

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE IMPULSOS RÁPIDOS DE CORRIENTE BASADO EN EL PRINCIPIO OPERATIVO DE LOS ELECTRODOS FLOTANTES

Tesis de Maestría Meritoria  
M.Sc. Oscar Javier Díaz Cárdenas  
Director: Ph.D. Francisco Román  
[ojdiazc@unal.edu.co](mailto:ojdiazc@unal.edu.co)

Maestría en Ingeniería Eléctrica énfasis en 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 objetivo principal de este trabajo fue mejorar las características de operación del generador Román mediante la obtención de mayores valores pico de corriente y mayores derivadas de corriente en el tiempo.

Este objetivo requirió un buen conocimiento del diseño de equipos de alta tensión y diferentes tópicos relacionados en general con la Ingeniería Eléctrica.

Este trabajo de postgrado obtuvo la mención meritoria por parte de los jurados Francisco Amortegui y Antonio Mejía. Ocupó el segundo puesto en el Encuentro de Investigación de Posgrados ENIP2006 organizado por la Facultad de Ingeniería. Además se escribieron tres documentos presentados en conferencias internacionales relacionadas con la Ingeniería Eléctrica: “International Symposium on High Voltage ISH2005”, China; “International Conference on Pulsed Power PPC2005”, USA y “International Symposium on Lightning Protection SIPDA2005”, Brasil.

Al momento, se han construido cinco prototipos diferentes. El principal propósito de cada uno de estos generadores era mejorar la capacidad de energía del anterior, y este objetivo ha sido plenamente alcanzado. El generador de impulsos rápidos de corriente – GIRC – fue parte de un proyecto de investigación financiado por Colciencias y la Universidad Nacional de Colombia, cuyo objetivo principal fue construir equipos que aprovechan la energía almacenada en el campo electrostático.

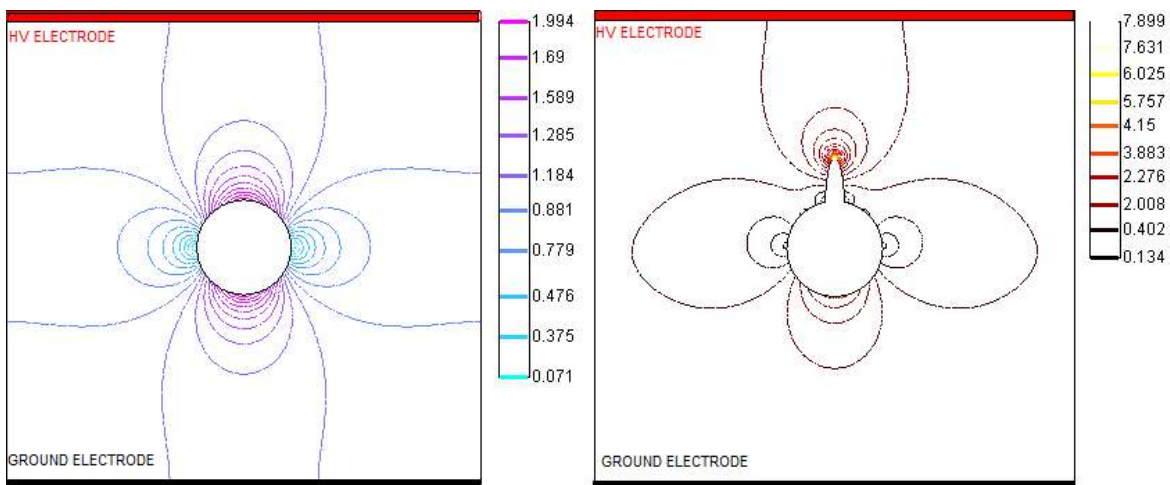
El GIRC alcanzó los objetivos iniciales propuestos al obtener derivadas de corriente en el tiempo mayores a  $100\text{kA}/\mu\text{s}$  y valores pico de corriente cercanos a  $5\text{kA}$ . A lo largo de muchas horas de laboratorio, se adquirió valiosa experiencia en técnicas de medición de alta tensión y prueba de materiales. Durante el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, se utilizaron varias herramientas propias de la ingeniería eléctrica, la matemática y la informática, tales como teoría de circuitos, análisis de elementos finitos en FEMLAB y ajuste de curvas en MATLAB®.

## 1. Principio de operación de los electrodos flotantes

Los electrodos flotantes (EF) son cuerpos metálicos eléctricamente aislados inmersos en un campo electrostático. Si el EF tiene una superficie suave y es inmerso en un campo eléctrico de fondo, mantendrá su carga eléctrica neta igual a cero y todo el cuerpo metálico adquirirá un único potencial eléctrico con respecto a tierra.

El campo eléctrico de fondo inducirá un reordenamiento de la carga eléctrica dentro del EF. Para el otro caso, si el EF tiene puntos de alta curvatura, como una aguja, está intensificará el campo eléctrico en la punta de la aguja; esta intensificación crecerá para mayores curvaturas.

La intensificación de campo eléctrico puede producir descargas parciales en el medio aislante alrededor. La Fig.1 muestra la magnitud de campo eléctrico simulada para los ambos casos, el EF sin y con una punta de alta curvatura. Se puede ver como el campo eléctrico normal en el EF sin puntas es de 1V/m aprox., mientras que en el caso opuesto, la amplificación de campo eléctrico es de casi 8 veces.



**Figura 1.** Distribución de campo eléctrico para diferentes electrodos flotantes inmersos en un campo eléctrico de 1V/m.

Cuando el medio aislante es aire, las descargas parciales producen la inyección de corrientes corona del aire ionizado en el EF. En tal caso, el EF adquiere un exceso de carga eléctrica del aire y su carga eléctrica ya no es cero. Si el EF se localiza cerca de una referencia aterrizada, inducirá carga eléctrica de signo opuesto en la referencia aterrizada.

Mientras más carga a través de corrientes corona es inyectada al EF, la diferencia de potencial entre el EF y la referencia aterrizada aumentará y eventualmente llevará a disrupción. Entonces, el espacio de aire se cortocircuitará y gran cantidad la carga eléctrica almacenada en el EF fluirá hacia la referencia aterrizada.

## **2. Consideraciones preliminares para un nuevo GIRC**

El principal objetivo del nuevo GIRC fue mejorar la operación de sus partes principales, de forma tal que la corriente resultante pueda alcanzar mayores valores de amplitud y derivada de corriente ( $di/dt$ ). Las partes principales del GIRC sobre las que se centro el diseño fueron:

- Mecanismo de carga en el EF
- Aislamiento y disposición de los EF y GND
- El espacio interelectrónico de descarga del EF

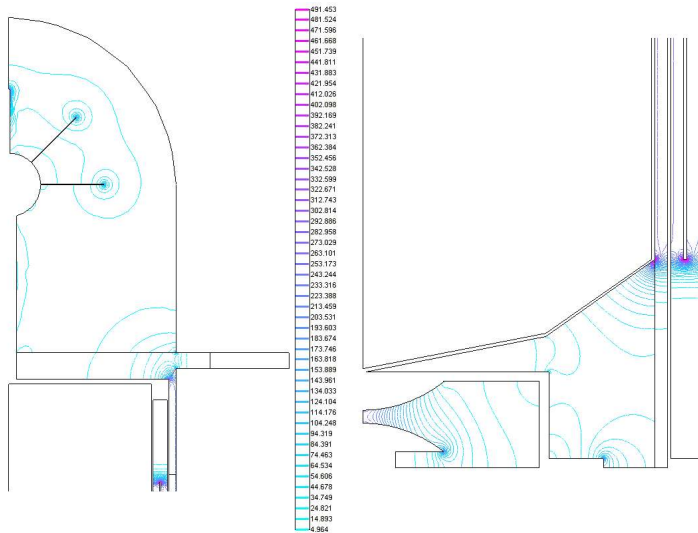
De las condiciones preliminares, se concluyó que:

- El mecanismo de carga corona será aislado en aire, encapsulado a condiciones atmosféricas.
- El electrodo flotante estará dispuesto en una configuración de cilindros coaxiales para que la distribución interna de peso no requiera soportes adicionales y se incremente la capacidad equivalente entre los electrodos EF y GND
- El mecanismo de descarga del EF será un gap de descarga, pero para incrementar su tensión disruptiva se incrementará la presión.

## **3. Cálculos y pruebas preliminares del GIRC**

Después de la etapa de diseño y construcción preliminar, se realizaron diferentes pruebas y cálculos al prototipo GIRC entre las que se destacan:

- Pruebas a materiales: Para asegurar buenas condiciones de aislamiento, todos los materiales usados en la construcción del GIRC fueron probados.
- Pruebas entre los electrodos EF – GND: Tensión DC aplicada y Medición de la capacidad equivalente  $C_{FG}$
- Mecanismo de carga corona del EF: Se aplicó alta tensión DC positiva y negativa y se midió la corriente corona en una resistencia shunt entre la varilla de conexión – soporte del mecanismo de carga corona y una referencia aterrizada.
- Simulación computacional del GIRC: Se realizaron simulaciones para encontrar la distribución de potencial y campo electrostático en el GIRC mediante un programa de elementos finitos (FEMLAB®). El modelo enmallado se presenta en la Fig.2.



**Figura 2.** Distribución interna de la intensidad de campo eléctrico. Nótese los mayores valores de campo contra los menores para una amplificación cercana a 100 veces

#### 4. Conclusiones

Después de terminar el diseño, construcción y pruebas del gap de descarga del EF, se pueden aplicar nuevas ideas en un nuevo diseño. Los gap de descarga presurizados permiten mayores tensiones disruptivas a menores distancias interelectródicas. De esta forma la longitud de los electrodos del gap de descarga se pueden reducir para tener menor inductancia parásita.

Los resultados de las pruebas finales variando las condiciones del gap de descarga del EF sugieren dos ideas principales:

- a) Si se incrementa la distancia interelectródica y se mantiene constante la presión, el efecto inductivo de la descarga se incrementa.
- b) Si la presión en el gap de descarga del EF se incrementa para una distancia interelectródica constante, el efecto inductivo de la descarga se mantiene casi constante. Este comportamiento es diferente a [9], donde la presión fue variada en un rango más amplio al utilizado en este trabajo. De esta forma, las variaciones de inductancia debidas al cambio de presión en el gap de descarga del EF se pueden despreciar en el GIRC construido, para presiones menores 300kPa y distancias interelectródicas menores a 1mm.

Uno de los resultados esperados respecto a la forma de onda de corriente a la salida del GIRC era obtener pulsos sencillos a cambio de señales ring-wave. Los pulsos no oscilantes se obtuvieron en GIRC previos con configuraciones coaxiales de EF y GND sencillas, debido a la baja inductancia del EF comparada con la capacidad EF – GND. Para modificar la señal de salida del presente GIRC, la configuración de doble-EF y doble-GND se debe reemplazar por una configuración cilíndrica sencilla.