

Diseño de un LNA de microondas

Laura Torres Chan, Alejandro Camanzo Mariño, Grupo C02, CMW

VISIÓN GENERAL

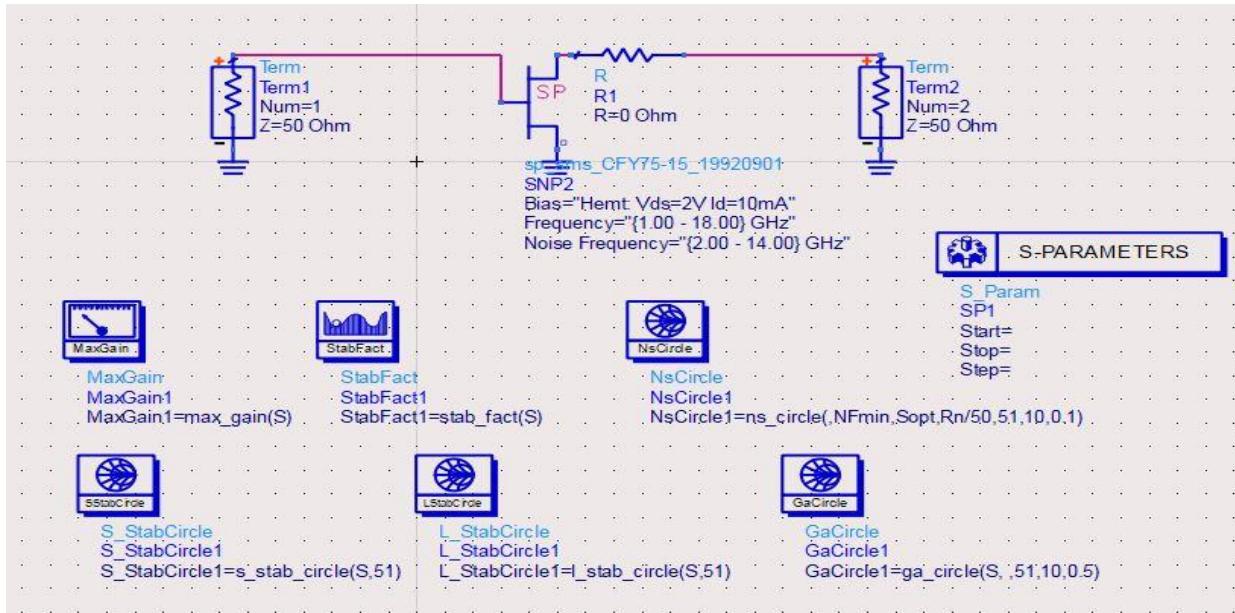
En este proyecto realizamos todos los pasos necesarios para diseñar un LNA de microondas usando un HEMT de AlGaAs/GaAs, estabilizando el transistor, y diseñando redes de adaptación conjugada a la entrada y salida del mismo.

ESPECIFICACIONES

1. Frecuencia de operación: $f_0 = 6 \text{ GHz}$
2. Transistor utilizado: FET de microondas CFY75-15 de AlGaAs/GaAs
3. Modelo del transistor en ADS: sp_sms_CFY75-15_19920901

DISEÑO

Paso 1. Análisis del transistor

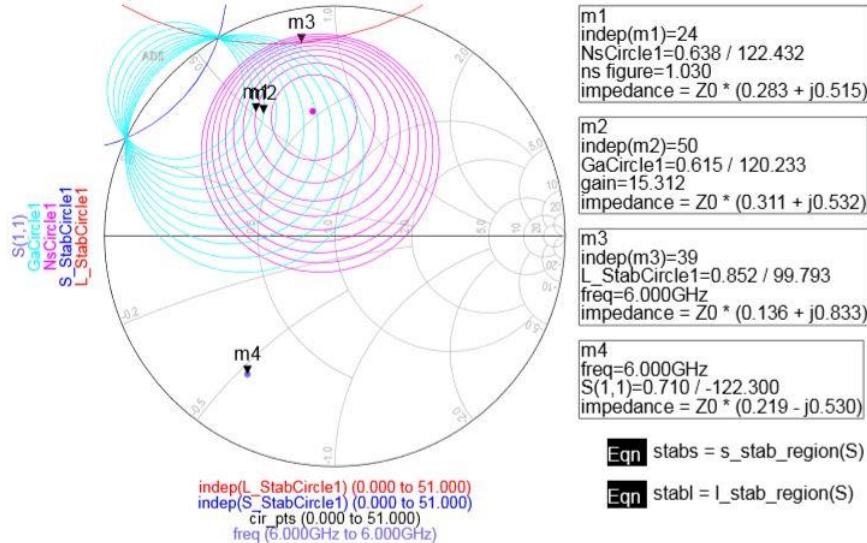


| freq | S(1,1) | S(1,2) | S(2,1) | S(2,2) |
|-----------|-------------------|------------------|----------------|------------------|
| 6.000 GHz | -2.975 / -122.300 | -22.853 / 17.700 | 9.771 / 69.000 | -4.437 / -71.700 |

| freq | MaxGain1 | Sopt | NFmin | nf(2) | StabFact1 |
|-----------|----------|------------------|-------|-------|-----------|
| 6.000 GHz | 16.312 | 0.550 / 100.0... | 0.830 | 1.393 | 0.747 |

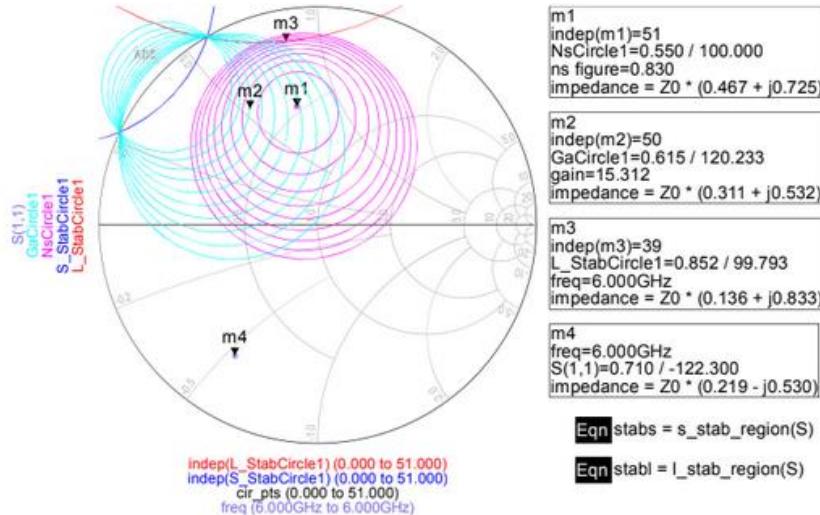
Como podemos observar, este transistor por sí solo no es incondicionalmente estable, ya que su factor de estabilidad k (en la tabla, StabFact1) es 0.747, menor que la unidad.

La figura de ruido mínima para este transistor a 6 GHz es 0.830 (NFmin en la tabla)



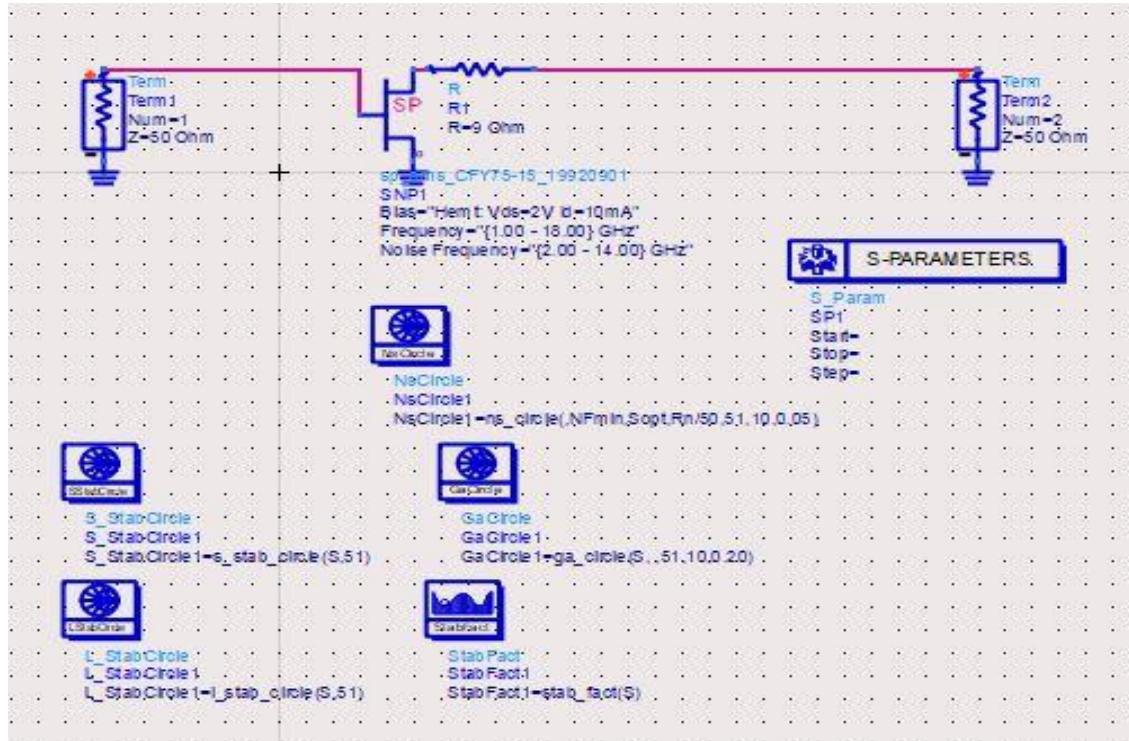
Para obtener el valor de figura de ruido mínimo, vemos en la carta de Smith que la impedancia de entrada debe ser $Z_s = Z_0 * (0.467 + j0.725)$

Con los resultados del paso 1, se ve que es necesario estabilizar el transistor antes de proceder a realizar la adaptación conjugada.



| stabl | stabs |
|---------|---------|
| Outside | Outside |

Paso 2. Estabilización del transistor y adaptación a la entrada

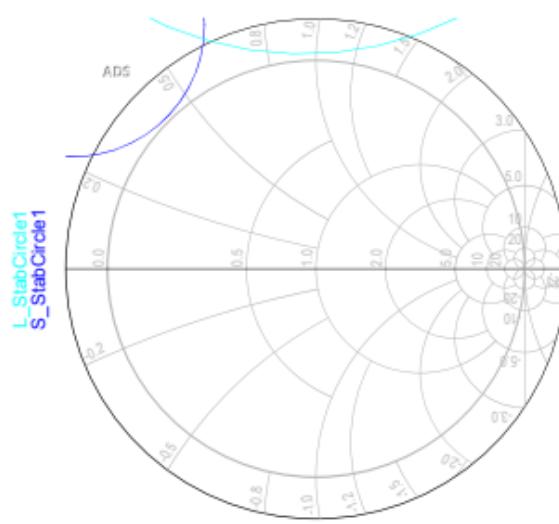


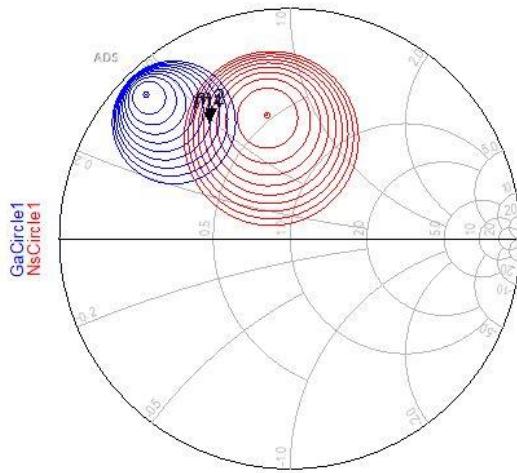
| freq | Sopt | NFmin | nf(2) | StabFact1 | abs(Delta) |
|-----------|-----------------|-------|-------|-----------|------------|
| 6.000 GHz | 0.546 / 100.572 | 0.885 | 1.453 | 1.051 | 0.421 |

Eqn Delta=S11*S22-S12*S21

Para estabilizar el transistor, introducimos una resistencia en serie con la salida del transistor, el valor de esta resistencia debe ser el mínimo posible, (para no afectar demasiado al ruido y la ganancia)

Con una resistencia de 9 ohmios, obtenemos un factor de estabilidad $k = 1.051$, por lo que será incondicionalmente estable





Respecto a los círculos de estabilidad, se desplazan hacia fuera de la carta de Smith, y en este caso no intersectan los círculos de ganancia y de ruido en ningún caso, por lo que vemos gráficamente que es incondicionalmente estable

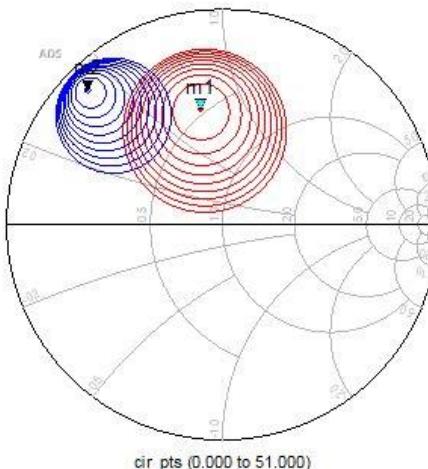
La impedancia que ha de ver el transistor a su entrada para estar adaptado es:
 $Z_s = Z_0 * (0.296 + j * 0.502)$

```
m2
indep(m2)=50
GaCircle1=0.622 / 123.314
gain=13.727
impedance = Z0 * (0.296 + j0.502)
```

```
m1
indep(m1)=25
NsCircle1=0.613 / 124.695
ns figure=1.085
impedance = Z0 * (0.301 + j0.486)
```

```
m2
indep(m2)=51
GaCircle1=0.884 / 134.917
gain=14.927
impedance = Z0 * (0.072 + j0.413)
```

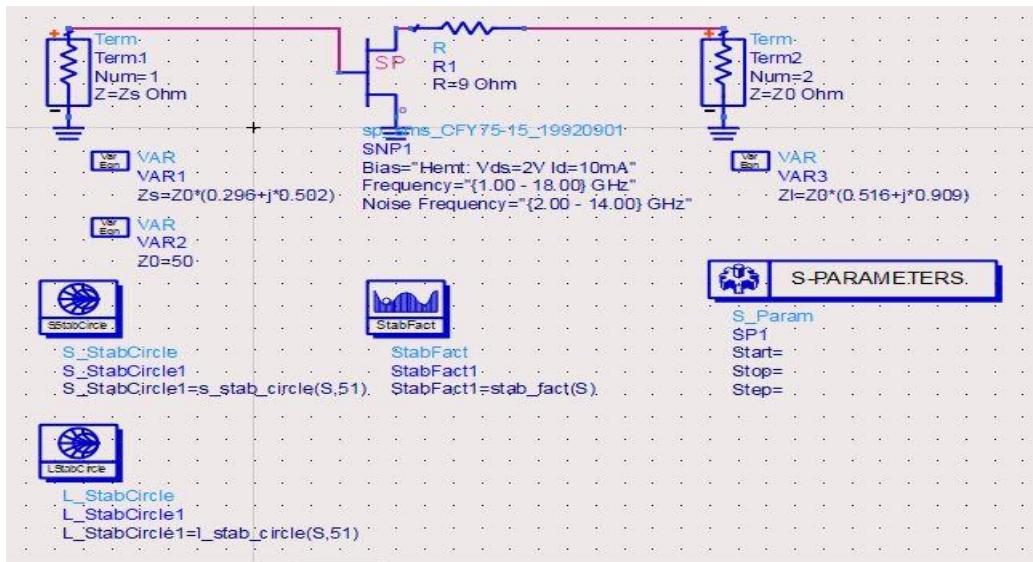
```
m1
indep(m1)=51
NsCircle1=0.546 / 100.572
ns figure=0.885
impedance = Z0 * (0.468 + j0.716)
```



La figura de ruido mínima aumenta,
 $(NF_{min} = 0.885)$ ligeramente superior a la del paso 1 porque añadimos un elemento ruidoso.

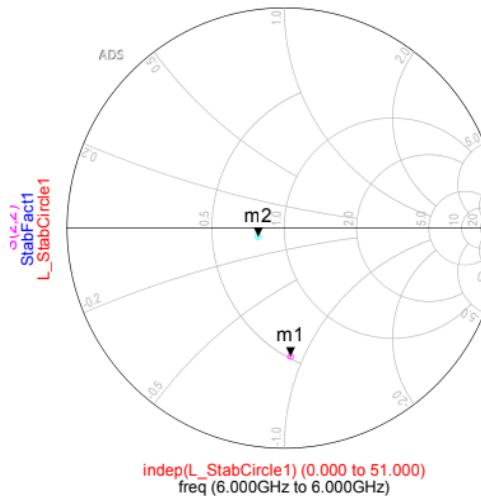
La MAG se corresponde con el centro del círculo de ganancias, de valor 14.927 dB (es menor que en el paso anterior al añadir elementos resistivos)

Paso 3. Cálculo de adaptación a la salida



Para obtener la máxima transferencia de potencia, se necesita adaptación conjugada en ambas puertas del transistor.

El Sij que nos interesa para optimizar el coeficiente de reflexión de la carga es el S22



$$\text{Eqn } l = l_{\text{stab_region}}(S)$$

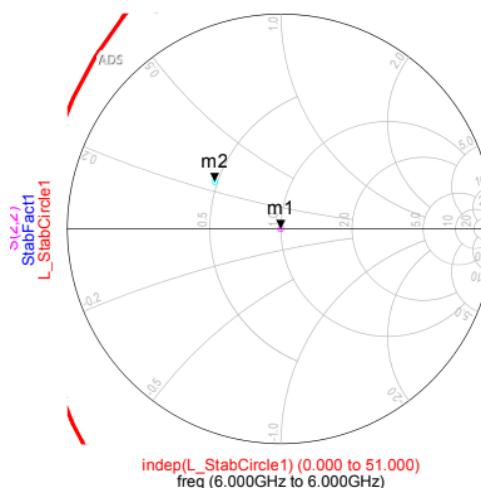


m1
freq=6.000GHz
 $S(2,2)=0.583 / -87.121$
impedance = $Z_0 * (0.516 - j0.909)$

m2
freq=6.000GHz
 $S(1,1)=0.126 / -161.957$
impedance = $Z_0 * (0.785 - j0.062)$

Del marcador m1 vemos que para adaptar el transistor necesitamos una impedancia $Z_l = Z_0 * (0.785 + j0.062)$

Al introducir este valor vemos que el sistema sigue siendo estable. Ya que habíamos asegurado que fuese estable incondicionalmente



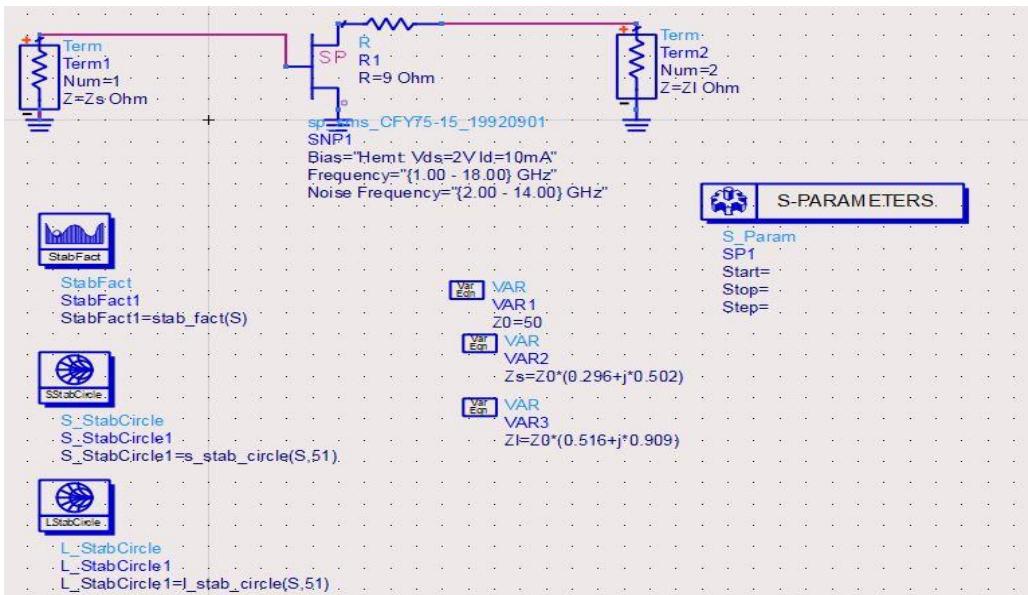
$$\text{Eqn } l = l_{\text{stab_region}}(S)$$



m1
freq=6.000GHz
 $S(2,2)=5.385E-4 / 128.036$
impedance = $Z_0 * (0.999 + j8.477E-4)$

m2
freq=6.000GHz
 $S(1,1)=0.380 / 144.745$
impedance = $Z_0 * (0.485 + j0.249)$

Paso 4. Cálculo de parámetros del amplificador



| freq | nf(2) | $50*(1+S(2,2))/(1-S(2,2))$ | S(2,2) |
|-----------|-------|----------------------------|--------------------|
| 6.000 GHz | 1.076 | 33.974 / 0.049 | 5.385E-4 / 128.036 |

Las pérdidas de retorno de entrada serán
 $-20*\log(S(1,1))=8,402 \text{ dB}$

Las pérdidas de retorno de salida serán
 $-20*\log(S(2,2))=65,377 \text{ dB}$

La ganancia disponible (Ga) será 13.727 dB

| freq | S(2,1) |
|-----------|-----------------|
| 6.000 GHz | 13.727 / 14.396 |

| freq | StabFact1 |
|-----------|-----------|
| 6.000 GHz | 1.051 |

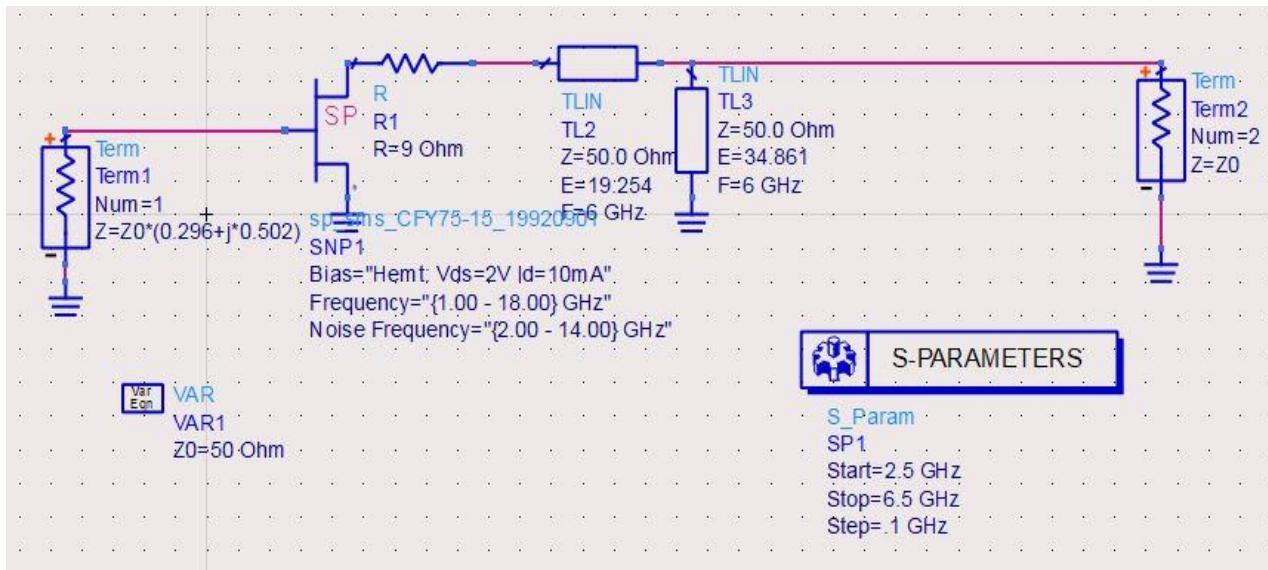
La ganancia de transducción (Gt) será igual a la ganancia disponible porque hay adaptación a la salida.
La figura de ruido es 1.076 dB

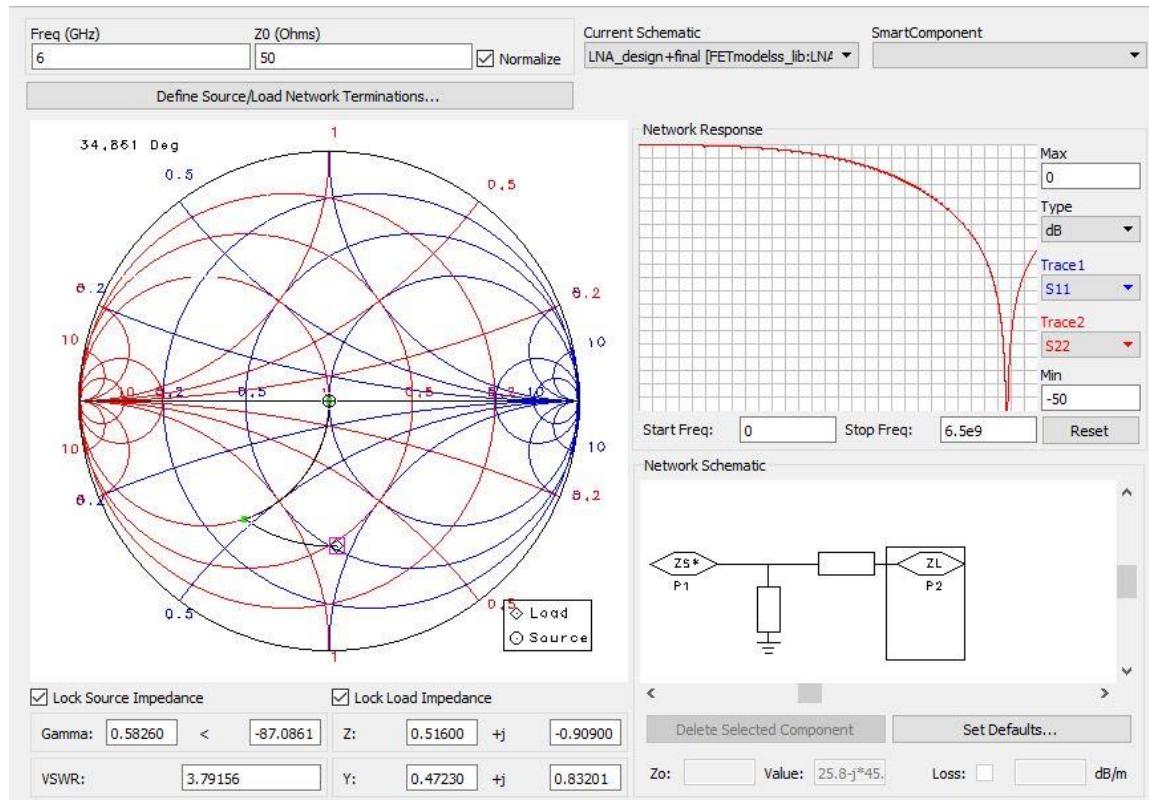
Comparamos $G_T(\text{dB}) = 13,727 \text{ dB}$ con la MAG(dB) del paso 2 ($\text{MAG}(\text{dB}) = 14,927 \text{ dB}$). La MAG es igual a la ganancia de transducción máxima y a la ganancia disponible máxima por lo tanto será mayor que nuestros valores obtenidos.

$$G_{\text{max}}(\text{dB}) = \text{MAG}(\text{dB}) = G_{T \text{ max}}(\text{dB}) \Rightarrow \text{MAG}(\text{dB}) > G_T(\text{dB})$$

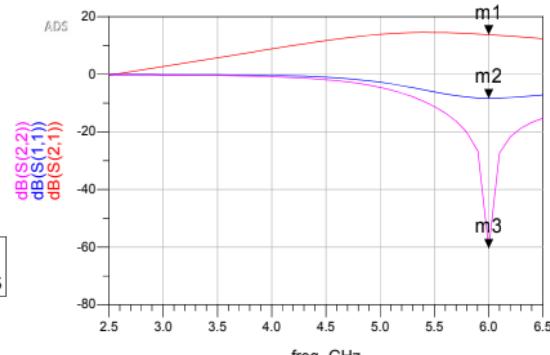
Paso 5. Diseño de las redes de adaptación

Apartado A. Adaptación a la salida





| freq | nf(2) | S(2,1) |
|-----------|-------|---------------|
| 2.500 GHz | 2.633 | -0.332 / ... |
| 2.600 GHz | 2.582 | 0.273 / -1... |
| 2.700 GHz | 2.533 | 0.874 / -1... |
| 2.800 GHz | 2.483 | 1.474 / -1... |
| 2.900 GHz | 2.435 | 2.073 / -1... |
| 3.000 GHz | 2.386 | 2.673 / -1... |
| 3.100 GHz | 2.338 | 3.273 / -1... |
| 3.200 GHz | 2.291 | 3.874 / -1... |
| 3.300 GHz | 2.244 | 4.477 / -1... |
| 3.400 GHz | 2.197 | 5.083 / -1... |
| 3.500 GHz | 2.151 | 5.691 / -1... |
| 3.600 GHz | 2.106 | 6.303 / -1... |
| 3.700 GHz | 2.061 | 6.919 / -1... |
| 3.800 GHz | 2.017 | 7.537 / -1... |
| 3.900 GHz | 1.974 | 8.157 / -1... |
| 4.000 GHz | 1.931 | 8.779 / -1... |
| 4.100 GHz | 1.870 | 9.373 / 1... |
| 4.200 GHz | 1.811 | 9.961 / 1... |
| 4.300 GHz | 1.753 | 10.540 / ... |
| 4.400 GHz | 1.696 | 11.105 / ... |
| 4.500 GHz | 1.641 | 11.651 / ... |
| 4.600 GHz | 1.588 | 12.171 / ... |
| 4.700 GHz | 1.537 | 12.659 / ... |
| 4.800 GHz | 1.487 | 13.105 / ... |
| 4.900 GHz | 1.440 | 13.501 / ... |
| 5.000 GHz | 1.394 | 13.839 / ... |
| 5.100 GHz | 1.351 | 14.114 / ... |
| 5.200 GHz | 1.310 | 14.318 / ... |
| 5.300 GHz | 1.271 | 14.449 / ... |
| 5.400 GHz | 1.235 | 14.511 / ... |
| 5.500 GHz | 1.202 | 14.505 / ... |
| 5.600 GHz | 1.171 | 14.439 / ... |
| 5.700 GHz | 1.143 | 14.319 / ... |
| 5.800 GHz | 1.118 | 14.156 / ... |
| 5.900 GHz | 1.095 | 13.956 / ... |
| 6.000 GHz | 1.076 | 13.727 / ... |
| 6.100 GHz | 1.057 | 13.483 / ... |
| 6.200 GHz | 1.041 | 13.219 / ... |
| 6.300 GHz | 1.029 | 12.940 / ... |
| 6.400 GHz | 1.019 | 12.652 / ... |



La ganancia de transducción es 13.727 dB

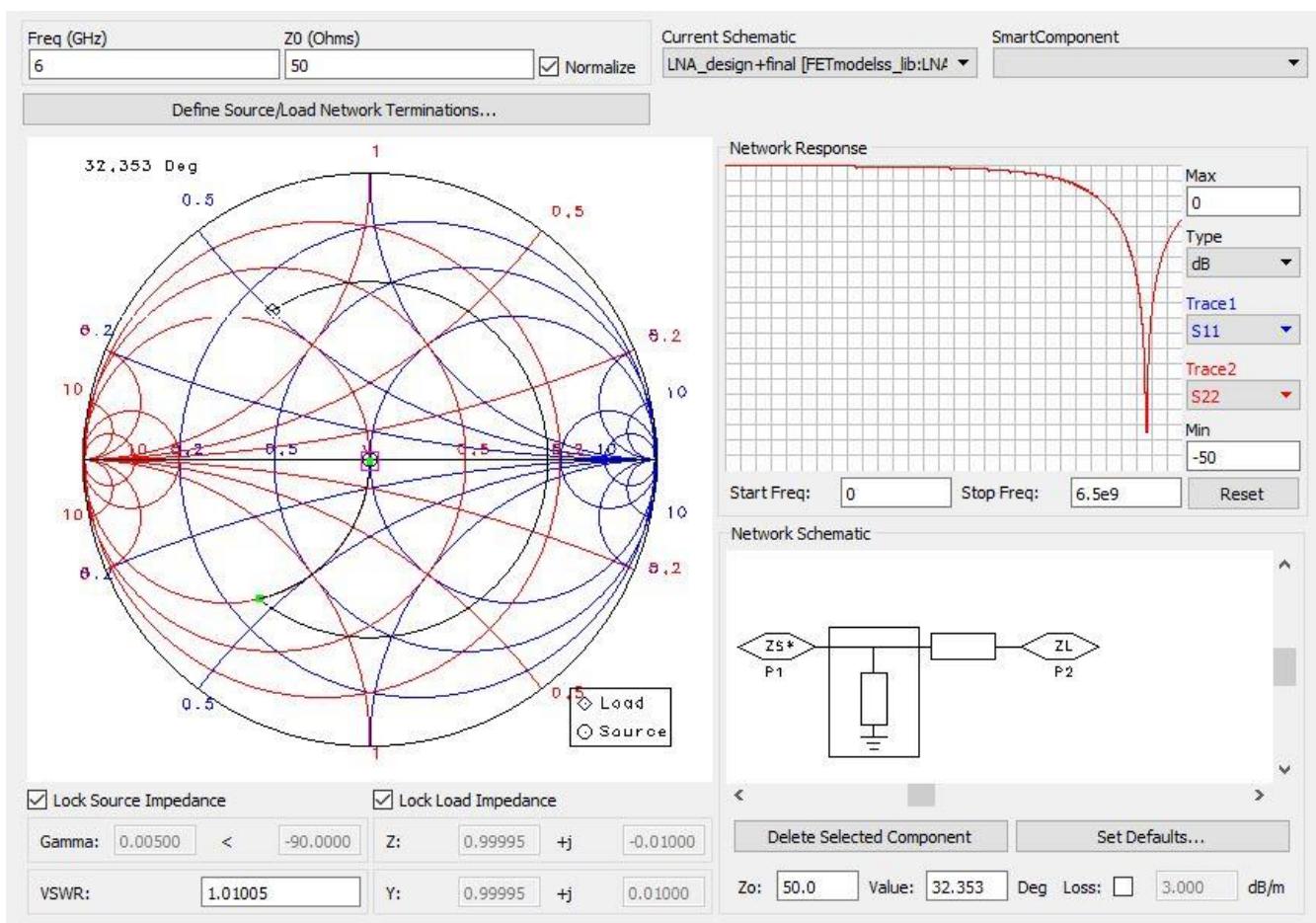
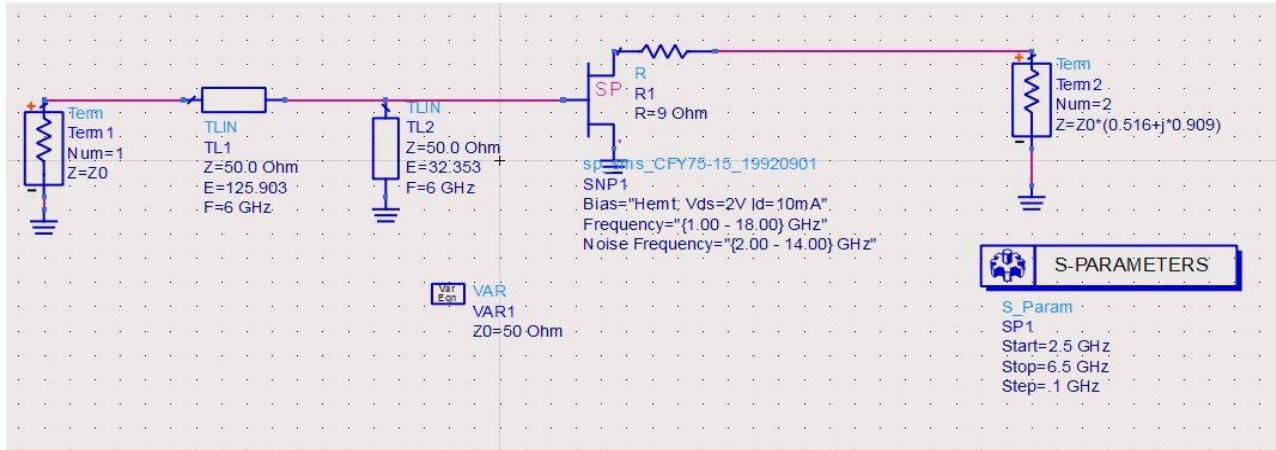
Pérdidas de retorno a la entrada son 8.388 dB

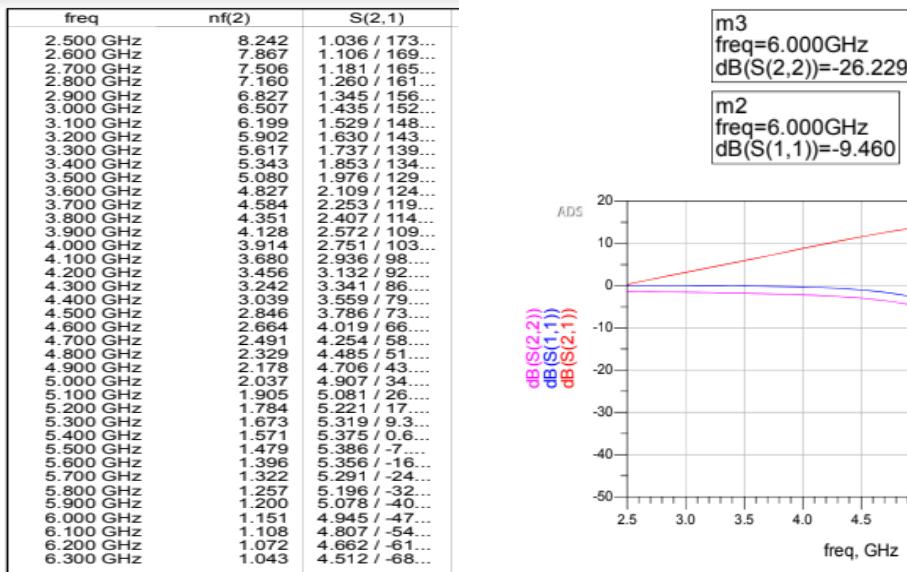
Pérdidas de retorno a la salida son 60.435 dB

La figura de ruido son 1.076 dB

Respecto al paso 4, la ganancia no sufre ninguna pérdida, y las pérdidas de retorno a la entrada son prácticamente iguales. Las pérdidas de retorno a la salida se deteriora 5 dB.

Apartado B. Adaptacion a la entrada





La ganancia de transducción es 13.883 dB

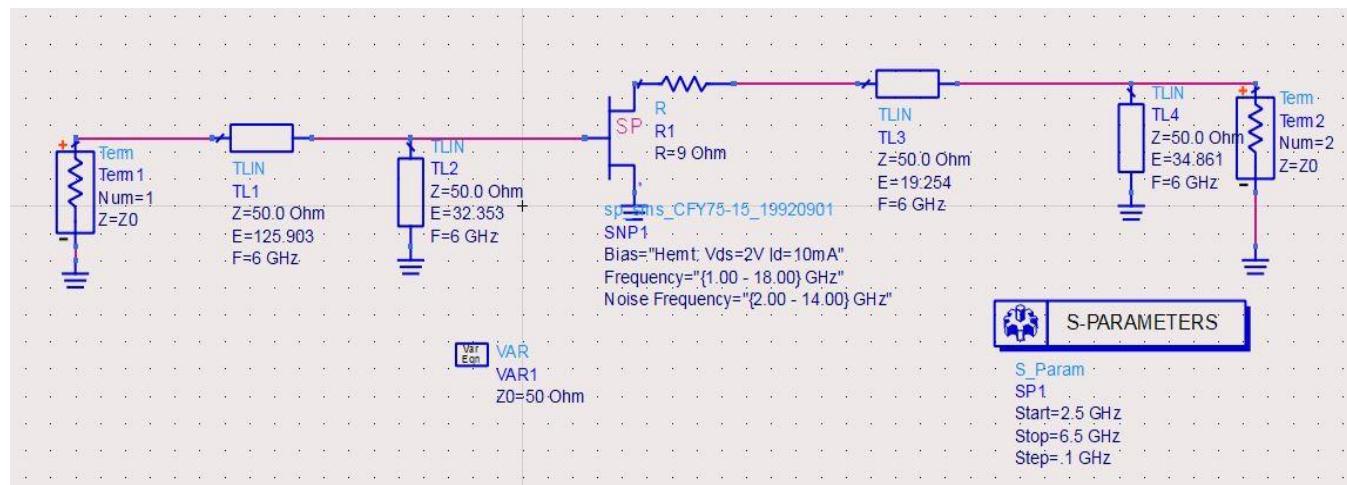
Pérdidas de retorno a la entrada son -9.460 dB

Pérdidas de retorno a la salida son -26.229 dB

La figura de ruido es 1.151 dB

Respecto al paso 4, la ganancia no sufre ninguna pérdida, y las pérdidas de retorno a la salida son prácticamente iguales. Las pérdidas de retorno a la entrada mejoran en 1 dB

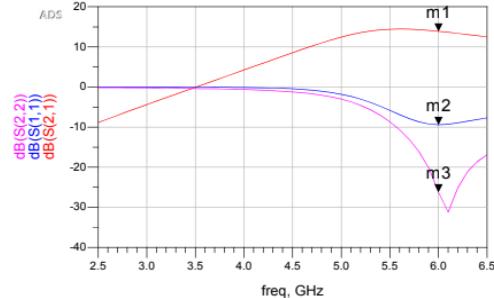
Apartado C. Red de adaptación de entrada y salida



m3
freq=6.000GHz
dB(S(2,2))=-26.236

m2
freq=6.000GHz
dB(S(1,1))=-9.441

| freq | nf(2) | S(2,1) |
|-----------|-------|--------------|
| 2.500 GHz | 8.242 | -8.878 / -.. |
| 2.600 GHz | 7.867 | -7.957 / -.. |
| 2.700 GHz | 7.506 | -7.051 / -.. |
| 2.800 GHz | 7.160 | -6.156 / -.. |
| 2.900 GHz | 6.827 | -5.271 / -.. |
| 3.000 GHz | 6.507 | -4.394 / -.. |
| 3.100 GHz | 6.199 | -3.525 / -.. |
| 3.200 GHz | 5.902 | -2.660 / -.. |
| 3.300 GHz | 5.617 | -1.799 / -.. |
| 3.400 GHz | 5.343 | -0.939 / -.. |
| 3.500 GHz | 5.080 | -0.080 / -.. |
| 3.600 GHz | 4.827 | 0.780 / -1. |
| 3.700 GHz | 4.584 | 1.642 / -1. |
| 3.800 GHz | 4.351 | 2.508 / -1. |
| 3.900 GHz | 4.128 | 3.377 / -1. |
| 4.000 GHz | 3.914 | 4.252 / -1. |
| 4.100 GHz | 3.680 | 5.114 / 1.. |
| 4.200 GHz | 3.456 | 5.977 / 1.. |
| 4.300 GHz | 3.242 | 6.840 / 1.. |
| 4.400 GHz | 3.039 | 7.700 / 1.. |
| 4.500 GHz | 2.846 | 8.554 / 1.. |
| 4.600 GHz | 2.664 | 9.396 / 1.. |
| 4.700 GHz | 2.491 | 10.218 / ... |
| 4.800 GHz | 2.329 | 11.009 / ... |
| 4.900 GHz | 2.178 | 11.755 / ... |
| 5.000 GHz | 2.037 | 12.441 / ... |
| 5.100 GHz | 1.905 | 13.048 / ... |
| 5.200 GHz | 1.784 | 13.558 / ... |
| 5.300 GHz | 1.673 | 13.957 / ... |
| 5.400 GHz | 1.571 | 14.238 / ... |
| 5.500 GHz | 1.479 | 14.401 / ... |
| 5.600 GHz | 1.396 | 14.455 / ... |
| 5.700 GHz | 1.322 | 14.413 / ... |
| 5.800 GHz | 1.257 | 14.292 / ... |
| 5.900 GHz | 1.200 | 14.110 / ... |
| 6.000 GHz | 1.151 | 13.883 / -.. |
| 6.100 GHz | 1.108 | 13.635 / -.. |
| 6.200 GHz | 1.072 | 13.361 / -.. |
| 6.300 GHz | 1.043 | 13.072 / -.. |
| 6.400 GHz | 1.020 | 12.774 / -.. |
| 6.500 GHz | 1.003 | 12.473 / -.. |



La ganancia de transducción es 13.883 dB

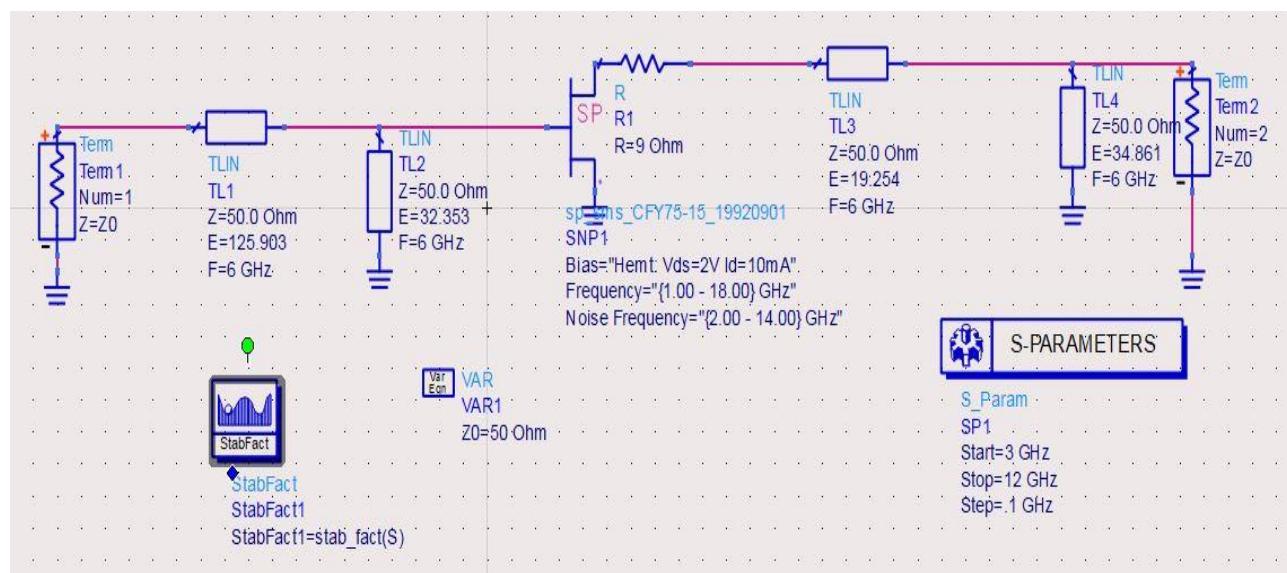
Pérdidas de retorno a la entrada son -9.441 dB

Pérdidas de retorno a la salida son -26.229 dB

La figura de ruido son 1.151 dB

Respecto al paso 4, la ganancia no sufre ninguna pérdida, y las pérdidas de retorno a la salida son prácticamente iguales. Las pérdidas de retorno a la entrada mejoran aproximadamente 1 dB.

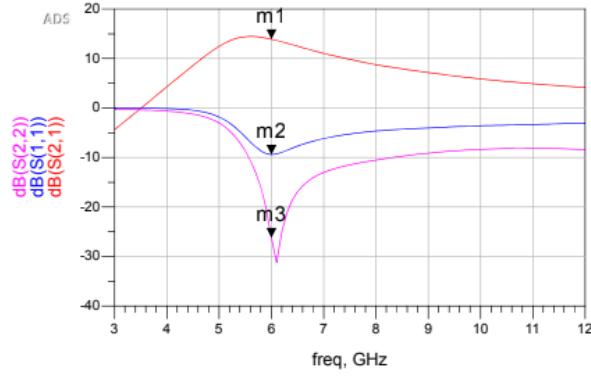
Apartado D. Simulación de la red de adaptación entre 3 y 12 GHz



| freq | nf(2) | S(2,1) | StabFact1 | 6.100 GHz | 1.108 | 4.806 / -8... | 1.072 | 8.000 GHz | 1.286 | 2.731 / -1... | 1.504 |
|-----------|-------|---------------|-----------|-----------|-------|---------------|-------|------------|-------|---------------|-------|
| 3.000 GHz | 6.507 | 0.603 / -1... | 0.496 | 6.200 GHz | 1.072 | 4.657 / -1... | 1.094 | 8.100 GHz | 1.328 | 2.677 / -1... | 1.533 |
| 3.100 GHz | 6.199 | 0.666 / -1... | 0.511 | 6.300 GHz | 1.043 | 4.504 / -2... | 1.115 | 8.200 GHz | 1.372 | 2.625 / -1... | 1.548 |
| 3.200 GHz | 5.902 | 0.738 / -1... | 0.525 | 6.400 GHz | 1.020 | 4.352 / -3... | 1.137 | 8.300 GHz | 1.418 | 2.576 / -1... | 1.564 |
| 3.300 GHz | 5.617 | 0.813 / -1... | 0.540 | 6.500 GHz | 1.003 | 4.204 / -4... | 1.160 | 8.400 GHz | 1.465 | 2.528 / -1... | 1.579 |
| 3.400 GHz | 5.343 | 0.898 / -1... | 0.555 | 6.600 GHz | 0.992 | 4.061 / -4... | 1.182 | 8.500 GHz | 1.513 | 2.481 / -1... | 1.595 |
| 3.500 GHz | 5.080 | 0.991 / -1... | 0.570 | 6.700 GHz | 0.986 | 3.925 / -5... | 1.205 | 8.700 GHz | 1.611 | 2.396 / -1... | 1.611 |
| 3.600 GHz | 4.827 | 1.094 / -1... | 0.584 | 6.800 GHz | 0.986 | 3.795 / -6... | 1.229 | 8.800 GHz | 1.659 | 2.356 / -1... | 1.628 |
| 3.700 GHz | 4.584 | 1.208 / -1... | 0.599 | 6.900 GHz | 0.992 | 3.672 / -6... | 1.253 | 9.000 GHz | 1.707 | 2.317 / -1... | 1.644 |
| 3.800 GHz | 4.351 | 1.335 / -1... | 0.614 | 7.000 GHz | 1.001 | 3.556 / -7... | 1.277 | 9.100 GHz | 1.754 | 2.280 / -1... | 1.661 |
| 3.900 GHz | 4.128 | 1.475 / -1... | 0.629 | 7.100 GHz | 1.016 | 3.454 / -7... | 1.297 | 9.200 GHz | 1.798 | 2.242 / -1... | 1.674 |
| 4.000 GHz | 3.914 | 1.632 / -1... | 0.644 | 7.200 GHz | 1.034 | 3.357 / -8... | 1.318 | 9.400 GHz | 1.842 | 2.205 / -1... | 1.686 |
| 4.100 GHz | 3.680 | 1.802 / -1... | 0.661 | 7.300 GHz | 1.057 | 3.265 / -9... | 1.340 | 9.600 GHz | 1.983 | 2.075 / -1... | 1.739 |
| 4.200 GHz | 3.456 | 1.990 / -1... | 0.679 | 7.400 GHz | 1.083 | 3.177 / -9... | 1.362 | 9.700 GHz | 2.009 | 2.046 / -1... | 1.753 |
| 4.300 GHz | 3.242 | 2.198 / -1... | 0.697 | 7.500 GHz | 1.112 | 3.093 / -1... | 1.385 | 9.800 GHz | 2.032 | 2.019 / -1... | 1.766 |
| 4.400 GHz | 3.039 | 2.427 / -1... | 0.715 | 7.600 GHz | 1.144 | 3.014 / -1... | 1.408 | 9.900 GHz | 2.051 | 1.992 / -1... | 1.780 |
| 4.500 GHz | 2.846 | 2.677 / -1... | 0.734 | 7.700 GHz | 1.178 | 2.938 / -1... | 1.431 | 10.000 GHz | 2.066 | 1.968 / -1... | 1.794 |
| 4.600 GHz | 2.664 | 2.950 / -1... | 0.752 | 7.800 GHz | 1.213 | 2.866 / -1... | 1.455 | 10.100 GHz | 2.080 | 1.944 / -1... | 1.817 |
| 4.700 GHz | 2.491 | 3.243 / -1... | 0.771 | 7.900 GHz | 1.250 | 2.797 / -1... | 1.479 | 10.200 GHz | 2.151 | 1.916 / -1... | 1.839 |
| 4.800 GHz | 2.329 | 3.552 / -1... | 0.789 | 8.000 GHz | 1.286 | 2.731 / -1... | 1.504 | 10.500 GHz | 2.359 | 1.849 / -1... | 1.808 |
| 4.900 GHz | 2.178 | 3.871 / -1... | 0.808 | 8.100 GHz | 1.328 | 2.677 / -1... | 1.518 | 10.600 GHz | 2.408 | 1.829 / -1... | 1.811 |
| 5.000 GHz | 2.037 | 4.188 / -1... | 0.827 | 8.200 GHz | 1.372 | 2.625 / -1... | 1.533 | 10.700 GHz | 2.453 | 1.810 / -1... | 1.814 |
| 5.100 GHz | 1.905 | 4.492 / 9... | 0.848 | 8.300 GHz | 1.418 | 2.576 / -1... | 1.548 | 10.800 GHz | 2.504 | 1.792 / -1... | 1.817 |
| 5.200 GHz | 1.784 | 4.763 / 8... | 0.870 | 8.400 GHz | 1.465 | 2.528 / -1... | 1.564 | 11.000 GHz | 2.565 | 1.758 / -9... | 1.824 |
| 5.300 GHz | 1.673 | 4.987 / 7... | 0.891 | 8.500 GHz | 1.513 | 2.482 / -1... | 1.579 | 11.100 GHz | 2.596 | 1.740 / -9... | 1.815 |
| 5.400 GHz | 1.571 | 5.151 / 6... | 0.913 | 8.600 GHz | 1.562 | 2.438 / -1... | 1.595 | 11.200 GHz | 2.623 | 1.722 / -9... | 1.805 |
| 5.500 GHz | 1.479 | 5.249 / 4... | 0.935 | 8.700 GHz | 1.611 | 2.396 / -1... | 1.611 | 11.400 GHz | 2.667 | 1.690 / 8... | 1.787 |
| 5.600 GHz | 1.396 | 5.281 / 3... | 0.958 | 8.800 GHz | 1.659 | 2.356 / -1... | 1.628 | 11.500 GHz | 2.684 | 1.675 / 7... | 1.777 |
| 5.700 GHz | 1.322 | 5.256 / 2... | 0.981 | 8.900 GHz | 1.707 | 2.317 / -1... | 1.644 | 11.600 GHz | 2.699 | 1.661 / 7... | 1.766 |
| 5.800 GHz | 1.257 | 5.183 / 1... | 1.004 | 9.000 GHz | 1.754 | 2.280 / -1... | 1.661 | 11.700 GHz | 2.711 | 1.648 / 7... | 1.759 |
| 5.900 GHz | 1.200 | 5.076 / 8... | 1.028 | | | | | 11.800 GHz | 2.721 | 1.635 / 6... | 1.750 |
| 6.000 GHz | 1.151 | 4.945 / -0... | 1.051 | | | | | 11.900 GHz | 2.728 | 1.623 / 6... | 1.742 |
| | | | | | | | | 12.000 GHz | 2.733 | 1.612 / 5... | 1.733 |

m3
freq=6.000GHz
dB(S(2,2))=-26.236

m2
freq=6.000GHz
dB(S(1,1))=-9.441



Las perdidas aquí son mayores con respecto al paso 2 debido a la red de adaptación.

CONCLUSIONES