



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL CARRERA DE INGENIERIA EN ELCTRONICA

**DISEÑO Y SIMULACION ELECTROSTATICA DE ARREGLOS CAPILARES A
KILOVOLTIOS PARA APLICACIONES DE ELECTROSPRAY**

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de
Ingeniero en Electrónica Mención Sistemas
Industriales

AUTOR: MICHAEL IGNACIO TORRES TRELLES

TUTOR: BREMNEN MARINO VELIZ NOBOA

Guayaquil -Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Michael Ignacio Torres Trelles con documento de identificación N° 0921972295 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 18 de marzo del año 2022

Atentamente,



Michael Ignacio Torres Trelles

0921972295

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Michael Ignacio Torres Trelles con documento de identificación No. 0921972295, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del artículo académico : “Diseño y Simulación Electroestática de Arreglos Capilares a Kilovoltios para Aplicaciones de Electropray”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica Mención Sistemas Industriales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18 de marzo del año 2022

Atentamente,



Michael Ignacio Torres Trelles

0921972295

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Bremnen Marino Veliz Noboa con documento de identificación N° 0703865139, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO Y SIMULACIÓN ELECTROSTÁTICA DE ARREGLOS CAPILARES A KILOVOLTIOS PARA APLICACIONES DE ELECTROSPRAY**, realizado por Michael Ignacio Torres Trelles con documento de identificación N° 0921972295, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18 de marzo del año 2022

Atentamente,



Ing. Bremnen Marino Veliz Noboa, PhD

0703865139

**DISEÑO Y SIMULACIÓN ELECTROSTÁTICA DE ARREGLOS DE
CAPILARES A KILOVOLTIOS PARA APLICACIONES DE
ELECTROSPRAY**

**DESIGN AND ELECTROSTATIC SIMULATION OF
KILOVOLT CAPILLARY ARRANGEMENTS FOR
ELECTROSPRAY APPLICATIONS**

Michael Torres Trelles¹

Resumen

En la presente investigación se realiza el diseño y simulación de los sistemas electrostáticos capilaresbase, se pretende innovar e incentivar la aplicación de altos campos eléctricos a proyectos de investigación de la carrera electrónica, por ende, este proyecto una vez concluido, puede subdividirse en otras investigaciones para varias áreas de conocimiento. Se realizaron simulaciones de arreglos de un capilar, dos capilares, cuatro capilares y seis capilares variando la distancia a 0.05 pulgadas, 1 pulgada y 2 pulgadas con el objetivo de poder analizar las líneas de campo eléctrico y variación de potencial eléctrico entre los capilares. Como hallazgo principal se obtuvo que, a mayor distancia entre la base y el capilar, la capacitancia obtenida disminuye. De igual forma, se concluye que la capacitancia obtenida no se ve afectada por el aumento o disminución del voltaje aplicado al capilar.

Palabras Clave: Arreglos capilares, campos eléctricos, electrospray, sistemas electrostáticos.

Abstract

In the present investigation, the design and simulation of capillary-base electrostatic systems is carried out, it is intended to innovate and encourage the application of high electric fields to research projects of the electronic career, finally, this project once concluded, can be subdivided into other research for various areas of knowledge. Simulations of arrangements of one capillary, two capillaries, four capillaries and six capillaries were carried out, varying the distance to 0.05 inches, 1 inch and 2 inches with the objective of being able to analyze the electric field lines and variation of electric potential between the capillaries. The main finding was that, at a greater distance between the base and the capillary, the capacitance obtained decreased. Similarly, it is concluded that the capacitance obtained is not affected by the increase or decrease of the voltage applied to the capillary.

Keywords: Capillary arrangements, electric fields, electrospray, electrostatic systems.

1. Introducción

Las tecnologías de impresión han evolucionado revolucionando la industria electrónica. Los transistores de película fina (TFT) y la electrónica flexible [1] a través de la impresión es el tema central de varias investigaciones en la actualidad. Las líneas de patrones pueden ser impresas directamente en un solo paso en lugar de los muchos pasos que implica la técnica convencional de fotolitografía. Las técnicas de impresión electro hidrodinámica de alta resolución (EHDP) [2],[3] y de deposición por electrospray (ESD) son de particular interés como alternativa a la deposición convencional en vacío y a los patrones fotolitográficos de varias películas funcionales como los electrodos de puerta, los dieléctricos de puerta, los contactos de fuente y de drenaje y las capas de semiconductores activos.

El electrospray puede describirse como el medio que utiliza un alto voltaje para dispersar y diseminar un líquido a través de un capilar de tal manera que un aerosol se obtiene como resultado de dicho proceso. La técnica de electrospray posee varios usos, siendo uno de estos el esparcimiento de fluidos, como ejemplo puede mencionarse los fluidos que contengan nanopartículas [4] con la finalidad de cubrir superficies y modificar sus propiedades ópticas [5].

El procedimiento consiste en aplicar un voltaje elevado a un líquido entregado mediante una hilera o un emisor, generalmente un capilar metálico o de vidrio, normalmente al momento que el líquido llega al extremo del medio emisor toma la forma de un cono de Taylor, el cual emite por su extremo un jet de líquido, este proceso puede ser observado en la Figura 1. Posteriormente en la superficie del jet se producen la formación de pequeñas gotas las cuales poseen una alta carga eléctrica y son desperdigadas de forma radial por repulsión de Coulomb[6].

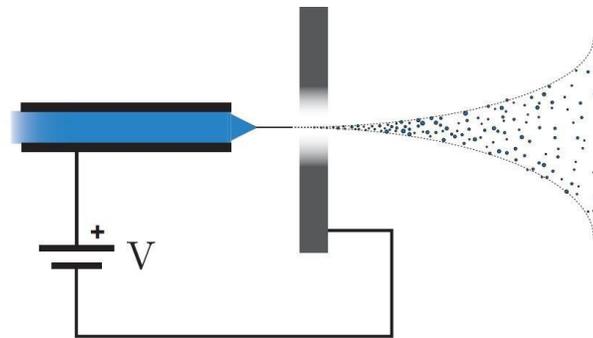


Figura 1. Esquema de funcionamiento del electrospray [4]

Por otra parte, el **campo eléctrico** se lo puede describir como el espacio donde la fuerza eléctrica interactúa, en este sentido se puede agregar que el campo eléctrico es un espacio físico que representa la interacción entre los sistemas y cuerpos con características y propiedades de naturaleza eléctrica. También puede ser explicado como un campo vectorial donde una determinada carga eléctrica q es afectada por una fuerza eléctrica F , esto puede ser representado mediante la siguiente ecuación: $F = qE$ [7].

Hernández [8] en su tesis doctoral para la distribución de cargas espacial emitidas por electrohidrodinámica (electrospray) en vacío obtuvo el semiángulo del cono (o ángulo de Taylor), que se puede apreciar en la ecuación 1

$$\alpha_T \simeq 49,29^\circ \quad (1)$$

Y el potencial eléctrico externo al cono líquido (o potencial de Taylor) ϕ_T está dado por la ecuación 2

$$\phi_T(r, \theta) = a_T \left(\frac{r}{\epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} r^{\frac{1}{2}} P_{\frac{1}{2}}(\cos \theta) \quad (2)$$
$$(r \geq 0, 0 \leq \theta \leq \pi - a_T)$$

El campo eléctrico de Taylor, ver ecuación 3, varía como $r^{-1/2}$, es decir, se hace infinito en la punta del cono.

$$E_T = \nabla \phi_T \quad (3)$$

Por otra parte, López y Pereda [9] diseñaron un sistema CNC modular de dispensación de fluidos a base de electropray para la elaboración de placas de circuitos impresos, para lo cual realizaron la variación de la altura utilizando el módulo Z entre 10 y 70 mm de separación entre electrodos, con una tensión de 2 kV, para alcanzar el radio de caída requerido (entre 0,2 y 0,6 mm). Esta configuración produjo un campo eléctrico entre 3×10^6 V/m y 4×10^6 V/m.

1.1. Aplicaciones del electropray

El electropray posee un amplio uso en la **espectrometría** de masas, el diagnóstico de cáncer y para la identificación de elementos químicos [10][11][12][13]–[16]. Por otra parte, por su facilidad de uso se ha incrementado el empleo de esta técnica para la manipulación de distintos tipos de **nanopartículas** en aplicaciones de fotónica [17] y microelectrónica [18].

También el electropray es la base del **Electrospinning**, esta técnica se presenta cuando a una solución polímero se le aplica un alto voltaje, este proceso produce un jet en forma de cono, Cambiando las formas de gotas del electropray en fibras muy delgadas [19], [20]. El Electrospinning se ha usado en la movilización de nanofibras de TiO₂ en láminas de grafeno reducido [21]. Así también, la técnica del electrospinning se ha empleado para fabricar fibras liberadoras de fármacos ultrafinas para el tratamiento clínico de heridas [22].

En los **propulsores coloidales** se encuentran la aplicación del electropray, de hecho, estos son conocidos como propulsores de electropray, los cuales son un motor de propulsión eléctrica de bajo empuje para cohetes y satélites, este aplica la aceleración electrostática de gotas de líquido cargadas para su propulsión. En el propulsor coloidal el electropray produce las gotas de líquido, para después ser aceleradas por un campo eléctrico estático [23][24][25].

El electropray también puede ser aplicado en la nanotecnología mediante la **deposición de partículas para nanoestructuras**, en este sentido se puede indicar, como ejemplo su uso en superficies para depositar partículas. Esto se realiza mediante la pulverización de coloides los cuales en promedio poseen en cada gota una partícula. El solvente es evaporado mientras el aerosol deja partículas unitarias del tipo requerido [26].

Para finalizar otro uso interesante del electrospray es la **purificación del aire**, para ello un aerosol electrospray carga las partículas suspendidas en el aire, las cuales son manipuladas mediante un campo eléctrico y canalizadas a través de un electrodo puesto a tierra. Este proceso de electrospray reduce la emisión de ozono común en relación con otros equipos de purificación de aire [27].

Empleando la técnica del electrospinning, se diseñó un equipo compuesto por un arduino, el sistema de elevación, una electroválvula 5/3 que controla distancia entre la aguja y el colector, y un sistema de inyección que permite regular la velocidad en la que se despiden las soluciones poliméricas de forma constante, este conjunto de elementos ensamblados permite la generación de nanofibras, permitiendo el empleo de variaciones de voltaje de entre 0 y 15kV y la distancia entre la aguja y el colector de entre 10 y 25 cm [28]. En esta misma línea, se construyen equipos que mediante la técnica de melt electrospinning pueden producir microfibras poliméricas con diámetros de 22.2 μm a 40.4 μm empleando polipropileno isotáctico, las mejores fibras se generan empleando pellets de polipropileno isotáctico, con un voltaje de 11kV, caudal de 10ul/min y distancia de 8cm del colector a la punta del capilar. Un aspecto importante para destacar es que para la generación de fibras de similares características es necesario controlar las condiciones ambientales donde se generan las fibras [29].

La técnica del electrospray también ha sido evaluada como una alternativa viable para su uso en satélites CubeSat, para ello en una investigación se ha empleado el software STK para evaluar el desempeño del propulsor electrospray en términos de vida orbital. En las simulaciones realizadas se logró una reducción de hasta un 41,8 % en la vida orbital con 450[g] de propelente y desde una altura de 500[km], realizando maniobras que consisten en una serie de transferencias de Hohmann. El resultado de esta investigación señala la factibilidad de acoplar propulsores que emplean electrospray en el envío de satélites Cubesat a la órbita terrestre, dado que el desempeño es el necesario para su integración en el propulsor sin incurrir en complicaciones para su uso en el satélite ni en su lanzamiento, permitiendo así, poder realizar caídas controladas de estos tipos de satélites y así evitar posibles congestionamientos de dispositivos de esta índole en la órbita terrestre [30].

1.2. Software informático para Simulación Multifísica

A continuación, se observarán características y prestaciones del software COMSOL con sus respectivas librerías de trabajo.

COMSOL es un software multifísico que permite realizar la simulación de diseños, procesos del mundo real y dispositivos, también permite la simulación de propósito general fundamentado en sistemas numéricos avanzados, además posee capacidades de modelaje totalmente acopladas de física única y multifísica, adicionalmente permite crear un flujo de trabajo de modelado completo, desde la geometría hasta el posprocesamiento, por último se puede mencionar que posee herramientas de fácil uso para la creación e implementación de aplicaciones de simulación [34].

Este software [35] se caracteriza por poseer una variedad de librerías para diferentes usos, de las cuales unas cuantas se detallan a continuación:

Librería de materiales disponible en COMSOL Multiphysics, Contiene más de 30 materiales comunes, como aire, aluminio, ladrillo, hormigón, cobre, vidrio de sílice, silicio, acero estructural y agua.

Librería de materiales AC/DC disponible en módulo AC/DC la cual incluye materiales útiles para el electromagnetismo, como cobre, hierro dulce, cuarzo, grafito, un material histerético de Jiles-Atherton, un imán permanente no lineal y materiales magnéticos duros.

Librería de materiales de Baterías y Pilas de Combustible disponible en el módulo de Baterías y Celdas de Combustible, contiene una serie de electrodos y electrolitos, principalmente para el modelado de baterías de iones de litio, NiMH y plomo-ácido.

Librería de materiales de biocalor disponible en el módulo de transferencia de calor, la cual contiene una serie de materiales relacionados con el cuerpo, como hueso, grasa, hígado, músculo, miocardio, próstata y piel.

Librería de materiales de construcción, disponible en el módulo de transferencia de calor, contiene propiedades térmicas y de humedad para materiales de construcción como hormigón, madera, papel estucado y diferentes tipos de tableros.

Librería de materiales Líquidos y Gases, la cual dispone de propiedades térmicas y de fluidos dependientes de la temperatura para una serie de:

Gases, como aire, nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, helio, vapor y propano Líquidos, como etanol, glicol, gasolina, aceite de transformador y agua

Librería de materiales magnéticos no lineales, incluye propiedades de materiales como curvas de magnetización no lineal para un gran conjunto de aleaciones ferromagnéticas como varios tipos de acero Después de una revisión de literatura acerca del uso de los softwares antes descritos se puede indicar que el programa COMSOL ha sido empleado eficaz y eficientemente en la simulación con electrospray [36], [37], [38], [39].

2. Materiales y Métodos

Con la finalidad de alcanzar el principal objetivo de la investigación: **(OG)** Simular la electrostática de arreglos de capilares a kilovoltios para aplicaciones de electrospray, se utilizará una investigación de tipo experimental ya que se aplicarán pruebas simuladas, mientras que el método a utilizar será el deductivo.

En primer lugar, se realizarán pruebas en diferentes softwares de multifísica con la finalidad de seleccionar la mejor opción informática para el desarrollo del presente estudio, este primer procedimiento permitirá alcanzar los objetivos específicos del estudio: **(OE1)** Construir varios arreglos de formas capilares cilíndricos conductores y una base conductora separados por aire usando un simulador multifísica; **(OE2)** Simular y analizar las líneas de campo eléctrico y la variación de potencial eléctrico entre los capilares a los cuales se aplique alto voltajes positivos; **(OE3)** Simular y analizar las líneas de campo eléctrico y la variación de potencial eléctrico entre los capilares y la base, cuyas capilares se aplique altos voltajes

positivos y voltajes negativos para la base; **(OE4)** Probar arreglos de un capilar, dos capilares, cuatro capilares y seis capilares variando la distancia a 0.05 pulgadas, 1 pulgada y 2 pulgadas. Cada una de las agujas tiene un diámetro de 0.003 pulgadas y una altura de 1 pulgada.

A continuación, usando el software seleccionado, se procederá al diseño y generación de diferentes arreglos de agujas y geometrías, para este proceder se empleará como material el acero inoxidable.

Se diseñarán distintos arreglos capilares para estudiar la distribución de campo eléctrico en varios sistemas capilares.

Los arreglos capilares que se crearán y simularán son:

- Un capilar solo

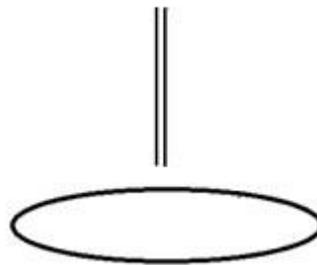


Figura 2. Configuración de simulación con un capilar

- Dos capilares en paralelo

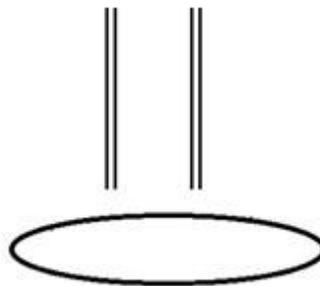


Figura 3. Configuración de simulación con dos capilares

- Cuatro capilares en paralelo

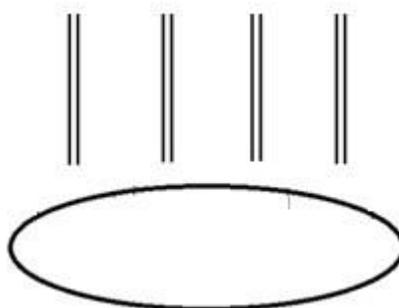


Figura 4. Configuración de simulación con cuatro capilares

- Seis capilares en paralelo

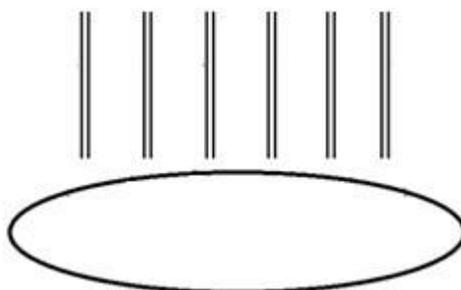


Figura 5. Configuración de simulación con seis capilares

Como base del conductor se crearán y simularán las siguientes opciones:

- Una base de forma circular.
- Una base de forma cuadrada

Posteriormente se procederá a la aplicación de un potencial a las agujas de cada uno de los arreglos y a la base, en este punto conviene aclarar que a las agujas se aplicará tensión positiva mientras que a la base se aplicará tensión negativa y viceversa. Los potenciales serán en el orden de los kilovoltios. Para finalizar se obtendrán las gráficas y valores de línea de campo eléctrico y potencial, las cuales serán analizadas y se repetirá este mismo procedimiento si fuese necesario.

3. Resultados

En el software COMSOL se simuló el entorno de trabajo, compuesto por aire y con los capilares y la base de acero inoxidable. Para la realización de la simulación se aplicó un potencial eléctrico de 1Kv. A continuación, la tabla 1 muestra los arreglos de capilares simulados y la capacitancia obtenida para cada configuración de distancia entre la base y el capilar.

Tabla 1. Capacitancia medida en Faradios obtenida en los arreglos capilares usando una base cuadrada de área de 4 pulgadas.

	0,05 PULGADAS	1 PULGADA	2 PULGADAS
1 AGUJA	$3,1843 \times 10^{-13}$	$2,5382 \times 10^{-13}$	$2,3438 \times 10^{-13}$
2 AGUJAS	$5,4008 \times 10^{-13}$	$3,8486 \times 10^{-13}$	$3,3641 \times 10^{-13}$

4 AGUJAS	8.4684x10 ⁻¹³	5.0988x10 ⁻¹³	4.3801x10 ⁻¹³
6 AGUJAS	1.0667x10 ⁻¹²	5.9210x10 ⁻¹³	4.8534x10 ⁻¹³

Tabla 2. Capacitancia medida en Faradios obtenida en los arreglos capilares usando una base circular de área de 4 pulgadas.

	0,05 PULGADAS	1 PULGADA	2 PULGADAS
1 AGUJA	3,3650x10 ⁻¹³	2.8554x10 ⁻¹³	2.6411x10 ⁻¹³
2 AGUJAS	5.8916x10 ⁻¹³	4.5553x10 ⁻¹³	4.0214x10 ⁻¹³
4 AGUJAS	9.7501x10 ⁻¹³	5.9974x10 ⁻¹³	5.5473x10 ⁻¹³
6 AGUJAS	1.2508x10 ⁻¹²	7.7793x10 ⁻¹³	6.3290x10 ⁻¹³

Ahora se muestran las simulaciones de los distintos arreglos de capilares con las diferentes distancias. En la figura 6 se aprecia el potencial eléctrico obtenido en la simulación con un capilar y con una distancia base-capilar de 0.05 pulgadas, el cual no es uniforme entre el capilar y la base. El espacio se afectó mayormente por la carga positiva del capilar (rojo) que por la carga de la base (azul).

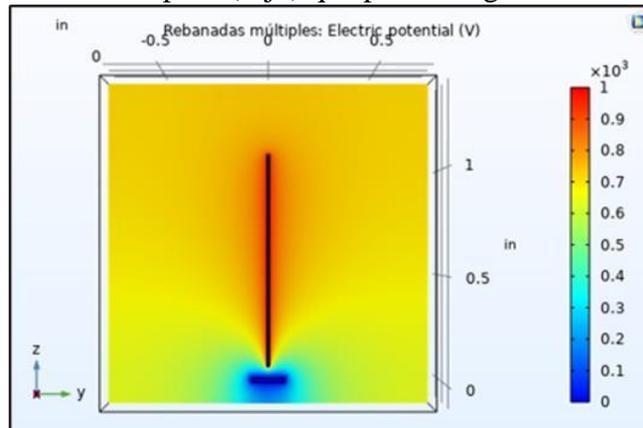


Figura 6. Potencial eléctrico en un arreglo de 1 aguja con distancia de 0.05p

En la figura 7 se observa el potencial eléctrico obtenido en la simulación con dos capilares y con una distancia base-capilar de 0.05 pulgadas.

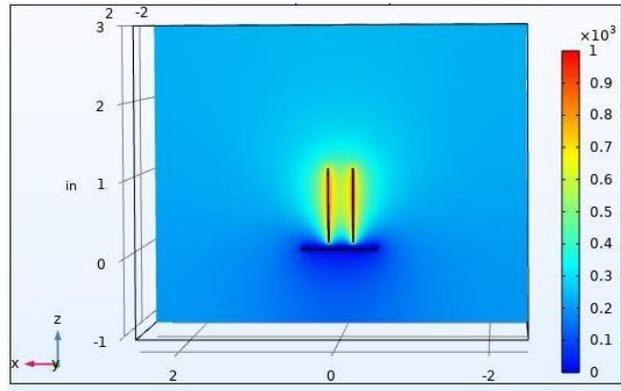


Figura 7. Potencial eléctrico en un arreglo de 2 aguja con distancia de 0.05 pulgadas

En la figura 8 se vislumbra el potencial eléctrico obtenido en la simulación con dos capilares y con una distancia base-capilar de 2 pulgadas.

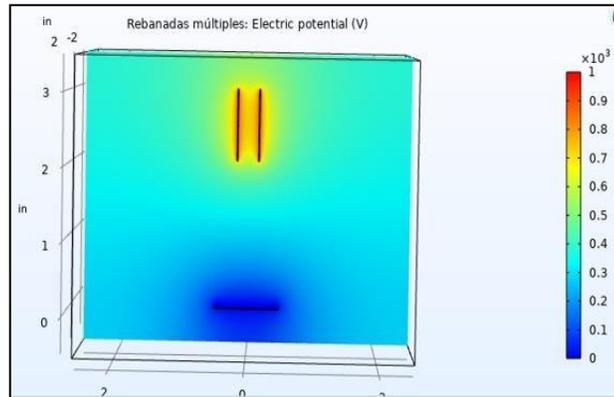


Figura 8. Potencial eléctrico en un arreglo de 2 aguja con distancia de 2 pulgadas

En la figura 9 se vislumbra el potencial eléctrico obtenido en la simulación con cuatro capilares y con una distancia base-capilar de 0.05 pulgadas.

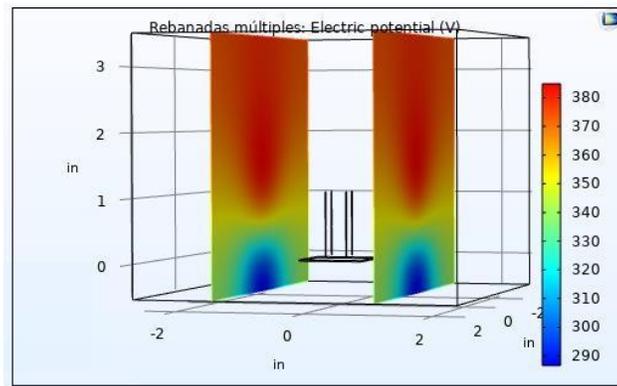


Figura 9. Potencial eléctrico en un arreglo de 4 aguja con distancia de 0.05 pulgadas

En la figura 10 se observa el potencial eléctrico obtenido en la simulación con cuatro capilares y con una distancia base-capilar de 2 pulgadas.

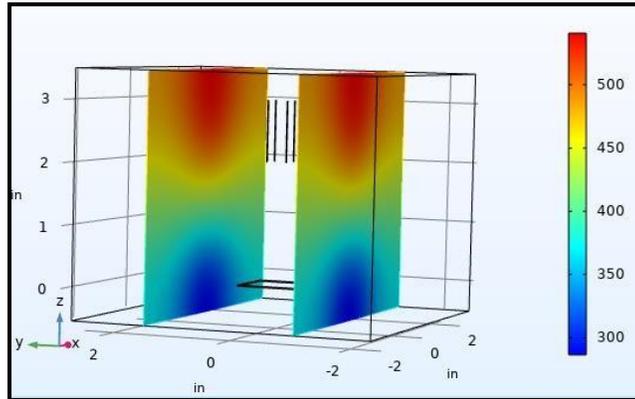


Figura 10. Potencial eléctrico en un arreglo de 4 agujas con distancia de 2 pulgadas

En la figura 11 se observa el potencial eléctrico obtenido en la simulación con seis capilares y con una distancia base-capilar de 0.05 pulgadas.

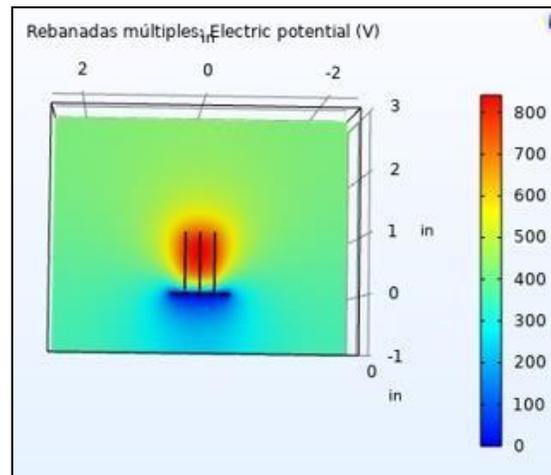


Figura 11. Potencial eléctrico en un arreglo de 6 agujas con distancia de 0.05 pulgadas

En la figura 12 se aprecia el potencial eléctrico obtenido en la simulación con 1 capilar y con una distancia base(circular)-capilar de 1 pulgadas

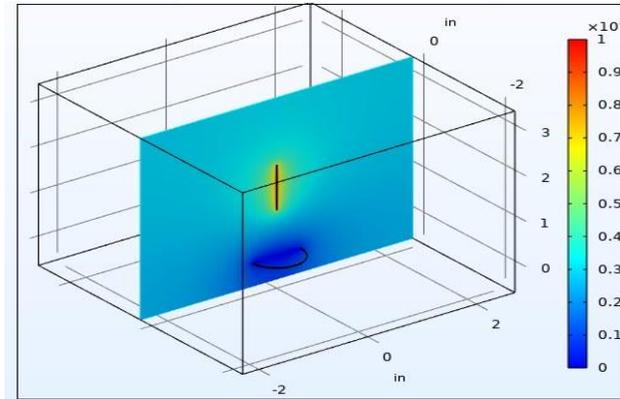


Figura 12. Potencial eléctrico en un arreglo de 1 aguja con distancia de 1 pulgada (base circular)

Para continuar, la figura 13 muestra el campo eléctrico generado con el arreglo capilar de cuatro agujas donde el campo eléctrico se extiende alrededor de las agujas.

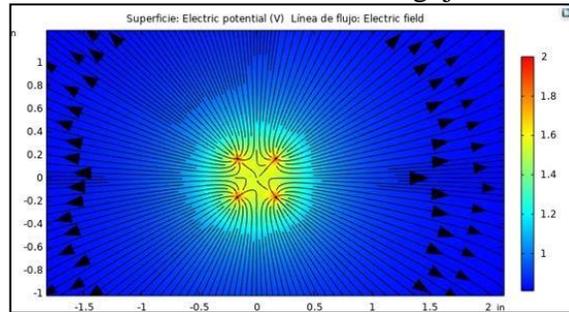


Figura 13. Campo magnético en arreglo capilar de cuatro agujas

4. Conclusiones

Se realizaron las simulaciones de arreglos con uno, dos, cuatro y seis capilares variando la distancia entre base y capilar a 0.05, 1 y 2 pulgadas. Estas simulaciones se realizaron mediante el software COMSOL, y como hallazgo principal se obtuvo que a medida que se aumenta la distancia existente entre la base y capilar, disminuye la capacitancia obtenida, por lo que se puede deducir que existe una relación inversamente proporcional entre estas dos variables. De igual forma, es relevante señalar que la capacitancia obtenida en las simulaciones no varía cuando se aumenta o disminuye el voltaje aplicado al capilar en el orden de los kilovoltios, por lo que se puede concluir que el potencial eléctrico es una variable que no tiene ningún efecto para la capacitancia.

También podemos observar que si cambiamos la forma de la base de cuadrada a circular, manteniendo los mismos parámetros como el voltaje, número de capilares y distancia entre capilar y base, la capacitancia en la base circular es menor que la obtenida en la base cuadrada.

Referencias

- [1] D. C. Morales and F. Del Pozo, “Una breve introducción a la electrónica orgánica: celdas solares y transistores,” *MASKAY*, vol. 11, no. 2, pp. 14–22, May 2021, doi: 10.24133/maskay.v11i2.1927.
- [2] M. Kim, H. S. Yun, and G. H. Kim, “Electric-field assisted 3D-fibrous bioceramic-based scaffolds for bone tissue regeneration: Fabrication, characterization, and in vitro cellular activities,” *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, Dec. 2017, doi: 10.1038/S41598-017-03461-X.
- [3] L. Jiang *et al.*, “Electrohydrodynamic printing of a dielectric elastomer actuator and its application in tunable lenses,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 147, p. 106461, Aug. 2021, doi: 10.1016/J.COMPOSITESA.2021.106461.
- [4] B. Véliz, S. Bermejo, J. Vives, and L. Castañer, “Large area deposition of ordered nanoparticle layers by electrospray,” *Colloid Interface Sci. Commun.*, vol. 25, pp. 16–21, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.COLCOM.2018.06.001.
- [5] B. Véliz, S. Bermejo, A. Orpella, and L. Castañer, “Impedance modeling of silica nanoparticle metal insulator metal capacitors,” *Electrochim. Acta*, vol. 280, pp. 62–70, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.ELECTACTA.2018.05.084.
- [6] A. B. Pomilio, E. A. Bernatene, and A. A. Vitale, “Espectrometría de masas en condiciones ambientales con ionización por desorción con electrospray,” 2019, Accessed: Jan. 26, 2022. [Online]. Available: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/67836>.
- [7] A. F. Kip, *Fundamentos de electricidad y magnetismo*. Mexico: McGraw-Hill, 1982.
- [8] C. Hernández and S. José, “Análisis de distribuciones de carga espacial emitidas por atomización electrohidrodinámica (electrospray) en vacío,” Oct. 2018.
- [9] C. López and I. Pereda, “Diseño y análisis de un sistema modular de dispensación de fluidos a base de electrospray PROBLEMA OBJETIVO GENERAL PROPUESTA RESULTADOS CONCLUSIONES.”
- [10] S. J. Gaskell, “Electrospray: Principles and practice,” *J. Mass Spectrom.*, vol. 32, no. 7, pp. 677–688, Jul. 1997, doi: 10.1002/(SICI)1096-9888(199707)32:7<677::AID-JMS536>3.0.CO;2-G.
- [11] H. Cheng, X. Yan, and R. N. Zare, “Two New Devices for Identifying Electrochemical Reaction Intermediates with Desorption Electrospray Ionization Mass Spectrometry,” *Anal. Chem.*, vol. 89, no. 5, pp. 3191–3198, Mar. 2017, doi: 10.1021/ACS.ANALCHEM.6B05124.
- [12] S. Banerjee *et al.*, “Diagnosis of prostate cancer by desorption electrospray ionization mass spectrometric imaging of small metabolites and lipids,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 114, no. 13, pp. 3334–3339, Mar. 2017, doi: 10.1073/PNAS.1700677114/-/DCSUPPLEMENTAL.
- [13] V. G. Dos Santos, R. J. Alves, M. N. Eberlin, G. A. Pianetti, and I. C. César, “Electrospray ionization tandem mass spectrometry of the two main antimalarial drugs: artemether and lumefantrine,” *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 23, no. 1, pp. 65–71, 2012, doi: 10.1590/S010350532012000100010.
- [14] J. Z. Dávalos, V. L. Romero, J. I. Sánchez, J. Chávez, and A. Valderrama-Negrón, “Caracterización, mediante espectrometría de masas de alta resolución MALDI/FT-ICR, de taninos hidrolizables de la tara (*Caesalpinia spinosa*),” *Rev. la Soc. Química del Perú*, vol. 83, no. 1, pp. 106–114, 2017, Accessed: Jan. 26, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810634X2017000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

- [15] J. C. Benítez-Villalba *et al.*, “Validation of an analysis method for benzophenones in a soil sample through pressurized liquid extraction and liquid chromatograph coupled to tandem mass spectrometry,” *Reportes científicos la FACEN*, vol. 9, no. 1, pp. 51–63, Jun. 2018, doi: 10.18004/RCFACEN.2018.9.1.51.
- [16] M. C. B. Moraes and C. L. Do Lago, “Espectrometria de massas com ionização por ‘electrospray’ aplicada ao estudo de espécies inorgânicas e organometálicas,” *Quim. Nova*, vol. 26, no. 4, pp. 556–563, 2003, doi: 10.1590/S0100-40422003000400019.
- [17] T. Kim, A. Canlier, G. H. Kim, J. Choi, M. Park, and S. M. Han, “Electrostatic spray deposition of highly transparent silver nanowire electrode on flexible substrate,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 5, no. 3, pp. 788–794, Feb. 2013, doi: 10.1021/AM3023543.
- [18] S. Khan, Y. H. Doh, A. Khan, A. Rahman, K. H. Choi, and D. S. Kim, “Direct patterning and electro spray deposition through EHD for fabrication of printed thin film transistors,” *Curr. Appl. Phys.*, vol. 11, no. 1 SUPPL., Jan. 2011, doi: 10.1016/J.CAP.2010.11.044.
- [19] L. Chang, C. Li, H. Ouyang, J. Huang, Q. Huang, and Z. Xu, “Flexible NiCo₂O₄@carbon/carbon nanofiber electrodes fabricated by a combined electro spray/electrospinning technique for supercapacitors,” *Mater. Lett.*, vol. 240, pp. 21–24, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.MATLET.2018.12.062.
- [20] L. Y. Yeo, Z. Gagnon, and H. C. Chang, “AC electro spray biomaterials synthesis,” *Biomaterials*, vol. 26, no. 31, pp. 6122–6128, Nov. 2005, doi: 10.1016/J.BIOMATERIALS.2005.03.033.
- [21] H. R. Pant *et al.*, “Immobilization of TiO₂ nanofibers on reduced graphene sheets: Novel strategy in electrospinning,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 457, pp. 174–179, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.JCIS.2015.06.043.
- [22] J. T. Román *et al.*, “Pullulan nanofibers containing the antimicrobial palindromic peptide LfcinB (21–25) Pal obtained via electrospinning,” *RSC Adv.*, vol. 9, no. 35, pp. 20432–20438, Jul. 2019, doi: 10.1039/C9RA03643A.
- [23] C. HUANG, J. LI, and M. LI, “Performance measurement and evaluation of an ionic liquid electro spray thruster,” *Chinese J. Aeronaut.*, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.CJA.2021.10.030.
- [24] N. M. Uchizono *et al.*, “Emission Modes in Electro spray Thrusters Operating with High Conductivity Ionic Liquids,” *Aerosp. 2020, Vol. 7, Page 141*, vol. 7, no. 10, p. 141, Sep. 2020, doi: 10.3390/AEROSPACE7100141.
- [25] E. Sokol, R. J. Noll, R. G. Cooks, L. W. Beegle, H. I. Kim, and I. Kanik, “Miniature mass spectrometer equipped with electro spray and desorption electro spray ionization for direct analysis of organics from solids and solutions,” *Int. J. Mass Spectrom.*, vol. 306, no. 2–3, pp. 187–195, Sep. 2011, doi: 10.1016/J.IJMS.2010.10.019.
- [26] O. Salata, “Tools of Nanotechnology: Electro spray,” *Curr. Nanosci.*, vol. 1, no. 1, pp. 25–33, Mar. 2006, doi: 10.2174/1573413052953192.
- [27] P. David and G. Gómez, “Tesis Doctoral,” 2010.
- [28] E. S. Ruiz Silva, “Diseño y construcción de una máquina de electrohilado vertical de 0 a 15 KV para generar nanofibras a base del polímero polisiloxano,” 2020, Accessed: Jan. 27, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/30661>.
- [29] J. J. Arias Ortega and Y. M. Cantuña Tonguino, “Diseño y construcción de un equipo para la producción de microfibras a través de la técnica de Melt Electrospinning mediante un extrusor de husillo,” Fuerzas Armadas ESPE, Quito, 2018.

- [30] I. J. Maldonado Aylwin, “Evaluación de un propulsor electrospray para misiones de CubeSats de tres unidades,” 2018, Accessed: Jan. 27, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168476>.
- [31] H. Huh and R. Wirz, “Numerical Simulation of Electrospray Thruster Extraction,” 2019.
- [32] P. Jurčiček, H. Zou, and S. Gao, “Design, simulation, and fabrication of a MEMS-based air amplifier for electrospray ionization,” <https://doi.org/10.1117/1.JMM.12.2.023006>, vol. 12, no. 2, p. 023006, May 2013, doi: 10.1117/1.JMM.12.2.023006.
- [33] Z. Yin, J. Huang, H. Miao, O. Hu, and H. Li, “High-Pressure Electrospray Ionization Yields Supercharged Protein Complexes from Native Solutions while Preserving Noncovalent Interactions,” *Anal. Chem.*, vol. 92, no. 18, pp. 12312–12321, Sep. 2020, doi: 10.1021/ACS.ANALCHEM.0C01965/SUPPL_FILE/AC0C01965_SI_001.PDF.
- [34] “COMSOL - Software for Multiphysics Simulation.” <https://www.comsol.com/> (accessed Jan. 27, 2022).
- [35] “Using the Material Libraries in COMSOL Multiphysics® | COMSOL Blog.” <https://www.comsol.com/blogs/using-the-material-libraries-in-comsol-multiphysics/> (accessed Feb. 06, 2022).
- [36] K. S. Rao, Y. S. S. Kumar, K. S. S. Rohini, P. Ravi, K. G. Sravani, and P. A. Kumar, “Design and analysis of MEMS based electrospray thruster,” *Microsyst. Technol.* 2020 266, vol. 26, no. 6, pp. 2005–2012, Feb. 2020, doi: 10.1007/S00542-020-04751-7.
- [37] X. Zhong, R. Yi, A. E. Holliday, and D. D. Y. Chen, “Field distribution in an electrospray ionization source determined by finite element method,” *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, vol. 23, no. 5, pp. 689–697, Mar. 2009, doi: 10.1002/RCM.3914.
- [38] E. J. Maxwell, X. Zhong, and D. D. Y. Chen, “Asymmetrical Emitter Geometries for Increased Range of Stable Electrospray Flow Rates,” *Anal. Chem.*, vol. 82, no. 20, pp. 8377–8381, Oct. 2010, doi: 10.1021/AC1017953.
- [39] W. Deng, J. F. Klemic, X. Li, M. A. Reed, and A. Gomez, “Increase of electrospray throughput using multiplexed microfabricated sources for the scalable generation of monodisperse droplets,” *J. Aerosol Sci.*, vol. 37, no. 6, pp. 696–714, Jun. 2006, doi: 10.1016/J.JAEROSCI.2005.05.011.