

# COMPORTAMIENTO DE LA CARGA ESPACIAL DEL EFECTO CORONA EN UN ARREGLO DE CILINDROS COAXIALES<sup>1</sup>

Tesis de Maestría Meritoria  
MSc. I.E. Liliana Patricia Arévalo González  
[lparevalog@unal.edu.co](mailto:lparevalog@unal.edu.co)

Maestría en Ingeniería Eléctrica énfasis Alta Tensión  
Grupo de Investigación de Compatibilidad Electromagnética EMC – UN  
Universidad Nacional de Colombia  
[www.emc-un.unal.edu.co](http://www.emc-un.unal.edu.co)

El grupo de investigación en compatibilidad electromagnética EMC – UN de la Universidad Nacional de Colombia, durante los últimos años se ha encargado de estudiar, experimentalmente, el comportamiento de la corriente corona producida por puntas colocadas en el cilindro interno de un arreglo de cilindros coaxiales.

El objetivo principal de esta investigación es encontrar una posible explicación a la componente de corriente directa, producida en el corona para las dos polaridades en un arreglo de cilindros coaxiales. Este trabajo planteó inicialmente la hipótesis “la corriente corona en un arreglo de cilindros coaxiales produce una componente de corriente directa, que depende de la región geométrica de la descarga, las propiedades del aire y los factores geométricos del arreglo”.

Para demostrar esta hipótesis, se desarrolló una rutina de cálculo del efecto corona considerando los efectos de ionización, enlace, recombinación, fotoionización, fotoemisión, emisión secundaria de electrones y emisión de campo. Las ecuaciones de continuidad de los electrones, iones positivos y negativos se resuelven simultáneamente con la ecuación de Poisson.

Como resultados se describe el inicio, crecimiento, propagación, terminación y decaimiento del Streamer y del Trichel en función del comportamiento de las partículas. Se muestra que el comportamiento de la carga espacial iónica es anormal con respecto a arreglos comunes. La corriente pulsante y la componente de corriente directa, se deben al crecimiento de la densidad de electrones y a la acumulación de carga iónica, respectivamente.

La tesis demuestra que no todos los procesos secundarios ocurren en el arreglo de cilindros coaxiales. Se analizó la geometría de la descarga y se compararon dos geometrías diferentes. Adicionalmente, muestra cómo el canal de la descarga cambia la magnitud de las partículas y de la corriente externa del circuito.

Como el mecanismo de corona observado en el arreglo de cilindros coaxiales difiere del mecanismo descrito en la literatura para un arreglo punta – placa, fue necesario realizar simulaciones de un arreglo punta – placa bajo las mismas condiciones del arreglo de cilindros coaxiales, como: tipo de electrodo, tensión aplicada, distancia interelectródica y características del gas y se encontró un buen ajuste entre la simulación del arreglo punta – placa y la descripción dada en la teoría.

## Resultados experimentales

Los resultados presentados en este artículo corresponden al desarrollo de los pulsos Trichel y Streamer en aire a las condiciones atmosféricas de la ciudad de Bogotá. El montaje experimental consiste en un arreglo de cilindros coaxiales con electrodos colocados en el cilindro interno perpendiculares a la superficie.

Los electrodos corona, son puntas de cobre terminadas en forma hiperboloide con un radio de curvatura de 0.15mm. El montaje se muestra en la figura 1 y las figuras 2 y 3 corresponden a las medidas realizadas para el pulso Trichel y Streamer respectivamente.

---

<sup>1</sup> Este artículo corresponde a apartes de la tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería Eléctrica énfasis en Alta Tensión, titulada *Comportamiento de la carga espacial del corona en arreglo de cilindros coaxiales*, presentada por MSc. Liliana P. Arévalo G y dirigida por PhD. Francisco José Román C.

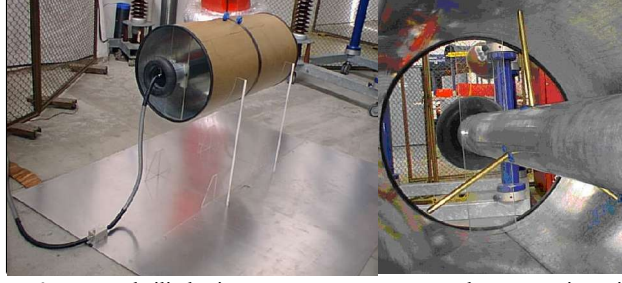


Fig 1. Arreglo de cilindros coaxiales, nótese que el cilindro interno se encuentra conectado a una resistencia shunt a través de la cual se realiza la medida y el cilindro externo se encuentra conectado a alta tensión. La figura anexa muestra el detalle de instalación de los electrodos.

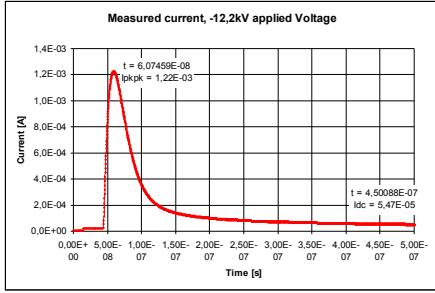


Fig 2. Pulso Trichel medido cuando se aplica un voltaje directo de -12.2kV al cilindro externo. La señal fue registrada con un osciloscopio LeCroy.

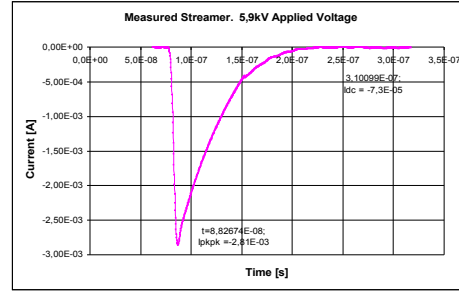


Fig. 3. Streamer medido en osciloscopio LeCroy, cuando se aplica una tensión directa de 5.9kV al cilindro externo

### Ecuaciones teóricas y parámetros

Las simulaciones numéricas resuelven las ecuaciones de continuidad de los electrones, iones positivos y negativos, excitación molecular y fotones, acopladas con la ecuación de Poisson. Las ecuaciones de continuidad se resolvieron mediante el uso del Método de Flujo de Transporte Correctivo ó “Flux Corrected Transport Method (FCT)”.

Las ecuaciones de continuidad están planteadas en una dimensión y para la forma de propagación del Streamer, se usó el “Método de los Discos”, i.e. el método que usa un radio fijo de descarga.

Las simulaciones tienen en cuenta efectos de ionización, enlace o “attachment”, recombinación y fotoionización; así como las velocidades de deriva de los electrones, iones positivos y negativos.

$$\frac{\partial N_e}{\partial t} = S + N_e \alpha |W_e| - N_e \eta |W_e| - N_e N_p \beta - \frac{\partial(N_e W_e)}{\partial x} \quad (1)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial N_e}{\partial x} \right) \quad (2) \quad \frac{\partial N_p}{\partial t} = S + N_e \alpha |W_e| - N_e N_p \beta - N_n N_p \beta - \frac{\partial(N_p W_p)}{\partial x}$$

$$\frac{\partial N_n}{\partial t} = N_e \eta |W_e| - N_n N_p \beta - \frac{\partial(N_n W_n)}{\partial x} \quad (3) \quad \frac{\partial N_m^i}{\partial t} = \delta^i W_e N_e - \frac{N_m^i}{\tau_m^i} \quad (4)$$

$$\frac{\partial N_{ph}^i(r, \theta, \phi, t)}{\partial t} = \frac{N_m^i(r, t)}{4\pi\tau_m^i} - \mu^i c N_{ph}^i(r, \theta, \phi, t) - \zeta \frac{\partial N_{ph}^i(r, \theta, \phi, t)}{\partial r} \quad (5)$$

Donde  $t$  es tiempo,  $x$  la distancia desde el ánodo;  $N_e$ ,  $N_p$ ,  $N_n$  y  $N_m$ , son las densidades de electrones, iones positivos y negativos, y molecular respectivamente;  $W_e$ ,  $W_p$  y  $W_n$  son las velocidades de deriva de los electrones, iones positivos y negativos, respectivamente. El superíndice  $i$  denota el  $i$ -ésimo coeficiente de excitación del nivel molecular y adicionalmente, el número de fotones emitidos desde este nivel.  $\delta^i$  es el

coeficiente de excitación del nivel,  $\mu^i$  el coeficiente de absorción de fotones del nivel y  $\tau_m^i$  es el tiempo de vida de la excitación molecular en este nivel.  $N_{ph}(r, \theta, \phi, t)$  es la densidad de fotones en  $r$  en el espacio real por estero radianes en la dirección de la velocidad en coordenadas polares ( $\theta, \phi$ ). Los símbolos  $\alpha, \eta, \beta,$  y  $D$  corresponden a los coeficientes de ionización, enlace, recombinación y difusión electrónica, respectivamente, la  $c$  es la velocidad de la luz,  $\zeta$  es la velocidad del fotón y  $S$  es el termino fuente debido a la fotoionización.

### Análisis de resultados de simulación

Obteniendo como resultados la descripción del inicio, crecimiento, propagación, terminación y decaimiento del Streamer y del pulso Trichel en función del comportamiento de las partículas: la Fig 4 permite observar el comportamiento de la carga espacial (iones positivos y negativos, electrones y campo eléctrico) en tiempo de 34ns. Se muestra que el comportamiento de la carga espacial iónica es anormal con respecto a arreglos comunes. La corriente pulsante y la componente de corriente directa, se deben al crecimiento de la densidad de electrones y a la acumulación de carga iónica, respectivamente.

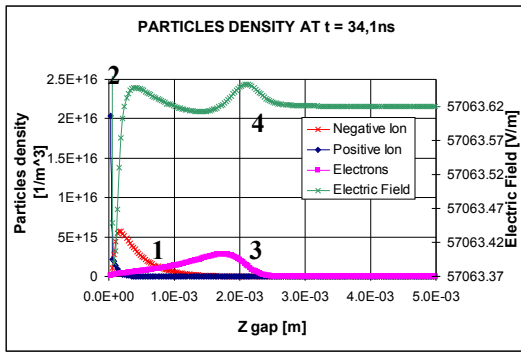


Fig 4. Densidad de partículas en función del espacio interelectródico en un tiempo  $t = 34.1\text{ns}$  corona positivo. Los números 1, 2, 3 y 4 corresponden a las densidades de iones negativos y positivos, la densidad de electrones y el campo eléctrico, respectivamente. Note que la densidad de electrones se aleja de la región iónica y la densidad iónica es mayor en magnitud que la densidad de electrones.

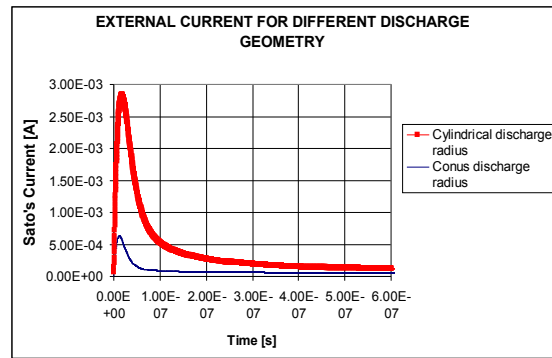


Fig. 5. Comportamiento de la corriente para diferentes geometrías de la descarga. Observe que los valores picos de ambas señales son diferentes y al considerar un canal cónico se tendría una menor corriente corona. Por tanto considerar la descarga de forma cilíndrica es lo más adecuado.

Se analizó la geometría de la descarga y se compararon dos geometrías diferentes (cono truncado y cilindro). Se muestra cómo el canal de la descarga cambia la magnitud de las partículas y de la corriente externa del circuito (ver Figura 5).

El mecanismo de corona observado en el arreglo de cilindros coaxiales con la configuración utilizada por el grupo de compatibilidad electromagnética difiere del mecanismo descrito en la literatura para un arreglo punta – placa, por tanto se realizaron simulaciones comparativas donde se observa que el uso de este arreglo presenta una descarga corona de forma diferente (ver Figuras 6 y 7)

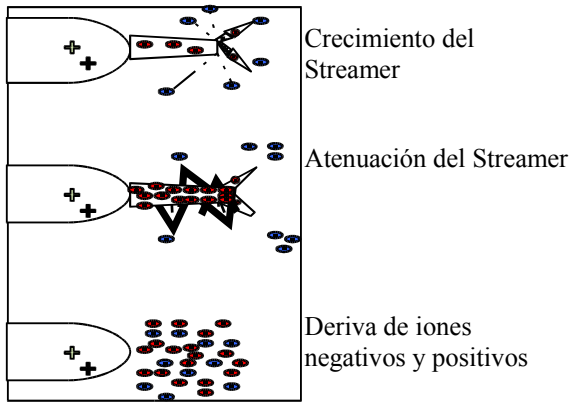


Fig. 6. Diagrama esquemático de la transición del Streamer en un arreglo Punta – Placa. El desarrollo del Streamer se describe de acuerdo con la distribución de los iones positivos y negativos.

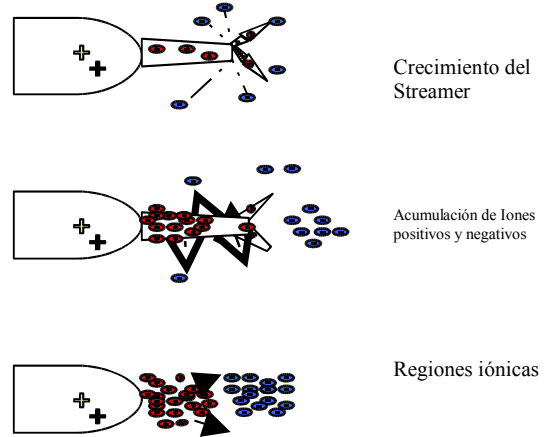


Fig. 7. Diagrama esquemático de la transición del Streamer en un arreglo de cilindros coaxiales. El desarrollo del Streamer se describe de acuerdo con la distribución de los iones positivos y negativos.