

Capítulo-8: Simulación de una Placa de Circuito Impreso

1 Introducción

Nuestro objetivo será el estudio práctico, mediante simulación, del siguiente circuito de microondas, basado en una cadena de dos amplificadores:

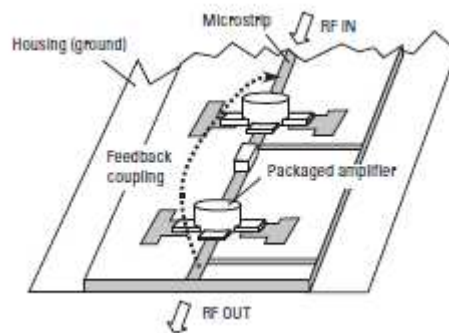


Ilustración 1: Cadena de Amplificadores

Para tal labor, presumiblemente compleja, se hará un estudio de determinados módulos componentes del circuito total a simular. Algunos de ellos son:

1. Placa de circuito impreso: tecnología microstrip.
2. Líneas de transmisión.
3. Amplificadores.
4. Perforaciones ("Via Holes").

Se comenzará simulando la placa de circuito impreso a usar en nuestro diseño. Se hará un estudio acerca de cómo afecta la puesta a tierra mediante perforaciones o VH, dependiendo del número de ellas, junto a la separación entre las mismas.

Más tarde se incorporarán las líneas de transmisión necesarias para llevar la señal del exterior hacia la cadena de amplificadores.

Se deberá elegir el ancho de la línea para que su impedancia característica sea la correcta. Como se puede observar, con la incorporación de cada elemento nos iremos acercando a nuestro diseño final.

Ya por último, y dada por finalizada la construcción del circuito, se procederá al montaje de la cadena de amplificadores. Con ello podremos tener una aproximación de nuestra solución final.

En primera instancia se realizará la simulación con amplificadores ideales, pasando más tarde a simular una cadena de amplificadores comerciales (por tanto reales).

NOTA: Dada la cantidad de veces que aparecerá la palabra “Via Holes”, de aquí en adelante se denotará como “VH”.

2 Definición del Circuito Base

Como primer paso hacia nuestro objetivo final debemos definir nuestro sustrato. Para ello debemos fijar las dimensiones de nuestra placa, elegir el dieléctrico a usar, además de colocar nuestro plano de tierra. Para ello haremos uso del programa de simulación ADS, y más en concreto de la herramienta interna “momentum”.

Por encima del dieléctrico se colocará la microtira metálica, la cual se conectará a tierra mediante el uso de VH, teniendo éstas forma cilíndrica. Un primer esquema podría ser el siguiente:

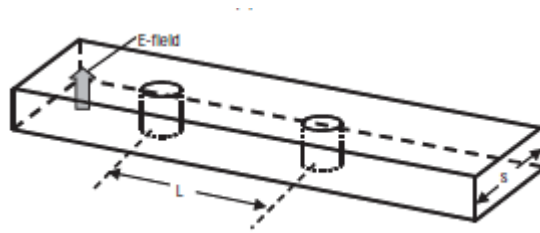


Ilustración 2: Ejemplo de Puestas a Tierra mediante Via Holes

2.1 Definición de la Estructura

En este apartado se va a describir de una forma general, la etapa de diseño del layout de las estructuras que nos servirán de estudio en el presente documento. Para ello seguiremos los siguientes pasos:

- Creamos un nuevo proyecto. Antes vamos a asegurarnos que la ventana principal que se nos abrirá será la pantalla de layout. Para ello en la ventana principal de ADS, nos vamos a la pestaña Tools -> Preferences... y comprobamos que está seleccionado el cuadro correspondiente a “Create Initial Layout Window”, al mismo tiempo estando deshabilitado el cuadro correspondiente a “Create Initial Schematic Window”. Una vez seleccionado esto, nos vamos a File -> New Project, y elegimos el nombre del proyecto. Se nos abrirá de esta manera la pantalla de layout.
- Una vez en la pantalla, procederemos del siguiente modo:
 - Insertamos una forma rectangular. Para ello, debemos elegir la capa metálica “cond” en la barra de herramientas. Las dimensiones elegidas

serán $4.5 \times 3 \text{ cm}^2$. Podemos apoyarnos para ello, en la herramienta disponible en: Insert -> Coordinate Entry...

- o En el siguiente paso procederemos a definir las VH. Para ello, elegimos en la barra de herramientas, la capa "hole". Insertamos una forma circular en las posiciones deseadas para la puesta a tierra (variarán según el caso a estudiar en apartados posteriores). Es en este punto donde elegimos la separación entre VH, así como sus dimensiones.
- o Definimos y colocamos los puertos. Seleccionamos el símbolo de puerto en la barra de herramientas, y colocamos dos puertos justo en la mitad de la capa metálica superior en sus dos extremos opuestos.

2.2 Creación del Sustrato

A continuación se van a detallar las características del sustrato a usar. El sustrato estará compuesto por (nombrados desde la capa más baja hacia la más alta):

- Plano de tierra: de dimensiones infinitas.
- Capa de dieléctrico: en nuestro caso utilizaremos teflón, cuya permitividad dieléctrica es: $\epsilon_r = 2,17$.
- Capa metálica: compuesta por la/s microtira/s.
- Aire: de dimensiones infinitas.

El procedimiento para la creación de tal sustrato en el simulador será el siguiente:

- Dentro de la ventana de layout (de la herramienta "momentum"), abrimos la pestaña "momentum" y seleccionamos: Substrate -> Create/Modify...
- Nos aparecerá el cuadro de diálogo donde deberemos introducir nuestro sustrato. Por defecto, en la pestaña "Substrate Layers" nos aparece como dieléctrico la alúmina. Por ello, cambiaremos su constante dieléctrica, junto a su nombre, una vez seleccionado el dieléctrico. Además debemos ajustar su espesor a 0,5 mm.

Nos debe quedar una ventana como la siguiente:

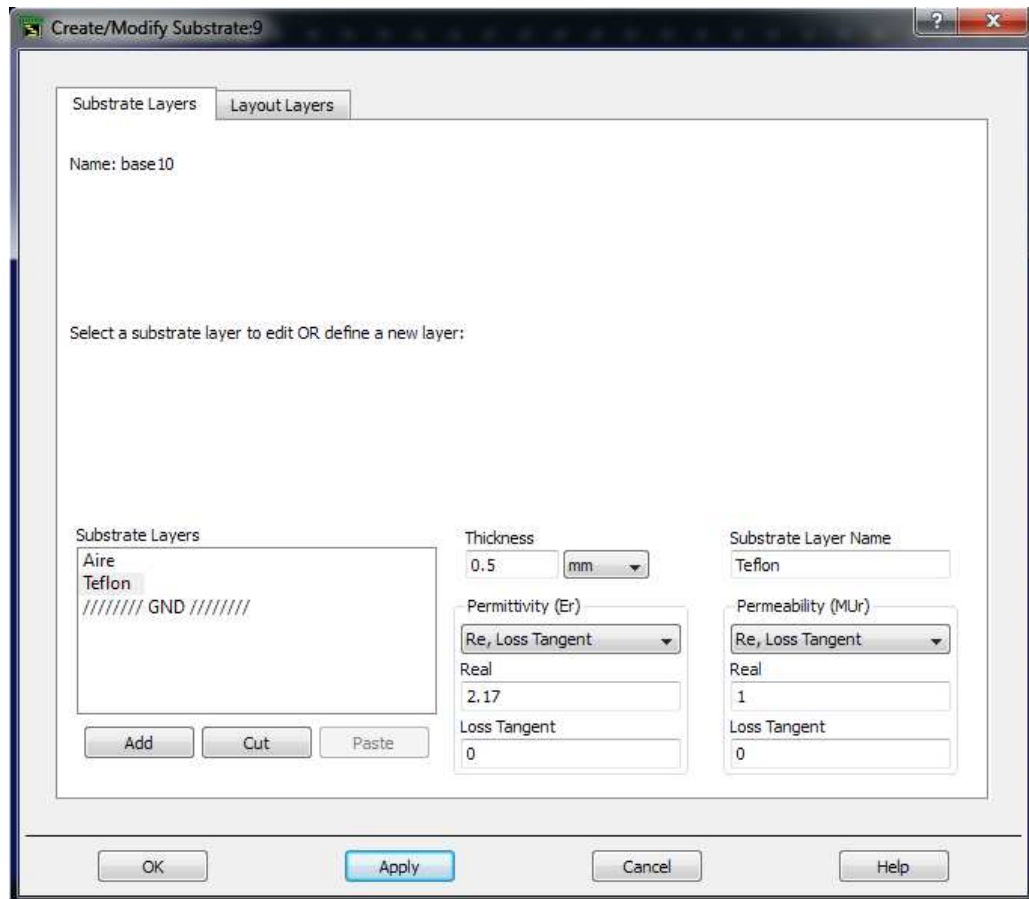


Ilustración 3: Ventana "Substrate Layers"

- A continuación seleccionamos la pestaña "Layout Layers". Debemos notar cómo las capas metálicas que hemos pintado en la etapa de diseño del layout se colocan automáticamente entre dos capas de sustrato definidas anteriormente. Deberemos entonces mapear cada una de ellas en el lugar adecuado.
- Comenzaremos mapeando los VH. Para ello seleccionamos la capa dieléctrica, a través de la cual pasarán los VH, poniendo de esta manera a tierra la microtira de la capa superior. Seleccionamos el teflón, y elegimos la capa correspondiente a "hole". Hacemos click sobre la opción "Via".
- Mapeamos la capa metálica de la microtira. Para ello seleccionamos la capa correspondiente a un conjunto de guiones seguidos. Seleccionamos a la derecha la capa correspondiente a "cond", y hacemos click sobre la opción "Strip", dado que lo que queremos es una tira. Nos debe quedar una ventana como la siguiente:

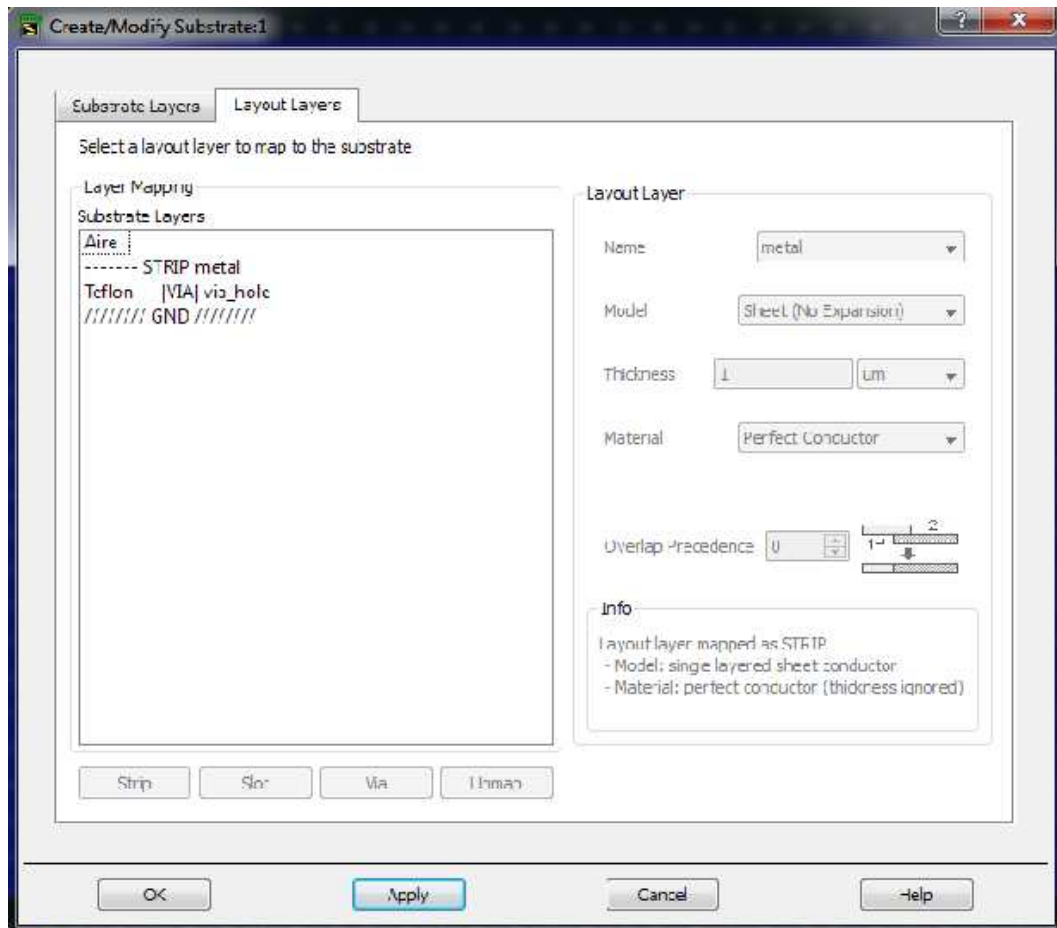


Ilustración 4: Ventana “Layout Layers”

- Una vez realizado lo anterior, hacemos click en “OK” haciendo desaparecer el cuadro de diálogo. Navegamos en la pantalla de layout hacia: Momentum -> Substrate -> Precompute... . De esta manera calculamos la función de Green característica del sustrato.
- Una vez realizado el último paso, vamos a guardar el sustrato, dado que será el que vamos a usar de aquí en adelante, pudiendo aprovecharlo para otros diseños. Para ello, nos vamos a: Momentum -> Substrate -> Save As. Le damos un nombre apropiado, y hacemos click en “OK”. Ya lo tendremos guardado.

2.3 Simulación de la Estructura

Como paso anterior a la simulación propiamente dicha, procederemos a definir el mallado. Para ello realizamos los siguientes pasos:

- Nos vamos al menú: Momentum -> Mesh -> Setup. Rellenamos el campo "Mesh Frequency" con el valor 8 GHz (se trata de la frecuencia más alta que vamos a simular). Hacemos click en "OK", haciendo desaparecer el cuadro de diálogo.
- Nos vamos al menú: Momentum -> Mesh -> Precompute... . De esta manera tendremos generado el mallado necesario para realizar la simulación.

Por último configuraremos y realizaremos la simulación. Para ello seguimos los siguientes pasos:

- Navegamos hacia el menú Momentum -> Simulate -> S-parameters. Se nos abrirá un cuadro de diálogo, donde definiremos las características de nuestra simulación. Normalmente haremos una simulación con barrido adaptativo entre 100 MHz y 8 GHz, con un número máximo de muestras de 20.
- Hacemos click en "Add to Frequency Plan List". Ya por último hacemos click en "Simulate", con lo que se dará por comenzada la simulación.

3 Circuito Base con Dos VH a Tierra.

En el presente apartado se procederá a simular el primero de los varios circuitos bases que nos permitirán discutir la mejor puesta a tierra para nuestro circuito final de microondas. Se verá que la correcta puesta a tierra de éstos se antoja una tarea de gran importancia para obtener resultados esperados. A continuación podemos ver cómo quedaría el layout de nuestra primera simulación:

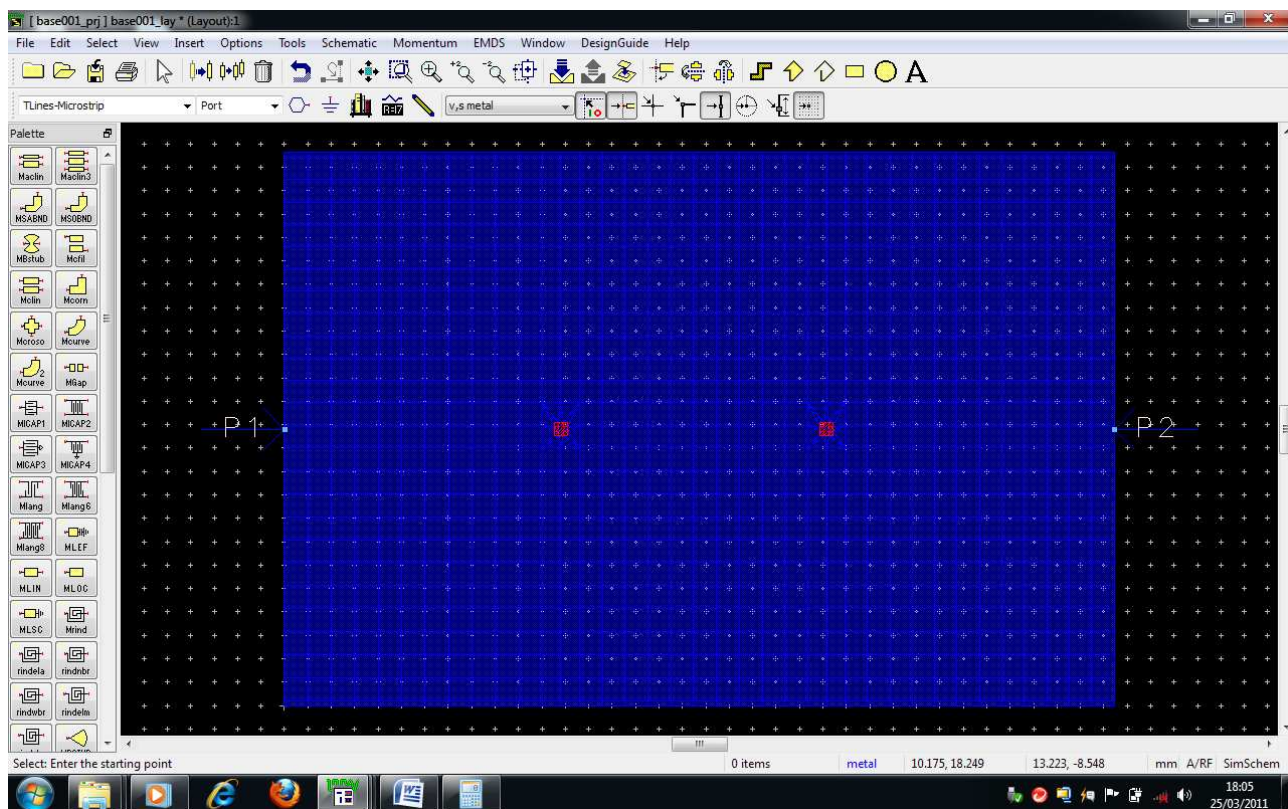


Ilustración 5: Circuito Base con Dos VH Separadas una Distancia cercana a $\frac{\lambda}{2}$

Los parámetros más importantes que definen el circuito anterior son:

- Dimensiones de la placa de circuito impreso: 45 x 30 mm^2 .
- Separación entre VH: 15 mm (aproximadamente $\frac{\lambda}{2}$ a la frecuencia máxima de barrido).
- Diámetro de las VH: 0,8 mm.

Las características de la simulación de parámetros S han sido las siguientes:

- Frecuencia inicial: 100 MHz.

- Frecuencia final: 8 GHz.
- Tipo de barrido: Adaptativo.
- Máximo número de muestras: 20.

Vamos a ver a continuación el resultado para S_{11} y S_{21} . Estos son los parámetros que más nos interesan para nuestro estudio. S_{11} representa las pérdidas por retorno a la entrada de la red de microondas analizada, mientras que S_{21} representa las pérdidas de inserción de nuestra red.

Debemos tener en cuenta que la red, idealmente debería representar una tierra perfecta, por lo que la desadaptación ante una entrada a $50\ \Omega$ es completa, con lo que los valores para los parámetros anteriormente citados son (en unidades naturales):

- $S_{11} = 1$
- $S_{21} = 0$

Los resultados han sido los siguientes:

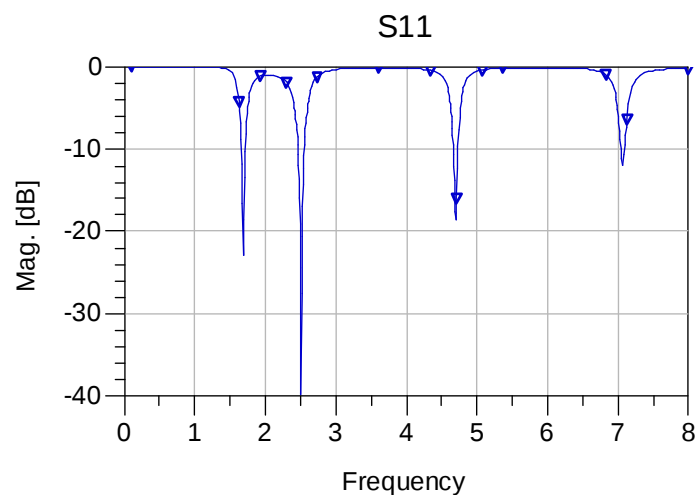


Ilustración 6: Pérdidas por Retorno con Dos Vías muy Separadas

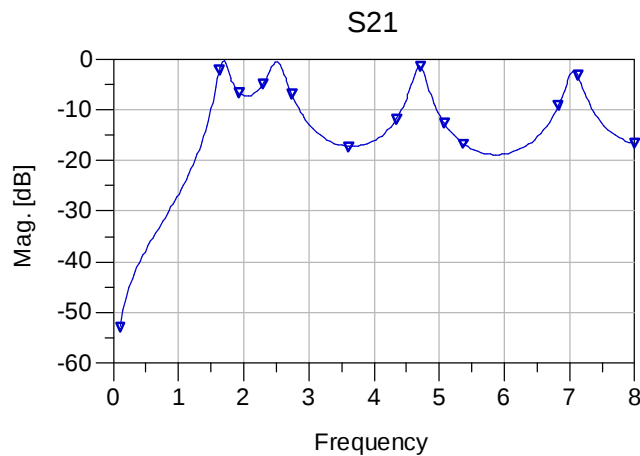


Ilustración 7: Pérdidas de Inserción con Dos Vías Muy Separadas

Como podemos ver, el resultado está bastante lejos de lo esperado por las siguientes razones. El resultado se asemeja al que debería tener en el caso ideal tan solo a las frecuencias más bajas (entorno a 100 MHz). En cuanto sube la frecuencia, se deja a entrever por las figuras anteriores que la puesta a tierra comienza a distar del caso ideal.

Como podemos observar, S_{11} se aleja mucho de los 0 dB en cuanto apenas sube la frecuencia, mientras que S_{21} se acerca a los 0 dB, alejándose bastante de los $-\infty$ dB en los que debería colocarse (un buen valor se consideraría por debajo de los -40 dB). Usando este criterio, podemos decir que la placa de circuito impreso se comporta de manera adecuada hasta una frecuencia poco más baja de 1.5 GHz, la cual se va a considerar el ancho de banda del mismo.

Vamos a considerar a continuación una disminución en la separación entre las VH (en torno a un octavo de la longitud de onda). Veamos cómo afecta esto a los parámetros S_{11} y S_{21} :

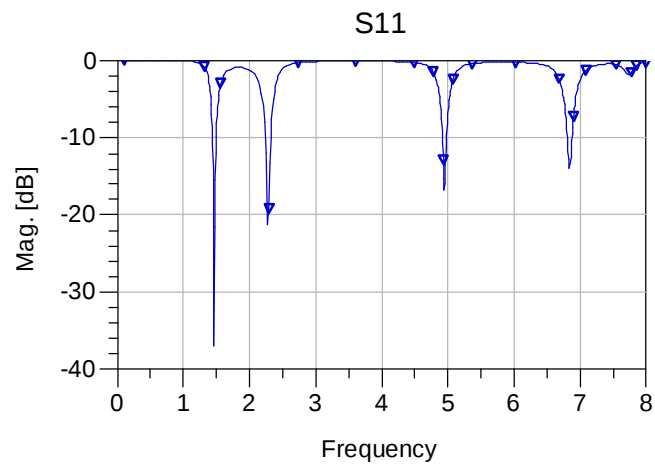


Ilustración 8: Pérdidas por Retorno con Dos Vías menos Distantes

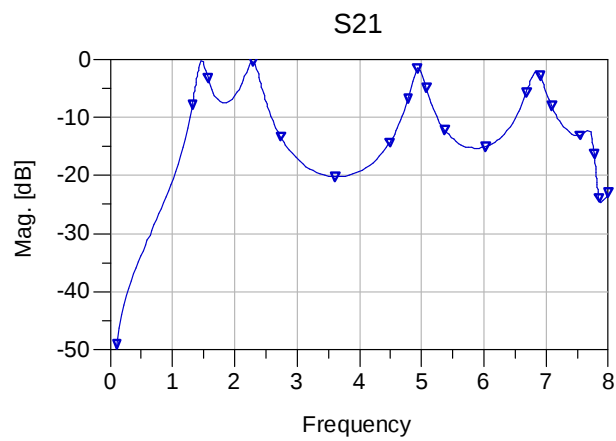


Ilustración 9: Pérdidas de Inserción con Dos Vías menos Distantes

Como podemos observar, la mejoría es prácticamente nula. Por ello, podemos concluir que dos VH es un escaso valor para una puesta a tierra con un ancho de banda suficiente.

4 Circuito Base con Cuatro VH a Tierra

En el presente punto, vamos a intentar mejorar la puesta a tierra respecto al anterior, en el que disponíamos tan solo de dos VH. Para ello, duplicamos el número de VH a tierra. El nuevo layout quedaría como el que podemos ver en la siguiente figura:

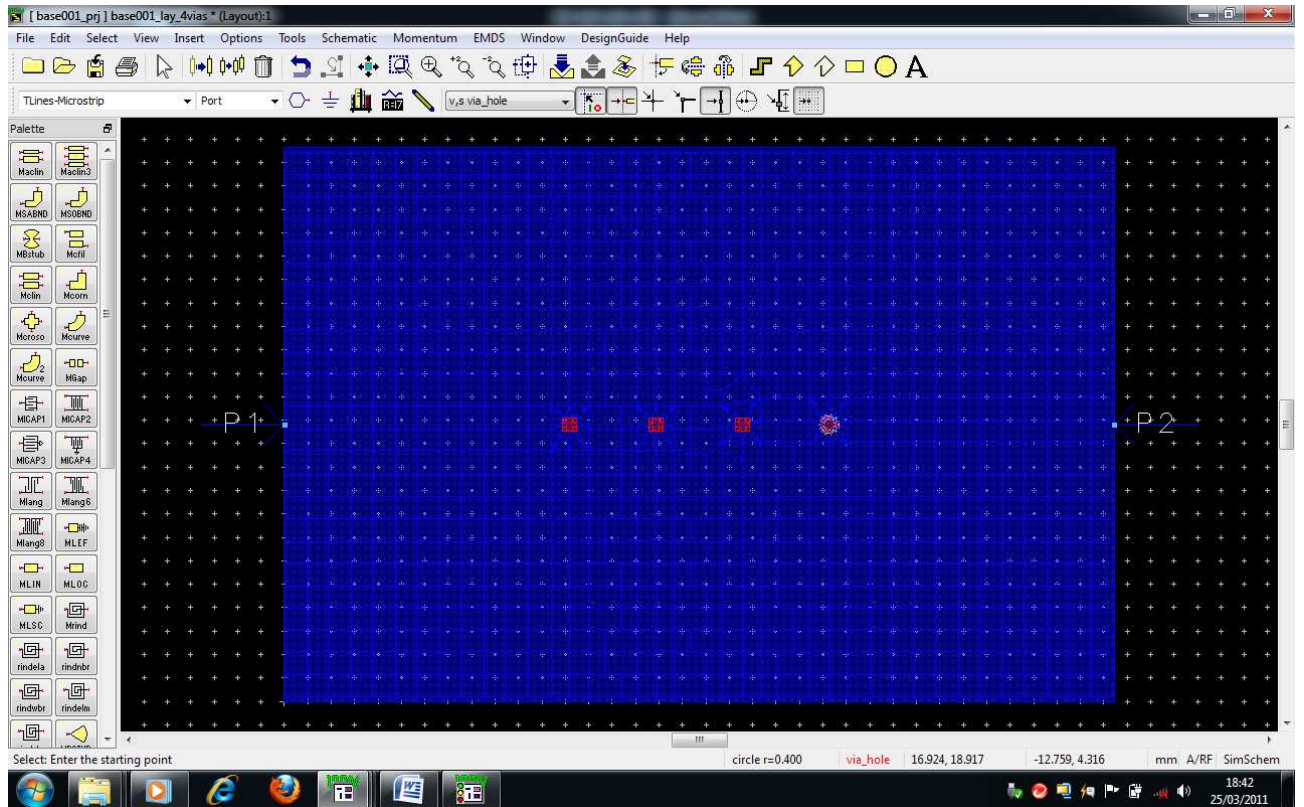


Ilustración 10: Circuito Base con Cuatro Vias a Tierra

Los parámetros más importantes que definen la red son:

- Dimensiones de la placa de circuito impreso: 45 x 30 mm^2 .
- Separación entre VH: 4,6875 mm (aproximadamente un octavo de la longitud de onda a la máxima frecuencia de trabajo).
- Diámetro de las VH: 0,8 mm.

La simulación se ha hecho con las mismas características que la simulación anterior. El resultado se muestra a continuación:

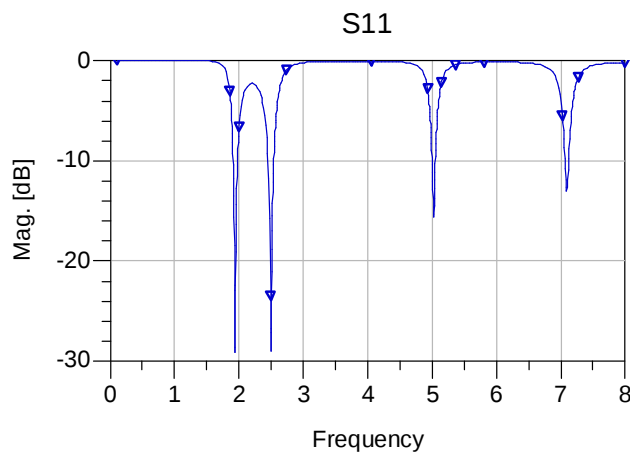


Ilustración 11: Pérdidas por Retorno con Cuatro Vías a Tierra

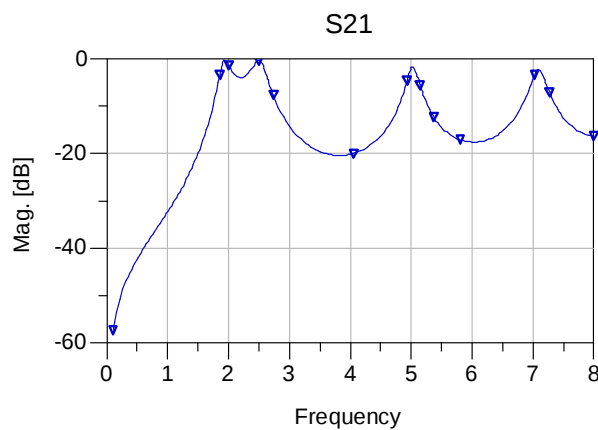


Ilustración 12: Pérdidas de Inserción con Cuatro Vías a Tierra

Vemos cómo el duplicar el número de VH ha mejorado notablemente el comportamiento del circuito. Podríamos considerar que el circuito opera de forma correcta hasta frecuencias cercanas a los 2 GHz (en torno a los 1,85 GHz).

Por ello, podemos concluir que subiendo el número de VH por longitud de onda, mejoramos la puesta a tierra de nuestra red de microondas. Aunque como vemos en las anteriores figuras, el comportamiento dista mucho de lo que podríamos considerar un buenísimo resultado. Por ello, se van a proponer a continuación, algunas otras soluciones basadas en el aumento del número de VH por longitud de onda, junto a una disminución de la distancia entre ellas. Para ello, nos fijamos en

la recomendación estudiada en el apartado 5.3 de nuestro capítulo 5 teórico: “para tener una buena puesta a tierra en circuitos con componentes activos, se deben colocar al menos diez VH por longitud de onda”.

5 Circuito Base con Dos Filas de Diez VH a Tierra

Siguiendo la recomendación puntualizada en el apartado anterior, vamos a realizar el estudio de la misma. En la siguiente figura podemos ver el layout de nuestro circuito pretendido:

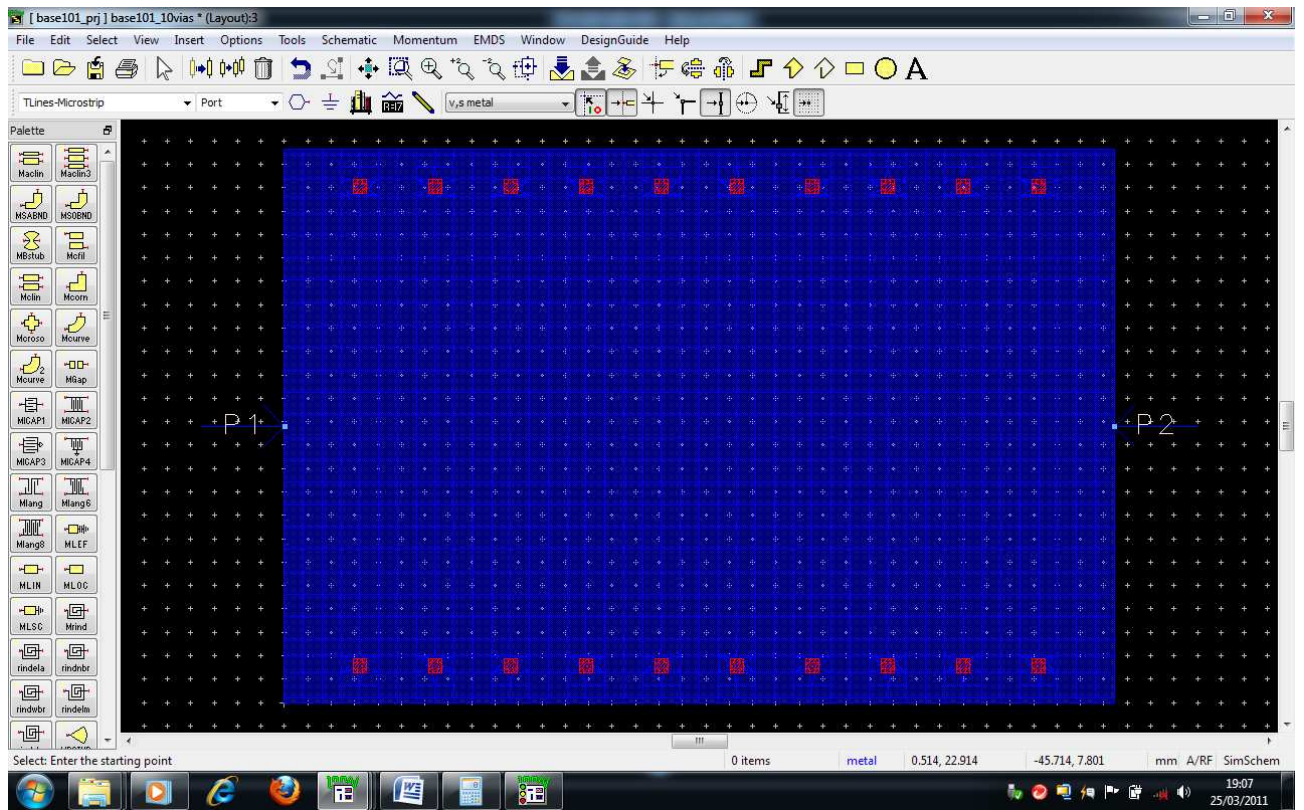


Ilustración 13: Circuito Base con Dos Filas de Diez Vías a Tierra

Los parámetros más importantes del diseño anterior se citan a continuación:

- Dimensiones de la placa de circuito impreso: 45 x 30 mm^2 .
- Separación entre VH: 4.0909 mm (menor de un octavo de longitud de onda).
- Diámetro de las VH: 0,8 mm.

Realizando una simulación de las mismas características que las anteriores obtenemos los siguientes resultados:

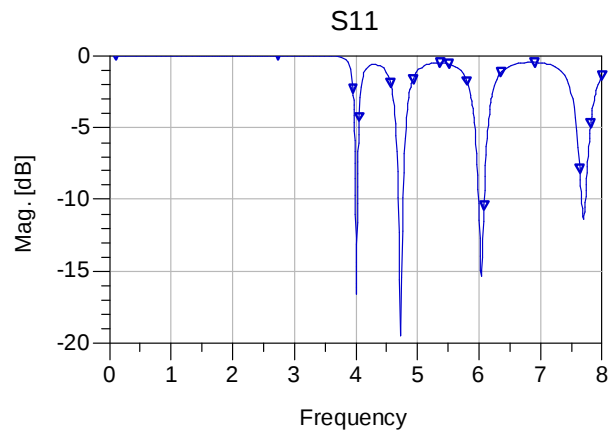


Ilustración 14: Pérdidas por Retorno con Dos Filas de Diez Vías a Tierra

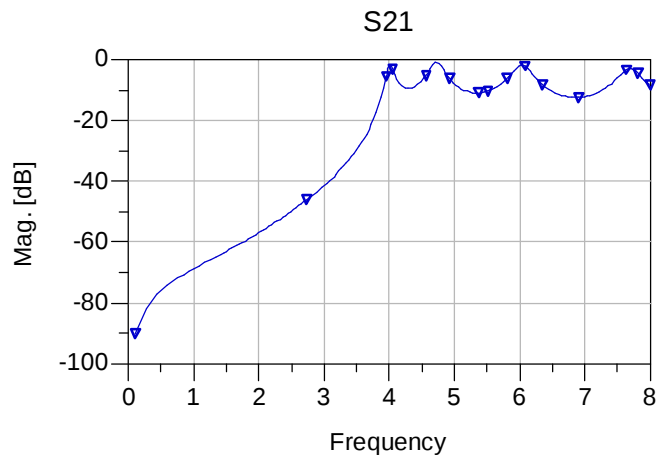


Ilustración 15: Pérdidas de Inserción con Dos Filas de Diez Vías a Tierra

Como podemos observar de las figuras anteriores, obtenemos resultados bastante ajustados al caso ideal para un rango bastante amplio de frecuencias. Podríamos decir que el circuito se comporta correctamente hasta una frecuencia cercana a los 4 GHz (en torno a los 3,8 GHz). Hemos mejorado en un factor prácticamente tres el resultado obtenido mediante dos VH.

6 Circuito Base con Dos Filas Dobles de Diez VH a Tierra

En este último caso de análisis de nuestro circuito base, nos acercaremos bastante a posturas adoptadas por diversos fabricantes de circuitos de microondas. Éstos, para una correcta puesta a tierra, usan una doble fila de VH en los extremos de la placa de circuito impreso, con un número elevado de ellas.

En nuestro caso, el número de VH por fila es de diez. Como comprobaremos en los resultados que podremos visualizar a continuación, mejoraremos con creces el comportamiento del modelo anterior.

Además, cabe destacar las propiedades dieléctricas del dieléctrico que estamos usando, el teflón. Dada su relativamente baja constante dieléctrica, su poder de concentración del campo electromagnético es menor que si tuviéramos otros como por ejemplo la alúmina.

A continuación podemos ver el layout de nuestra red de microondas:

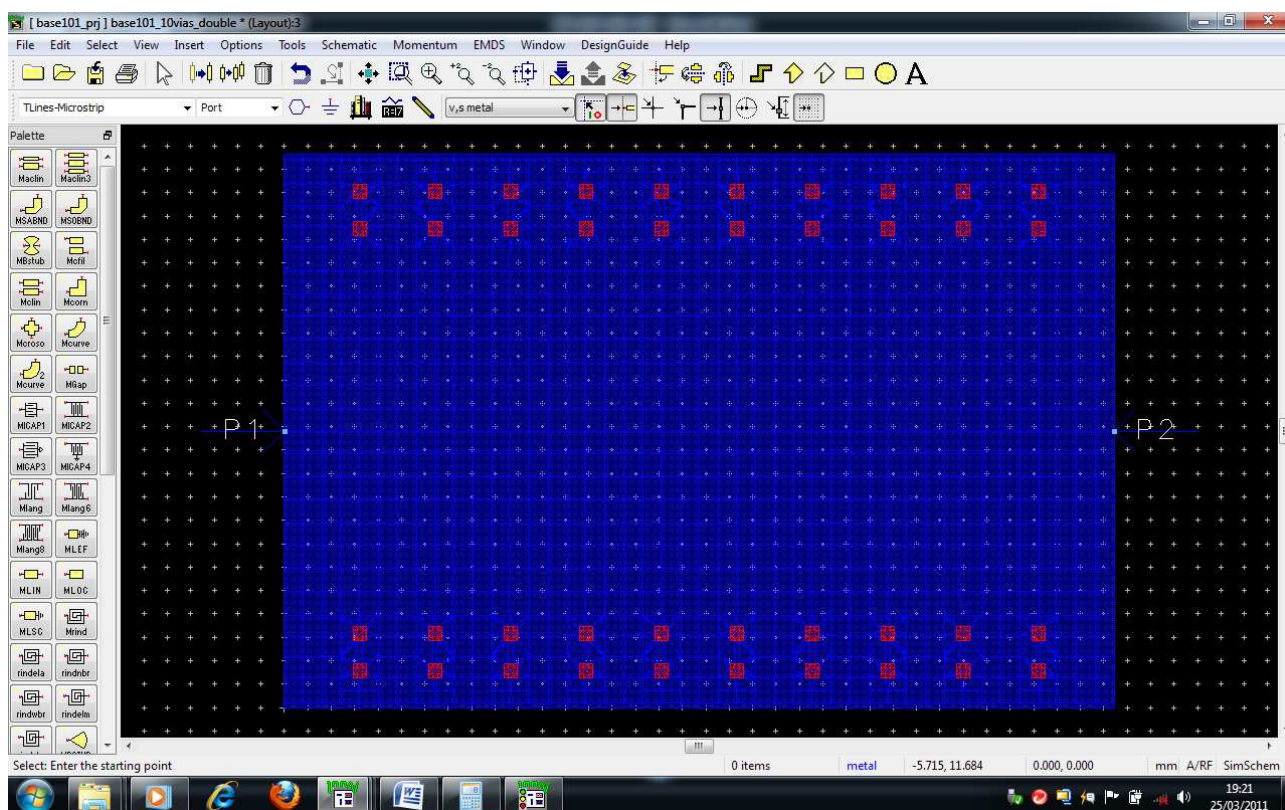


Ilustración 16: Circuito Base con Dos Filas Dobles de Diez Vías a Tierra

Los parámetros más importantes del circuito que se va a simular son los siguientes:

- Dimensiones de la placa de circuito impreso: 45 x 30 mm².

- Separación entre las VH: 4.0909 mm.
- Separación entre las filas de diez VH: 2 mm.
- Diámetro de las VH: 0,8 mm.

Los parámetros correspondientes a la simulación realizada son los mismos que en las simulaciones anteriores. Los resultados para los parámetros S_{11} y S_{21} son los que se muestran a continuación:

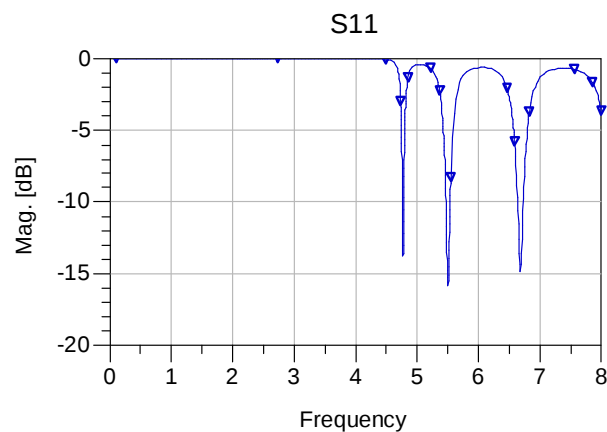


Ilustración 17: Pérdidas por Retorno con Dos Dobles Filas de Diez Vías a Tierra

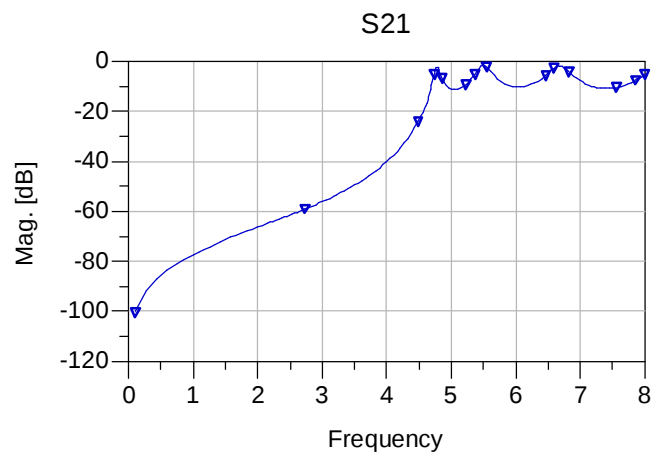


Ilustración 18: Pérdidas de Inserción con Dos Dobles Filas de Diez Vías a Tierra

De las anteriores figuras podemos ver cómo nuestra puesta a tierra es lo suficiente aceptable como para trabajar sobre este módulo de aquí en adelante. Observamos cómo podemos asemejar el comportamiento de este circuito al caso ideal hasta frecuencias aproximadamente

de 4,5 GHz, habiendo aumentado el ancho de banda del circuito en casi 1 GHz respecto al caso de filas simples de VH.