Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Diseño y fabricación de amplificadores de microondas en microstrip

Julio Rodrigo Campos
julio_rodrigo@hotmail.com

Objetivos

- Diseño y fabricación:
  - Sonda de alta impedancia
  - Fixtures para diversos tipos de transistores
  - Amplificadores LNA a 900MHz y 1.5GHz
  - Amplificador bietapa a 2.4GHz de 5W de potencia, como prototipo para la empresa FASER Telecomunicaciones.

- Manejo de:
  - Herramientas de diseño y software especializado en RF y microondas (Agilent ADS 2006A).
  - Instrumental para la fabricación a doble cara (maquinas de prototipado PCB de LPKF y Bungard).
  - Instrumental específico de medida (Analizadores de redes de Anritsu y de Rhode&Schwartz, analizador de espectros, LCR…).

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Microondas, Parámetros-S

- Rango de las Microondas: 300MHz – 30GHz
- UHF: 300MHz – 3GHz (ondas electromagneticas de 100 – 10 cm)

- Caracterización de redes a alta frecuencia: Parámetros de 2 puertos usuales (H, Y, Z) no recomendables:
  - Imposibilidad de medida de corrientes y tensiones totales
  - Cortocircuitos y circuitos abiertos difíciles de conseguir
  - Oscilaciones en dispositivos activos

Solución:
trabajar con ondas viajeras

- Las variables independientes a1 y a2 son voltajes incidentes normalizados:

$$a_1 = \frac{V_1 + Z_0 I_1}{2\sqrt{Z_0}} = \frac{onda\ de\ voltaje\ incidente\ en\ \ puerto\ 1}{Z_0} = \frac{V_{i1}}{\sqrt{Z_0}}$$

- Las variables dependientes b1 y b2 son voltajes reflejados normalizados:

$$b_1 = \frac{V_1 - Z_0 I_1}{2\sqrt{Z_0}} = \frac{onda\ de\ voltaje\ reflejada\ del\ \ puerto\ 1}{Z_0} = \frac{V_{r1}}{\sqrt{Z_0}}$$

$$b_1 = s_{11}a_1 + s_{12}a_2$$
$$b_2 = s_{21}a_1 + s_{22}a_2$$

$$s_{11} = \left.\frac{b_1}{a_1}\right|_{a_2=0} \quad s_{21} = \left.\frac{b_2}{a_1}\right|_{a_2=0} \quad s_{22} = \left.\frac{b_2}{a_2}\right|_{a_1=0} \quad s_{12} = \left.\frac{b_1}{a_2}\right|_{a_1=0}$$

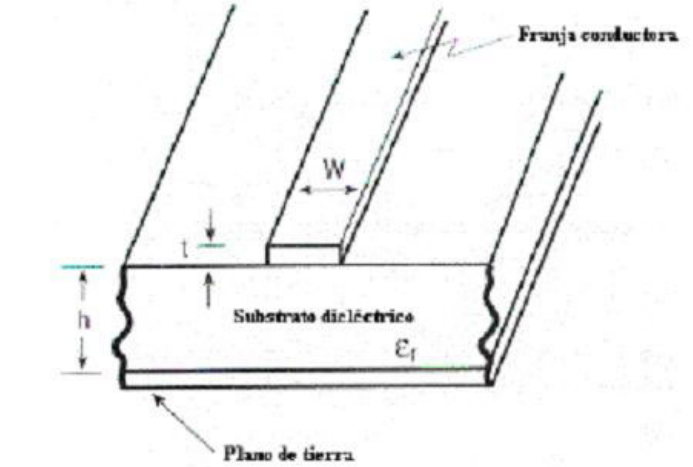
Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Líneas de transmisión, Microstrip

- Líneas de transmisión → para elementos de interconexión y adaptación de impedancias.
- Microstrip:
  - Facilidad para conexión en serie
  - Plano de tierra como superficie de montaje y disipador
  - Pérdidas y dispersión bajas
  - Conexión paralelo: conexiones a masa "via hole"

- Corriente, tensión y potencia como ondas viajeras en líneas de transmisión → inciden y se reflejan en la fuente y la carga → ondas estacionarias.

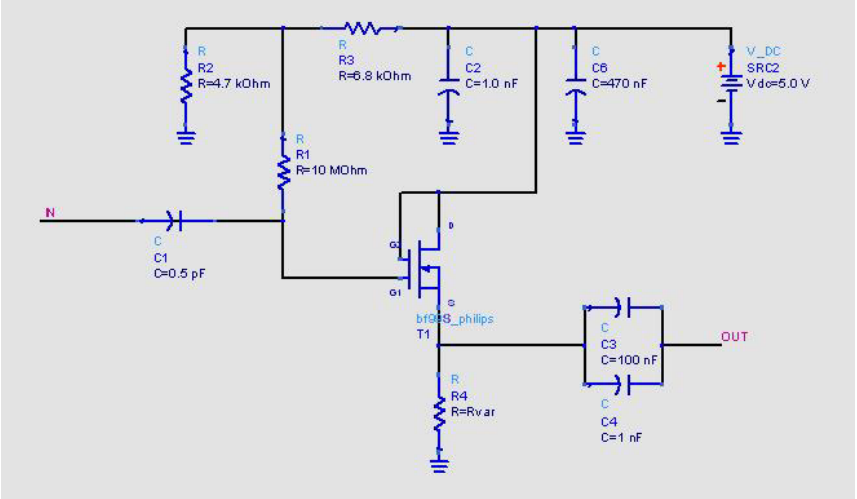
- Importancia de las características del sustrato utilizado → bajas pérdidas y cte. dieléctrica:
  - Sustrato RO4003C de Rogers Corporation

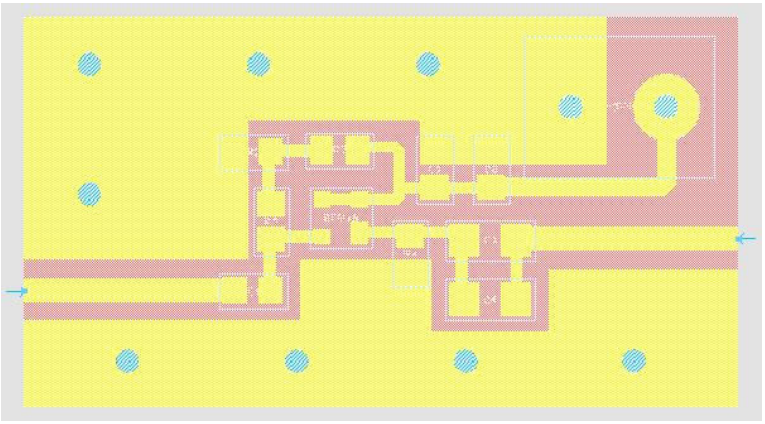


Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

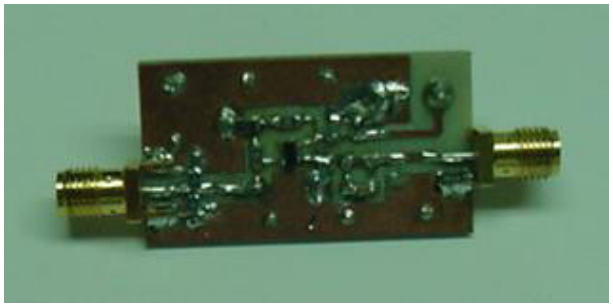
Sonda de alta impedancia

- Esquema y layout en ADS para la fabricación con máquina de prototipado de LPKF:

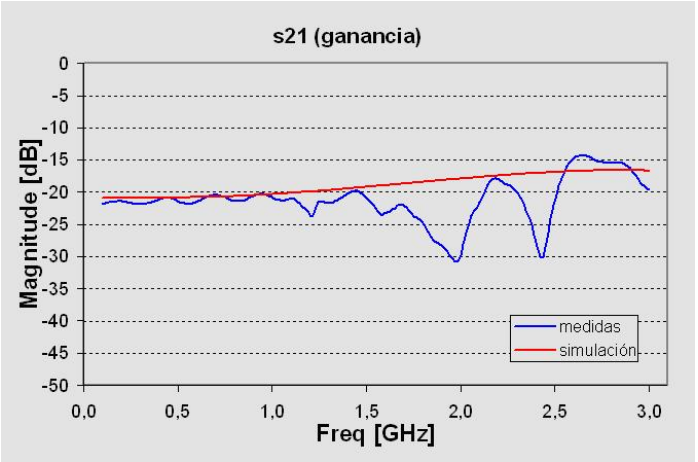




- Fabricación y montaje:



- Medidas con Anal. de redes ZVB4:



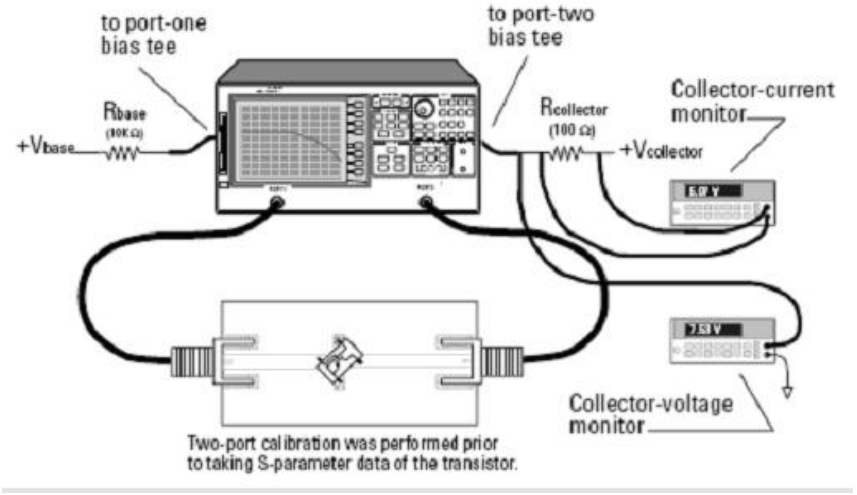
- ✓ Zin||50Ω=50Ω
- ✓ Zout=30-60Ω
- ✓ G~ -20dB
- ✓ Fmax=1.5GHz

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Fixtures

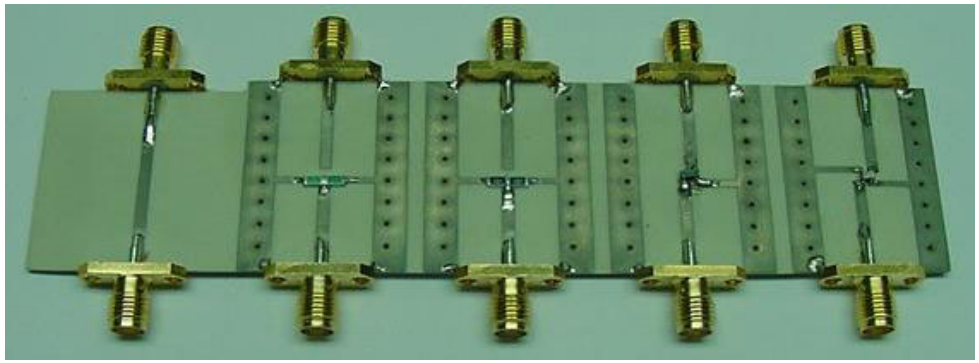
Fixture:
Para medir dispositivos en RF no coaxiales (transistores)

soporte físico con conectores SMA

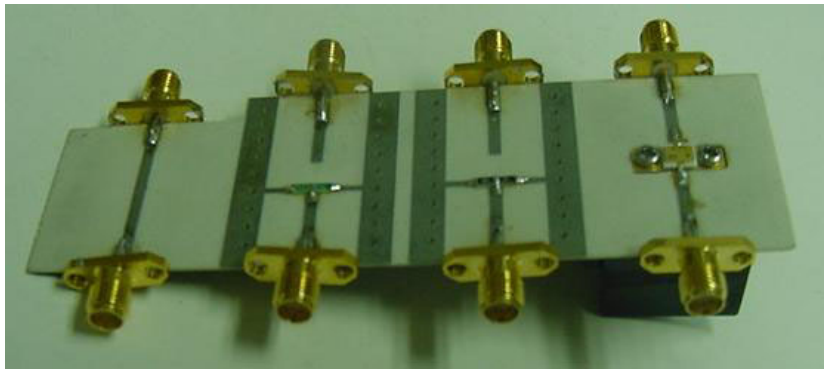


Calibración SOLT (Short, Open, Load, Thru) → eliminar errores introducidos por el propio fixture.

SOT-23 (BFR92A) y SOT-343R (BFG425W)

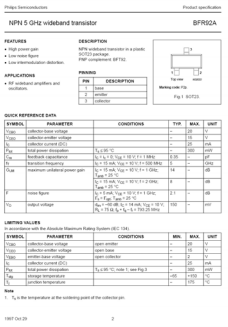


GF-7 (MGF0904A)

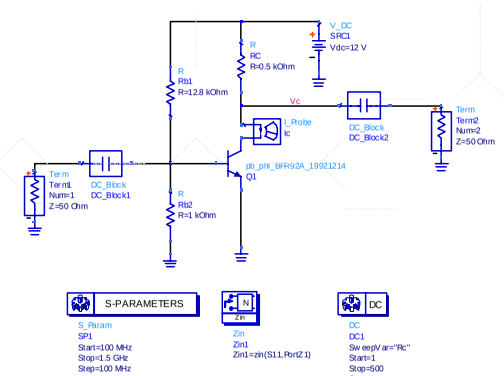


ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

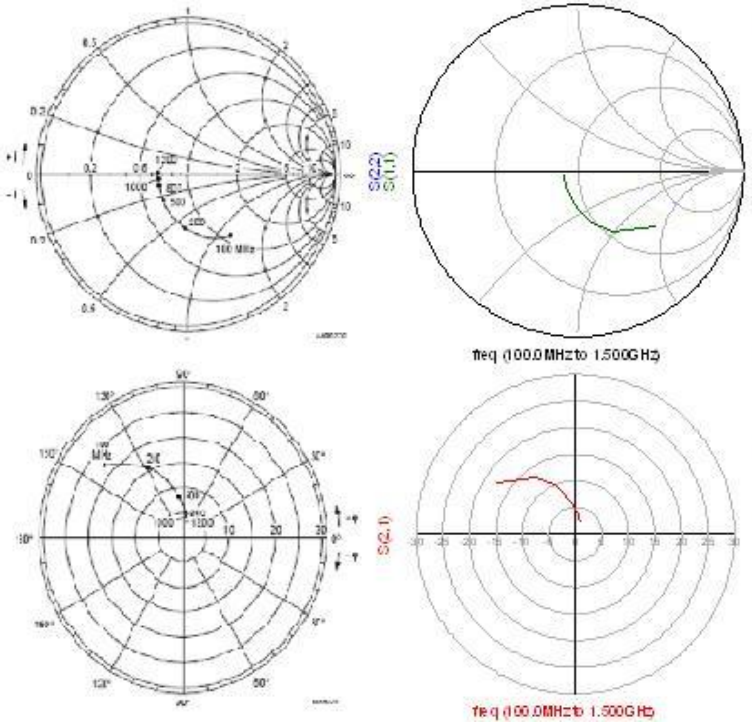
Fixture BFR92A

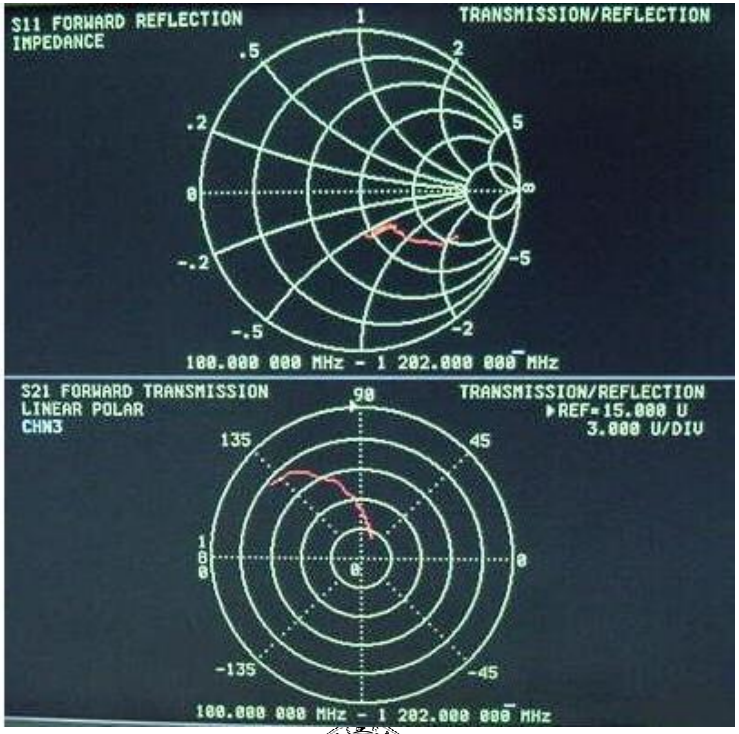

NPN 5 GHz wideband transistor

BFR92A



[Datasheet](#) [Simulación en ADS](#) [Medidas en el anal. de redes MS4662A](#)

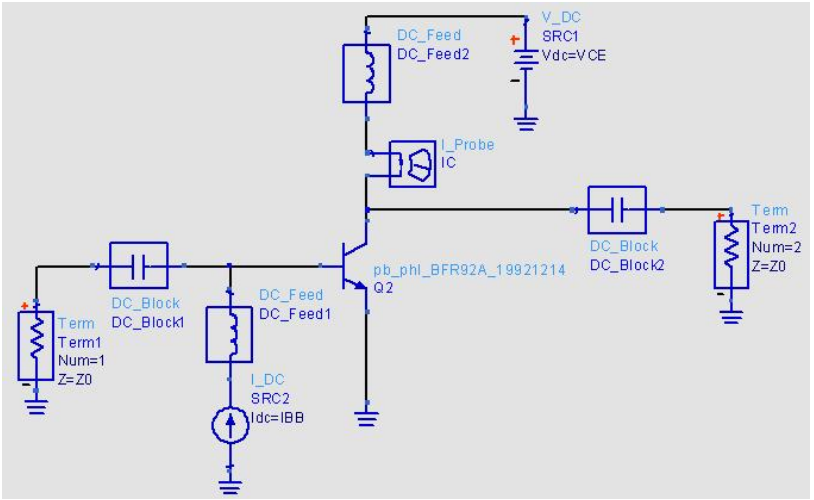


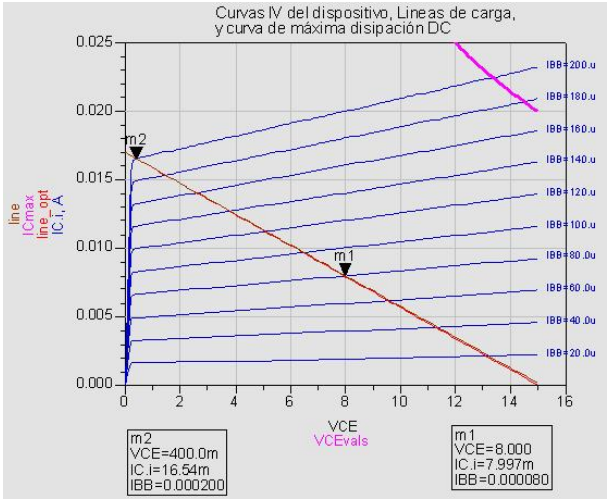


Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Amplificadores: Polarización

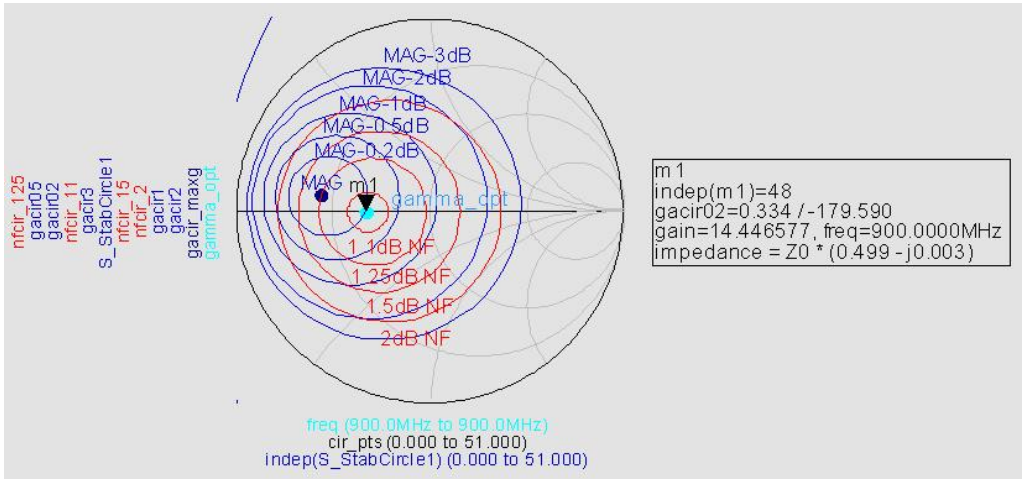
Polarización en Clase A: funcionamiento con linealidad máxima (aplicación: señales de vídeo)





Con esa polarización

En frecuencia de trabajo: punto de ruido mínimo y círculos de ganancia máxima disponible



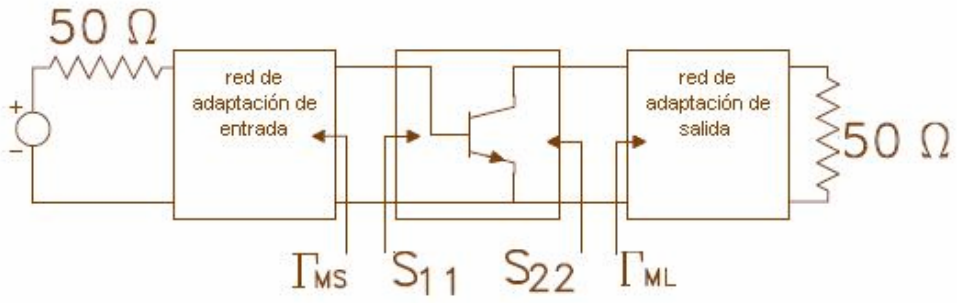
Γ_{MS}

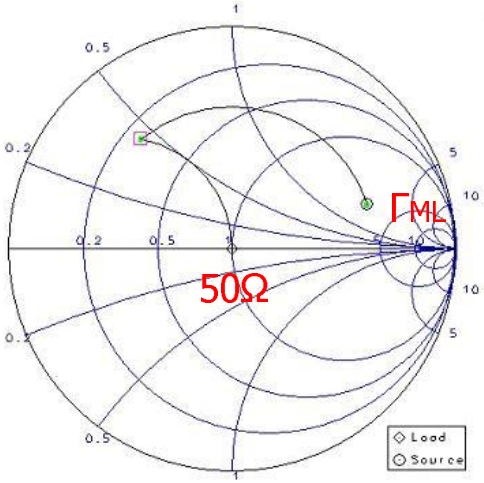
Γ_{ML}

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

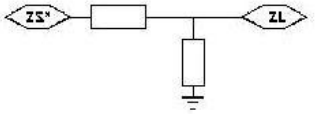
Amplificadores: Adaptación de impedancia

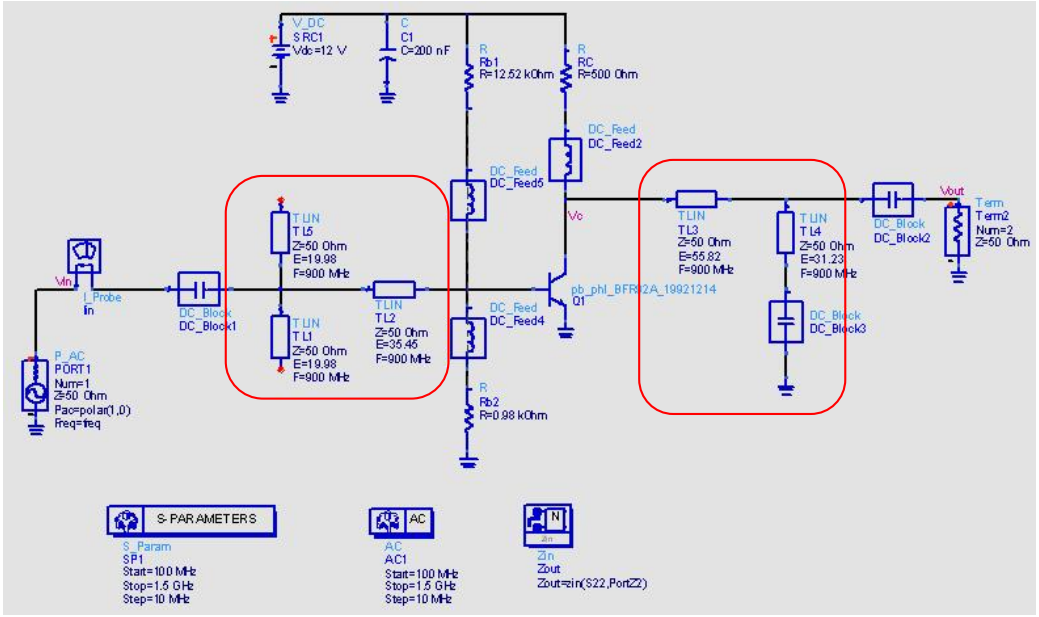
✓ Polarización → ✓ Estudio en f_T → • Redes de adaptación ...





"Smith Chart Utility"





→ • Simulación y optimización con elementos ideales ...

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Amplificadores: Optimización

- Simulación y optimización con elementos ideales

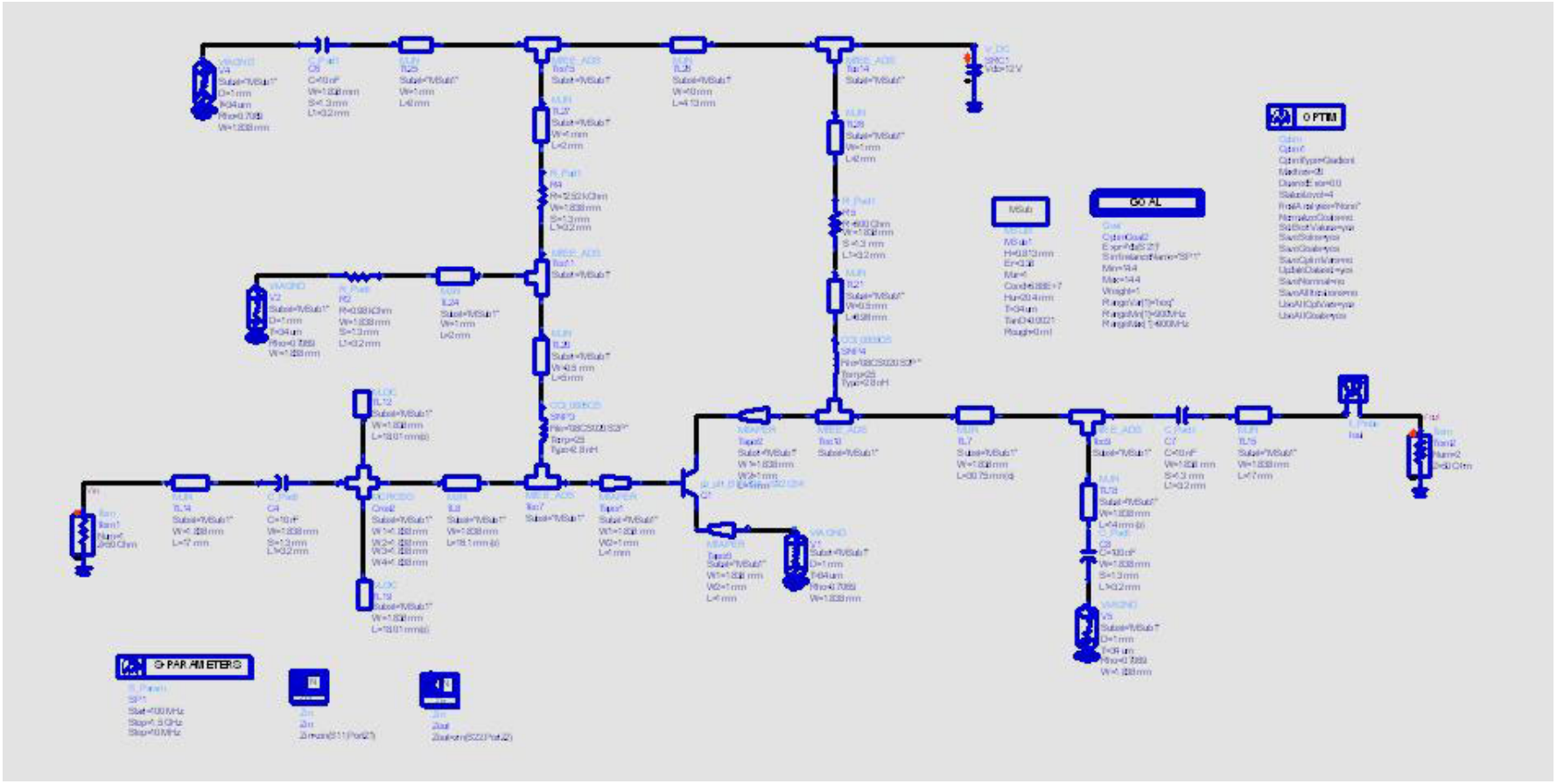
→

- Líneas reales (sustrato)
- Choques de RF
- Condensadores de desacoplo
- Líneas del layout

→

- Circuito final

...



Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

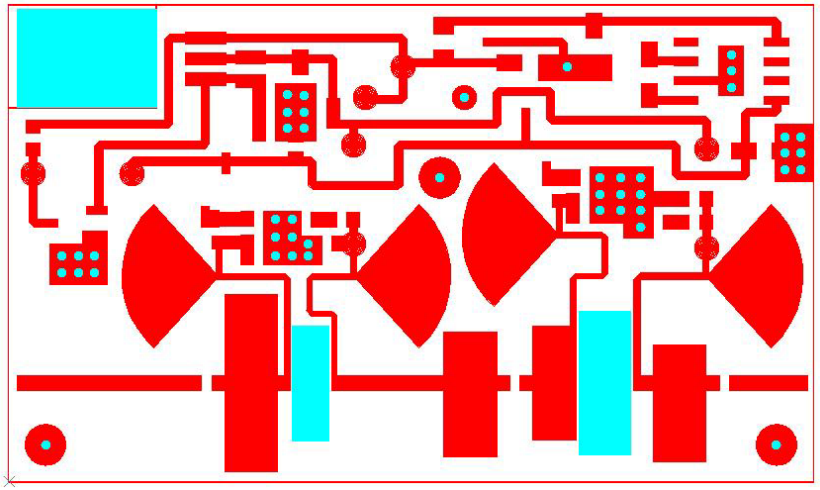
Amplificadores: Fabricación

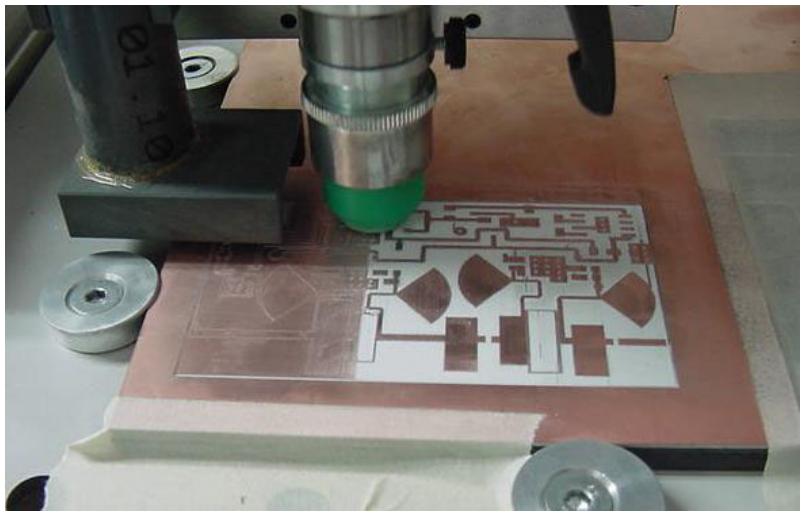
✓ Circuito final → • Layout en ADS ...

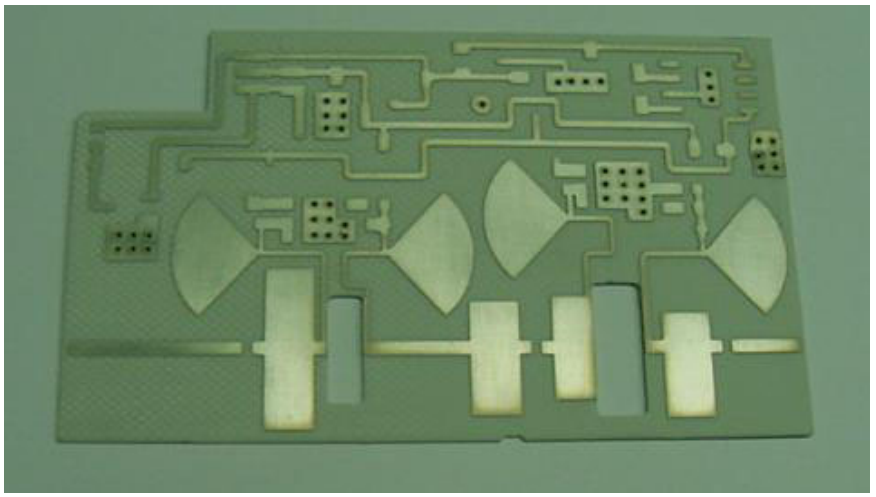
... → • Exportar a .gbr → • Fabricación ...

(formato que entiende la máquina)

- Perfil
- Rubout
- Corte
- Vías
- Tin plating



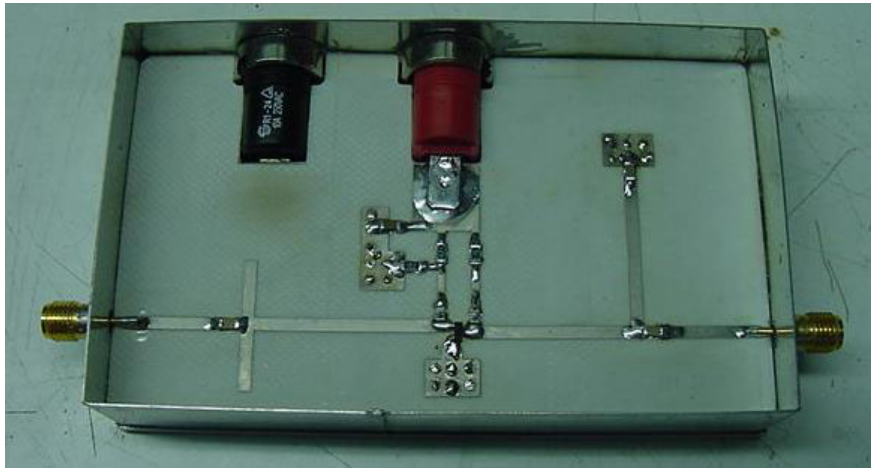


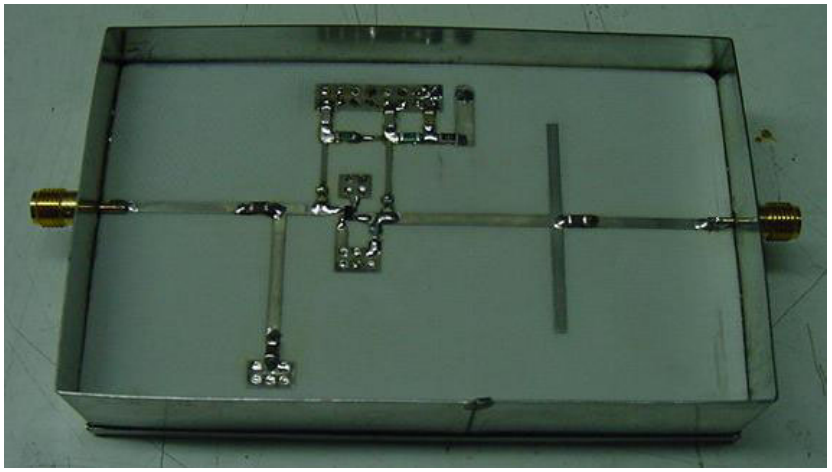


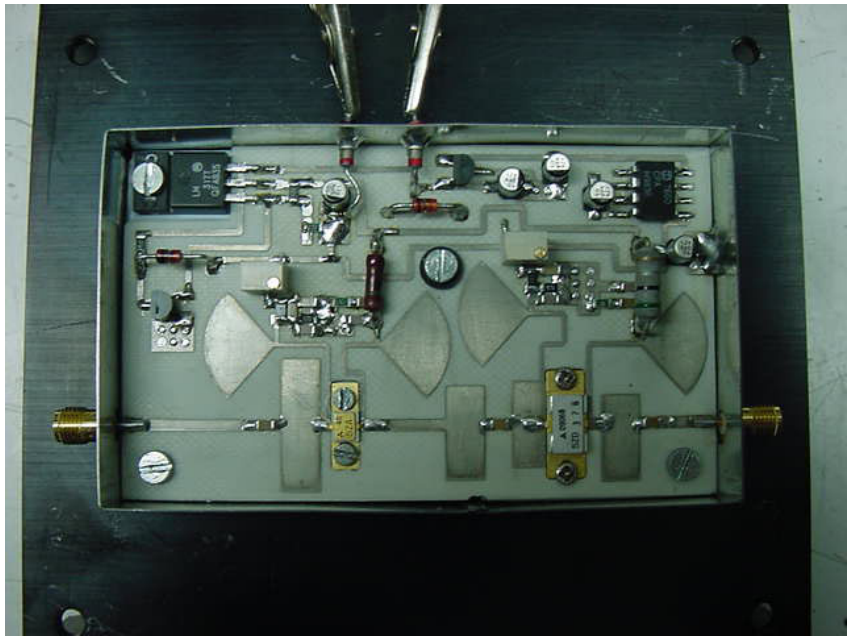
ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Amplificadores: Montajes

- ✓ Fabricación
  - • montaje …
    - • Elem. SMD
    - • Caja
    - • Conectores
    - • Disipador
  - • Medidas …







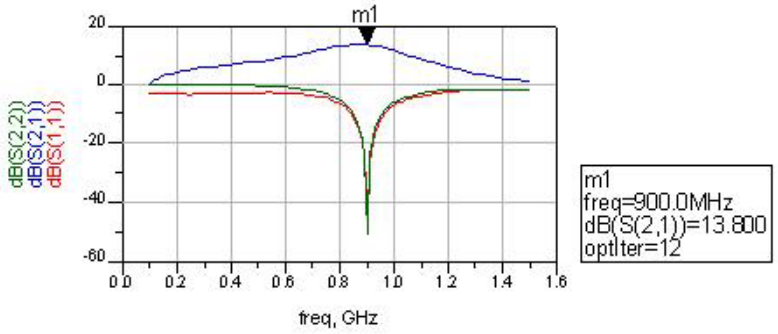
ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

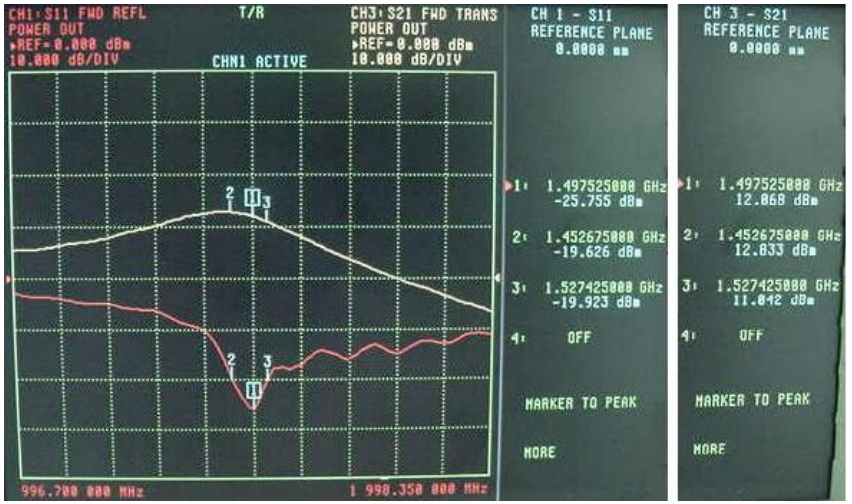
Medidas analizador de redes

✓ Montaje → • Medidas …

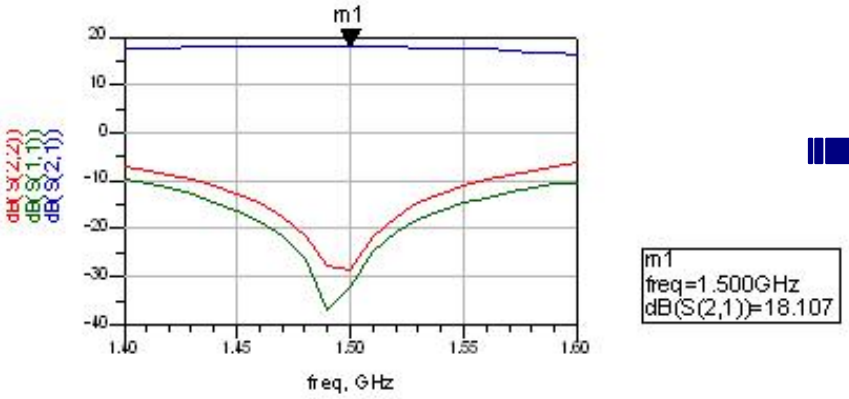
Analizador de redes Anritsu

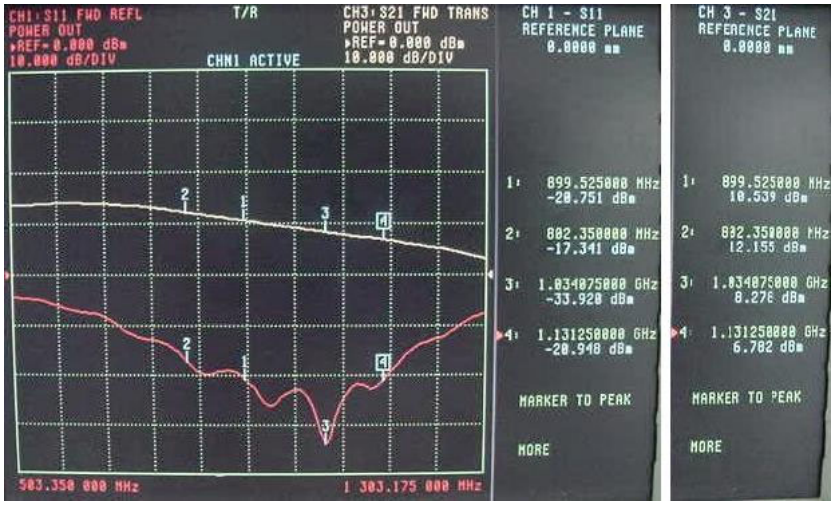
• Simulación y medidas para el LNA a 900MHz:





• Simulación y medidas para el LNA a 1.5GHz:





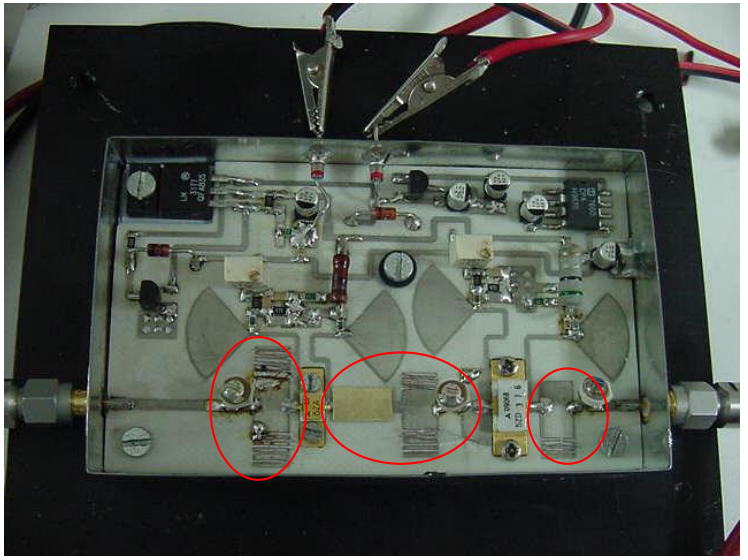
ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

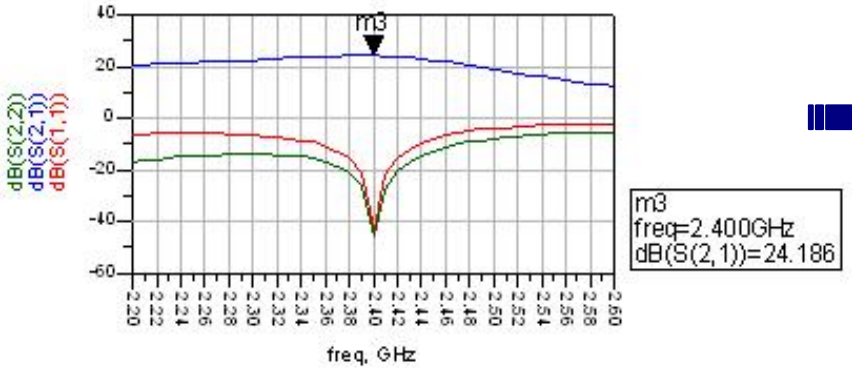
Medidas analizador de redes

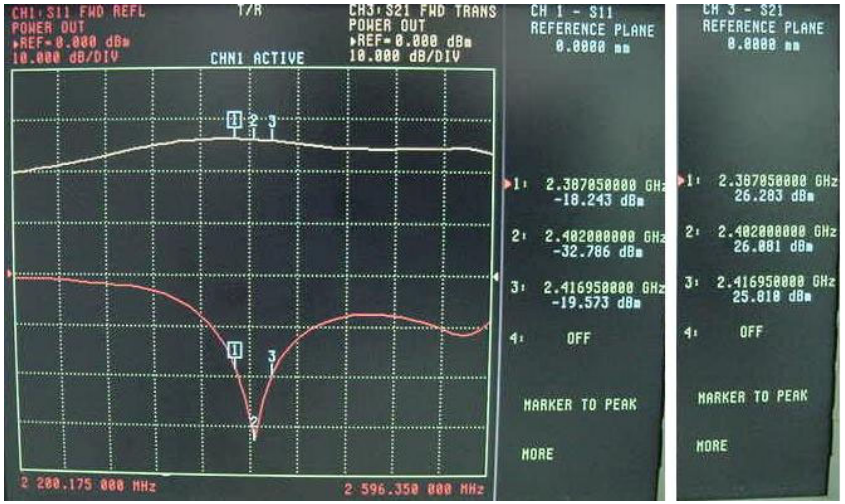
✓ Montaje → ✓ Medidas → • Ajustes → • Medidas finales → FIN

Modificaciones en líneas de transmisión

Respuesta **óptima**



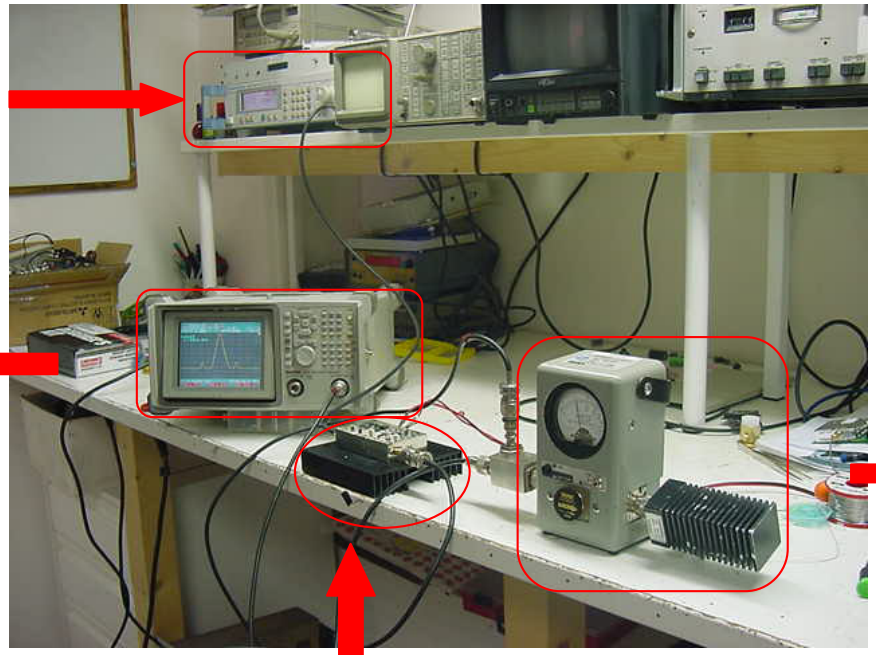




ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

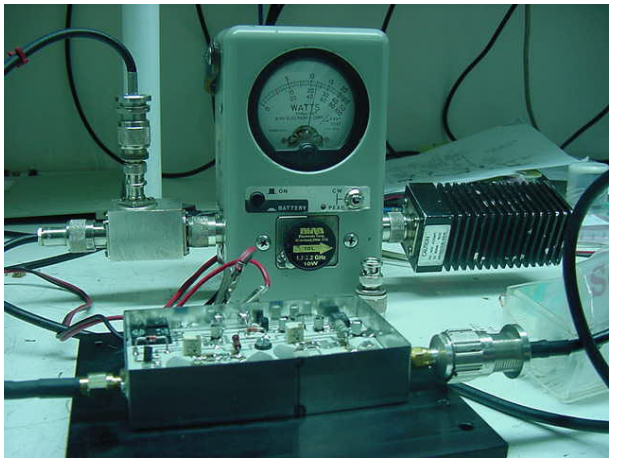
Medidas de potencia

Generador de señales RF



señal de vídeo amplificada (2.38GHz)

Amplificador
en funcionamiento



watímetro con una carga de 50Ω

✓ 4'6W a
2'38GHz

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Conclusiones

- Metas alcanzadas:
  - ✓ Aprendizaje del software de simulación y fabricación
  - ✓ Sonda de alta impedancia y fixtures
  - ✓ Prototipos a 0.9 - 1.5 - 2.4 GHz operativos
  - ✓ Uso de instrumental de medida

- Posibles mejoras:
  - Modelar todos los elementos pasivos para simular y optimizar
  - Perfeccionar líneas de adaptación para compensar las pérdidas de elementos pasivos
  - Prototipos → fabricación en serie

- No queda más que agradecer ampliamente la oportunidad brindada:
  - Al profesorado implicado
  - Por los recursos utilizados (facultad de Ciencias y en ETSIIT)
  - A la empresa granadina FASER Telecomunicaciones.

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Julio Rodrigo Campos

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores