



Análisis del efecto de diferentes parámetros en la magnitud de la corriente que penetra en las estructuras de una línea de transmisión impactada por un rayo

Angel C. Valcárcel
Alfredo Ramírez

Recibido: Septiembre del 2008
Aprobado: Diciembre del 2008

Resumen/ Abstract

Las descargas atmosféricas son una de las causas fundamentales de daño en los sistemas eléctricos de potencia. La modelación en ATPDraw (Programa para el análisis de transitorios electromagnéticos en redes eléctricas), permite conocer el efecto de diferentes parámetros del rayo y de la línea de transmisión, sobre la magnitud de la corriente que penetra en las estructuras al recibir un impacto directo en el tope de la estructura, en el cable protector o en los conductores de fase.

Palabras claves: descargas atmosféricas, líneas de transmisión, sobretensiones

Lightning is one of the main causes of damage on electric power systems. The modeling in ATPDraw (Electromagnetic transient program) allows to know the effect of different lightning and the transmission line parameters, on the magnitude of the electric current that penetrates into the structures when it receives a direct stroke on the top of the structure, on the shielding cable or on the phase conductors.

Keywords: lightning, transmisión, line, overvoltage

INTRODUCCIÓN

Cuando una descarga atmosférica impacta directamente una línea de transmisión ya sea en el tope de una estructura o en el cable protector en el vano entre ellas, una parte importante de la corriente del rayo penetra en

las estructuras, siendo la responsable de los niveles de sobretensión a que se ve sometido el aislamiento y que puede hacerlo fallar. Es fácil encontrar en la literatura esquemas simplificados que muestran las magnitudes de

corriente de rayo que penetran en las estructuras para estos dos posibles tipos de impacto, ver figura 1. [1-2]

Como resultado de nuestro trabajo se pudo demostrar que la magnitud de la corriente que penetra en las estructuras depende de diferentes factores:

- De la relación de impedancias características de los cables protectores y de las estructuras.
- De la resistencia de puesta a tierra de las estructuras.
- Del tiempo de frente de la onda de corriente del rayo.
- De la separación entre estructuras.

Por otra parte, este porcentaje de penetración es diferente en el frente y en la cola de la onda.

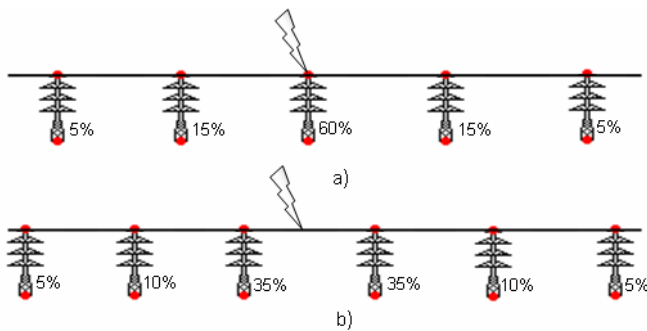


Fig. 1. Distribución de las corrientes del rayo en una línea con cable protector.
 a) cuando el rayo cae en la estructura.
 b) cuando el rayo cae en el cable protector.

EFEECTO DE LAS IMPEDANCIAS CARACTERÍSTICAS

En la figura 2. se muestran las variaciones de la corriente que penetra en la estructura para dos diferentes tipos de ellas.

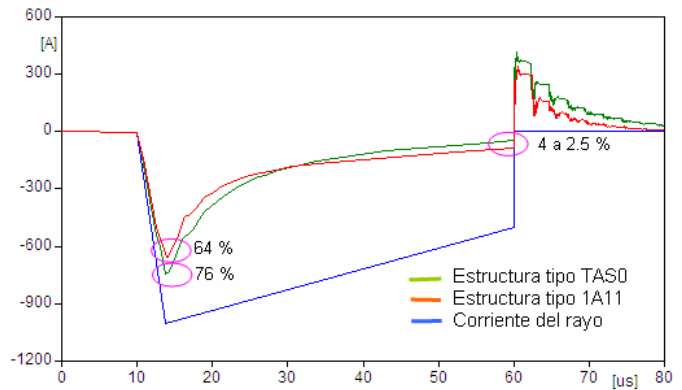


Fig. 2. Efecto de las impedancias característica de líneas y estructura.

En este caso, la diferencia de impedancia característica de las estructuras y de las líneas respectivas determinan las variaciones entre ambas características de corriente, tanto en el frente como en la cola de la onda. La Impedancia característica de la estructura 1A11 es mayor que la TASO.

EFEECTO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DE LAS ESTRUCTURAS.

En la figura3 se observa que mientras mayor es la resistencia de puesta a tierra menor es la corriente que penetra en la estructura. Para una resistencia de puesta a tierra de 100 Ω en el frente de la onda penetra el 46% de la corriente del rayo y para una resistencia de puesta a tierra de 10 Ω penetra el 65.4%. En ambos casos, en la cola, por efecto de las reflexiones en las estructuras vecinas, la onda alcanza sólo el 4% aproximadamente de la corriente en la cola de la onda de corriente del rayo.

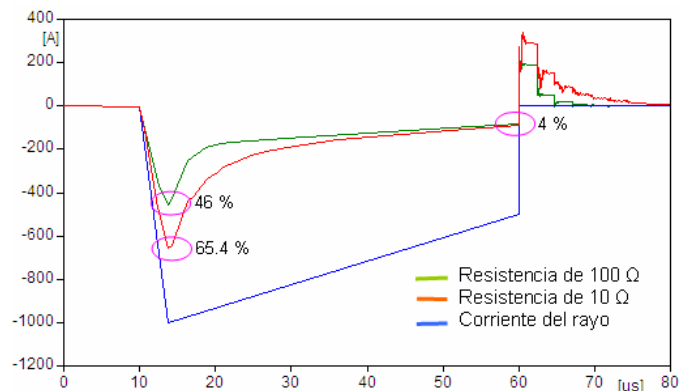


Fig. 3. Efecto de la resistencia de puesta a tierra en la magnitud de la corriente que penetra en la estructura.

EFFECTO DEL TIEMPO DE FRENTE DE LA ONDA DE CORRIENTE DEL RAYO

En este caso, véase la figura 4. un incremento en el tiempo de frente de la onda de corriente del rayo reduce la magnitud de la corriente que penetra en la estructura, fundamentalmente en el frente de la onda.

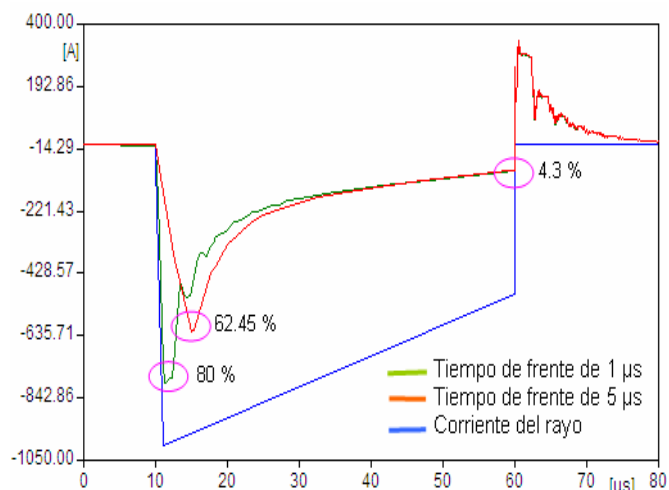


Fig. 4. Efecto del tiempo de frente en la magnitud de la corriente que penetra en la estructura.

EFFECTO DE LA SEPARACIÓN ENTRE ESTRUCTURAS

El efecto que tiene la separación entre estructuras (vano) en la magnitud de la corriente que penetra en la estructura está dado fundamentalmente en la duración de los valores máximos, siendo mayor cuando más separadas estén las estructuras en la medida en que más demoran en llegar las reflexiones desde las estructuras vecinas, esto se puede apreciar en la figura 5. Es importante notar que esta situación se mantiene para las corrientes que penetran en la estructura una vez concluida la corriente del rayo y debidas a las reflexiones en las estructuras vecinas.

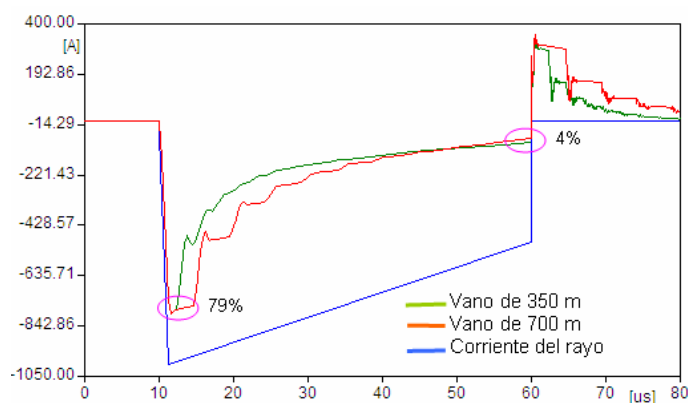


Fig. 5. Efecto del vano en la magnitud de la corriente que penetra en la estructura.

IMPACTO EN EL VANO ENTRE ESTRUCTURAS

En la figura 6 se muestran las corrientes que circulan por el vano entre estructuras, la que penetra en las estructuras vecinas al impacto y la inyectada por el rayo cuando éste se produce a mitad del vano entre estructuras. Es importante hacer notar la magnitud de las corrientes que penetran en la estructura una vez que finaliza la inyección de corriente del rayo, esto se puede ver en la figura 7. Esta corriente que continúa penetrando en la estructura producto de las reflexiones en las estructuras vecinas, puede ser mayor en ese momento a la provocada por un impacto en el tope, ver figura 8, por tanto, provocar tensiones superiores en los aisladores, ver figura 9, e incluso mayores a las provocadas por la propia inyección de corriente del rayo en el tope en la primera zona de la figura (durante la inyección de corriente por el rayo).

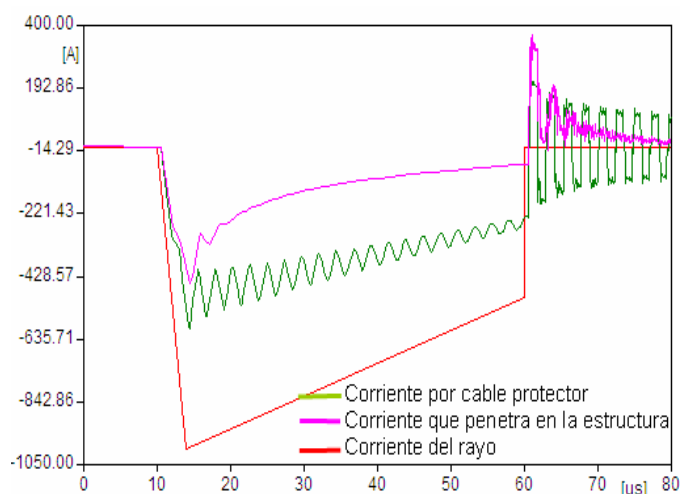


Fig. 6. Corrientes que circulan por el cable protector, la estructura e inyectada por el rayo.

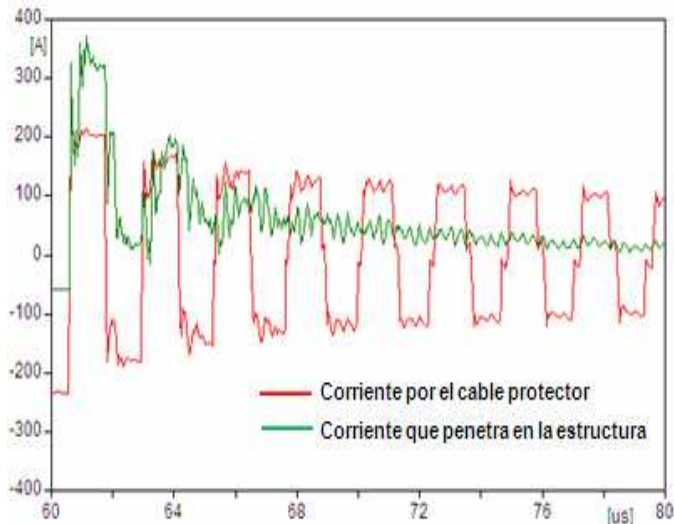


Fig. 7. Corrientes que circulan por el cable protector y la estructura luego que cesa la inyección de corriente del rayo.

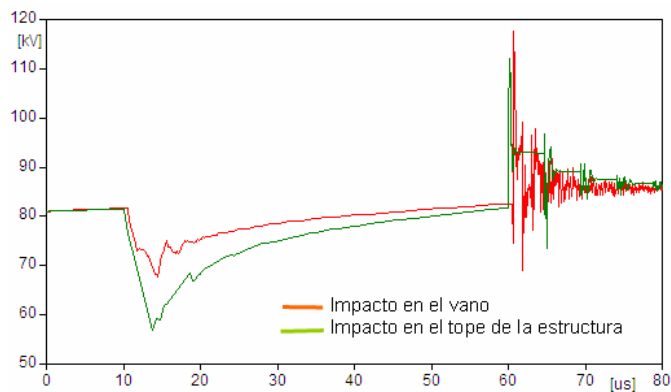


Fig. 8. Variación de tensión en la cadena de aisladores.

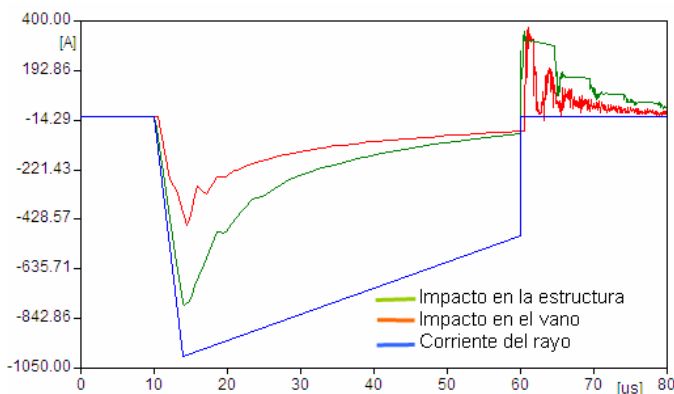


Fig. 9. Corrientes que penetran en la estructura para impactos en el tope y en el vano.

IMPACTO EN LOS CONDUCTORES DE FASE

El impacto en los conductores de fase se puede producir si el rayo burla el blindaje por causa de su inclinación con respecto al plano de tierra o cuando por problemas de diseño existe un rango de corrientes de rayo para las cuales se presenta una falla de blindaje. En la figura. 10 se muestran las variaciones de tensión que aparecen en los aisladores de una estructura cuando se produce un impacto en uno de los conductores de fase, sin que falle el aislamiento y la figura 11 para la ocurrencia de una descarga directa en los aisladores (falla de fase a tierra). En la figura12 se muestra la variación de la corriente por el aislador fallado.

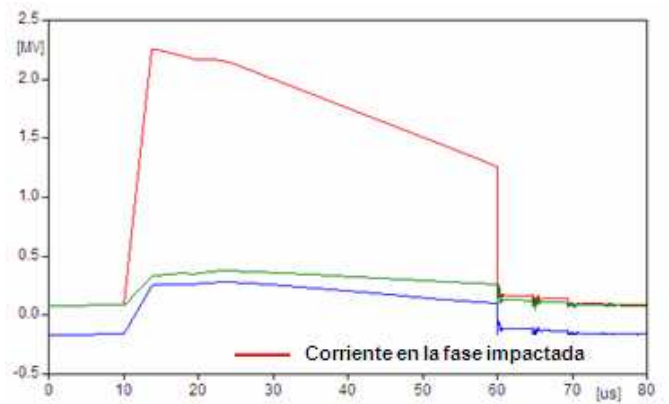


Fig. 10. Variación de tensión en los aisladores sin falla del aislamiento para impacto en uno de los conductores de fase.

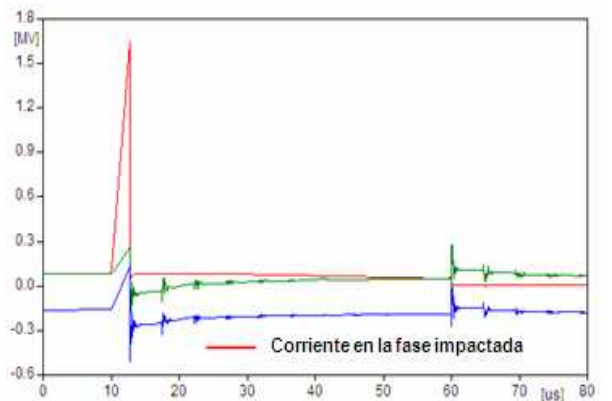


Fig. 11. Variación de tensión en los aisladores con falla del aislamiento para impacto en uno de los conductores de fase.

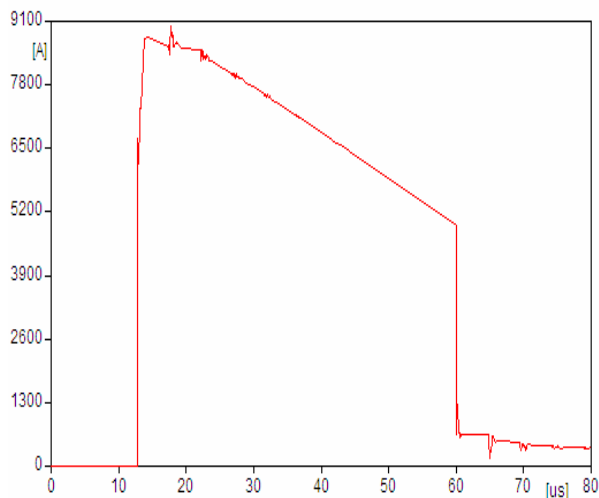


Fig. 12. Corriente por el aislador fallado para impacto en el conductor de esa fase.

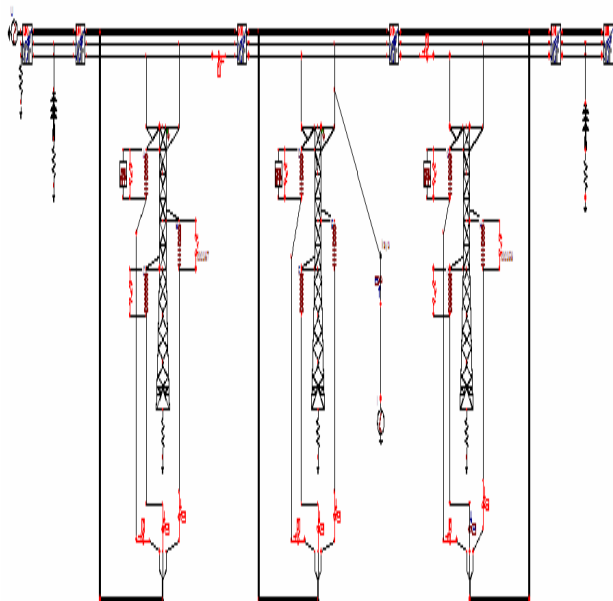


Fig. 13. Modelo de tres estructuras para el análisis de redescarga.

ANÁLISIS DE LA POSIBLE OCURRENCIA DE REDESCARGA

Cuando falla un aislador durante un fenómeno de “descarga inversa” (backflashover en inglés) se produce una inyección de corriente en el conductor de fase que incrementa la tensión en el aislador de esa fase en las estructuras vecinas y puede ocasionar lo que se conoce como “redescarga” (reflashover en inglés), o sea la falla de fase a tierra en las estructuras vecinas como consecuencia del backflashover en la estructura impactada.

La figura. 13 muestra el modelo utilizado en ATPDRAW para simular este fenómeno, que ocurre con relativa frecuencia en las líneas de transmisión de hasta 350 kV.

Para completar la idea de ocurrencia de este fenómeno, en la figura 14 se observan las corrientes de falla en los aisladores de la estructura impactada y una de las vecinas. Como se puede apreciar, las polaridades de las corrientes son opuestas, en la estructura impactada donde ocurre la descarga inversa la corriente va de la estructura al conductor de fase y en el aislador de la estructura vecina donde ocurre la redescarga la corriente va del conductor de fase a la estructura.

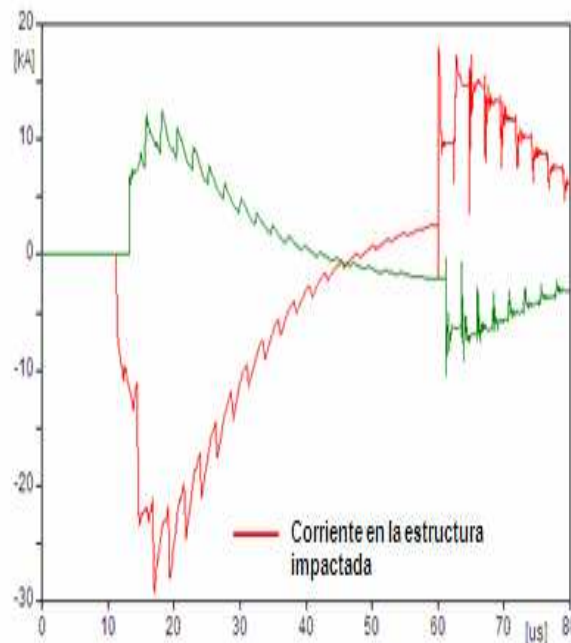


Fig. 14. Corrientes por los aisladores en la estructura impactada y la vecina.

CONCLUSIONES

La magnitud de la corriente que penetra en las estructuras tanto para impacto en el tope de la estructura como en el vano, depende de parámetros como: impedancia característica de las estructuras y los cables protectores, resistencia de puesta a tierra de la estructura, tiempo de frente de la onda y separación entre estructuras.

Se pudo comprobar cómo la ocurrencia de descarga inversa en un aislador de la estructura impactada puede provocar, por la inyección de corriente en la fase, la redescarga (descarga directa) en los aisladores de esa fase en las estructuras vecinas.

REFERENCIAS

- [1] Almirall Mesa, J. :“Técnica de alto voltaje.”, La Habana, Cuba, 1984.
- [2] Ramírez, J. D., Martínez, M. L.: “Influencia de las sobretensiones por descargas atmosféricas y comportamiento de los sistemas de puesta a tierra en líneas aéreas de transmisión y distribución”, Grupo de Investigación en Alta Tensión, Universidad Simón Bolívar, 2004.
- [3] Prikler, L. and Høidalen, H. : “ATPDraw for Windows 3.1x/95/NT Use. Universidad Central de las Villas, Cuba

AUTORES

Angel Cecilio Valcárcel Rojas

Ingeniero Electricista.

Máster en Ingeniería eléctrica

Dr. en Ciencias Técnicas.

Profesor Titular. Centro de Estudios

Electroenergéticos. Facultad de Ingeniería Eléctrica

Universidad Central de las Villas, Cuba

e-mail: valca@uclv.edu.cu

Alfredo Ramírez Ramírez

Ingeniero Electricista Profesor de la Universidad Veracruzana, México

Facultad de Ingeniería Electromecánica.

e-mail: aramirez@uv.edu.mx