

Diseño Microstrip

Antena microstrip basada en array de patches
para la banda frecuencial de wireless LAN

Iratxo Pichel Ortiz
Asier Llano Palacios

Índice

1. Introducción.....	3
2. Especificaciones.....	4
2.1. Especificaciones de diseño.....	4
2.2. Especificaciones técnicas.....	4
3. Introducción a la tecnología de patches.....	5
4. Diseño.....	6
4.1. Topología.....	6
4.2. Sustrato.....	6
4.3. Patch.....	7
4.4. Array de Patches.....	7
4.5. Adaptación 1.....	8
4.6. Adaptación 2.....	9
4.7. Adaptación 3.....	9
5. Layout.....	11
6. Simulación.....	12
6.1. Adaptación.....	12
6.2. Radiación.....	13
7. Resultados.....	14
7.1. Adaptación.....	14
7.2. Radiación.....	16
8. Conclusiones.....	17

1. Introducción

Esta memoria pretende ser un informe exhaustivo del trabajo de diseño e implementación de una antena, en tecnología microstrip para WLAN.

La elección de este tipo de diseño se sale un poco de lo habitual en el diseño en esta tecnología como filtros o acopladores pero por otra parte proporciona un punto de vista diferente y ayuda a comprender el funcionamiento de las antenas y de sus asociaciones.

El diseño, al ser en microstrip, también es distinto al diseño habitual de antenas, como pueden ser dipolos o asociaciones de estos y de esta manera se aprenden nuevas tecnologías.

Por último hay que señalar que el diseño se ha realizado con la herramienta de diseño asistido ADS que proporciona simulaciones bastante fiables y que proporcionan datos que son útiles a la hora de diseñar este tipo de antenas.

2. Especificaciones

2.1. *Especificaciones de diseño*

Como especificaciones técnicas del diseño de la antena, se parte del uso de tecnología microstrip mediante revelado de placas. Tras analizar diferentes tipos de antenas microstrip, se ha decidido utilizar la tecnología de antenas de patches rectangulares para su realización. Para aumentar la ganancia de la antena y entrar de una forma más profunda en el diseño de antenas se dispondrán los patches a modo de array con alimentación en fase. El diseño de la antena se realizará para la banda de frecuencias del servicio de Wireless LAN. Como condición de diseño adicional se tendrá en cuenta que las dimensiones de la antena deberán ser lo más reducidas posible para hacerla manejable.

2.2. *Especificaciones técnicas*

Las especificaciones técnicas se basarán en el rango frecuencial, en la calidad de la adaptación y en la ganancia de la antena:

Banda frecuencial:	2,40 GHz - 2,48 GHz
$ S_{11} $ máximo:	-10 dB
Ganancia mínima:	8 dB

De los anteriores valores (del valor absoluto del S_{11} , en concreto), se obtiene el COE máximo que se supondrá admisible.

COE máximo:	1,92
-------------	------

3. Introducción a la tecnología de patches

El diseño de antenas en tecnología microstrip parece, en principio una contradicción. El funcionamiento habitual de una línea microstrip es el de guiar la energía electromagnética mediante modos quasi-TEM y por ello se espera que este tipo de tecnología no sea capaz de acoplar al vacío energía, o al menos ser bastante ineficiente en este aspecto.

El funcionamiento cualitativo se basa en un efecto de resonancia, similar en cierta forma al efecto de un dipolo. El planteamiento es el siguiente: el radiador elemental en microstrip es un parche casi rectangular. En la dirección longitudinal tiene aproximadamente una longitud $\lambda/2$ y en la transversal ligeramente inferior. Puesto que la anchura de la línea de alimentación es mucho más pequeña que la del parche supondremos que su efecto es despreciable.

Ahora tenemos una onda quasi-TEM que se propaga desde el principio del patch hasta el final. Si se supone que en el plano perpendicular a la dirección de propagación la variación del campo es nula, a ambos lados del patch tendremos el mismo campo y por tanto no radían, pero al principio y al final, los campos están desfasados media longitud de onda, se comportan como una antena.

El funcionamiento de esta antena está marcado por varios factores, como es la separación entre conductores, cuanto más dieléctrico, más eficiencia y cuanto más se parezca a 1 el ϵ relativo del dieléctrico también. La anchura del patch va a marcar la resistencia de radiación así como otros factores tales como su eficiencia.

Figura plana en placa microstrip (rectangulares, circulares)

Máximos de radiación en los extremos inicial y final

Longitud aproximada de $\lambda/2$

Determina la frecuencia de resonancia

Anchura aproximada cuadrada

Determina la eficiencia de radiación

Impedancia de entrada elevada (100 – 300 Ohmios)

Diseño:

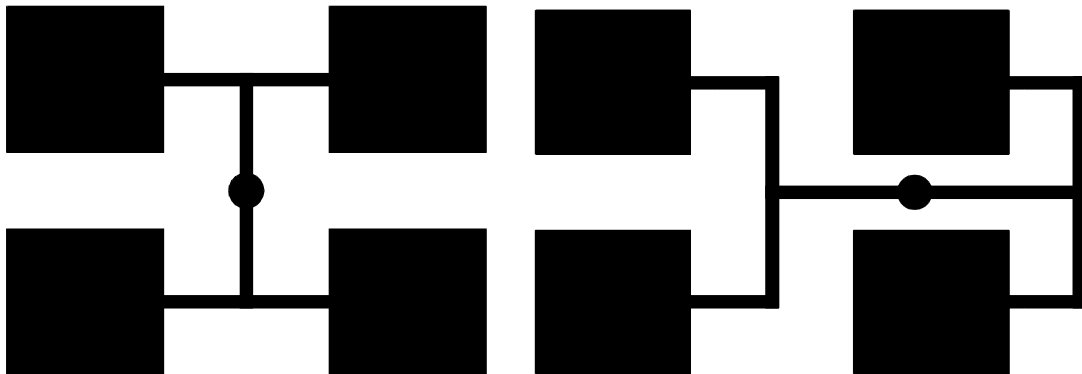
Bibliografía

Realización de hoja de cálculo

4. Diseño

4.1. Topología

La topología de la antena, en forma de array de patches, se considerará como un array cuadrado de $N \times N$ patches. Cada uno de los patches se encontrará alimentado en fase y la distancia entre cada uno de los patches será $\lambda_0/2$ (a la longitud de onda de trabajo 60 mm). Supondremos un tamaño máximo de la antena de unos 15 cm, por lo que la solución de topología (teniendo en cuenta el tamaño de los patches y que además habrá que dejar un margen en la placa) es de un array 2×2 .



Tras analizar las dos posibles topologías que en un principio se nos pueden ocurrir, vemos que en ambas cada uno de los patches se encuentra separado la misma distancia ($\lambda_0/2$) y que, en ambos casos, se encuentran alimentados en fase. Sin embargo, únicamente una de las dos posibilidades es correcta. Vemos que la fase no es igual en todas las partes del patch (sobre todo en las dos zonas de máxima radiación), por lo que en principio sólo puede ser correcta la solución de la derecha, en la que cada una de las partes iguales está separada $\lambda_0/2$ de su homóloga en el patch adyacente.

Vemos entonces, que cada uno de los radiadores elementales del array no sólo deben ser iguales en dimensiones y geometría, sino también en su posición, para conseguir una antena con configuración broadside.

4.2. Substrato

La elección del substrato, en este diseño es una tarea fácil, pero crucial para el diseño. Los patches se diseñarán de modo que resuenen en la banda de frecuencias deseada, y la impedancia que presentan a esa frecuencia depende fuertemente del substrato seleccionado. El diseño, a su vez, de dicha impedancia, con lo que dependiendo del valor de dicha impedancia el resto de las líneas del circuito serán realizables o no.

Para elegir el substrato, se han seleccionado tres substratos diferentes, cuyas características varían de forma gradual, y se han comenzado las primeras etapas de diseño con cada uno de los substratos, para poder decidir cuál de ellos es el más apropiado.

Los substratos inicialmente a considerar son: una placa doble cara, dos placas de una cara contrapuestas por la parte no conductora y dos placas de una cara, separadas

5 mm.

El primer sustrato, el de una placa doble cara de 1,5 mm, daba lugar, debido a la elevada impedancia de los parches a líneas demasiado finas, difíciles de realizar.

El segundo sustrato, el de dos placas de una cara contrapuestas por la parte no conductora, es para funcionar como si fuera una placa doble cara de 3 mm. Este ha sido el sustrato cuyo diseño da lugar a una solución de antena más viable.

El tercer sustrato, el de las dos placas de una cara separadas 5 mm, hace irrealizable las dimensiones de cada uno de los parches y las líneas de más baja impedancia del diseño.

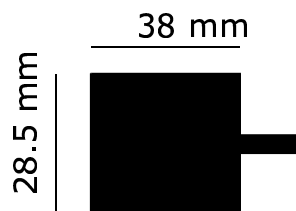
El sustrato que se ha considerado más viable es el de dos placas a doble cara, por la realizabilidad de sus líneas, tanto de baja como de alta impedancia y el adecuado tamaño resultante de cada uno de los parches.

4.3. Patch

El diseño de cada uno de los parches se ha realizado siguiendo las fórmulas del libro indicado en la bibliografía, con ayuda de una hoja de cálculo, que permite de forma intuitiva calcular los resultados para diferentes sustratos, frecuencias, etc.

De los resultados de los cálculos obtenidos, para el sustrato anteriormente citado, se concluye que los parches deben tener una longitud de 38 mm y una anchura de 28.5 mm, para resonar con la máxima calidad posible en el centro de la banda de trabajo.

Tras el diseño de los parches se simuló un patch por separado para comprobar el funcionamiento correcto de los mismos. Se comprobó (por simulación porque en la bibliografía afirmaba como único método el experimental) que la impedancia de entrada es de 300 Ω . Dicha impedancia es, de forma correcta, real en la frecuencia de resonancia.

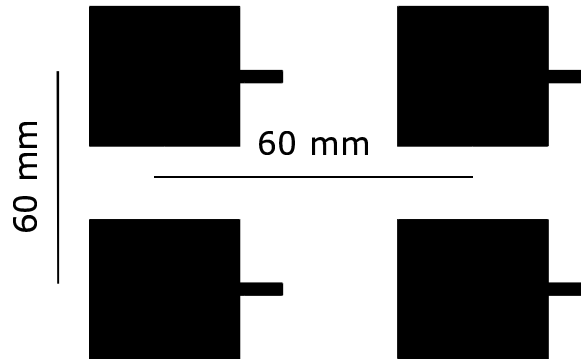


4.4. Array de Patches

El diseño del array de parches se emplazará cada uno de los parches, separado $\lambda_0/2$ (60 mm) que es la separación que permite mayor selectividad sin introducir ningún lóbulo secundario en el factor de array.

El correcto funcionamiento del array se ha comprobado por simulación, colocando los cuatro parches, con un puerto cada uno, para conocer de esta forma la impedancia de cada patch dentro de la agrupación. Del resultado de estas mediciones se obtiene que la impedancia de cada uno de los parches, cuando se encuentra en forma de array, es de 140 Ω .

A primera vista, sorprende la baja impedancia de cada uno de los patches cuando se encuentran estos en forma de array. Sin embargo, si consideramos la reducida distancia que separa cada uno de los arrays, es comprensible que la señal de cada una de las antenas se induzca en las antenas adyacentes, y cada una de ellas deba soportar su corriente, más la corriente inducida reduciendo de este modo su impedancia.

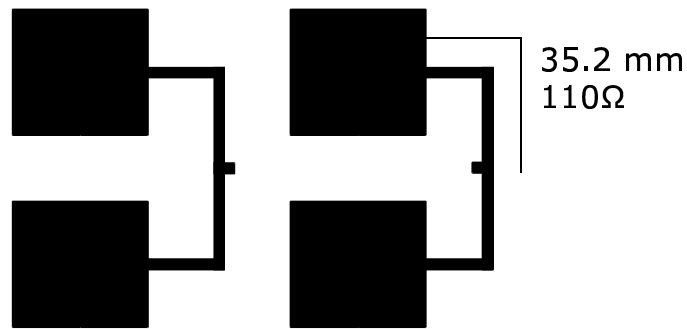


4.5. Adaptación 1

Para realizar la primera fase de adaptación, en la que se diseña la línea que une los patches por parejas, se deberá tener en cuenta la impedancia que presenta cada patch y la impedancia que, para estar adaptados, deberían presentar.

Cada patch presenta una impedancia de 140Ω . Después de incluir esta primera línea, la impedancia ideal es de 200Ω (4 patches en paralelo de 200Ω darían una impedancia de 50Ω y todo quedaría ya adaptado). La impedancia puede no ser necesariamente tan elevada, porque la adaptación se puede continuar en más etapas (aumentando además el ancho de banda). Sin embargo, lo óptimo en esta adaptación sería elevar la impedancia de los patches (en nuestro caso con la línea incluida). El problema que surge, es que para elevar la impedancia colocando únicamente líneas serie (sin stubs) se debería poder fabricar impedancias superiores a la impedancia del patch (140Ω). Este tipo de impedancias es irrealizable, así que un replantamiento del diseño puede consistir en introducir una línea de longitud $\lambda/2$ y de este modo, al menos, no variar la impedancia (dado el hecho de que no la podemos aumentar), para conseguir el ancho de banda lo más elevado posible, fabricaremos aún así la línea con la mayor impedancia posible (que es aquella que sufrirá menor desadaptación). Se ha considerado una línea de 1 mm de anchura, que presenta una impedancia característica de 110Ω .

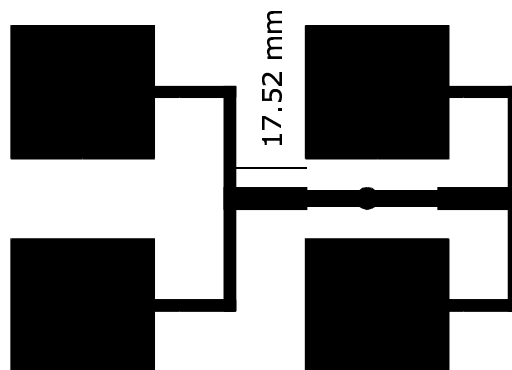
De este modo con una línea de longitud $\lambda/2$ (35,2 mm) y anchura 1 mm (110Ω), se conseguirá que cada patch, con su línea de transmisión presente una impedancia de 140Ω . Una vez unidos los patches en paralelo, estos presentarán por parejas 70Ω .



4.6. Adaptación 2

Una vez que la impedancia a la entrada de la pareja de patches tenemos una impedancia de 70Ω . La impedancia que idealmente deberían presentar es de 100Ω , para que unidos ambos terminales al conector presenten una impedancia de 50Ω . De este modo, se introducirá una línea de adaptación $\lambda/4$, con impedancia 84Ω (que es la media geométrica de 70Ω y 100Ω).

De este modo, con una línea de longitud 17,52 mm ($\lambda/4$) e impedancia 84Ω la impedancia que se verá en cada uno de los terminales será de 100Ω . Entonces, uniendo directamente, ambas líneas al conector mediante una línea de impedancia característica 100Ω , tenemos el sistema adaptado.

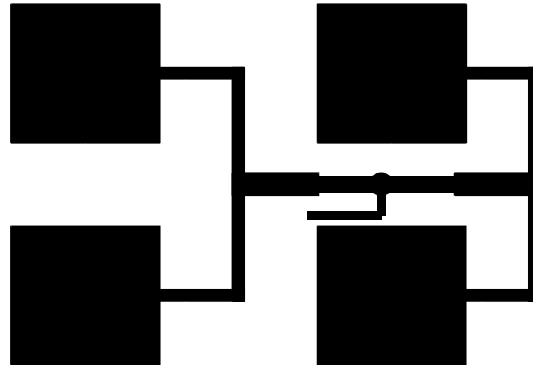


4.7. Adaptación 3

En teoría el sistema anterior se encontraría perfectamente adaptado. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta la realimentación de señal entre las antenas y las líneas que la conectan, y otros efectos no ideales de nuestro diseño. Mediante una simulación por el método de los momentos, se caracterizará el diseño anterior, y con ello obtenemos una impedancia en el centro de la banda de $36,9 - 22j \Omega$. Si lo ponemos en forma de admitancia: $0,02 + 1,19j \Omega^{-1}$. Como la admitancia que queremos es de $0,02 \Omega$, vemos que, por simulación hemos obtenido una parte imaginaria en la admitancia adicional de $1,19j \Omega^{-1}$. Esto se solucionará introduciendo un stub en paralelo de admitancia de entrada $-1,19j \Omega^{-1}$. (En impedancia de entrada $84j \Omega$).

Vemos entonces, que los efectos no ideales que no se han tenido en cuenta en el diseño, han provocado una parte imaginaria de la admitancia no nula, y que se puede anular introduciendo un stub de impedancia $84j \Omega$.

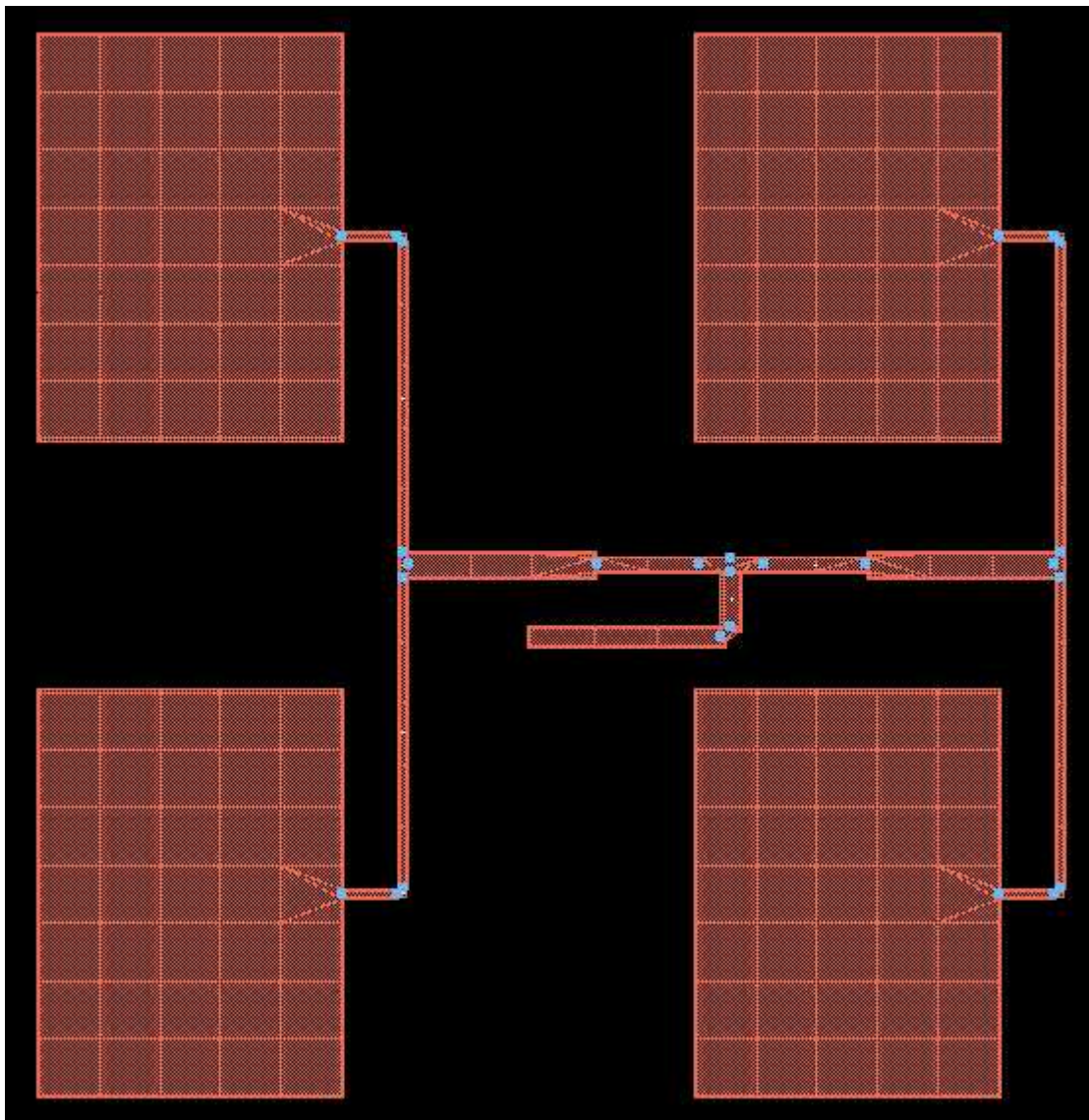
Para que este factor sea ajustable y así poder tener en cuenta, por una parte los errores de simulación y por otra los de fabricación, se realizará el stub 5 mm mayor de lo diseñado, para que el diseño sea ajustable cortando fragmentos de dicho stub. (Posteriormente se ha comprobado que el diseño era correcto y que el ajuste óptimo se obtiene cuando se cortan los 5 mm de dicho stub).



5. Layout

El layout resultante del diseño es el siguiente. Nótese que este layout es con el stub sin añadir los 5 mm. Antes de revelar este layout se le añadieron esos 5 mm al stub para poderlo ajustar posteriormente.

En el layout se presenta la grid utilizada para la simulación por el método de los momentos. Se aprecia, de forma visual que la grid no es muy detallada, sin embargo, hay que tener en cuenta que se ha utilizado una opción del simulador que utiliza una grid más detallada en los bordes (que no se aprecia demasiado en esta imagen), que es la parte más importante, y que los resultados han parecido suficientemente precisos. Un aumento de la grid prolongaba aún más los tiempos de simulación, haciendo mucho más costoso el diseño.

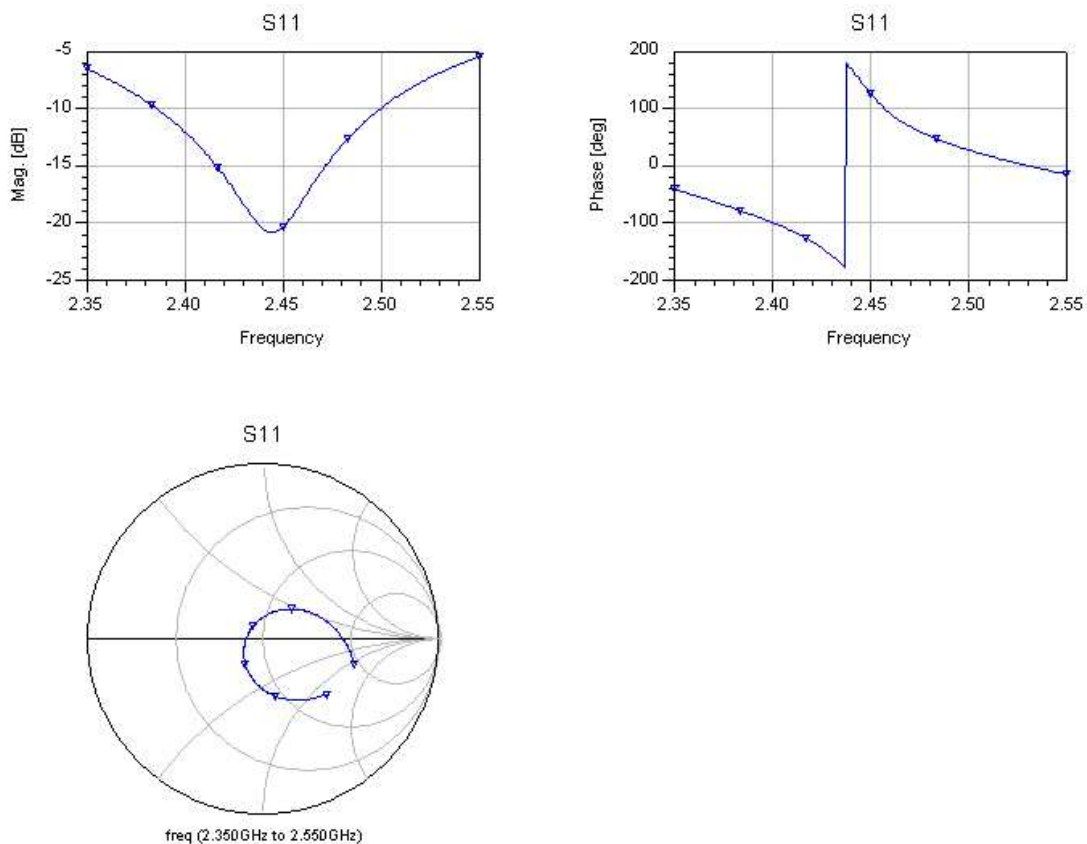


6. Simulación

En este apartado se analizarán los resultados de la última simulación (justo antes de añadir los 5 mm de stub para hacerlo ajustable). En la simulación se tendrán en cuenta diferentes parámetros. Inicialmente se considerará el estado de la adaptación, y posteriormente los diagramas de radiación.

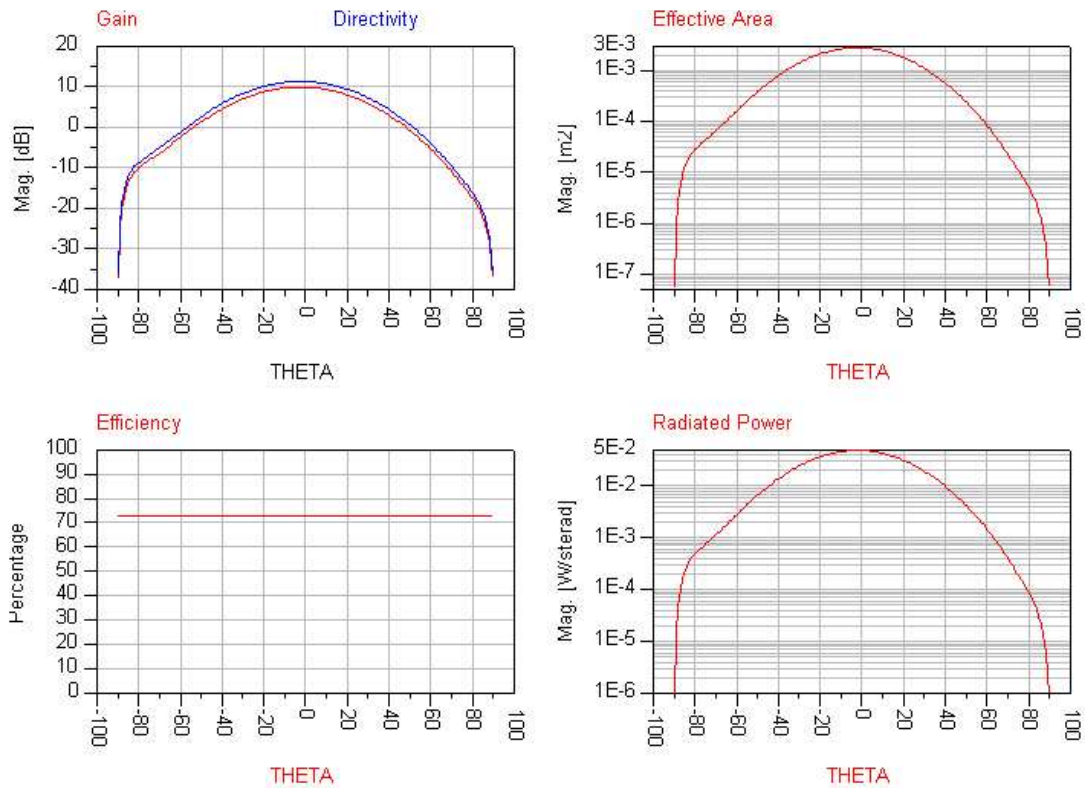
6.1. Adaptación

Para analizar la adaptación se considerará el parámetro S_{11} (nótese sólo existe un puerto). En la figura siguiente, se presenta dicho parámetro en forma de módulo (en escala logarítmica), fase y Carta de Smith.



En el diagrama de fase, vemos que la antena resuena a una frecuencia de 2.44 GHz, frecuencia que coincide con el centro de nuestra banda de trabajo. En el diagrama de módulo, vemos que cumplimos las especificaciones (por debajo de -10 dB), con unos 2 dB de margen. En la Carta de Smith observamos que nos encontramos bastante bien situados en el centro de la misma.

6.2. Radiación



Al ver los diagramas de radiación estimados se observa una ganancia de 10 dB, valor que supera las especificaciones propuestas. Vemos que el área efectiva supera los 30 cm² (un cuadrado de 5,5 cm de lado aproximadamente), valor que consideramos bueno, dado el hecho de que las dimensiones de la parte conductora de la antena no es mucho mayor (el centro de los patches está separado 6 cm).

La eficiencia, del 70% se considera razonable por el dieléctrico utilizado. Quizá la utilización del aire (o un material con una constante dieléctrica mucho más baja) habría resultado en una antena con una eficiencia superior. Sin embargo, teniendo en cuenta que esto es una pérdida de 1,5 dB, puede que esta pérdida sea asumible, teniendo en cuenta la sencillez de fabricación y las dimensiones y manejabilidad de la antena.

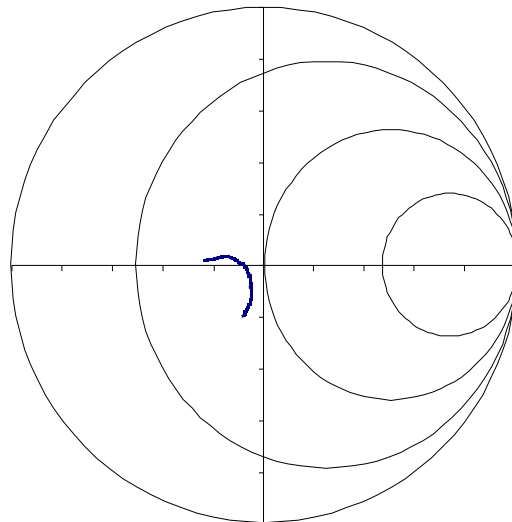
7. Resultados

En este apartado se analizarán las medidas tomadas de forma práctica, para lo cual se ha utilizado el analizador de redes, midiendo el parámetro S_{11} .

7.1. Adaptación

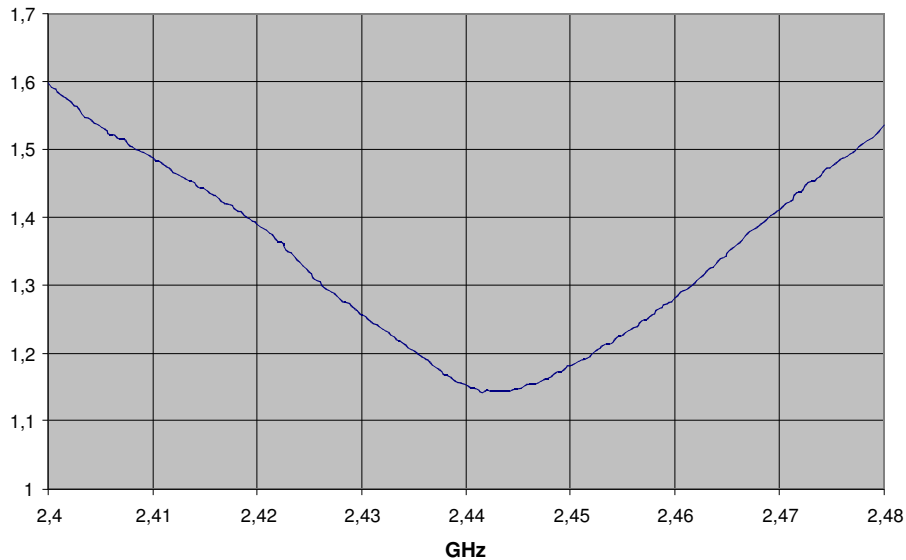
Al analizar la Carta de Smith se aprecia que el resultado parece satisfactorio, dado el hecho de que se acerca al centro de la misma, encontrándose el centro de la banda más próximo que los extremos. Probablemente, un segundo replanteamiento del diseño (a modo de retoque) podría aumentar un poco la impedancia y obtener aún mejores resultados, desplazando la gráfica dentro de la Carta de Smith hacia la derecha.

Parámetro S_{11}



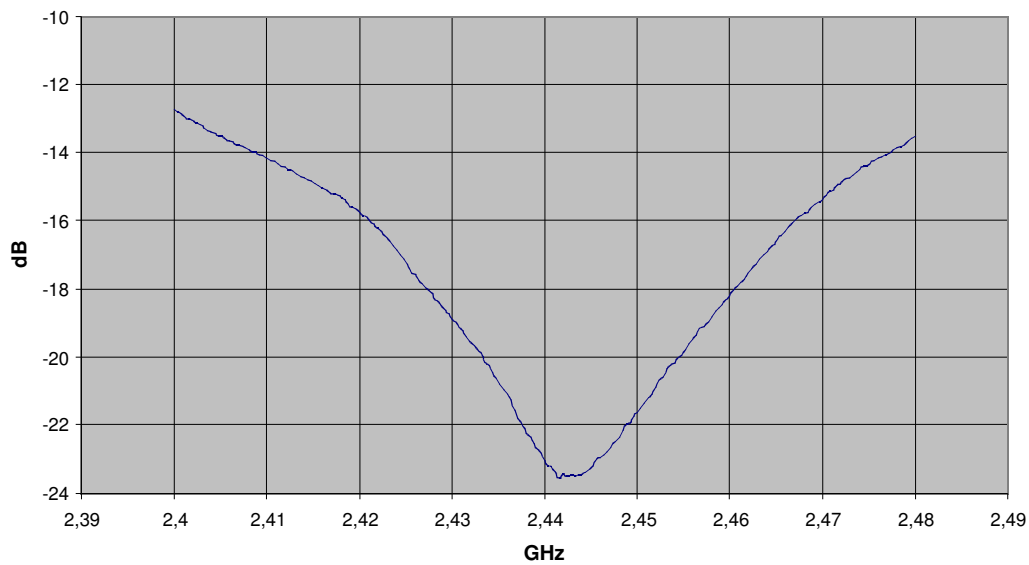
Se a continuación el coeficiente de onda estacionaria en función de la frecuencia. Vemos en esta gráfica que dicho coeficiente no supera el valor de 1,6 en toda la banda (llegando a valer menos de 1,2 en la parte central). Cumplimos entonces nuestros objetivos de que el COE fuera inferior a 1,9 (impuesto por nuestra condición de que el S_{11} fuera inferior a -10 dB).

COE



Igualmente, si visualizamos este parámetro, pero esta vez en forma de módulo de S_{11} , se aprecia igualmente que se cumple, observándose que es inferior a -12 dB en toda la banda, llegándose a alcanzar los -23 dB en la parte central de la banda. De este modo se observa que las condiciones de adaptación se cumplen porque se refleja menos del 10% de la potencia transmitida.

$|S_{11}|$



7.2. Radiación

Los parámetros de radiación son más complicados de medir y el uso de una cámara anecoica parece determinante para la medición de un diagrama de radiación serio. Sin embargo, se han realizado experimentos simples y poco precisos cuyo resultado es que la ganancia de la antena es algo superior a 8 dB. No obstante, para dar resultados con algo de precisión se deberían utilizar métodos más complejos.

8. Conclusiones

Como conclusión de este diseño, se puede concluir que, aunque el diseño de una antena microstrip puede ser complicado, los resultados son más que aceptables y la fabricación de múltiples unidades del diseño es barato y sencillo.

Otra conclusión cualitativa que se ha podido obtener, es que para realizar un array de antenas en broadside, no sólo hay que colocar antenas iguales, sino que hay que colocarlas exáctamente en la misma posición, aunque parezcan tener una simetría, porque una diferencia de alimentación puede inducir una diferencia de fase y llegar a convertir nuestro array en un array endfire.

Igualmente, se ha aprendido de este diseño que la interacción entre antenas que se encuentran a una distancia inferior a la longitud de onda de trabajo, no es, en absoluto, despreciable y se debe tener en cuenta todo el conjunto a la hora de realizar el diseño, en vez de focalizarse en cada uno de los elementos por separado.

La realizabilidad de las líneas es un factor muy importante a tener en cuenta a la hora de diseñar circuitos con tecnología microstrip, porque el rango de impedancias características de líneas que, utilizando un determinado sustrato, se pueden diseñar no es demasiado amplio (o no tanto como se está acostumbrado en diseños de baja frecuencia).