



Valores Óptimos del Campo Eléctrico en un Evaporador para Arco Pulsado

F. Bermeo^{1,2,3}, A. Devia¹, C. Salazar¹, D. Agudelo¹, H. Sanchez², P. J. Arango¹

¹ Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

² Universidad del Valle, Escuela de Materiales, Cali Valle Colombia

³ Universidad Santiago de Cali, Valle Colombia

Recibido 22 de Oct. 2007; Aceptado 16 de Jun. 2008; Publicado en línea 25 de Jul. 2008

Resumen

Se ha calculado la configuración del campo eléctrico producido por un anillo cargado y se han reconocido las regiones donde la magnitud del campo es máxima, donde el gradiente es constante y donde las líneas de campo son convergentes o divergentes. Estas configuraciones muestran las posiciones en las cuales se pueden obtener las máximas aceleraciones sobre partículas cargadas, así como posiciones donde las aceleraciones pueden ser casi uniformes; cuando se superponen las configuraciones del campo eléctrico, de ánodo y cátodo cargados, se obtienen valores óptimos del campo eléctrico en un evaporador para arco.

Palabras claves: Campo eléctrico, anillo, convergencia, gradiente, evaporador, arco pulsado.

Abstract

The electrical field configuration produced by a charged ring has been calculated and has been recognized the regions where the magnitude of the field is maximum, has been determined where the Gradient is constant and where the field lines are convergent or divergent. These configurations show the positions in which the maximum accelerations can be obtained on charged particles, as well as position where the accelerations can be almost uniform; when those configurations of electric field are superposed, for anode and charged cathode, are obtained optimal values of the electrical field in one evaporator of pulsed.

Key Words: Electric field, ring, convergence, configuration, gradient, evaporator, pulsed arc.

© 2008 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

La técnica de deposición Física en Fase de Vapor Asistida por Plasma por arco pulsado (PA-PAPVD) utiliza un sistema reactor cuyo evaporador esta formado por dos electrodos enfrentados, ánodo y cátodo, con la muestra en el ánodo [1]. Otra alternativa de evaporador utiliza cátodo y ánodo anular enfrentados y la muestra se coloca fuera del ánodo, además se orienta la dirección de propagación del plasma hacia la muestra a través de un potencial Bias; se ha investigado la influencia de estos ánodos anulares, para diferentes diámetros internos, sobre el transporte del plasma [2]. En esta técnica, usualmente se realizan ensayos a diferentes distancias de separación cátodo-ánodo-muestra con el obje-

tivo de conseguir las condiciones en las cuales se da el recubrimiento requerido.[3] No existe un modelo que permita optimizar estas distancias para diferentes aplicaciones.

2. Calculos Teóricos

El campo eléctrico de un anillo de carga Q y radio a , para un punto fuera del eje se ha calculado utilizando coordenadas rectangulares, parametrizando el vector posición e introduciendo las transformaciones necesarias, se encuentran las componentes del campo con integrales elípticas [4], Utilizando el programa Mathematica se representa la magnitud del campo eléctrico neto en el plano X-Z, su solución es:

$$F = \left(\frac{a \cos b^2 (\pi - dc)^2}{(1+a)^3 (1-d)^2} + \left(\frac{(\pi - dc)}{2(1+a)^{1/2} (1-d)} - \frac{2\sqrt{2}\sqrt{a} \sin b}{(1+a)^{5/2} (1-d)} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

Donde $a = x^2 + z^2$; $c = \pi - \sqrt{2}$
 $b = \text{Arc tan} \left(\frac{x}{z} \right)$; $d = \frac{2\sqrt{a} \sin b}{1+a}$

3. Representacion Gráfica

La representación grafica se obtiene con el mando `Plot3D[F,{x,-100,100},{z,-100,100},AxesLabel->{"eje x","eje z","F"}]`; La imagen se muestra en la figura 1. La configuración ilustra la magnitud del campo para los cuatro cuadrantes del plano cartesiano visto desde lejos; en **X** desde -100 a 100, e igual para **Z**. los ejes tienen unidades normalizadas X/a y Z/a , la magnitud del campo se da en unidades relativas. En la imagen se reconoce una depresión en el centro del anillo, lo que se interpreta como una menor magnitud del campo, mientras que alrededor del anillo la magnitud del campo es mayor.

Un corte a lo largo de uno de sus diámetros, se muestra en el figura 2. para una región mas estrecha, **x** va desde -20 a 20 y se reconoce que en el centro del anillo la magnitud del campo eléctrico no es nulo y aumenta la magnitud cuando nos alejamos del centro, tanto a la izquierda como a la derecha, hasta que se hace máximo y luego empieza a decaer. En el eje **Z**, representado de 0 a 1, a partir del origen aumenta rápidamente en un tramo corto y luego parece disminuir lentamente. En la figura 3, se ha representado el campo eléctrico para un solo cuadrante la configuración del campo eléctrico. En este grafico se reconoce con más claridad la magnitud del campo (F) a lo largo del eje **x**, desde el centro del anillo el campo aumenta hasta un valor infinito, justo en el borde del anillo y en **z** se reconoce que aumenta hasta 0.7 y luego disminuye. También se reconoce una franja, donde los campos son máximos en **z**, que al parecer tienen pocas variaciones en **x** y en **z**.

Un corte en dos dimensiones y a diferente **z** permite otra óptica de la configuración, como se ilustra en el grafico 2. Se evalúa en los cortes de interés, $z=1.1$; para obtener una nueva función; igual se repite para otros cortes y luego se ordena al programa su representación de todos los cortes en un solo grafico.

En la figura 4 se ha encontrado que a una distancia aproximada a $z=0.7$, la magnitud del campo es máxima en el interior del anillo, lo anterior también se puede corroborar representando el gradiente del campo, representado en la figura 5, en cual se reconoce la zona en blanco donde el gradiente no cambia (máximo campo) y ocurre a una distancia aproximada de $z=0.7$.

Lo anterior significa que la máxima aceleración que un anillo, de radio **a**, cargado puede producir alrededor de su

centro, se localiza a una distancia $Z=0.7a$ y además la zona tiene un radio aproximado de $0.5a$.

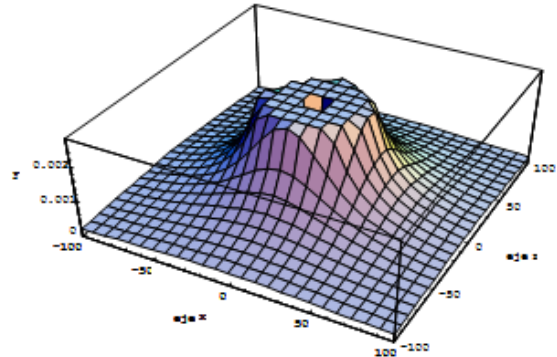


Fig.1 Campo eléctrico, (F), a grandes distancias dentro y fuera del anillo, a lo largo del eje radial ($-100 < x/a < 100$) y lejos al plano del anillo ($-100 < Z/a < 100$).

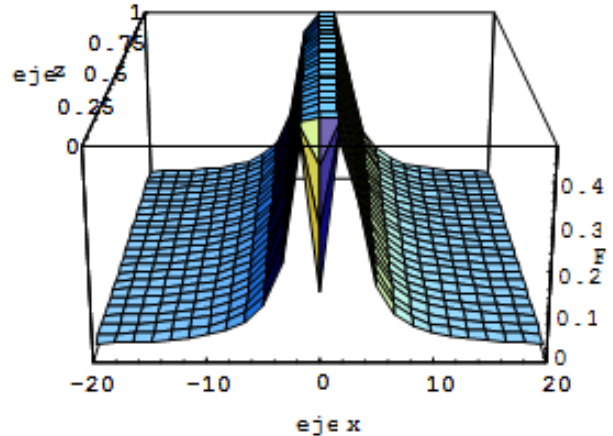


Fig.2 campo eléctrico (F) cerca al plano del anillo ($0 < Z/a < 1$), y dentro y fuera del anillo ($-20 < X/a < 20$)

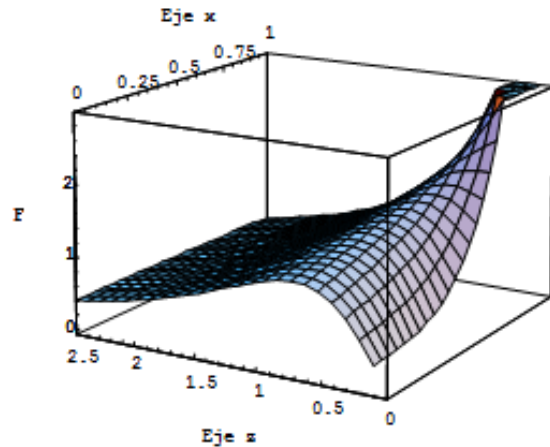


Fig.3 Campo eléctrico (F), en el interior del anillo, desde el centro hasta el borde interno a lo largo del radio (X) y para diferentes distancias (Z), cercanas al Planodel anillo.

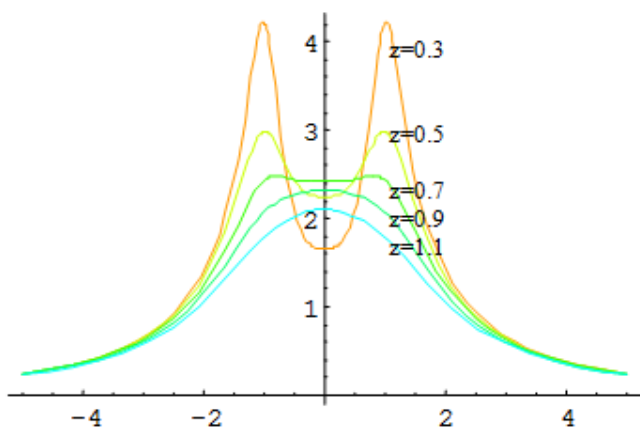


Fig.4 Magnitud del campo (F) a lo largo del diámetro del anillo, desde $-5a$ 5 para diferentes distancias z .

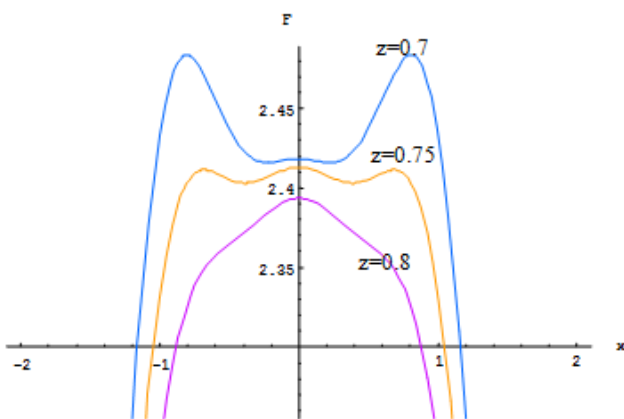


Fig.5 Magnitud del campo (F) a lo largo del diámetro del anillo para $z= 0.7, 0.75, 0.8$.

Para un evaporador conformado por ánodo anular y disco como cátodo, la configuración del campo eléctrico neto, en primera aproximación y en el espacio comprendido entre ellos, esta determinada por el anillo.

Las variaciones del campo a lo largo del eje radial son muy grandes para z pequeños, sin embargo, muy cerca a $z=0.7$ las magnitudes del campo varían muy poco, a partir de aquí pueden obtenerse campos casi uniformes pero de magnitud un poco menor que en los puntos donde los campos son máximos. Para $Z=0.75a$ el efecto de bordes disminuye sustancialmente, tal que en el interior del anillo la magnitud del campo tiene variaciones menores al 1%. La distancia desde el cátodo al ánodo para garantizar una aceleración aproximadamente uniforme del plasma es $Z=0.75a$.

Las zonas de convergencia y divergencia se reconocen en el grafico3, en el cual se ha representado la componente del campo en el eje x desde -1.05 a 1.05 y para z , desde 0 a 0.7 . El grafico muestra zonas de convergencia en el interior del anillo; a partir del centro del anillo desde aproximadamente $x=0.3$ hasta el borde del anillo y desde $z=0$ hasta $z=0.3$, simétricamente en el otro lado del interior del anillo, en el

centro del anillo la componente en x es nula y a lo largo del eje z ; para otros puntos del espacio la componente es divergente. La magnitud de la componente no es constante, En el grafico se reconocen las zonas de convergencia y divergencia, aunque la convergencia se da muy cerca al anillo su efecto neto no es tan alto.

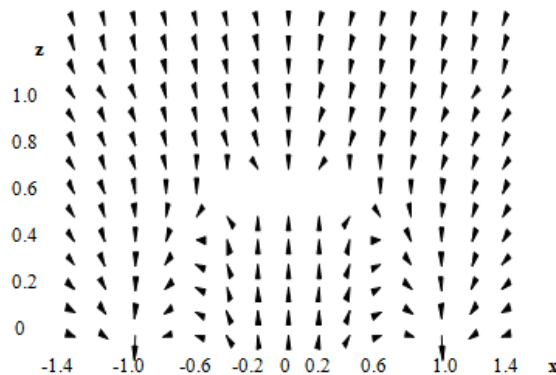


Fig.6 Representación del gradiente del campo a lo largo del diámetro (x) desde -1.4 a 1.4 y a lo largo del eje z desde 0 a 1.4 .

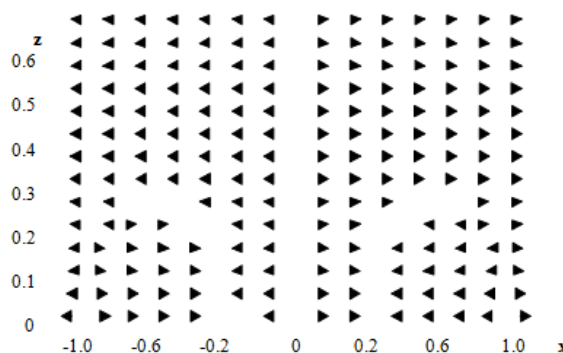


Fig.7 Representación de la dirección del campo debido a la contribución en el eje x , en el eje radial desde -1.05 a 1.05 y para z , desde 0 a 0.7 .

Conclusiones

El campo eléctrico generado por un anillo uniformemente cargado tiene una región donde el gradiente es nulo, el campo es máximo, aunque muy cerca del anillo el efecto de bordes es significativo y de mayor magnitud. Esta región se extiende a lo largo de una distancia $0.5a$ alrededor del eje del anillo de diámetro $2a$ y a una distancia z sobre el eje del anillo de $z=0.7a$. Muy cerca de esta zona; existe otra región, a $z=0.75a$, donde el efecto de borde disminuye y la magnitud del campo es aproximadamente uniforme y se extiende a una distancia $0.8a$, alrededor del eje del anillo. Igualmente se reconoce una zona de convergencia de las líneas de campo que empiezan desde los bordes del anillo hacia su interior y desde $z=0$ hasta aproximadamente $z=0.3a$.

Referencias

[1] A. Devia, V. Benavides, E. Restrepo, D.F. Arias and R, Vacuum, Volume 81, Issue 3, 24, Pages 378-384, October 2006.

- [2] V.N. Zhitomirsky, R.L. Boxman and S Goldsmith Surface and Coatings Technology, Volumes 188-189 Pages 220-227, November-December 2004.
 - [3] Hirofumi TakikawaU, Koji Shinsako, Tateki Sakakibara, Thin Solid Films 316 73/78, 1998
 - [4] Zypman F. R., Am. J. Phys. 74 (4), pp. 295-300, April 2006.
 - [5] A.S.C.M. D'Oliveira, R.S.C. Paredes and R.L.C Journal of Materials Processing Technology, Volume 171, Issue 2, 20, Pages 167-174, January 2006.
-