

# URSI'19

## XXXIV

SIMPOSIUM NACIONAL  
DE LA UNIÓN CIENTÍFICA  
INTERNACIONAL DE RADIO



SEVILLA, 4 al 6 de septiembre de 2019

# LIBRO DE RESÚMENES



[www.ursisevilla2019.es](http://www.ursisevilla2019.es)

**Editan:** Comité Organizador y Científico XXXIV Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio

**Coordinación Editorial:** Javier Reina Tosina, María José Madero Ayora, Carlos Crespo Cadenas, Francisco Mesa Ledesma

**Secretaría Técnica:** Viajes El Corte Inglés

**Diseño y Maquetación:** Juan Antonio Becerra González

**Diseño de portada:** José R. Fernández, POLIEDRO, Imagen & Comunicación

**Impresión:** Copi-Andalusí

**ISBN:** 978-84-09-12961-4



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional

---

<b>11:45</b>	Nuevo modelo del efecto multipactor para guías rectangulares parcialmente rellenas de dieléctrico	167
<b>12:00</b>	Filtros paso banda basados en saltos de impedancia con alta selectividad	167
<b>12:15</b>	Técnicas numéricas avanzadas para el cálculo del campo electrostático en guías de onda rectangulares con dieléctrico	168
<b>12:30</b>	Implementación de dispositivos de resonadores acoplados mediante algoritmos ASM	168

# Nuevo modelo del efecto multipactor para guías rectangulares parcialmente rellenas de dieléctrico

Andrés Berenguer Alonso<sup>(1)</sup>, Ángela Covés Soler<sup>(1)</sup>, Francisco Mesa Ledesma<sup>(2)</sup>,

Enrique Bronchalo Bronchalo<sup>(1)</sup> and Benito Gimeno Martínez<sup>(3)</sup>

aberenguer@umh.es, angela.coves@umh.es, mesa@us.es, ebronchalo@umh.es, benito.gimeno@uv.es

<sup>(1)</sup>Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones-I3E, Universidad Miguel Hernández de Elche, 03202 Elche, Alicante

<sup>(2)</sup>Dpto. de Física Aplicada I, Universidad de Sevilla, Sevilla

<sup>(3)</sup>Dpto. de Física Aplicada y Electromagnetismo-IFIC, Universidad de Valencia, Burjassot, Valencia

**Resumen**—In this work it is shown a new model for the analysis of multipactor effect in partially dielectric-loaded rectangular waveguides. For this purpose, a CAD software has been developed which solves the dynamics of the electron inside this waveguides, taking into account the RF electromagnetic fields and the DC electric field that appears because of the charging of the dielectric surfaces. This electrostatic field is obtained by computing the electric potential produced by an arbitrary charge distribution on the dielectric surface, which has been particularized to a waveguide loaded with a thin dielectric layer. The electron trajectory is then found by numerically solving the equations of motion.

## I. INTRODUCCIÓN

El efecto multipactor es una descarga de electrones que se observa con frecuencia en los subsistemas de ondas milimétricas y de microondas que operan en condiciones de vacío y en régimen de alta potencia. Este fenómeno puede aparecer en una amplia gama de escenarios diferentes, como en los componentes pasivos de las cargas útiles de los satélites de comunicaciones, en los tubos de onda viajera o en los aceleradores de partículas. Bajo ciertas condiciones de resonancia, los electrones secundarios generados en dichos dispositivos se pueden sincronizar con los campos de RF y la población de electrones en el interior del dispositivo crece exponencialmente, lo cual desencadena una descarga multipactor, que puede llegar incluso a inutilizar el componente. Algunos trabajos [1] aprovechan las denominadas cartas de susceptibilidad (regiones de tensión y frecuencia susceptibles de aparición de una descarga multipactor), disponibles para guías de placas planoparalelas y obtenidas con modelos analíticos, y se usan directamente para predecir la aparición de una descarga en el componente bajo estudio (en el punto del componente donde el campo sea más intenso). Sin embargo, tales cartas de susceptibilidad no tienen en cuenta efectos importantes, como la dependencia de estas cartas con los electrones elásticos e inelásticos, así como el carácter 3D del movimiento de los electrones dentro de la guía de ondas, o la naturaleza no uniforme de los campos electromagnéticos en el componente. Por otro lado, el efecto multipactor en presencia de dieléctricos se ha investigado ampliamente en el contexto de los aceleradores de partículas [2], pero se pueden encontrar muy pocas contribuciones acerca del estudio del efecto multipactor en dieléctricos en el escenario de sistemas de RF para aplicaciones espaciales [3]–[5], y la mayoría son bajo la aproximación de guía de placas planoparalelas. Por ello, el presente estudio analiza el efecto multipactor

en dispositivos que involucran guías de onda rectangulares parcialmente rellenas de dieléctrico, que son de mayor interés práctico para las tecnologías satelitales.

En la Sección II, se presenta el modelo teórico empleado para las simulaciones. En la Sección III se analizan los resultados de predicción de multipactor en una guía rectangular cargada con dieléctrico, obteniendo la carta de susceptibilidad de la guía con el modelo desarrollado, y se estudia y discute la evolución temporal de una descarga en esta guía. Finalmente, la Sección IV resume las principales conclusiones del trabajo.

## II. TEORÍA

La Fig.1 muestra la sección transversal de una guía rectangular de dimensiones  $a \times b$ , parcialmente rellena de una lámina dieléctrica de permitividad relativa  $\epsilon_r$  y dimensiones  $a \times h$ , situada sobre la pared inferior de la guía, siendo  $d$  la altura de la región vacía donde los electrones pueden viajar.

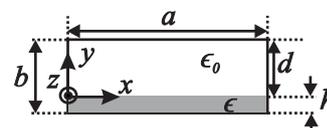


Fig. 1. Sección transversal de la guía rectangular parcialmente rellena de dieléctrico bajo estudio.

### A. Dinámica del electrón

La dinámica del electrón dentro de la guía está gobernada por la fuerza de Lorentz y se relaciona con su momento lineal,

$$\mathbf{F}_L = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) = \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial t} \quad (1)$$

donde  $q = -e$  es la carga del electrón,  $\mathbf{E}$  y  $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$  son los campos eléctrico y magnético que interactúan con el electrón,  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética del vacío, y  $\mathbf{v}$  es la velocidad del electrón. El momento lineal relativista se define como

$$\mathbf{p} = m_0 \gamma \mathbf{v} \quad (2)$$

donde  $m_0$  es la masa del electrón en reposo,  $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$  es el factor de Lorentz,  $v$  el módulo de la velocidad,  $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$  la velocidad de la luz en el vacío, y  $\epsilon_0$  la permitividad dieléctrica del vacío. Combinando (1) y (2), se obtiene la siguiente ecuación diferencial de movimiento,

$$\ddot{\mathbf{r}} = \frac{-\dot{\mathbf{r}} \times \mathbf{B} - \mathbf{E} + \dot{\mathbf{r}} \cdot (\dot{\mathbf{r}} \cdot \mathbf{E})/c^2}{A\gamma} \quad (3)$$

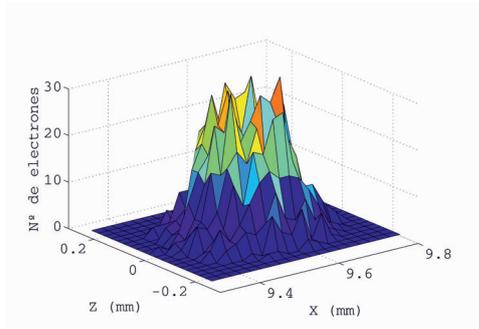


Fig. 5. Posiciones de llegada de 1000 electrones a la pared superior de la guía, lanzados desde el centro de la superficie dieléctrica inferior, considerando energías y ángulos de salida aleatorios.

fácilmente la distribución de las posiciones de llegada en el impacto  $n$ -ésimo realizando una convolución de la Gaussiana del paso previo con una gaussiana 2D de desviación típica de  $44\mu\text{m}$ . El resultado es una nueva Gaussiana con  $\sigma_x = \sigma_z \simeq \sqrt{n} \cdot 44\mu\text{m}$ , siendo  $n$  el número de impacto. Dado el punto seleccionado de multipactor de primer orden, para cada ciclo de RF, habrá dos impactos, uno en cada pared, y por tanto  $\sigma_x = \sigma_z \simeq \sqrt{2N_{\text{ciclos}}} \cdot 44\mu\text{m}$ . Todo ello se ha obtenido despreciando la repulsión mutua y otros efectos de carga espacial. El régimen de crecimiento exponencial dura aproximadamente hasta el ciclo 12.5, como se muestra en la Fig. 4. Tras el ciclo 12.5, tendremos por tanto una distribución Gaussiana 2D de las posiciones de impacto con desviación estándar  $\sigma_x = \sigma_z \simeq \sqrt{2 \cdot 12,5} \cdot 44\mu\text{m} = 220\mu\text{m}$ . Por tanto, tras 12.5 ciclos de RF, cuando termina el régimen de crecimiento exponencial de la población por la aparición del campo DC debido a la aparición de cargas sobre el dieléctrico, el diámetro de la gaussiana resulta ser del orden de 0.5 mm, que es un tamaño relativamente pequeño, y comparable a la región en la que se mueve el electrón efectivo durante toda la simulación mostrada en la Fig. 4, lo cual valida los resultados obtenidos en la misma. Por tanto, estas simulaciones demuestran que el modelo de electrón efectivo se puede usar para energías cinéticas de impacto elevadas de los electrones, como es el caso bajo condiciones de resonancia (dentro de la región de multipactor de la Fig. 3), al lanzar el electrón efectivo cerca del centro de la guía, donde el campo eléctrico es más intenso.

#### IV. CONCLUSIONES

Se ha presentado un nuevo modelo para analizar el efecto multipactor en guías rectangulares parcialmente rellenas de material dieléctrico. Se han analizado las condiciones en las que aparece dicho efecto indeseado de forma rigurosa, a través de la carta de susceptibilidad de la guía. Para validar el simulador desarrollado basado en el modelo de electrón efectivo, se ha llevado a cabo el estudio de la evolución temporal del multipactor en un punto dentro de la región de multipactor de un caso particular de guía parcialmente rellena de una lámina delgada de dieléctrico situada en la pared inferior de la guía. Para este ejemplo, se ha comprobado, a través de simulaciones de 1000 electrones individuales, que la dispersión de las posiciones de impacto de los electrones en las paredes de la guía es relativamente pequeña tras un

numero suficientemente elevado de ciclos, y similar a la de un electrón efectivo que represente dicha población total de electrones, validando por tanto el modelo de electrón efectivo asumido en este problema.

#### ACKNOWLEDGEMENT

Este trabajo ha sido financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER Una manera de hacer Europa (AEI/FEDER, UE) (proyecto TEC2016-75934-C4-2-R).

#### REFERENCIAS

- [1] F. Quesada, V.E. Boria, B. Gimeno, D. Cañete, J. Pascual, A. Álvarez, J. Hueso, D. Schmitt, D. Raboso, C. Ernst and I. Hidalgo, "Investigation of multipactor phenomena in inductively coupled passive waveguide components for space applications," in *IEEE MTT-S Digest*, San Francisco, CA, USA, 2006, 246-249.
- [2] J. Power, W. Gai, S. H. Gold, A. K. Kinkead, R. Konecny, C. Jing, W. Liu, and Z. Yusof, "Observation of multipactor in an alumina-based dielectric-loaded accelerating structure," *Physical Review Letter*, Vol. 92, No. 16, 164801-164801, April 2004.
- [3] G. Torregrosa, A. Coves, C. P. Vicente, A. M. Pérez, B. Gimeno, and V. E. Boria, "Time evolution of an electron discharge in a parallel-plate dielectric-loaded waveguide," *IEEE Electron Device Lett.*, Vol. 27, No. 7, 629-631, July 2006.
- [4] A. Coves, G. Torregrosa, C. P. Vicente, A. M. Pérez, B. Gimeno, and V. E. Boria, "Multipactor discharges in parallel plate dielectric-loaded waveguides including space-charge effects," *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. 55, No. 9, 2505-2511, September 2008.
- [5] G. Torregrosa, A. Coves, B. Gimeno, I. Montero, C. P. Vicente, and V. E. Boria, "Multipactor Susceptibility Charts of a Parallel-Plate Dielectric-Loaded Waveguide," *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. 57, No. 5, 1160-1166, May 2010.
- [6] A. Berenguer, A. Coves, E. Bronchalo, B. Gimeno, and V. E. Boria, "Analysis of multipactor effect in parallel-plate and rectangular waveguides," in *Proc. PIERS*, Prague, Czech Republic, pp. 1564-1568, Jul. 2015.
- [7] R. F. Harrington, "Time-Harmonic Electromagnetic Fields," *Wiley-IEEE Press*, 2001.
- [8] C. A. Balanis, "Advanced Engineering Electromagnetics," *2nd Ed.*, Wiley, 2012.
- [9] D. J. Griffiths, "Introduction to Electrodynamics," *3rd Ed.*, Pearson, 2008.
- [10] R. E. Collin, "Field Theory of Guided Waves," *2nd Ed.*, IEEE Press, 1990.
- [11] A. Berenguer, A. Coves, F. Mesa, E. Bronchalo, B. Gimeno, and V. E. Boria, "Calculation of the Electrostatic Field in a Dielectric-loaded Waveguide Due to an Arbitrary Charge Distribution on the Dielectric Layer," in *Proc. PIERS*, Shanghai, China, pp. 3251-3255, Aug. 2016.
- [12] R. Vaughan, "A New Formula for Secondary Emission Yield," *IEEE Trans. Elec. Devices*, vol. 36, pp. 1963-1967, 1989.
- [13] J. J. Scholtz, D. Dijkkamp, and R.W.A. Schmitz, "Secondary electron emission properties," *Philips J. Res.*, Vol. 50, pp. 375-389, 1996.
- [14] A. Berenguer, A. Coves, F. Mesa, E. Bronchalo, and B. Gimeno, "Analysis of multipactor effect in a partially dielectric-loaded rectangular waveguide," *IEEE Trans. Plas. Sci.*, Vol. 47, No. 1, 259-265, Jan. 2019.