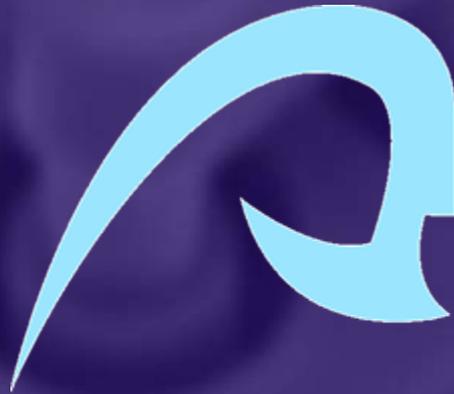


***Diseño de un amplificador de bajo ruido (LNA)
para el estándar inalámbrico UWB en
tecnología SiGe 0.35 μm***



Autor: Jesús Rubén Pulido Medina

ETSIT Ingeniería Electrónica

ULPGC

Tutor: Francisco Javier del Pino Suárez

Cotutora: Amaya Goñi Iturri

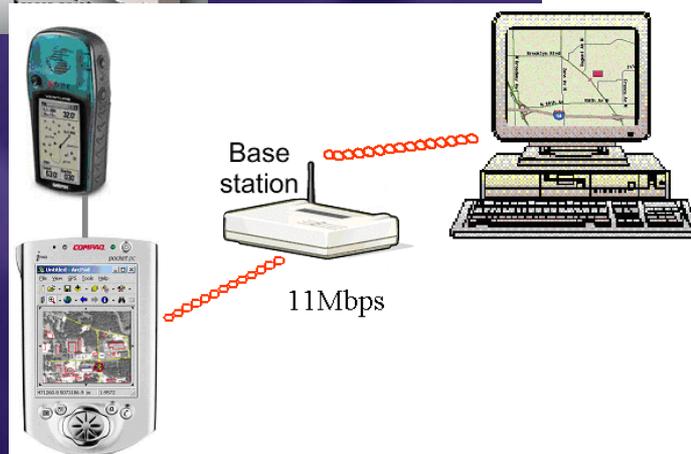
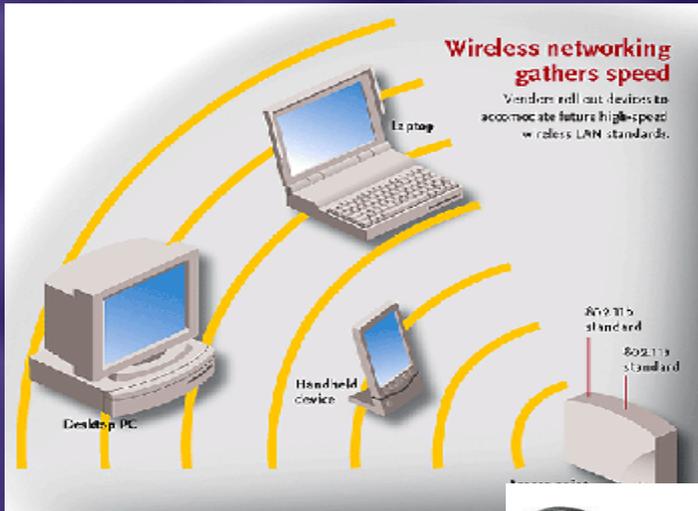
Mayo de 2007

Proyecto Fin de Carrera

- **Estructura del Proyecto**

- Bloque 1
 - Introducción
 - Objetivos
 - Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los LNAs
 - Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS
- Bloque 2
 - Diseño a nivel de esquemático
 - Diseño a nivel de *layout*
 - Medidas
- Bloque 3
 - Conclusiones
 - Presupuesto

• Introducción



- Introducción

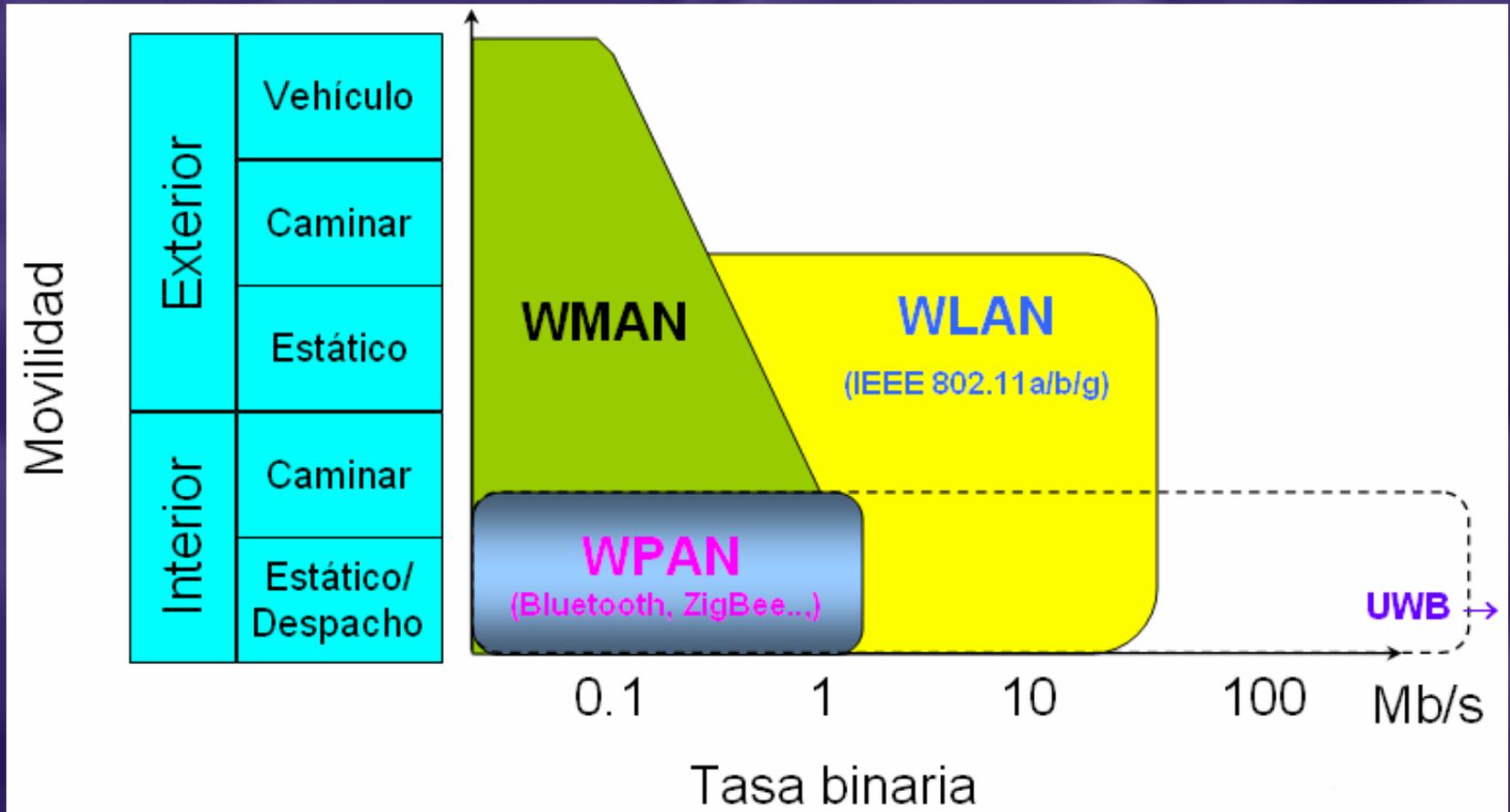
- **Redes Inalámbricas Fijas**

- » MMDS
- » LMDS
- » Microondas punto a punto
- » Enlaces ópticos

- **Redes Inalámbricas Móviles**

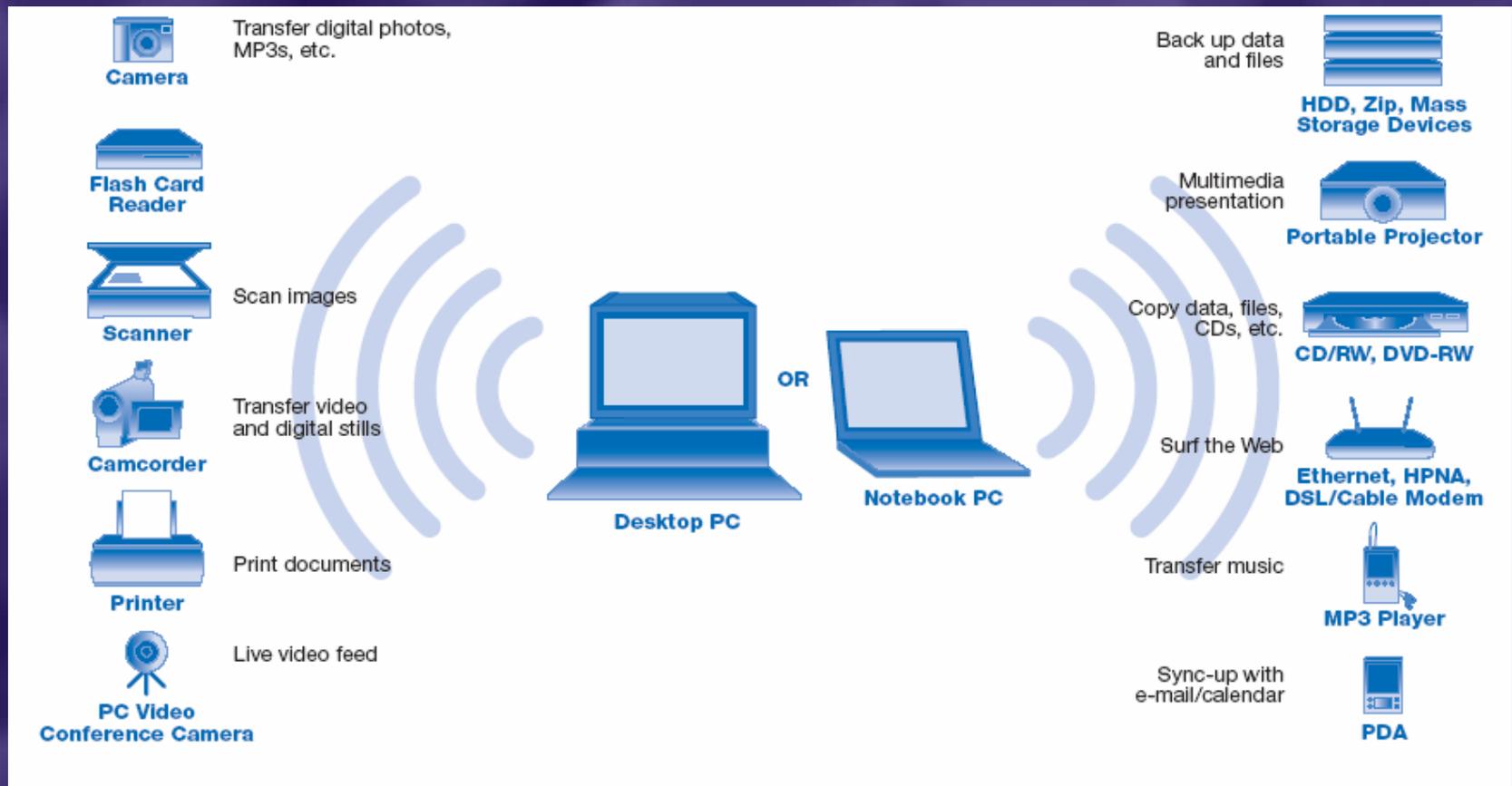
- » WWAN
- » WMAN
- » WLAN
- » WPAN

Introducción



- Introducción

- Ultra Banda Ancha (UWB, Ultra Wide Band)
 - Velocidades de transmisión de hasta 400-500 Mbps



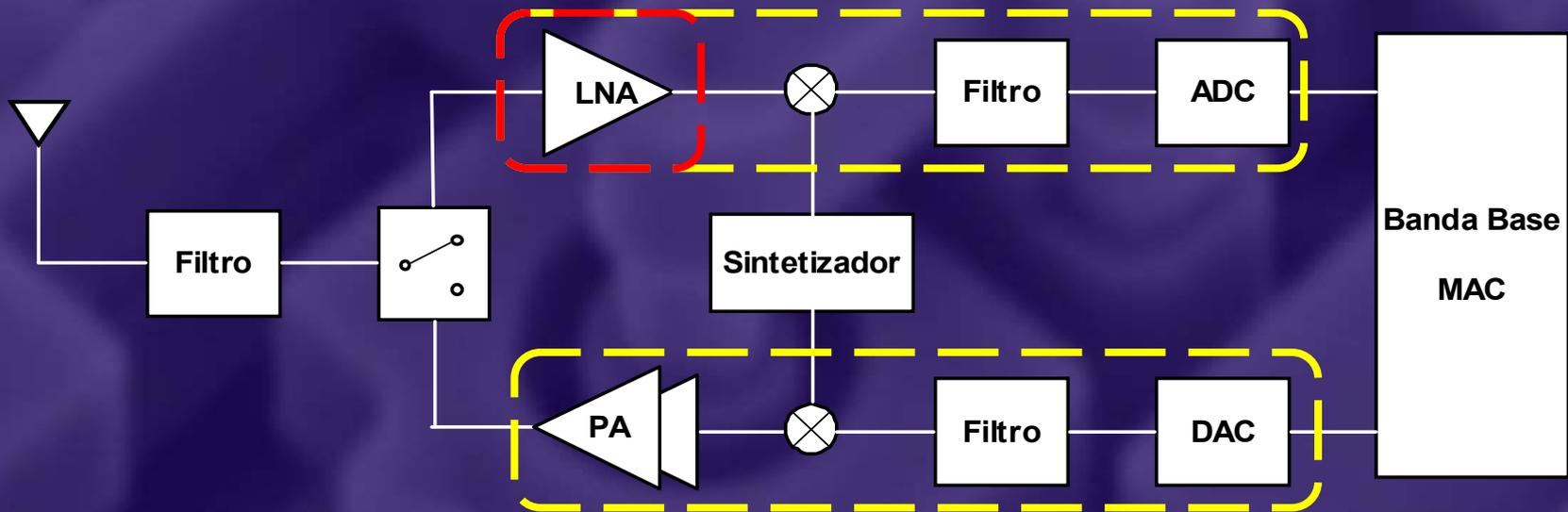
•Introducción

Ultra Banda Ancha (UWB, Ultra Wide Band)

- **Generación de señales de UWB:**
 - **IR-UWB**
 - **CB-UWB**
- **FCC (Federal Communications Commissions)**
 - **802.15.3a basados probablemente en CB-UWB**
- **MBOA (Multiband OFDM Alliance)**
 - **Espectro de 3.1-10.6 GHz**
 - **14 bandas de 528 MHz**
 - **Moduladas en QPSK-OFDM 128**
 - **Tasa de datos de 53.3-480 Mbps**

• Introducción

Transceiver de UWB



- **Estructura del Proyecto**

- Bloque 1
 - Introducción
 - Objetivos
 - Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los LNAs
 - Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS
- Bloque 2
 - Diseño a nivel de esquemático
 - Diseño a nivel de *layout*
 - Medidas
- Bloque 3
 - Conclusiones
 - Presupuesto

• Objetivos

- **Diseño de un LNA con tecnología SiGe 0,35 μm para el estándar inalámbrico IEEE 802.15.3a.**
- **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**

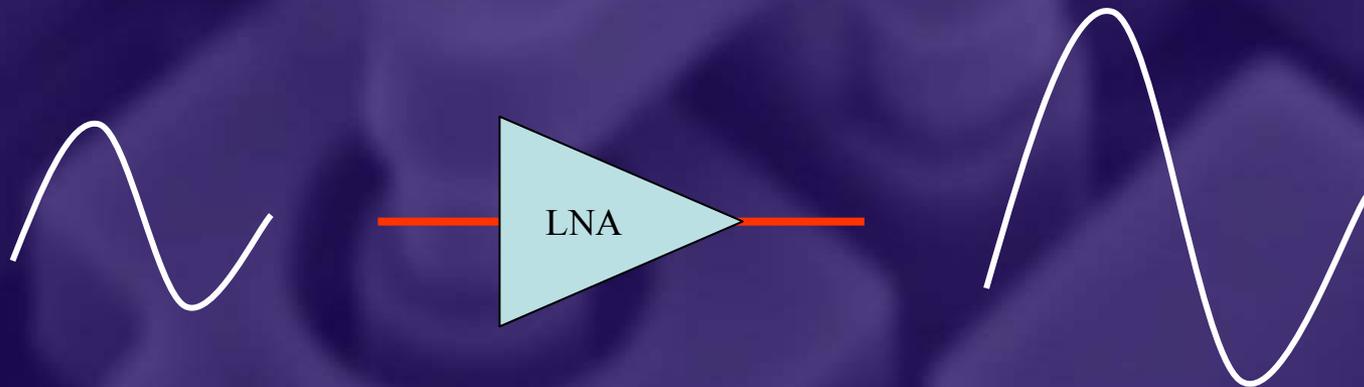
- Bloque 1
 - Introducción
 - Objetivos
 - Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los LNAs
 - Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS
- Bloque 2
 - Diseño a nivel de esquemático
 - Diseño a nivel de *layout*
 - Medidas
- Bloque 3
 - Conclusiones
 - Presupuesto

- Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los sistemas de radiofrecuencia (RF)
 - Características del estándar IEEE 802.15.3a

- **Características de los sistemas de RF**
 - **Ganancia**
 - **Figura de ruido (NF)**
 - **Punto de intercepción de Tercer Orden (IP3)**
 - **Coefficiente 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

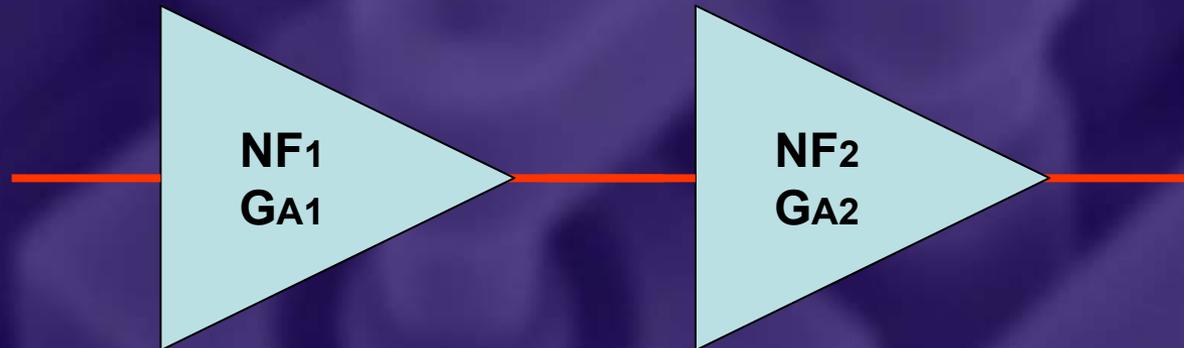


$$F = \frac{P_{N0}}{P_{Ni} \cdot G_A}$$

$$F = \frac{P_{Si} / P_{Ni}}{P_{S0} / P_{N0}} = \frac{SNR_i}{SNR_0}$$

$$NF = F (dB)$$

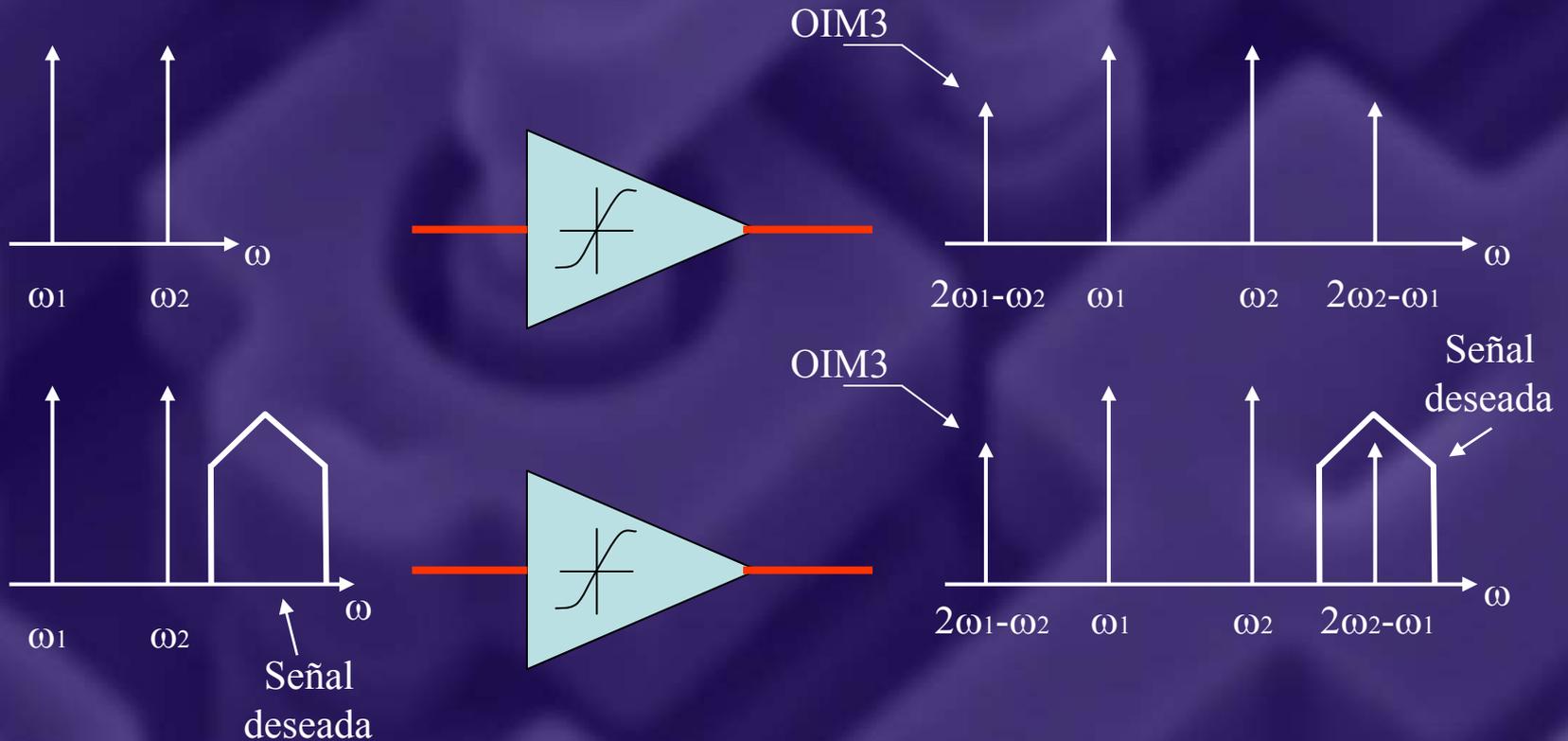
Para dos etapas en cascada:

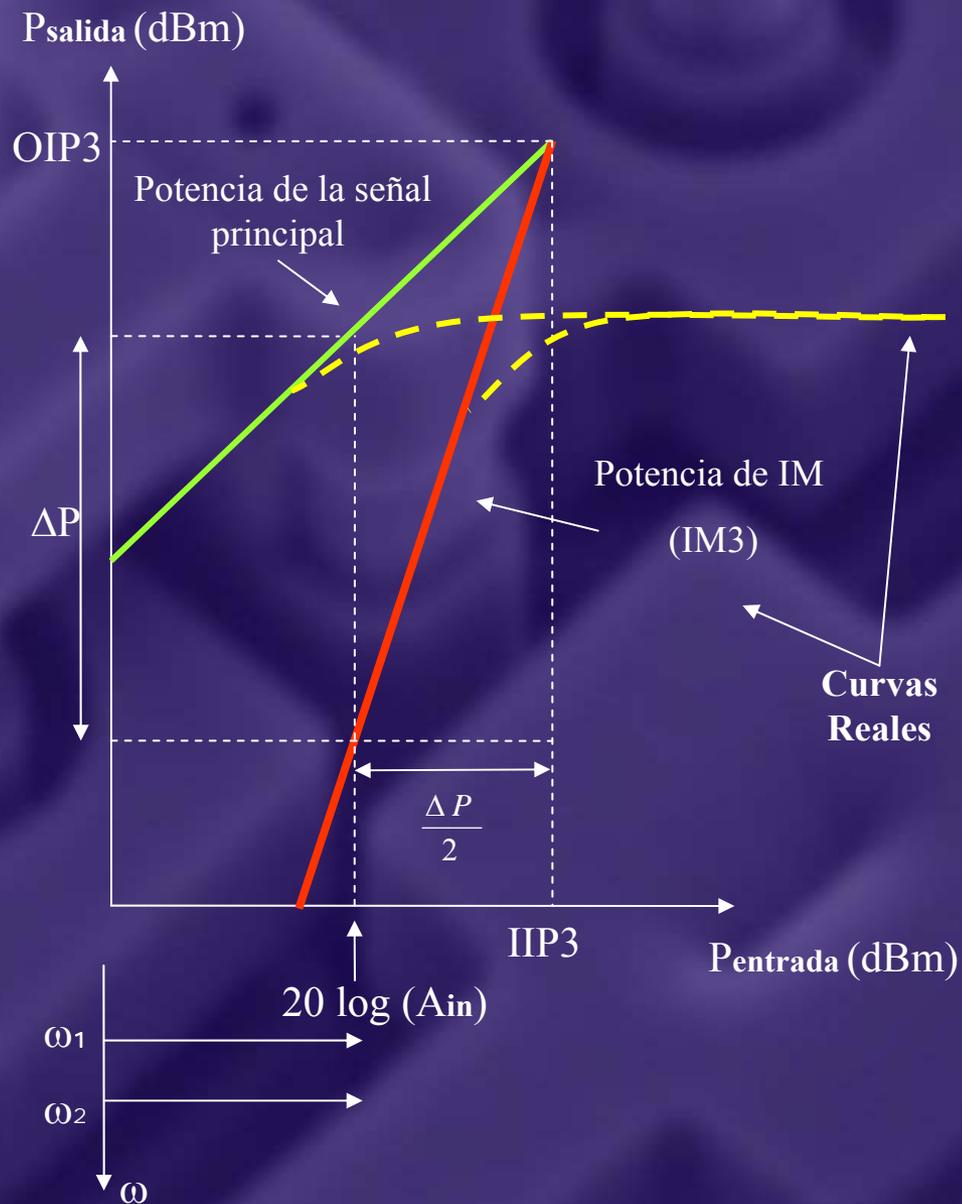
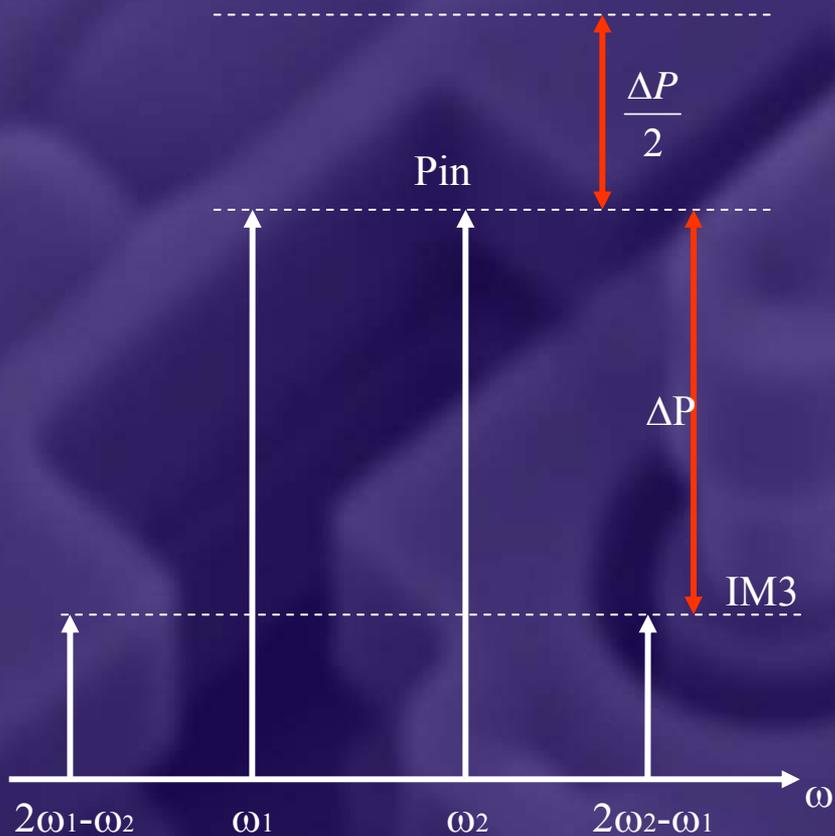


$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_{A1}}$$

- Punto de Intercepción de Tercer Orden (IP3)

Nos informa acerca de la linealidad de un circuito





- Coeficiente de onda estacionario (VSWR)

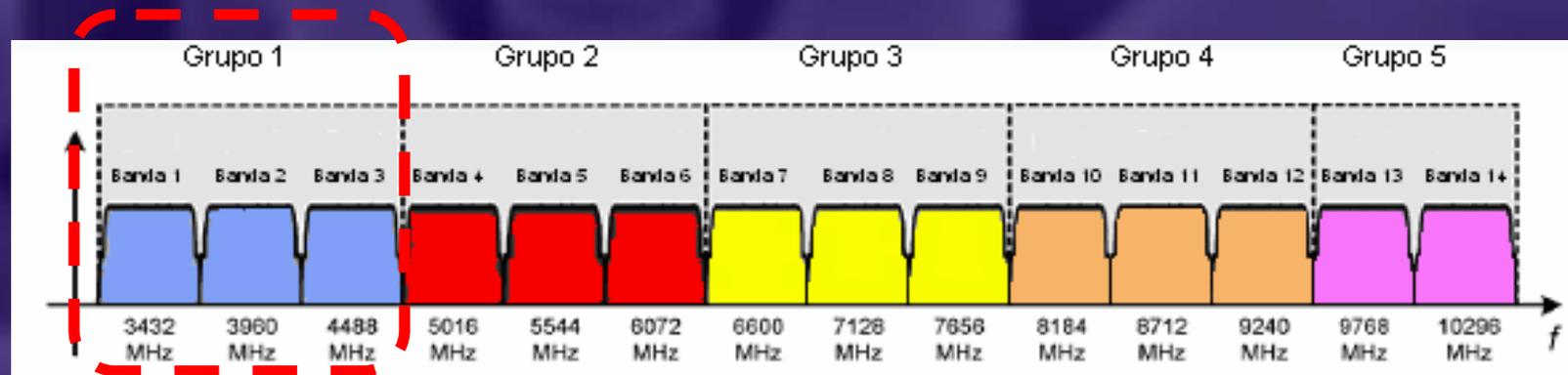
Medida cuantitativa de la adaptación del circuito a la entrada (VSWR1) o a la salida (VSWR2).

$$|\Gamma_L| = \frac{\text{Onda_incidente}}{\text{Onda_reflejada}} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$

- Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los sistemas de radiofrecuencia (RF)
 - Características del estándar IEEE 802.15.3a

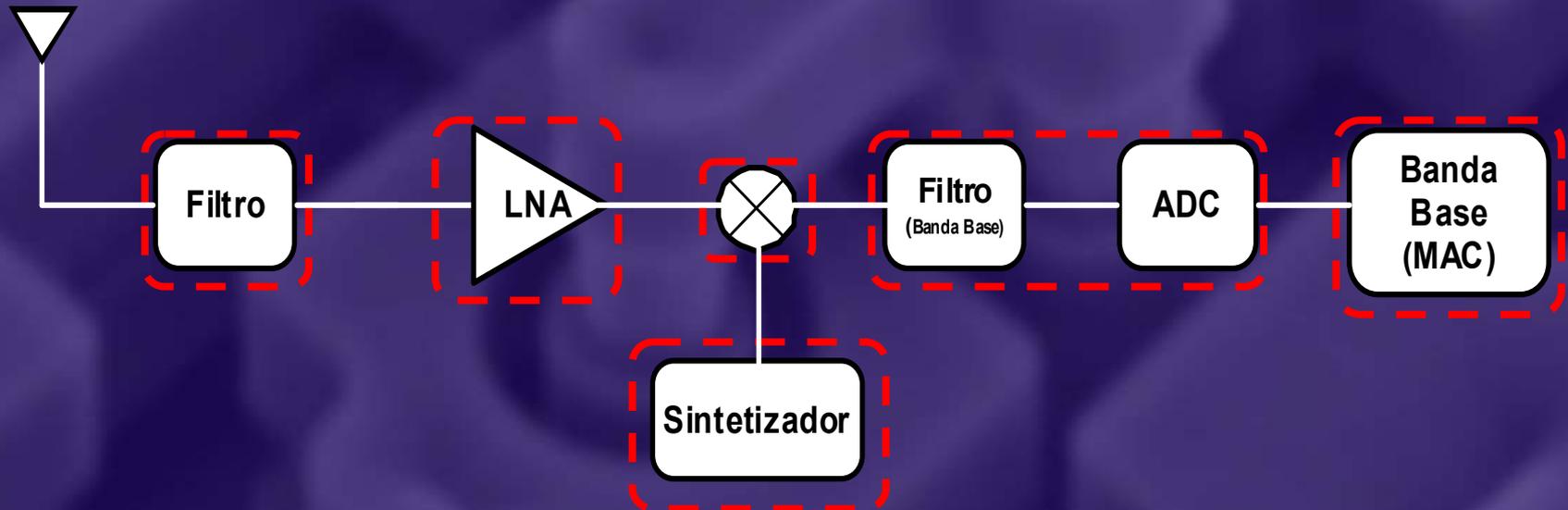
Características del estándar IEEE 802.15.3a

- Propuesto por la MBOA
 - » Espectro de 3.1-10.6 GHz
 - » 14 bandas de 528 MHz
 - » Moduladas en QPSK-OFDM 128
 - » Tasa de datos de 53.3-480 Mbps
 - » Frecuencia central de la banda = $2904 + 528 \times nb$,
 $nb = 1 \dots 14$ (MHz)



Características del estándar IEEE 802.15.3a

Especificaciones del receptor para UWB-MBOA (zero-IF)



– Características del estándar IEEE 802.15.3a

- **Desafíos en el diseño de receptores MB-OFDM**
 - Adaptación de la impedancia de banda ancha
 - Aparecen señales bloqueantes → Mejor linealidad
 - Filtros para seleccionar los canales en banda base con un alto rechazo a la frecuencia de corte de 264 MHz
 - Necesitan un sintetizador de frecuencia de banda ágil
 - Pureza del oscilador local
 - Ganancia equilibrada entre los canales I y Q y eficiencia en las fases en cuadratura del LO

Especificaciones del receptor para UWB-MBOA

Sensibilidad	-83.6 a -72.6 dBm
NF	6-7 dB
Ganancia de compresión a 1dB/IIP3	-18.56 dBm/-9 dBm
Ruido de fase	-100 dBc/Hz a 1 MHz
Ganancia tensión	84 dB
Total CAG	60 dB

Especificaciones del LNA

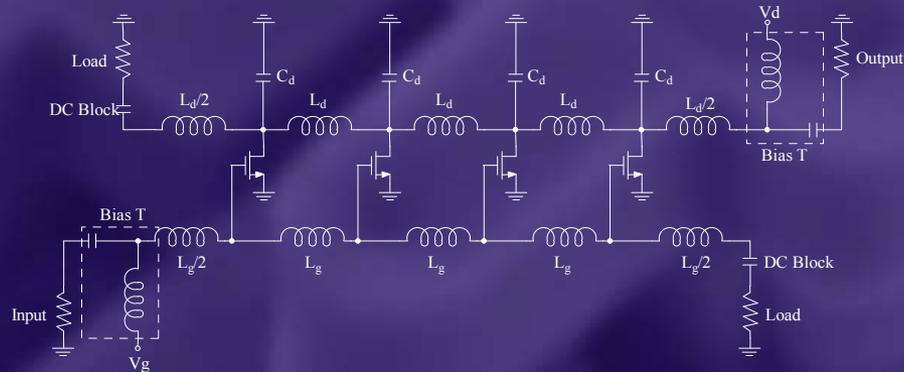
NF	< 6 dB
IIP3	> -10 dBm
Ganancia	9 dB
Impedancia de entrada	50 Ω
Impedancia de salida	50 Ω
Aislamiento inverso	20 dB
Consumo de Potencia	Menor Posible

- **Estructura del Proyecto**

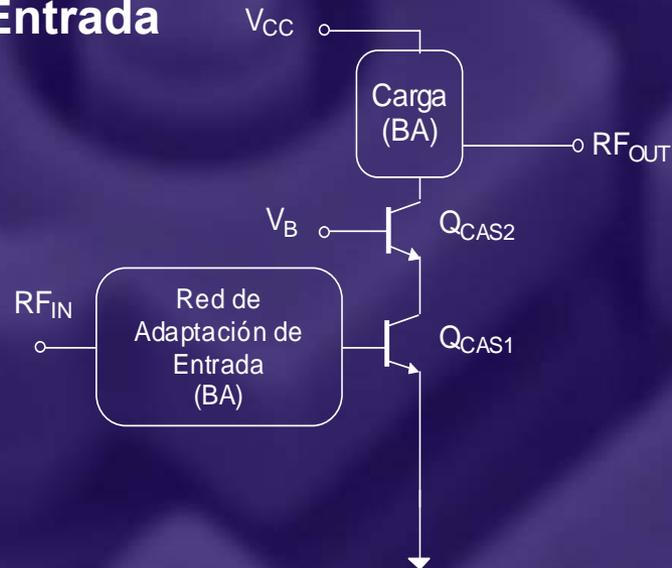
- Bloque 1
 - Introducción
 - Objetivos
 - Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los LNAs
 - Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS
- Bloque 2
 - Diseño a nivel de esquemático
 - Diseño a nivel de *layout*
 - Medidas
- Bloque 3
 - Conclusiones
 - Presupuesto

- **LNA para UWB**

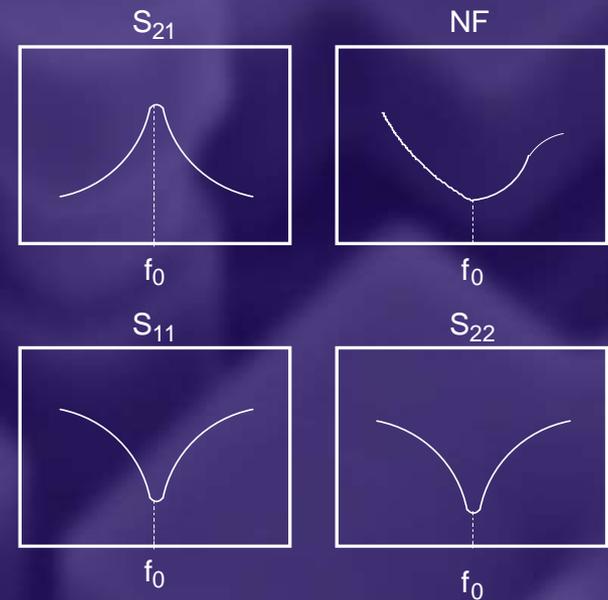
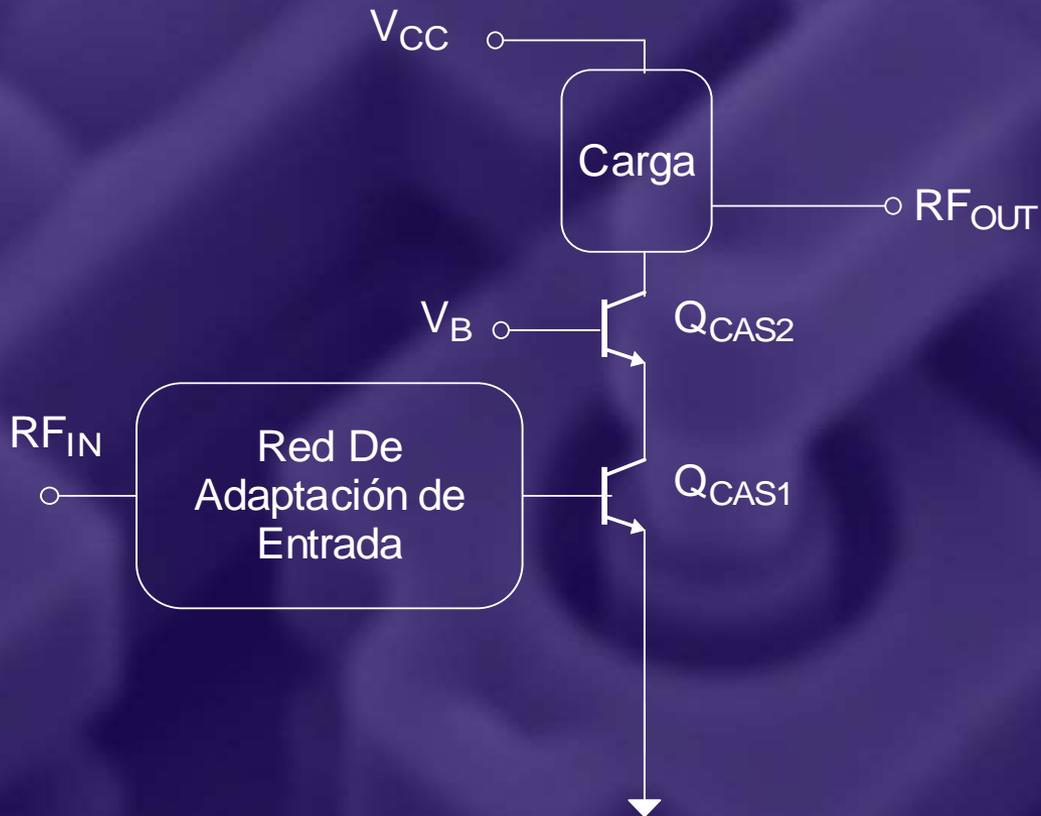
- **Amplificador Distribuido**



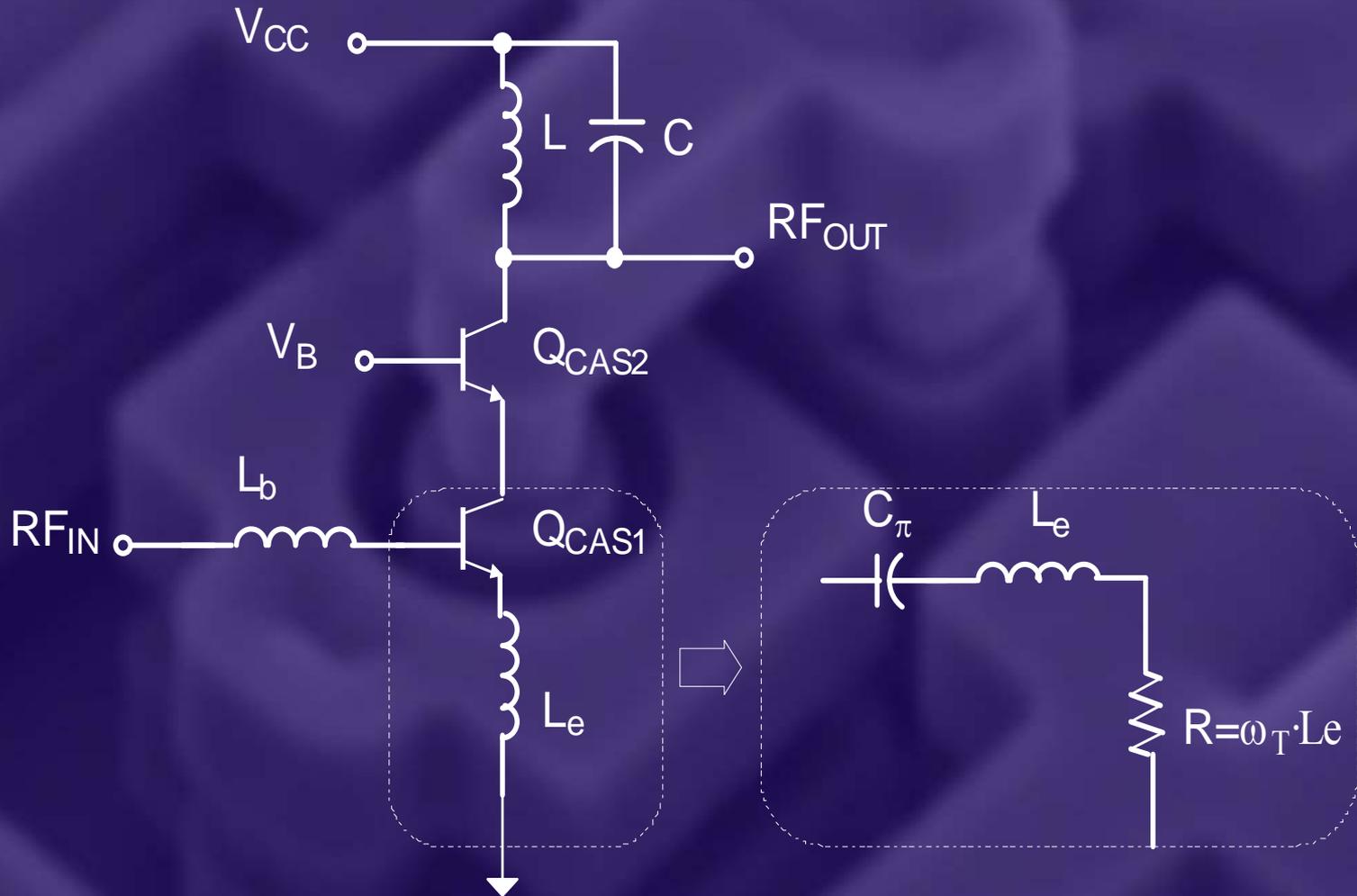
- **Amplificador con Carga de Banda Ancha y Red de Adaptación de Entrada**



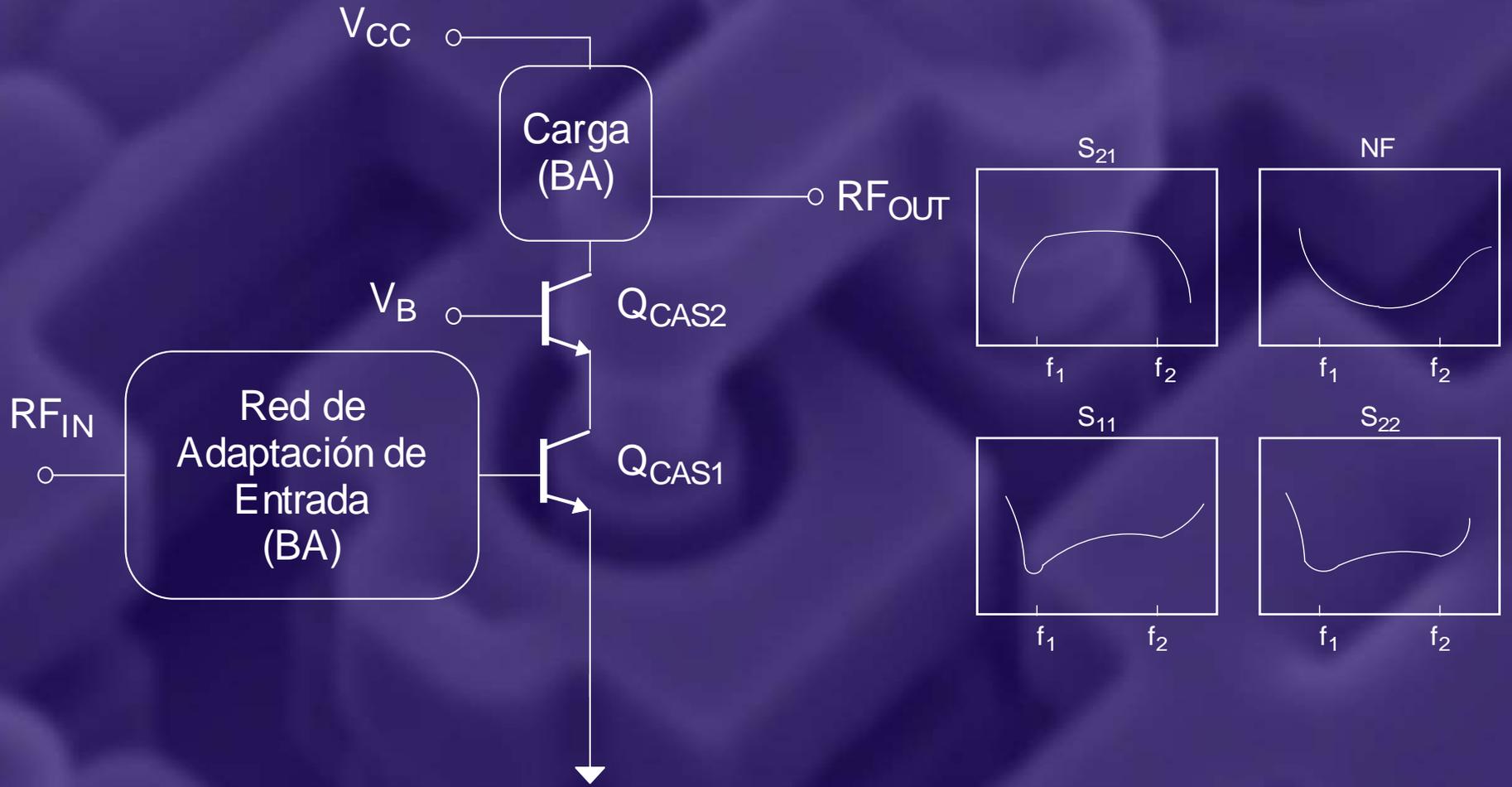
- **Amplificador de Banda Estrecha**



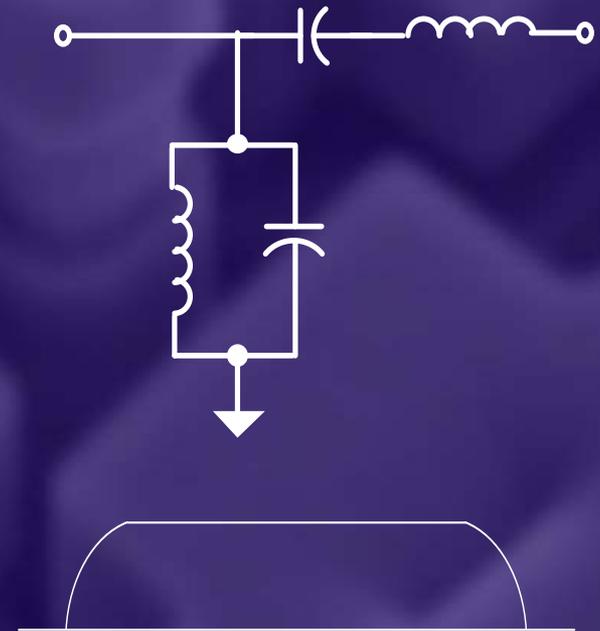
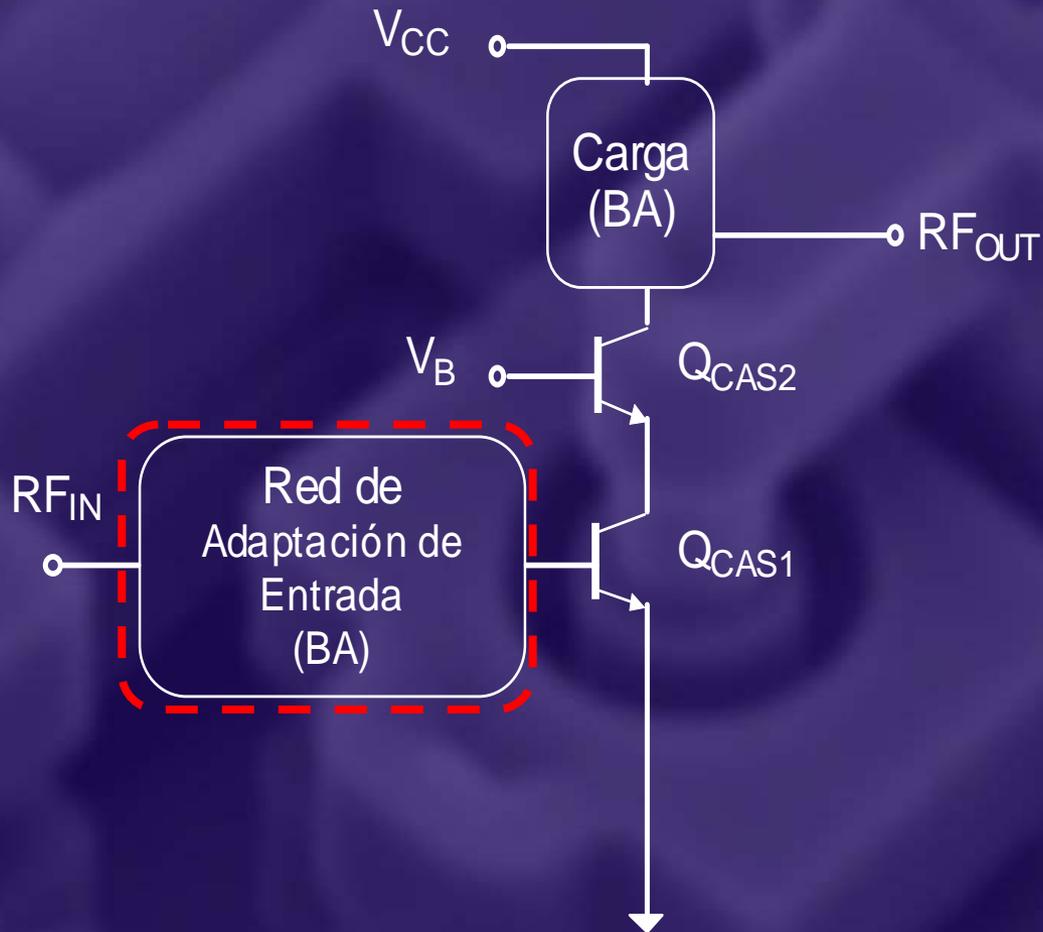
- **Amplificador de Banda Estrecha**



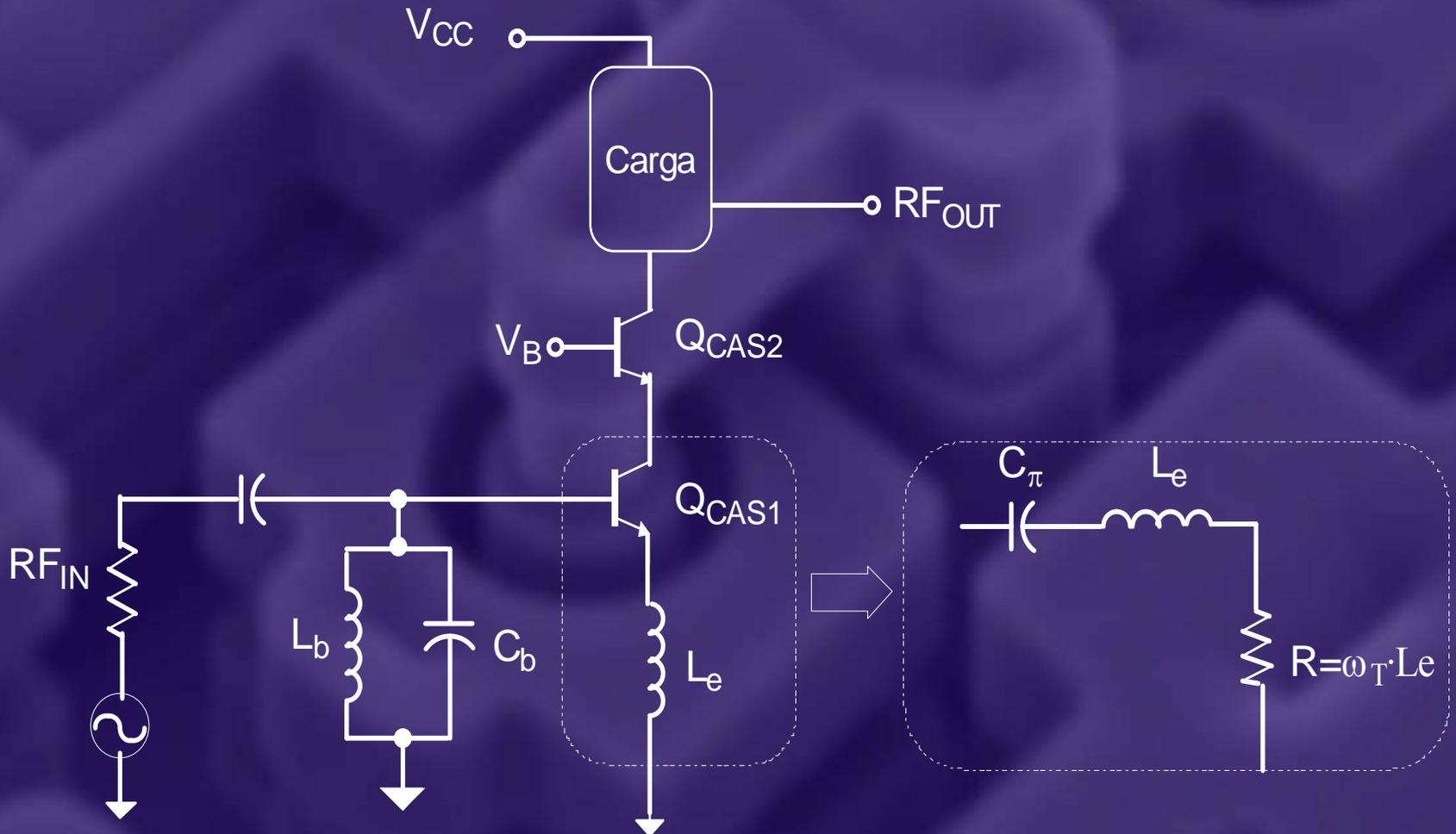
- **Amplificador de Banda Ancha**



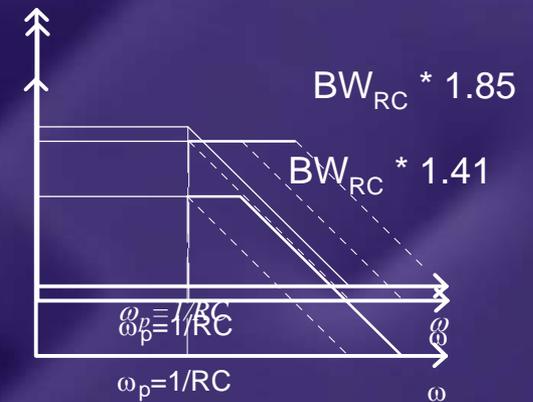
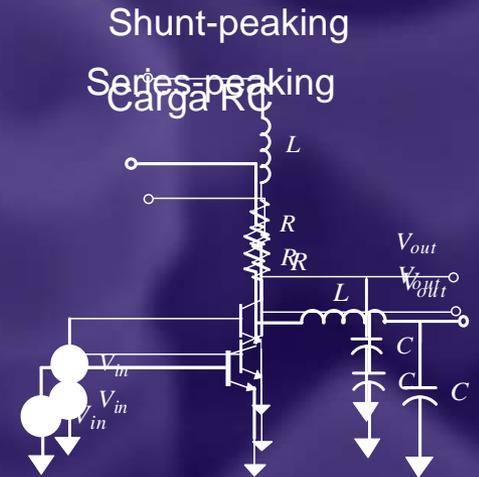
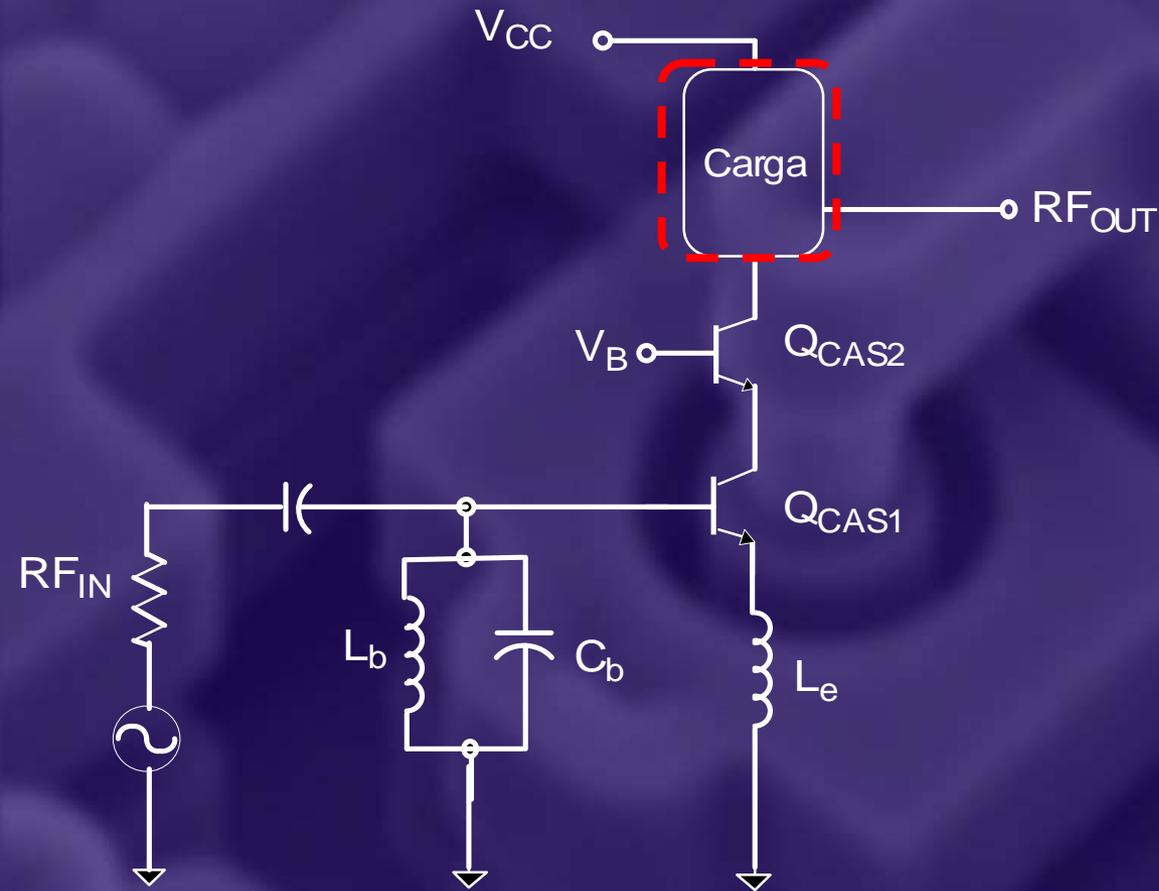
- Red de Adaptación de Entrada



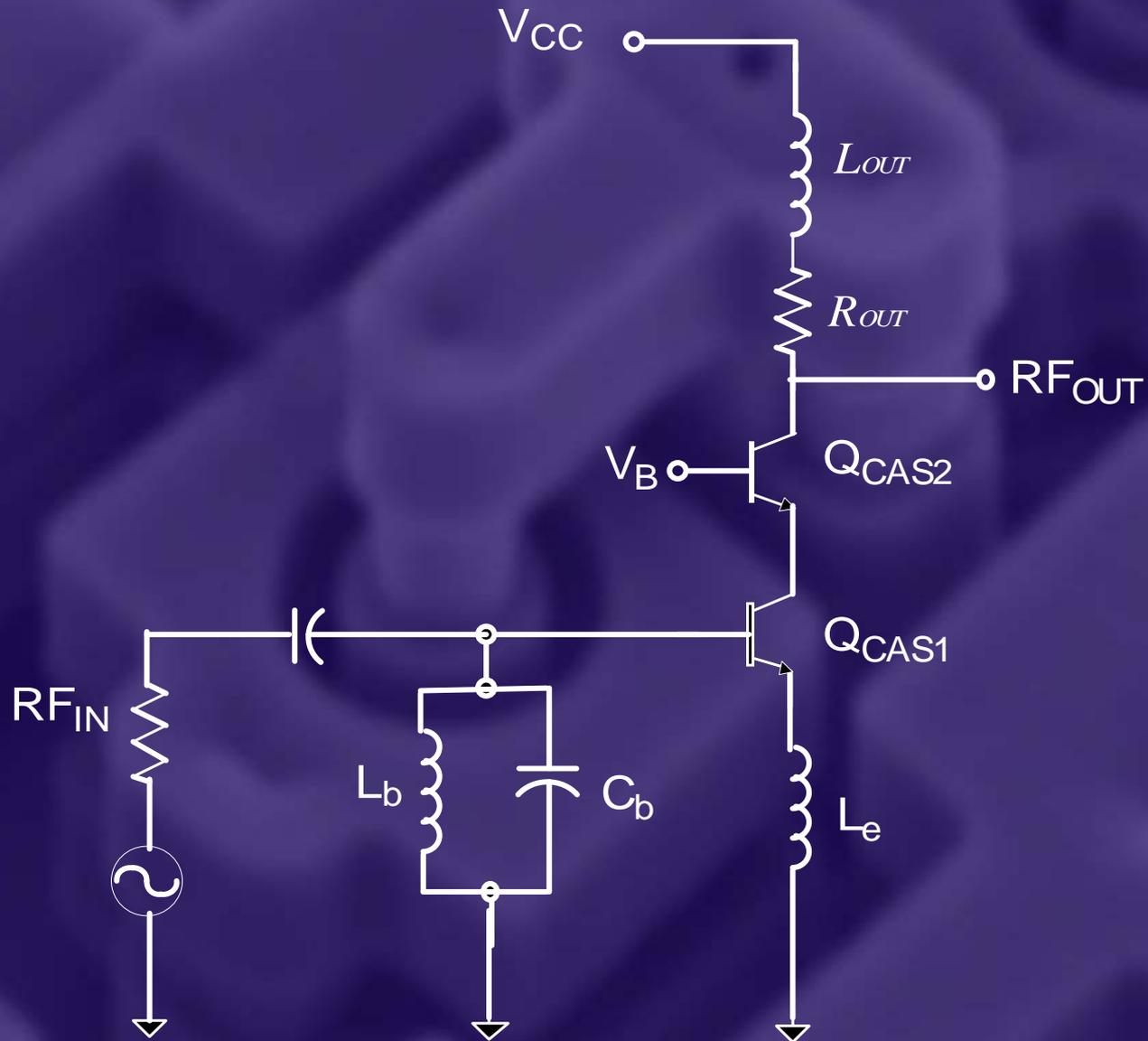
- Red de Adaptación de Entrada



- **Carga**



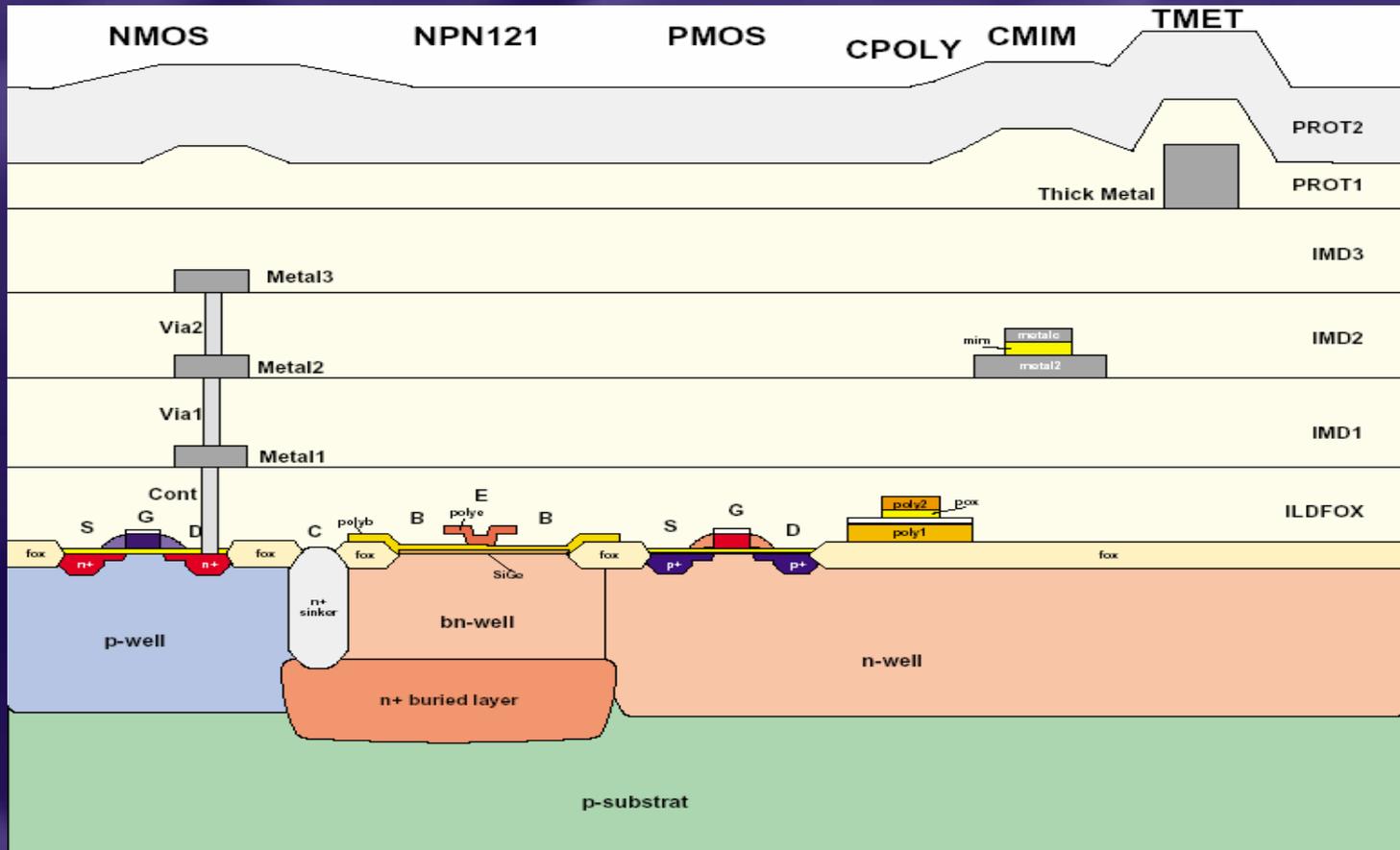
- LNA para UWB



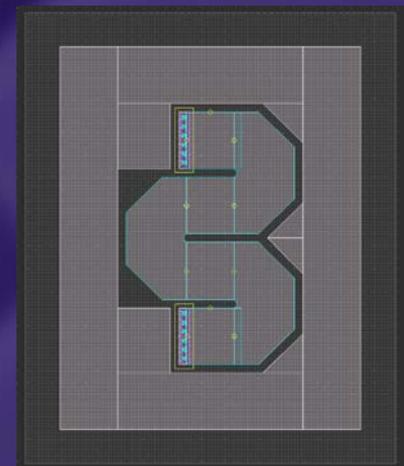
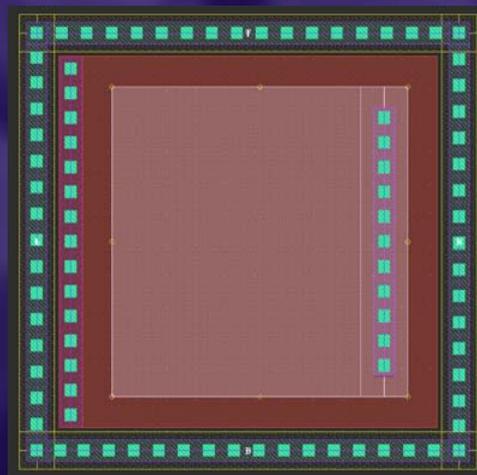
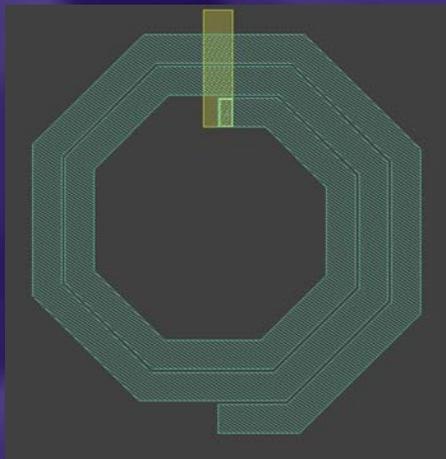
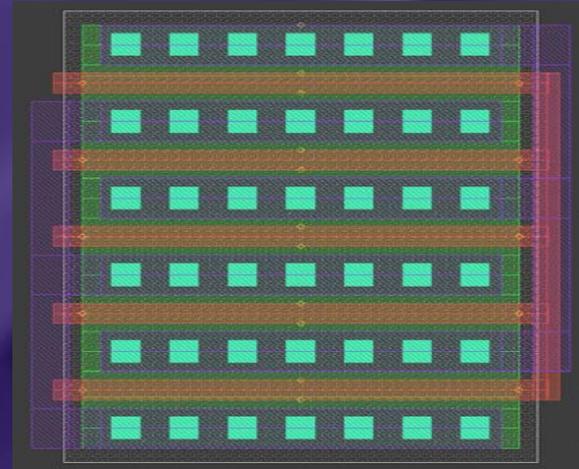
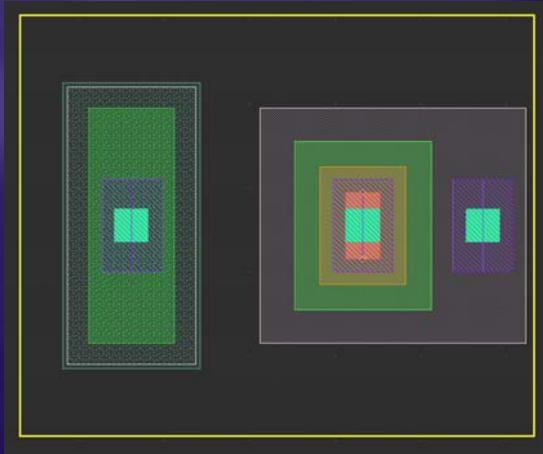
- **Estructura del Proyecto**

- Bloque 1**
 - Introducción
 - Objetivos
 - Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los LNAs
 - Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS
- Bloque 2**
 - Diseño a nivel de esquemático
 - Diseño a nivel de *layout*
 - Medidas
- Bloque 3**
 - Conclusiones
 - Presupuesto

• Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS



- Componentes activos y pasivos



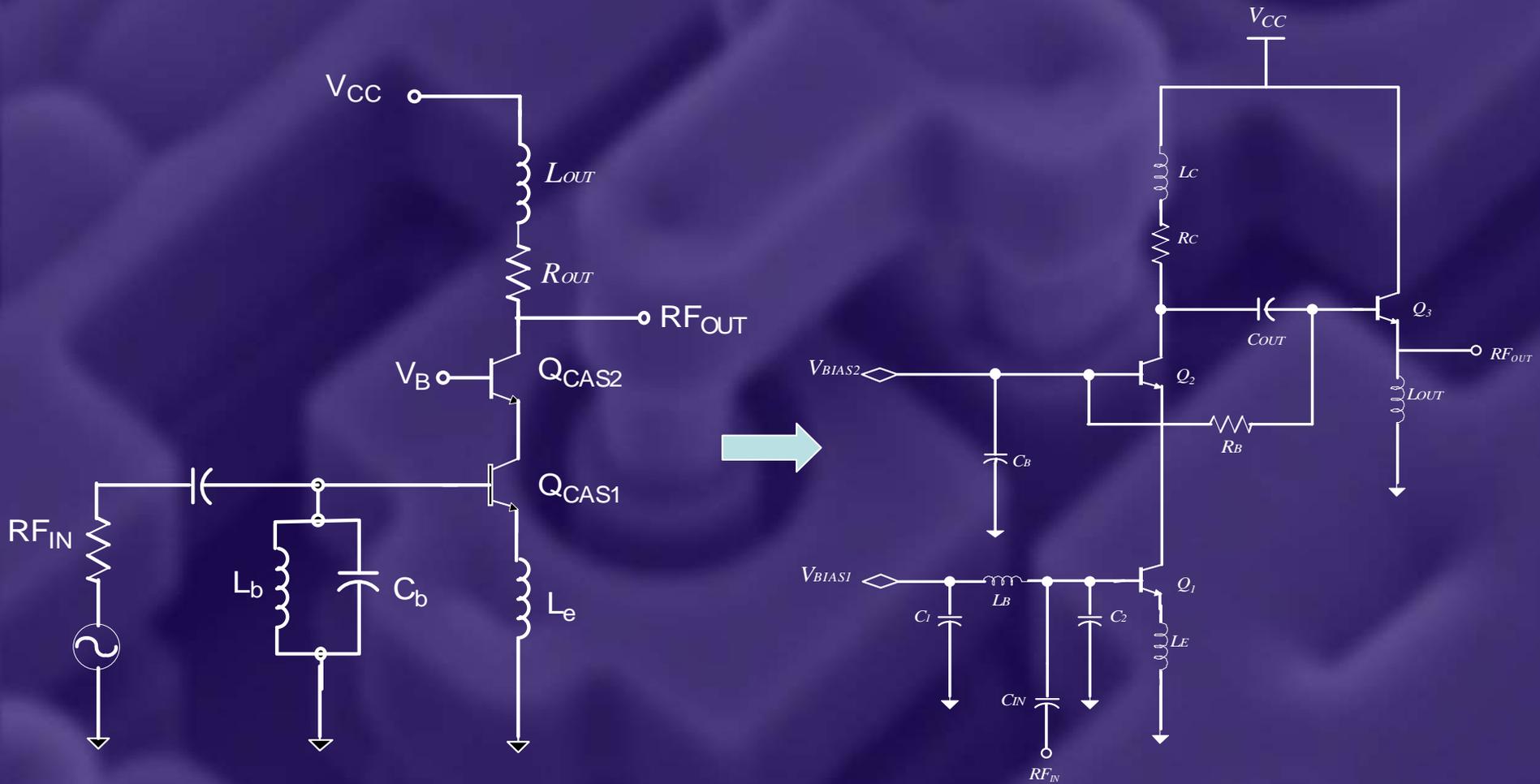
- **Estructura del Proyecto**

- Bloque 1
 - Introducción
 - Objetivos
 - Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los LNAs
 - Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS
- Bloque 2
 - Diseño a nivel de esquemático
 - Diseño a nivel de *layout*
 - Medidas
- Bloque 3
 - Conclusiones
 - Presupuesto

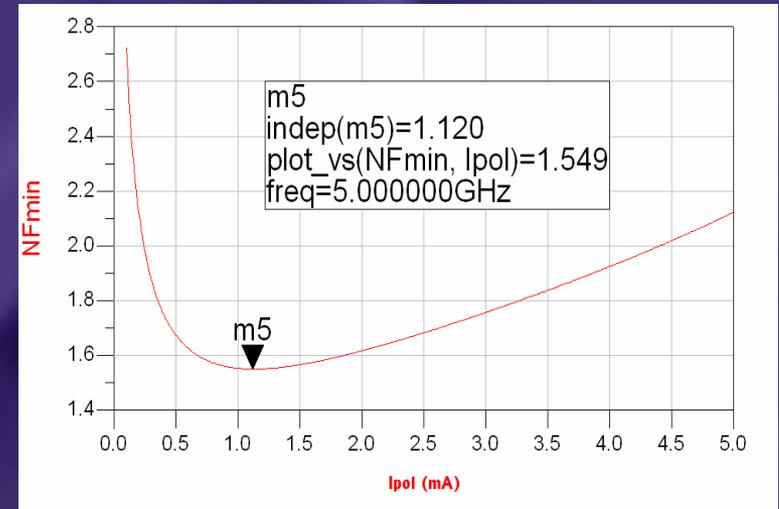
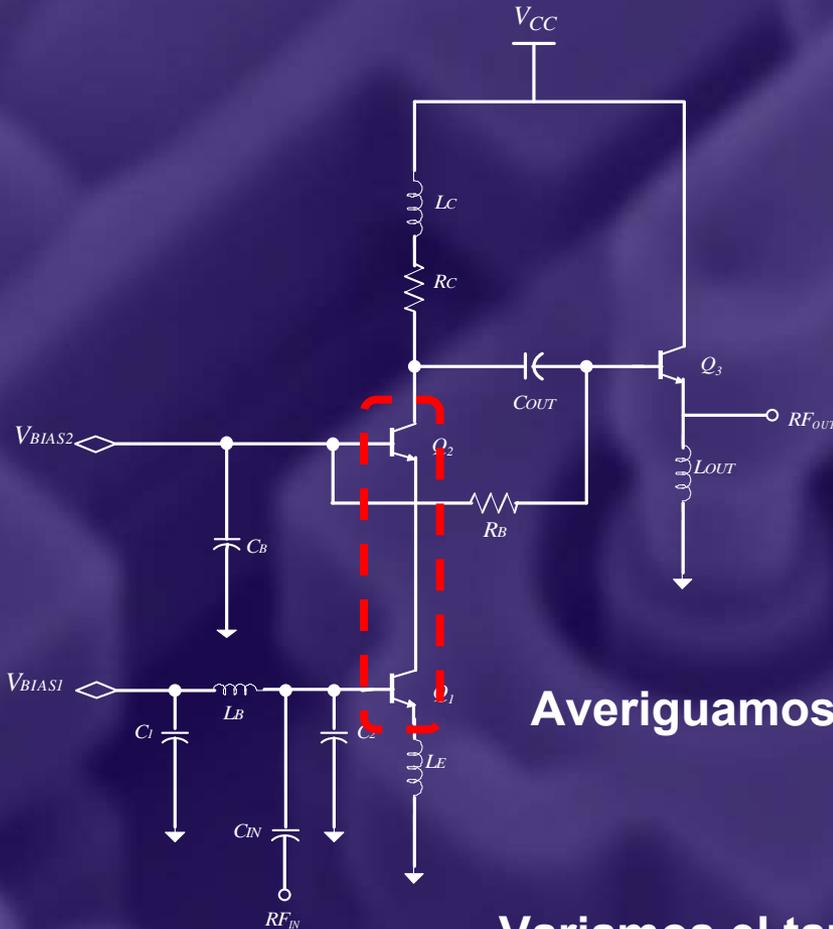
- Diseño a nivel de esquemático



- Configuración apropiada del LNA



- Polarización óptima de los transistores



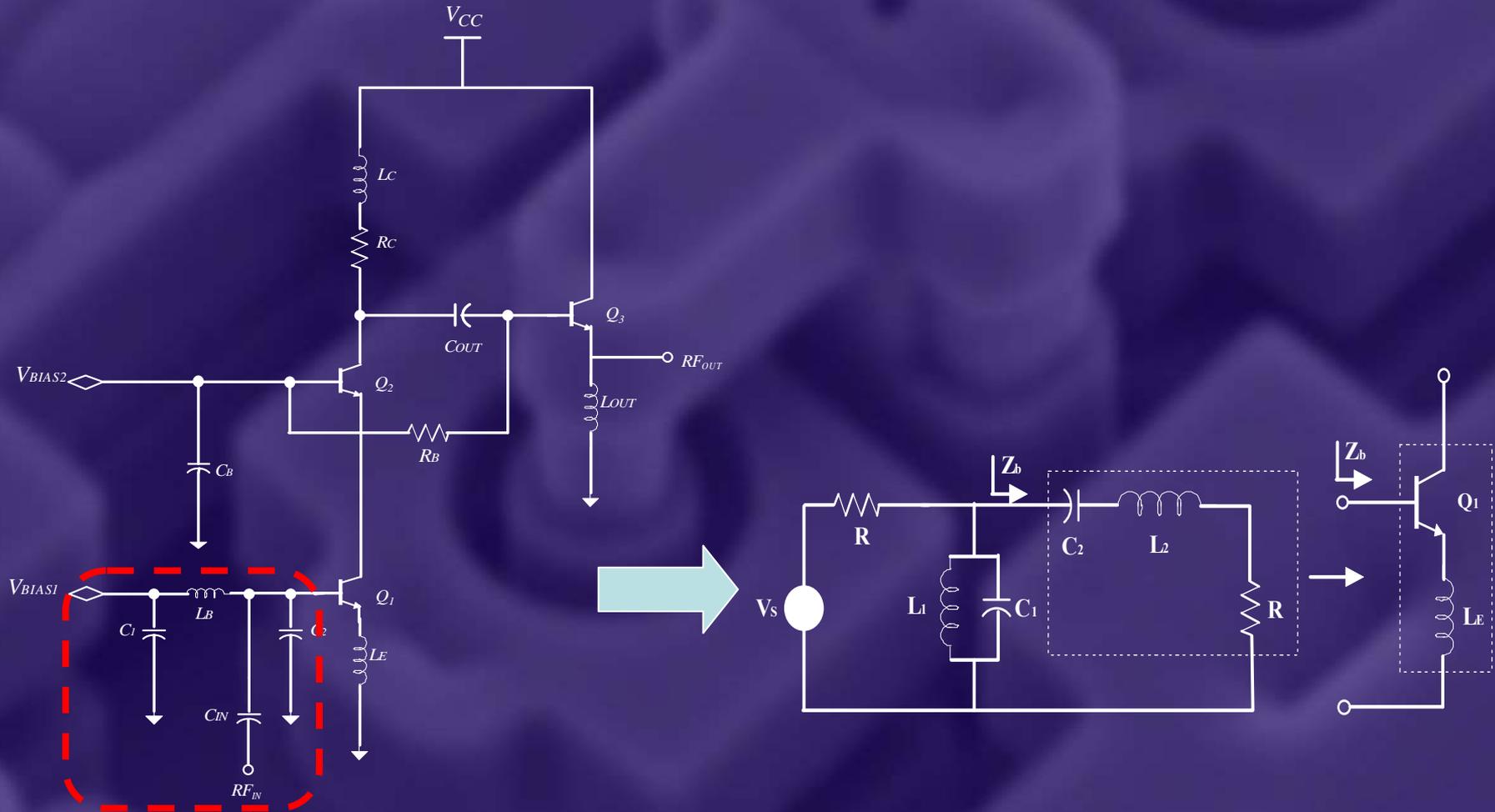
Averiguamos la $dI=I/A$ para mínimo ruido realizando barrido de I_c

$$dI = Cte$$

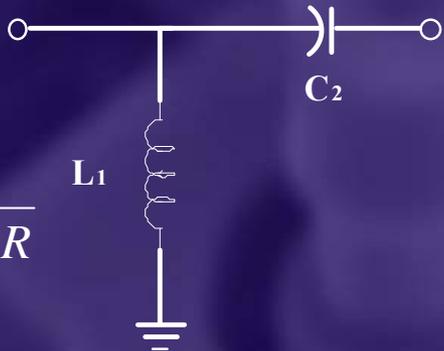
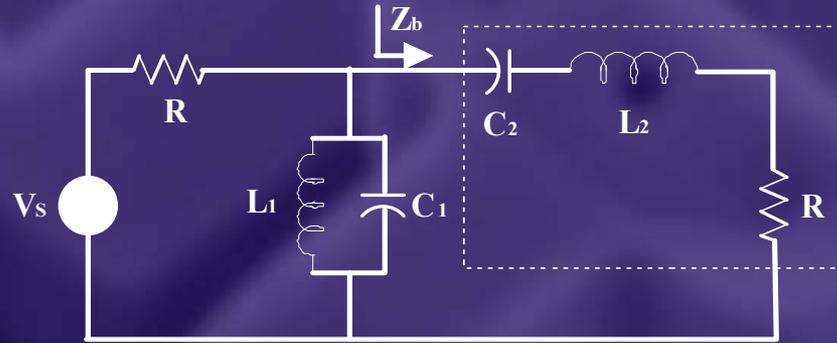
Variamos el tamaño y polarización del transistor para que

$$R_{opt} = 50 \Omega \text{ (resistencia para mínimo ruido)}$$

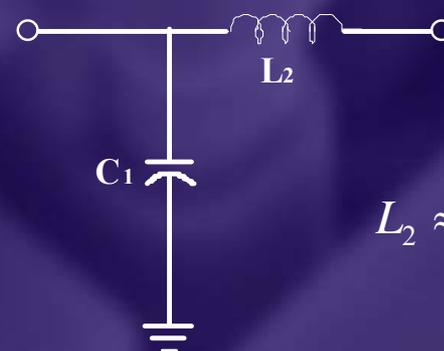
• Adaptación de entrada



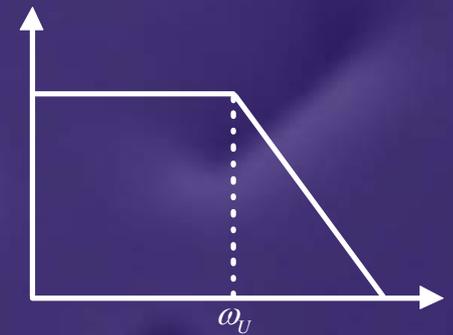
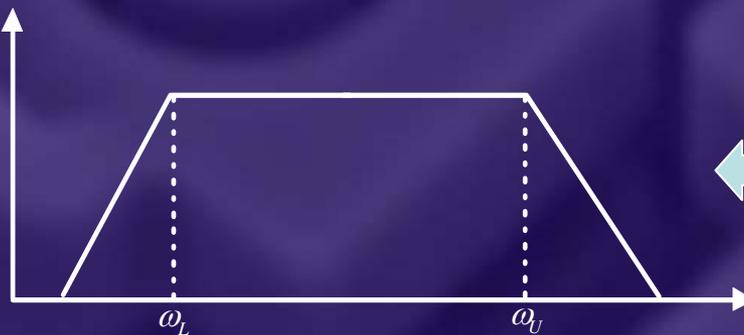
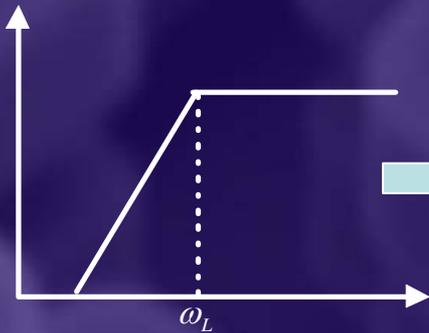
• Adaptación de entrada (II)



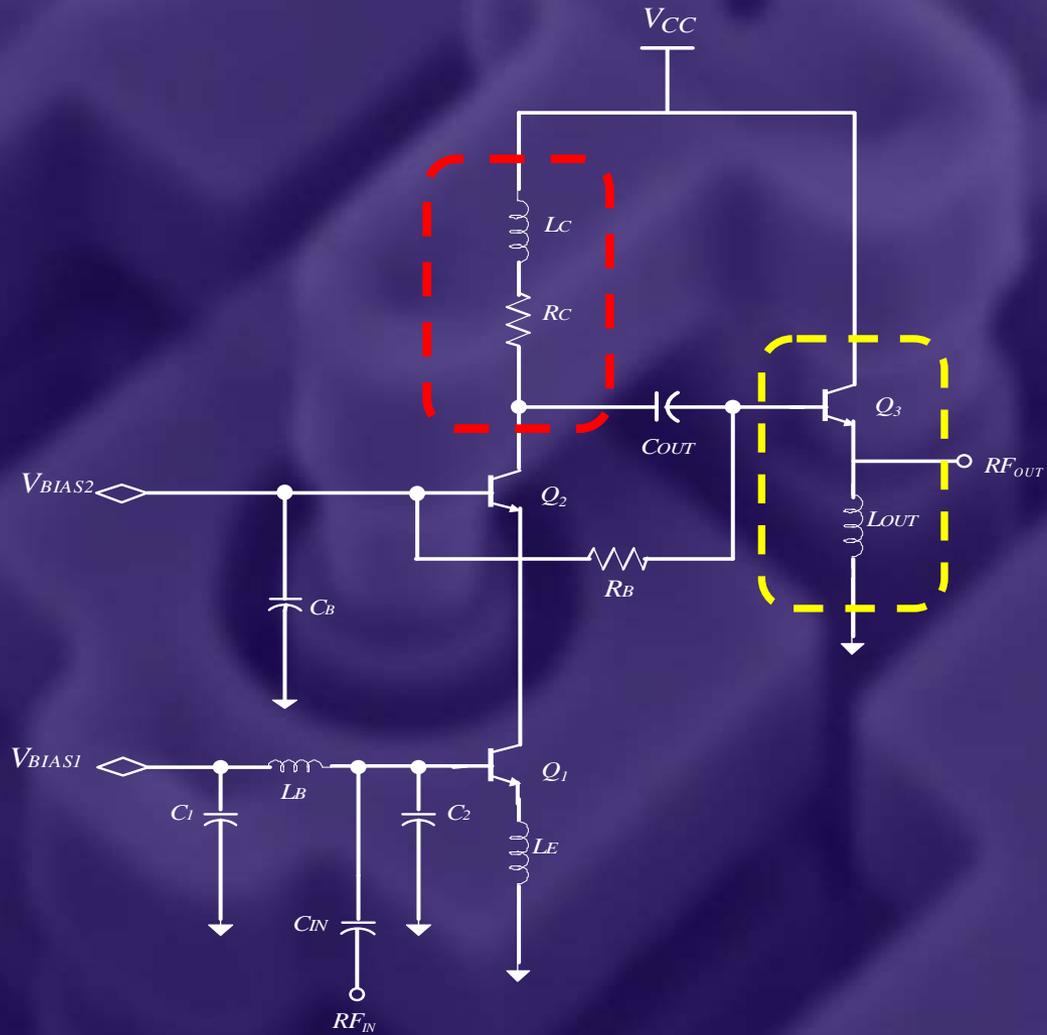
$$L_1 \approx \frac{R}{\omega_L} \quad \& \quad C_2 \approx \frac{1}{\omega_L R}$$



$$L_2 \approx \frac{R}{\omega_U} \quad \& \quad C_1 \approx \frac{1}{\omega_U R}$$



Adaptación de salida y Buffer



- Cálculo de Componentes Inductivos

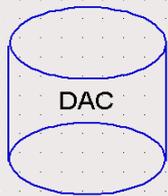
Software Imodel

The screenshot displays the IMODEL software interface with the following sections:

- Input Parameters:**
 - Numero metales: 1 Metal
 - Frecuencia: 5 GHz
 - Inductancia: 1 nH
 - Tolerancia: 0.2 nH
 - Parametro a visualizar: Q
- Buttons:** Busca inductor maximo Q, Representa Curvas de Nivel, Representa 3D, AVUDA.
- Calculated Values:**
 - Inductancia calculada: 0 nH
 - Q calculado: 0
 - Frecuencia de inicio: 0.5 GHz
 - Frecuencia final: 10 GHz
- MODELO EQUIVALENTE EN PI:** A circuit diagram showing a parallel combination of a capacitor C_p (4.4 fF) and a series combination of an inductor L_s (3.2 nH) and a resistor $R_s(f)$ (4.7 Ohm). The inductor and resistor are connected to ground through a series combination of a capacitor C_{ox} (59 fF) and a parallel combination of a resistor R_{sub} (826 Ohm) and a capacitor C_{sub} (24 fF).
- PARAMETROS GEOMETRICOS:**
 - r : 90 μm
 - w : 6 μm
 - s : 2 μm
 - n : 3.5 vueltas
- Diagram:** A 3D-like view of an octagonal inductor with parameters s (spacing) and w (width) indicated. A red arrow labeled "Calculo de parametros" points from the geometric diagram to the equivalent circuit model.
- Buttons:** RESET, SALIR, PARAMETROS.

• Cálculo de Componentes Inductivos

Integración de Imodel con ADS



DataAccessComponent

DAC5

File="Bobinas5GHz5.mdf"

Type=Discrete

Block=

InterpMode=Index Lookup

InterpDom=Rectangular

ExtrapMode=Interpolation Mode

iVar1=1

iVal1=dindex5-1

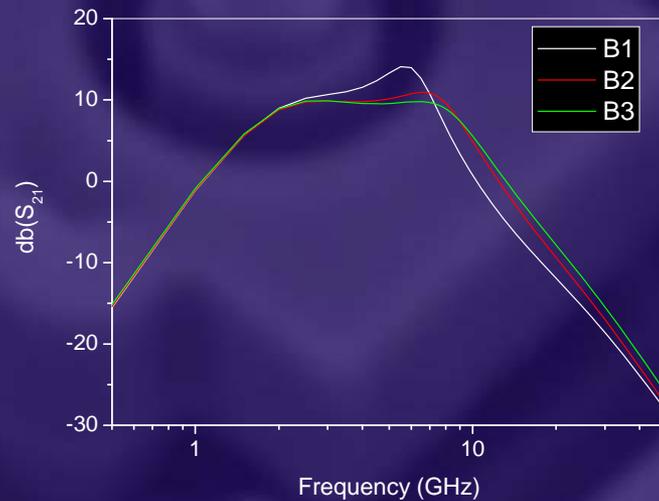
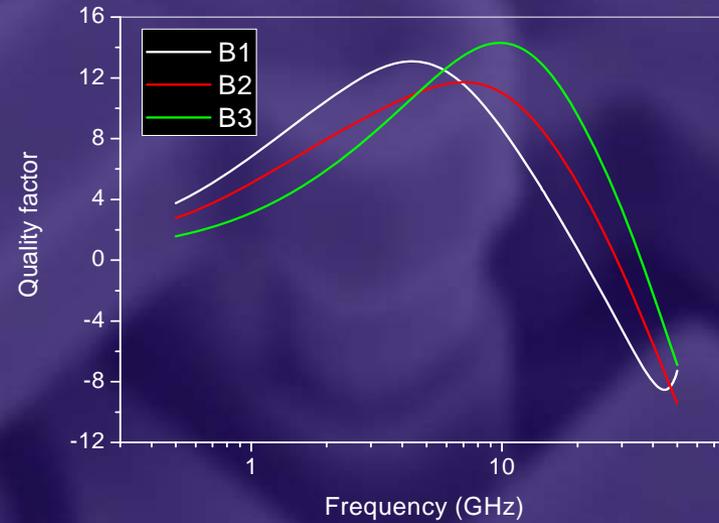
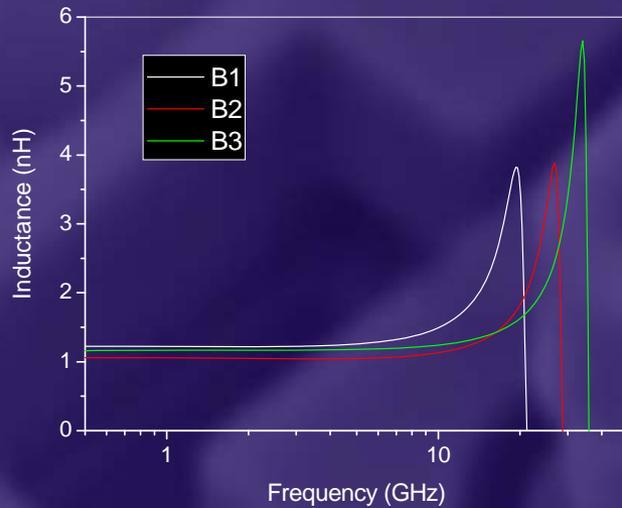
BEGIN DSCRDATA

%INDEX	Freq(GHz)	L_pedida	Qcalc	calc	Csub	Rsub	Cox	Rs_f	Cp
1	1	4.5	7.84	4.47	68.2	293	286	2.77	40.2
2	2	4.5	8.84	4.43	41.8	479	115	4.1	12.9
3	3	4.5	9.07	4.34	29	689	68.5	5.29	5.74
4	4	4.5	8.98	4.39	24.6	813	54.7	6.02	3.98
5	5	4.5	8.43	4.43	27	740	52.8	5.93	4.87
6	6	4.5	7.56	4.45	28.6	700	52	5.96	5.76
7	7	4.5	7.4	4.33	24.2	828	50.5	5.58	3.98
8	8	4.5	6.48	4.57	24.2	828	50.5	5.57	3.98
9	9	4.5	6.24	4.43	20.7	969	51.5	5.56	3.1
10	10	4.5	5.98	4.35	23.7	846	46.2	5.14	3.98

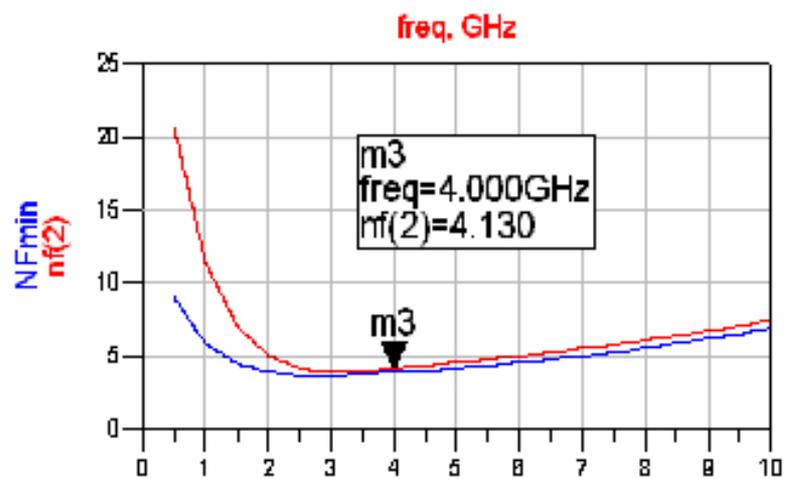
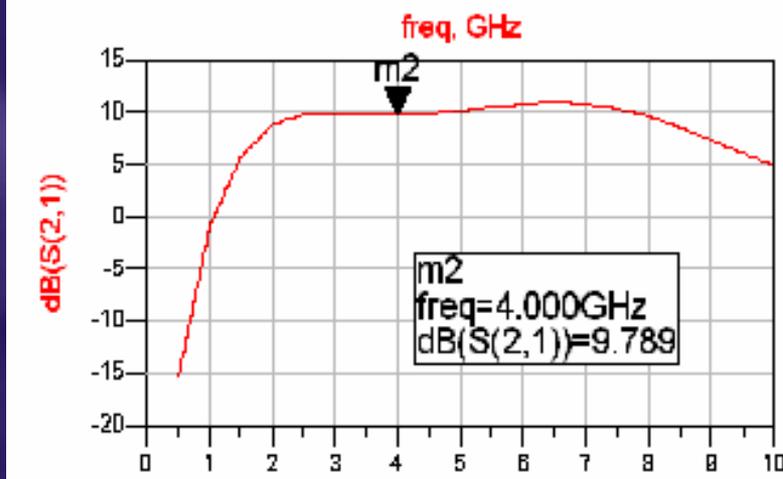
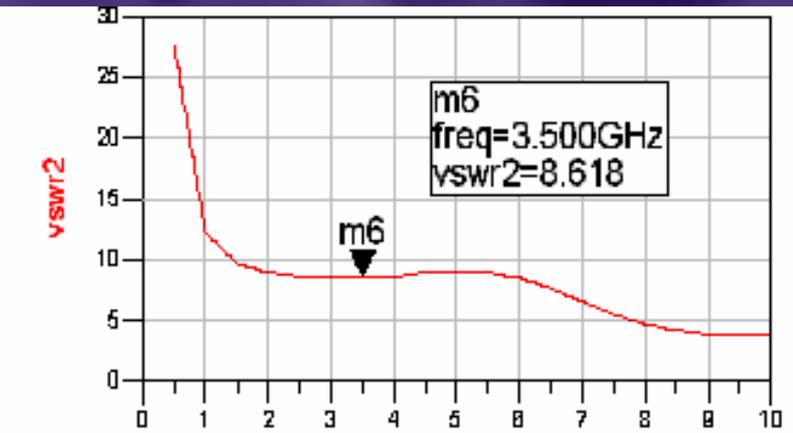
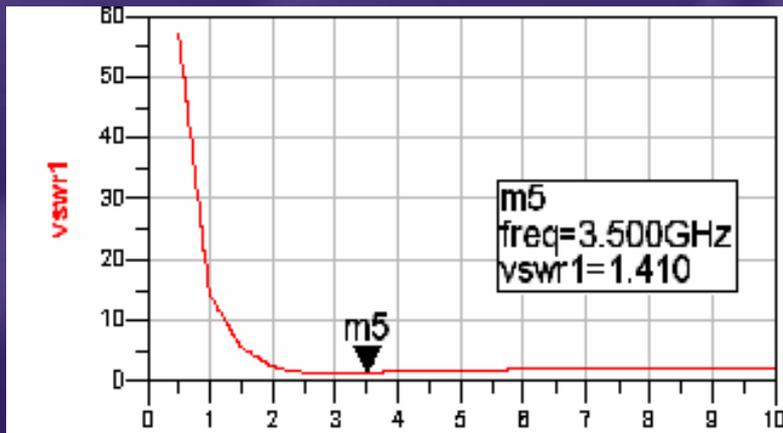
END

- Cálculo de Componentes Inductivos (II)**

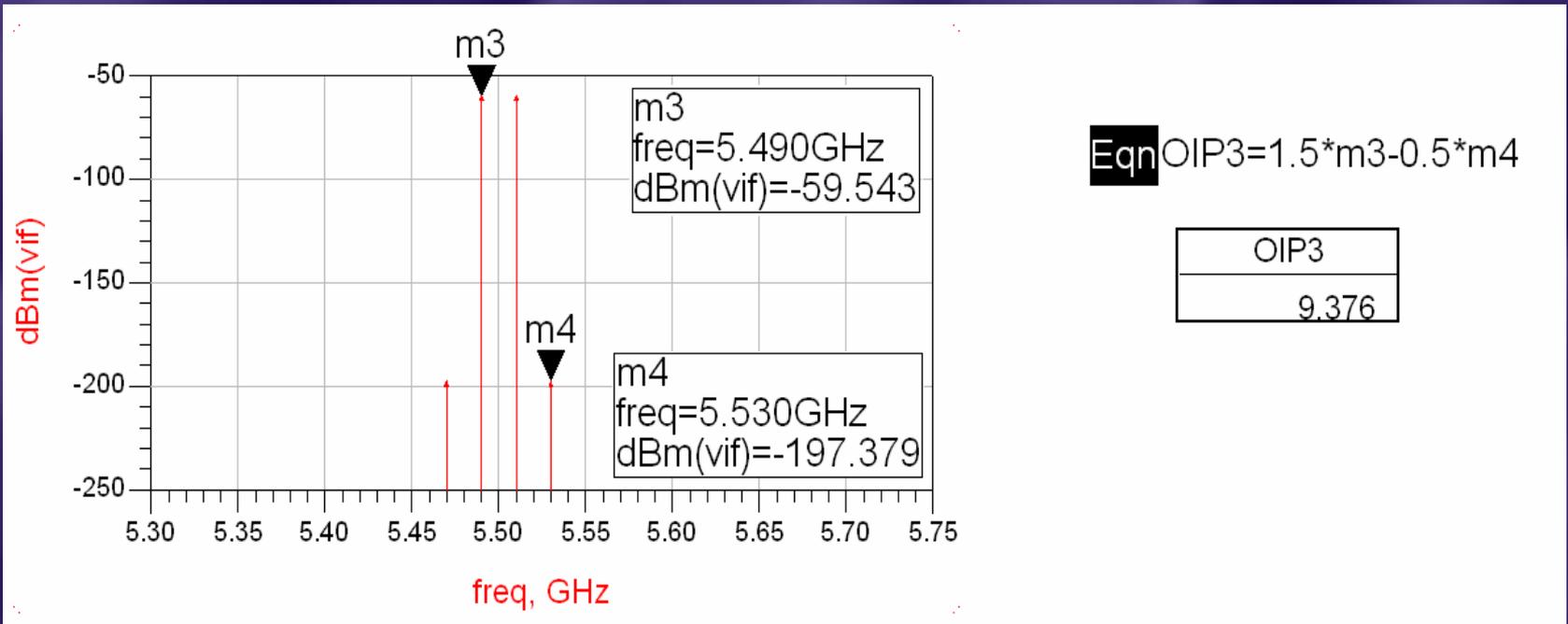
Resultados



- Resultados



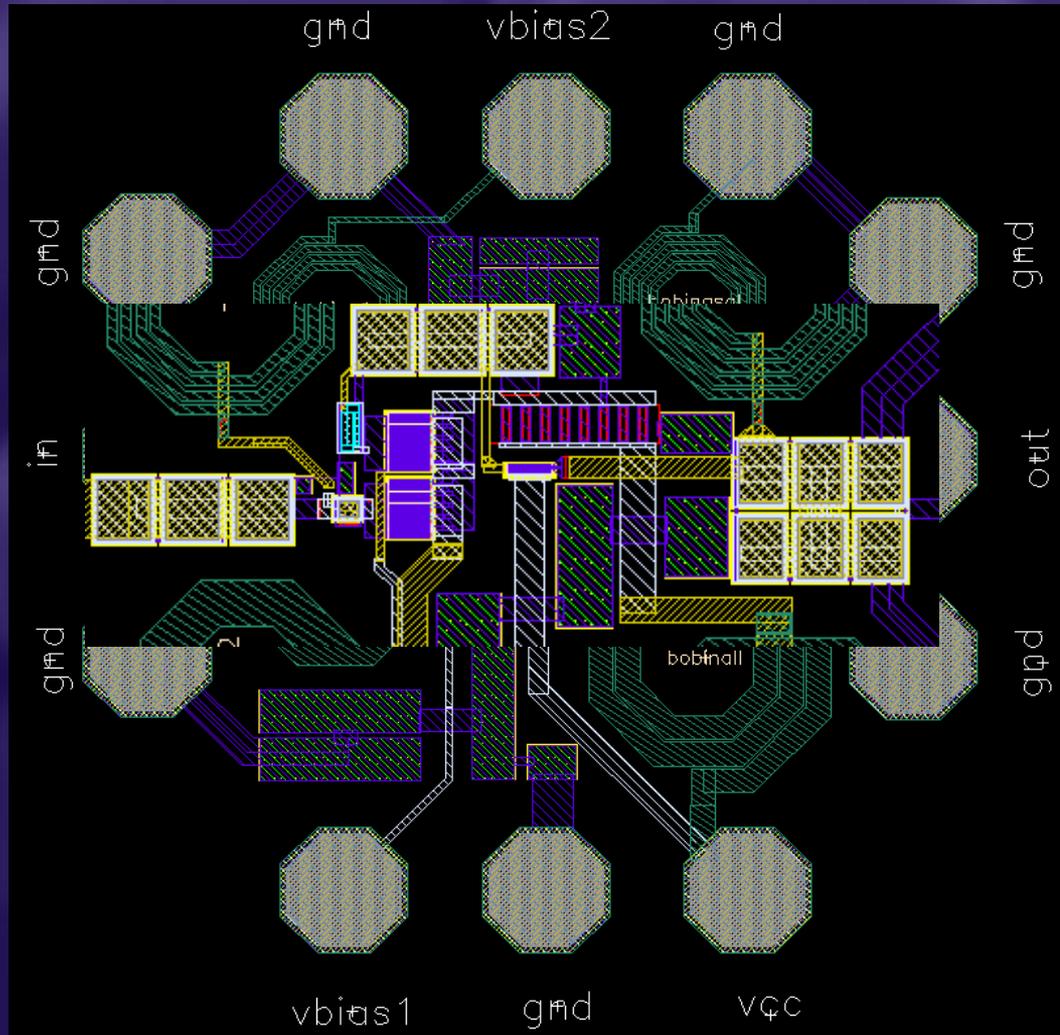
- Resultados (Cont.)



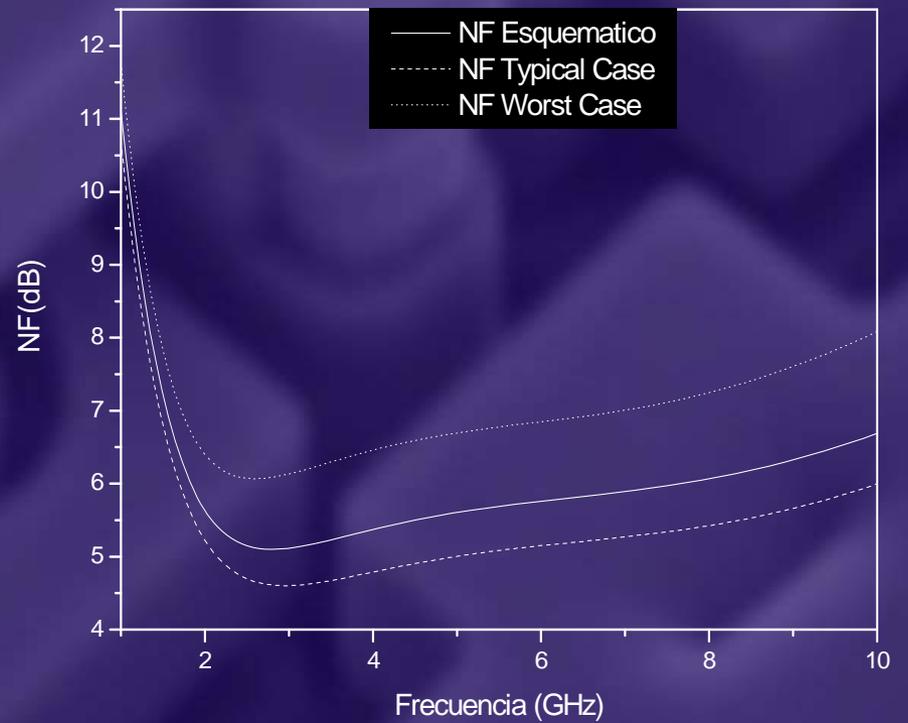
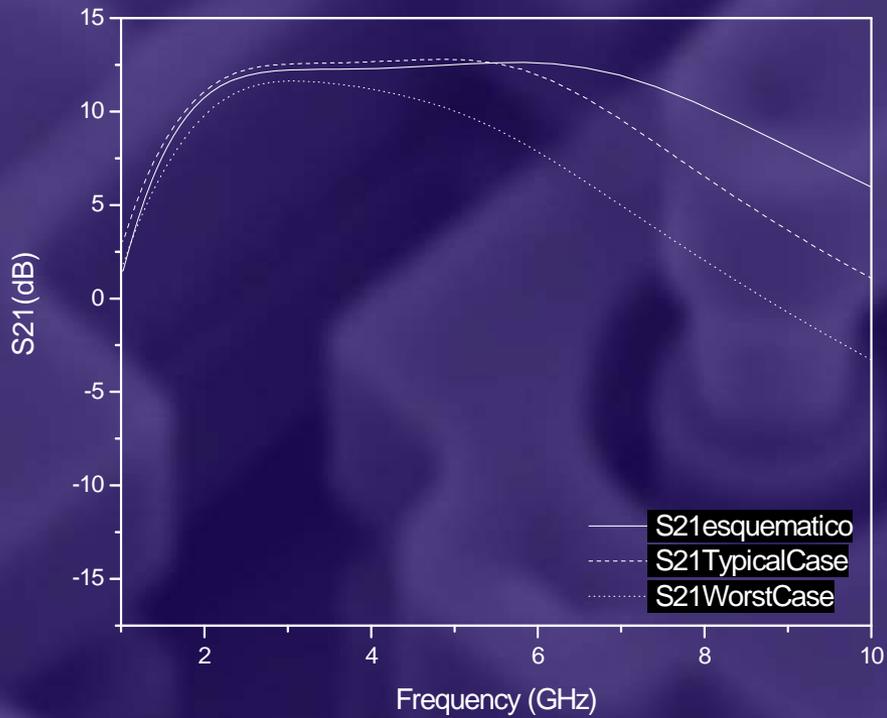
- **Estructura del Proyecto**

- Bloque 1
 - Introducción
 - Objetivos
 - Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los LNAs
 - Tecnología SiGe 0,35 mm de AMS
- Bloque 2
 - Diseño a nivel de esquemático
 - Diseño a nivel de *layout*
 - Medidas
- Bloque 3
 - Conclusiones
 - Presupuesto

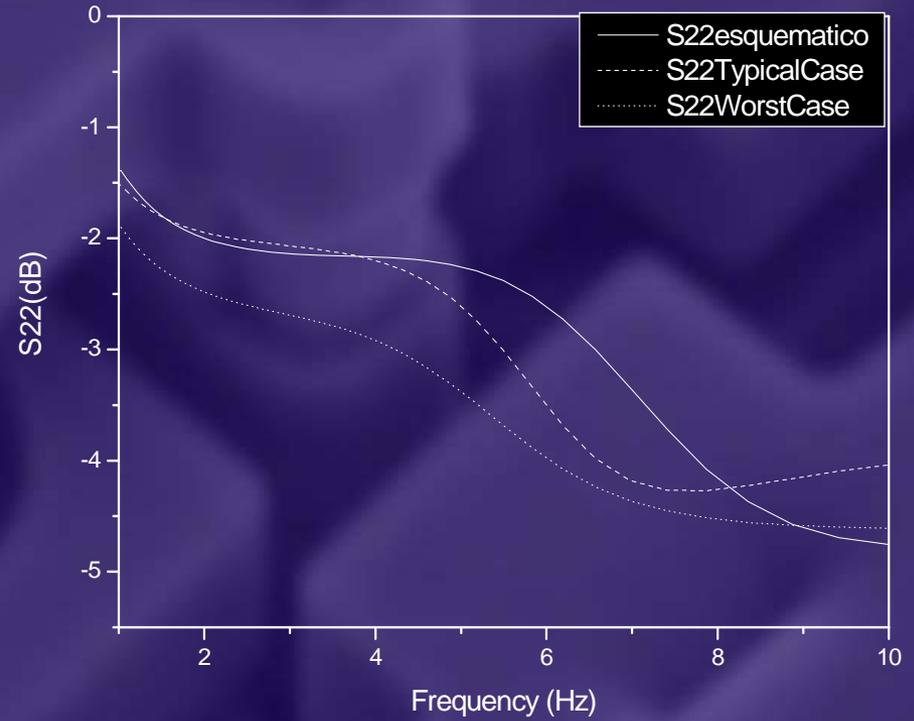
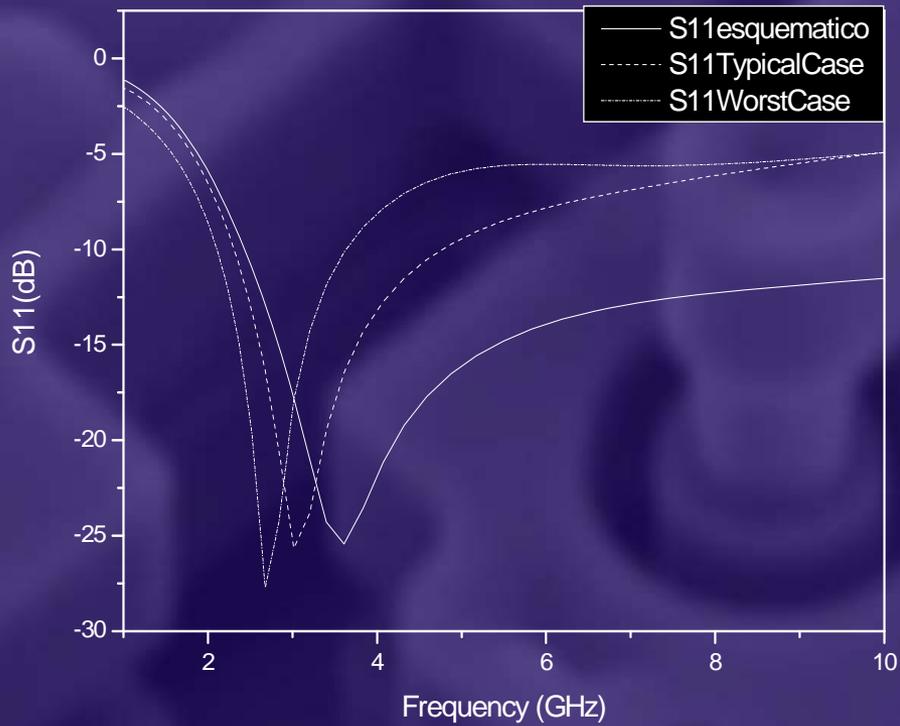
- Diseño a nivel de *layout*



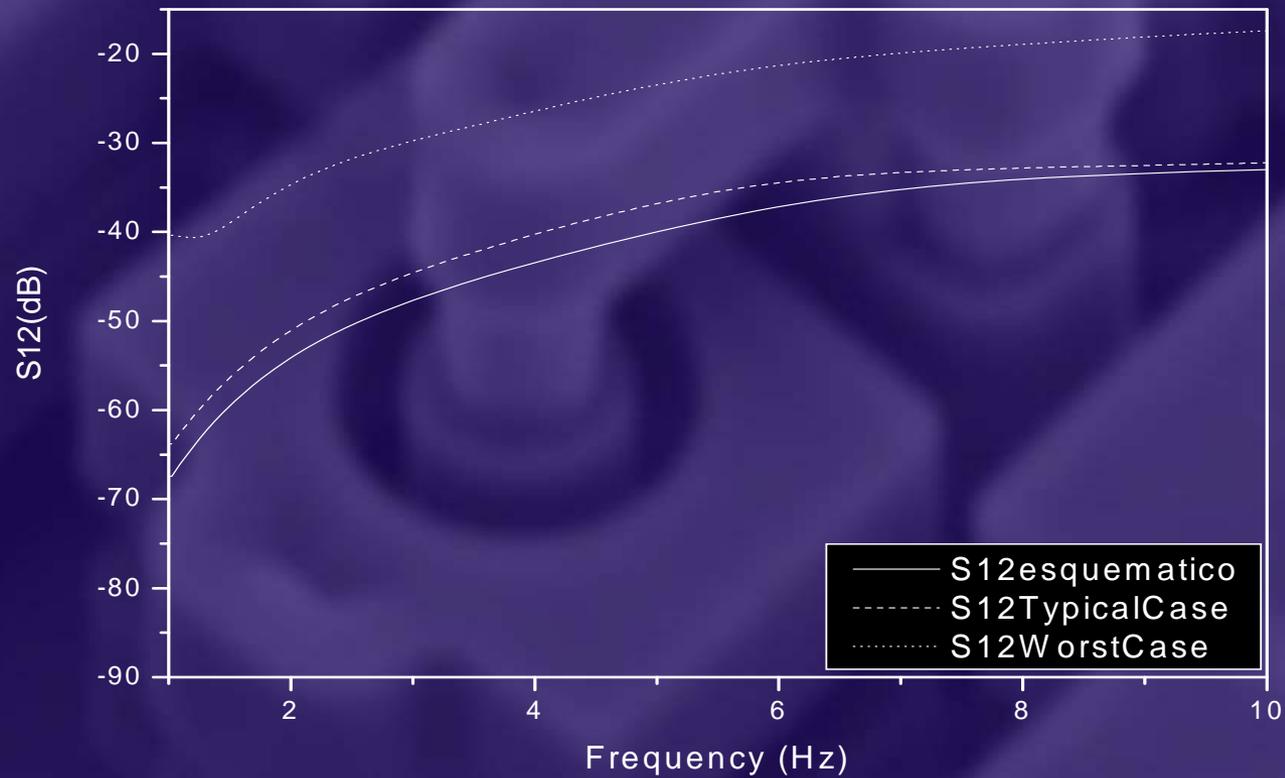
Simulaciones Post-Layout



Simulaciones Post-Layout (II)



Simulaciones Post-Layout (III)

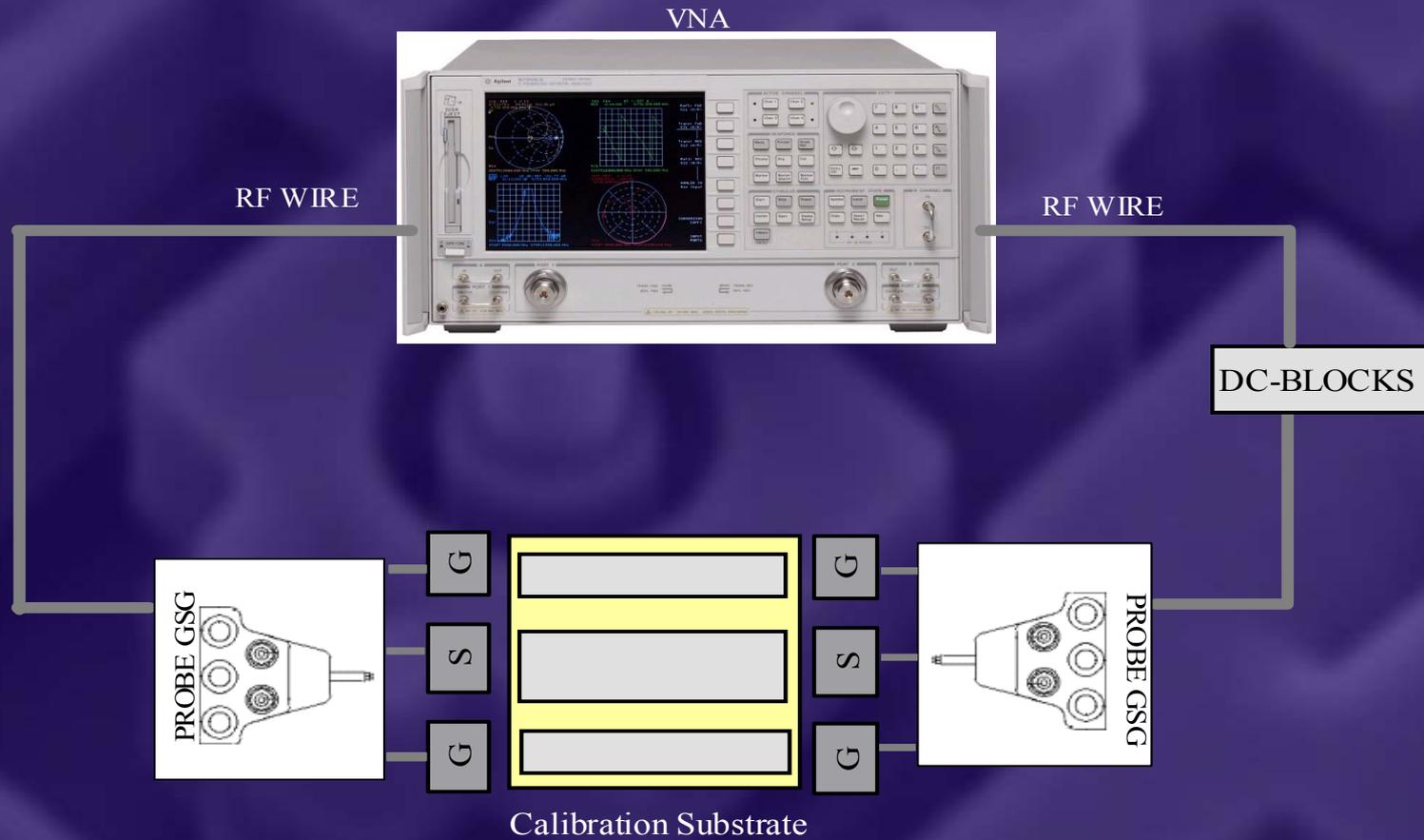


- **Estructura del Proyecto**

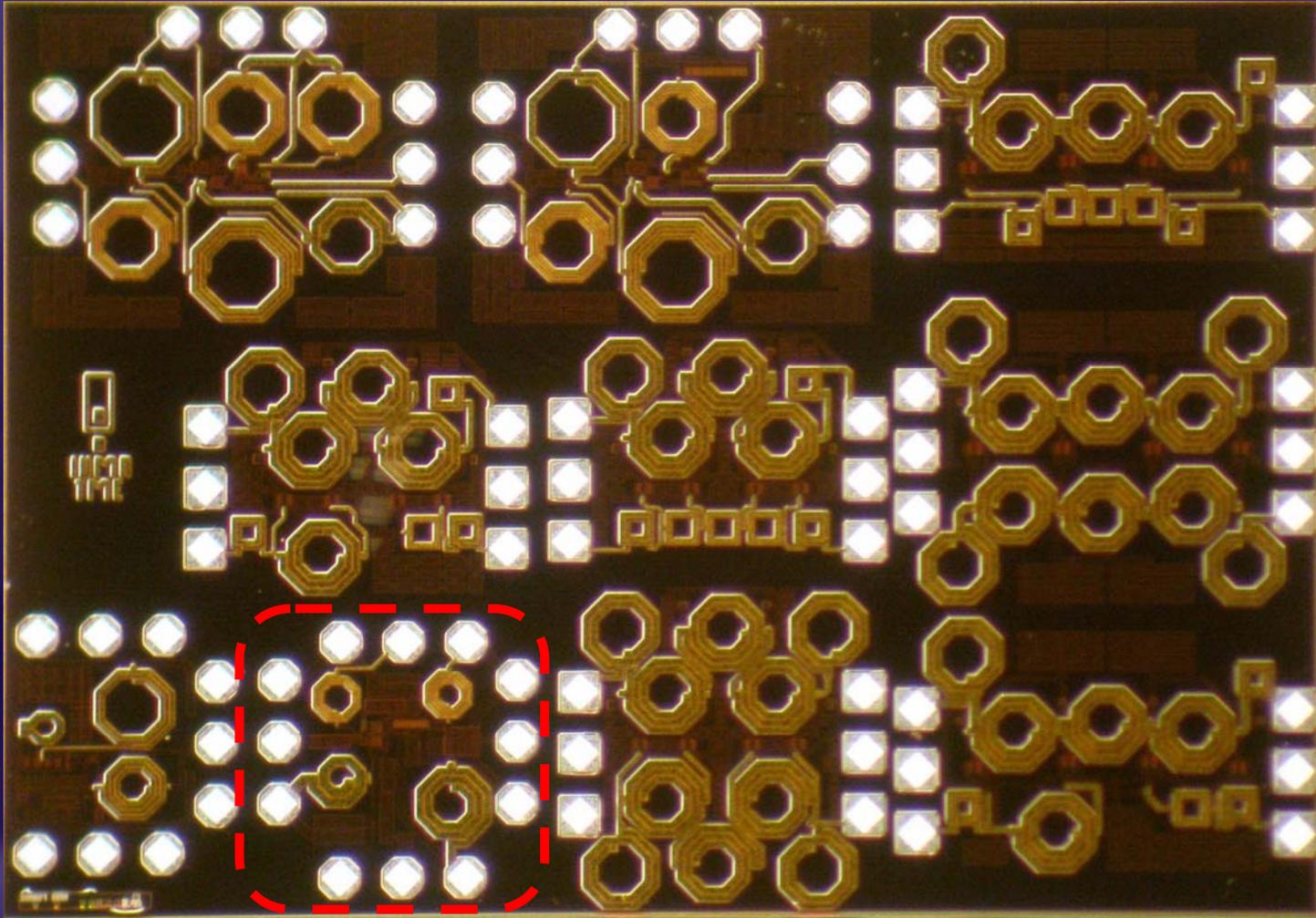
- Bloque 1
 - Introducción
 - Objetivos
 - Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los LNAs
 - Tecnología SiGe 0,35 mm de AMS
- Bloque 2
 - Diseño a nivel de esquemático
 - Diseño a nivel de layout
 - Medidas
- Bloque 3
 - Conclusiones
 - Presupuesto

- Medidas

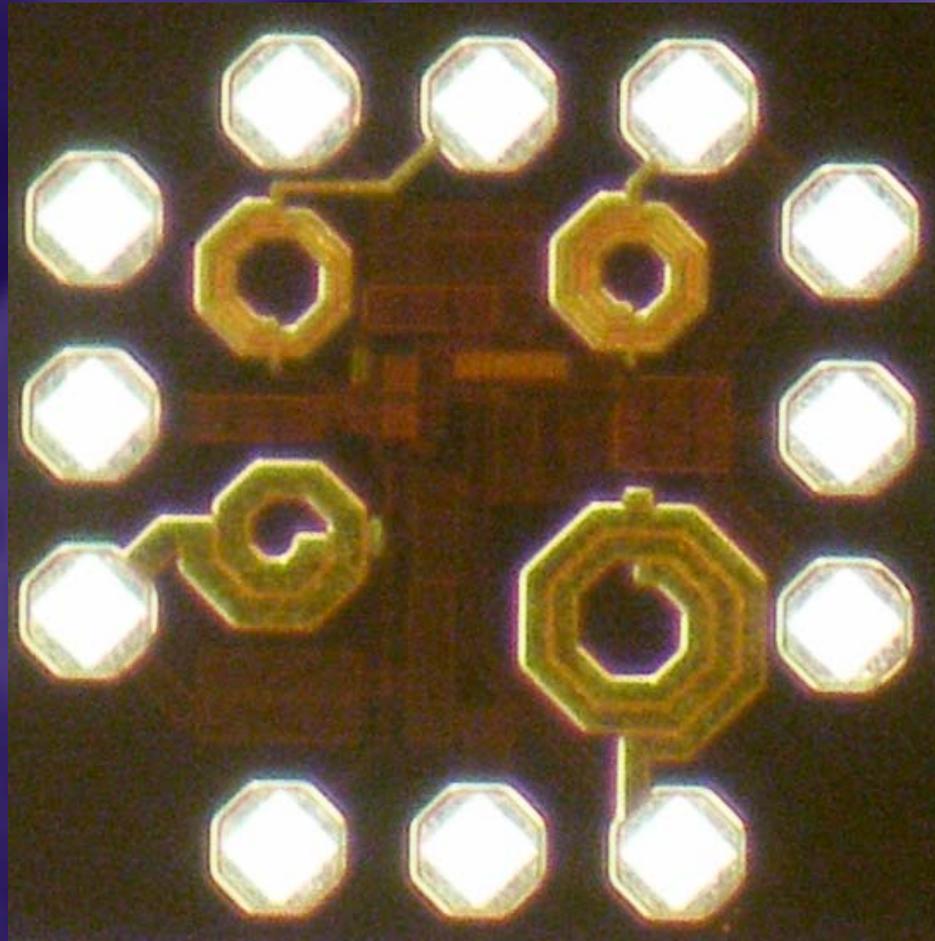
Calibración



- Run de Fabricación

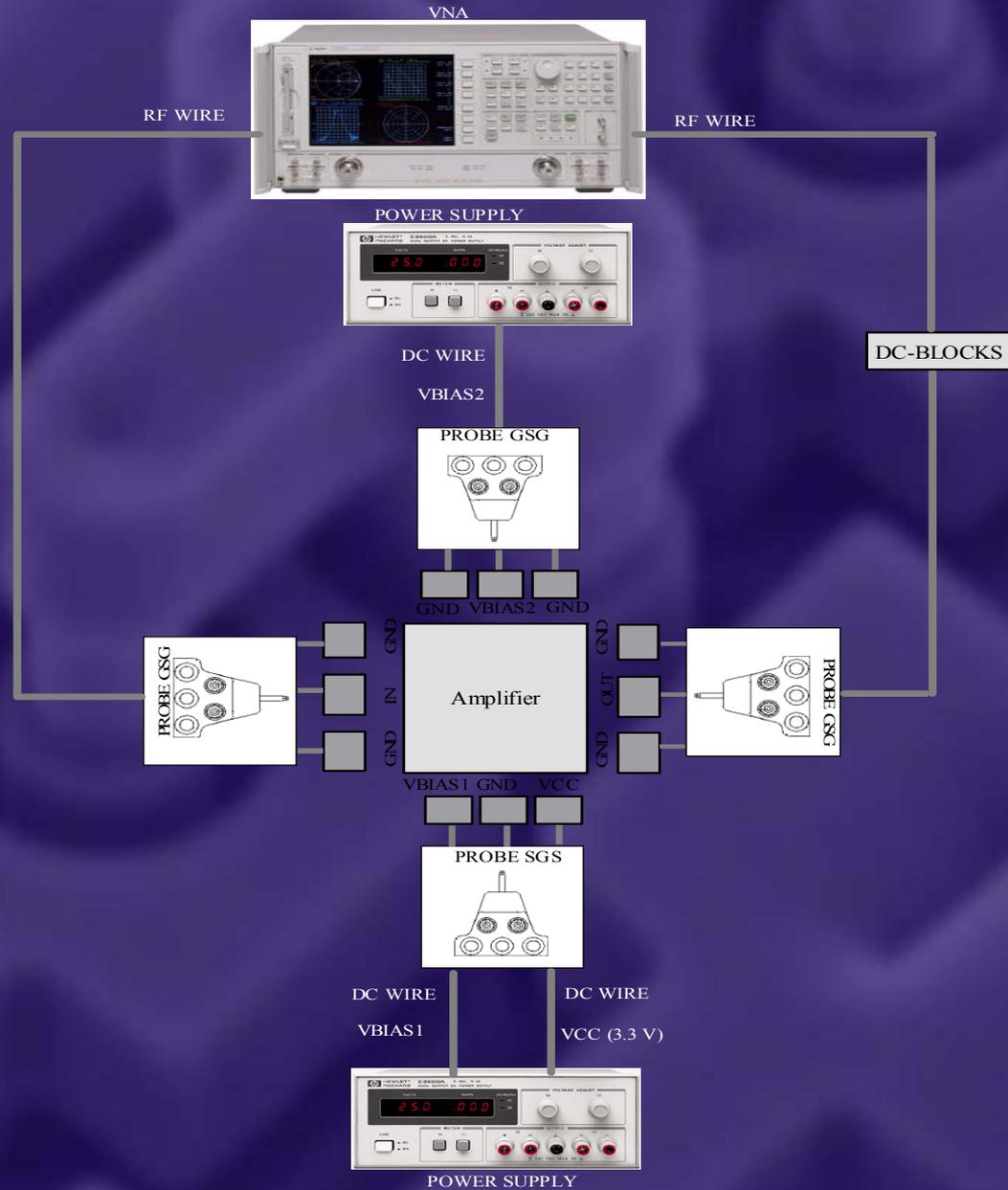


- Fotografía del Chip



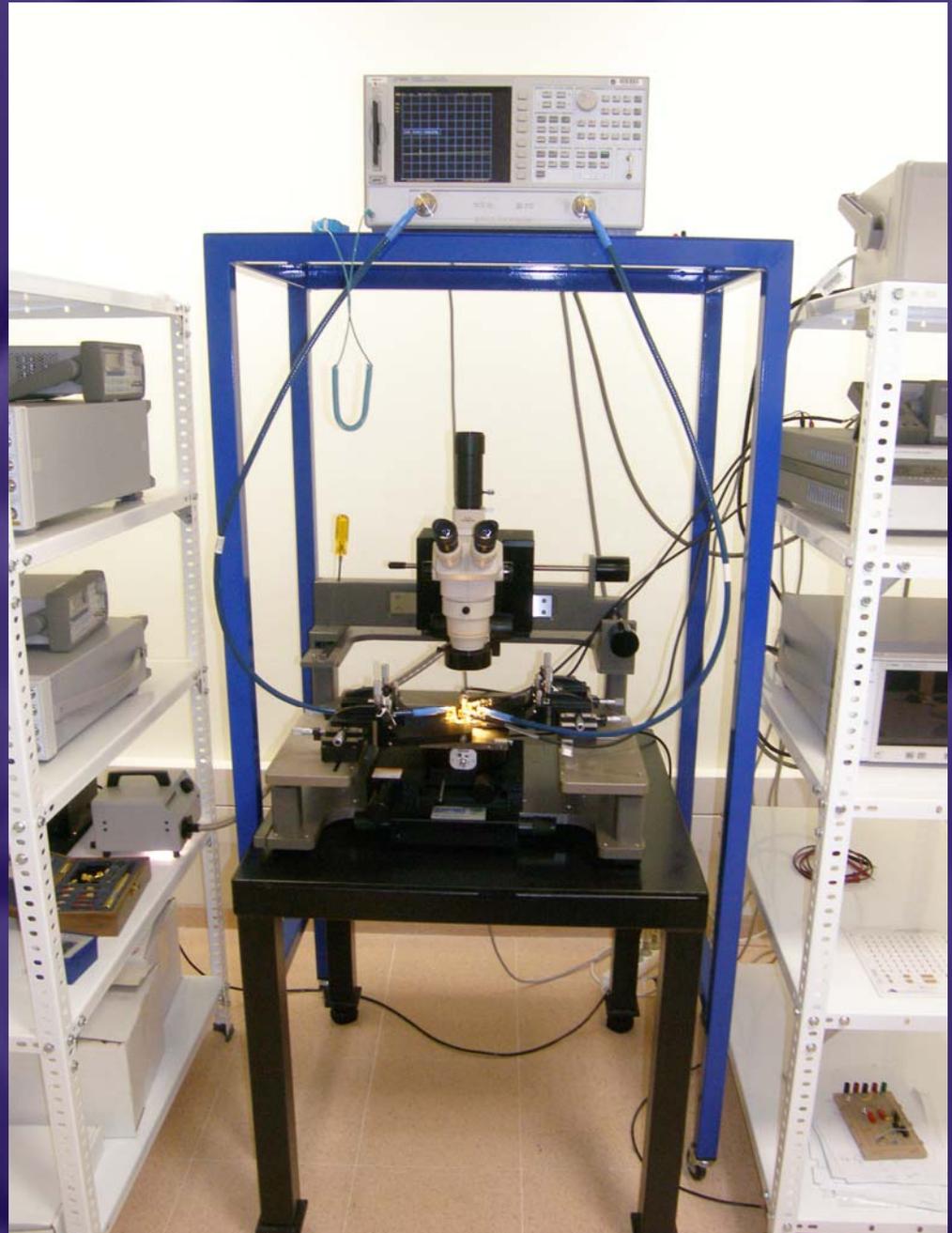
- Medidas

Set-up de medidas

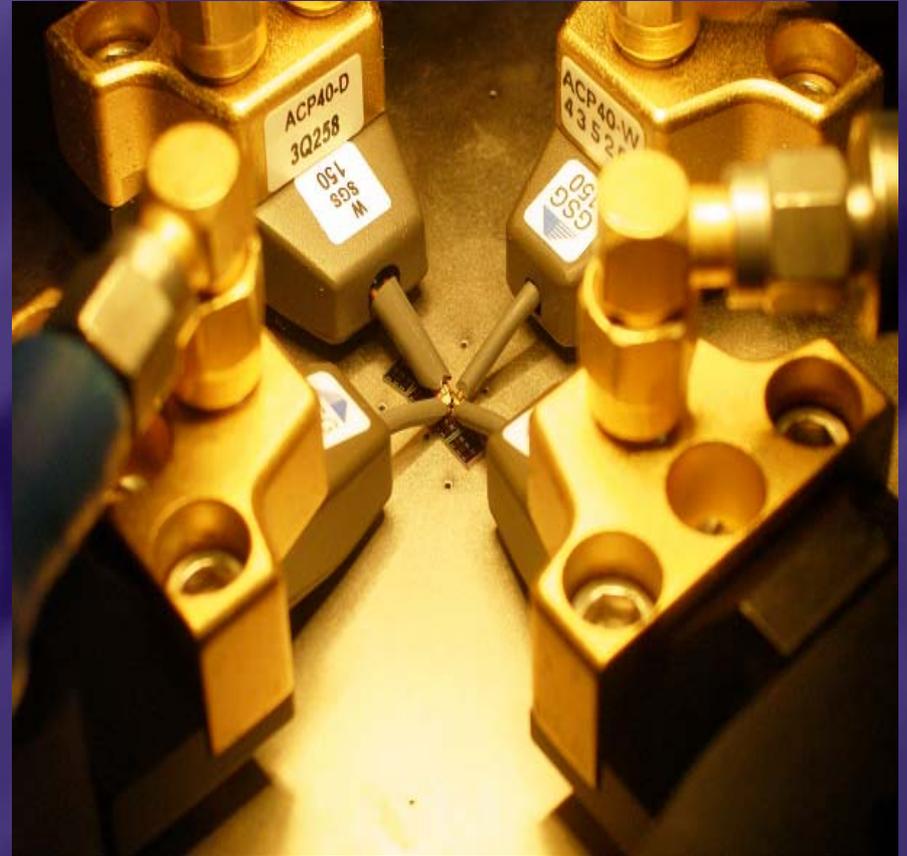
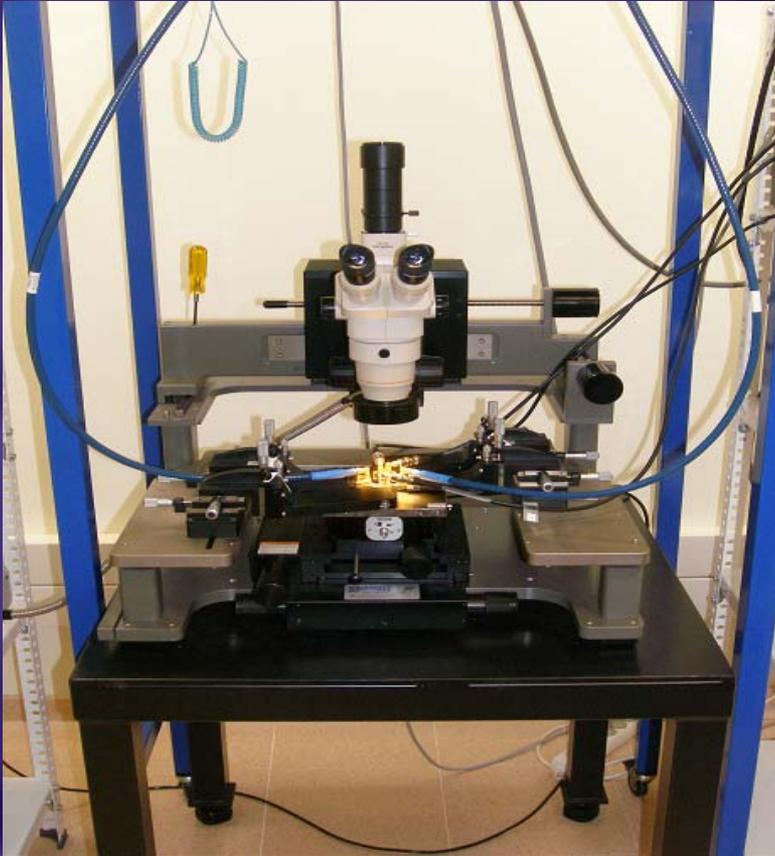


- Medidas

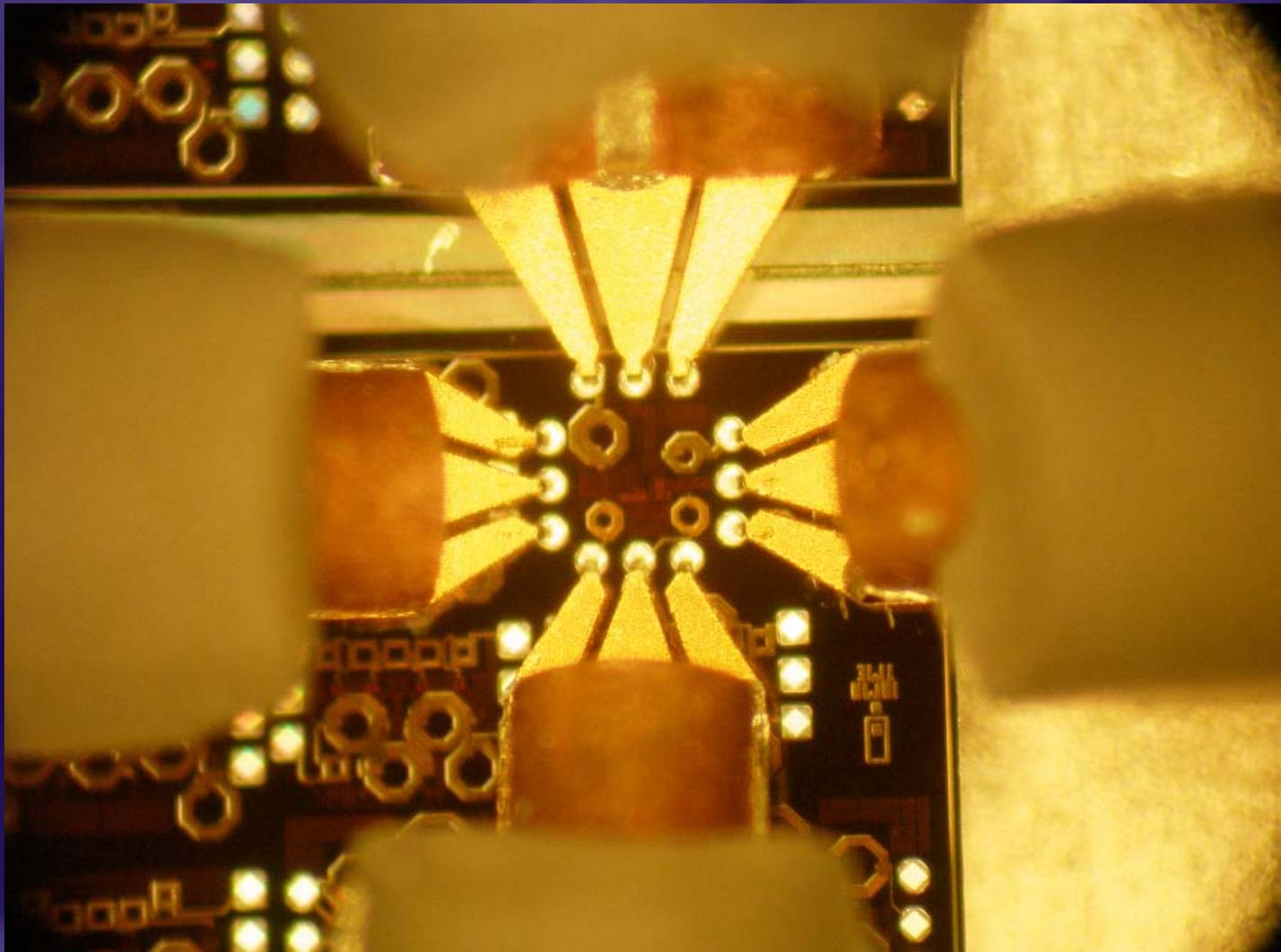
Set-up de medidas



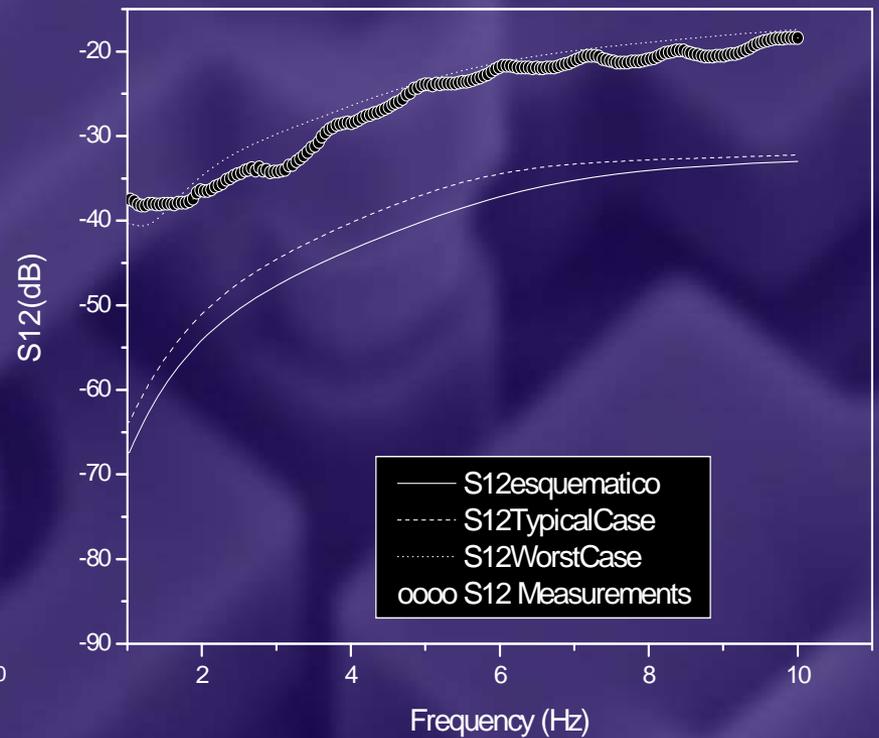
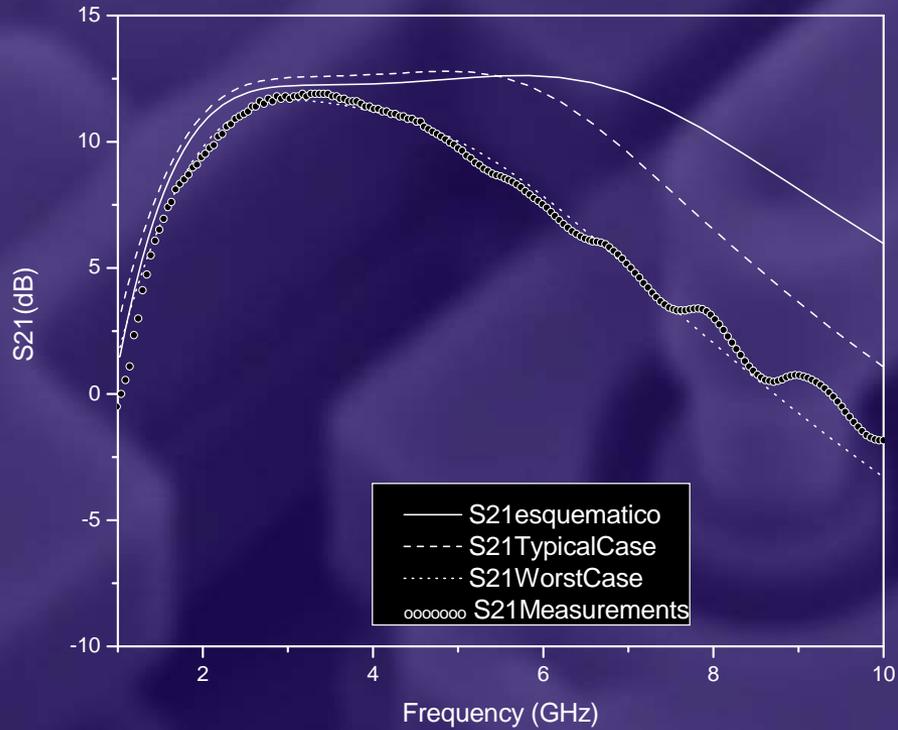
- Medidas



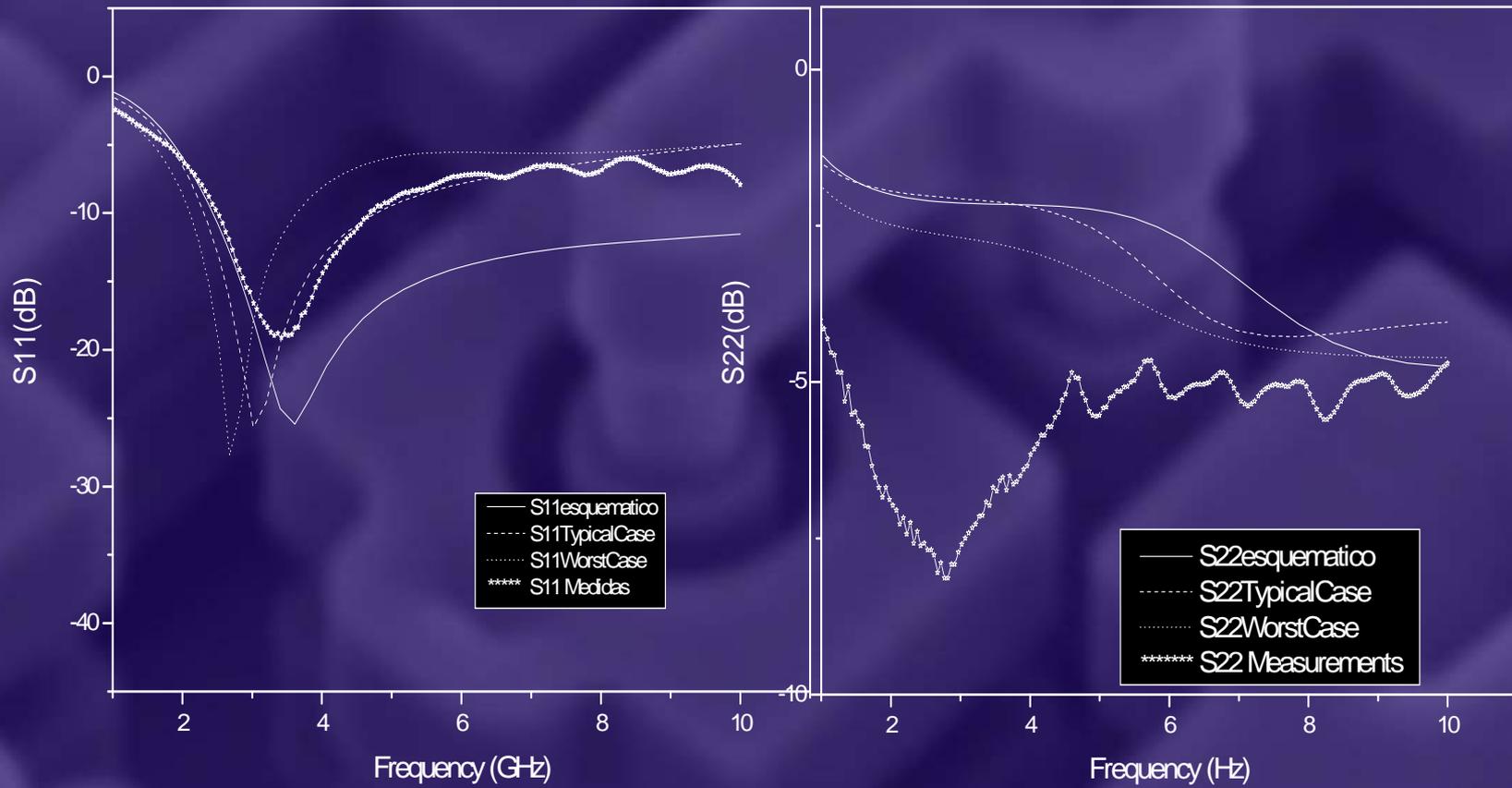
- Medidas



- Resultados (I)



- Resultados (II)



- **Estructura del Proyecto**

- Bloque 1**
 - Introducción
 - Objetivos
 - Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los LNAs
 - Tecnología SiGe 0,35 mm de AMS
- Bloque 2**
 - Diseño a nivel de esquemático
 - Diseño a nivel de layout
 - Medidas
- Bloque 3**
 - Conclusiones
 - Presupuesto

- Conclusiones

Figura de Mérito

$$FOM = \left(\frac{P_{1dB}}{P_{NOISE}} \right) \left(\frac{1}{P_{DC}} \right) \left(\frac{BW}{f_T} \right)$$

Estudio Comparado

Referencia	TIPO (*)	Ganancia (dB)	BW (GHz)	NF (dB)	P_{1dB} (dBm)	f_T (GHz)	P_{DC} Núcleo (mW)	Tecnología	FOM
[42]	DA	13,7	6,9	2,4	4,7	15,4	35	CMOS (0.25 μm)	13689,32
[41]	BA	21	10	2,5	5,86	90	30	SiGe (0.18 μm)	53594,11
[43]	DA	12,2	6	5,1	-3	43,5	35	CMOS (0.18 μm)	9190,45
[8]	BA	9,3	6,9	4	-16,3	50	9	CMOS (0.18 μm)	4201,06
[31]	BA	12	15	3	-7,6	50	23,76	SiGe (0.5 μm)	17337,94
Este trabajo	BA	11,6	8,5	5,5	-0,264	70	12	SiGe (0.35 μm)	46394,07

• Conclusiones

- Se ha diseñado, fabricado y medido un LNA de UWB en tecnología SiGe 0,35 μm que cubre la banda correspondientes a los modos 1 y 2 .
- La tecnología SiGe 0.35 μm 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.

• Conclusiones

- Publicaciones en congresos internacionales:

- H. García, R. Pulido, J. del Pino, S. L. Khemchandani, A. Goñi, A. Hernández, “A 3-10 GHz SiGe LNA for Ultrawideband Applications ”, XXI Conference on Design of Circuits and Integrated Systems DCIS 2006.
 - H. García, R. Pulido, J. del Pino, S. L. Khemchandani, A. Goñi, A. Hernández , “A 3-10 GHz Ultrawideband SiGe LNA with Wideband LC Matching Network”, SPIE VLSI Circuits and Systems 2007.
- Las técnicas desarrolladas en este trabajo se están aplicando en otras estructuras como: LNA doblado, LNA sintonizado múltiple, LNA realimentado, etc.

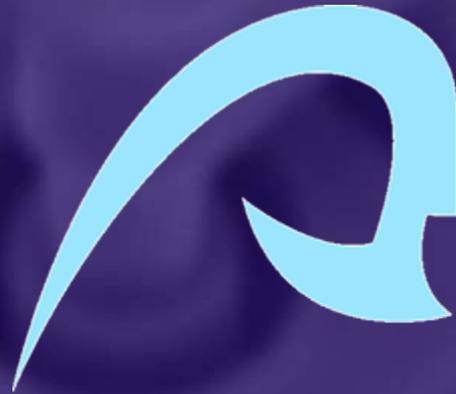
- **Estructura del Proyecto**

- Bloque 1**
 - Introducción
 - Objetivos
 - Estándar IEEE 802.15.3a
 - Características de los LNAs
 - Tecnología SiGe 0,35 mm de AMS
- Bloque 2**
 - Diseño a nivel de esquemático
 - Diseño a nivel de layout
 - Medidas
- Bloque 3**
 - Conclusiones
 - Presupuesto

- Presupuesto

Descripción	Gastos
Costes de recursos humanos	241,41€
Costes de ingeniería	29.696,00€
Costes de amortización	204€
Costes de fabricación	2259€
Otros costes	151,00€
PRESUPUESTO FINAL	32551,41€
I.G.I.C (5%)	1627,57€

***Diseño de un amplificador de bajo ruido (LNA)
para el estándar inalámbrico UWB en
tecnología SiGe 0.35 μm***



Autor: Jesús Rubén Pulido Medina

ETSIT Ingeniería Electrónica

ULPGC

Tutor: Francisco Javier del Pino Suárez

Cotutora: Amaya Goñi Iturri

Mayo de 2007

Proyecto Fin de Carrera