

# Capítulo 5

## Conclusiones

### 5.1 Resumen

En la presente tesis se ha estudiado la aplicación de métodos numéricos en el análisis y diseño de antenas de microtira de forma arbitraria.

Como punto de partida, se describe un modelo simple, conocido como modelo de cavidad resonante, que permite estudiar antenas de sustrato delgado. Por medio de una serie de aproximaciones, las ecuaciones de campo electromagnético se reducen en una ecuación escalar de Helmholtz y su correspondiente condición de borde. La solución de dicha ecuación permite hallar la distribución del campo bajo el parche conductor de la antena. Luego, a partir de este campo se pueden determinar las propiedades de la antena: patrón de radiación, impedancia de entrada, frecuencia de resonancia, ancho de banda, directividad y eficiencia.

Cuando la antena es de forma regular, se puede hallar la solución analítica de la ecuación de Helmholtz en términos de los autovalores y autofunciones del problema. Sin embargo, cuando la geometría es complicada, se debe recurrir a métodos numéricos.

La ecuación de Helmholtz se resuelve por tres métodos numéricos distintos: FEM, BEM y DRM. En todos los casos, la ecuación diferencial primero debe ser escrita en su forma débil, es decir, como una ecuación integral. Discretizan-

do el dominio de las integrales en elementos y asignando funciones de forma conocida a la solución dentro de cada elemento, se puede construir un sistema lineal de ecuaciones que contiene la solución aproximada del problema. Sin embargo, estos métodos difieren en la ecuación integral y discretización utilizada. Para estudiar el desempeño de los métodos, se calcula el número de onda, frecuencia de resonancia e impedancia de entrada para varias antenas simples y distintas discretizaciones; estos resultados se comparan con las soluciones analíticas correspondientes.

Finalmente, utilizando el método DRM se analiza una antena de microtira de forma cuadrada con una variante, descrita en [18, 19, 20], que consiste en una ranura excéntrica en el interior del parche. Los resultados predichos por las simulaciones se verifican midiendo varias antenas construidas.

## 5.2 Conclusiones

A lo largo del trabajo de esta tesis, se han desarrollado herramientas computacionales basadas en los métodos FEM, BEM y DRM que permiten simular antenas de microtiras. Se muestra que DRM parece tener un mejor desempeño que los métodos FEM y BEM, pues para una cantidad adecuada de nodos es menor el error cometido.

Parte del trabajo de tesis consistió en utilizar las herramientas desarrolladas para simular una antena de microtira de forma novedosa y no convencional. Los resultados numéricos son validados experimentalmente. La frecuencia de resonancia se determina con un error menor que el 2%. Sin embargo, el error cometido en el cálculo de la impedancia de entrada es más importante. Se muestra que la diferencia entre estos valores numéricos y experimentales se originan en el cálculo de las dimensiones efectivas de la antena. Se descarta que los errores de construcción sean fuente de error, pues sus efectos son despreciables frente a los errores cometidos por el modelo. Tanto en la simulación como en la medición se determina que la ranura no tiene efecto apreciable sobre el patrón de radiación. Finalmente, se utiliza la teoría de difracción para simular el efecto de los bordes del plano de tierra en el campo de radiado; las simulaciones permiten obtener aproximación de los lóbulos posteriores del patrón de radiación.

Por lo tanto, se puede concluir que los métodos numéricos estudiados, en

combinación con el modelo de cavidad resonante, permiten realizar un análisis de antenas de microtira de forma arbitraria, a pesar de los errores mencionados.

### 5.3 Trabajo Futuro

En esta tesis se han presentado métodos numéricos para resolver la ecuación diferencial escalar obtenida a partir del modelo de cavidad resonante. Pero debido a las aproximaciones realizadas, este modelo tiene algunas desventajas:

- No tiene en cuenta el campo de borde y las fórmulas empíricas utilizadas para el cálculo de las dimensiones efectivas introducen errores significativos.
- Considera que el plano de tierra es infinito.
- No permite simular elementos parásitos o arreglos de antenas.

Para salvar estas limitaciones y mejorar la exactitud de los resultados, el problema de campos electromagnéticos debe ser resuelto sin hacer simplificaciones o aproximaciones de ningún tipo. Una forma de describir este tipo de problemas tridimensionales es utilizando la ecuación integral de Stratton-Chu [1, Cap. 8]:

$$\begin{aligned} \theta(\mathbf{r}')\mathbf{E}(\mathbf{r}') &= \int_V [j\omega\mu G_0\mathbf{J} + \epsilon^{-1}\rho\nabla G_0] dv \\ &+ \oint_S [G_0(\nabla \times \mathbf{E}) \times \mathbf{n} - \nabla G_0 \times (\mathbf{E} \times \mathbf{n}) - (\mathbf{E} \cdot \mathbf{n})\nabla G_0] ds \end{aligned}$$

donde  $G_0$  es la función escalar de Green para el espacio libre,  $V$  es un volumen limitado por la superficie  $S$ ,  $\mathbf{n}$  es el versor normal a la superficie. El factor  $\theta$  vale 1 si  $\mathbf{r}' \in V$  o  $1/2$  si  $\mathbf{r}' \in S$ . Nuevamente, no es posible hallar fácilmente una solución analítica de dicha ecuación integral. Por lo tanto, se deben utilizar métodos numéricos para encontrar una solución aproximada. Para futuros trabajos se propone la utilización de BEM y métodos de discretización sin mallas [31, 32].