las descargas atmosféricas en las líneas energizadas es el flameo o descarga disruptiva del aislamiento en aire entre conductores de fase y entre fase a la cruceta, provocando un cortocircuito y la salida de operación de la línea.

Las normas de Distribución, Construcción e Instalaciones Aéreas en Media y Baja Tensión de la CFE, menciona el empleo de hilos de guarda en zonas rurales y con alta contaminación [8], sin embargo, no especifica técnica alguna para implementarlo. La norma IEEE STD 1410 “Guía para la implementación del blindaje contra descargas atmosféricas en líneas de distribución” [9] es la que detalla la implementación del blindaje en líneas de distribución y en la que se basa este trabajo.

De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo se realiza un estudio transitorio a partir de simulaciones empleando el paquete computacional ATP-Draw versión 5.6 licencia libre [10], con la finalidad de respaldar el uso del cable de guarda como especifica la normas de CFE [2] y apoyados por la norma IEEE STD 1410 [3].

Para este estudio se tienen tres casos:

- I. Caso base sin hilo de guarda en donde las distancias dieléctricas entre fases y fase a tierra son las consideradas por la norma [8]. La descarga atmosférica incide directamente en una de las fases
- II. Blindaje de la línea de distribución. Se considera el blindaje pero ajustando las distancias dieléctricas realizando estudios de coordinación de aislamiento con los procedimientos que marca las normas [11,12]. Se toma la misma altura del poste y tipo de aisladores. En este caso la descarga atmosférica incide en el hilo de guarda.
- III. Falla del blindaje. Aquí se tiene la línea de distribución con su blindaje pero la descarga atmosférica incide en uno de los conductores de fase.

Para cada caso se simularon las sobretensiones inducidas en los conductores de fase y las corrientes de descarga de los apartarrayos.

Características de la línea de distribución para el caso base.

Para este estudio se tomó una línea de distribución de 23 kV, la cual tiene las siguientes características:

La línea se ubica en una zona rural, alimentado la carga en forma radial, cuya longitud es de aproximadamente 7 500 m. Cuenta con un derecho de vía de 12 m, el sistema es trifásico y las características eléctricas del conductor son: cable de aluminio con alma de acero (ACSR) calibre 336.4 KCM desnudo, su resistencia es de $0.1719 \Omega/\text{km}$ y la reactancia inductiva es de $0.2871 \Omega/\text{km}$. A lo largo del trayecto se tienen 105 postes de concreto cuya altura es de 12 m. Se tiene una distancia interpostal de 150 m.

La separación entre fases es de 0.6 m y 0.45 m como se muestran en la Fig. 1 [8].

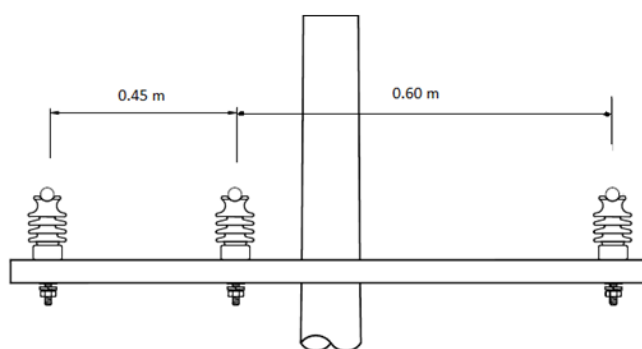


Figura 1. Dimensiones dieléctricas de la cruceta de un poste de distribución en 23 kV.

A lo largo de la línea se conectan apartarrays de óxidos metálicos en tramos de 900 m.

Modelado del caso i base en el ATP-Draw

Para el estudio se tomó un tramo de 900 m, considerando los extremos a los cuales se conectan los apartarrays a la línea de distribución. En los extremos de la línea se conecta una impedancia igual a la impedancia característica de la línea de distribución para evitar los efectos de reflexión de la onda electromagnética originada por la incidencia de la descarga atmosférica [2, 3]. En el modelado de la línea, se emplea el modelo de J. Marti parámetros distribuidos considerando una frecuencia de rayo de 500 kHz. [3,13]. Para la simulación de la descarga atmosférica, se emplea la forma normalizada de doble exponencial de $1.2/50 \mu\text{s}$, considerando dos magnitudes de corrientes de rayo: 10 kA y 27 kA, las cuales son valores promedio como lo sugiere [13]. La forma de onda de la corriente de rayo se muestra en la Fig. 2.

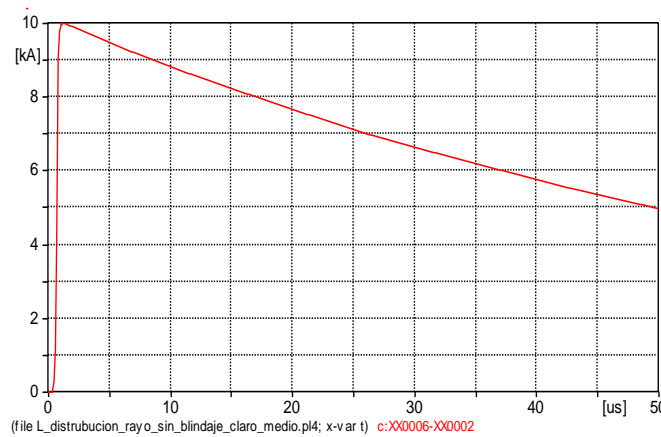


Figura 2. Forma de onda 1.2/50 ms de la corriente de rayo con valor de cresta de 10 kA

Los apartarrayos son del tipo óxidos metálicos con una tensión máxima de operación continua de 15.3 kV [14]. Se conectan estos elementos en los extremos del tramo a analizar en conexión estrella y conectada en su punto común la impedancia característica del poste de concreto (con valor de 200 Ω) y la resistencia de puesta a tierra con un valor de 60 Ω [2,3].

La curva característica de los apartarrayos de óxidos metálicos se muestra en la Fig. 3:

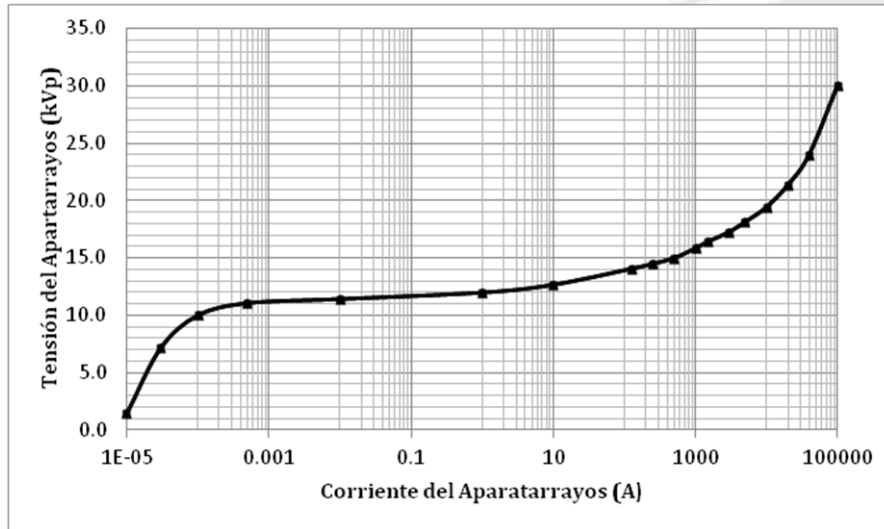


Figura 3. Curva característica de los apartarrayos de óxidos metálicos empleados en el estudio.

En la Fig. 4 se muestra el modelo en ATP-Draw para el caso de la línea de distribución sin blindaje, considerando la incidencia de la descarga atmosférica en una de las fases en el claro medio del tramo.

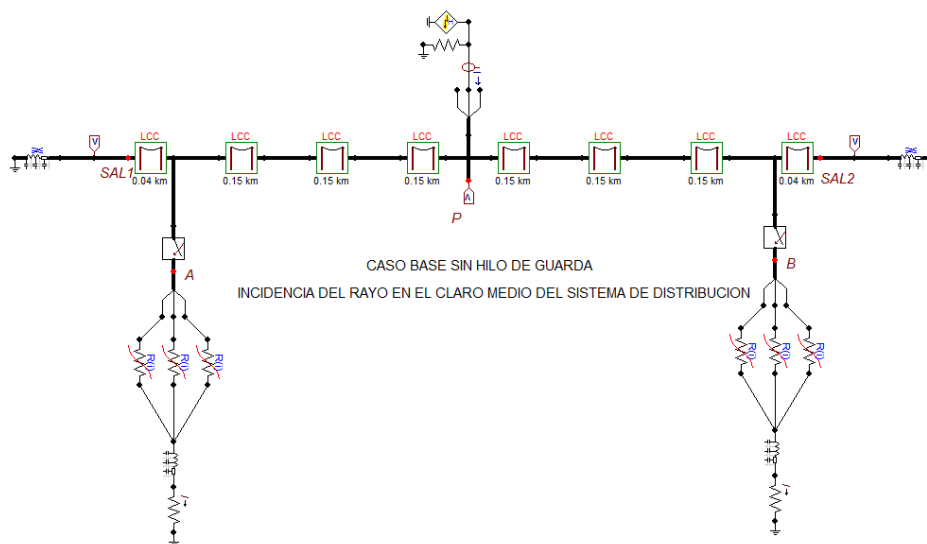


Figura 4. Modelo de la línea de distribución sin blindaje.

Resultados para el caso I Base

Las sobretensiones vistas desde los extremos del tramo de la línea de distribución al incidir la descarga atmosférica en la fase B en su claro medio, se muestran en las Figs. 5-8:

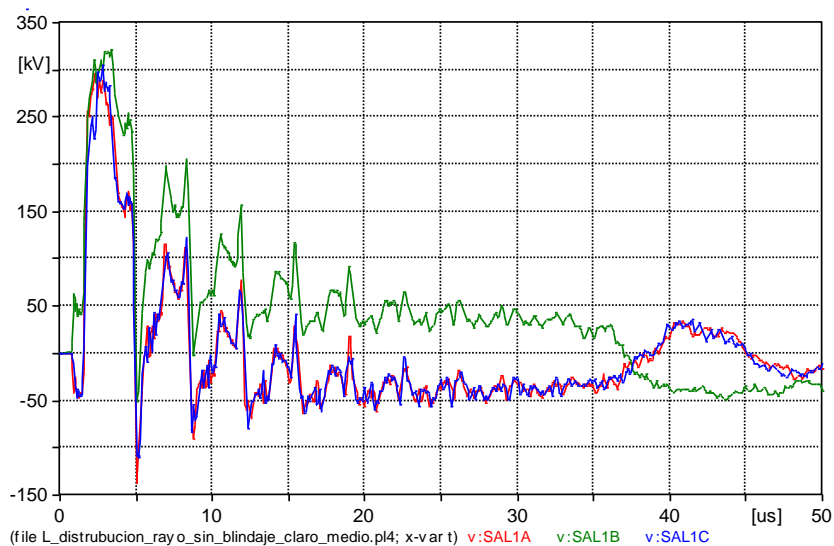


Figura 5. Sobretensión presentada en los extremos de la línea de distribución con una corriente del rayo de 10 kA.

Se presenta una sobretensión de aproximadamente 309.8 kV en la fase B y la sobretensión inducida en las fases A y C son menores a 300 kV aproximadamente. La etapa de amortiguamiento del transitorio se inicia a partir de 20 μ s.

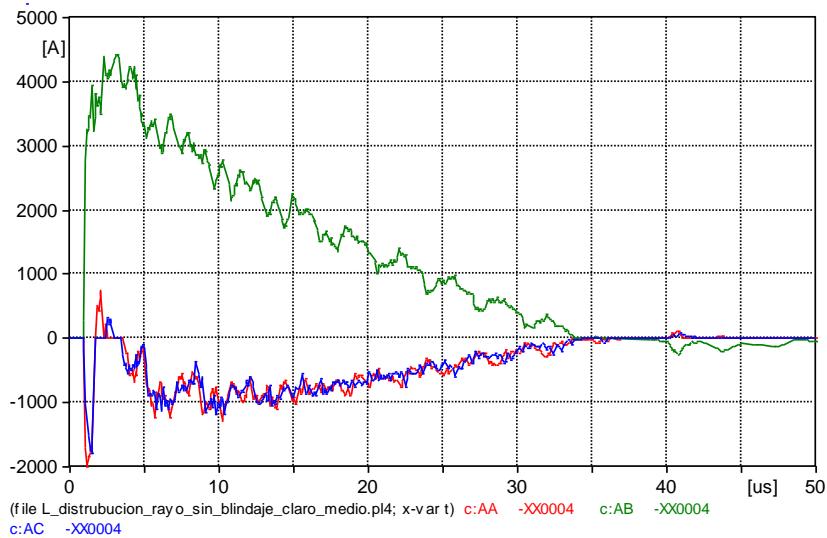


Figura 6. Corriente de descarga de los apartarrayos con una corriente del rayo de 10 kA.

La corriente de descarga del apartarrayo más alta se aprecia en la fase B con un valor de 4.43 kA, mientras que en las fases A y C son menores de 2 kA en polaridad negativa. La etapa de amortiguamiento se inicia a partir de 33 μ s en las tres fases.

Al aumentar la corriente de rayo a 27 kA se obtuvieron los siguientes resultados:

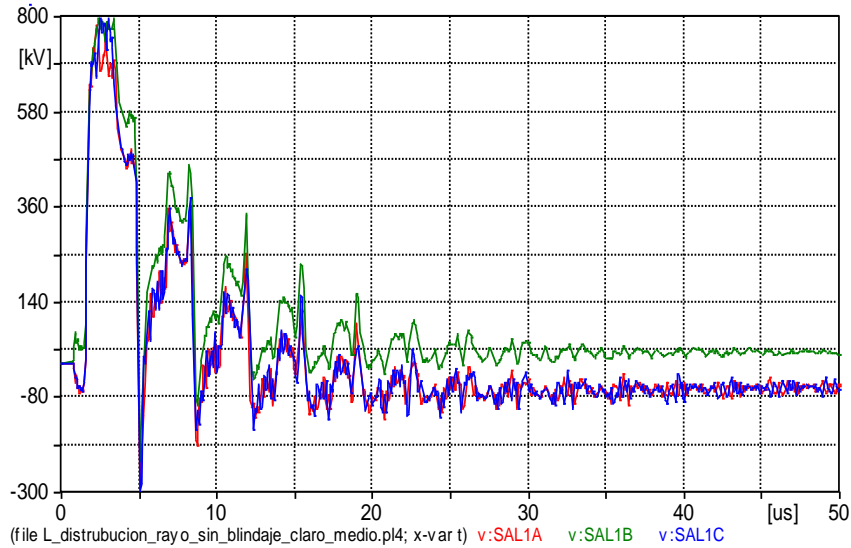


Figura 7. Sobretensión presentada en los extremos de la línea de distribución con una corriente del rayo de 27 kA.

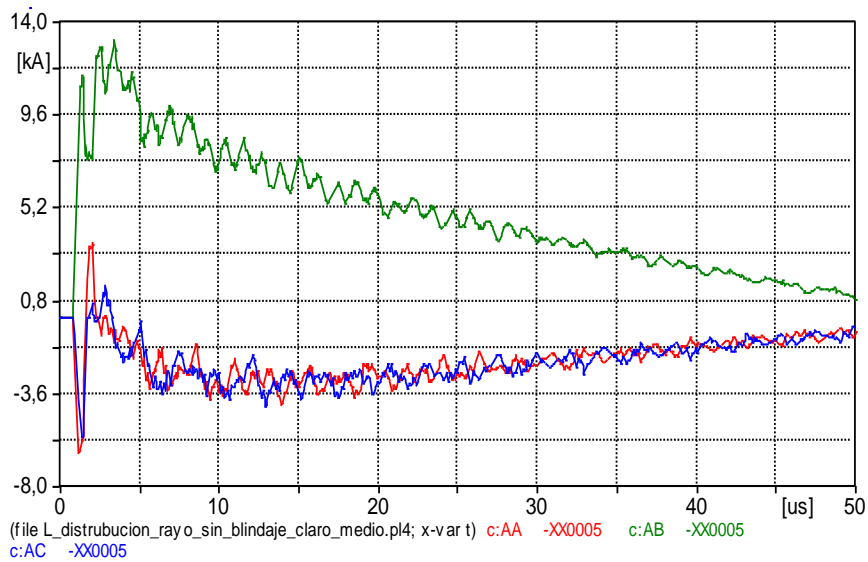


Figura 8. Corriente de descarga de los apartarrayos con una corriente de rayo de 27 kA.

Se puede apreciar que en la fase B se obtuvo una sobretensión de 787.4 kV y su etapa de amortiguamiento se inicia a partir de 20 μ s, mientras que la corriente de descarga del apartarrayo es de aproximadamente 13 kA en la misma fase y su amortiguamiento a partir de 50 μ s.

Caso II. Propuesta de la línea de distribución con blindaje

Para garantizar el blindaje en la línea de distribución, se procedió a aplicar el método electrogeométrico y para ello se tuvo que modificar la posición de los conductores de fase para que se encontraran en la zona de protección. Dicha zona tiene un ángulo blindaje de 45 grados a partir del vértice formado en el hilo de guarda [11,13]. Para la determinación de las nuevas distancias, se realizó un estudio de coordinación de aislamiento aplicando la norma [11]. El tipo de aislador junto con el poste es el mismo que se tiene originalmente.

El arreglo con las nuevas distancias se muestra en la Fig. 9.

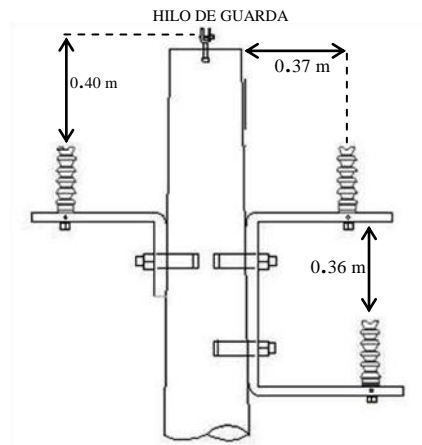


Figura 9. Configuración entre fases de la línea de distribución considerando el blindaje con hilo de guarda.

El hilo de guarda propuesto es un cable tipo ACS (cable de acero recubierto con cobre soldado) de calibre 3/0. La bajada hacia el sistema de tierras es de cobre de calibre 4/0 y se debe de realizar en cada poste como sugiere [6].

El modelo a simular se muestra en la siguiente Fig. 10:

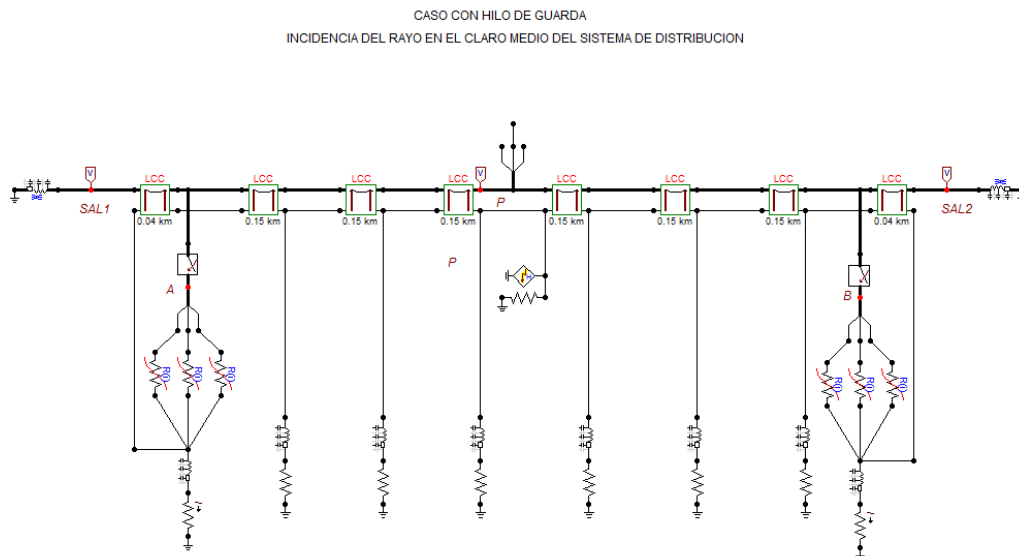


Figura 10. Modelo a simular en el ATP-Draw.

Resultados del caso II. Incidencia de las descargas atmosféricas en el hilo de guarda.

Cuando incide la descarga atmosférica en el hilo de guarda, las sobretensiones presentes en la línea de distribución, así como la corriente de descarga en los apartarrayos, se muestran en las Figs. 11-14:

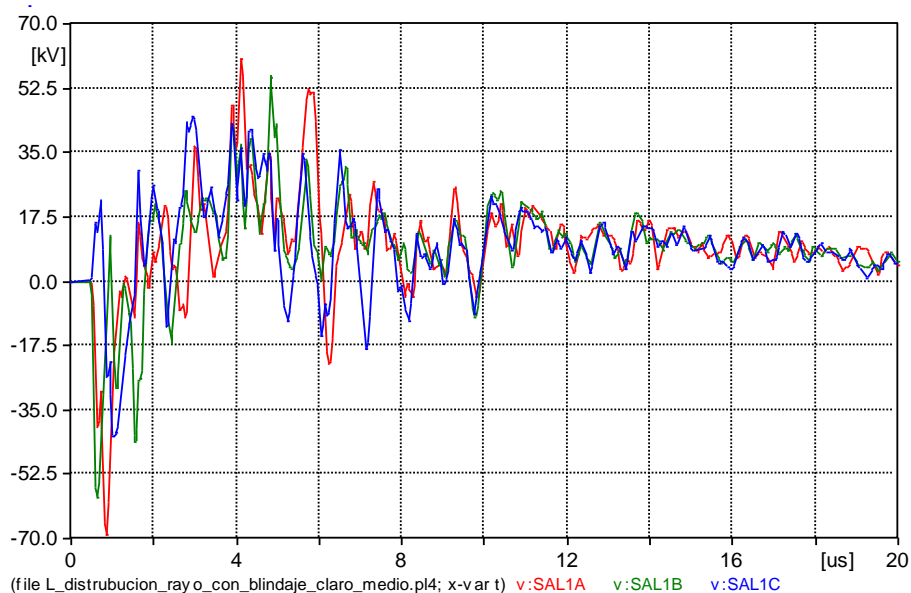


Figura 11. Sobretensión presentada en los extremos de la línea de distribución blindada con una corriente del rayo de 10 kA.

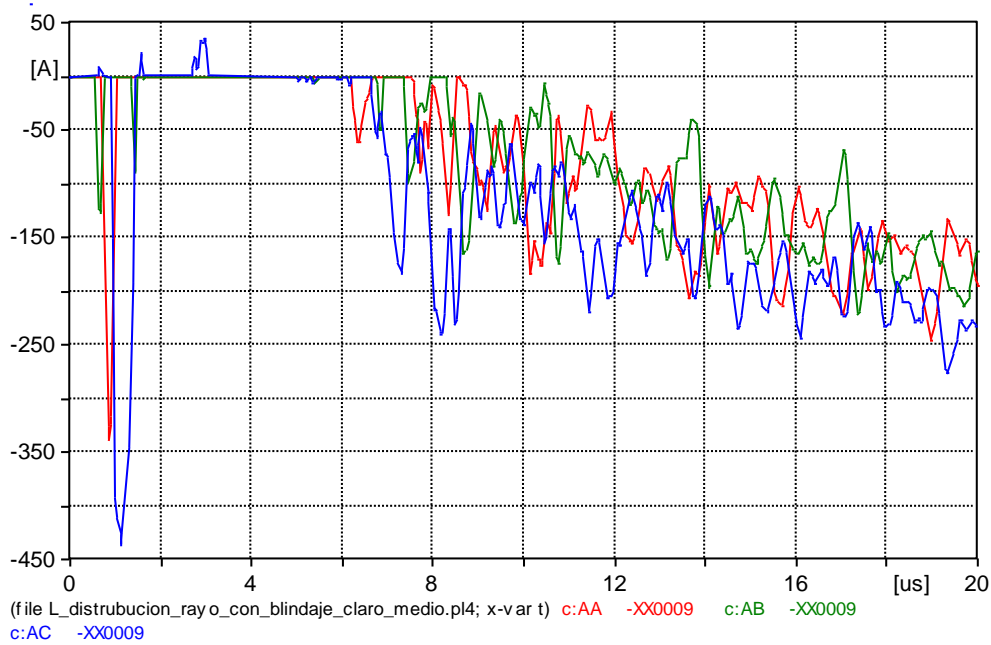


Figura 12. Corriente de descarga de los apartarrays con una corriente del rayo de 10 kA.

Los resultados para el caso II con una corriente de rayo de 10 kA son: una sobretensiones inducida en la fase A de 67.4 kV en polaridad negativa con un tiempo de amortiguamiento de 10 μ s, una corriente de descarga del apartarray de 430 A en polaridad negativa fase C con un tiempo de amortiguamiento de 30 μ s.

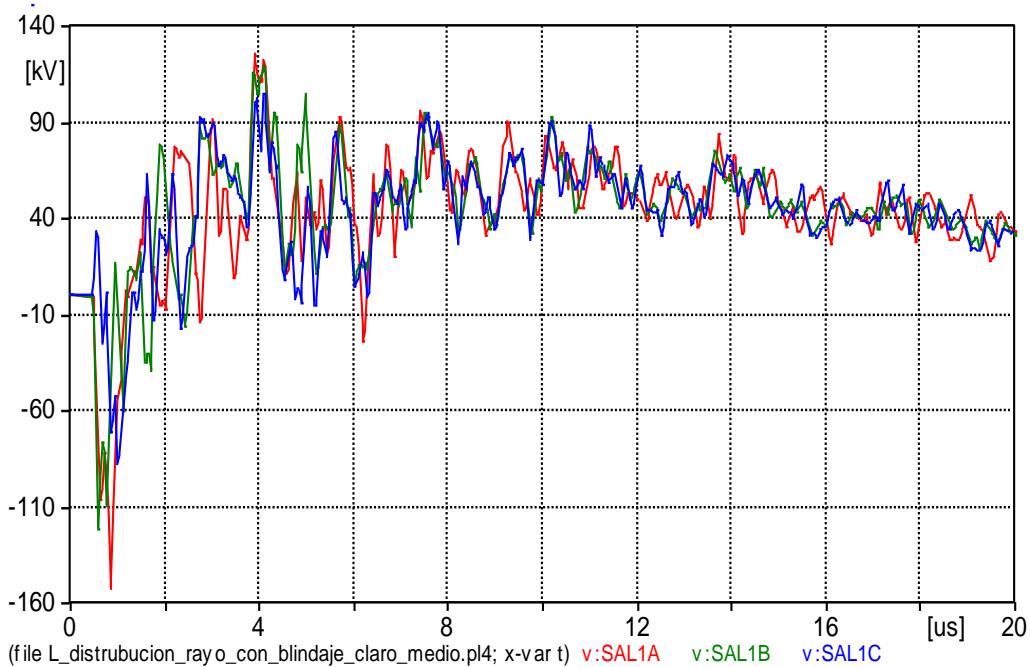


Figura 13. Sobretensión presentada en los extremos de la línea de distribución blindada con una corriente del rayo de 27 kA.

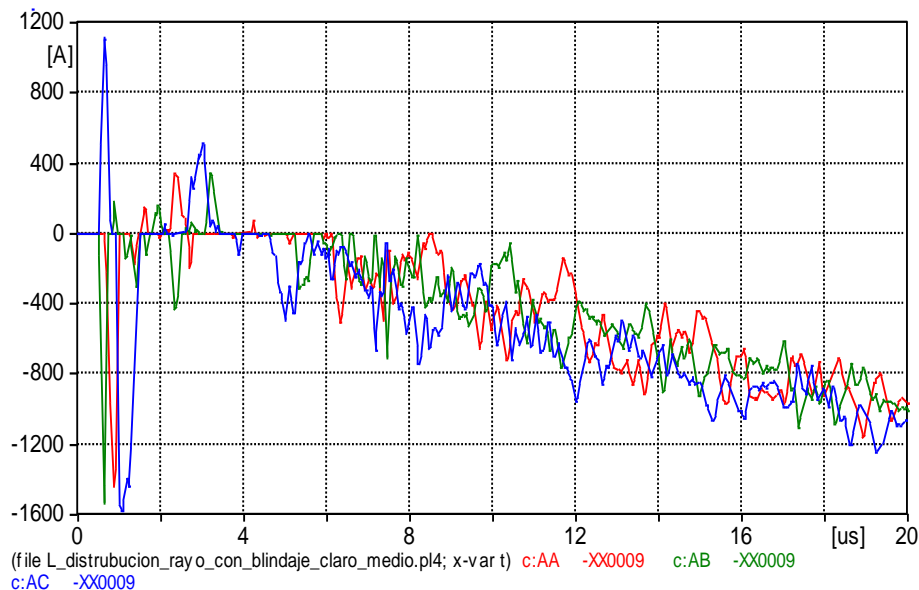


Figura 14. Corriente de descarga de los apartarrays con una corriente del rayo de 27 kA.

Los resultados para el caso II con una corriente de rayo de 27 kA son: una sobretensiones inducida en la fase A de 150.7 kV en polaridad negativa con un tiempo de amortiguamiento de 20 μ s, una corriente de descarga del apartarrayo de 1.62 kA en polaridad negativa fase C con un tiempo de amortiguamiento de 30 μ s.

Caso III. Incidencia de la descarga atmosférica en el conductor de fase B en la línea blindada.

En el tercer caso se tiene la línea con hilo de guarda pero se considera una falla en el blindaje, es decir, la descarga atmosférica incide en el conductor de fase (fase B). Las sobretensiones presentes en la línea de distribución, así como la corriente de descarga en los apartarrayos, se exhiben en las Figs. 15-18:

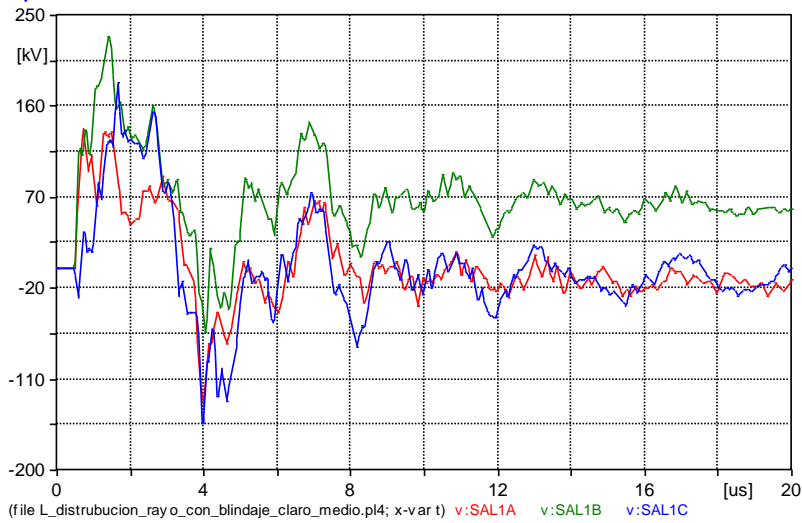


Figura 15. Sobretensión presentada en los extremos de la línea de distribución con falla en el blindada con una corriente del rayo de 10 kA.

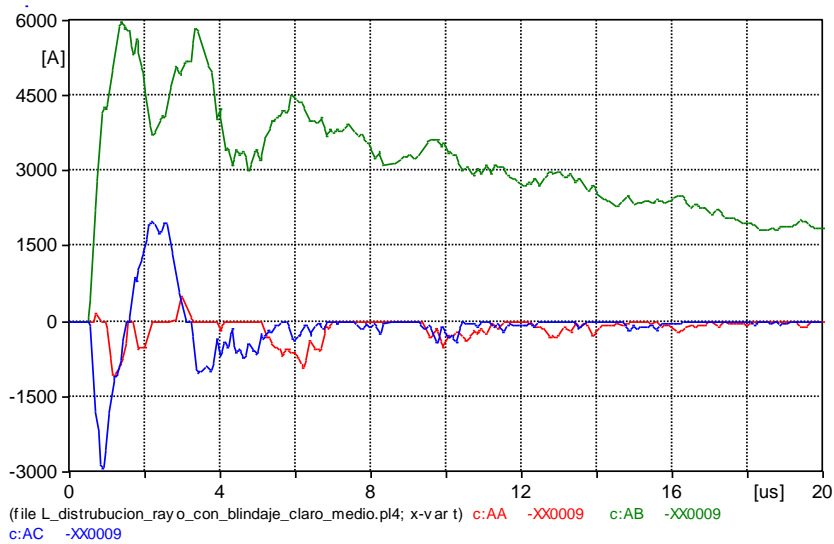


Figura 16. Corriente de descarga de los apartarrayos con una corriente del rayo de 10 kA.

Los resultados para el caso III con una corriente de rayo de 10 kA son: una sobretensiones inducida en la fase B de 229.4 kV en polaridad positiva con un tiempo de amortiguamiento de 10 μ s, una corriente de descarga del apartarrayo de 5.94 kA en polaridad positiva fase B con un tiempo de amortiguamiento de 30 μ s.

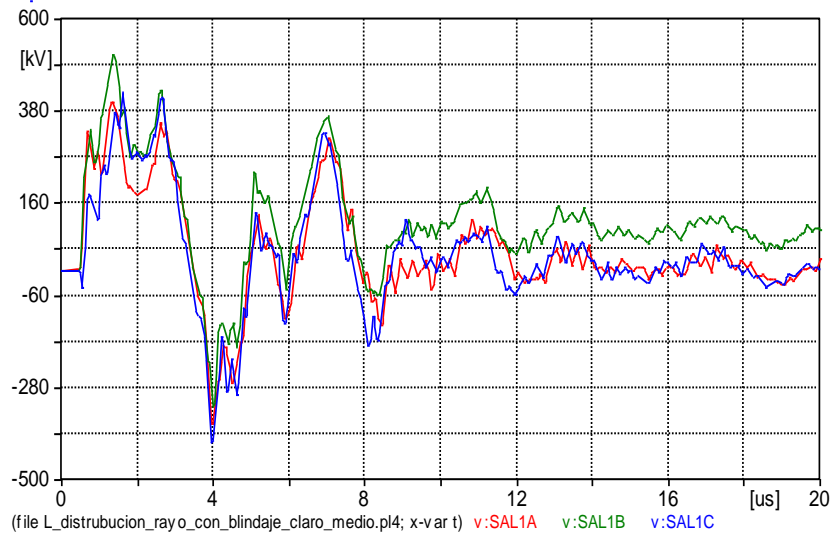


Figura 17. Sobretensión presentada en los extremos de la línea de distribución con falla en el blindaje con una corriente de rayo de 27 kA.

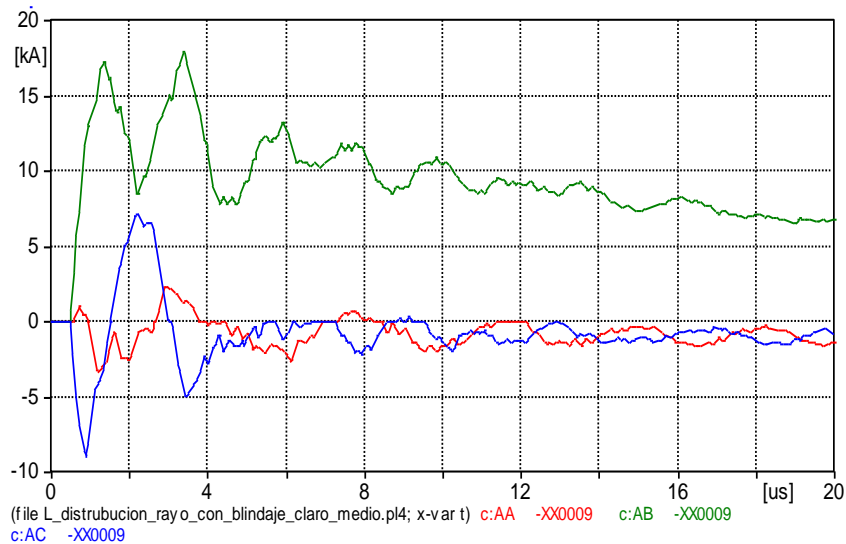


Figura 18. Corriente de descarga de los apartarrayos con una corriente del rayo de 27 kA.

Los resultados para el caso III con una corriente de rayo de 27 kA son: una sobretensiones inducida en la fase B de 512.6 kV en polaridad positiva con un tiempo de amortiguamiento de 10 μ s, una corriente de descarga del apartarrayo de 17.7 kA en polaridad positiva fase B con un tiempo de amortiguamiento de 15 μ s.

Análisis de resultados

De acuerdo a las simulaciones se tuvieron los resultados completos:

Tabla 1. Resultados de las simulaciones

		CASO I		CASO II		CASO III	
Corriente del rayo		10 kA	27 kA	10 kA	27 kA	10 kA	27 kA
So- bre- Ten- sión [kV]	Fa- se A	275 .5	776 .6	- 67. 4	- 150 .7	135 .7	402 .1
	Fa- se B	309 .8	787 .4	- 58. 6	- 119 .4	229 .4	512 .6
	Fa- se C	285 .9	783 .7	43. 8	101 .2	177 .9	401 .1

Co- rien- te des- carga [kA]	Fa- se A	- 1.8 3	- 5.8 1	- 0.3 3	- 1.4 1	- 1.1 0	- 3.2 1
	Fa- se B	4.4 3	13. 01	- 0.1 2	- 1.5 2	5.9 4	17. 70
	Fa- se C	- 1.7 3	- 5.5 2	- 0.4 3	- 1.6 2	- 2.9 3	- 8.9 0

Caso I: Línea de distribución sin hilo de guarda.

Caso II. Línea de distribución con hilo de guarda sin falla en el blindaje.

Caso III. Línea de distribución con hilo de guarda con falla en el blindaje.

Con los resultados obtenidos se observa que el blindaje ayuda en la disminución de las sobretensiones a valores menores a los niveles de aislamiento que se diseña la red de distribución de 23 kV en condiciones de contaminación mínima a normal. Este nivel de aislamiento debe ser como mínimo de 150 kV cresta, que para el caso II cubriría los niveles máximos.

En [12] sugiere que se debe de incrementar el nivel de aislamiento de los aisladores para zonas de alta contaminación o nivel isoceraúnico, por lo que las sobretensiones obtenidas no deben de provocar flameos en la línea blindada.

En el caso de las corrientes de descarga de los apartarrayos, se obtienen valores menores a 1.6 kA, los cuales están muy por debajo a la corriente de descarga del apartarrayo de 10 kA.

De acuerdo a [14] para el apartarrayo de óxidos metálicos con una tensión máxima de operación continua de 15.3 kV puede soportar una corriente de descarga máxima de 65 kA, por lo que para todos los casos trabajaría el apartarrayo sin ningún problema.

Cuando falla el blindaje se tiene el caso más crítico y de acuerdo con la siguiente tabla se tiene un comparativo de los casos I y III, donde se tiene un porcentaje de reducción de las sobretensiones:

Tabla 2. Reducción de las sobretensiones por el uso del blindaje.

Porcentaje de reducción de la sobretensión		
Corriente de rayo	10 kA	27 kA
Fase A	49.26	51.77
Fase B	74.04	65.10
Fase C	62.22	51.18

Lo que se demuestra las ventajas de blindar las líneas de distribución con longitudes largas y radiales, así como en lugares con alto nivel isoceraúnico.

La normatividad mexicana justifica la confiabilidad del suministro de energía eléctrica al consumidor. Dentro del diseño de las líneas de distribución se deberá tener en cuenta el aislamiento contra los fenómenos atmosféricos para obtener un buen comportamiento de las líneas. La confiabilidad de las líneas contra descargas atmosféricas para zonas rurales debe ser de:

Líneas de 23 kV 13 salidas/100 km-año [1].

Para llegar a estos niveles en una zona rural de alta contaminación y/o zona arbolada, es necesario el blindaje por hilo de guarda. [6 y 8].

En [15] el costo en mantenimiento preventivo y correctivo en zonas urbanas y arboladas es de 47 dólares por poste, mientras que en zonas rurales, el costo tiende a aumentar por lo lejano de los campamentos de mantenimiento, capacidad de reacción a la falla y accidentado del terreno. Teniendo en cuenta lo anterior, bajar el costo de manteniendo se compensa con la implementación del hilo de guarda con cable ACC, con el aterrizamiento de los postes con cable de cobre 4/0 y sus respectivos elementos, con la finalidad de mantener la continuidad en el servicio eléctrico a los pueblos lejanos de las zonas urbanas.

Conclusiones

En este trabajo se muestran las bondades de blindar las líneas de distribución en lugares donde económicamente sean factibles, ya que se tendría que invertir en la instalación del hilo de guarda y en el aterrizamiento de los postes.

El blindaje no se recomendaría en zonas urbanas, donde las líneas de distribución son malladas y se tienen estructuras más altas que los postes y sobretodo, se tienen conectados una gran cantidad de apartarrayos en los transformadores de distribución. En cambio, en zonas rurales, donde las líneas de distribución son radiales y de larga distancia, la salida de la línea de distribución por una descarga atmosférica es más probable que suceda si se tiene un alto nivel isoceraúnico o se encuentran en zonas de alta contaminación.

El blindaje puede reducir la sobretensión desde un 49% hasta un 74% así como una reducción significativa de las corrientes de descarga de los apartarrayos, dando como resultado un mayor tiempo de vida de estos dispositivos de protección. Además se tiene una menor probabilidad que exista una salida en la línea de distribución por el flameo de los aisladores o entre conductores de fase.

La factibilidad económica se sustenta en disminuir los costos de mantenimiento de las líneas de distribución en zonas rurales con alta contaminación y alejada de las zonas rurales con la inversión de la instalación de los hilos de guarda.

Referencias

- [1] "Coordinación de Aislamiento por Descargas Atmosféricas en Líneas de Transmisión", Folleto informativo IIE-CFE, Enero 1996.
- [2] H. Sugimoto, T. Kosuge, S. Yokoyama, K. Okumura, "Study of Lightning Protection of Power Distribution Lines Located in Mountainous Areas", Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES.
- [3]. K. Nakada, T. Yokota, S. Yokoyama, A. Asakawa, M. Nakamura, H. Taniguchi, A. Hashimoto: "Energy Absorption of Surge Arresters on Power Distribution Lines due to Direct Lightning Strokes", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 12, October 1997.
- [4] Shigeru Yokoyama: "Distribution Surge Arrester Behavior due to Lightning Induce Voltages", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. PWRD-1, January 1986.
- [5] G. P. Caixeta, F. Zago, J. Pissolato Filho, L. C. Freitas Jr., and W. C. Mariano, "Induced field on an Overhead Line and LPS due to Lightning", 2004 IEEEIPES Transmission & Distribution Conference 8 Exposition: Latin America
- [6]. "Generalidades. Normas de construcción redes aéreas rurales de distribución", CODENSA S.A. ESP. Colombia 2003
- [7]. Alejandro Díaz Bautista, Virginia Doniz González, Gumersindo Cué Aguilar: "Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025", Secretaría de Energía, 2010.
- [8] "Normas de Distribución, Construcción e Instalaciones Aéreas en Media y Baja Tensión" Especificación CFE DCCIAMBT. Febrero 2013.
- [9] IEEE 1410: "Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines", January 2011.
- [10] L. Prikler, H. K. Hoidalén, "User's Manual ATP for Windows 9x/NT/2000/XP/Vista version 5.6", November 2009.
- [11]. CFE L0000-06, "Coordinación de Aislamiento", Comisión Federal de Electricidad, 1980.
- [12] IEC 815-1983, "Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions".
- [13] Vásquez O. K, Ruales C. L. "Calculo de sobrevoltajes originados por descargas atmosféricas en líneas de transmisión utilizando el ATP (Alternative Transients Program) aplicado a la línea de transmisión Santa Rosa-Pomasqui a 230 kV", XIX Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, vol. 19, 2005.
- [14] IEEE Std C62.22-1991, "IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide".

[15] Soares, M.R, Britto, F.R., Nishimura, F., Cicareli, L.D., *"Spacer Cable and ABC Distribution Lines, Long-term Analysis"*, Transmission and Distribution Conference, 1996, Proceedings, 1996 IEEE.

