

# *Diseño de un Amplificador de Bajo Ruido (LNA) en Tecnología SiGe 0,35 μm para el estándar inalámbrico IEEE 802.11a*



**Autor:** Jesús Rubén Pulido Medina  
**EUITT Sistemas Electrónicos**  
**ULPGC**

**Tutor:** Francisco Javier del Pino Suárez  
**Cotutor:** Sunil Lalchand Khemchandani  
**Abril de 2004**

*Proyecto Fin de Carrera*

- Estructura del Proyecto

Bloque 1

- Introducción
- Objetivos
- Estándar IEEE 802.11a
- Características de los LNAs
- Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS

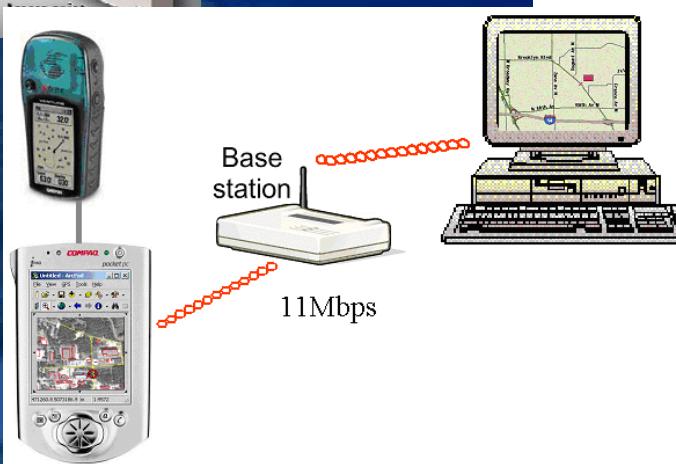
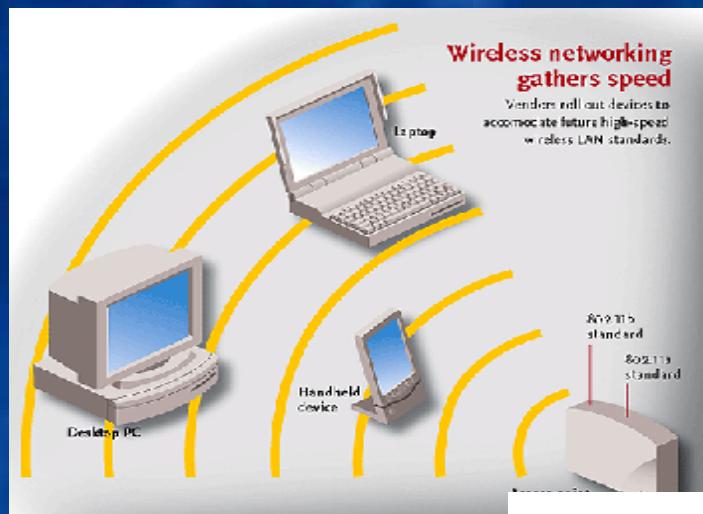
Bloque 2

- Diseño a nivel de esquemático
- Diseño a nivel de layout
- Integración en una cadena de recepción

Bloque 3

- Conclusiones
- Presupuesto

- Introducción



- Estructura del Proyecto

Bloque 1

- Introducción
- Objetivos
- Estándar IEEE 802.11a
- Características de los LNAs
- Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS

Bloque 2

- Diseño a nivel de esquemático
- Diseño a nivel de layout
- Integración en una cadena de recepción

Bloque 3

- Conclusiones
- Presupuesto

- **Objetivos**

- Diseño de un LNA con tecnología SiGe 0,35  $\mu\text{m}$  para el estándar inalámbrico IEEE 802.11a.
- Integración de dicho amplificador en un receptor de conversión directa.
- Verificación de la validez de la tecnología empleada en la implementación de un LNA para dicho estándar.

- Estructura del Proyecto

Bloque 1

- Introducción
- Objetivos
- Estándar IEEE 802.11a
- Características de los LNAs
- Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS

Bloque 2

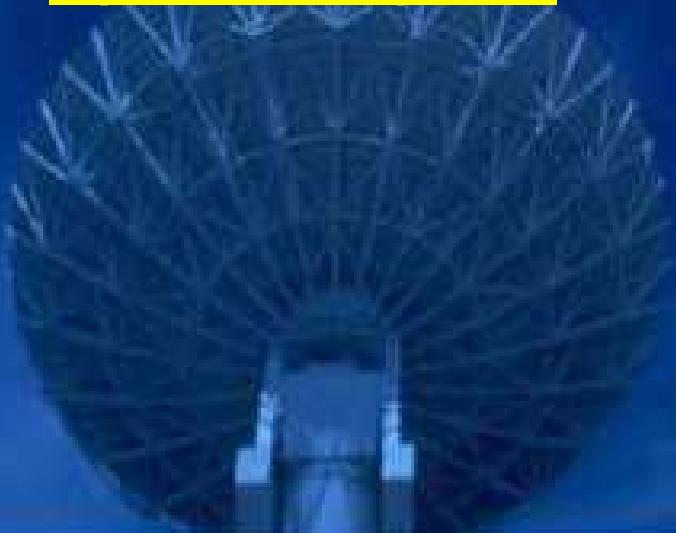
- Diseño a nivel de esquemático
- Diseño a nivel de layout
- Integración en una cadena de recepción

Bloque 3

- Conclusiones
- Presupuesto

- **Estándar IEEE 802.11a**

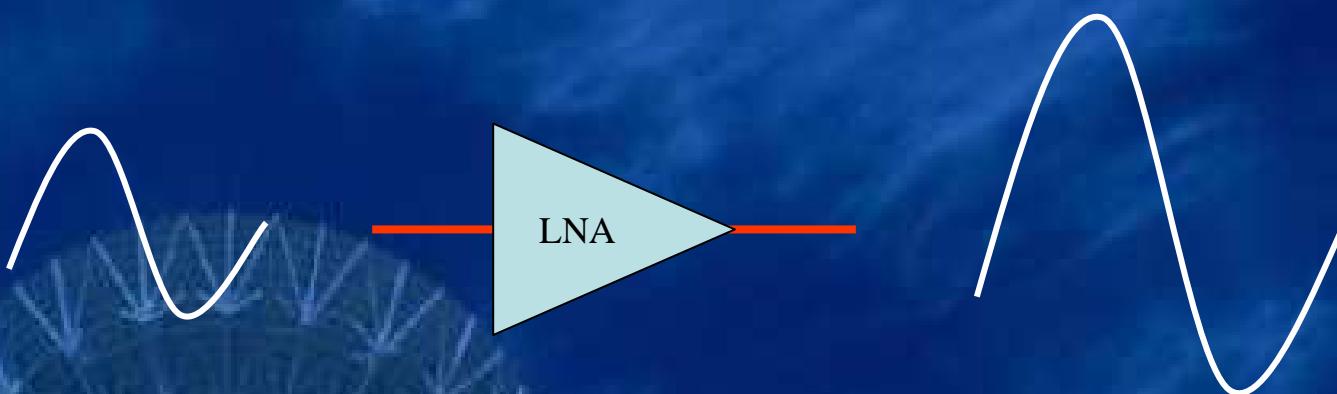
- **Características de los sistemas de radiofrecuencia (RF)**
- **Características del estándar IEEE 802.11a**
- **Tipos de receptores**



- Características de los sistemas de RF
  - Ganancia
  - Figura de ruido (NF)
  - Punto de intercepción de Tercer Orden (IP3)
  - Coeficiente de onda estacionario (VSWR)

- Ganancia

Relación entre las amplitudes de las señales de entrada y salida de un circuito



$$G = \frac{V_{salida}}{V_{entrada}}$$

$$G(dB) = 20 \log \left( \frac{V_{salida}}{V_{entrada}} \right)$$

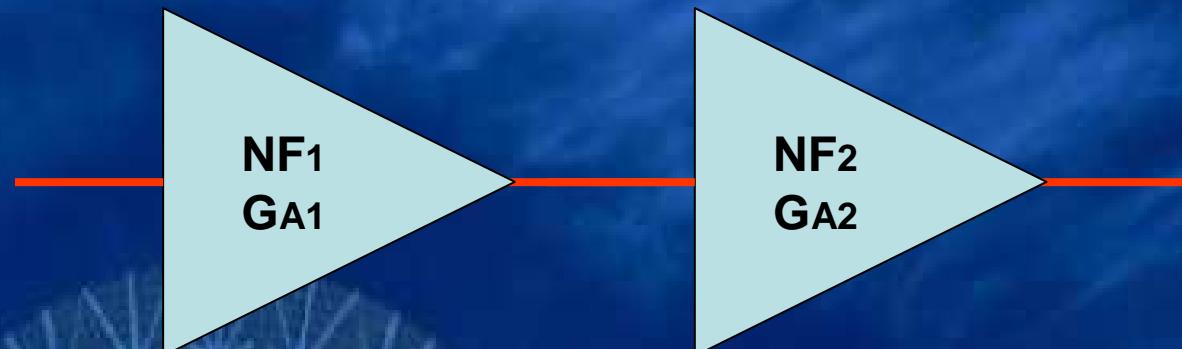
- Figura de ruido



$$NF = \frac{P_{N0}}{P_{Ni} \cdot G_A}$$

$$NF = \frac{P_{S_i} / P_{N_i}}{P_{S_0} / P_{N_0}} = \frac{SNR_i}{SNR_0}$$

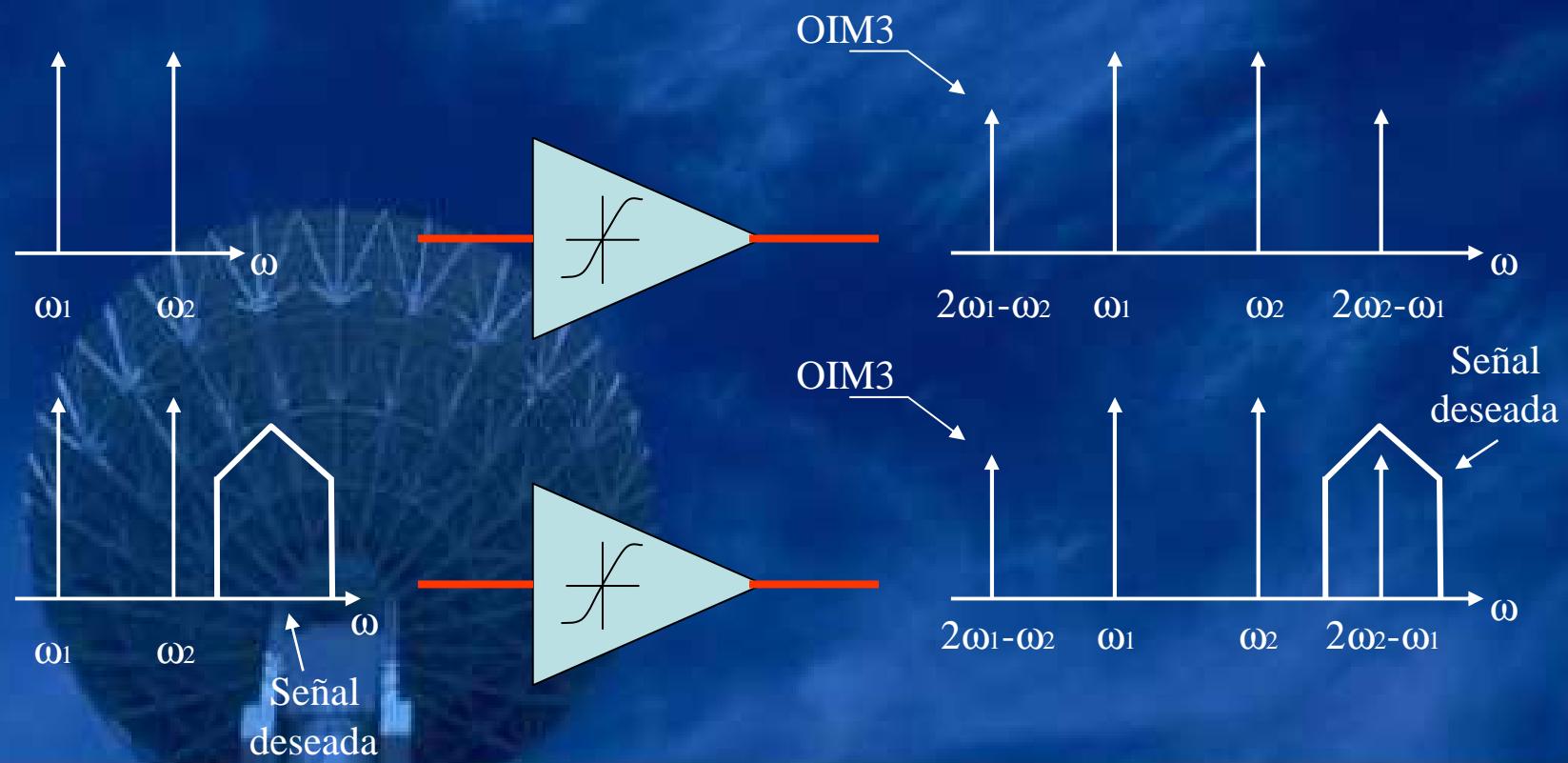
Para dos etapas en cascada:

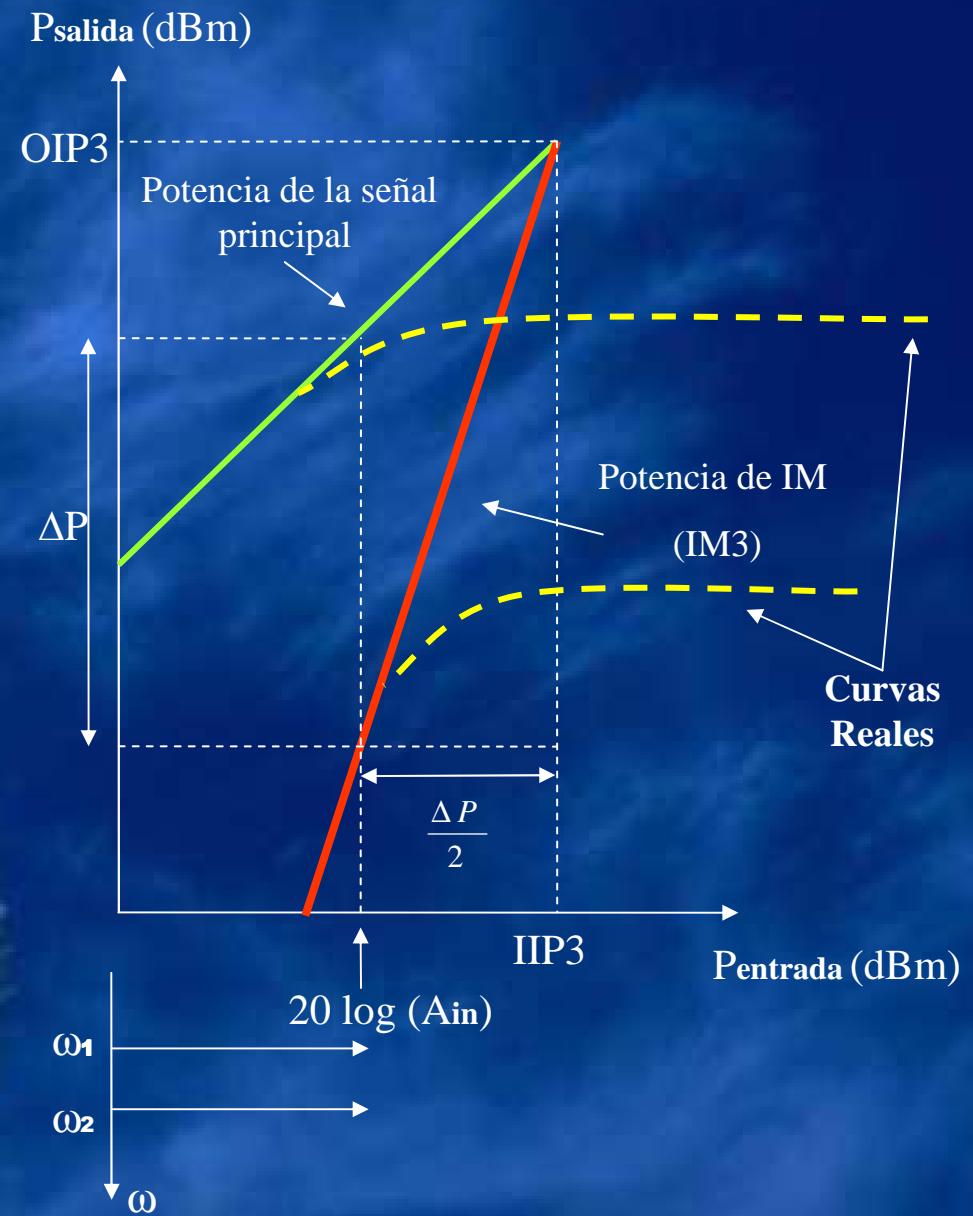
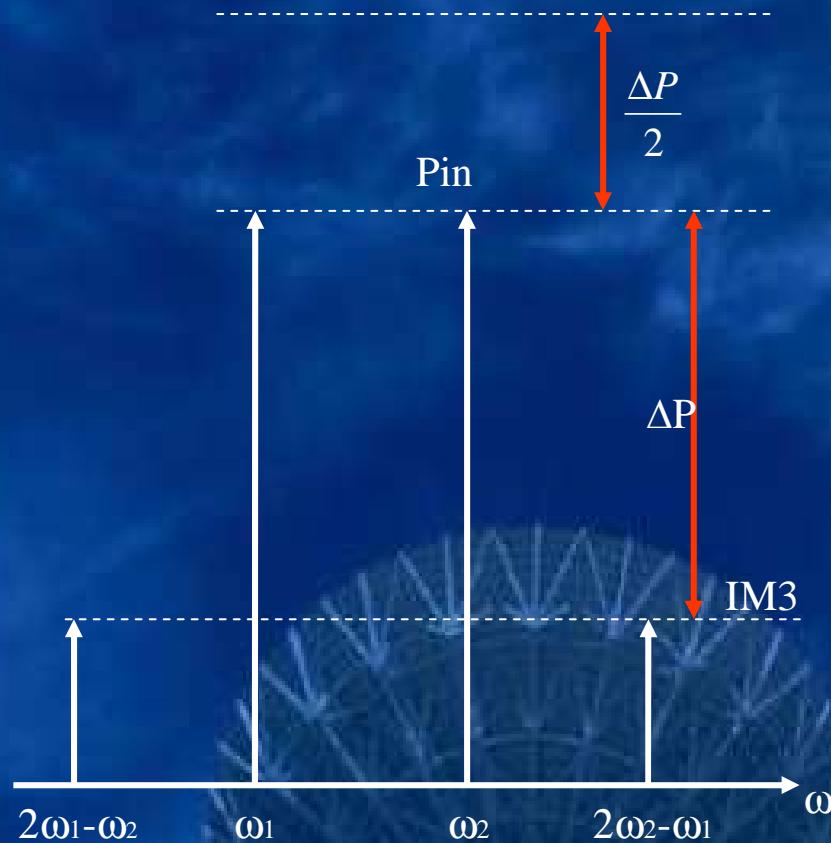


$$NF = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_{A1}}$$

- **Punto de intercepción de Tercer Orden (IP3)**

Nos informa acerca de la linealidad de un circuito





- **Coeficiente de onda estacionario (VSWR)**

Medida cuantitativa de la adaptación del circuito a la entrada (VSWR1) o a la salida (VSWR2).

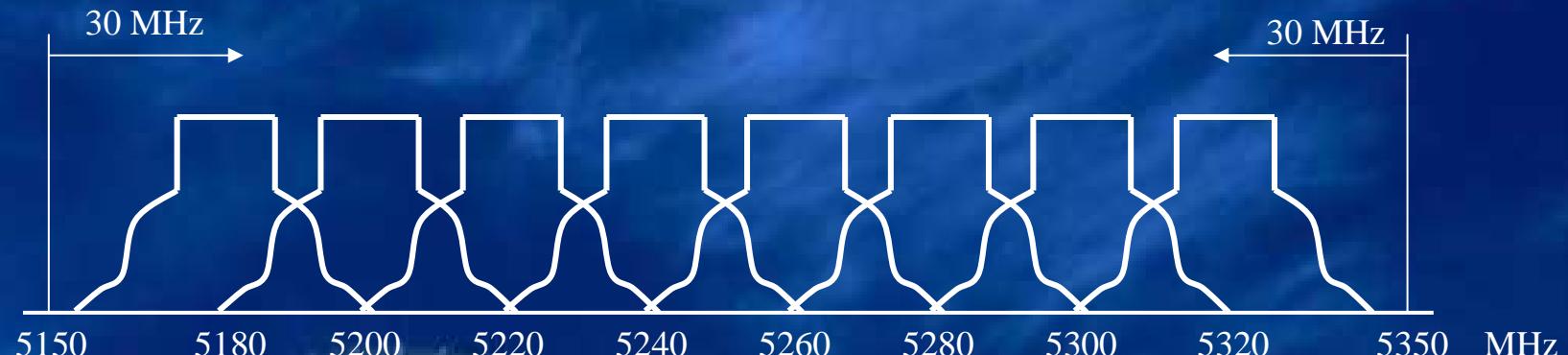
$$|\Gamma_L| = \frac{\text{Onda\_incidente}}{\text{Onda\_reflejada}} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$

- Estándar IEEE 802.11a
  - Características de los sistemas de radiofrecuencia (RF)
  - Características del estándar IEEE 802.11a
  - Tipos de receptores

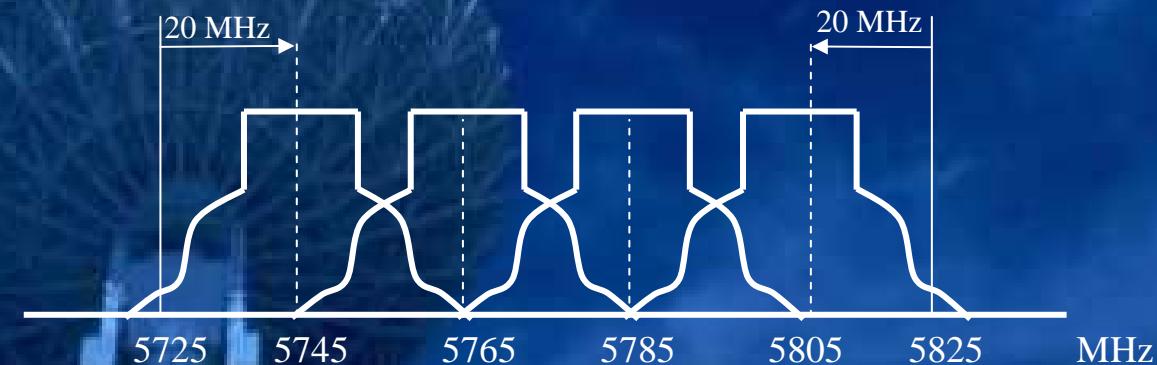


- Características del estándar IEEE 802.11a

Bandas U-NII Inferior y Media :8 canales en 200 MHz con un espaciado de 20 MHz



Banda U-NII Superior: 4 canales en 100 MHz con un espaciado de 20 MHz



## Sensibilidad de entrada

Tasa de bits (Mbits/s)	Sensibilidad mínima (dBm)	Rechazo de canales adyacentes (dB)	Rechazo alternativo de canales adyacentes (dB)
6	-82	16	32
9	-81	15	31
12	-79	13	29
18	-77	11	27
24	-74	8	24
36	-70	4	20
48	-66	0	16
54	-65	-1	15

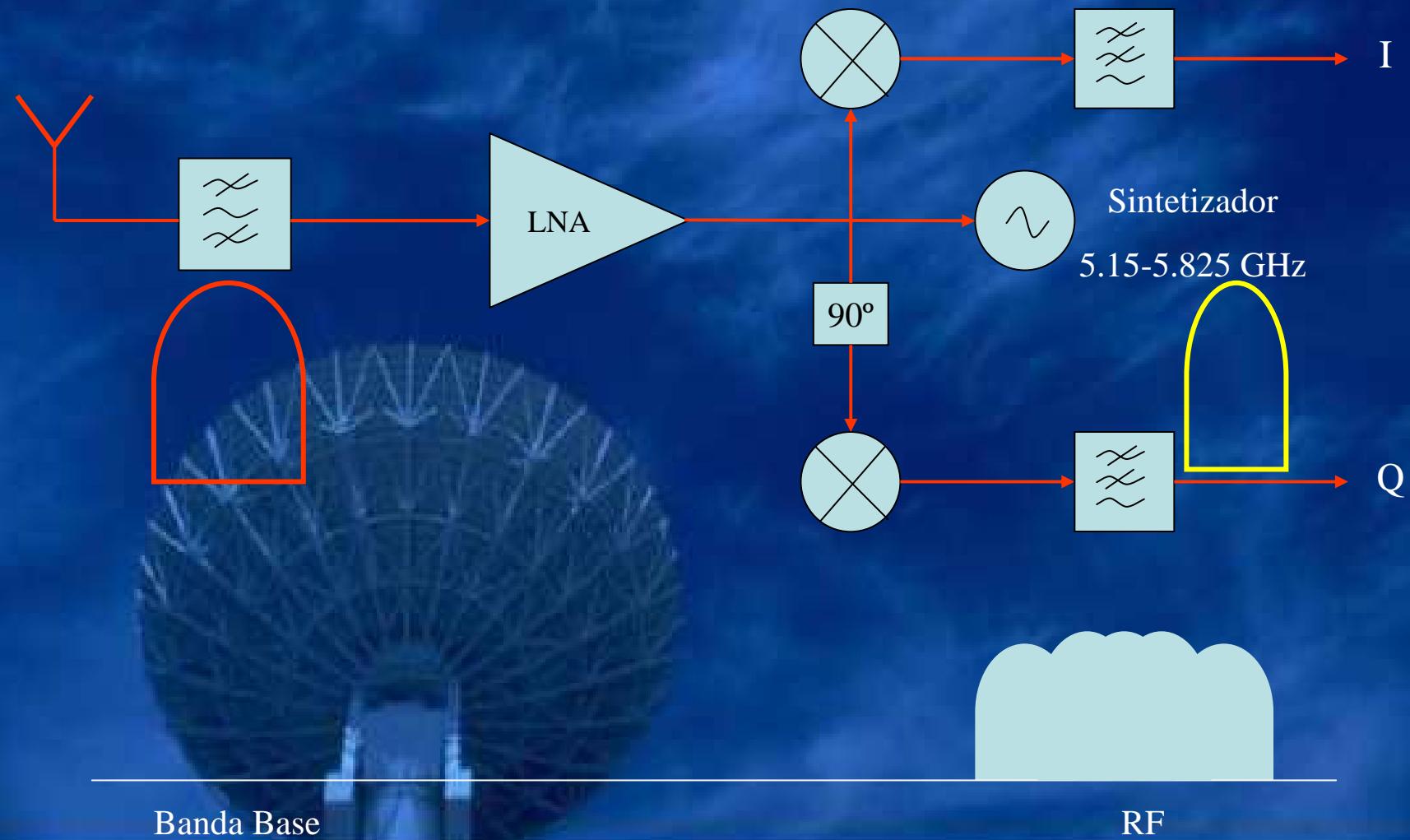
- Estándar IEEE 802.11a
  - Características de los sistemas de radiofrecuencia (RF)
  - Características del estándar IEEE 802.11a
  - Tipos de receptores



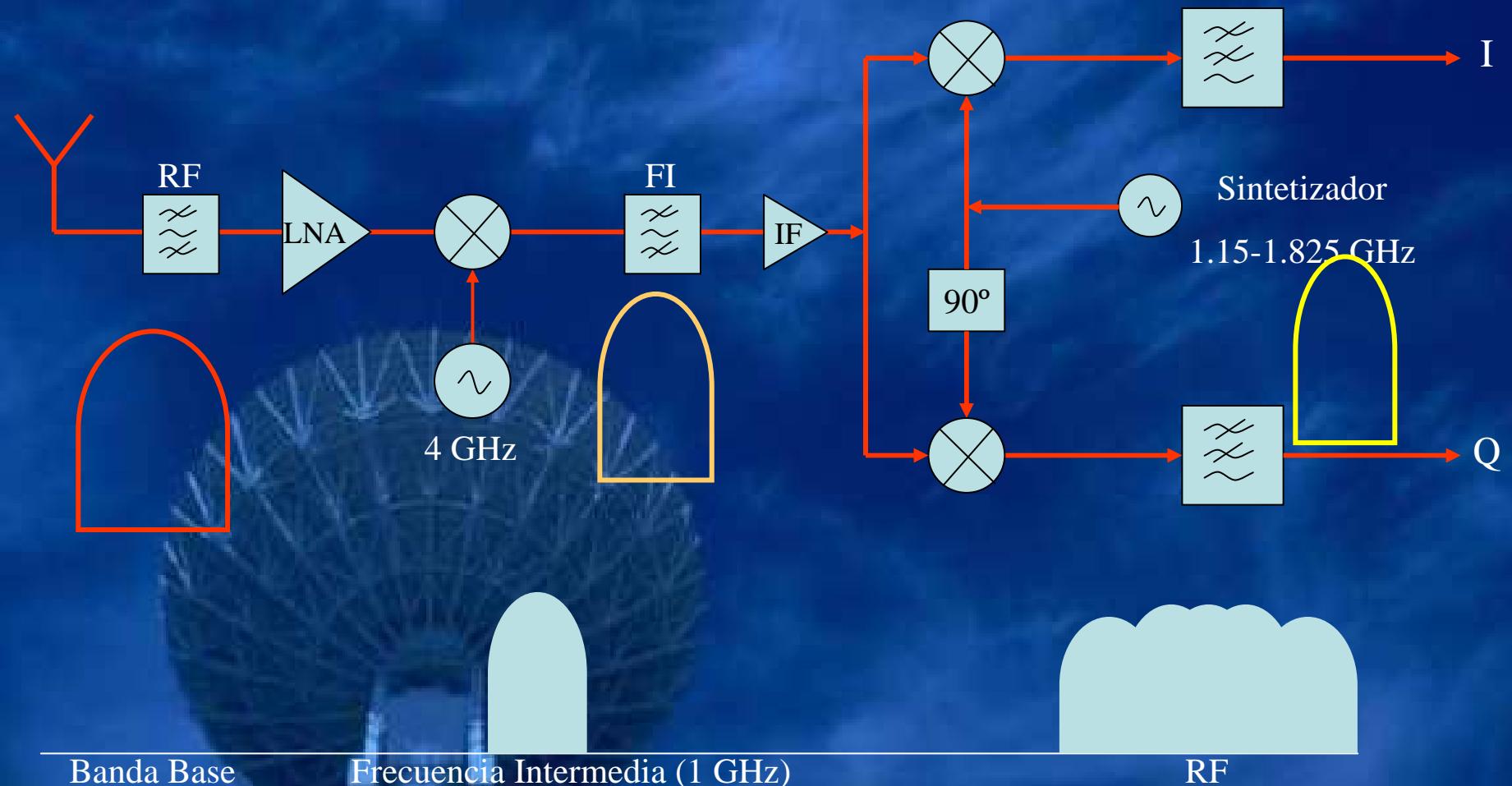
- **Tipos de receptores**

- Receptor de conversión directa
- Receptor de doble conversión
- Receptor de arquitectura *Weaver* modificada

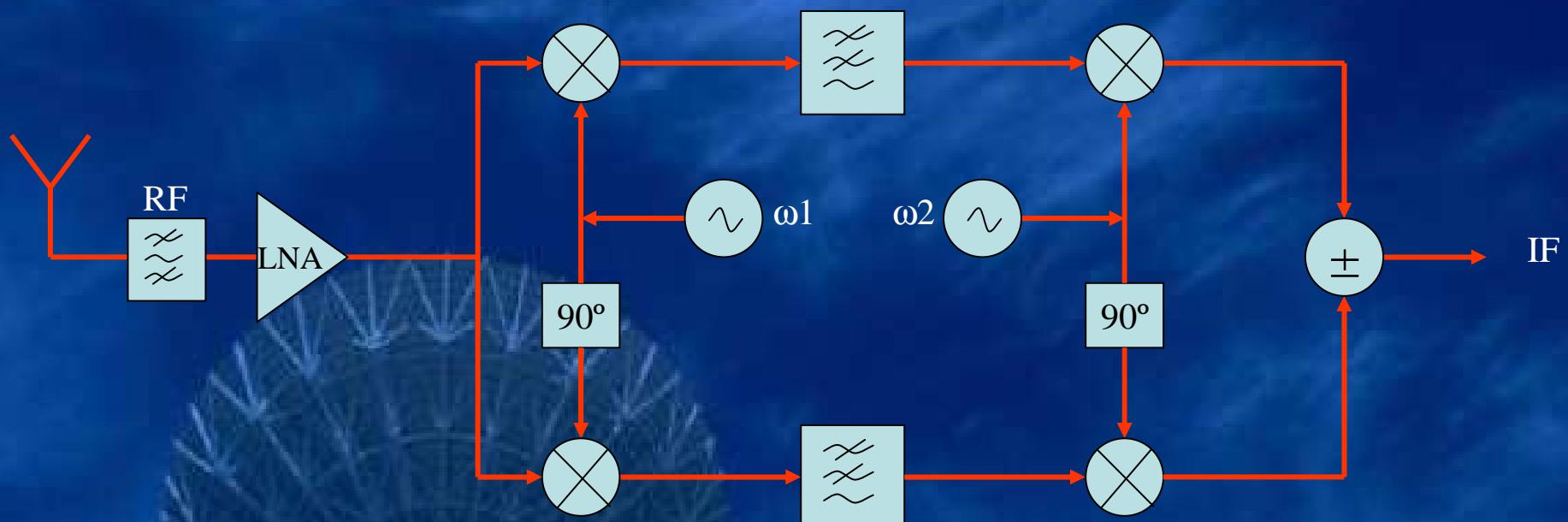
- Receptor de conversión directa



- **Receptor de doble conversión**



- **Receptor de arquitectura Weaver modificada**



- Estructura del Proyecto

Bloque 1

- Introducción
- Objetivos
- Estándar IEEE 802.11a
- Características de los LNAs
- Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS

Bloque 2

- Diseño a nivel de esquemático
- Diseño a nivel de layout
- Integración en una cadena de recepción

Bloque 3

- Conclusiones
- Presupuesto

- **Características de los LNAs**
  - Especificaciones
  - Topologías de LNAs más comunes

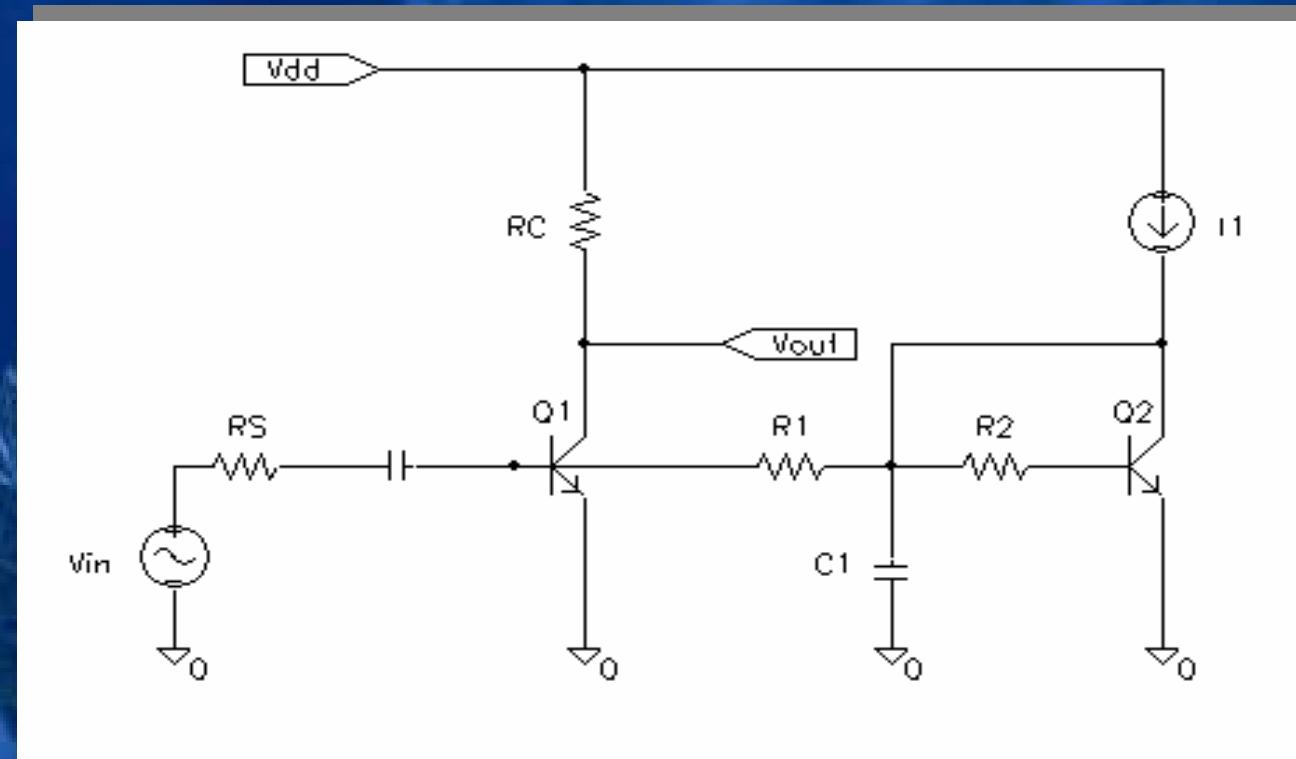


- Especificaciones

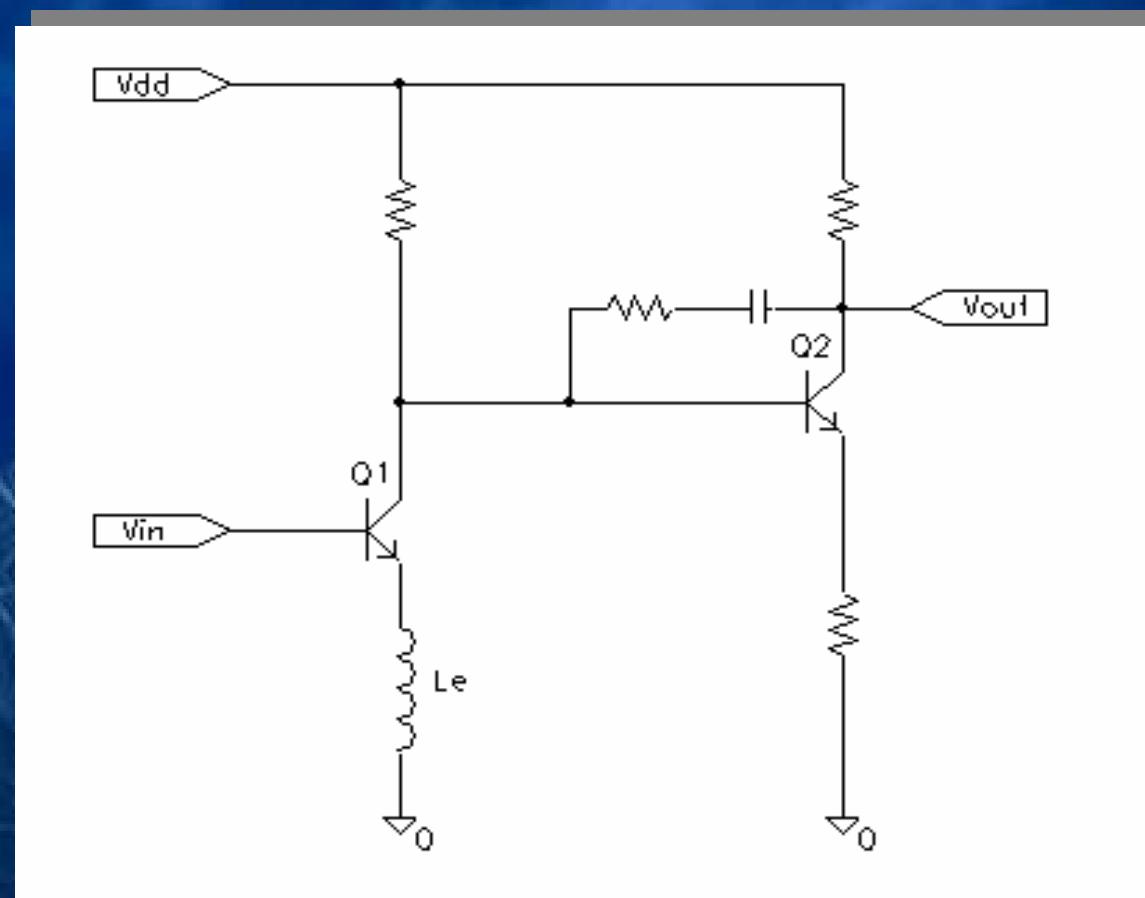
NF	4.5 dB
IIP3	-10 dBm
Ganancia	9 dB
Impedancia de entrada	50 Ω
Impedancia de salida	50 Ω
Aislamiento inverso	20 dB
Factor de estabilidad	>1

- Topologías de LNAs más comunes

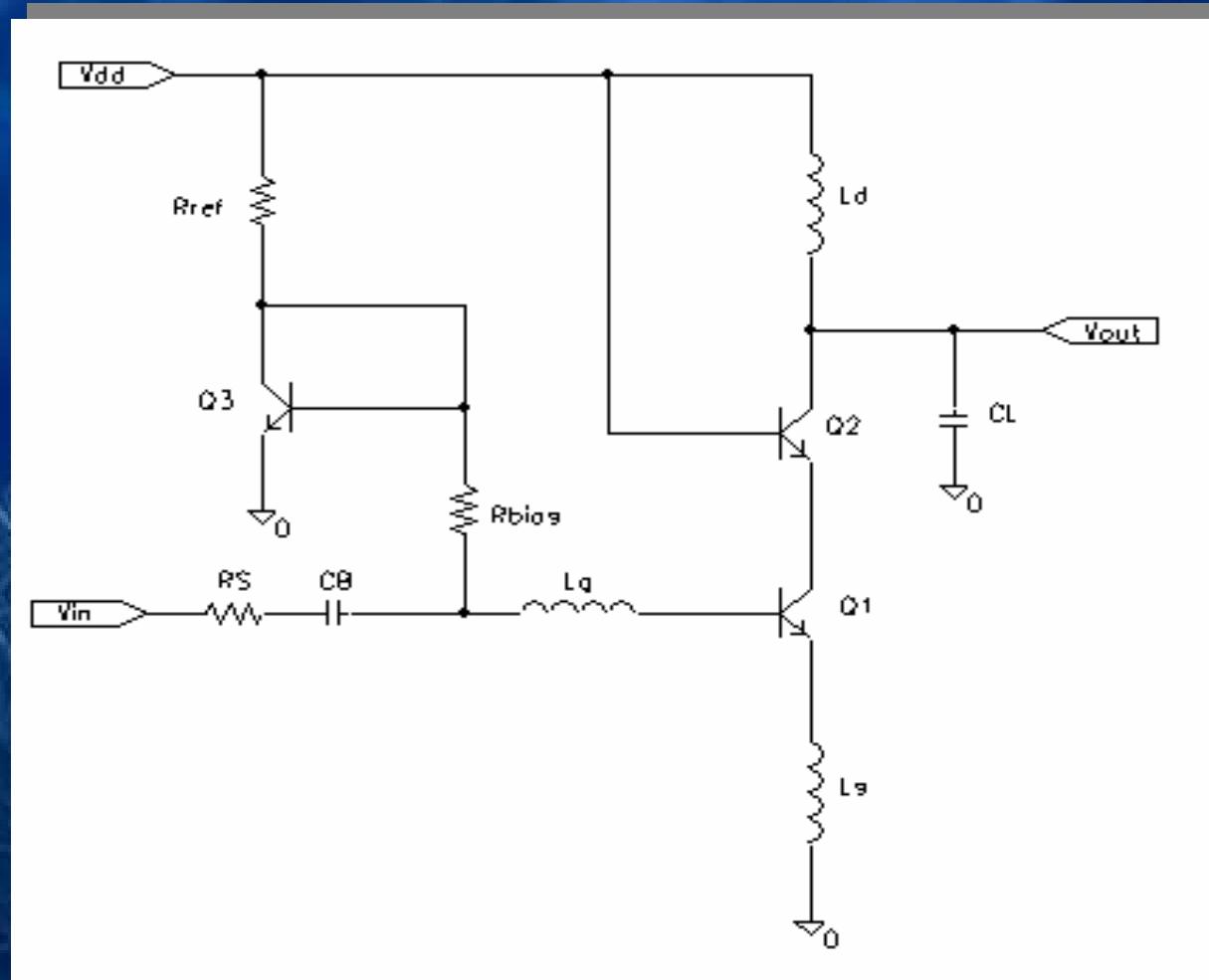
## 1) Configuración emisor-común



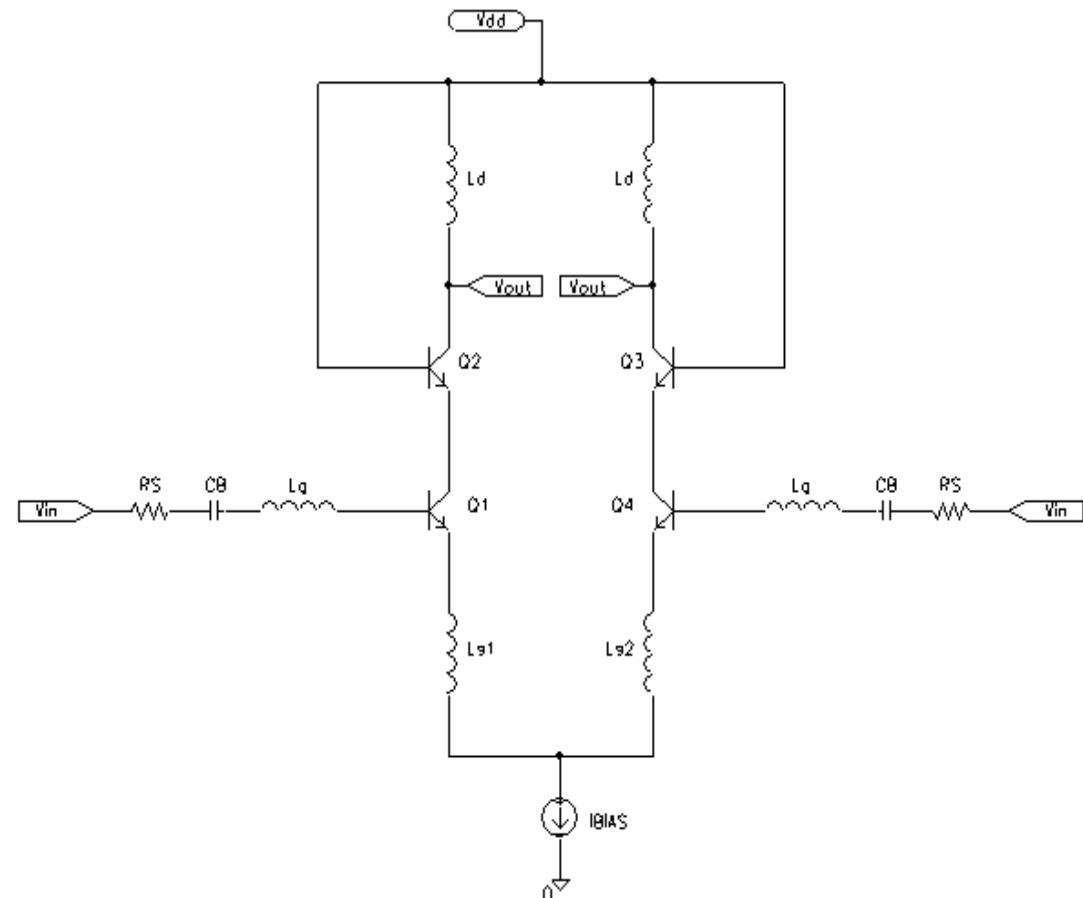
## 2) LNA de dos etapas



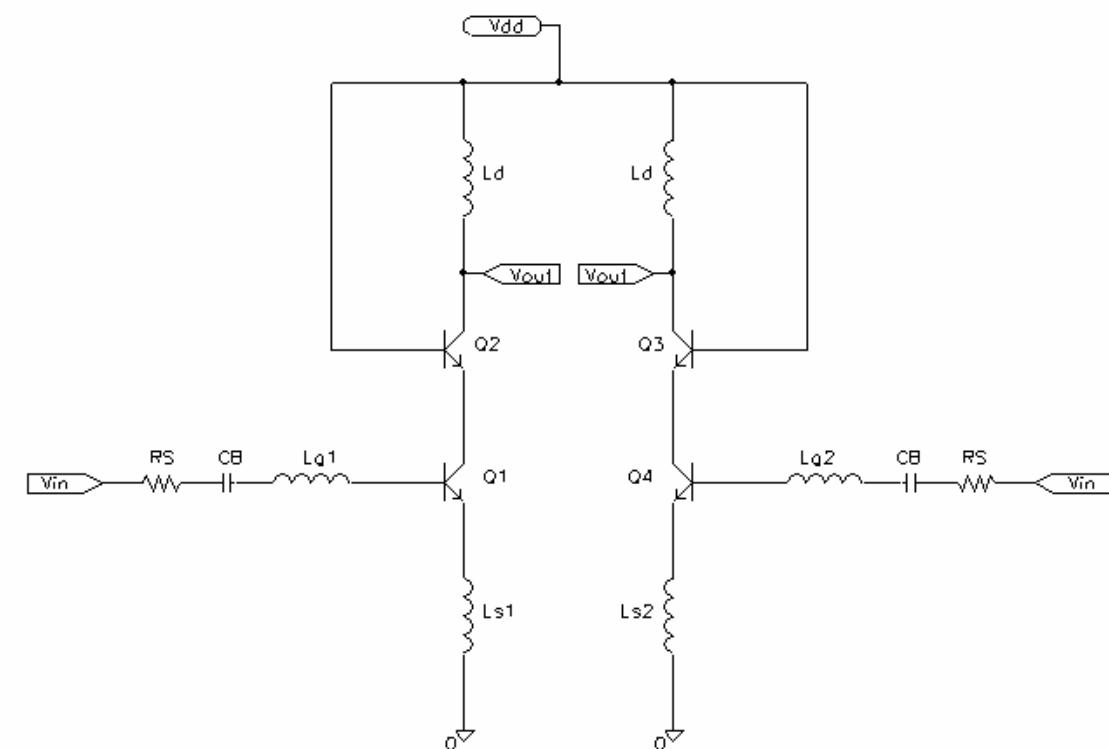
### 3) LNA cascodo (*Single-Ended*)



## 4) LNA diferencial



## 2) LNA Balanceado (Balanced)



- Estructura del Proyecto

Bloque 1

- Introducción
- Objetivos
- Estándar IEEE 802.11a
- Características de los LNAs
- Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS

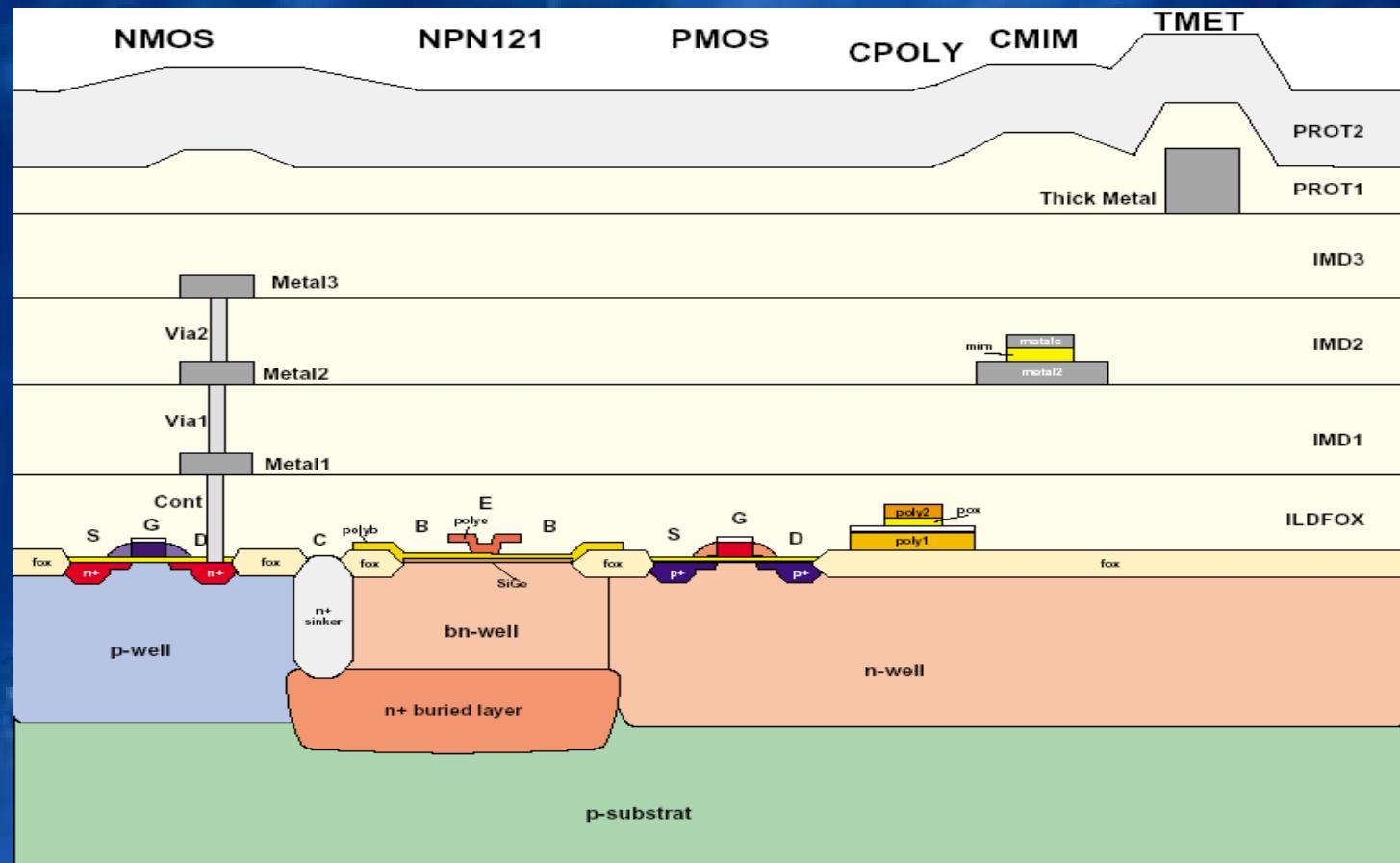
Bloque 2

- Diseño a nivel de esquemático
- Diseño a nivel de layout
- Integración en una cadena de recepción

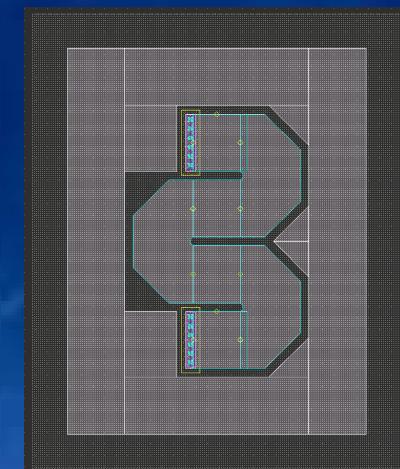
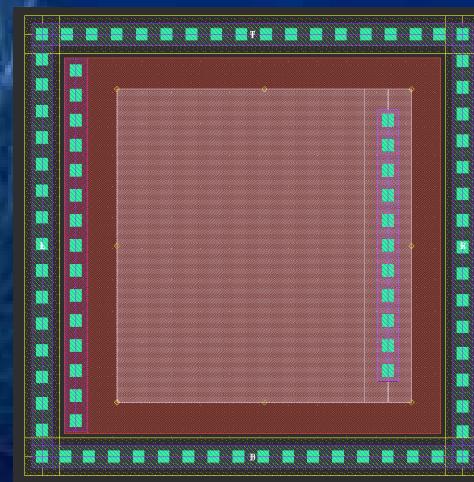
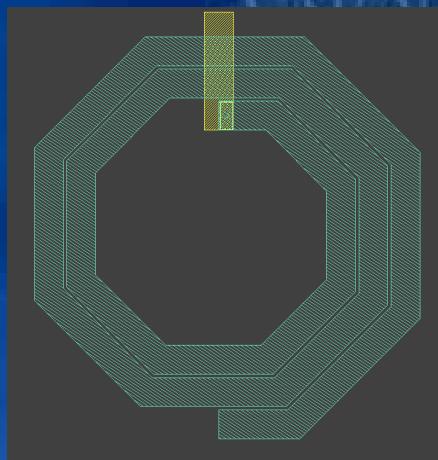
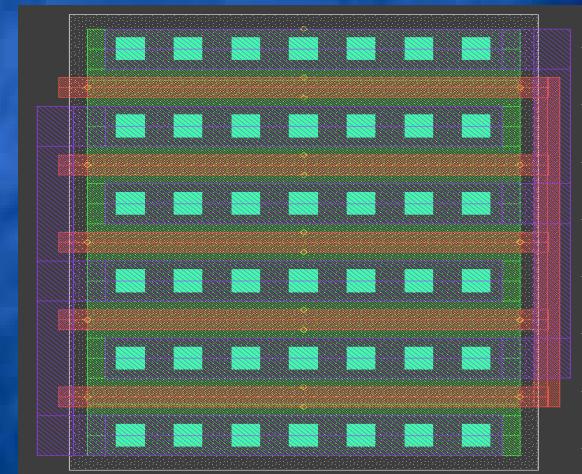
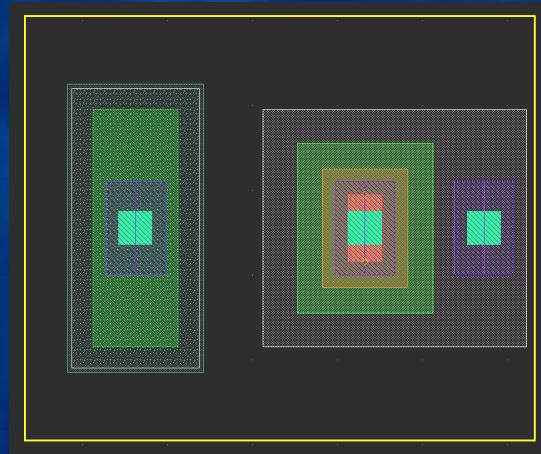
Bloque 3

- Conclusiones
- Presupuesto

- Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS



- Componentes activos y pasivos



- Estructura del Proyecto

Bloque 1

- Introducción
- Objetivos
- Estándar IEEE 802.11a
- Características de los LNAs
- Tecnología SiGe 0,35 mm de AMS

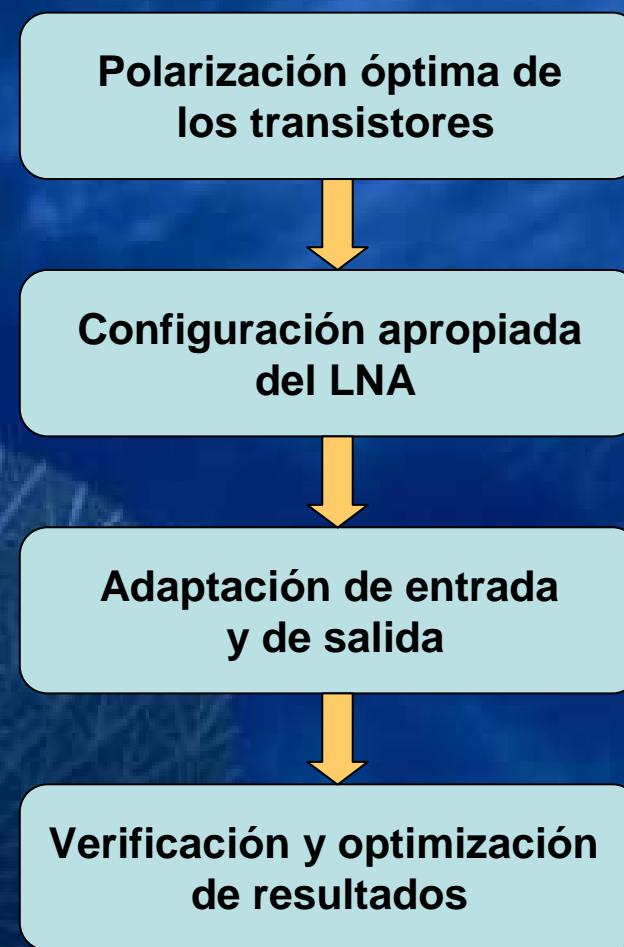
Bloque 2

- Diseño a nivel de esquemático
- Diseño a nivel de layout
- Integración en una cadena de recepción

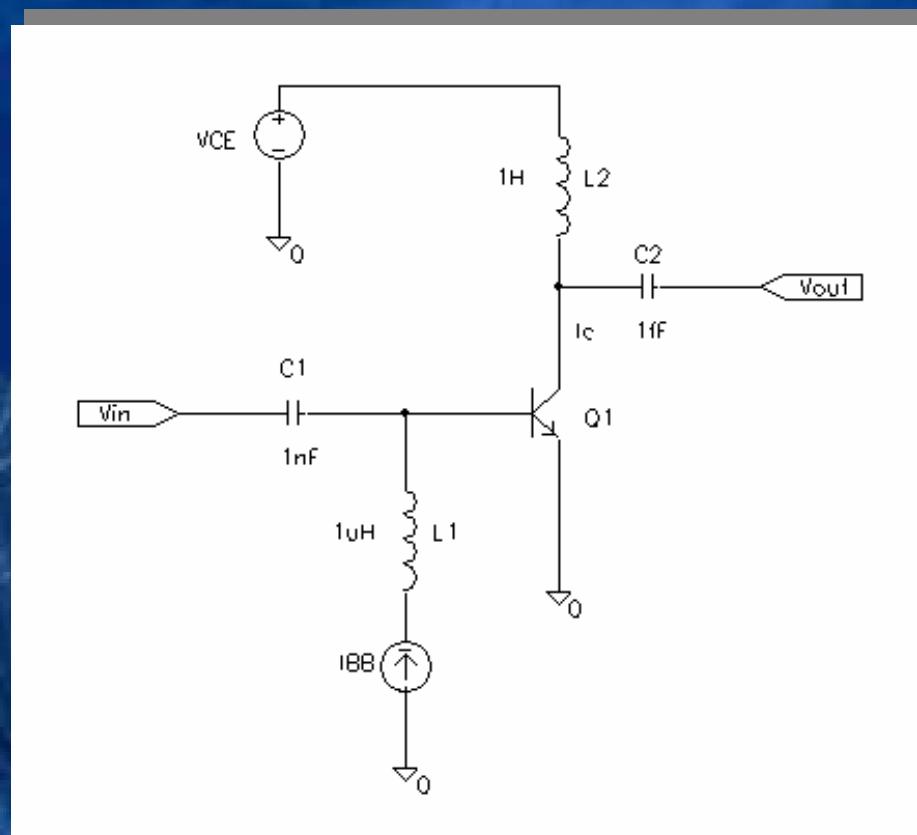
Bloque 3

- Conclusiones
- Presupuesto

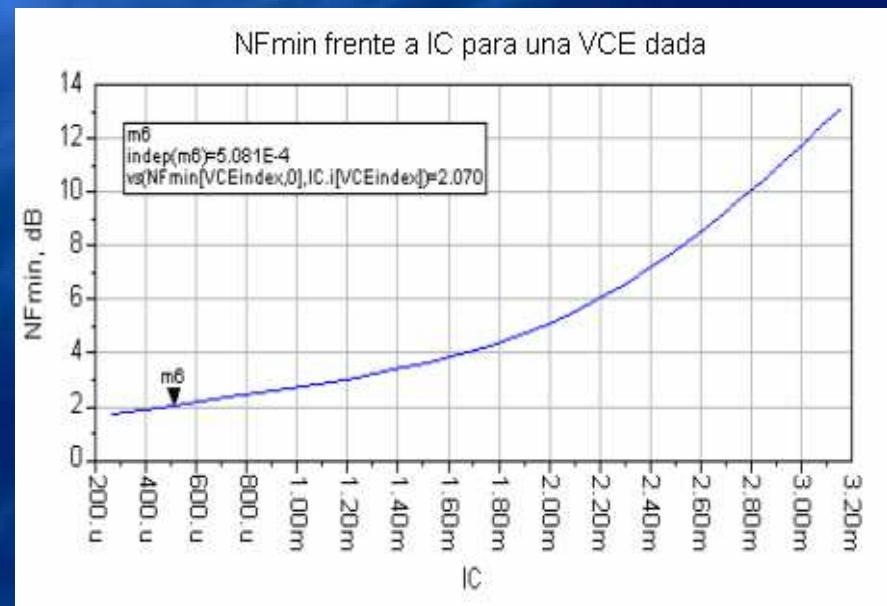
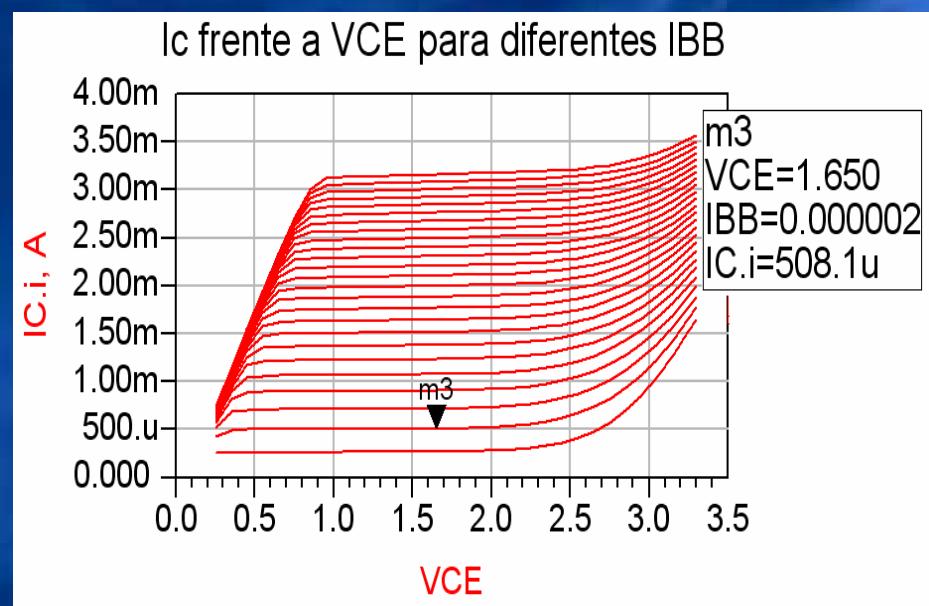
- **Diseño a nivel de esquemático**



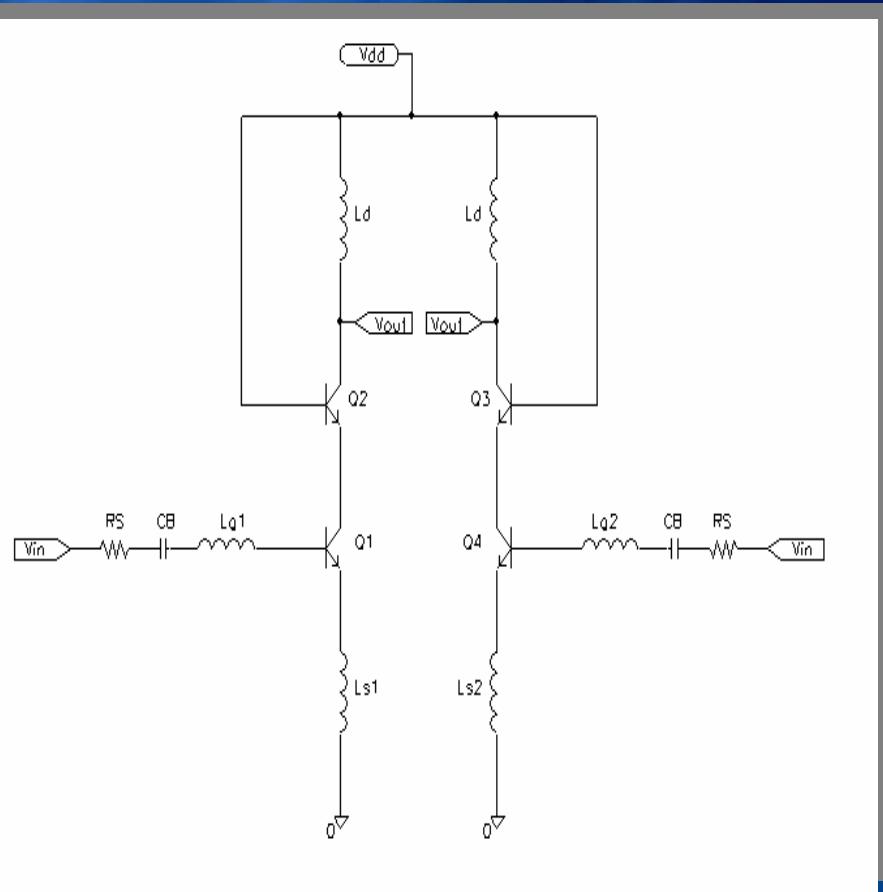
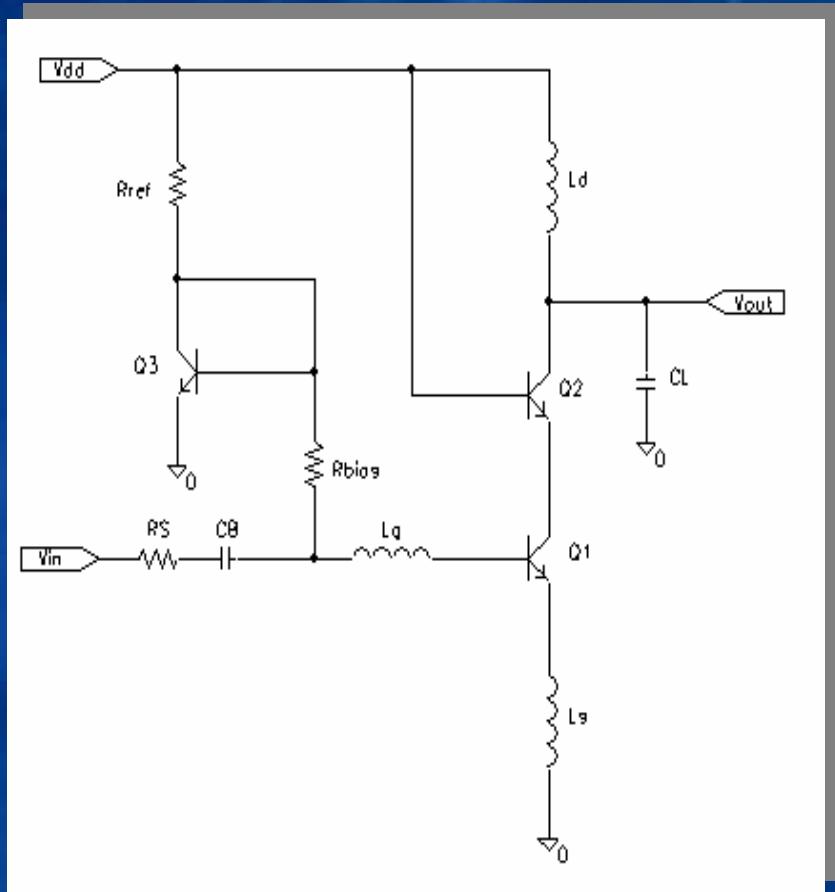
- Polarización óptima de los transistores



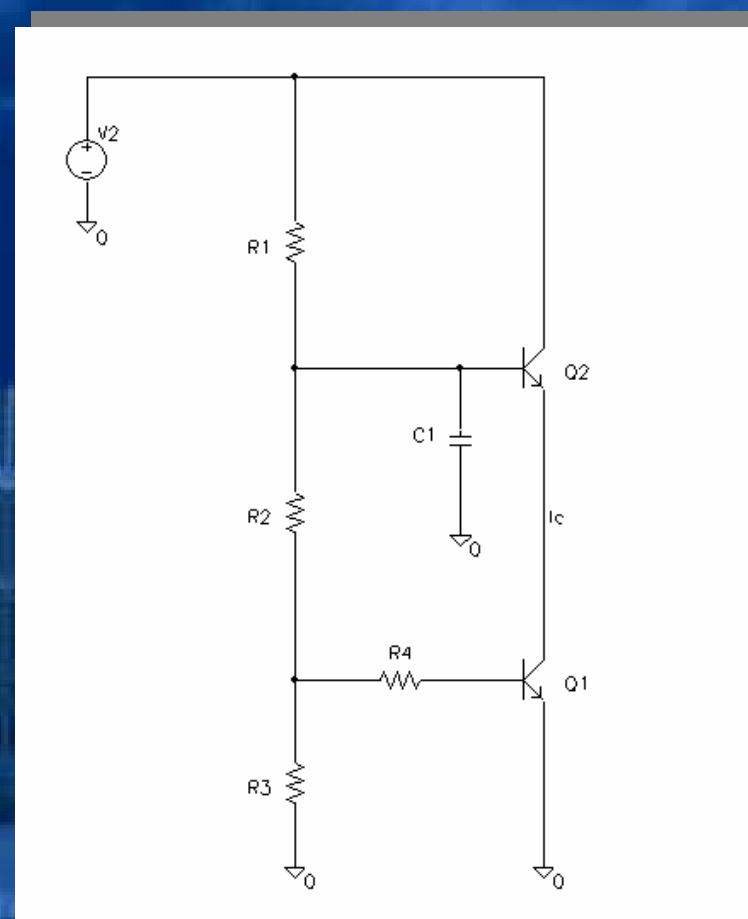
## - Simulaciones



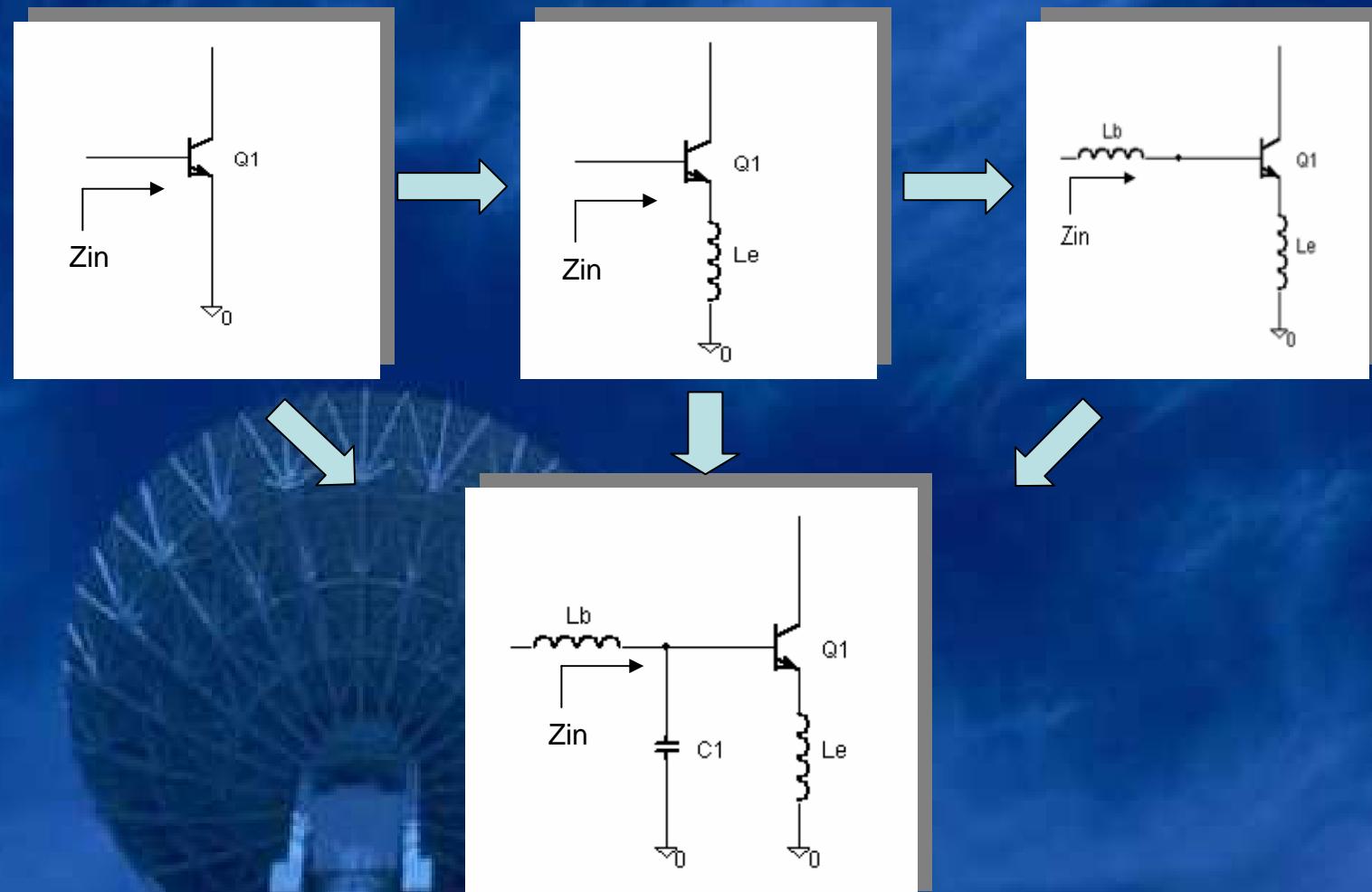
- Configuración apropiada del LNA



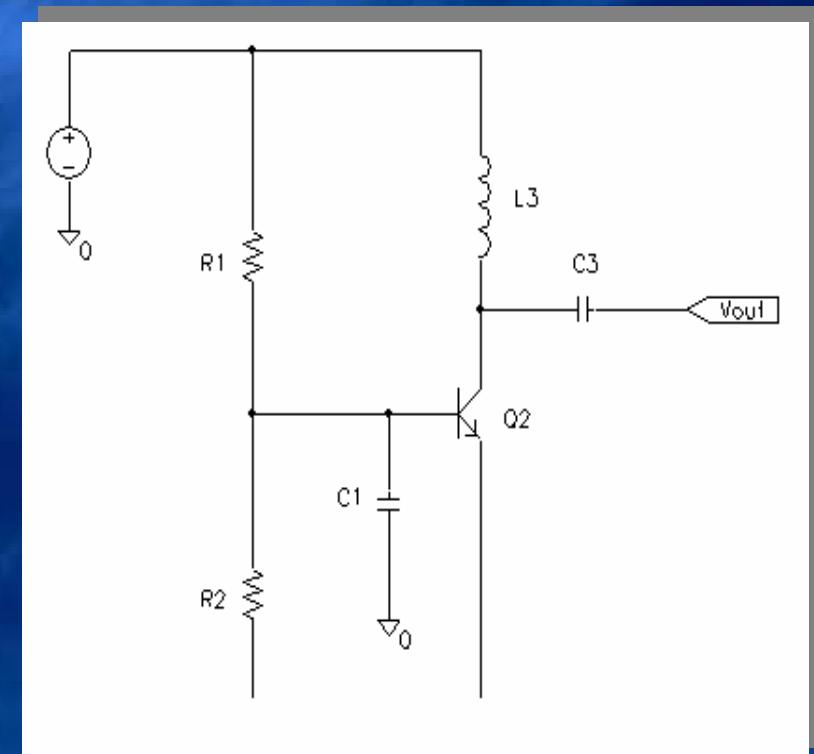
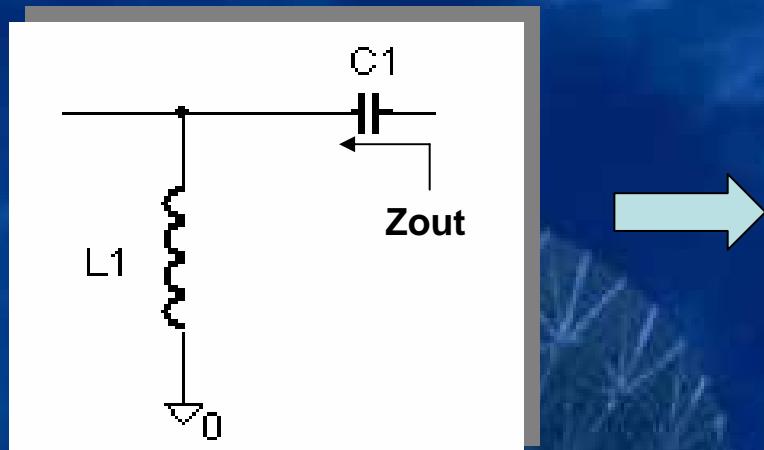
- Etapas de polarización



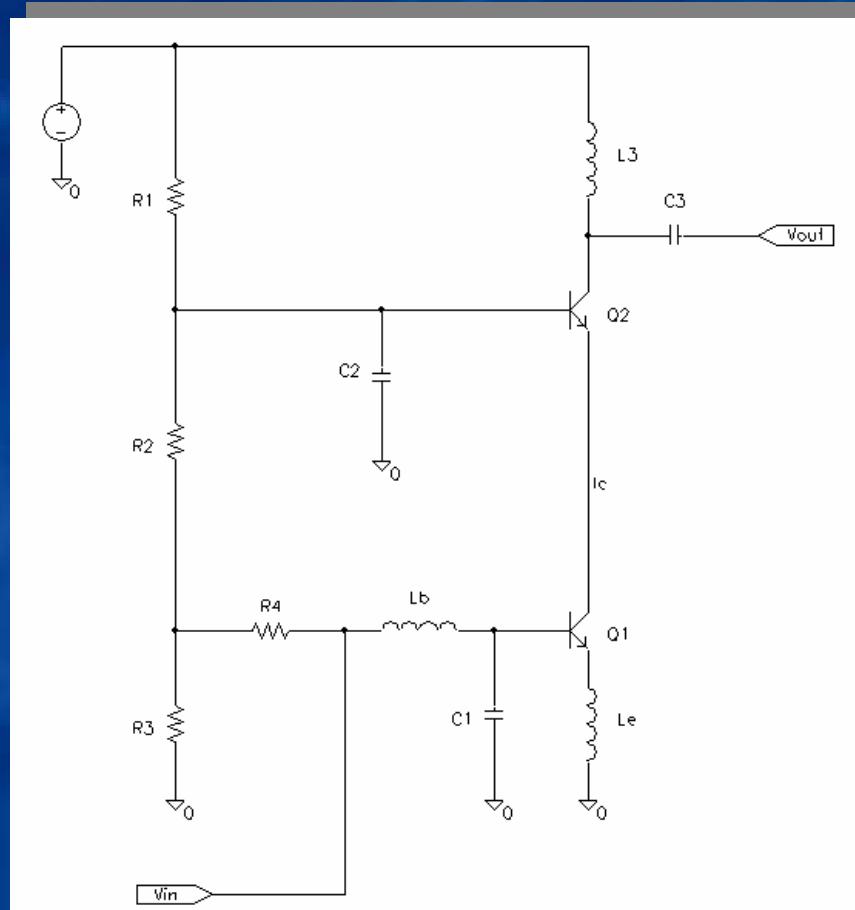
- Adaptación de entrada



- Adaptación de salida



- Circuito asimétrico final



**R1=9.2 KOhms.**

**R2=20.2 KOhms.**

**R3=20.2 KOhms.**

**R4=50 KOhms.**

**C1=227 fF.**

**C2=1 pF.**

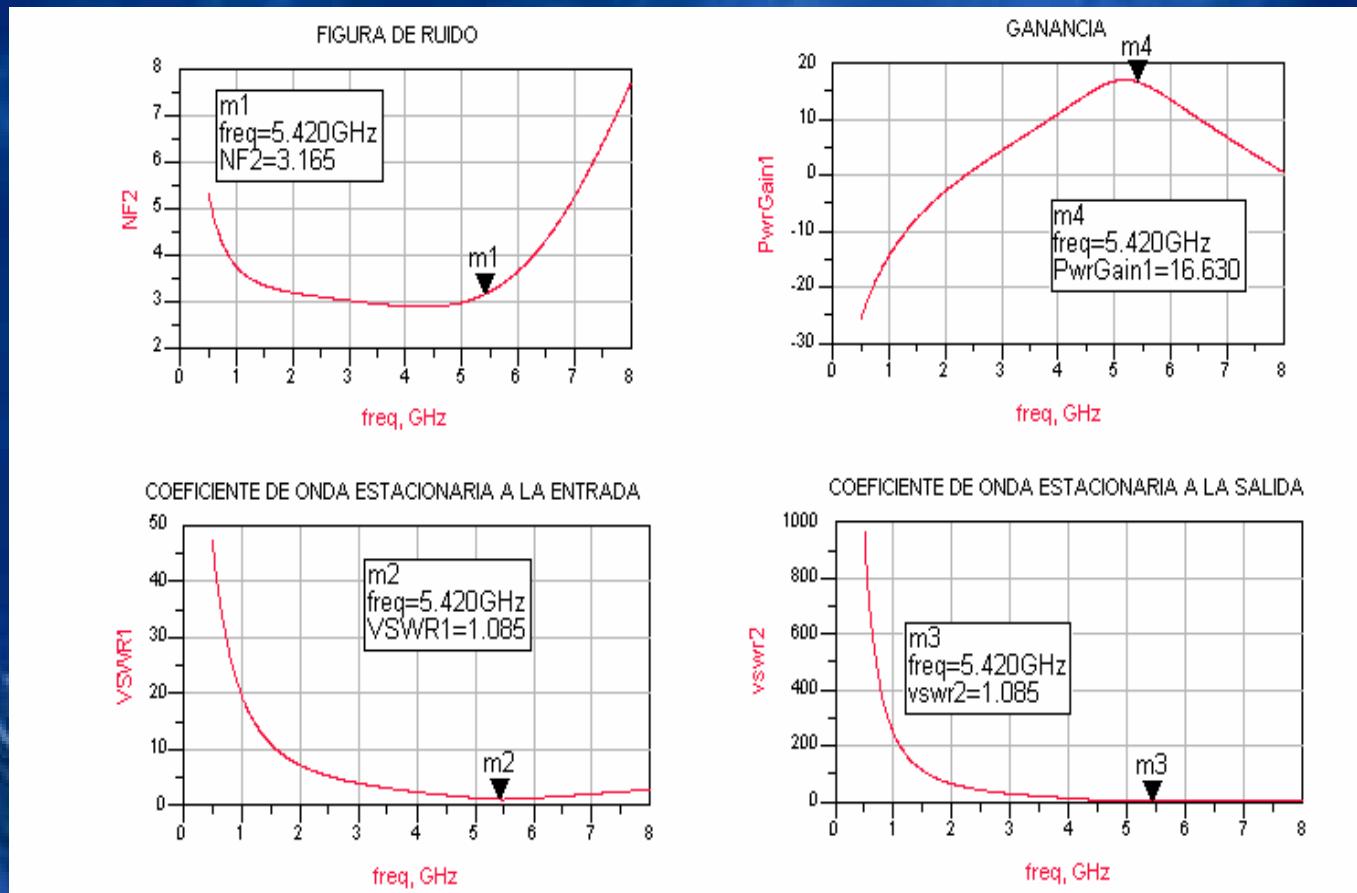
**C3=160 fF.**

**Lb→ Inductancia = 3nH; Factor de calidad (Q)=9.6**

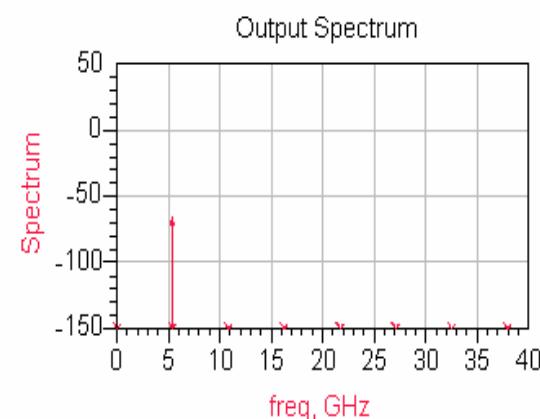
**Le→ Inductancia = 0.6nH; Factor de calidad (Q)=13.6**

**L3→ Inductancia = 5nH; Factor de calidad (Q)=7.6**

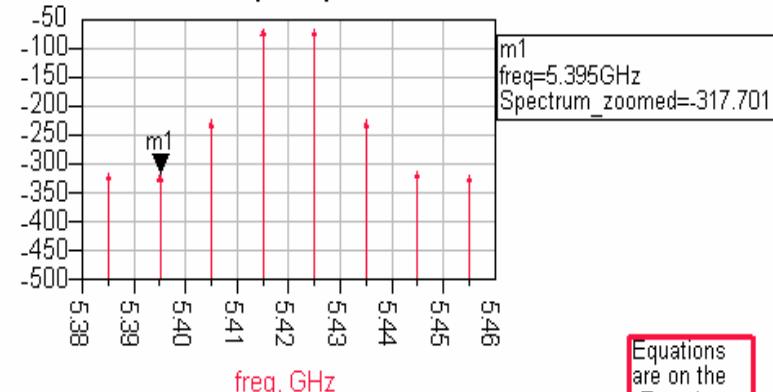
## • Resultados



- Resultados (Cont.)**



Zoomed Output Spectrum, dBm



Equations  
are on the  
"Equations"  
page.

Fundamental Frequencies	Available Source Power Both Tones, dBm	Fundamental Output Power, Both Tones, dBm	Transducer Power Gain
5.415000G 5.425000G	-80.00	-63.287	16.713

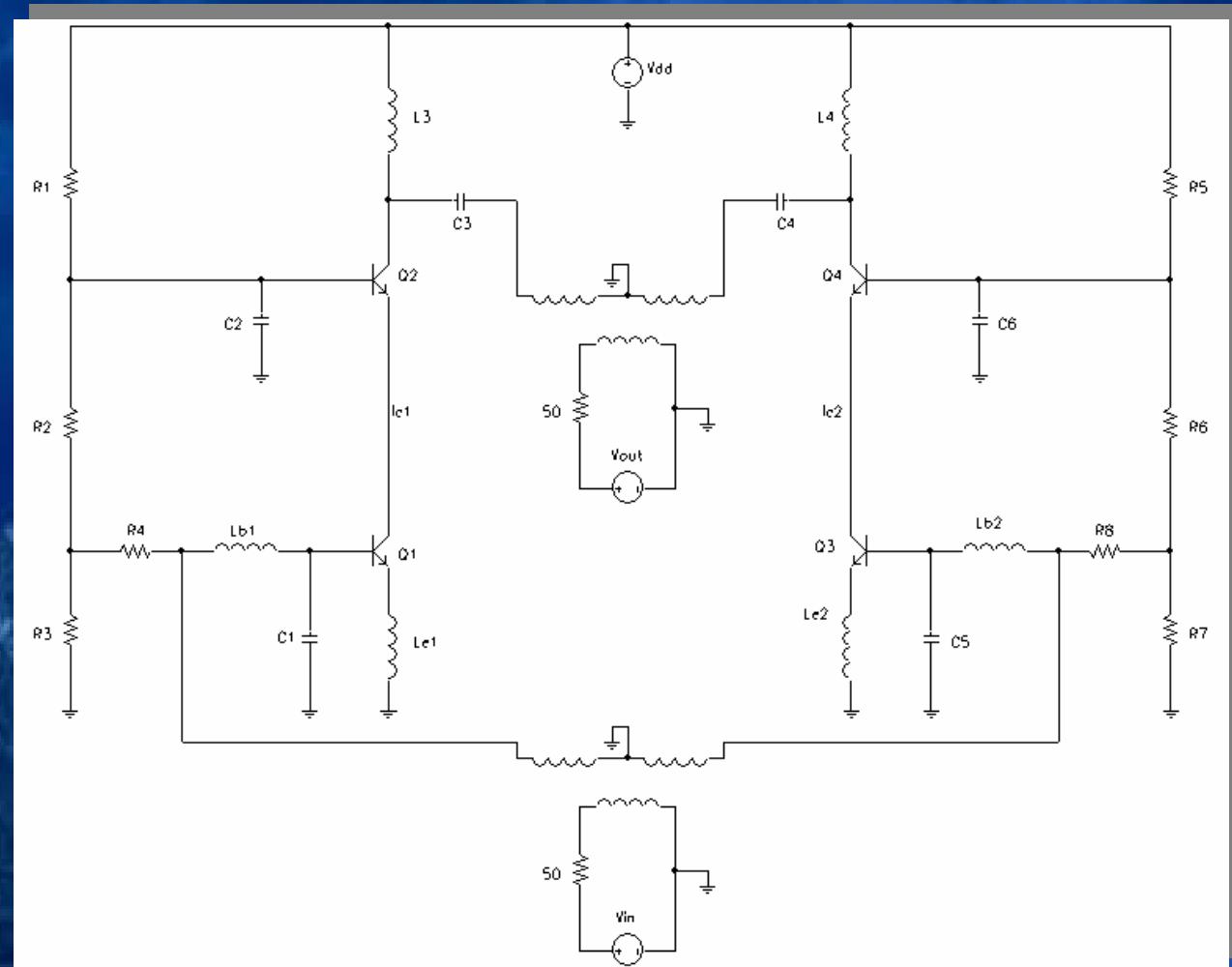
Low and High Side Output TOI Points, dBm

12.883	12.832
--------	--------

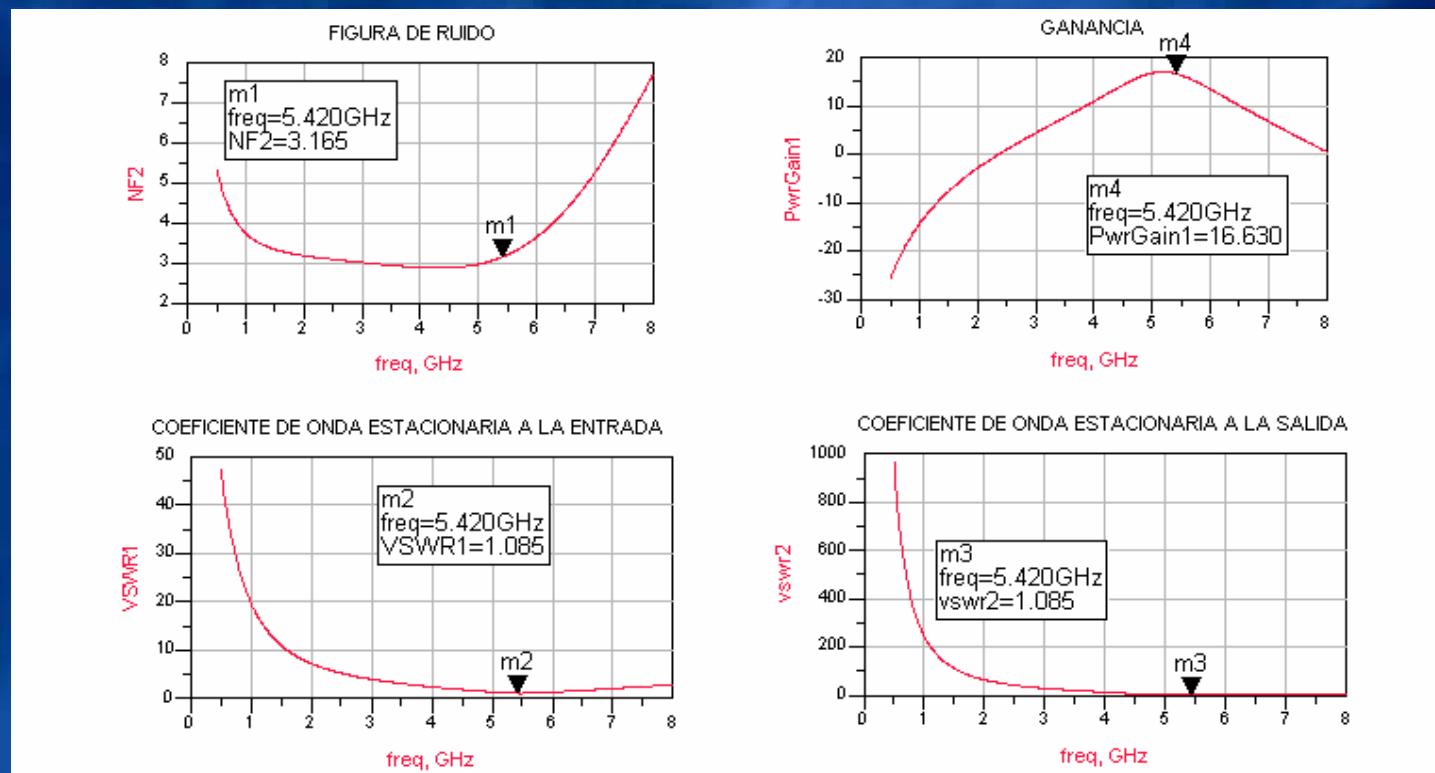
Low and High Side Input TOI Points, dBm

-3.830	-3.880
--------	--------

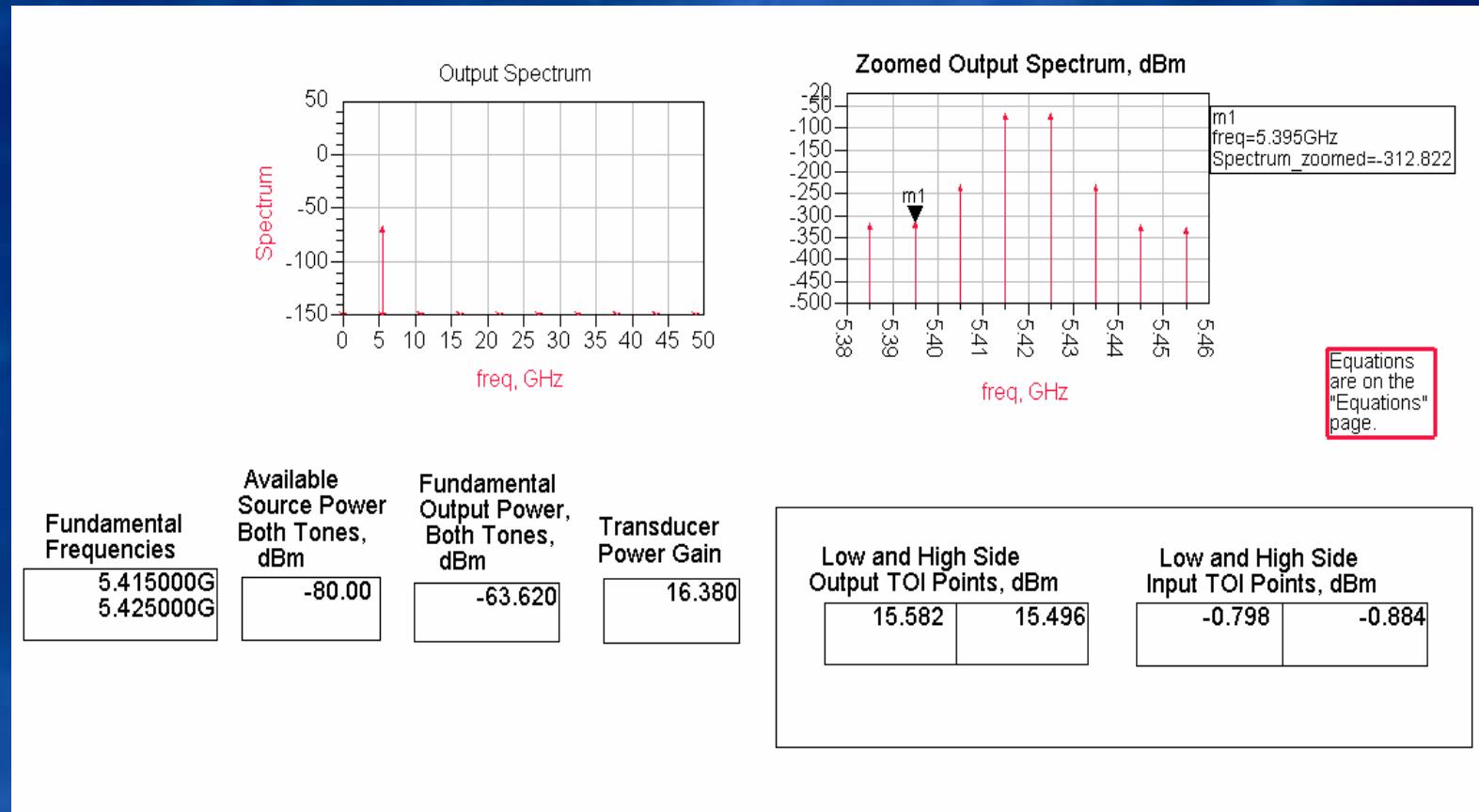
- LNA Balanceado (Balanced)



## • Resultados



- Resultados (Cont.)**



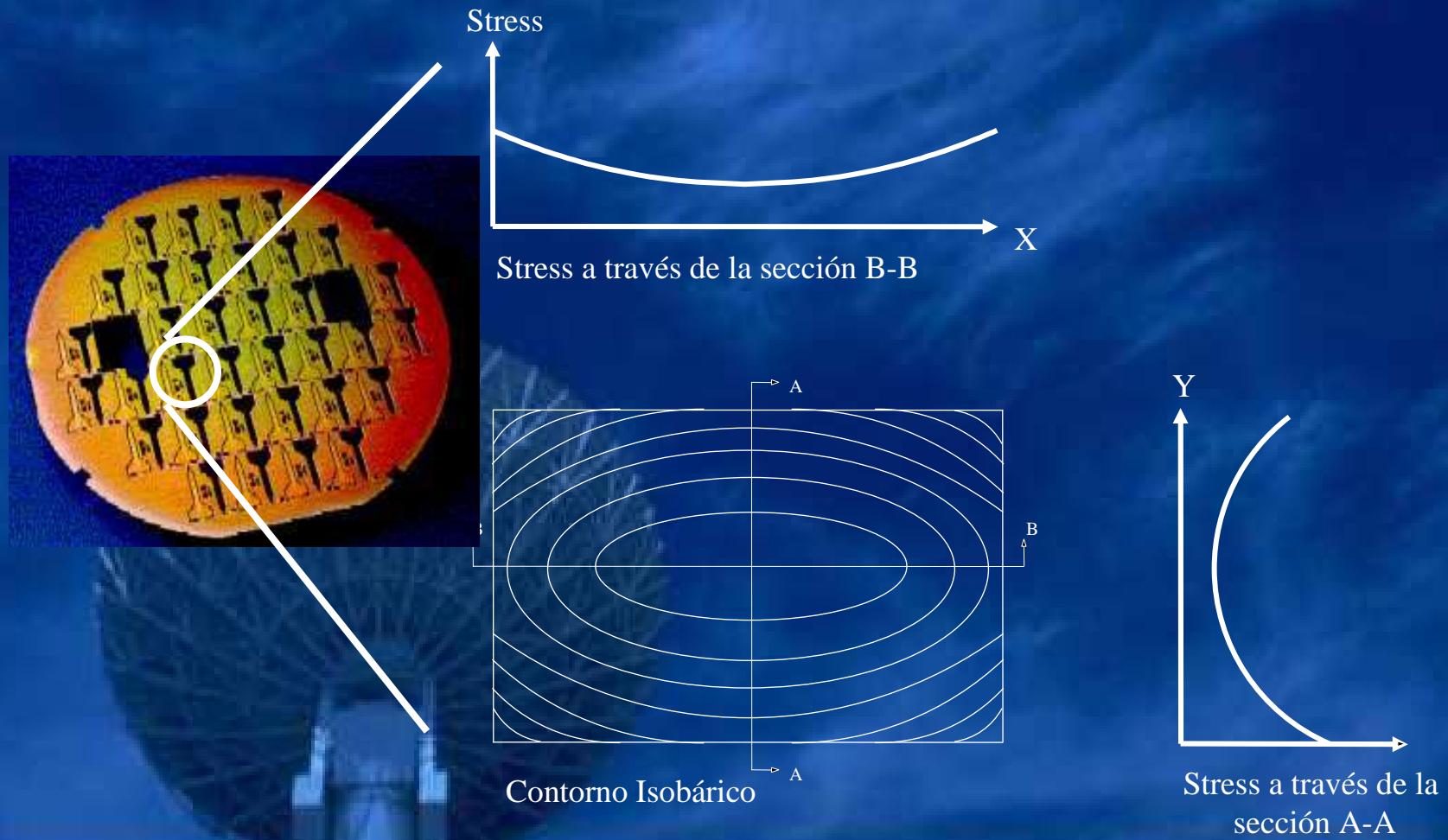
- Estructura del Proyecto

- Bloque 1
  - Introducción
  - Objetivos
  - Estándar IEEE 802.11a
  - Características de los LNAs
  - Tecnología SiGe 0,35 mm de AMS
- Bloque 2
  - Diseño a nivel de esquemático
  - Diseño a nivel de *layout*
  - Integración en una cadena de recepción
- Bloque 3
  - Conclusiones
  - Presupuesto

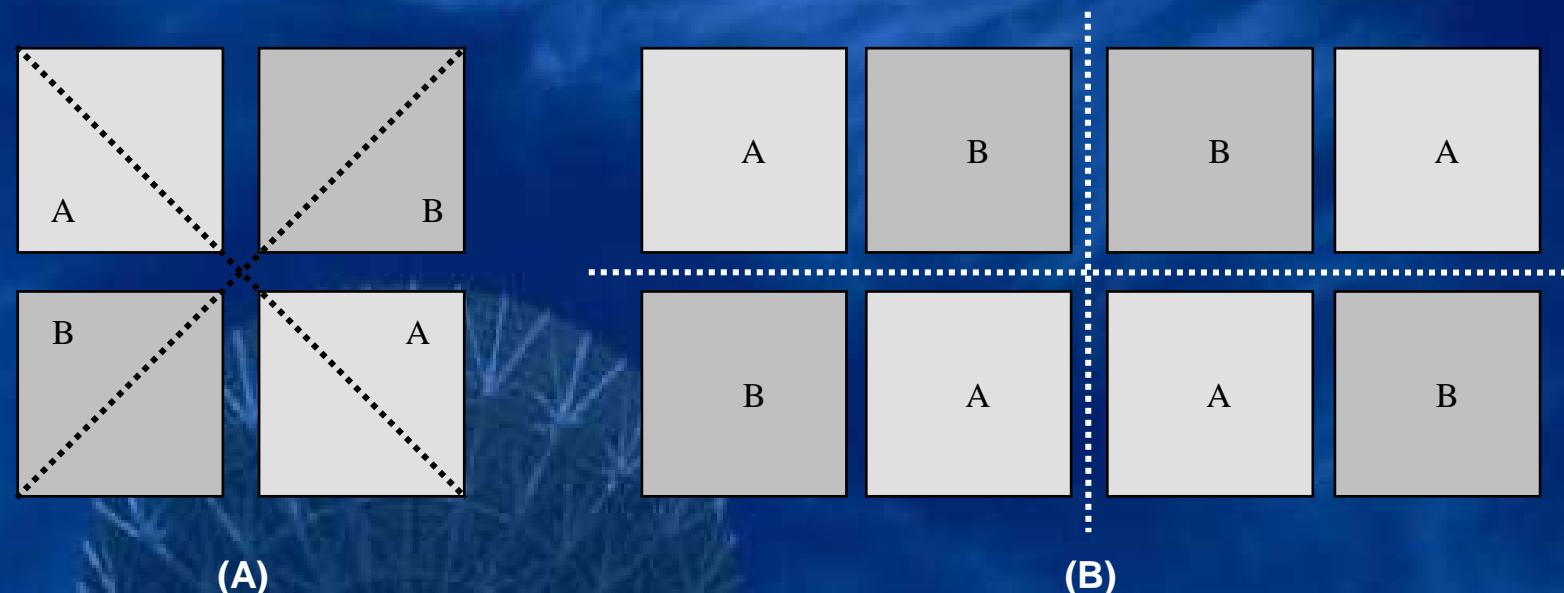
- **Diseño a nivel de *layout***

- Técnica del centroide común
- LNA Cascodo
- LNA Balanceado

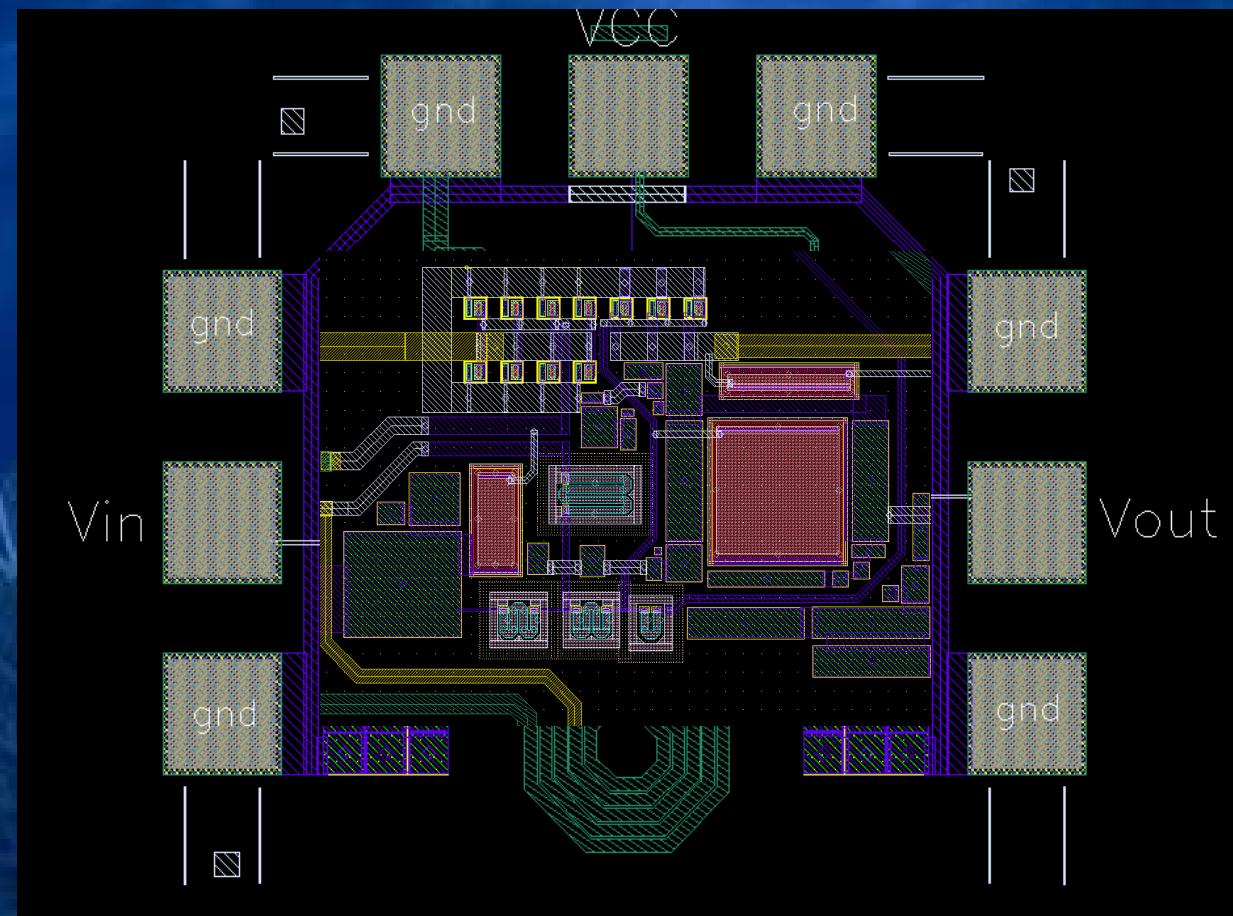
- Técnica del centroide común



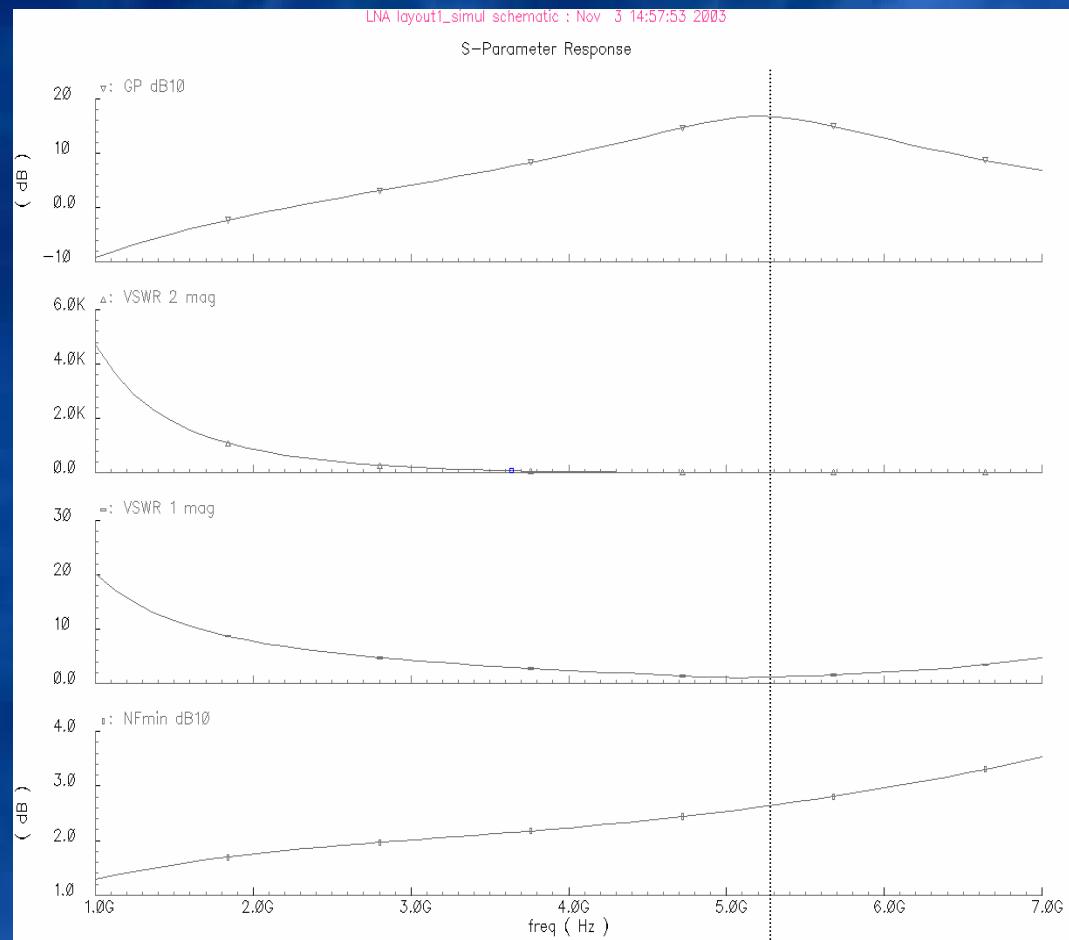
- Layout del centroide común



- LNA Cascodo

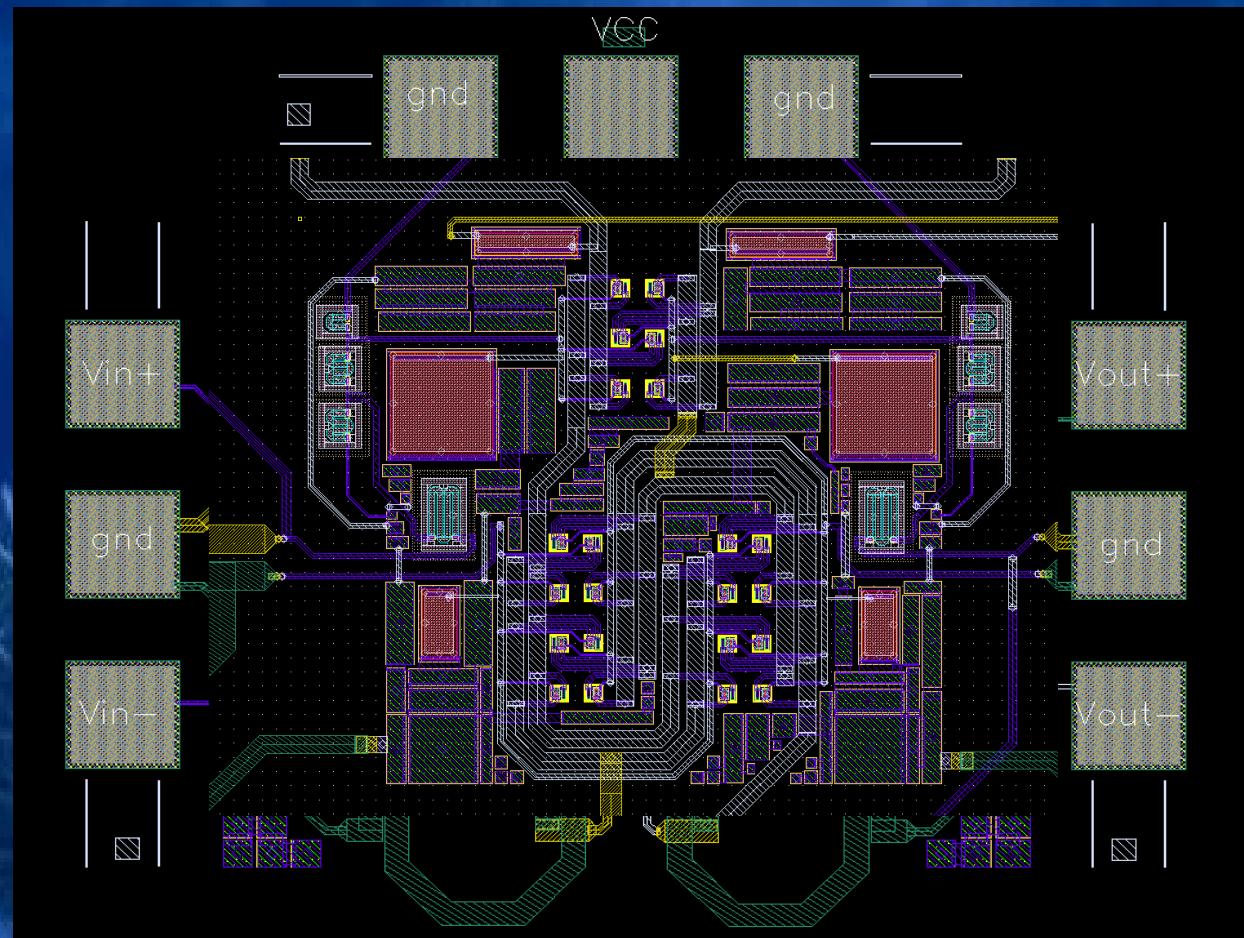


## Resultados

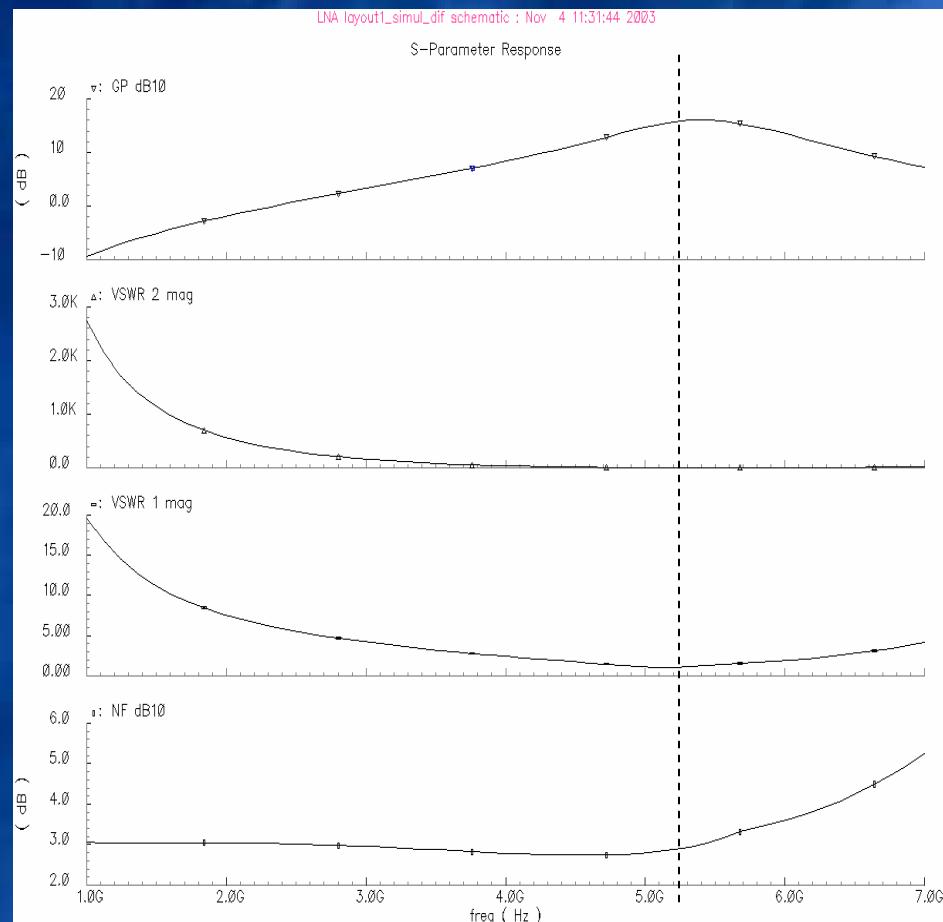


Ganancia	16.230 dB
NF	2.875 dB
VSWR1	1.25
VSWR2	2.53
S11	-41 dB
S12	-47 dB
S21	16.230 dB
S22	-9.3 dB
IIP3	-4.373 dBm
OIP3	11.857 dBm
Consumo de potencia	9.82 mW
Área del chip	645 $\mu\text{m}$ * 736 $\mu\text{m}$

- LNA Balanceado



## • Resultados

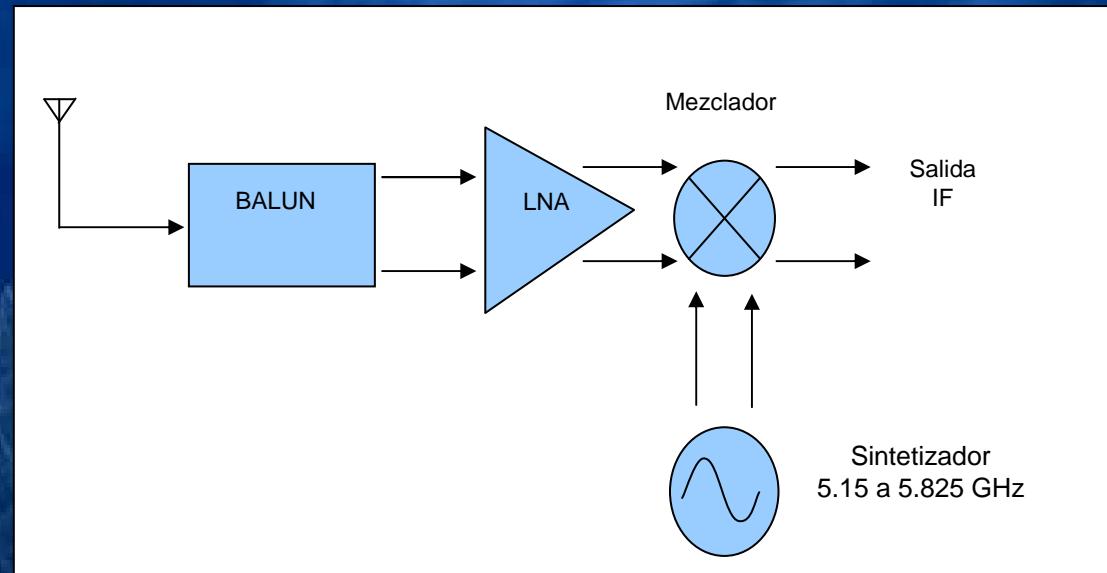


Ganancia	15.910 dB
NF	3.127 dB
VSWR1	1.35
VSWR2	1.93
S11	-32.81 dB
S12	-44 dB
S21	15.910 dB
S22	-14.43 dB
IIP3	-1.32 dBm
OIP3	14.59 dBm
Consumo de potencia	19.64 mW
Área del chip	767 $\mu\text{m}$ * 932 $\mu\text{m}$

- Estructura del Proyecto

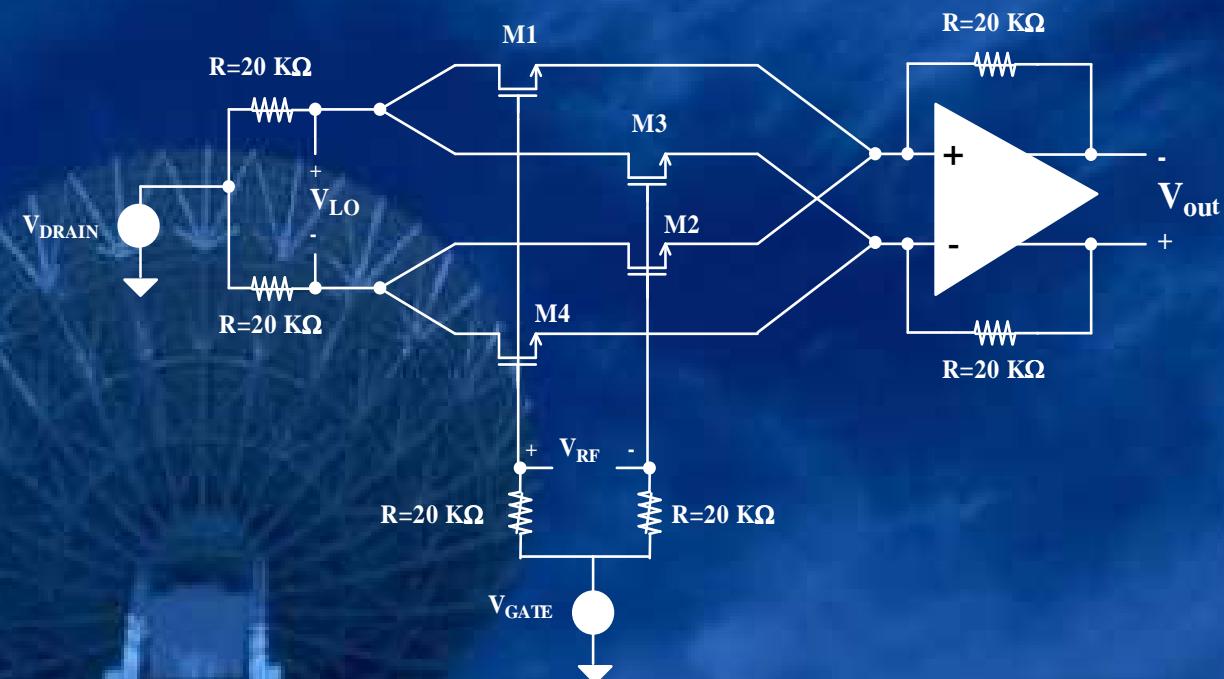
- Bloque 1
  - Introducción
  - Objetivos
  - Estándar IEEE 802.11a
  - Características de los LNAs
  - Tecnología SiGe 0,35 mm de AMS
- Bloque 2
  - Diseño a nivel de esquemático
  - Diseño a nivel de layout
  - Integración en una cadena de recepción
- Bloque 3
  - Conclusiones
  - Presupuesto

- Integración en una cadena de recepción

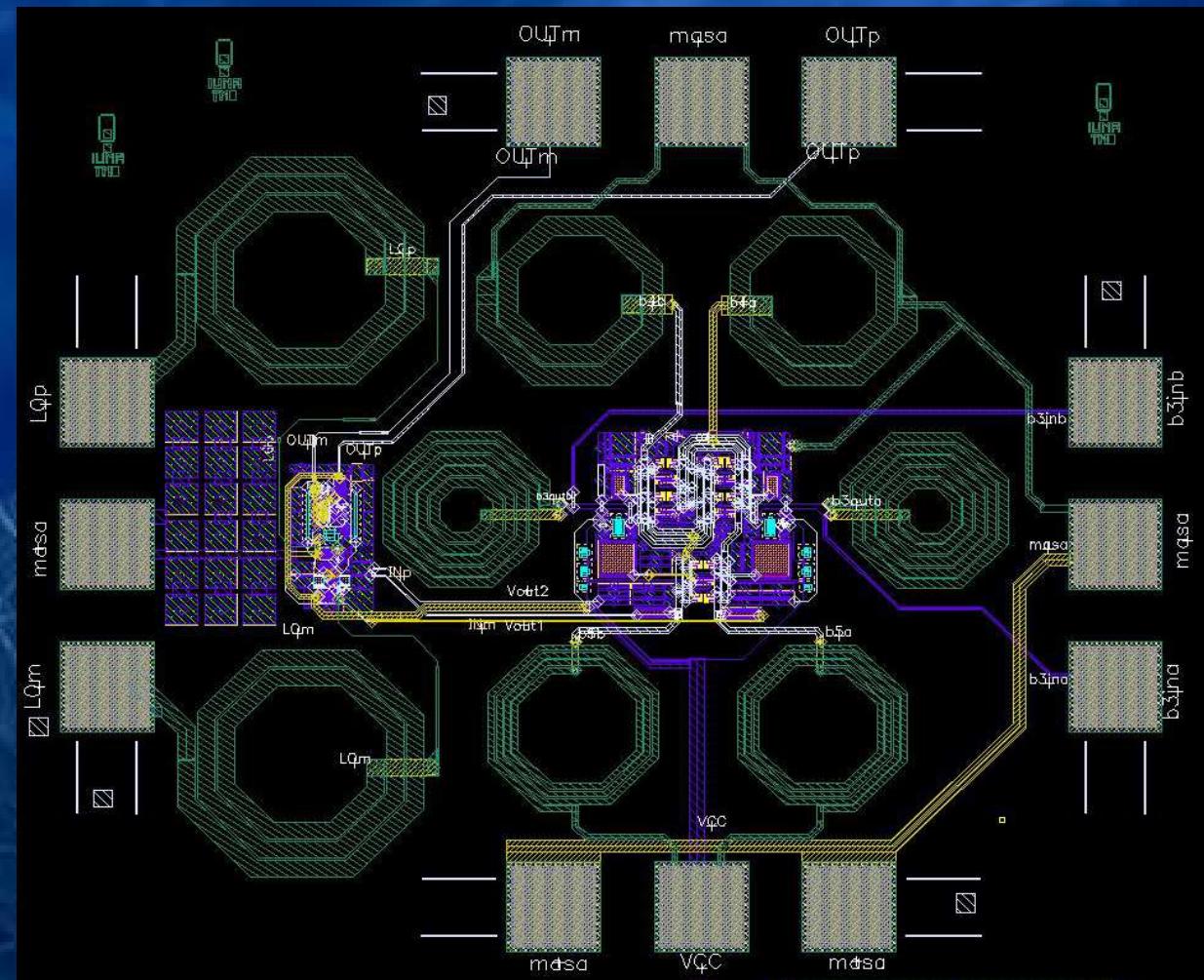


## Estructura del mixer

**Mezclador diseñado por D. Roberto Díaz Ortega**



## Layout del sistema



## Simulaciones post-layout

Parámetros	LNA	Mezclador	Conjunto
Ganancia (dB)	15,910	43	54
NF (dB)	3,127	45	5,93
IIP3 (dBm)	-1,32	40	
OIP3 (dBm)	14,59	83	
Consumo (mW)	19,64	13,53	33,17
Área (mm <sup>2</sup> )	0,714	0,605	1,07

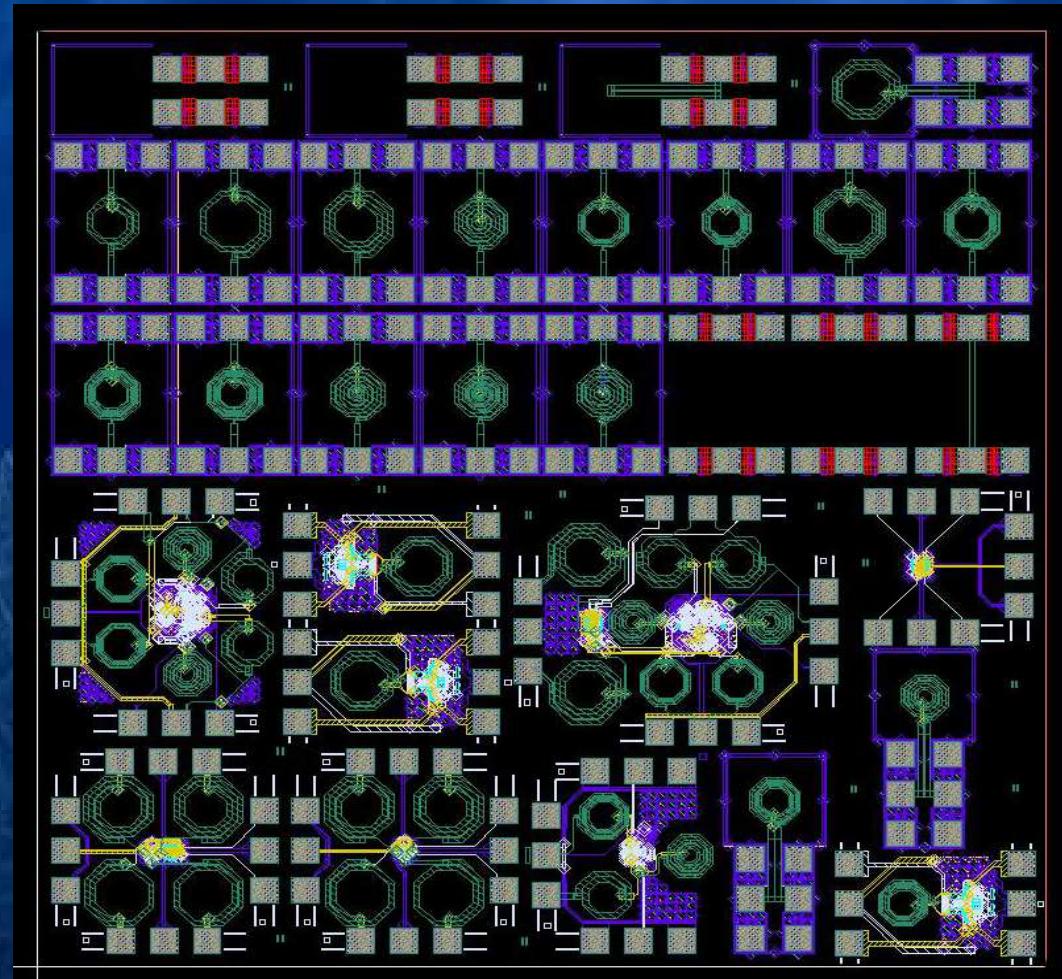
Jesús Rubén Pulido Medina

Abril de 2004

Proyecto Fin de Carrera

Diseño de un Amplificador de Bajo Ruido (LNA)

## Run de fabricación



- Estructura del Proyecto

- Bloque 1
  - Introducción
  - Objetivos
  - Estándar IEEE 802.11a
  - Características de los LNAs
  - Tecnología SiGe 0,35 mm de AMS
- Bloque 2
  - Diseño a nivel de esquemático
  - Diseño a nivel de layout
  - Integración en una cadena de recepción
- Bloque 3
  - Conclusiones
  - Presupuesto

- Comparación con otros trabajos (LNA asimétrico)

Proceso Tecnológico	Frec. (GHz)	Área sin pads (mm <sup>2</sup> )	NF (dB)	Gain (dB)	IIP3 (dBm)	OIP3/ $P_{DC}$	Vcc(V)	$P_{DC}$ (mW)	Características
GaAs HBT	5.7	0.5 x 0.6	2.9	16	7.3	3.0	3.5	72	2 etapas Realimentación resistiva
SiGe HBT	5.8	0.5 x 0.6	2.1	6.9	-11	0.03	1	13	2 etapas CE
0.35 μm CMOS	5.8	0.6 x 0.56	3.2	7.2	-3.7	1.2	1.3	20	2 etapas CS
0.35 μm SiGe HBT	5.1-5.9	0.4 x 0.53	2.8	16.3	-1.3	3.6	3.3	9.82	C.Cascodo

- Comparación con otros trabajos (LNA balanceado)

Proceso Tecnológico	Frec. (GHz)	Área sin pads (mm <sup>2</sup> )	NF (dB)	Gain (dB)	IIP3 (dBm)	OIP3/ $P_{DC}$	Vcc(V)	$P_{DC}$ (mW)	Características
0.24 μm CMOS	5.25	0.83 x 0.4	2.5	16	-1.5	0.6	3	48	Diferencial CC
0.35 μm CMOS	5.8	1.1 x 0.94	4	5	-	-	3.3	50	Diferencial CS
0.35 μm SiGe HBT	5.1-5.9	0.56 x 0.7	3.1	15.9	-1.3	4.42	3.3	19.64	Diferencial CC

- **Conclusiones**

- La tecnología SiGe 0.35  $\mu\text{m}$  es apta para el diseño de componentes analógicos de radiofrecuencia.
- Los objetivos inicialmente planteados se han logrado de forma satisfactoria.
- Línea de investigación de más envergadura en la que se desarrollan varios proyectos de investigación.

- Estructura del Proyecto

- Bloque 1
  - Introducción
  - Objetivos
  - Estándar IEEE 802.11a
  - Características de los LNAs
  - Tecnología SiGe 0,35 mm de AMS
- Bloque 2
  - Diseño a nivel de esquemático
  - Diseño a nivel de layout
  - Integración en una cadena de recepción
- Bloque 3
  - Conclusiones
  - Presupuesto

- **Presupuesto**

**El presupuesto del presente proyecto asciende a:**

**€**

