

ANTENA DE MICROCINTA FRACTAL PARA APLICACIONES RFID EN 2.4GHZ CON SUBSTRATO SUSPENDIDO

Drichel Angel Arango Curbelo¹, Taimir Alain Morales Roche²

María del Carmen Guerra Martínez³

^{1, 2, 3} Universidad Tecnológica de la Habana "José A. Echeverría", CUJAE, Calle 114 # 1190, e/ Ciclovía y
Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

²tamorales@tele.cujae.edu.cu, ³mariagm@tele.cujae.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo propone el diseño y simulación de una antena fractal alfombra de Sierpinski que opera en la banda de 2.4GHz para su empleo en aplicaciones de tecnología de identificación por radiofrecuencia o RFID (Radio Frequency Identification) por sus siglas en inglés. Se emplea una línea de microcinta para la alimentación y una separación de 7mm entre el sustrato y el plano de tierra para lograr una buena distribución del Campo Electromagnético (CEM) y como consecuencia una mejor ganancia. El diseño es optimizado ajustando adecuadamente el largo y ancho, se alcanza una ganancia de 8.69dBi y un ancho de banda de 250MHz para la frecuencia deseada y una eficiencia de aproximadamente 82%.

PALABRAS CLAVES: antena, fractal, microcinta, RFID.

FRACTAL MICROSTRIP ANTENNA FOR 2.4 GHZ RFID APPLICATIONS WITH SUSPENDED SUBSTRATE

ABSTRACT

This work proposes designing and simulating a Sierpinski carpet fractal antenna that operates in the 2.4GHz band for use in radio frequency identification technology applications or RFID (Radio Frequency Identification). A microstrip line and a 7mm separation between the substrate and the ground plane are used to achieve a good Electromagnetic Field (EMF) distribution and, consequently, a better gain. The design is optimized by adequately adjusting the length and width, achieving a gain of 8.69dBi, a bandwidth of 250MHz for the desired frequency, and an efficiency of approximately 82%.

INDEX TERMS: antenna, fractal, microstrip, RFID.

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) ha evolucionado rápidamente en los últimos años y se ha convertido en una herramienta clave para la automatización de procesos y la optimización de la cadena de suministro. Se basa en la comunicación inalámbrica entre un lector y una etiqueta que contiene información codificada, esta técnica de reconocimiento mediante radiofrecuencias es un proceso actual de transmisión y recepción inalámbrica de información para utilidades como identificación automática, búsqueda y seguridad [1], también se puede entender como un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remotos que usa dispositivos denominados etiquetas, tarjetas o transpondedores RFID (Radio Frequency Identification). El propósito fundamental de la tecnología RFID es transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio. Las tecnologías RFID se agrupan dentro de las denominadas Auto ID (*automatic identification*, o identificación automática) [2], [3].

Este artículo abarca el diseño de una antena para aplicaciones RFID en la banda de 2.4GHz con el elemento radiante suspendido y alimentada por una línea de microcinta. Se obtiene primeramente la frecuencia deseada con valores satisfactorios de pérdidas de retorno (menores o igual a -10 dB). Para el proceso de diseño, simulación y optimización se utiliza el software CST Studio 2021.

2. DESARROLLO

El diseño actual de antenas para aplicaciones de radio móvil requiere que éstas sean de tamaño compacto, bajo perfil, fáciles de diseñar, de fabricar, de integrar a dispositivos electrónicos y que posean características de banda ancha o multibanda. Diversas soluciones se han propuesto para lograr uno o más de estos requerimientos. Por ejemplo, los cinco primeros requerimientos mencionados se han logrado al desarrollar antenas de parche o microcinta. Recientemente la tecnología de microcinta se ha combinado con las propiedades de la geometría fractal para mejorar las características de respuesta en frecuencia de las antenas para dispositivos portátiles. En particular las antenas fractales de microcinta poseen una estructura geométrica con propiedades auto similares que les permite tener características multiresonantes o de banda ancha, las cuales resultan idóneas para aplicaciones de comunicaciones móviles [4], [5].

La geometría fractal o también llamada geometría de la naturaleza, debido a que permite representar fenómenos de la naturaleza con mayor exactitud, estudia las formas, figuras u objetos que tienen recursividad y dimensión fractal. Este tipo de tecnología de diseño y construcción de antenas, define un conjunto de estructuras irregulares y complejas, representadas a través de algoritmos geométricos y matemáticos reemplazando así las figuras provenientes de la matemática Euclidiana, clásica o elemental [6].

La geometría fractal estudia los aspectos geométricos no variantes que se presentan al cambiar de escala a una figura, es decir, busca la similitud con un objeto y sus partes a diferentes escalas. Con ese propósito se ejecutan procesos iterativos para la generación de objetos fractales, su estudio se enfoca en la generación, dimensión y aplicación práctica de estructuras fractales, revolucionando la manera de observar los objetos existentes en la naturaleza [6].

3. ESTRUCTURA Y DISEÑO

Para lograr el diseño se utiliza como sustrato el Duroid 5880 y como método de análisis el modelo de línea de transmisión, en la siguiente tabla se muestran las características y dimensiones iniciales usadas.

Tabla 1: Características del sustrato Duroid 5880.

	Valor
Largo	214.32mm
Ancho	252.3mm
Permitividad dieléctrica	2.2
Tangente de pérdidas	0.0009
Altura	1.575mm
Altura del cobre	0.035mm

Se diseña una antena fractal alfombra de Sierpinski [6], [7], [8], tomando como base un diseño inicial rectangular de donde se desarrollan posteriormente las iteraciones necesarias para satisfacer las demandas de la aplicación. En el diseño se incorpora la separación del plano de tierra del sustrato como una técnica muy factible para mejorar el rendimiento de las antenas de microcinta, incluyendo las antenas fractales de microcinta, que consiste en aumentar la distancia entre el sustrato y su plano de tierra, que puede mejorar los parámetros fundamentales para elevar el buen desempeño del diseño. A este procedimiento se le conoce como Ground plane perturbation o Ground plane cut-out también llamado como sustrato suspendido [9], [10], [11], [12].

Es apreciable en la Fig. 1 la estructura del modelo desarrollado. Se observa una antena fractal alfombra de Sierpinski alimentada por una línea de microcinta ubicada en una esquina del parche rectangular, además se aprecia la separación entre el plano de tierra y el sustrato. El objetivo de mover la línea de alimentación es

buscar mejorar la eficiencia de la antena, aumentar su ancho de banda, mejorar su patrón de radiación y reducir la interferencia electromagnética[13]. Luego de llevar a cabo varias simulaciones se determinó que la posición de la línea de alimentación que más ventajas ofrecía es la mostrada en la Fig. 1. En la Fig. 2 se observan las pérdidas de retorno antes de utilizar la técnica de separación del plano de tierra del sustrato y en la Fig. 3 se aprecia el resultado después de empleada la separación.

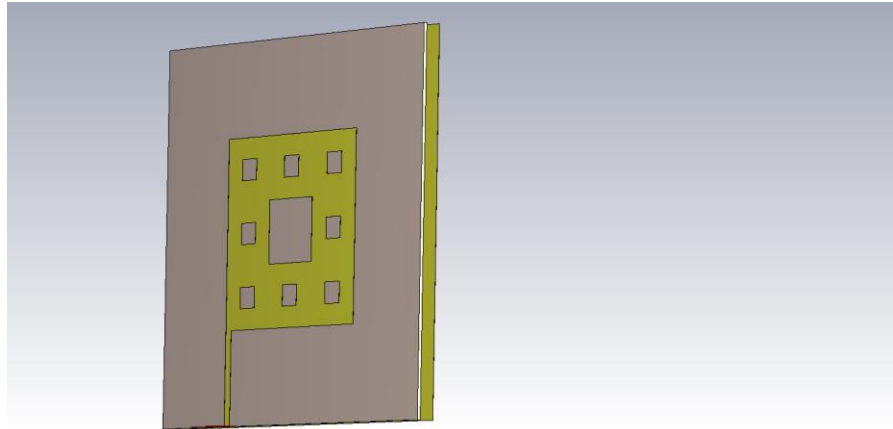


Figura 1: Estructura desarrollada.

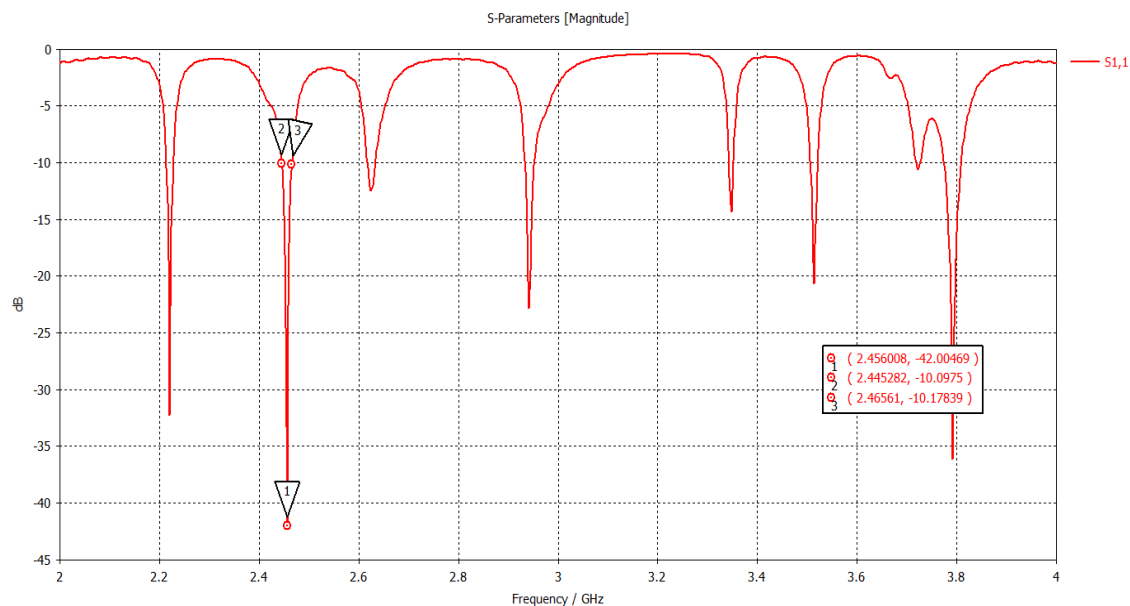


Figura 2: Parámetros S11 antes de separar el plano de tierra del sustrato.

Se puede apreciar un valor de -42 dB para 2.45 GHz. Se muestra que la antena no presenta elevadas pérdidas mientras se encuentra transmitiendo, pero el ancho de banda que es un parámetro importante se encuentra en los 20MHz, este valor de ancho de banda aún es insuficiente. Como se puede observar en la Fig. 3 existió un desplazamiento de la frecuencia de interés lo que provoca un reajuste del diseño. Por otro lado mejora el ancho de banda aunque el diseño aun no se encuentra centrado en 2.45GHz, por lo tanto, el proceso de optimización de la antena continúa.

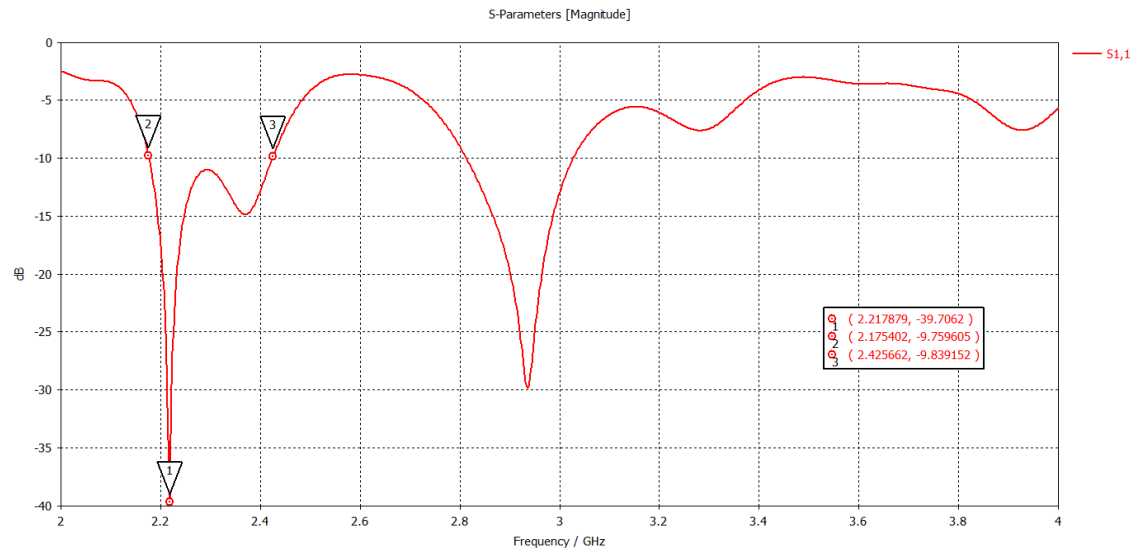


Figura 3: Parámetros S11 después de separar el plano de tierra del sustrato.

OPTIMIZACIÓN Y DISEÑO FINAL

Una optimización consiste en la modificación oportuna de las variables definidas por el diseñador, donde varias respuestas se disponen en una misma gráfica, lo cual facilita la selección de los valores más eficientes. En este caso el primer objetivo es la optimización de la distancia entre el plano de tierra y el sustrato y posteriormente se optimiza las nuevas dimensiones de la antena, siempre manteniendo una altura del sustrato de 1.575 mm. En la Fig. 4 se muestra los primeros resultados.

En la Fig. 4 se observan variaciones de la distancia entre el plano de tierra y el sustrato (h_t) hasta obtener buenos parámetros de ancho de banda y pérdidas de retorno (S_{11}). Una vez llegado a ese punto se continúa hacia la optimización del largo y el ancho para centrar la curva en la banda de 2.41GHz-2.48GHz con $h_t=7$ mm. En la Fig. 5 se muestra el efecto de las variaciones del ancho (W_p) y el largo (L_p). Se realizaron varias simulaciones donde se cambió el largo y el ancho, como se mostró en la Fig. 5, hasta alcanzar los mejores parámetros posibles en la banda de 2.41GHz-2.48GHz.

Los resultados presentados en la Fig. 6 en comparación con los resultados vistos en las Fig. 2 son superiores, lográndose fijar el parámetro S_{11} en -48.54dB para una frecuencia de 2.45GHz con un ancho de banda de 250MHz muy superior a los 20MHz que presentó el diseño inicial. En la siguiente tabla se muestra la secuencia de valores del largo y el ancho de la placa de la antena para cada una de las iteraciones.

Se aprecia una disminución de las medidas de largo y ancho si se compara los valores iniciales de la Tabla 1 con los mostrados en la Tabla 2, lo que constituye una diferencia de 141.3 mm en el ancho y de 117.32 mm en el largo, que representan respectivamente un 56% y un 54.74% de reducción. Se conoce que típicamente, las antenas *microstrip* son de tamaño reducido, pero es conveniente reducir aún más, a lo máximo posible, para aplicaciones que necesitan que se cumpla este requerimiento, como por ejemplo, teléfonos celulares. Al observar estas nuevas dimensiones se evidencia la propiedad de miniaturización que presentan los fractales y se consigue un resultado más eficiente.

En la Fig. 7 se muestra la imagen de VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) para analizar la impedancia resultante después de optimizado el diseño. Tomando la unidad como el valor ideal, se obtiene un valor de 1.038 para 2.45 GHz que evidencia la existencia de un buen acople.

En la Fig. 8 se muestra el patrón de radiación obtenido luego de la optimización del diseño. Se puede apreciar un máximo de ganancia de 8.69 dBi para la banda de trabajo de interés, constituye esto una eficiencia total del 81.7%.

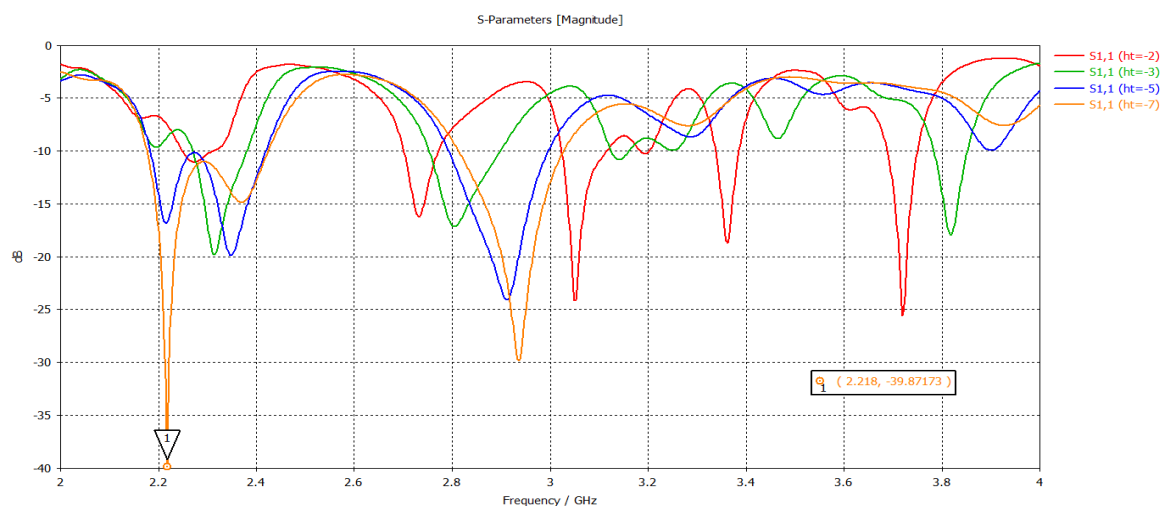


Figura 4: Efectos de la optimización manual del parámetro distancia entre el plano de tierra y el sustrato (ht).

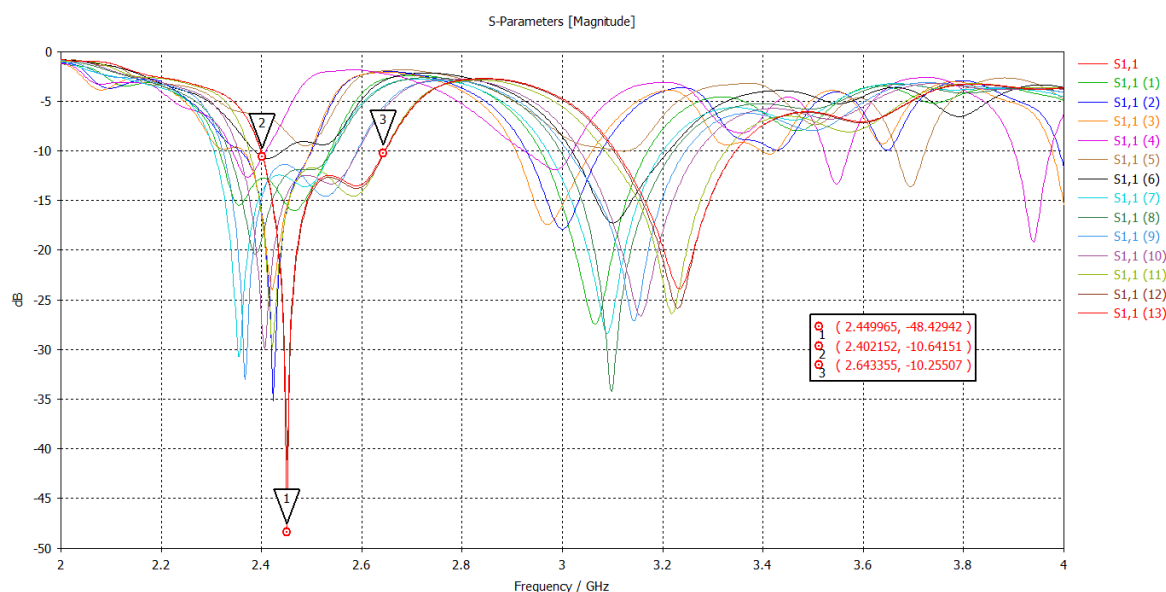


Figura 5: Optimización del largo (L_p) y el ancho (W_p) del parche.

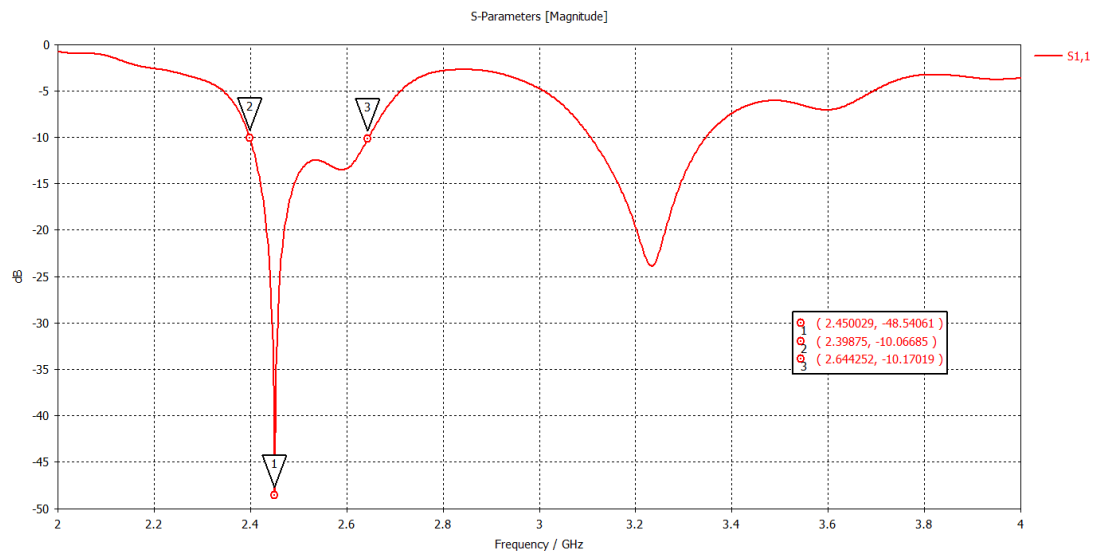


Figura 6: Parámetros S11 finales.

Tabla 2: Dimensiones optimizadas hasta la iteración 2.

Iteración	0	1	2
Medidas	W(mm) L(mm) 111 97	W/3(mm) L/3(mm) 37 32.3	W/9(mm) L/9(mm) 12.3 10.7

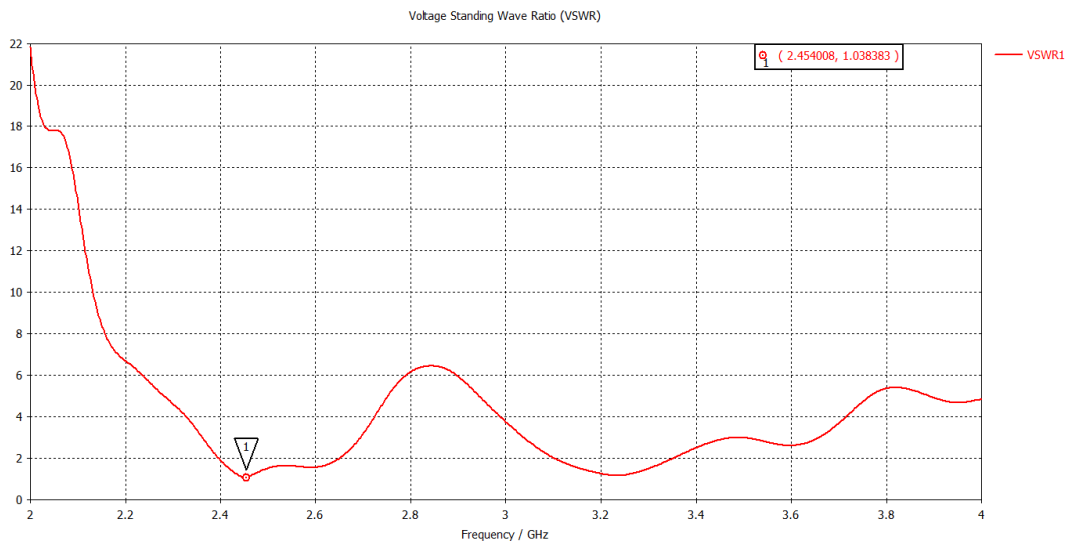


Figura 7: VSWR después de optimizar.

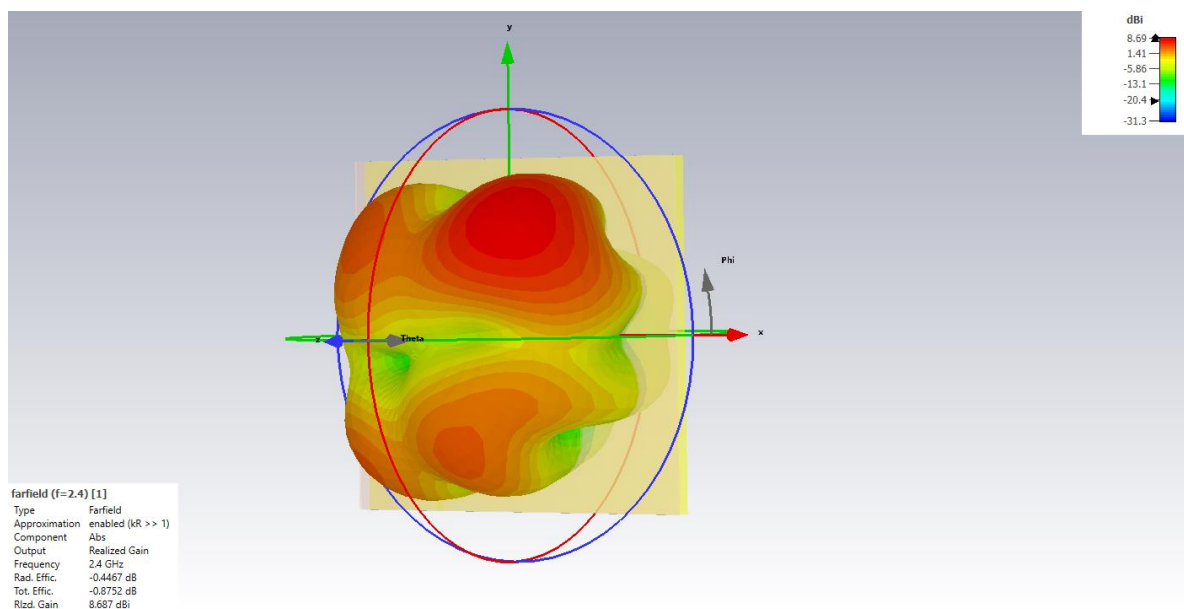


Figura 8: Patrón de radiación resultante.

4. COMPARACIÓN ENTRE LA UTILIZACIÓN DEL SUBSTRATO DUROID 5880 Y FR-4

Los efectos específicos de la separación del sustrato y el plano de tierra pueden variar según los materiales utilizados. A continuación se analiza la influencia de esta variante sobre un diseño con FR-4 como sustrato. En la siguiente tabla se muestran las características del FR-4, obtenidos mediante el empleo del modelo de línea de transmisión que produce una aproximación muy aceptable para diseñar una antena. Para este diseño se fijaron los parámetros iniciales en Wp=127 mm y Lp=108.12 mm y para una segunda iteración se obtuvo los parámetros S11 mostrados en la Fig. 9.

Tabla 3: Características del FR-4.

	Valor
Largo	108.12mm
Ancho	127mm
Permitividad dieléctrica	4.3
Tangente de pérdidas	0.025
Altura	1.27mm
Altura del cobre	0.035mm

Se observa que la mínima pérdida de retorno está ubicada en -43.92 dB a una frecuencia de 2.44 GHz y un ancho de banda de 60 MHz, en comparación con los primeros resultados obtenidos al usar el Duroid 5880 existe una gran mejoría. En la Fig. 10 se observa el patrón de radiación obtenido. En este figura se observa una ganancia negativa, parámetro este que indica la presencia de un supresor, por lo tanto aunque se tiene un buen acople de impedancia, mostrado en la Fig. 11, el diseño es muy deficiente.

La separación del sustrato del plano de tierra en la fabricación de antenas de microcinta fractal usando FR-4 como material puede tener varios efectos en el rendimiento de la antena. En general, la separación puede mejorar la eficiencia de la antena, aumentando su ancho de banda y ganancia. Además, puede reducir la interferencia y mejorar la capacidad de la antena para recibir y transmitir señales en entornos con alta interferencia electromagnética. En la Fig. 12 se observa los parámetros S11 luego de optimizado el diseño.

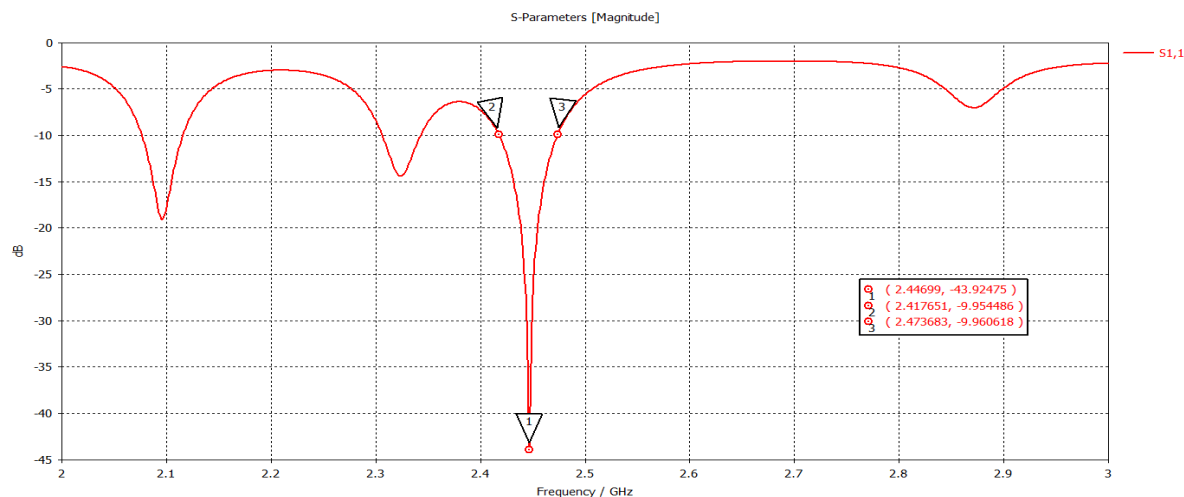


Figura 9: Parámetros S11 usando FR-4 como sustrato.

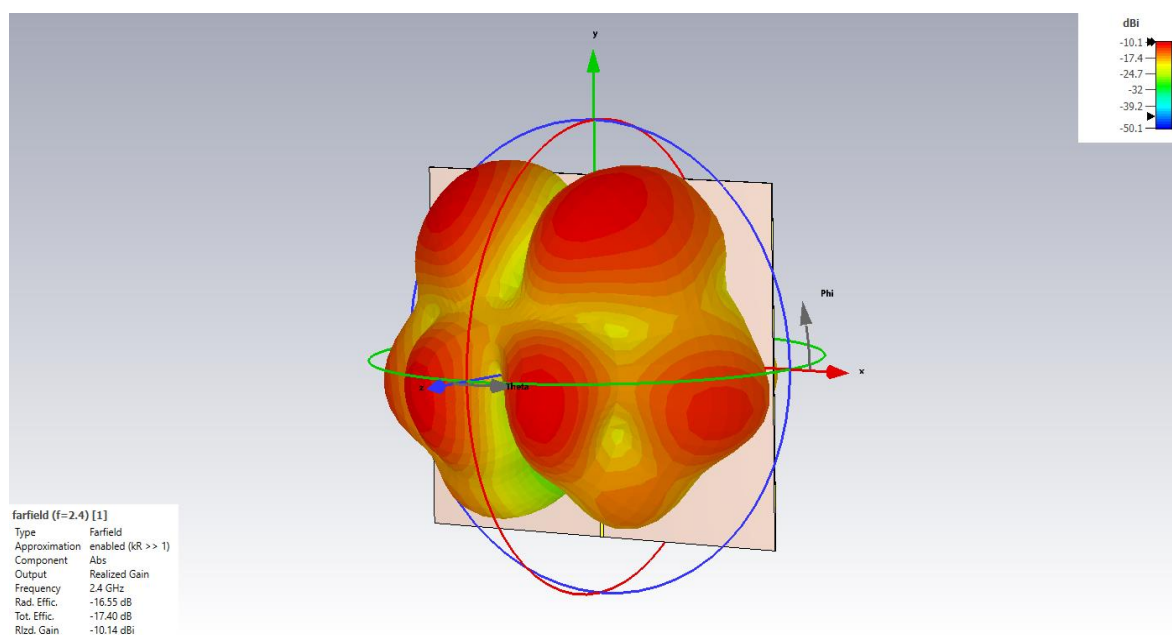


Figura 10: Patrón de radiación obtenido usando FR-4 como sustrato.

En comparación con los 60 MHz que se tenía de ancho de banda, ahora existe una gran mejoría con 240 MHz pero una disminución en cuanto a las pérdidas de retorno debido a que el mínimo se encuentra en -30.94 dB para 2.44 GHz de frecuencia, un resultado distante de los -43.92 dB que se tenía al principio. A continuación se analiza el patrón de radiación obtenido.

Se puede observar que mejora la ganancia hasta los 7.65 dBi, resultado muy superior al visto en la Fig. 10 lo cual evidencia la influencia positiva que se obtuvo al aplicar la técnica de separar el plano de tierra del sustrato. Una mejora en cuanto al ancho de banda, la ganancia y la eficiencia se observan, no así en las pérdidas de retorno. A continuación se muestra una tabla comparativa entre el uso del Duroid 5880 y el FR-4 como sustratos.

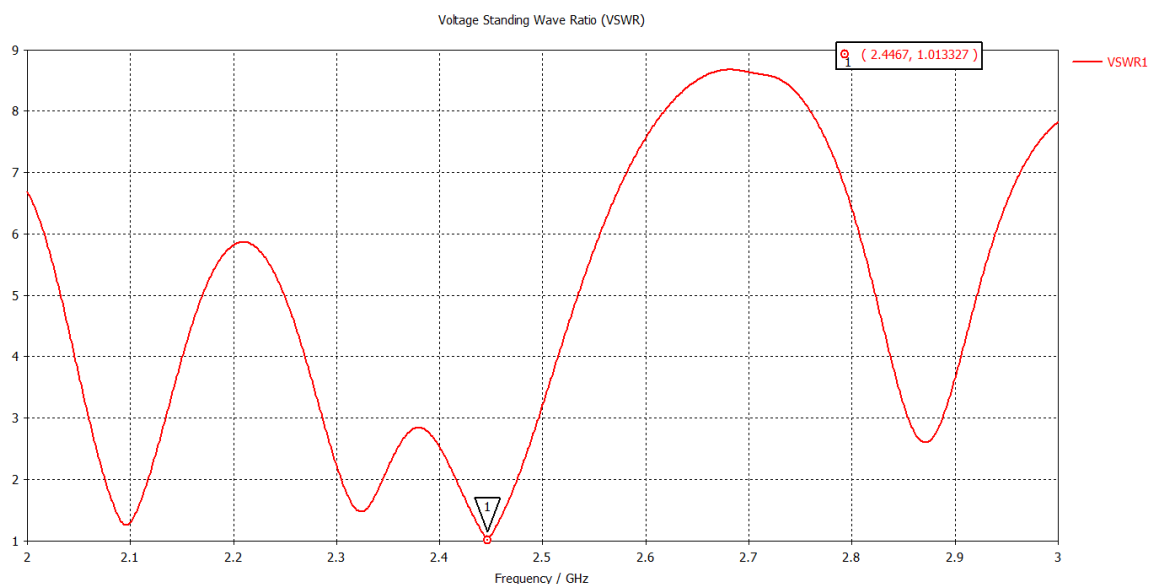


Figura 11: Acople de impedancia para el uso de FR-4.

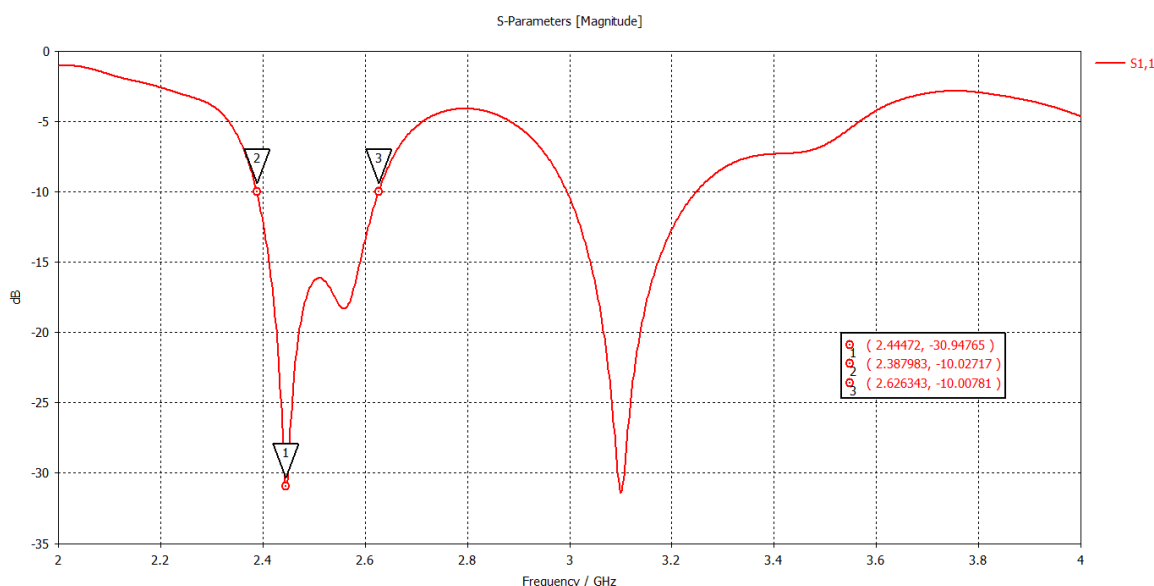


Figura 12: Parámetros S11 luego de optimizar el diseño con FR-4.

Aunque ningún resultado es absoluto, en la tabla anterior se observa primeramente que la utilización de la separación del plano de tierra del substrato en ambos diseños deja una mejora notable, los dígitos más relevantes de ganancia, eficiencia y pérdidas de retorno pertenecen al uso del Duroid 5880 mientras que con el material FR-4 se obtiene un diseño más pequeño.

Estas diferencias son debido a que los materiales tienen diferentes propiedades dieléctricas que afectan el rendimiento de la antena. El Duroid 5880 tiene una constante dieléctrica más baja que el FR-4, lo que hace al material más adecuado para antenas de alta frecuencia y alta ganancia. También con una pérdida dieléctrica

más baja posibilita que puedan tener una mayor eficiencia de radiación. Sin embargo la constante dieléctrica alta que presenta el FR-4 garantiza una reducción del tamaño de la antena.

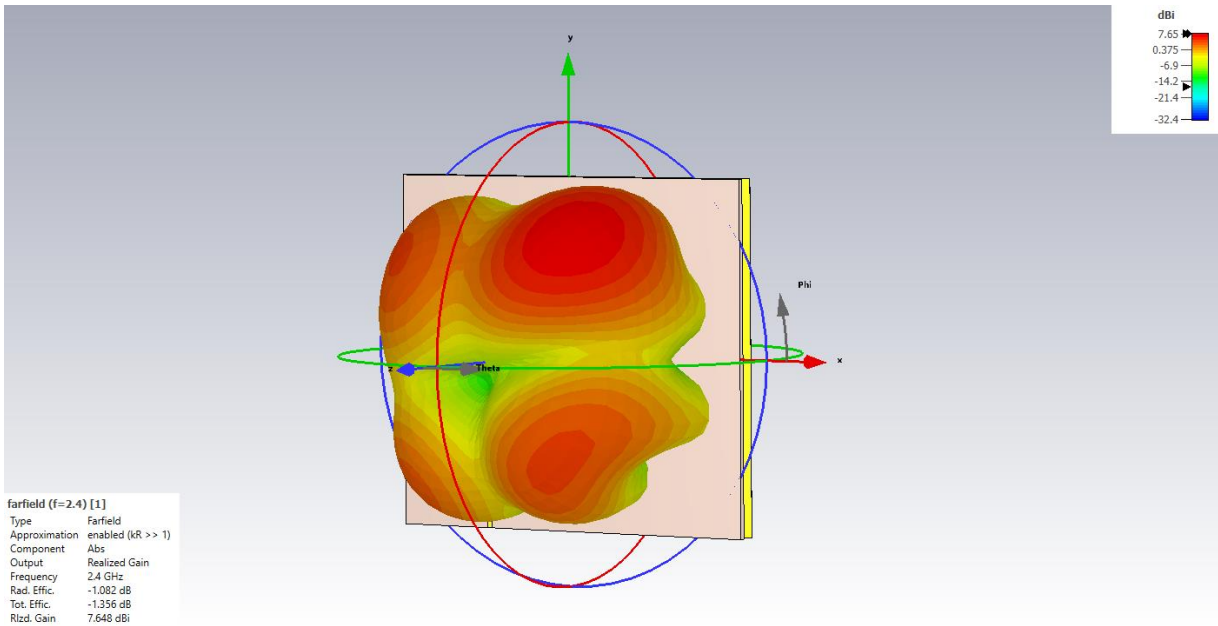


Figura 13: Patrón de radiación obtenido después de separar el plano de tierra con FR-4 como sustrato.

Tabla 4: Comparación de los principales parámetros.

	Dimensiones(mm)		S11(mínimo)	Ganancia	Eficiencia
	Wp	Lp			
Duroid	111	97	-48.42dB	8.69dBi	81.7%
FR-4	98	86	-30.94dB	7.65dBi	73.1%

5. CONCLUSIONES

Se logró el diseño y la optimización de una antena de microcinta fractal, con dimensiones pequeñas, una ganancia de 8.69 dBi y ancho de banda de 250 MHz parámetros que satisfacen las demandas de la aplicación RFID. Se realizaron diseños desde la iteración 0 hasta la iteración 2 de la alfombra de Sierpinski, se ajustó la línea de microcinta y la ubicación del parche con el fin de satisfacer los objetivos trazados utilizando el Duroid 5880, además se utilizó la técnica de separar el plano de tierra del sustrato para lograr una mejoría de los parámetros fundamentales de la antena con el fin de hacerla óptima para la demanda de una aplicación RFID. Aunque hay que resaltar que la técnica empleada puede afectar la impedancia de la antena, lo que puede requerir ajustes en el diseño para mantener una impedancia adecuada, así como también eleva la complejidad y el costo de fabricación, ya que se requiere un soporte adicional para sostener la antena en su lugar. Teniendo en cuenta lo analizado la utilización del Duroid 5880 como sustrato propicia la obtención de una alta ganancia y el uso del FR-4 como sustrato apoya la reducción de los costos de producción.

REFERENCIAS

- [1] R. E. Carrera Fernandez, «Diseño y evaluación de superficies selectivas en frecuencia para etiquetas pasivas de RFID sin CHIP», UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, 2020.
- [2] «RFID», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 19 de febrero de 2023. Accedido: 22 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=RFID&oldid=149380096>
- [3] C. Herrojo y F. Martín, *Nuevas estrategias para el diseño de sistemas Chipless-RFID y aplicaciones*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, 2018.
- [4] I. R. G. Rangel, J. V. Sánchez, G. H. Valdez, M. R. Ayala, J. R. M. Tello, y E. A. A. González, «ESTUDIO DE UNA ANTENA DE MICROCINTA FRACTAL TIPO E PARA LA BANDA DE LOS 2.4 GHZ», *Pist. Educ.*, vol. 39, n.º 128, Art. n.º 128, feb. 2018, Accedido: 16 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/1103>
- [5] M. Tarbouch, A. El Amri, H. Terchoune, y O. Barrou, «A compact microstrip patch antenna based on fractal geometry on the ground plane», en *2018 International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet)*, Marrakech: IEEE, abr. 2018, pp. 1-8. doi: 10.1109/COMMNET.2018.8360245.
- [6] A. M. Montaluísa, «Diseño y construcción de una antena fractal monopolo alfombra de Sierpinski para la banda UHF. 151 hojs. Quito : EPN.», bachelorThesis, Quito, 2019., 2019. Accedido: 17 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20451>
- [7] «Fractal», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 22 de abril de 2023. Accedido: 24 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Fractal&oldid=150716147>
- [8] P. L. Morillo, G. F. Cadena, y R. Merizalde, «Design and Testing of Fractal Antenna Parameters based on the Koch Curve for Reception of Digital Terrestrial Television Signals in the UHF Band», *Law State Telecommun. Rev.*, vol. 11, n.º 1, pp. 159-172, may 2019, doi: 10.26512/lstr.v11i1.24855.
- [9] D. B. Casanova, T. E. C. Rodríguez, y S. T. Martínez, «DISEÑO DE ANTENAS MICROSTRIP PARA REDES WLAN A TRAVÉS DE APLICACIONES CAE».
- [10] M. E. Newton, S. Mou, K. Ma, N. Yan, y F. Meng, «A High Frequency Microstrip Patch Antenna Integrated with FSS Using Substrate Integrated Suspended-Line Technology», en *2018 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, Chengdu: IEEE, may 2018, pp. 1-3. doi: 10.1109/ICMMT.2018.8563831.
- [11] N. Yan, K. Ma, y H. Zhang, «A Novel Substrate-Integrated Suspended Line Stacked-Patch Antenna Array for WLAN», *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 66, n.º 7, pp. 3491-3499, jul. 2018, doi: 10.1109/TAP.2018.2826719.
- [12] V. Barzdenas y A. Vasjanov, «A Method of Optimizing Characteristic Impedance Compensation Using Cut-Outs in High-Density PCB Designs», *Sensors*, vol. 22, n.º 3, Art. n.º 3, ene. 2022, doi: 10.3390/s22030964.
- [13] P. Morillo, G. Flores C., y A. Montaluísa, «Antena UHF multifuncional del tipo fractal microstrip basada en la alfombra de Sierpinski», *Rev. Investig. En Tecnol. Inf.*, vol. 9, pp. 4-16, ene. 2021, doi: 10.36825/RITI.09.17.002.

SOBRE LOS AUTORES

Drichel Angel Arango Curbelo: Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, en julio de 2023. ORCID: 0009-0006-7686-2477

Taimir Alain Morales Roche: Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, en julio de 2023, Profesor Instructor. ORCID: 0000-0002-8365-3183

María del Carmen Guerra Martínez: Ingeniera en Telecomunicaciones y electrónica, M.Sc, trabaja en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, se desempeña como Profesora, es Asistente y pertenece al Grupo de Comunicaciones Inalámbricas. ORCID: 0000-0003-1989-4414

CONFLICTO DE INTERESES

Este trabajo no presenta ningún conflicto de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Drichel Angel Arango Curbelo:** conceptualización: 100%, preparación: 90%, creación: 100% y desarrollo del artículo: 100%, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo: 80% y aprobación de la versión final a publicar: 100%, contribución a la idea: 100% y organización del artículo: 95%, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final: 100%.
- **Taimir Alain Morales Roche:** conceptualización: 100%, preparación: 100%, creación: 90% y desarrollo del artículo: 100%, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo: 100% y aprobación de la versión final a publicar: 100%, contribución a la idea: 95% y organización del artículo: 100%, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final: 100%.
- **María del Carmen Guerra Martínez:** conceptualización: 100%, preparación: 100%, creación: 100% y desarrollo del artículo: 100%, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo: 90% y aprobación de la versión final a publicar: 100%, contribución a la idea: 100% y organización del artículo: 80%, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final: 100%.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente los resultados de la investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

