



Análisis numérico del comportamiento del arco eléctrico en una cámara de bajo voltaje con materiales ferromagnéticos

Núñez-Aguayo Miguel S. (1), Cano-Banda Fernando (2),
Luviano-Ortiz J. Luis (3), Hernández-Guerrero Abel (4)

¹ [Licenciatura en Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | E-mail: [ms.nunezaguayo@ugto.mx]

² [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | E-mail: [f.canobanda@gmail.com]

³ [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | E-mail: [luis.luviano@ugto.mx]

⁴ [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | E-mail: [abel@ugto.mx]

Resumen

El tema de esta investigación es la simulación y análisis del fenómeno de la propagación del arco eléctrico en una cámara de bajo voltaje. La simulación numérica se realizó mediante el acoplamiento de software de simulación de campos electromagnéticos y software de simulación de dinámica de fluidos computacional. La geometría usada es una forma simplificada de una cámara de extinción de arco eléctrico que consta de dos electrodos y una placa divisora. Se analizó el comportamiento del arco eléctrico inicializando el arco a 100 A de corriente continua, condiciones atmosféricas y cobre para el resto de los materiales. El objetivo de la primera simulación fue comparar con los resultados de otros autores y validar el método de simulación. Posteriormente se realizó la simulación cambiando el material de la placa divisora por un material ferromagnético y se notaron las diferencias observadas en el comportamiento del arco eléctrico. Como resultados se obtuvo una diferencia notable cuando los materiales usados en la simulación tienen propiedades ferromagnéticas, ya que



interactúan de manera distinta con el arco eléctrico, y se logra una reducción en el tiempo necesario para la interrupción efectiva del flujo de corriente y extinción del arco eléctrico.

Introducción

Este proyecto consistió en la simulación numérica y análisis de resultados del fenómeno complejo de propagación del arco eléctrico. El modelo de análisis es una cámara de bajo voltaje simplificada [1] que consiste en dos electrodos de cobre, una placa de divisora, y un dominio de fluido, en este caso aire a condiciones atmosféricas. La simulación se basa en la teoría magnetohidrodinámica (MHD) y se lleva a cabo mediante el acoplamiento de software de CFD y software de análisis electromagnético, por medio de una función programada por el usuario (UDF). El proyecto consiste en la validación del modelo y una modificación de los materiales para comprobar que es posible simular también los efectos producidos por materiales ferromagnéticos, y observar su influencia en el comportamiento del arco eléctrico.

Objetivos

Los objetivos específicos de este trabajo se enumeran a continuación:

1. Crear un modelo tridimensional simplificado de una cámara de extinción de arco eléctrico de bajo voltaje.
2. Utilizar un método de simulación de la propagación del arco eléctrico basado en la teoría magnetohidrodinámica (MHD)
3. Replicar los resultados de otros autores para un modelo que utilice cobre para la placa divisora y los electrodos.
4. Realizar una simulación utilizando materiales con propiedades ferromagnéticas.
5. Analizar los resultados y comparar las diferencias del comportamiento observado del arco eléctrico entre las simulaciones con placa divisora de cobre y placa divisora de material ferromagnético.



Justificación

Desde el siglo XIX con los desarrollos de Edison se han utilizado redes eléctricas con el objetivo de la distribución de electricidad en corriente continua (DC), sin embargo, debido a la falta de estándares y tecnologías, los sistemas de distribución eléctrica en corriente alterna (AC) son los que dominan el mercado. Con el surgimiento de tecnologías alternativas de obtención de energía eléctrica como la energía solar y el desarrollo de circuitos electrónicos de potencia, ha sido posible conectar componentes y crear redes eléctricas que funcionan en DC. Sin embargo, la protección de estas redes a corto circuito es uno de los retos más importantes para la aplicación de sistemas en DC el cual es más complejo que en redes de AC, esto es debido a que el movimiento de la corriente continua es en una sola dirección y nunca pasa por un valor nulo.

El arco eléctrico, el cual se puede producir al desconectar cualquier circuito, consiste en una columna de plasma que tiene características eléctricas, magnéticas y térmicas que ningún otro conductor tiene [7]. Además, se encuentra a altas temperaturas y densidades de corriente, los riesgos que esto conlleva son excesivos. De aquí la importancia de analizar su comportamiento para encontrar formas de extinguirlo de forma inmediata y evitar daños a la red eléctrica y a los operarios [2]. Ya que la experimentación en aplicaciones de extinción de arco eléctrico es muy compleja e involucra equipo muy costoso, la simulación numérica de este fenómeno es del interés para investigadores que trabajan en el desarrollo de estas tecnologías. Por estos motivos es que durante el verano de investigación se estudió el método para la simulación del arco eléctrico en un modelo tridimensional de una cámara de bajo voltaje con corriente continua.

Metodología

Se propuso un modelo de una cámara de voltaje (Figura 1) que consiste en dos electrodos de cobre y de una placa divisora en un dominio de fluido, en este caso aire a condiciones atmosféricas. Las dimensiones de los electrodos son de 4 mm x



1.5 mm \times 16 mm, separadas entre ellas 8 mm. La placa divisora es de dimensiones 4 mm \times 2 mm \times 7 mm, cuya parte superior coincide con la extensión de fluido de 8 mm de longitud [2]. Se consideran dominios laterales de fluido para una mejor disipación de calor con la intención de evitar problemas de convergencia y para monitorear de una mejor manera las temperaturas en los dominios presentes, evaluar el efecto de calentamiento en los alrededores y en los sólidos del modelo. La extinción del arco se logra provocando que la longitud del arco se incremente y disminuyendo su área transversal, partiendo el arco por el efecto de la placa divisora y aumentando la resistencia hasta que la corriente sea cero [8-9].

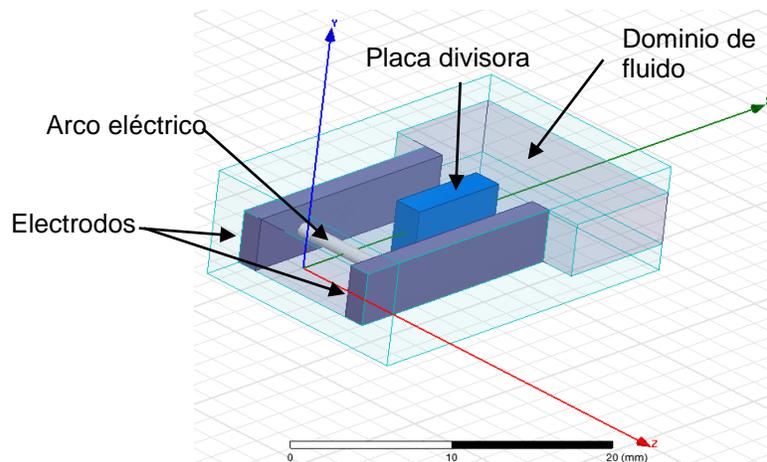


Figura 1. Modelo 3D de la cámara de bajo voltaje.

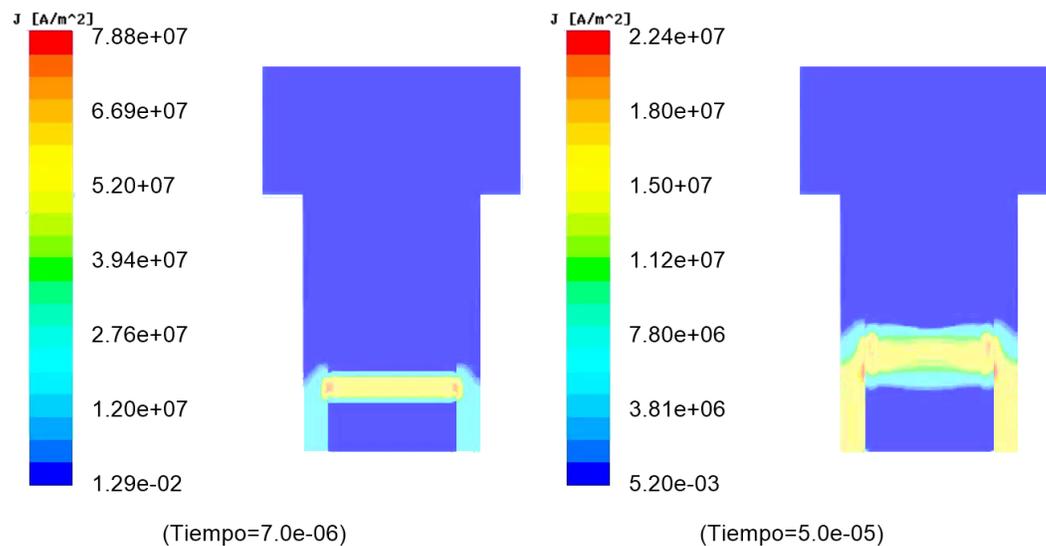
Las condiciones del modelo son temperaturas a 300 K y presión atmosférica. Las paredes externas en el modelo se consideran como adiabáticas y sin deslizamiento. Los respiraderos servirán de salida del aire caliente y recirculación de aire a temperatura ambiente. La condición de presión a la salida de los respiraderos es atmosférica. Las condiciones electromagnéticas son: conductividad en todo el dominio de fluido como una función de temperatura acorde a lo propuesto por A.B. Murphy [3]. De igual forma, el campo magnético es variable en todo el dominio de fluido. Las corrientes iniciales manejadas son 100 A. El arco eléctrico se modela como un cilindro de aire a 10,000 K, de acuerdo con la literatura [4-6]. Cada paso de tiempo simulado es de 1 μ s. El proceso de la simulación se basa en la teoría magnetohidrodinámica (MHD), esta disciplina



estudia la dinámica de fluidos en presencia de campos eléctricos y magnéticos, y específicamente los efectos que aparecen por estas interacciones al contar con un fluido en movimiento. Se hizo uso de los softwares ANSYS Fluent (CFD) y ANSYS Maxwell (FEA) mediante una función definida por el usuario (UDF), la cual se encarga de importar los resultados electromagnéticos al inicio de cada paso de tiempo obtenidos en ANSYS MAXWELL y calcular los efectos debidos al calentamiento por el efecto Joule y las fuerzas de Lorentz en las ecuaciones de energía y momento que se resuelven en ANSYS FLUENT, se exportan estos resultados a ANSYS MAXWELL y el proceso se repite.

Resultados

En la Figura 2 se muestra la magnitud de la densidad de corriente para el caso cuando la placa divisora es de cobre durante la propagación del arco desde su inicialización hasta llegar al punto de interrupción del flujo.



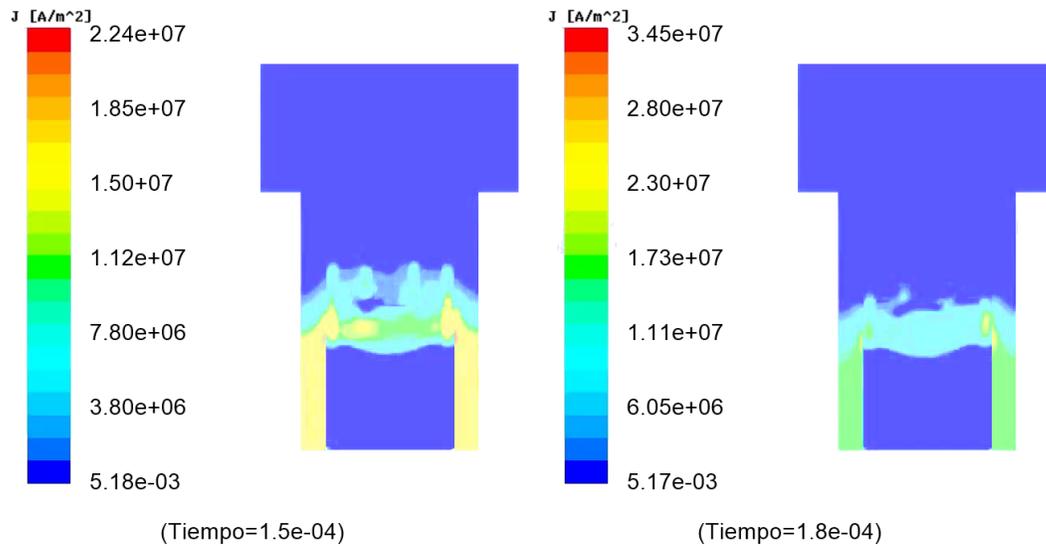
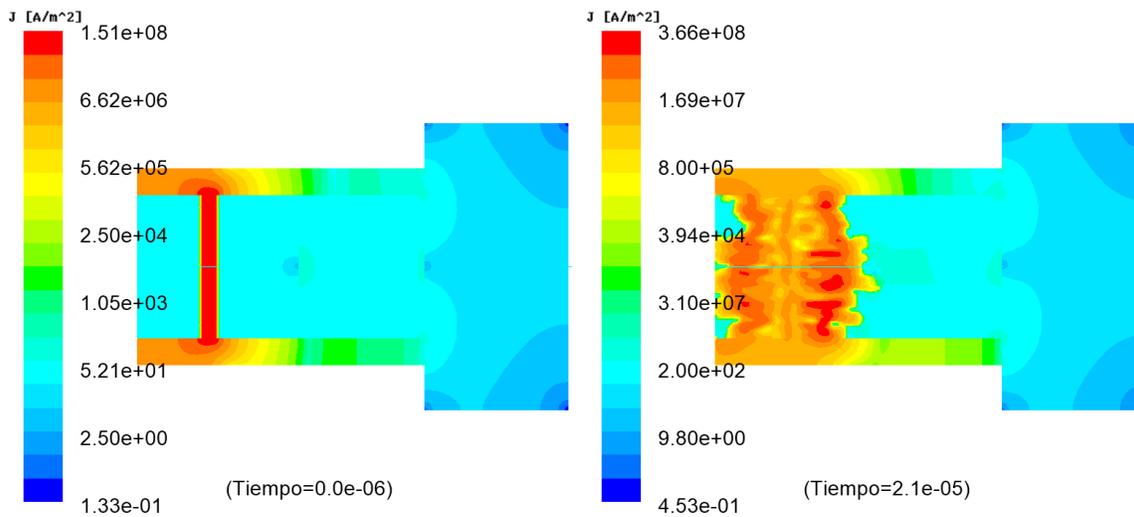


Figura 2. Propagación del arco eléctrico, placa divisora de cobre.

En la Figura 3 se muestra la magnitud de la densidad de corriente, en escala logarítmica para apreciar mejor su distribución, para el caso cuando la placa divisora es de material ferromagnético (hierro) durante la propagación del arco eléctrico, desde su inicialización hasta llegar al punto de interrupción de la corriente.



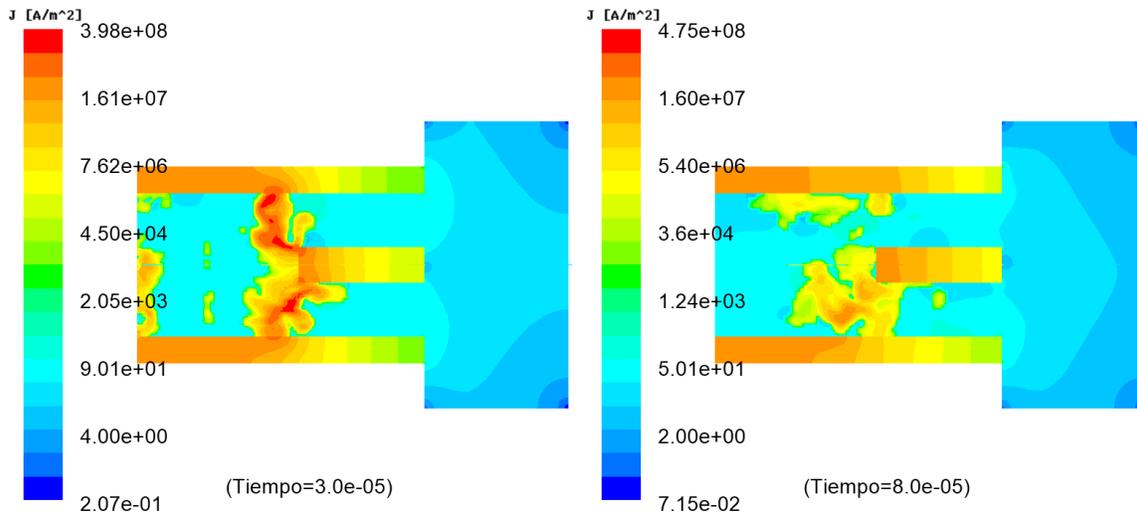


Figura 3. Propagación del arco eléctrico, placa divisora de hierro.

Conclusiones

Durante la estancia de verano se logró adquirir los conocimientos teóricos y las habilidades para la simulación numérica del fenómeno complejo que es el movimiento y propagación del arco eléctrico. Dentro de los modelos propuestos se replicó un caso existente y además se analizó el efecto de imanes y materiales ferromagnéticos en el comportamiento del arco eléctrico. Sin embargo, estos fenómenos provocan la inestabilidad del modelo y tienden a la divergencia. Se logró obtener resultados para un caso en el que la placa divisora es de material ferromagnético (hierro) y la densidad de corriente del arco eléctrico se interrumpe en un periodo de $80 \mu\text{s}$ con temperaturas residuales mayores a 5000 K . Para trabajos futuros se propone la refinación de la malla y la reducción de la duración de cada paso de tiempo, esperando así evitar los problemas de convergencia e incluir al modelo el efecto de imanes para tener un modelo más robusto que permita simular las tecnologías usadas actualmente, con el objetivo de poder proponer mejoras a estas tecnologías.

Referencias

- A. Nilsson, "Pre-stud of Arc Extinguish Techniques for a 4-Pole 1500 VDC Contactor", M. dissertation, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2014.



- A. Mutzke, T. Ruther, M. Kurrat, M. Lindmayer and E. D. Wilkening, “*Modeling the Arc Splitting Process in Low-Voltage Arc Chutes*”. Proceedings of 53rd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, 2007, pp. 175-182
- A. B. Murphy, “*Transport coefficients of air, argon-air and oxygen-air plasmas*”, Chemistry and Plasma Processing, vol. 15, no. 2, 1995, pp. 297-397.
- F. Yang, M. Rong, Z. Sun, Y. Wu, W. Wang, “*A numerical study of arc-splitting processes with eddy-current effects*”, 17th International Conference on Gas Discharges and Their Applications, 2008, pp. 197-200
- A. K. Singh, N. Ahmmed and M. Atharparvez, “*Numerical simulation of arc splitting process in a LV switching device considering thermo-field emission mechanism*”, IEEE 61st Conference on Electric Contacts, 2015, pp. 391-399
- A. Iturregi, B. Barbu, E. Torre, F. Berger and I. Zamora, “*Electric Arc in Low-Voltage Circuit Breakers: Experiments and Simulations*”, IEEE Transactions on Plasma Science, 2017, volume 45, issue 1, pp 113-120.
- A. Iturregui, “*Modelization and analysis of the electric arc in low voltage circuit breakers*”, PhD. dissertation, Univ. Basque Country, Bilbao, Spain, 2013
- M. Lindmayer, E. Marzahn, A. Mutzke, T. Rüter and M. Springstubbe, “*The Process of Arc-Splitting Between Metal Plates in Low Voltage Arc Chutes*”. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 2006, volumen 29, issue 2, pp. 310-317.
- A. Prabu, “*An inverse problem approach to modeling of circuit breaker arc voltage*”, International Symposium of Fundamentals of Electrical Engineering, 2014, pp. 1-4.

