

# Diseño de un LNA de microondas

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

## VISIÓN GENERAL

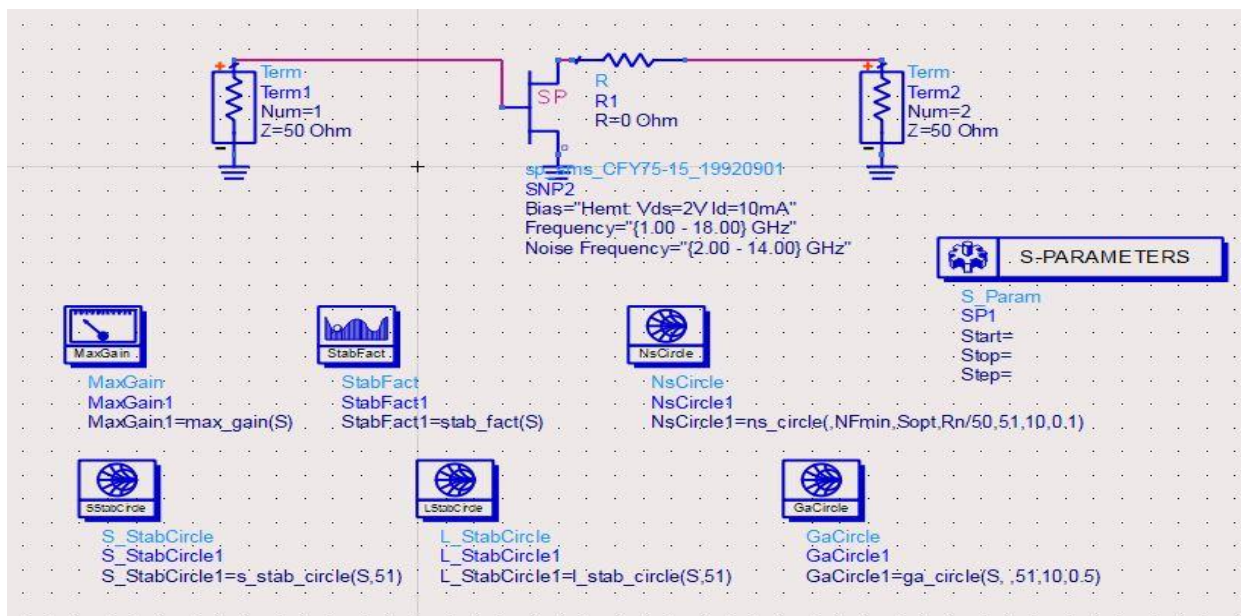
En este proyecto realizamos todos los pasos necesarios para diseñar un LNA de microondas usando un HEMT de AlGaAs/GaAs, estabilizando el transistor, y diseñando redes de adaptación conjugada a la entrada y salida del mismo.

## ESPECIFICACIONES

1. Frecuencia de operación:  $f_0 = 6$  GHz
2. Transistor utilizado: FET de microondas CFY75-15 de AlGaAs/GaAs
3. Modelo del transistor en ADS: sp\_sms\_CFY75-15\_19920901

## DISEÑO

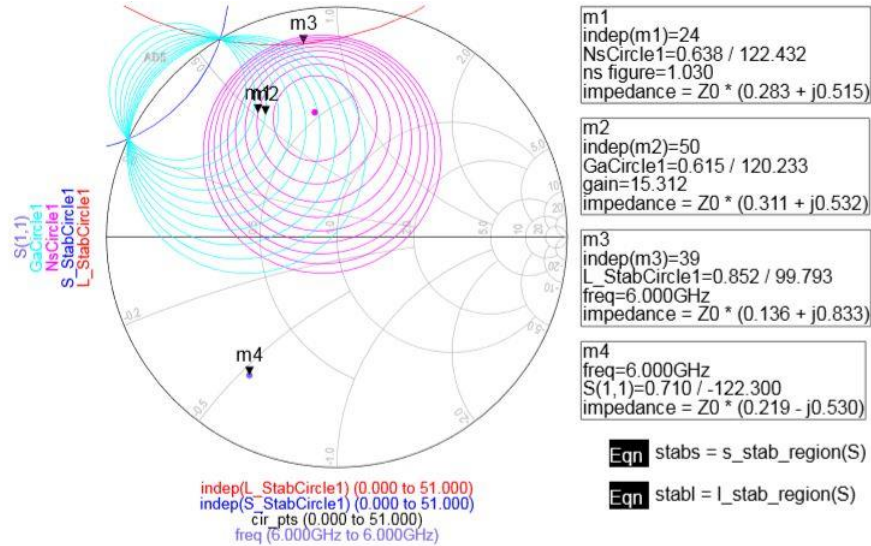
### Paso 1. Análisis del transistor



freq 6.000 GHz	S(1,1) -2.975 / -122.300	S(1,2) -22.853 / 17.700	S(2,1) 9.771 / 69.000	S(2,2) -4.437 / -71.700
freq 6.000 GHz	MaxGain1 16.312	Sopt 0.550 / 100.0...	NFmin 0.830	nf(2) 1.393
				StabFact1 0.747

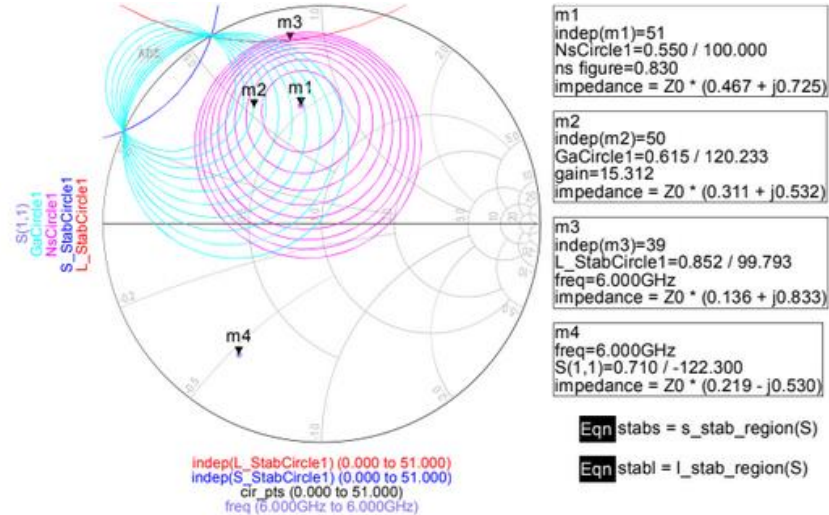
Como podemos observar, este transistor por sí solo no es incondicionalmente estable, ya que su factor de estabilidad k (en la tabla, StabFact1) es 0.747, menor que la unidad.

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



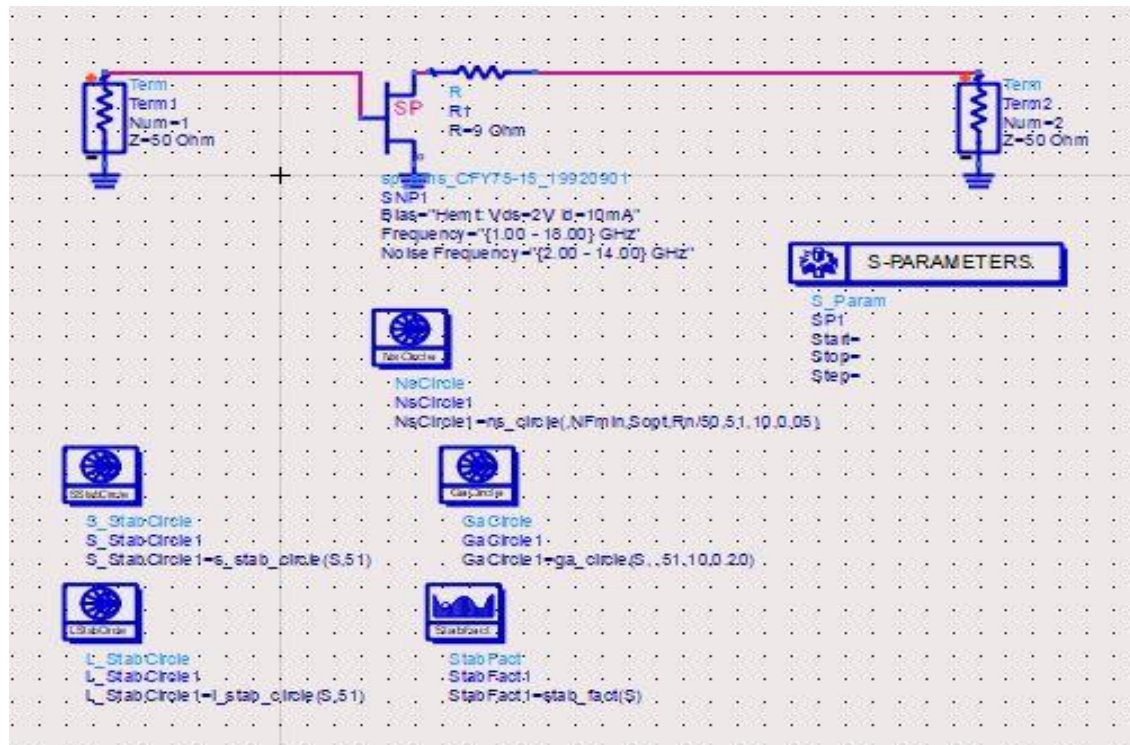
Para obtener el valor de figura de ruido mínimo, vemos en la carta de Smith que la impedancia de entrada debe ser  $Z_s = Z_0(0.467 + j0.725)$

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

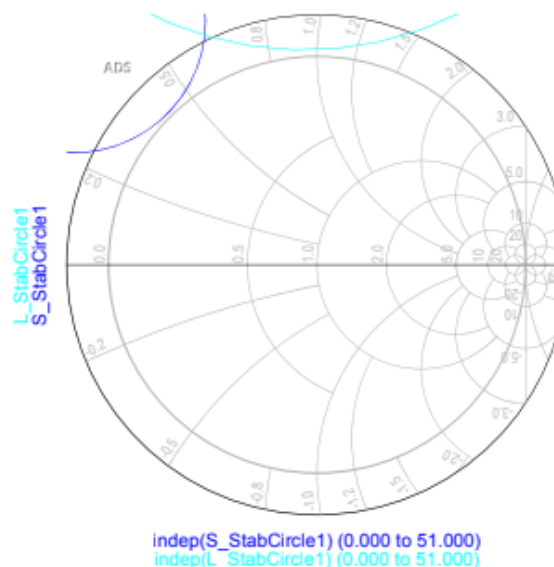


freq	Sopt	NFmin	nf(2)	StabFact1	abs(Delta)
6.000 GHz	0.546 / 100.572	0.885	1.453	1.051	0.421

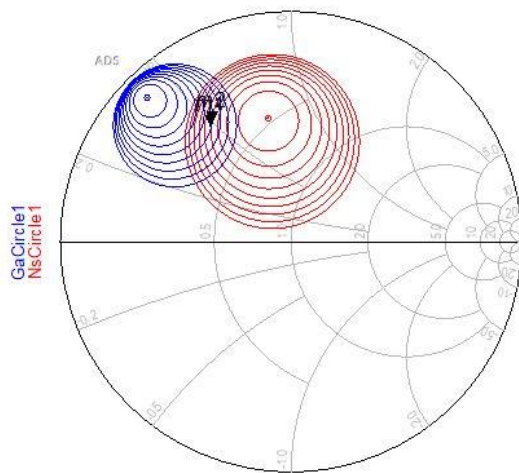
**Eqn**  $\Delta = S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21}$

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:

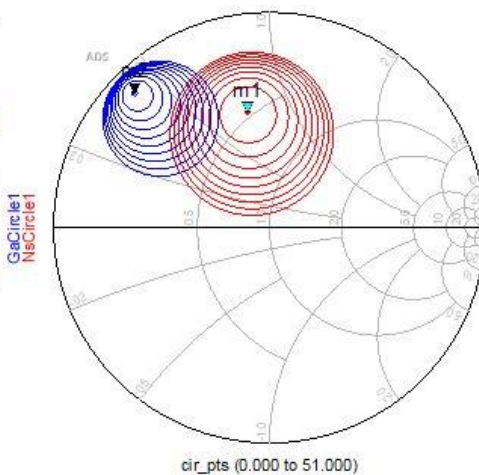
$$Z_s = Z_0 * (0.296 + j * 0.502)$$

m2  
indep(m2)=50  
GaCircle1=0.622 / 123.314  
gain=13.727  
impedance =  $Z_0 * (0.296 + j0.502)$

m1  
indep(m1)=25  
NsCircle1=0.613 / 124.695  
ns figure=1.085  
impedance =  $Z_0 * (0.301 + j0.486)$

m2  
indep(m2)=51  
GaCircle1=0.884 / 134.917  
gain=14.927  
impedance =  $Z_0 * (0.072 + j0.413)$

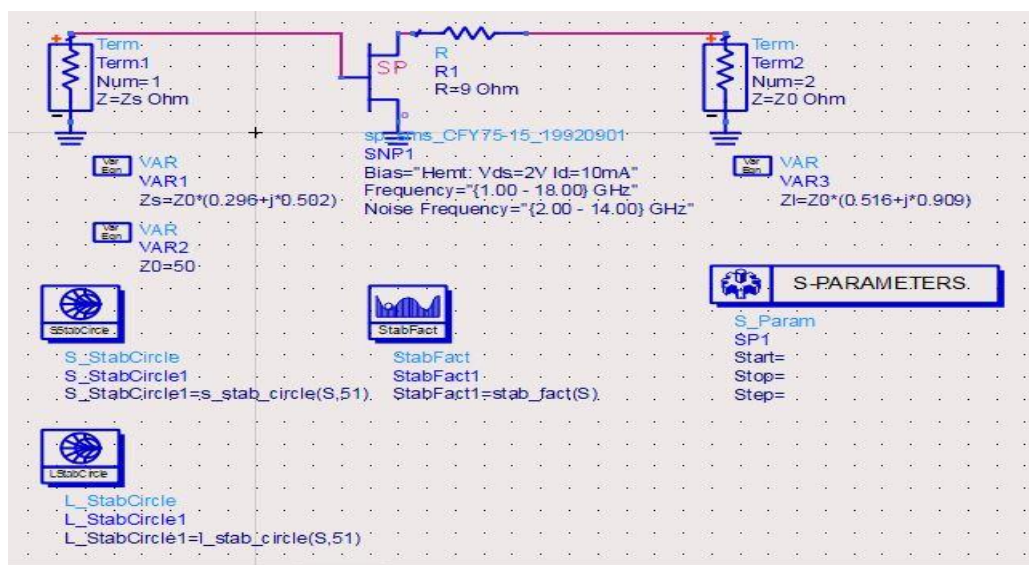
m1  
indep(m1)=51  
NsCircle1=0.546 / 100.572  
ns figure=0.885  
impedance =  $Z_0 * (0.468 + j0.716)$



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

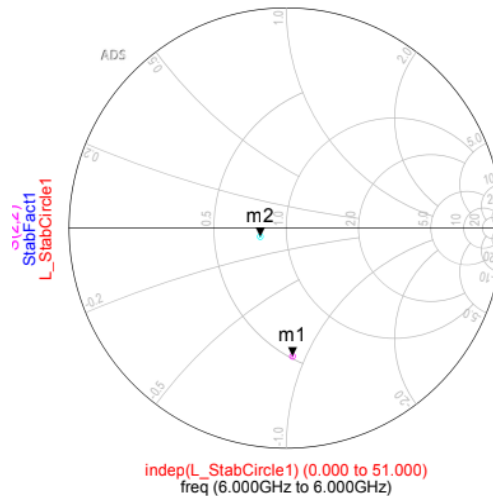
La MAG se corresponde con el centro del círculo de ganancias, de valor 14.927 dB (es menor que en el paso anterior al añadir elementos resistivos)

### 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



$$Eqn |l| = l\_stab\_region(S)$$

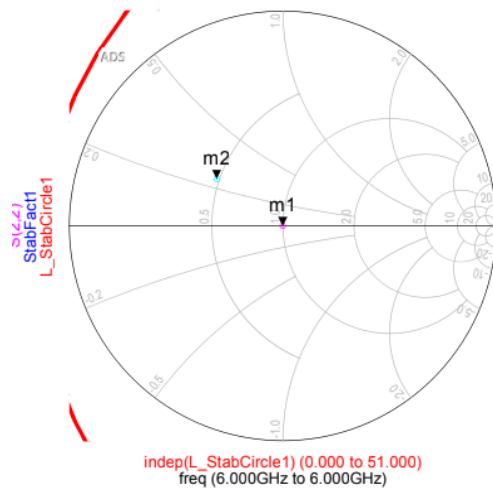


m1  
freq=6.000GHz  
S(2,2)=0.583 / -87.121  
impedance =  $Z_0 * (0.516 - j0.909)$

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



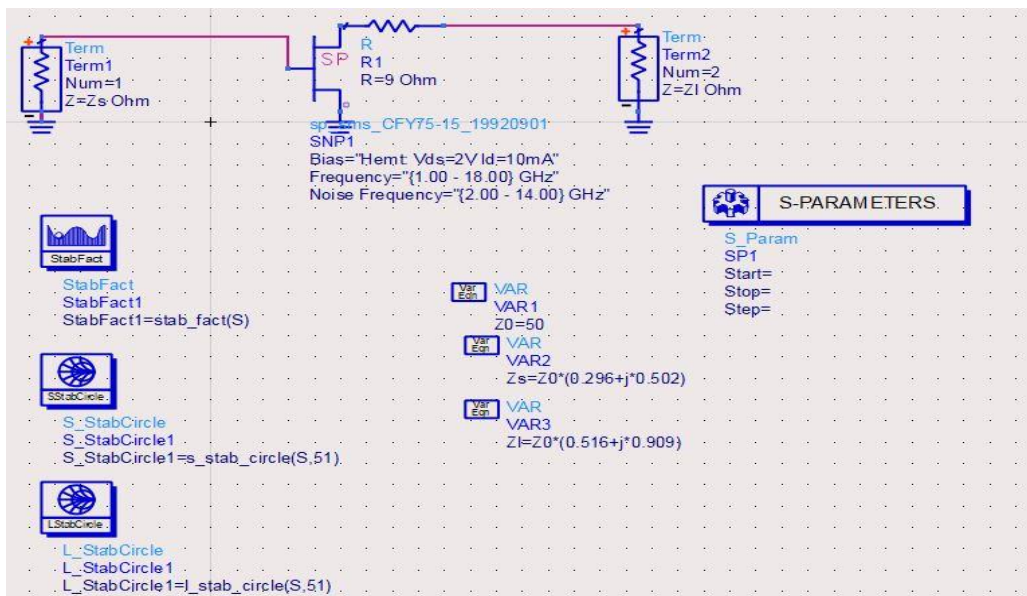
$$Eqn |l| = l\_stab\_region(S)$$



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)	$50 \cdot (1 + S(2,2)) / (1 - S(2,2))$	S(2,2)
6.000 GHz	1.076	33.974 / 0.049	5.385E-4 / 128.036

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

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

La ganancia disponible ( $G_a$ ) será 13.727 dB

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

freq	StabFact1
6.000 GHz	1.051

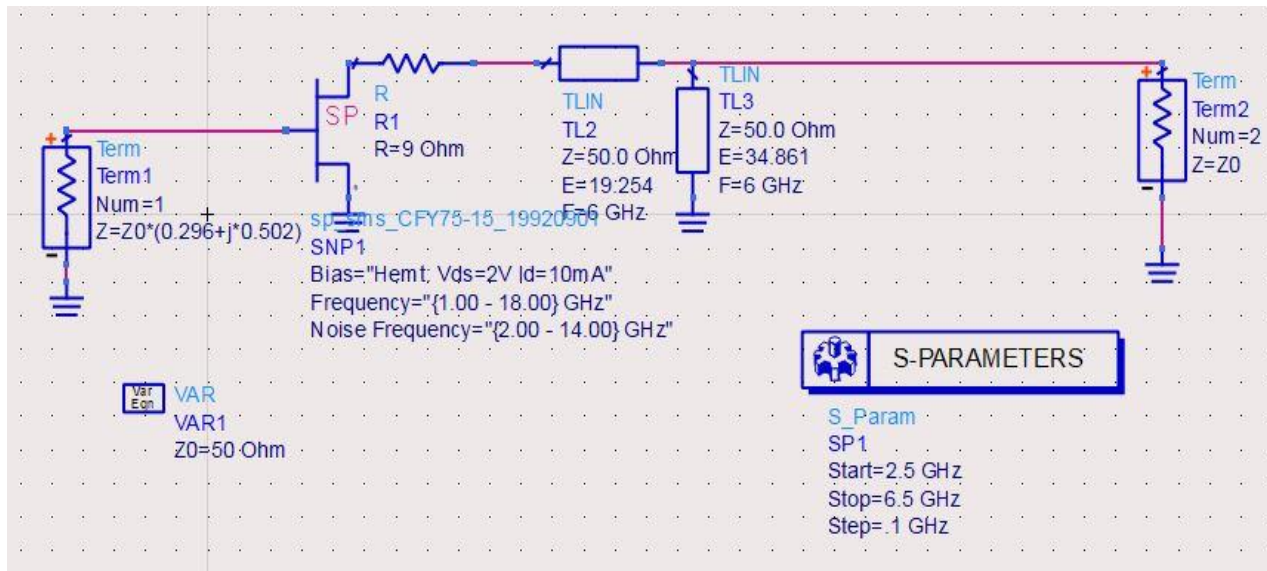
La ganancia de transducción ( $G_t$ ) será igual a la ganancia disponible porque hay adaptación a la salida.  
 La figura de ruido es 1.076 dB

Comparamos  $G_T(\text{dB}) = 13,727 \text{ dB}$  con la  $MAG(\text{dB})$  del paso 2 ( $MAG(\text{dB}) = 14,927 \text{ dB}$ ). 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.

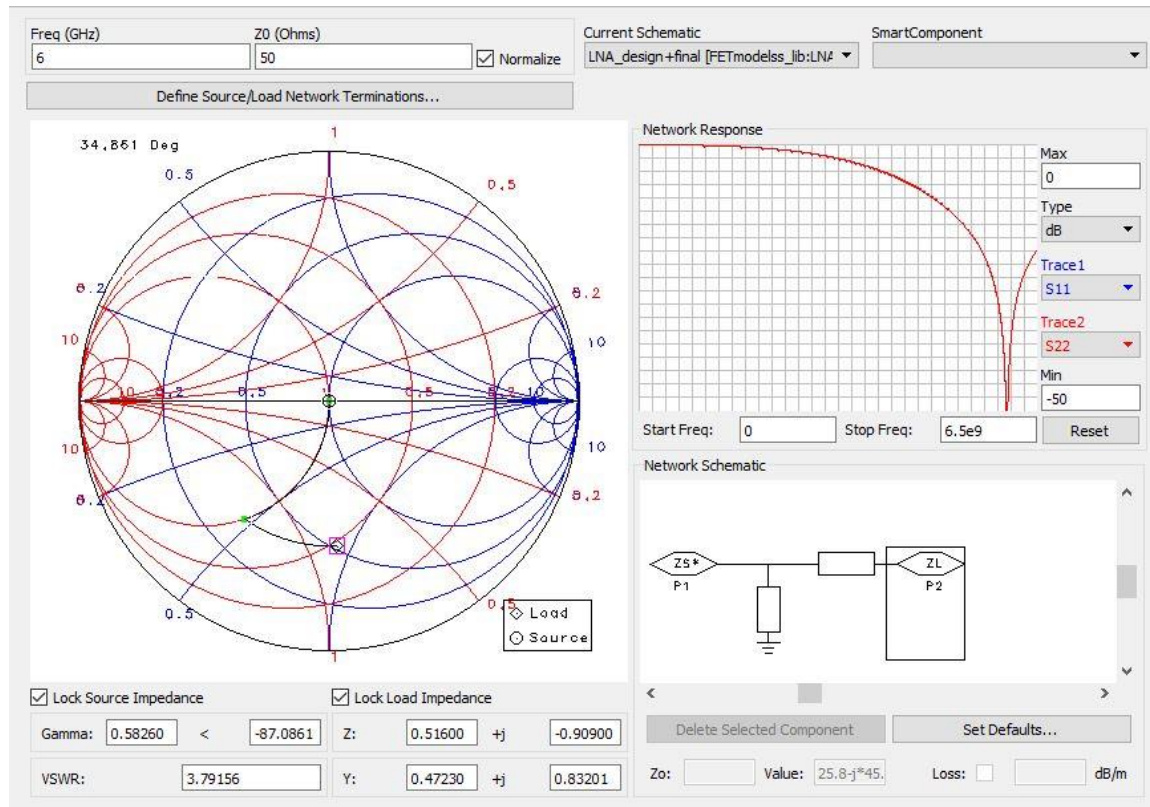
$G_{a_{\max}}(\text{dB}) = MAG(\text{dB}) = G_{T_{\max}}(\text{dB}) \Rightarrow MAG(\text{dB}) > G_T(\text{dB})$

## Paso 5. Diseño de las redes de adaptación

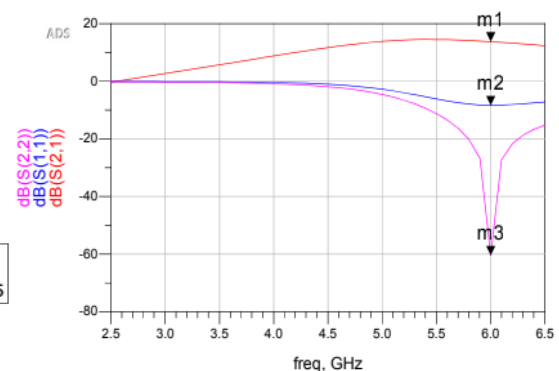
### Apartado A. Adaptación a la salida







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

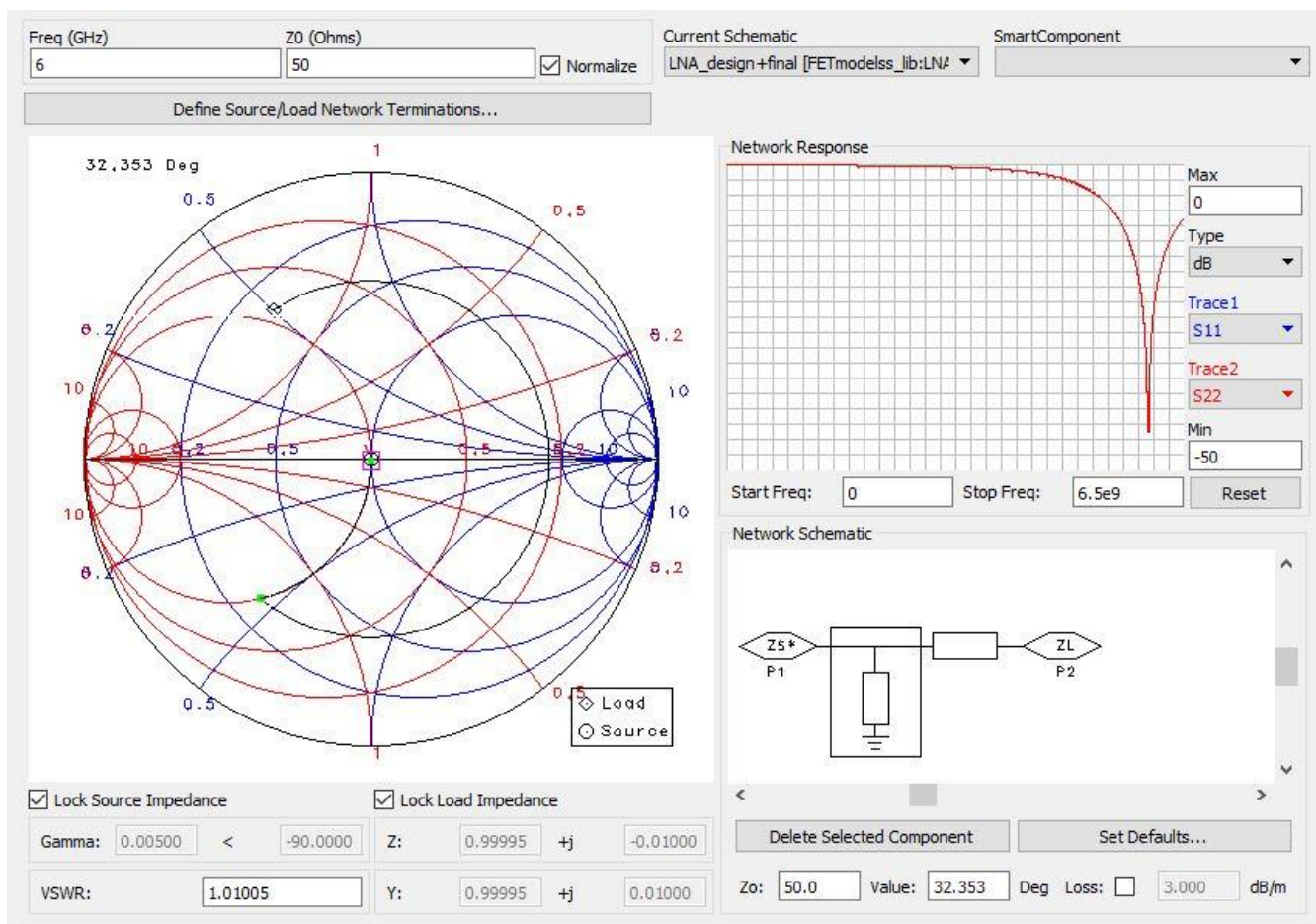
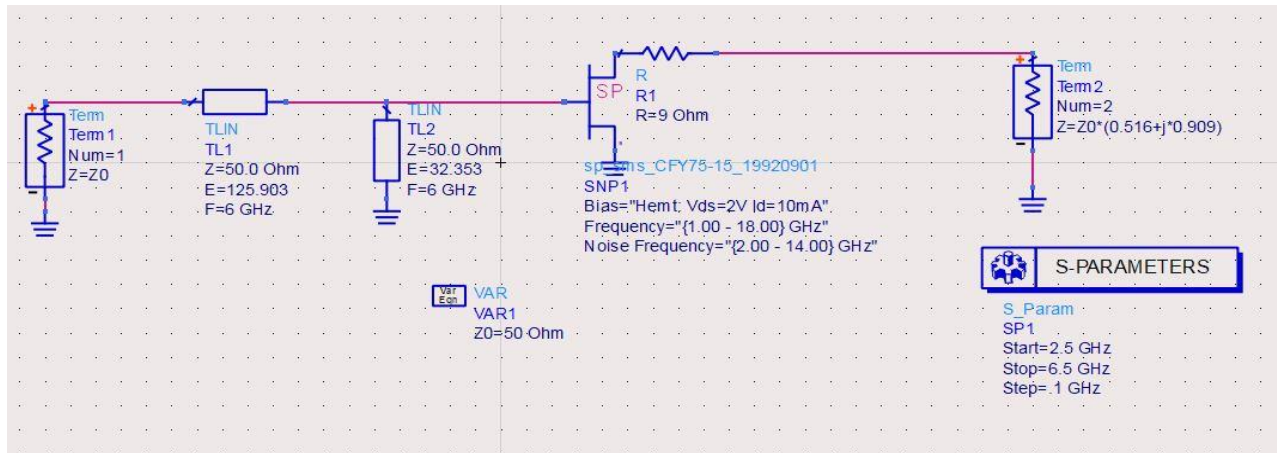
Pérdidas de retorno a la entrada son 8.388 dB

Pérdidas de retorno a la salida son 60.435 dB

La figura de ruido son 1.076 dB

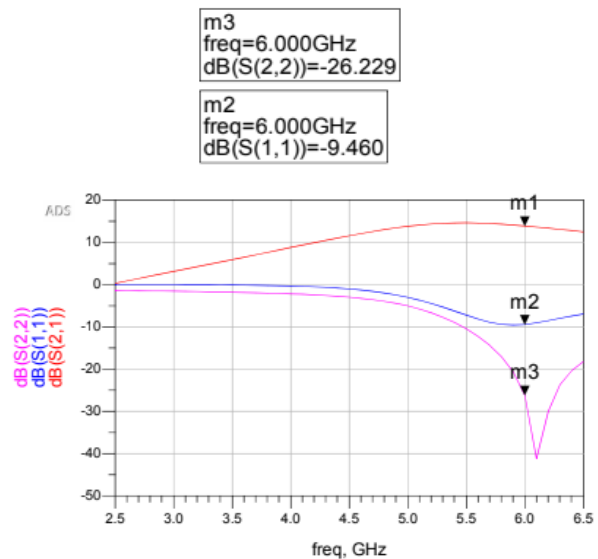
Respecto al paso 4, la ganancia no sufre ninguna pérdida, y las pérdidas de retorno a la entrada son prácticamente iguales. Las pérdidas de retorno a la salida se deteriora 5 dB.

## Apartado B. Adaptacion a la entrada





freq	nf(2)	S(2,1)
2.500 GHz	8.242	1.036 / 173...
2.600 GHz	7.867	1.106 / 169...
2.700 GHz	7.506	1.181 / 165...
2.800 GHz	7.160	1.260 / 161...
2.900 GHz	6.827	1.345 / 156...
3.000 GHz	6.507	1.435 / 152...
3.100 GHz	6.199	1.529 / 148...
3.200 GHz	5.902	1.630 / 143...
3.300 GHz	5.617	1.737 / 139...
3.400 GHz	5.343	1.853 / 134...
3.500 GHz	5.080	1.976 / 129...
3.600 GHz	4.827	2.109 / 124...
3.700 GHz	4.584	2.253 / 119...
3.800 GHz	4.351	2.407 / 114...
3.900 GHz	4.128	2.572 / 109...
4.000 GHz	3.914	2.751 / 103...
4.100 GHz	3.680	2.936 / 98...
4.200 GHz	3.456	3.132 / 92...
4.300 GHz	3.242	3.341 / 86...
4.400 GHz	3.039	3.559 / 79...
4.500 GHz	2.846	3.786 / 73...
4.600 GHz	2.664	4.019 / 66...
4.700 GHz	2.491	4.254 / 58...
4.800 GHz	2.329	4.485 / 51...
4.900 GHz	2.178	4.706 / 43...
5.000 GHz	2.037	4.907 / 34...
5.100 GHz	1.905	5.081 / 26...
5.200 GHz	1.784	5.221 / 17...
5.300 GHz	1.673	5.319 / 9.3...
5.400 GHz	1.571	5.375 / 0.6...
5.500 GHz	1.479	5.386 / -7...
5.600 GHz	1.396	5.356 / -16...
5.700 GHz	1.322	5.291 / -24...
5.800 GHz	1.257	5.196 / -32...
5.900 GHz	1.200	5.078 / -40...
6.000 GHz	1.151	4.945 / -47...
6.100 GHz	1.108	4.807 / -54...
6.200 GHz	1.072	4.662 / -61...
6.300 GHz	1.043	4.512 / -68...



La ganancia de transducción es 13.883 dB

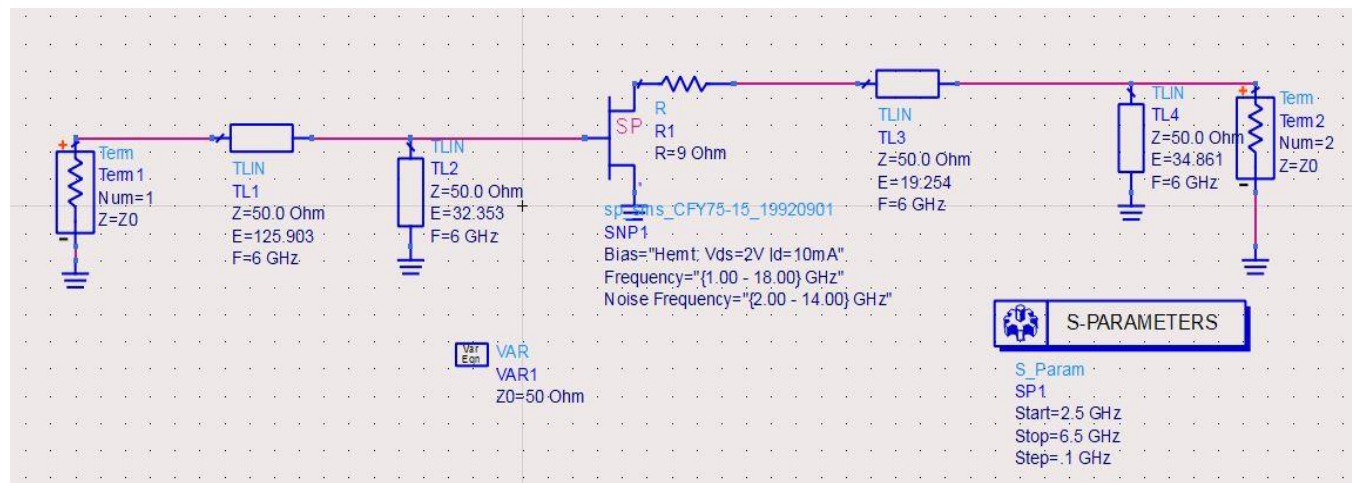
Pérdidas de retorno a la entrada son -9.460 dB

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

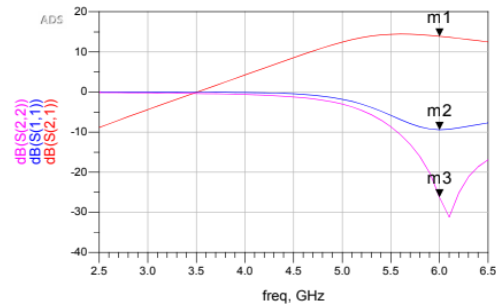
### Apartado C. Red de adaptacion de entrada y salida



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

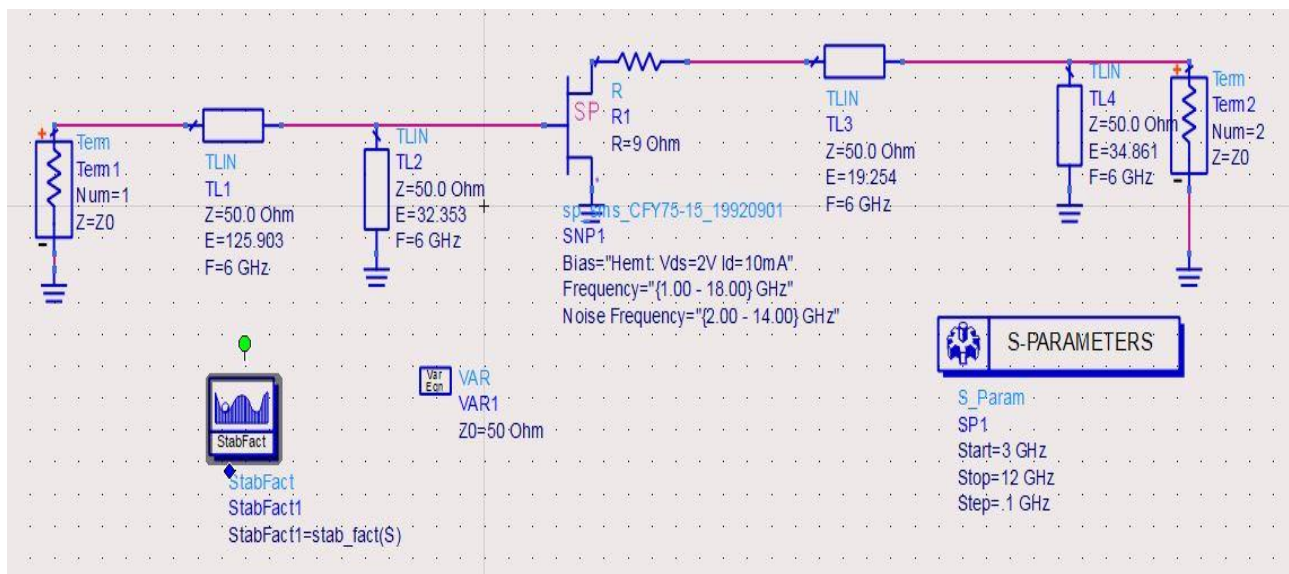
Pérdidas de retorno a la entrada son -9.441 dB

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.

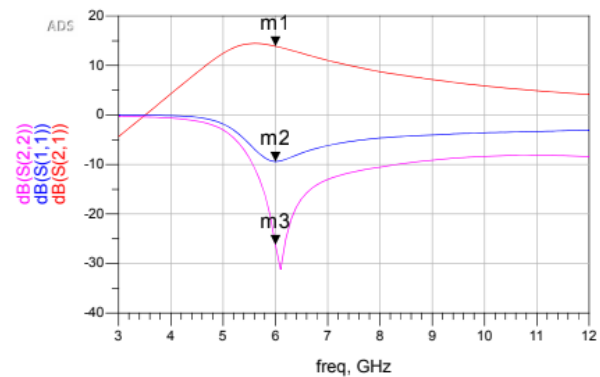
## Apartado D. Simulación de la red de adaptación entre 3 y 12 GHz



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...	1.518
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...	1.533
3.200 GHz	5.902	0.736 / -1...	0.525	6.400 GHz	1.020	4.352 / -3...	1.137	8.300 GHz	1.418	2.576 / -1...	1.548
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...	1.564
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	2.482 / -1...	1.579
3.500 GHz	5.080	0.991 / -1...	0.570	6.700 GHz	0.986	3.925 / -5...	1.205	8.600 GHz	1.562	2.438 / -1...	1.595
3.600 GHz	4.827	1.094 / -1...	0.584	6.800 GHz	0.986	3.795 / -6...	1.229	8.700 GHz	1.611	2.396 / -1...	1.611
3.700 GHz	4.584	1.208 / -1...	0.599	6.900 GHz	0.992	3.672 / -6...	1.253	8.800 GHz	1.659	2.356 / -1...	1.628
3.800 GHz	4.351	1.335 / -1...	0.614	7.000 GHz	1.001	3.556 / -7...	1.277	8.900 GHz	1.707	2.317 / -1...	1.644
3.900 GHz	4.128	1.475 / -1...	0.629	7.100 GHz	1.016	3.454 / -7...	1.297	9.000 GHz	1.754	2.280 / -1...	1.661
4.000 GHz	3.914	1.632 / -1...	0.644	7.200 GHz	1.034	3.357 / -8...	1.318	9.100 GHz	1.799	2.242 / -1...	1.674
4.100 GHz	3.680	1.802 / 1...	0.661	7.300 GHz	1.057	3.265 / -9...	1.340	9.200 GHz	1.842	2.205 / 1...	1.686
4.200 GHz	3.456	1.990 / 1...	0.679	7.400 GHz	1.083	3.177 / -9...	1.362	9.300 GHz	1.882	2.170 / 1...	1.699
4.300 GHz	3.242	2.198 / 1...	0.697	7.500 GHz	1.112	3.093 / -1...	1.385	9.400 GHz	1.919	2.137 / 1...	1.712
4.400 GHz	3.039	2.427 / 1...	0.715	7.600 GHz	1.144	3.014 / -1...	1.408	9.500 GHz	1.953	2.105 / 1...	1.726
4.500 GHz	2.846	2.677 / 1...	0.734	7.700 GHz	1.178	2.938 / -1...	1.431	9.600 GHz	1.983	2.075 / 1...	1.739
4.600 GHz	2.664	2.950 / 1...	0.752	7.800 GHz	1.213	2.866 / -1...	1.455	9.700 GHz	2.009	2.046 / 1...	1.753
4.700 GHz	2.491	3.243 / 1...	0.771	7.900 GHz	1.250	2.797 / -1...	1.479	9.800 GHz	2.032	2.019 / 1...	1.766
4.800 GHz	2.329	3.552 / 1...	0.789	8.000 GHz	1.286	2.731 / -1...	1.504	9.900 GHz	2.051	1.992 / 1...	1.780
4.900 GHz	2.178	3.871 / 1...	0.808	8.100 GHz	1.328	2.677 / -1...	1.518	10.00 GHz	2.066	1.969 / 1...	1.794
5.000 GHz	2.037	4.188 / 1...	0.827	8.200 GHz	1.372	2.625 / -1...	1.533	10.10 GHz	2.130	1.941 / 1...	1.797
5.100 GHz	1.905	4.492 / 9...	0.848	8.300 GHz	1.418	2.576 / -1...	1.548	10.20 GHz	2.191	1.916 / 1...	1.799
5.200 GHz	1.784	4.763 / 8...	0.870	8.400 GHz	1.465	2.528 / -1...	1.564	10.30 GHz	2.250	1.893 / 1...	1.802
5.300 GHz	1.673	4.987 / 7...	0.891	8.500 GHz	1.513	2.482 / -1...	1.579	10.40 GHz	2.306	1.870 / 1...	1.805
5.400 GHz	1.571	5.151 / 6...	0.913	8.600 GHz	1.562	2.438 / -1...	1.595	10.50 GHz	2.359	1.849 / 1...	1.808
5.500 GHz	1.479	5.249 / 4...	0.935	8.700 GHz	1.611	2.396 / -1...	1.611	10.60 GHz	2.408	1.829 / 1...	1.811
5.600 GHz	1.396	5.281 / 3...	0.958	8.800 GHz	1.659	2.356 / -1...	1.628	10.70 GHz	2.453	1.810 / 1...	1.814
5.700 GHz	1.322	5.256 / 2...	0.981	8.900 GHz	1.707	2.317 / -1...	1.644	10.80 GHz	2.494	1.792 / 1...	1.817
5.800 GHz	1.257	5.183 / 1...	1.004	9.000 GHz	1.754	2.280 / -1...	1.661	10.90 GHz	2.531	1.774 / 1...	1.821
5.900 GHz	1.200	5.076 / 8...	1.028					11.00 GHz	2.565	1.758 / 9...	1.824
6.000 GHz	1.151	4.945 / 0...	1.051					11.10 GHz	2.596	1.740 / 9...	1.815
								11.20 GHz	2.623	1.722 / 9...	1.805
								11.30 GHz	2.647	1.706 / 8...	1.796
								11.40 GHz	2.667	1.690 / 8...	1.787
								11.50 GHz	2.684	1.675 / 7...	1.777
								11.60 GHz	2.699	1.661 / 7...	1.768
								11.70 GHz	2.711	1.648 / 7...	1.759
								11.80 GHz	2.721	1.635 / 6...	1.750
								11.90 GHz	2.728	1.623 / 6...	1.742
								12.00 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 pérdidas aquí son mayores con respecto al paso 2 debido a la red de adaptación.

## CONCLUSIONES