

Capítulo-10: Simulación del Circuito de Microondas con Amplificadores Reales

1 Introducción

Tras el estudio realizado en el anterior capítulo, tan solo nos queda corroborarlo usando un modelo real de amplificador. Se tratará del modelo MAR-8A + del fabricante Mini-Circuits. Por ello, deberemos disponer de los datos correspondientes a sus parámetros S, para su simulación en la herramienta ADS.

Tras ello, se deberá crear un bloque en ADS que represente al amplificador, actuando a partir de entonces como se realizó en el pasado capítulo.

Tras las simulaciones se podrán sacar conclusiones que podrán servir para una posible fabricación del circuito de manera decisiva. Además se discutirán las diferencias con el caso ideal, que en principio se pueden antojar importantes ante la influencia ciertos factores en el caso real que no se contemplaron en el caso ideal.

1.1 Presentación del Amplificador MAR-8A +



Ilustración 1: Aspecto del Amplificador MAR-8A +

Sus características principales son:

- Alta ganancia: 31,5 dB a una frecuencia de 100 MHz.
- Internamente adaptado a una impedancia de 50 Ω .
- Alta potencia de salida: típica de 12,5 dBm.

- Bajo ruido.
- Gran estabilidad.
- Protegido frente a transitorios de la alimentación.

El MAR-8A + es un amplificador de banda ancha que ofrece un amplio rango dinámico. Viene distribuido encapsulado. El amplificador usa una configuración “Darlington”, y ha sido fabricado con tecnología InGaP HBT. La vida esperada del amplificador se estima en 18 años a una temperatura de 85 °C.

A continuación podemos ver una tabla en la que se pueden comprobar sus principales características funcionales:

Electrical Specifications at 25°C and 36mA, unless noted

Parameter	Min.	Typ. ³	Max.	Units
Frequency Range*	DC		1	GHz
Gain	f=0.1 GHz f=1 GHz	20 ²	31.5 25	dB
Input Return Loss	f=DC to 1 GHz		15.5	dB
Output Return Loss	f=DC to 1 GHz		11	dB
Output Power @ 1 dB compression	f=1 GHz		+12.5	dBm
Output IP3	f=1 GHz		+25	dBm
Noise Figure	f=1 GHz		3.1	dB
Recommended Device Operating Current			36	mA
Device Operating Voltage	3.2	3.7	4.2	V
Device Voltage Variation vs. Temperature at 36 mA			+1.2	mV/°C
Device Voltage Variation vs. Current at 25°C			11.3	mV/mA
Thermal Resistance, junction-to-case ¹			119	°C/W

2 Preparación del Bloque Amplificador Real en ADS

En el presente punto se va a presentar cómo crear un bloque que representará nuestro amplificador real. Para ello procederemos de la siguiente manera (los siguientes puntos indican un procedimiento general para la creación del bloque):

- Dentro de una ventana de esquemático debemos elegir en la barra de herramientas el menú de componentes “Data Items”.
- Buscamos y elegimos el bloque “S” representado como sigue:



- A continuación debemos rellenar el campo “File” del componente: en él debemos colocar la ruta en la que se encuentran los parámetros S que han sido medidos con la ayuda de un analizador vectorial de redes.

Una vez realizado todo lo anterior, ya podemos trabajar con el bloque como lo hicimos con el bloque amplificador del capítulo 9.

El conjunto de parámetros S de los que se va hacer uso están tomados en las siguientes condiciones:

- Corriente nominal: 36 mA.
- Temperatura: 25 °C.

3 Simulación del Circuito de Microondas con Un Amplificador Real

3.1 Preparación de la Estructura

La placa de circuito impreso que se va a utilizar es la misma que se utilizó en el punto 3.5 del capítulo 9 del presente documento. Por ello lo único que se tendrá que hacer es incluir un bloque representante del amplificador MAR-8A +, y colocarlo en dicha estructura.

Nos debe quedar una ventana de esquemático similar a la siguiente:

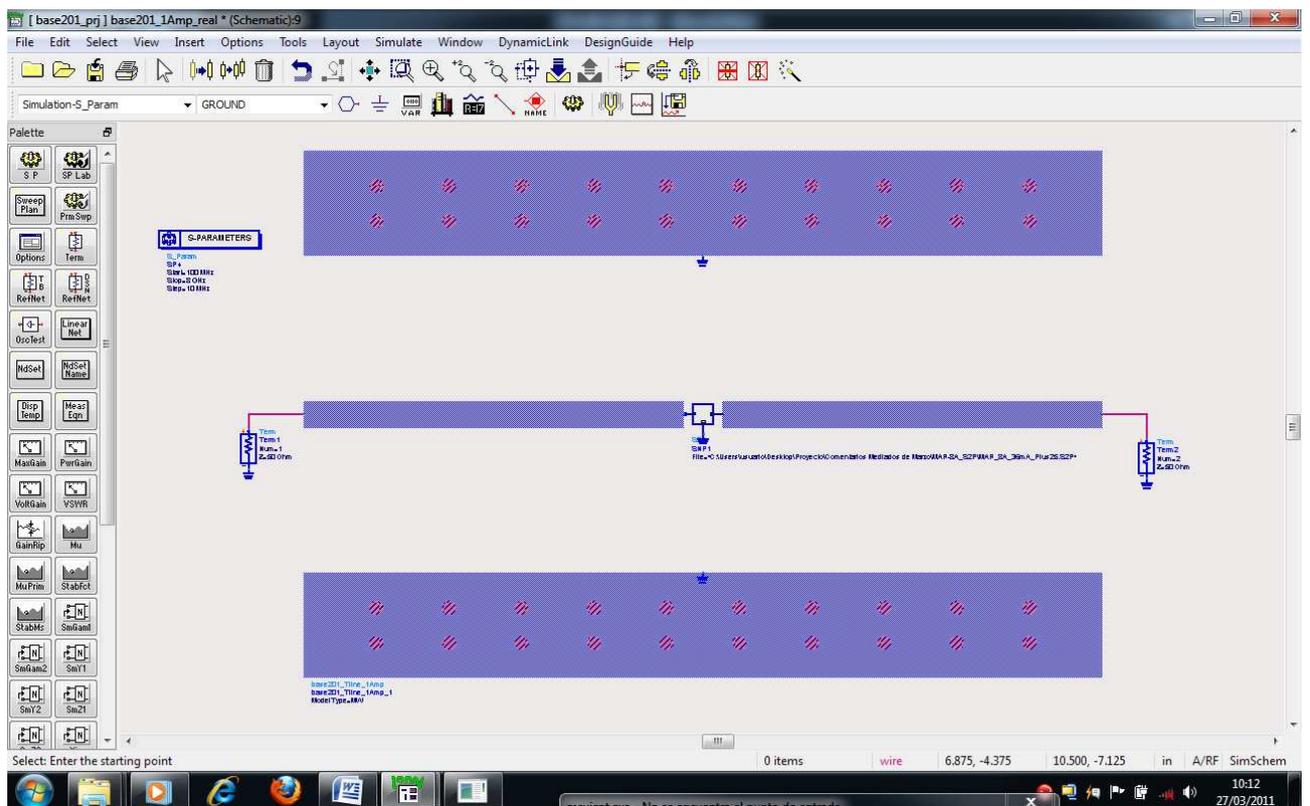


Ilustración 2: Ventana de Esquemático Circuito con Un Amplificador Real

Los parámetros de simulación han sido los siguientes (al igual que en casos anteriores):

- Frecuencia inicial: 100 MHz.
- Frecuencia final: 8 GHz.
- Paso de frecuencia: 10 MHz.

3.2 Resultados de la Simulación

A continuación se van a mostrar los resultados obtenidos de la simulación del anterior circuito:

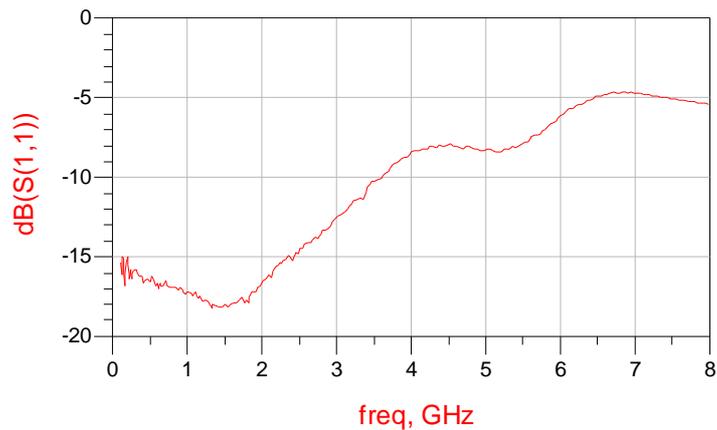


Ilustración 3: Pérdidas por Retorno del Circuito con Un Amplificador Real

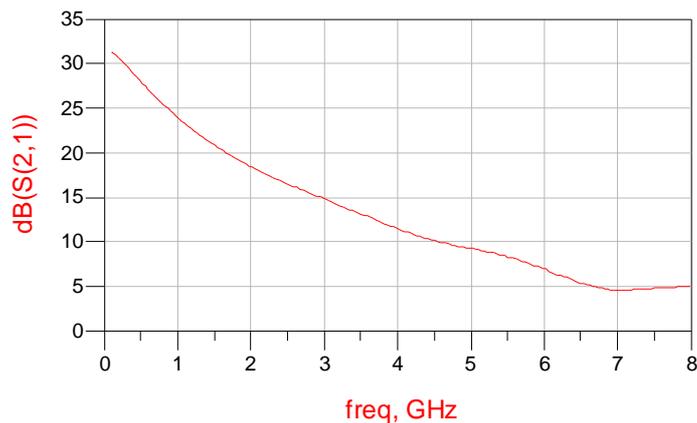


Ilustración 4: Pérdidas de Inserción del Circuito con Un Amplificador Real

Tratando de hacer unos primeros comentarios generales sobre el comportamiento del circuito, observamos de las anteriores figuras una disminución más o menos paulatina de la ganancia con la frecuencia, además de un empeoramiento en cuanto a las pérdidas por retorno se refiere. Sin embargo aún es prematuro achacar dicho comportamiento a la placa de circuito impreso, incluso lo sería el hecho de decir si el circuito se comporta como debe o no (recordemos que estamos tratando con modelo de amplificador real en el que las características con la frecuencia no tienen que ser planas).

Es por ello que debemos acudir al datasheet del elemento amplificador para tratar de discutir el comportamiento observado en las anteriores figuras. Podemos observar en el anexo del presente documento el detalle de las pérdidas por retorno y las pérdidas de inserción esperadas para amplificador en función de la frecuencia.

Vamos a ir haciendo un recorrido más o menos detallado del rango de frecuencias facilitado por el fabricante, discutiendo el comportamiento de nuestro circuito. Nos vamos a ir fijando (dentro del datasheet del componente) en las columnas correspondientes de la ganancia y de las pérdidas por retorno a la entrada del mismo. Recordar en este punto que idealmente la placa de circuito impreso debería ser transparente a todos los efectos, es decir, que el comportamiento total observado debería ser el del amplificador tan solo. Por ello, las diferencias entre el valor indicado por el fabricante y el obtenido en la simulación anterior, serán debidas a la placa.

Nos fijaremos en diez frecuencias equiespaciadas entre los 100 MHz y 1 GHz, siguiendo de esta manera un modelo uniforme.

FRECUENCIA (GHz)	<i>Gain₀</i> (dB) (Fabricante)	<i>Return Input Loss₀</i> (dB) (Fabricante)	Return Input Loss (dB) (Medido)	Gain (dB) (Medido)
0,1	31,34	15,08	15,366	31,331
0,2	30,66	16,03	15,517	30,627
0,3	29,82	16,13	15,785	29,777
0,4	28,89	16,64	16,712	28,912
0,5	27,96	16,78	16,615	27,950
0,6	27,10	16,50	16,715	27,092
0,7	26,20	16,42	16,538	26,207
0,8	25,42	16,83	16,917	25,464
0,9	24,65	16,80	16,913	24,677
1,0	23,95	16,83	17,177	23,945

Como se puede observar en la tabla anterior, las diferencias entre los valores dados por el fabricante y los medidos en el proceso de simulación son prácticamente nulas. El error cometido es del orden de las décimas, y en algunos casos incluso de las milésimas (como en el caso de la ganancia). Por ello, podemos concluir que los resultados son excepcionales.

Para el resto de valores se hará un análisis menos exhaustivo. Comencemos con el análisis de las pérdidas por retorno: como se deja entrever de los datos del fabricante, un buen valor está en torno a los 15 dB. Según la simulación realizada estaremos por encima de este valor hasta una frecuencia de 2,35 GHz, lo cual se podría considerar bastante satisfactorio. Se considerará un valor límite para las pérdidas por retorno de la red de 10 dB. Dicho valor se alcanza a una frecuencia de 3,6 GHz, por lo que este valor se considerará el ancho de banda del circuito, es decir, el rango de frecuencias en el que el comportamiento se puede considerar aceptable.

Analicemos la ganancia obtenida para la red: como se ha podido observar en la tabla anterior, los resultados extraídos de la simulación realizan un seguimiento bastante bueno de los valores facilitados por el fabricante. Además no se observa ninguna discordancia en la figura de ganancia obtenida, en la que se irá teniendo una disminución de la misma conforme aumenta la frecuencia.

A modo de complemento se van a introducir una serie de gráficas facilitadas por el fabricante para el comportamiento esperado del amplificador en un rango de frecuencias de 100 MHz a 1 GHz. De esta manera se podrá realizar una comparación visual del comportamiento esperado, y el comportamiento real de la red de microondas.

Comencemos con las pérdidas por retorno a la entrada. Recordar en este punto que la curva que nos interesa será la correspondiente a una temperatura de +25 °C y 36 mA. Estas son las gráficas facilitadas por el fabricante:

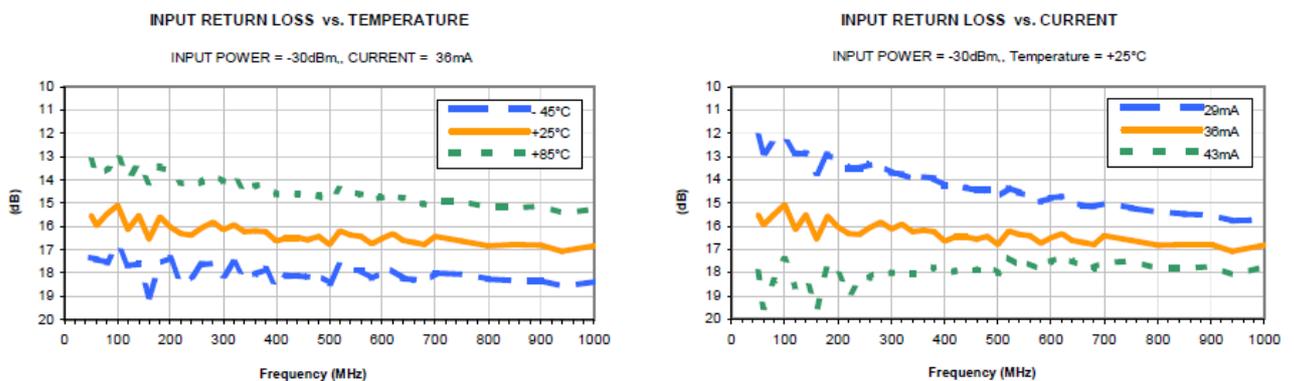


Ilustración 5: Pérdidas por Retorno Dadas por el Fabricante Mini-Circuits

Y este ha sido el resultado obtenido para la red de microondas analizada:



Ilustración 6: Pérdidas por Retorno Analizadas en la Simulación

Como se puede observar los resultados se acercan bastante. Veamos por último el caso de las pérdidas de inserción, o lo que se está analizando como equivalente, la ganancia de la red. Estos son los datos facilitados por el fabricante:

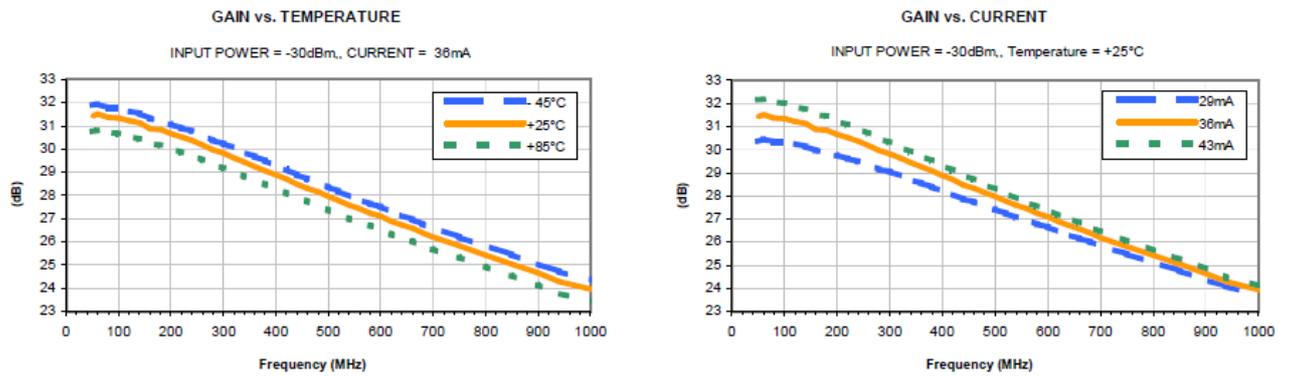


Ilustración 7: Gráfica de Ganancia Dada por el Fabricante Mini-Circuits

Y este ha sido el resultado de la simulación:



Ilustración 8: Ganancia Obtenida en el Proceso de Simulación

Una vez más, como podemos observar de las figuras anteriores, los resultados se asemejan bastante.

4 Simulación del Circuito de Microondas con Dos Amplificadores Reales en Cascada

4.1 Preparación de la Estructura

La placa de circuito impreso que se va a utilizar es la misma que se utilizó en el punto 4.3 del capítulo 9 del presente documento. Por ello lo único que se tendrá que hacer es incluir dos bloques representantes de los amplificadores MAR-8A +, y colocarlos en cascada en dicha estructura.

Nos debe quedar un circuito tal y como se observa en la siguiente figura:

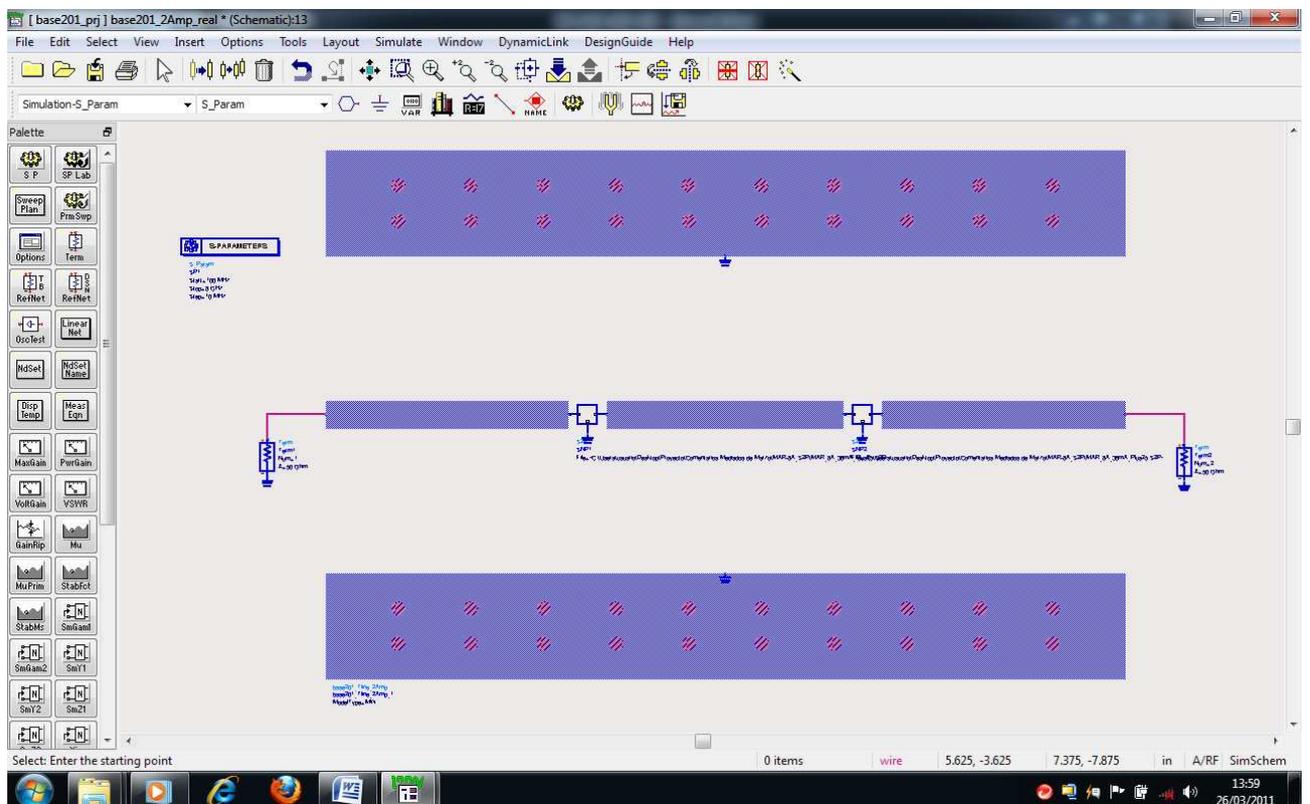


Ilustración 9: Ventana de Esquemático Cadena de Dos Amplificadores Reales

Los parámetros de simulación serán los siguientes:

- Frecuencia inicial: 100 MHz.
- Frecuencia final: 8 GHz.
- Paso de frecuencia: 10 MHz.

4.2 Resultados de la Simulación

Los resultados de la simulación han sido los siguientes:

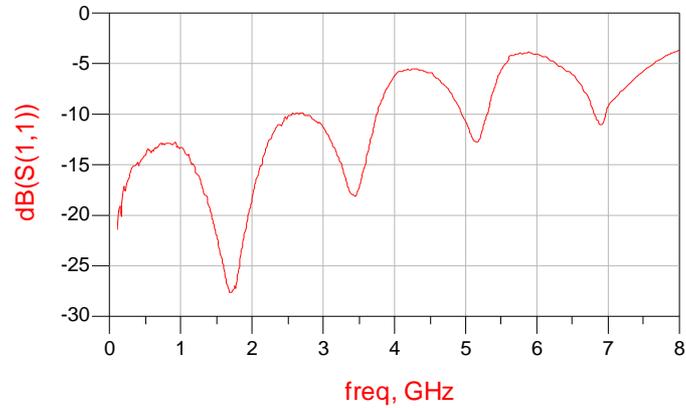


Ilustración 10: Pérdidas por Retorno Circuito con Dos Amplificadores Reales en Cascada



Ilustración 11: Pérdidas de Inserción con Dos Amplificadores Reales en Cascada

Una vez más, y como ocurría en el caso de los amplificadores ideales, los resultados mejoran en el caso de colocar una cascada con dos amplificadores. Además, tal y como se esperaba según los datos del fabricante, la ganancia de la cadena supera los 60 dB a una frecuencia de 100 MHz. Realicemos una discusión similar a la realizada en el apartado 3.2 del presente capítulo.

Comenzaremos comentando el caso de las pérdidas por retorno a la entrada de la red: según los datos facilitados por el fabricante se considerará un buen valor para esta de 15 dB. Además se considerará un valor límite para dichas pérdidas de 10 dB. Pues bien, observando la figura 156 tendremos tres rangos de frecuencias en las que estaremos por encima de 15 dB, alcanzando en algunos casos valores excepcionales. Estos tres rangos son los siguientes:

- 100 MHz – 370 MHz: el pico más alto en este rango es de 21,469 dB (dado a la frecuencia de 100 MHz).
- 1,18 GHz – 2,13 GHz: el pico más alto en este rango es de 27,667 dB (dado a la frecuencia de 1,69 GHz).
- 3,25 GHz – 3,58 GHz: el pico más alto en este rango es de 18,123 dB (dado a la frecuencia de 3,44 GHz).

Sin embargo, y como se deja entrever en la figura 157, conforme subimos la frecuencia, y aunque tengamos buenos valores de pérdidas por retorno, se tendrá una acusada bajada de la ganancia, por lo que tal vez, no sea recomendable trabajar en ciertas de las anteriores bandas.

Volviendo a las pérdidas por retorno, estaremos por encima de los 10 dB hasta una frecuencia dada de 3,74 GHz, la cual se podría considerar el ancho de banda de nuestro circuito.

Pasando a una discusión acerca de la ganancia, parece normal la disminución con la frecuencia que se observa en la figura 161, por los mismos motivos que se comentaban en el apartado 3.2 del presente capítulo.