

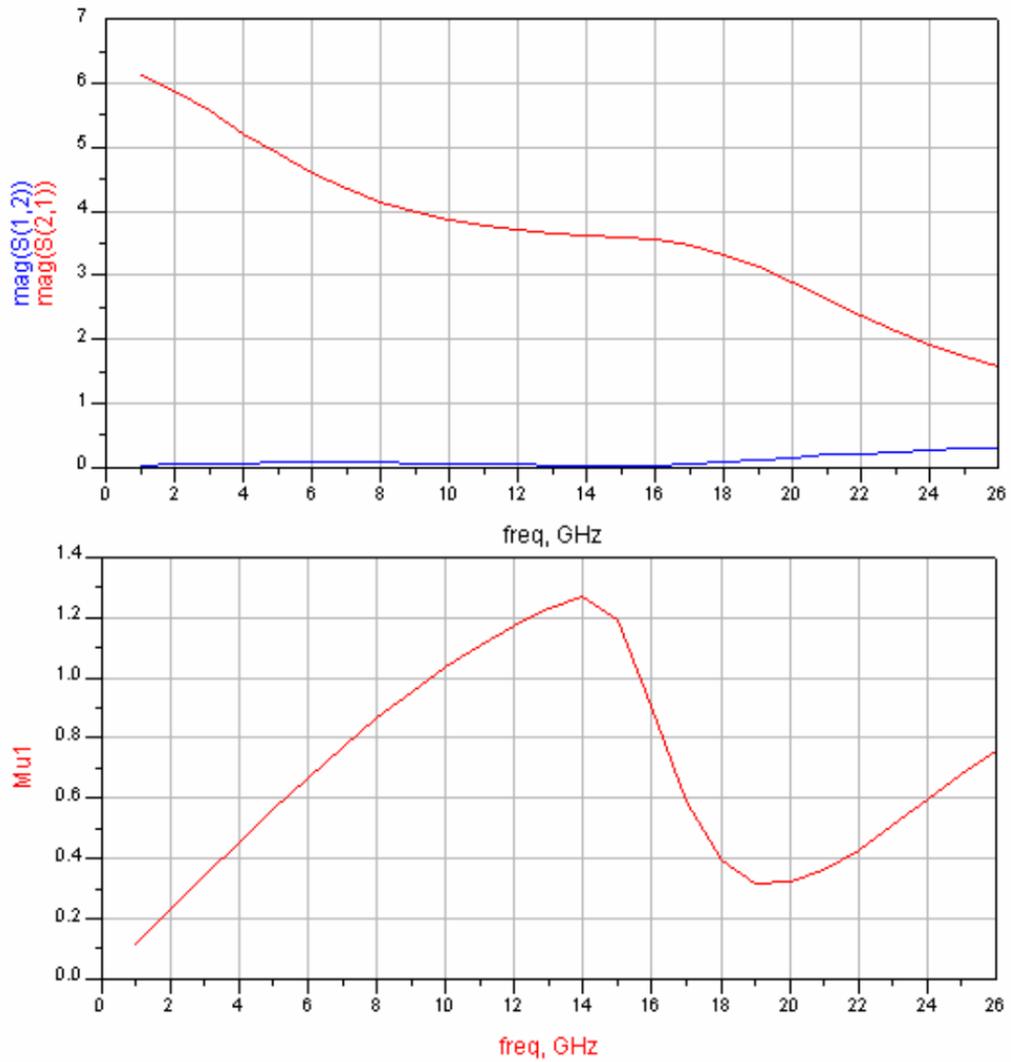
### **3.- ESTUDIO DE DIFERENTES REDES ESTABILIZADORAS**

En este apartado realizamos una comparación de diferentes redes de estabilización para amplificadores de microondas muy usadas en la práctica, centrándonos en las características de nuestro transistor. El criterio de selección de las mejores redes se hará en base al parámetro  $\mu$ , al término de scattering  $S(2,1)$ , al factor de ruido y al factor de ruido mínimo.

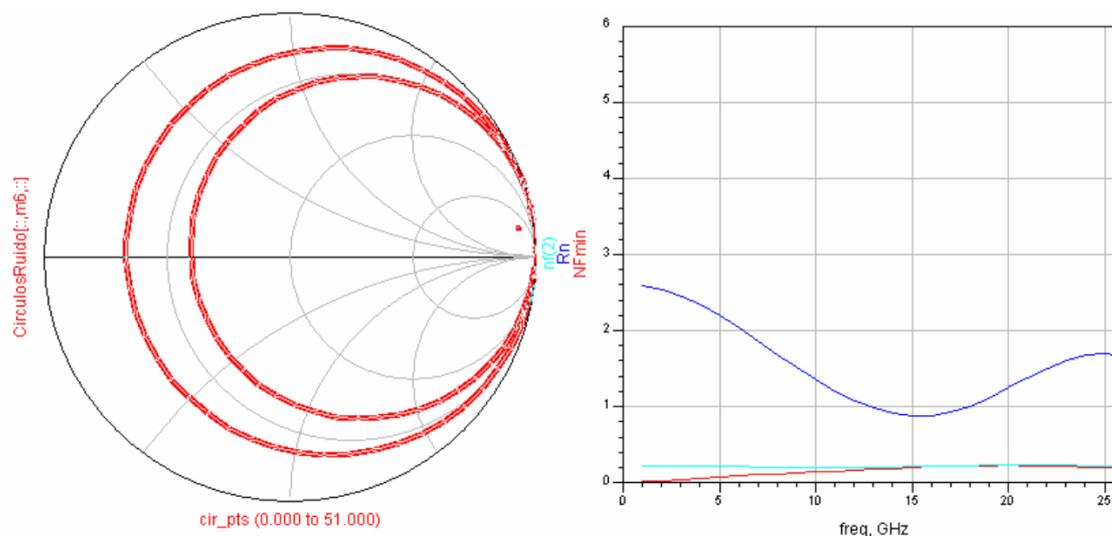
El parámetro  $\mu$  es el indicativo de la estabilidad incondicional y es usado con bipuertas genéricas haciendo uso de sus parámetros de scattering, para su deducción puede acudir a [5]. Los términos de factor de ruido son indicativos del ruido que presentará la bipuerta a la salida, tras la amplificación.

$$\mu = \frac{1 - |S_{11}|^2}{|S_{22} - S_{11}^* \cdot \Delta| + |S_{21} \cdot S_{12}|} > 1 \Leftrightarrow \text{Incondicionalmente estable}$$

Para saber cual es el punto de partida en términos de estabilización podemos observar las figuras 11 y 12, en la que vemos que nuestro transistor es tan solo estable en el rango de 10-15Ghz, tiene el  $S(2,1)$  en torno a 4.5 en la banda de interés (este parámetro es importante puesto que será el que aportará la ganancia a nuestro amplificador, y deberá ser lo mayor posible) y presenta un ruido muy bajo (Figura de ruido menor que 0.2dB), lo cual fue una de las principales razones de haber seleccionado este FET de heterounión.



*Figura 11.- En primer lugar se representan los módulos de los parámetros S de transmisión y en segundo lugar el parámetro  $\mu$ .*



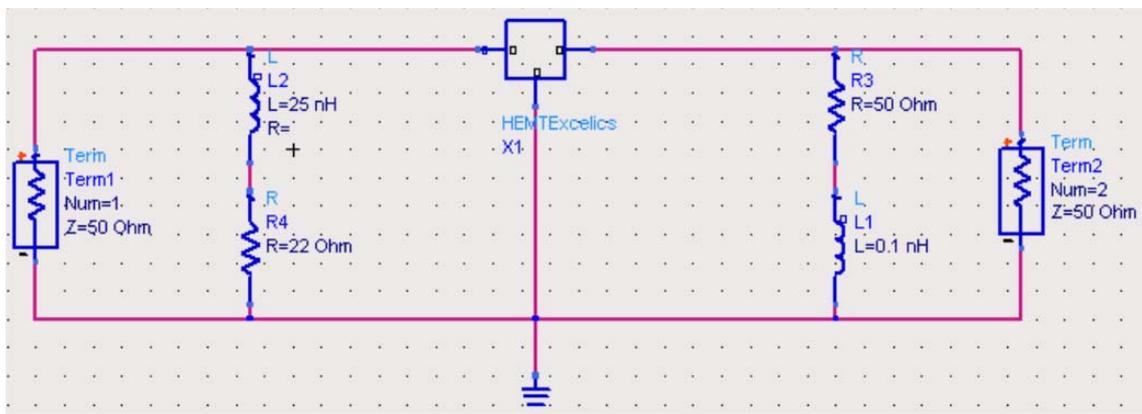
**Figura 12.-** Sobre la carta de Smith se observan los círculos de ruido de 0.5 y 1 dB y en el gráfico están representados la resistencia de ruido, el factor de ruido  $nf(2)$  y el factor de ruido mínimo  $NFmin$  en dB y en función de la frecuencia.

El objetivo de la red estabilizadora que seleccionemos será principalmente el de que para todo el rango de frecuencias que tenemos alrededor de la banda de trabajo de 5.5Ghz el parámetro  $\mu > 1$ , lo cual implicará estabilidad. El hecho de que estabilicemos las frecuencias cercanas a la banda de trabajo es porque puede colarse algún armónico espurio que desestabilice nuestro amplificador. Otros objetivos secundarios, pero no menos importantes, serán los de mantener el nivel de ruido bajo y la amplificación lo mayor posible.

Las soluciones que se presentan a continuación están optimizadas mediante simulación del modelo lineal del FET en cuestión siguiendo como criterios los objetivos descritos previamente para obtener la mejor red posible. El estudio se ha realizado sobre los circuitos esquemáticos, es decir sin incluir líneas microstrip ni otros componentes importantes que puedan alterar el resultado, puesto que en su punto de realización no se conocía más acerca del layout. La red más adecuada será utilizada en el diseño y se introducirán los cambios pertinentes para que al introducir líneas microstrip no se altere en exceso la red.

## Red Estabilizadora de entrada y salida

Este circuito se basa en la colocación de dos redes de una bobina en serie con una resistencia a la entrada del dispositivo amplificador (entre la puerta y la fuente del FET) y a la salida (entre el drenador y la fuente), como puede observarse en la figura 13.



*Figura 13.- Circuito estabilizador de entrada y salida.*

Los resultados que tiene este circuito sobre el FET de heterounión están representados en la figura 14, donde se observa estabilidad en los rangos 0-1.2Ghz, 5.5-16Ghz y 19-25Ghz, una muy buena figura de ruido (0,5dB) y  $\text{magS}(2,1)=3$ . Analizando estos resultados podemos decir que en cuanto a estabilidad es insuficiente debido a los dos grandes picos de inestabilidad en torno a 2.5Ghz y a 17.5Ghz, por lo que podemos decir de antemano que este diseño no nos será útil.

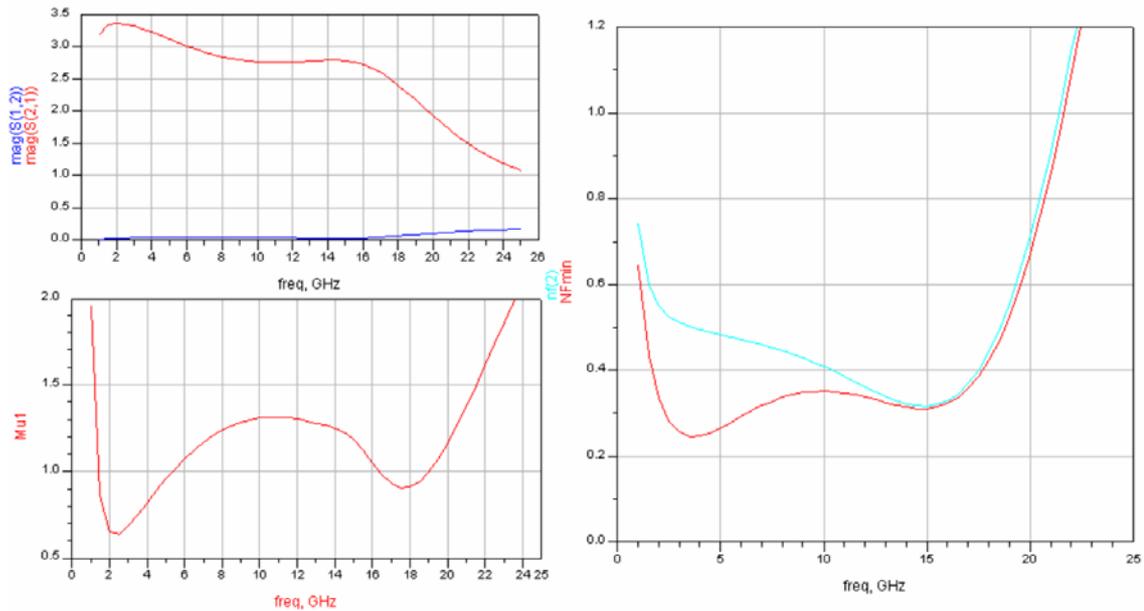


Figura 14.- Parámetros relevantes de la red de estabilización de entrada y salida.

### Resistencia en la puerta del FET

En este caso colocamos simplemente una resistencia adecuada en la puerta del transistor de alta movilidad electrónica (Figura 15), obteniendo inestabilidad por debajo de 2Ghz y un pico de inestabilidad alrededor de los 19Ghz, la amplificación decae con respecto al caso anterior hasta 2.5 y el ruido se ve incrementado considerablemente, como se extrae de la figura 16. No obstante podemos decir a favor de este sistema que la zona estable, que está dentro de la banda de frecuencias buscada, es muy segura puesto que el parámetro  $\mu$  llega hasta 2.5.

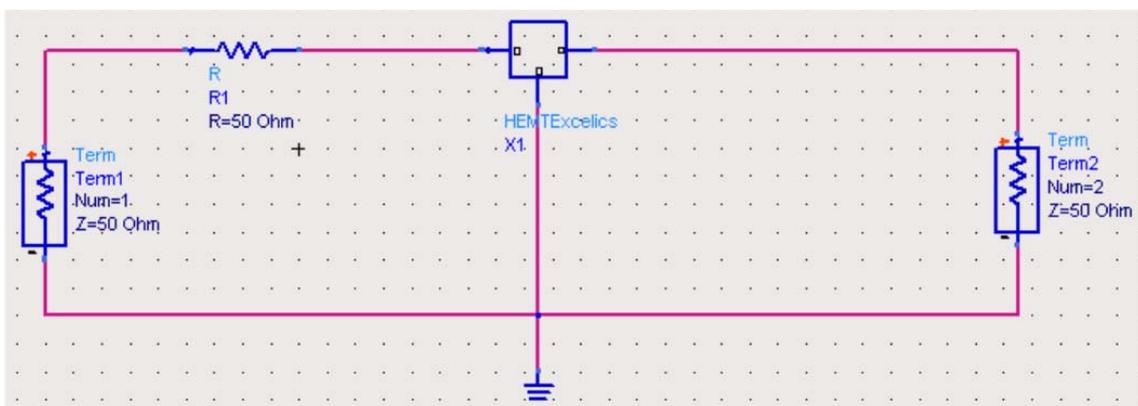
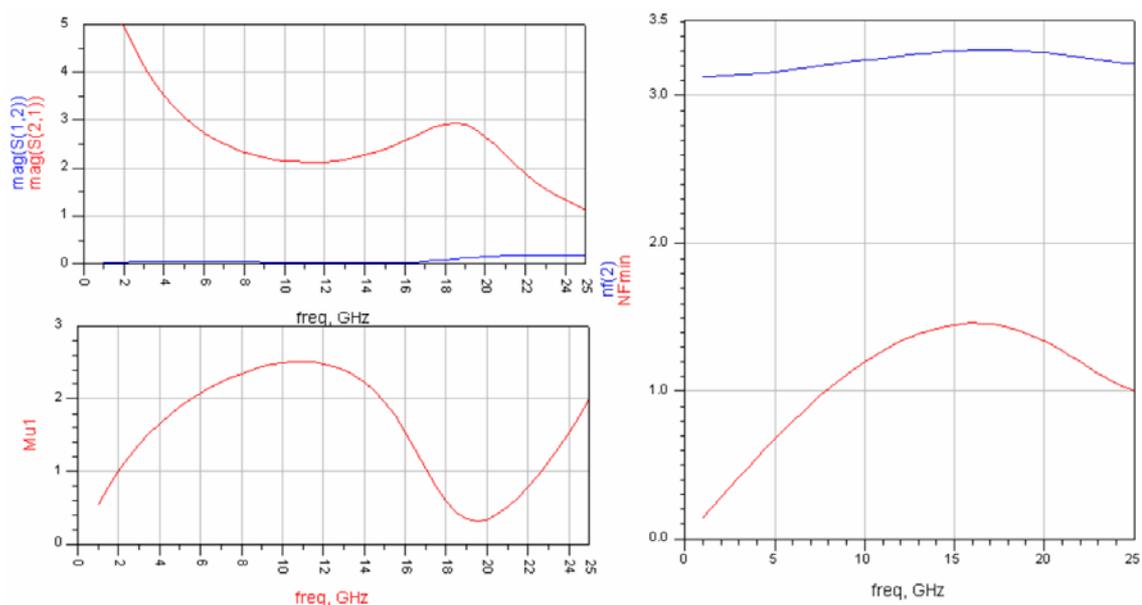


Figura 15.- Sistema estabilizador con una resistencia en la puerta.



**Figura 16.- Parámetros relevantes del sistema estabilizador con resistencia en puerta.**

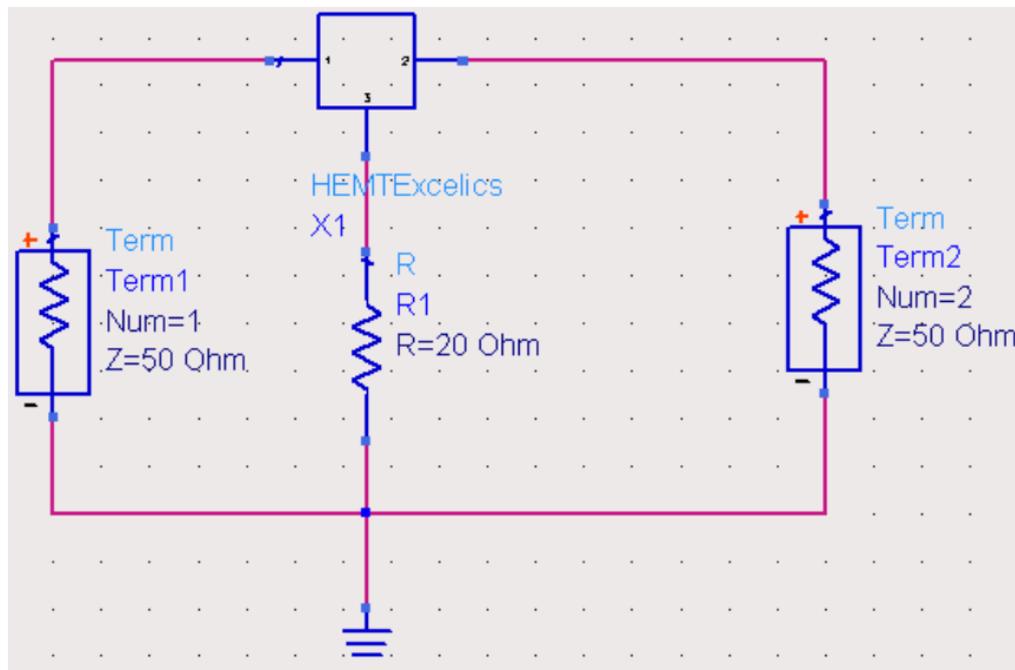
La resistencia que utilizamos es de  $50\Omega$  como podemos extraer como la mejor para nuestro caso de la tabla 2. Se ha observado que al incrementar el valor de dicha impedancia, la figura de ruido NF y la estabilidad se ven incrementadas a su vez, aunque por otro lado  $S(2,1)$  decrece con el incremento del valor de la resistencia. Por lo tanto, el valor óptimo será aquel que mantenga un ruido lo más bajo posible sin deteriorar en exceso la amplificación y manteniendo una buena estabilidad, aunque hay que decir que el pico de inestabilidad en 19.5GHz no se ve alterado por estos cambios.

Resistencia	Rango de estabilidad	mag S(2,1)	NF
$50\Omega$	2-17Ghz	2.88	3.16
$100\Omega$	1-17.5Ghz	2	4.9
$150\Omega$	0.5-17.5Ghz	1.58	6.19

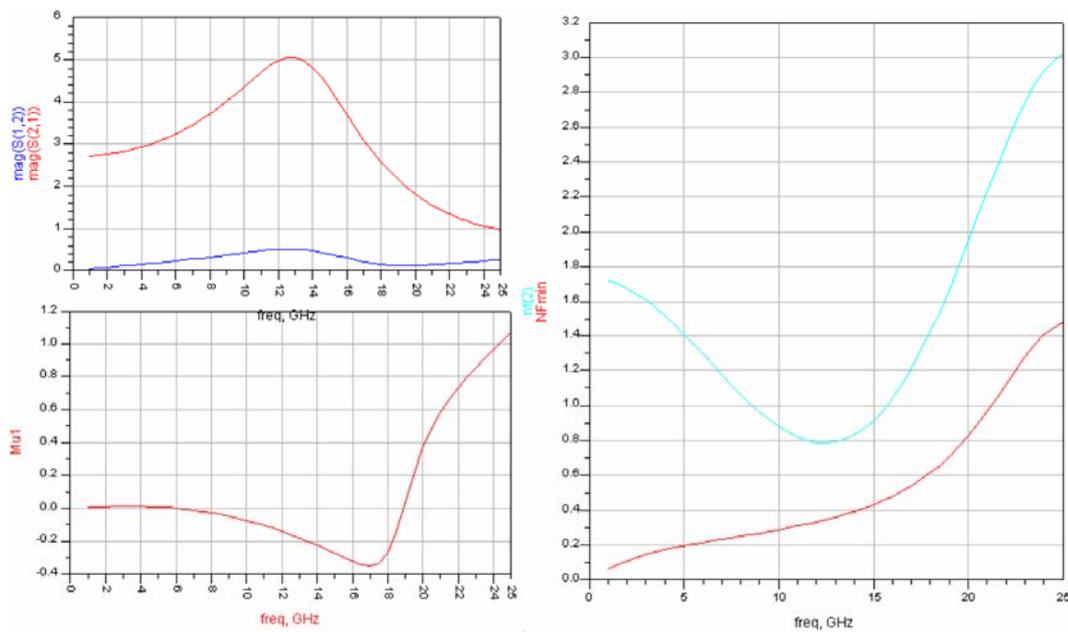
**Tabla 2.- Estabilidad, amplificación y ruido con varias resistencias.**

## Resistencia en la fuente del FET

De forma similar al caso anterior, utilizaremos tan solo una resistencia, que en particular ubicaremos en la fuente del HEMT (Figura 17), aunque a diferencia de todos los casos, este sistema es del todo ineficaz para cualquier valor de la resistencia de fuente puesto que nos inestabiliza prácticamente todo el rango de frecuencias y no nos es útil en nada en esta situación. El sistema mejora a medida que disminuye la resistencia ( $R \rightarrow 0$ ) aunque no lo suficiente para que la zona estable sea útil.



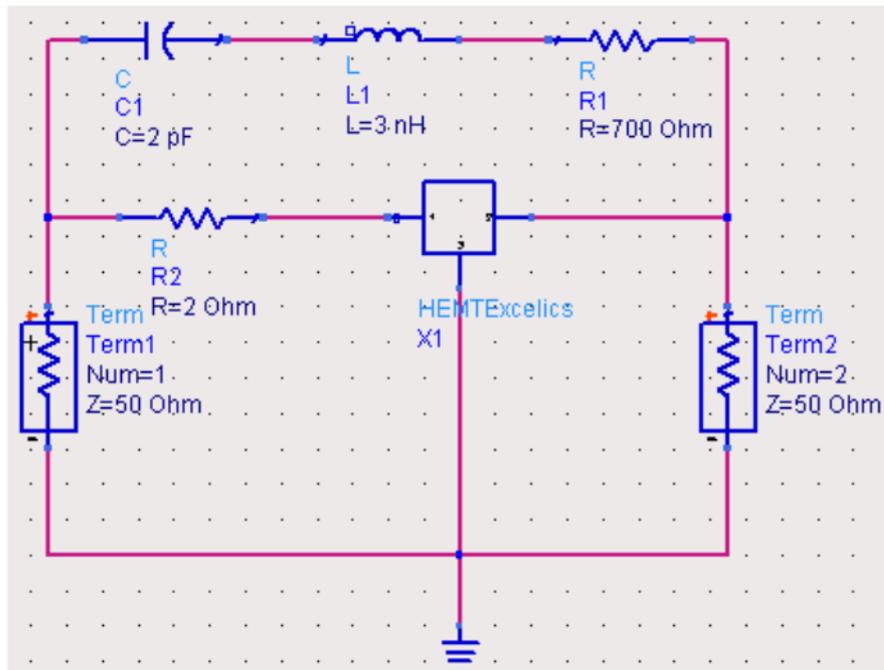
*Figura 17.- Circuito estabilizador con resistencia en la fuente.*



*Figura 18.- Parámetros relevantes del circuito estabilizador con resistencia en la fuente.*

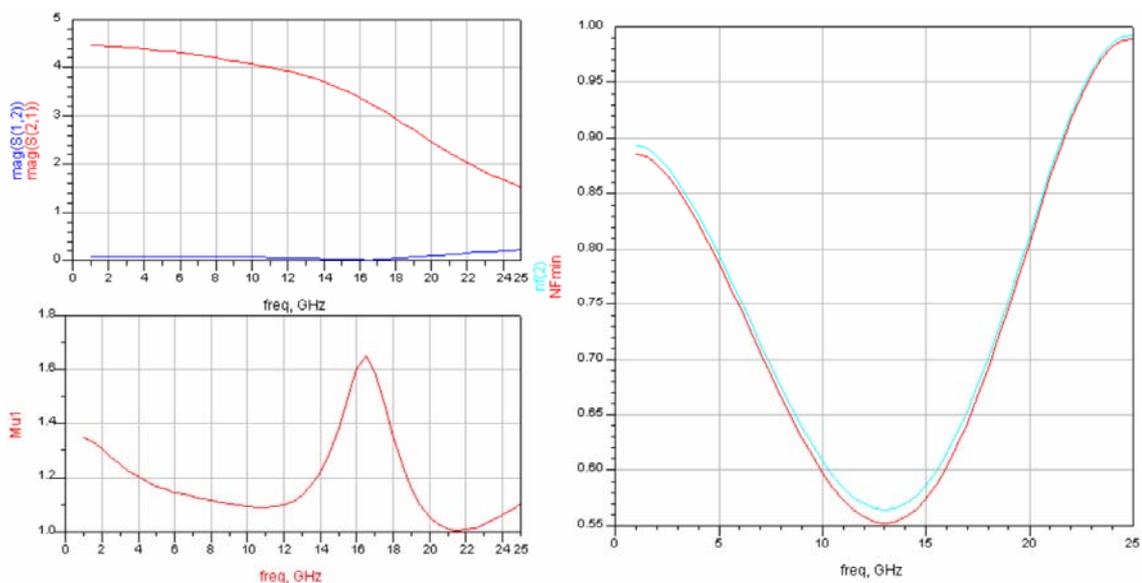
### Red de realimentación estabilizadora drenador-puerta

En primera instancia utilizamos una red estabilizadora formada por una serie de una resistencia, una bobina y un condensador dispuesta entre drenador y puerta del transistor, pero nos faltaba un poco para alcanzar el nivel de estabilidad considerado como aceptable, por lo que probamos en colocar una resistencia en la puerta del transistor también, lo cual nos dio unos resultados mejores y lo utilizamos en esta red como vemos en la figura 19.



**Figura 19.- Red estabilizadora drenador – puerta.**

Los resultados de la figura 20 son los reflejados al utilizar esta red de realimentación, sobre los cuales podemos comentar que son bastante satisfactorios, puesto que estabilizamos de 0 a 25Ghz (el pico más bajo de inestabilidad está en 22Ghz, lo cual está lejos de la banda de interés), tenemos una amplificación muy grande con  $S(2,1) > 4$  en la banda de los 5.5Ghz y lo que es aún mejor es que la figura de ruido en todo el rango está por debajo de 1dB.



**Figura 20.- Parámetros relevantes de la red de estabilización drenador –puerta.**

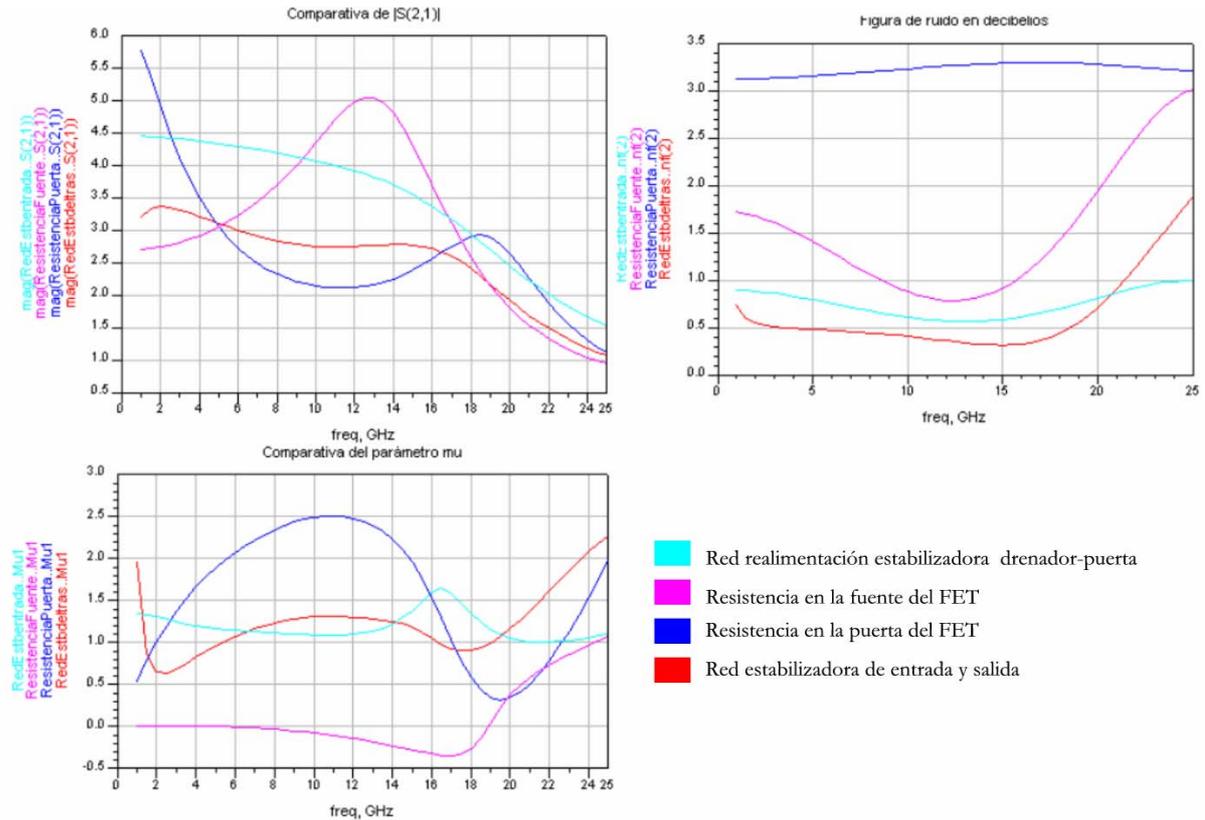
A continuación realizaremos una comparativa entre las diferentes redes estabilizadoras expuestas y seleccionaremos una para realizar nuestro diseño del amplificador de bajo nivel de ruido o LNA.

### **Comparación entre los diferentes circuitos estabilizadores**

Como hemos comentado con anterioridad, en el circuito que usemos para el amplificador debe primar como criterio de selección la estabilidad, puesto que si construimos algo inestable no vale para nada cuanto amplifique o el poco ruido que presente. En segundo lugar, es importante también el bajo nivel de ruido, puesto que este LNA irá destinado a las primeras etapas de recepción por radiofrecuencia, que es crítica para obtener una buena relación señal a ruido (SNR), en comunicaciones analógicas, o una buena relación portadora a ruido (CNR), en comunicaciones digitales, a la entrada del detector. En último lugar tendremos en cuenta también para la selección que el LNA amplifique la señal, puesto que si no tampoco vale para nada, por lo tanto deberá tener, como mínimo, el parámetro  $S(2,1) > 1$  en la bipuerta amplificadora que diseñemos.

En la figura 21 vemos superpuestos todos los parámetros importantes de los estabilizadores y en la cual podemos sacar como conclusión que según el criterio de escogimiento expuesto, podemos descartar el circuito de resistencia en la fuente del FET y la red estabilizadora de entrada y salida, puesto que ambos carecen del rango y magnitud de estabilidad suficientes para intentar imponerlos al diseño de un amplificador estable con el transistor de alta movilidad electrónica Excelics con el que pretendemos trabajar.

Entre los dos sistemas que nos quedan, la red de realimentación presenta magnificas cualidades en todos los ámbitos, excepto en cuanto a los máximos de estabilidad en los que el circuito resistente en la puerta es mayor. Aun así, elegiríamos como primera opción la red de realimentación estabilizadora para nuestro diseño, sin descartar el otro sistema posible.

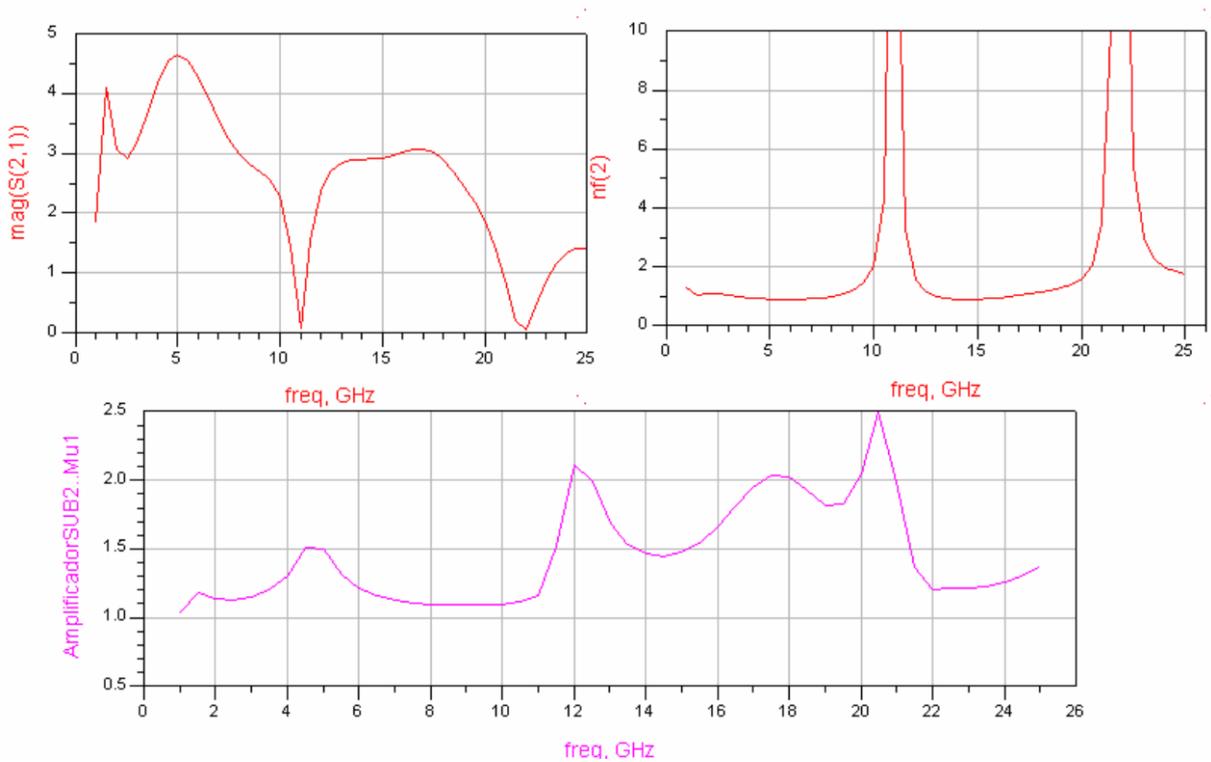


**Figura 21.- Comparación de los parámetros relevantes en los circuitos estabilizadores.**

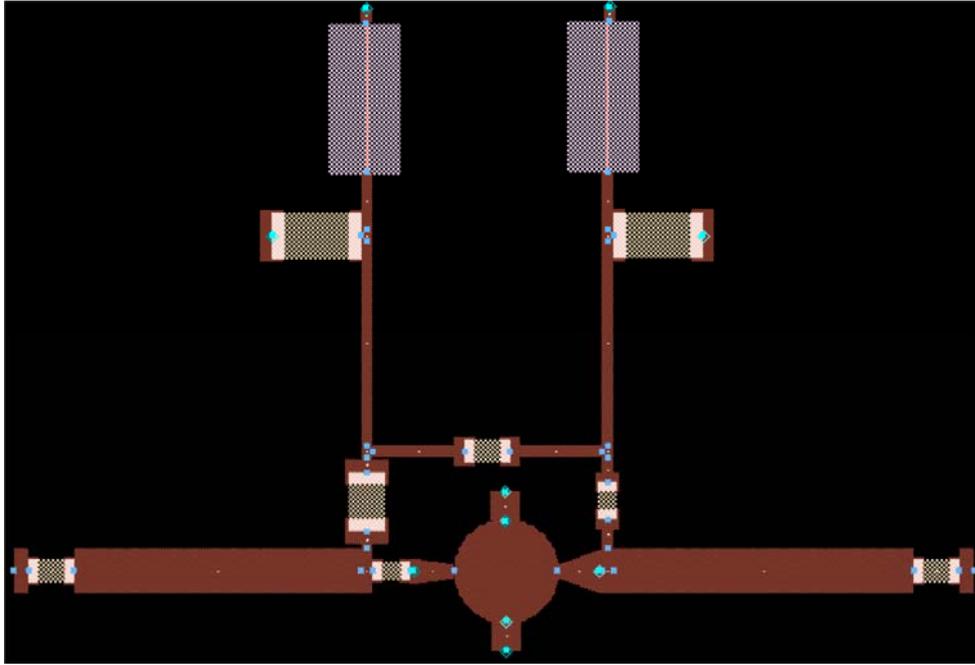
## Desarrollo de la red estabilizadora

Nos permitimos comentar a continuación que finalmente el circuito estabilizador utilizado en este proyecto ha sido la red resistiva en la puerta puesto que en el análisis hecho hasta ahora no se han tenido en cuenta efectos como pueden ser las conexiones o las líneas microstrip de transmisión que son imprescindibles en el dispositivo físico en sí. Este hecho ha sido determinante para descartar la red de realimentación estabilizadora, puesto que al tener tantos componentes (un condensador, una bobina y dos resistencias frente a la simple resistencia del otro sistema) al establecer la disposición de estos en la placa y al necesitar tantas líneas de transmisión, los efectos parásitos de las líneas (tanques RLC) y de las conexiones hacen que la señal que atraviesa el dispositivo se vea muy afectada por estos y al final no conseguimos el efecto de amplificación deseado.

De hecho, inicialmente se realizó este proyecto completo con la red de realimentación estabilizadora, sin embargo no se consiguió tras numerosos esfuerzos obtener un amplificador implementable, por lo que se retomó el problema desde el inicio y se completó el proyecto con la red resistiva en la puerta del FET' obteniendo los objetivos esperados. En la figura 22 y 23 pueden verse los resultados que se obtuvieron con el diseño de la red estabilizadora de realimentación y el formato que hubiese tenido el circuito físico.



**Figura 22.- Parámetro  $S(2,1)$ , factor de ruido y parámetro  $\mu$  en función de la frecuencia para el diseño con red de realimentación.**



*Figura 23.- Layout del amplificador con realimentación.*

El efecto de las líneas de transmisión, las cuales nos está obligado a introducir en el circuito de microondas para la transmisión de la señal, es grande incluso en la estabilización mediante resistencia en la puerta ya que llega a inestabilizarse el circuito a frecuencias muy interesantes para nosotros con la inclusión de las líneas microstrip. Debido a este hecho, determinamos el introducir una rama RLC a la entrada del transistor, en la puerta y en paralelo con la fuente generadora de señal.

A continuación y gracias al programa de simulación ADS, procedimos a variar los parámetros capacitivos, resistivos e inductivos para conseguir la mejor configuración con la esperanza de conseguir al menos la estabilización mediante esta rama. En la figura 24 se observa el circuito final de estabilización, en donde la rama RLC se queda al final en tan solo una rama RC y se superan los problemas de estabilización con un circuito de microondas implementable en un substrato, ya con las medidas adecuadas.

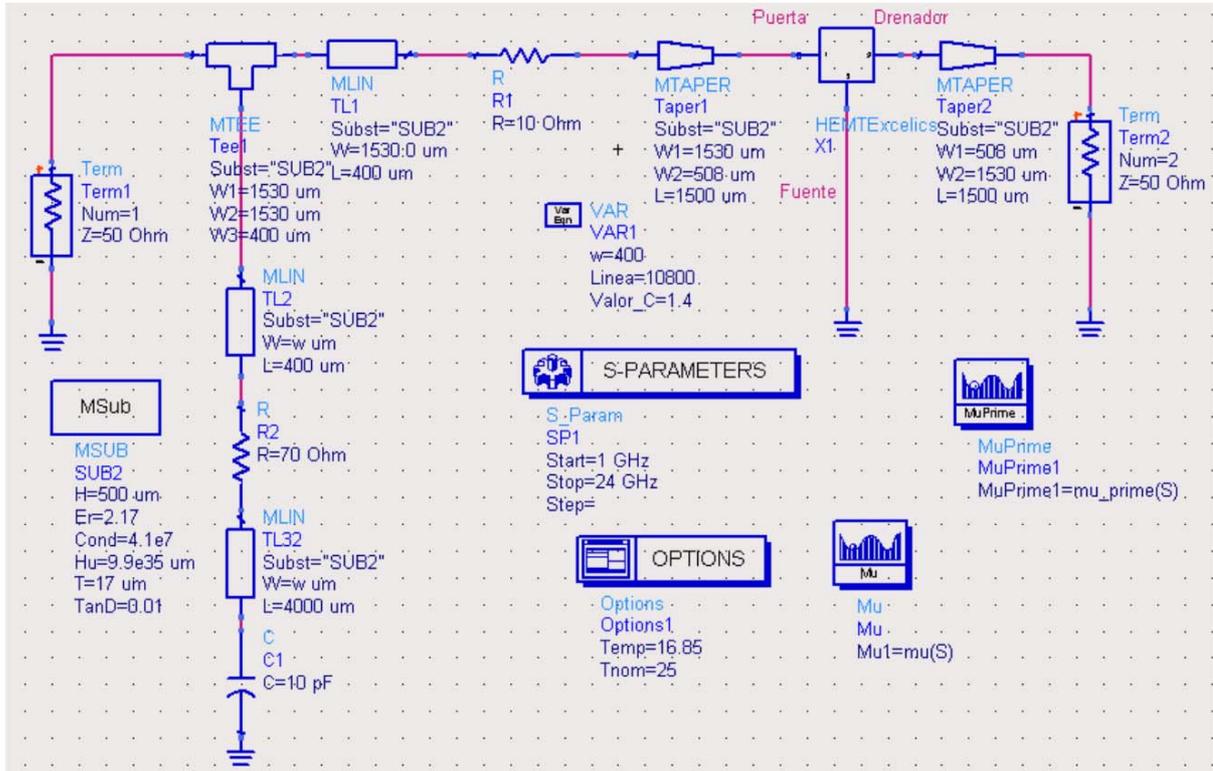


Figura 24.- Circuito estabilizador para el Hemt Excelics EPB018A5-70.