

Diseño de un LNA multibanda integrado con carga sintonizable y adaptación de entrada de banda ancha



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

EUITT Sistemas Electrónicos

Autor: Gustavo Alexis Pérez Ruiz

Tutor: Francisco Javier del Pino Suárez

Fecha: Junio 2008

Cotutor: Sunil Lalchand Khemchandani

PROYECTO FIN DE CARRERA



Índice

BLOQUE 1

- **Introducción**
- **Objetivos**
- **Estudio de los principales estándares para terminales móviles**
- **LNAs Multibanda**
- **Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS**

BLOQUE 2

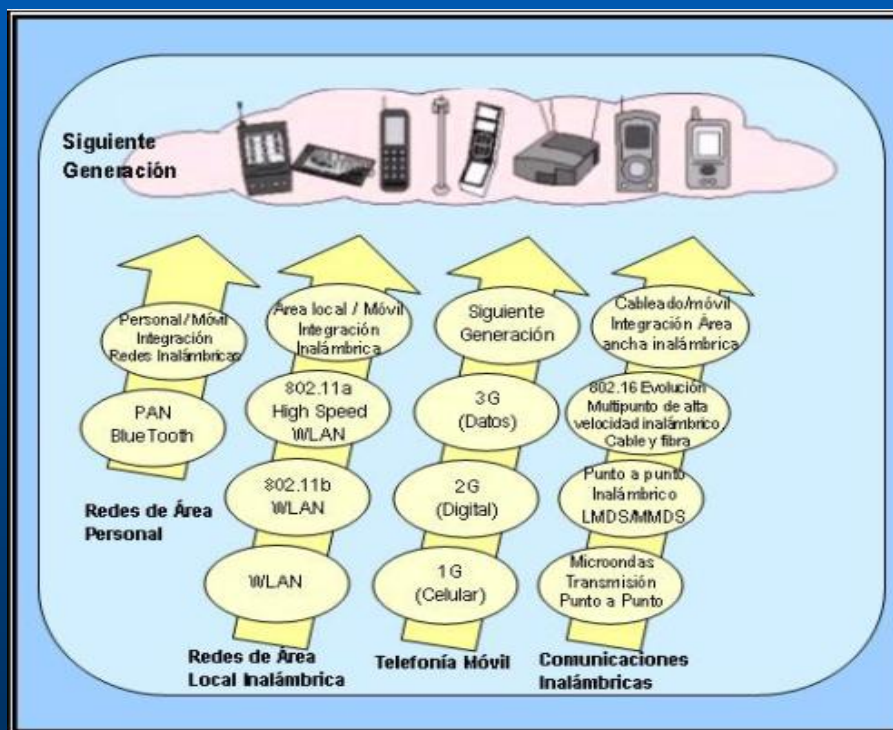
- **Diseño a nivel de esquemático**
- **Diseño a nivel de *layout***
- **Medidas**

BLOQUE 3

- **Conclusiones**
- **Presupuesto**

Introducción

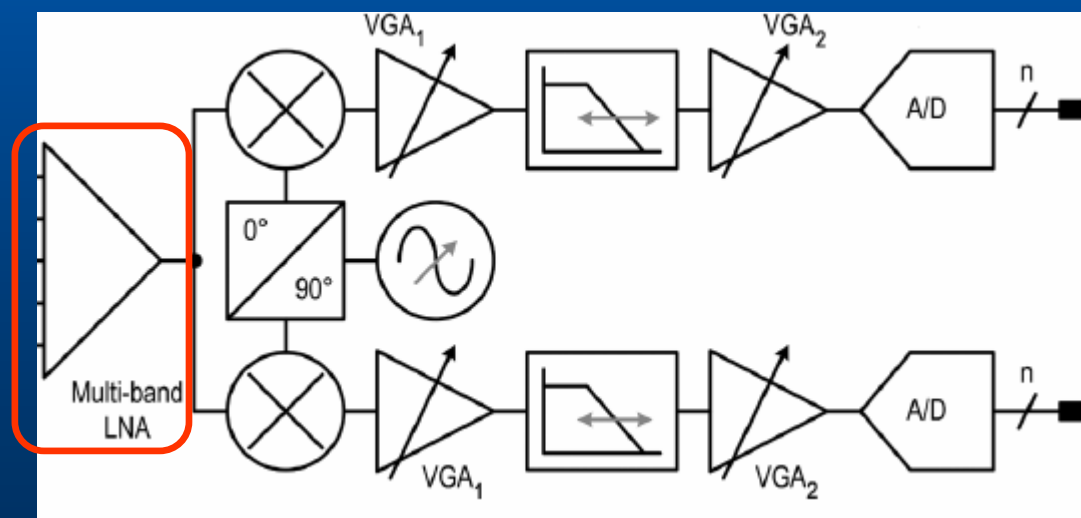
- Lograr que tanto las comunicaciones inalámbricas como móviles funcionen en un mismo dispositivo para ofrecer múltiples aplicaciones y servicios



Introducción

➤ El factor que permite esta evolución es la disponibilidad de terminales multiestándar

-Uso de receptores Cero-IF





Índice

BLOQUE 1

- **Introducción**
- Objetivos
- Estudio de los principales estándares para terminales móviles
- LNAs Multibanda
- 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 multibanda integrado con carga sintonizable y adaptación de entrada de banda ancha, en tecnología SiGe 0,35 μ m de AMS**
- **Verificación de la validez de la tecnología empleada en la implementación de dicho LNA**



Índice

BLOQUE 1

- **Introducción**
- **Objetivos**
- Estudio de los principales estándares para terminales móviles
- **LNAs Multibanda**
- **Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS**

BLOQUE 2

- **Diseño a nivel de esquemático**
- **Diseño a nivel de *layout***
- **Medidas**

BLOQUE 3

- **Conclusiones**
- **Presupuesto**



Estudio de los principales estándares para terminales móviles

- **Características de los sistemas de RF**
- **Principales estándares usados para terminales móviles**



Estudio de los principales estándares para terminales móviles

▶ Características de los sistemas de RF

- **Ganancia**
- **Figura de ruido (NF)**
- **Punto de intercepción de tercer orden (IP3)**
- **Coefficiente de onda estacionario (VSWR)**



Estudio de los principales estándares para terminales móviles

➤ Características de los sistemas de RF

➤ Ganancia

- La ganancia de un circuito determina la relación entre las amplitudes de la señal de salida y la señal de entrada.

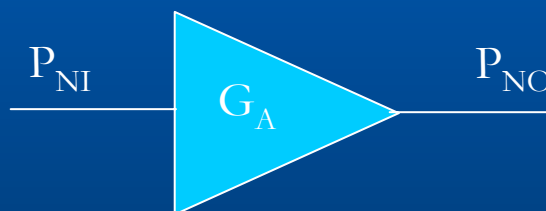
$$G = \frac{V_{salida}}{V_{entrada}}$$

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



Estudio de los principales estándares para terminales móviles

- Características de los sistemas de RF
 - Figura de ruido (NF)



$$P_{Ni} = k \cdot T \cdot B$$

$$F = \frac{P_{No}}{P_{Ni} \cdot G_A}$$

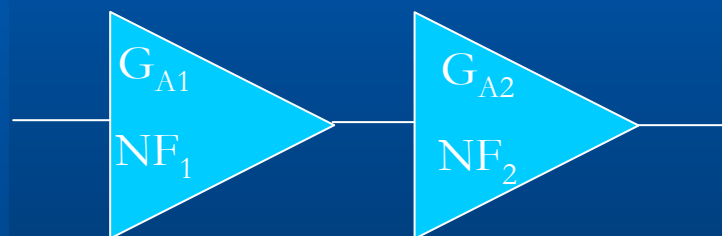
$$G_A = P_{So} / P_{Si}$$

$$NF = \frac{P_{Si} / P_{Ni}}{P_{So} / P_{No}} = \frac{SNR_i}{SNR_o}$$



Estudio de los principales estándares para terminales móviles

- Características de los sistemas de RF
 - Figura de ruido (NF) (cont.)



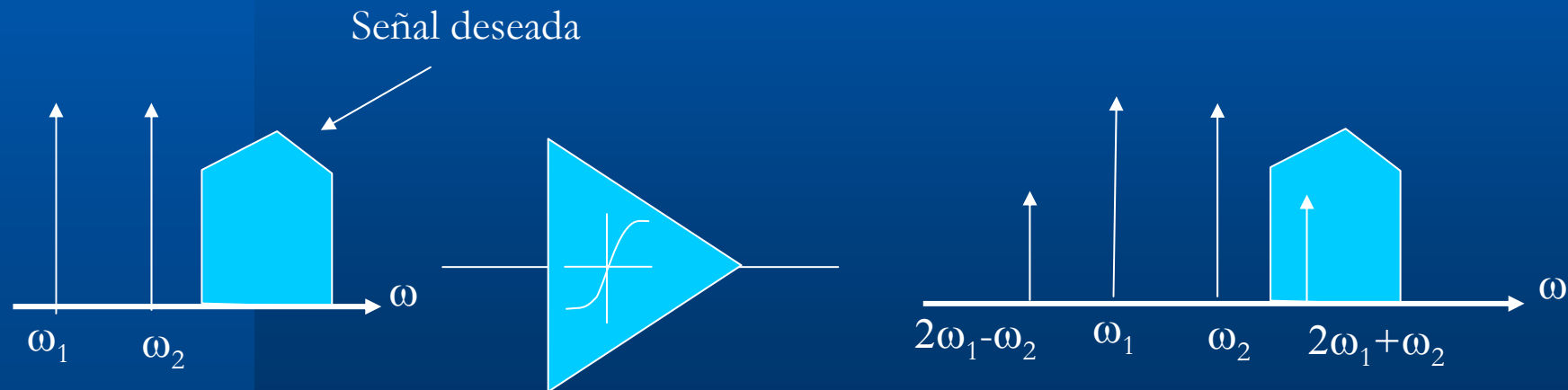
- Para varias etapas en cascada

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



Estudio de los principales estándares para terminales móviles

- Características de los sistemas de RF
 - Punto de intercepción de Tercer Orden

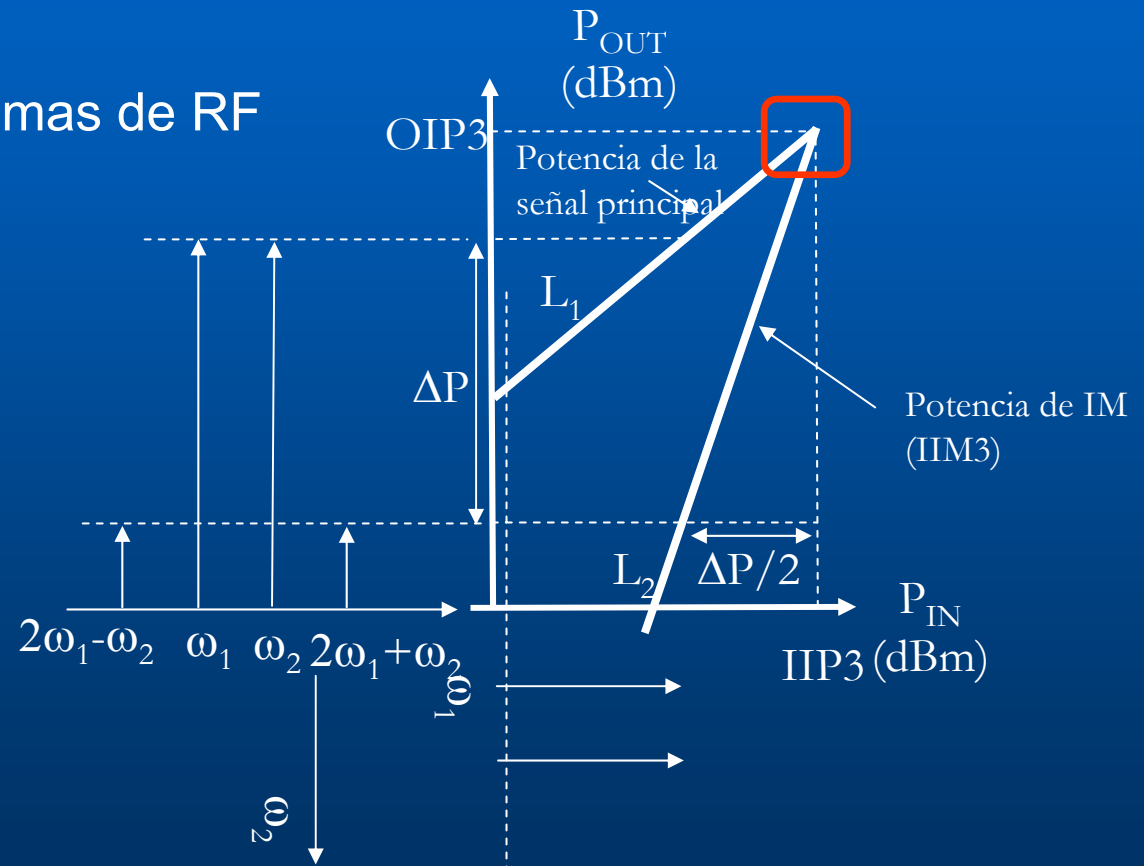




Estudio de los principales estándares para terminales móviles

➤ Características de los sistemas de RF

➤ Punto de intercepción de Tercer Orden (cont)

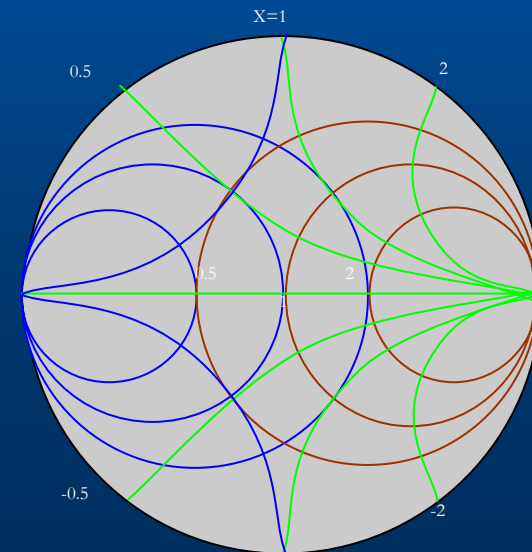




Estudio de los principales estándares para terminales móviles

- Características de los sistemas de RF
 - Coeficiente de onda estacionario (VSWR)
 - Indica una medida cuantitativa de la adaptación tanto en la entrada como en la salida del circuito.

$$|\Gamma_L| = \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$





Principales estándares usados para terminales móviles

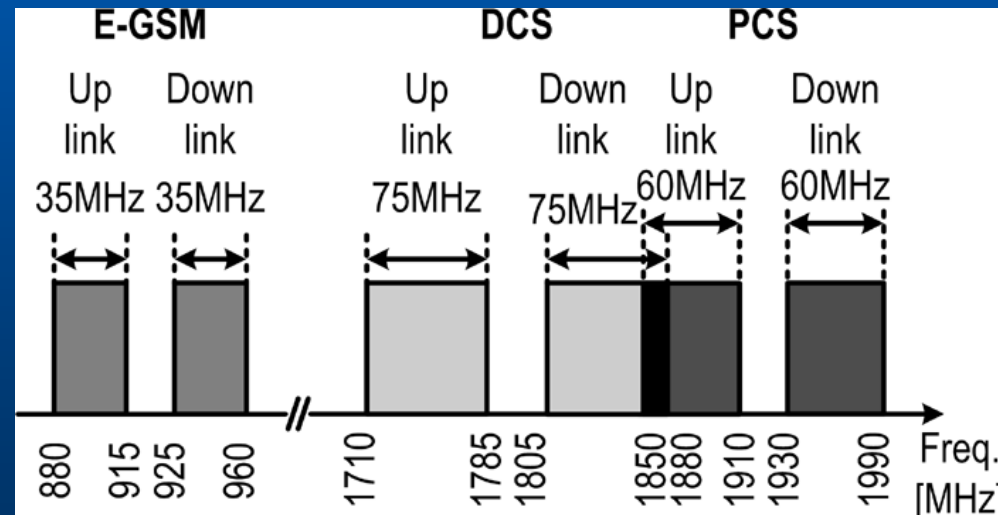
- **GSM**
- **UMTS**
- **Estándar 802.11 a/b/g**



Principales estándares usados para terminales móviles

- **GSM**

- Compuesta por tres subsistemas (E-GSM, DCS, PCS)





Principales estándares usados para terminales móviles

- **GSM características**

	E-GSM, DCS, PCS			
Modulación	Gausiana-MSK			
Ancho de banda de canal	200 kHz			
Bit rate	270 kb/s			
	LNA	Ganancia	NF	IIP3
		23dB	3dB	-5dBm

[10] Massimo Brandolini et al.



Principales estándares usados para terminales móviles

- **UMTS**

- Provee de voz y servicios de información
- Usa acceso múltiple por división de códigos de banda ancha (WCDMA)
- Banda de transmisión situada entre 1920-1980 MHz
- Banda de recepción situada entre 2110-2170 MHz



Principales estándares usados para terminales móviles

- **UMTS características**

[10] Massimo Brandolini et al.

	Ganancia	NF	IIP3
LNA	18dB	3dB	0dBm



Principales estándares usados para terminales móviles

- **Estándar 802.11 a/b/g**

802.11a {
Velocidad 54 Mbps
Frecuencia 5GHz

802.11b {
Velocidad 11 Mbps
Frecuencia 2.4 GHz

802.11g {
Velocidad 54 Mbps
Frecuencia 2.4 GHz



Principales estándares usados para terminales móviles

- **Estándar 802.11a/b/g**

[10] Massimo Brandolini et al.

	Ganancia	NF	IIP3
LNA	18dB	3dB	-15dBm



Principales estándares usados para terminales móviles

- Especificaciones

	Ganancia	NF	P_{1dB}	IIP3	Frecuencia a la que opera
802.11a/b/g	18dB	3dB	-15dBm	-5dBm	900 MHz
GSM	23dB	3dB	-15dBm	-5dBm	1.8GHz
UMTS	18dB	3dB	-10dBm	0dBm	1.9GHz
LNA Multibanda	18-23dB	3dB	-10dBm	0dBm	2GHz
					2.4GHz
					5GHz



Índice

BLOQUE 1

- **Introducción**
- **Objetivos**
- **Estudio de los principales estándares para terminales móviles**
- **LNAs Multibanda**
- **Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS**

BLOQUE 2

- **Diseño a nivel de esquemático**
- **Diseño a nivel de *layout***
- **Medidas**

BLOQUE 3

- **Conclusiones**
- **Presupuesto**



LNAs Multibanda

- **Topologías LNAs Multibanda**
- **Consideraciones de banda ancha**
- **Estructuras propuestas**



LNAs Multibanda

- **Topologías LNAs Multibanda**

- ▶ Emisor común

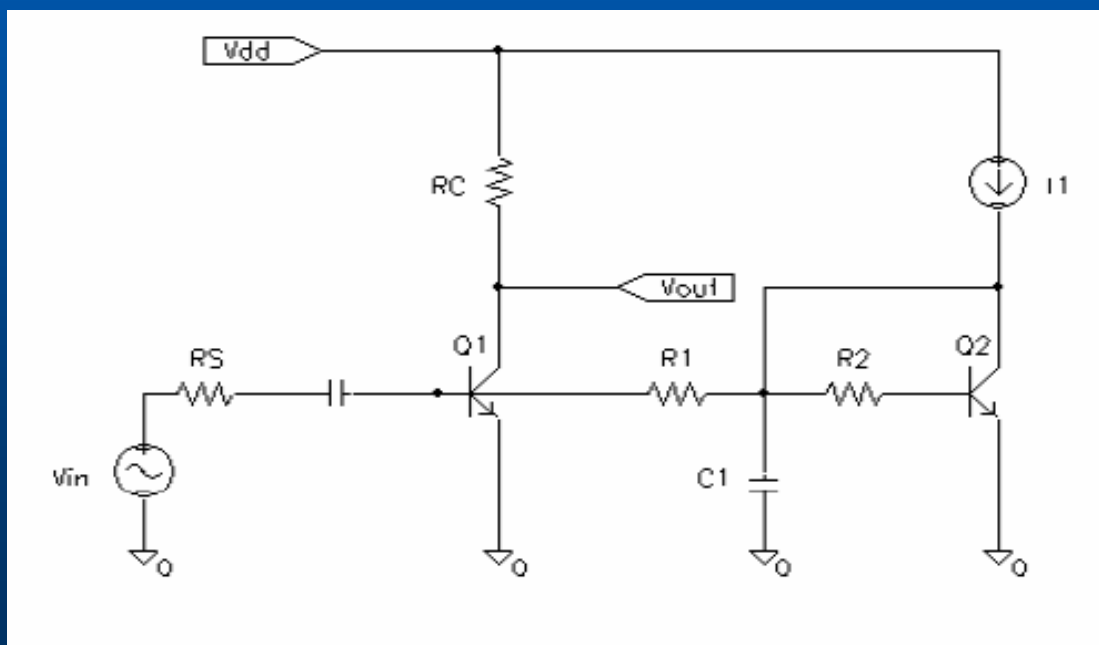
- ▶ Cascodo



LNAs Multibanda

- Topologías LNAs Multibanda

- ▶ Emisor común

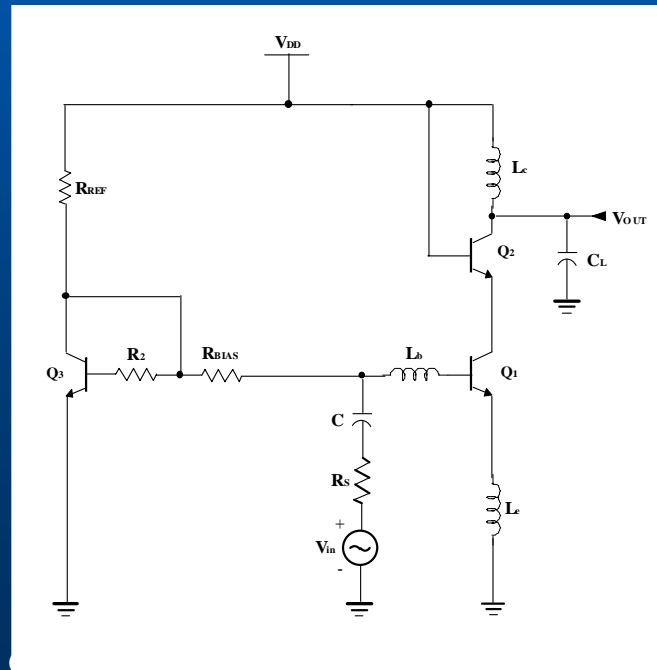




LNAs Multibanda

- Topologías LNAs Multibanda

- ▶ Cascodo





LNAs Multibanda

- **Consideraciones de banda ancha**

- ▶ Adaptación de entrada de banda ancha
- ▶ Carga de banda ancha

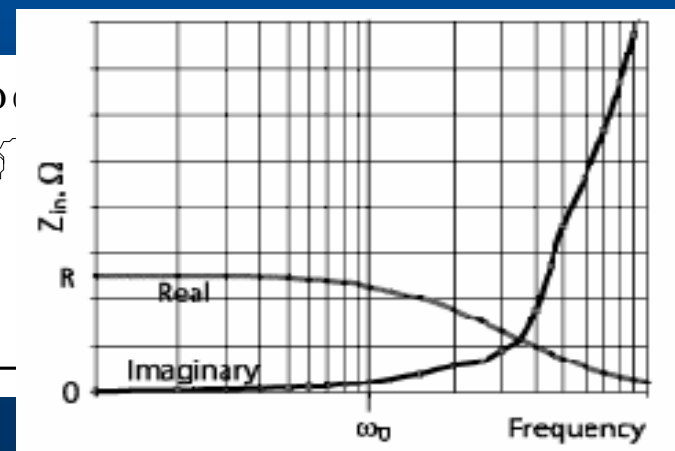
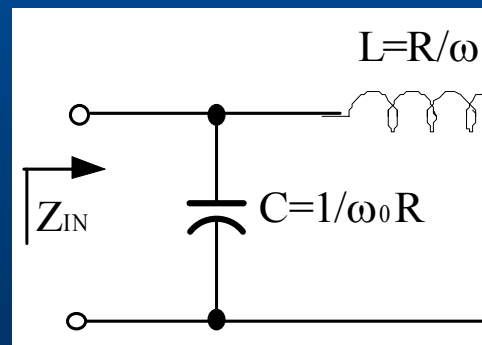


LNAs Multibanda

- **Consideraciones de banda ancha**

- ▶ Adaptación de entrada de banda ancha

Filtros en escalera o *ladder filters*





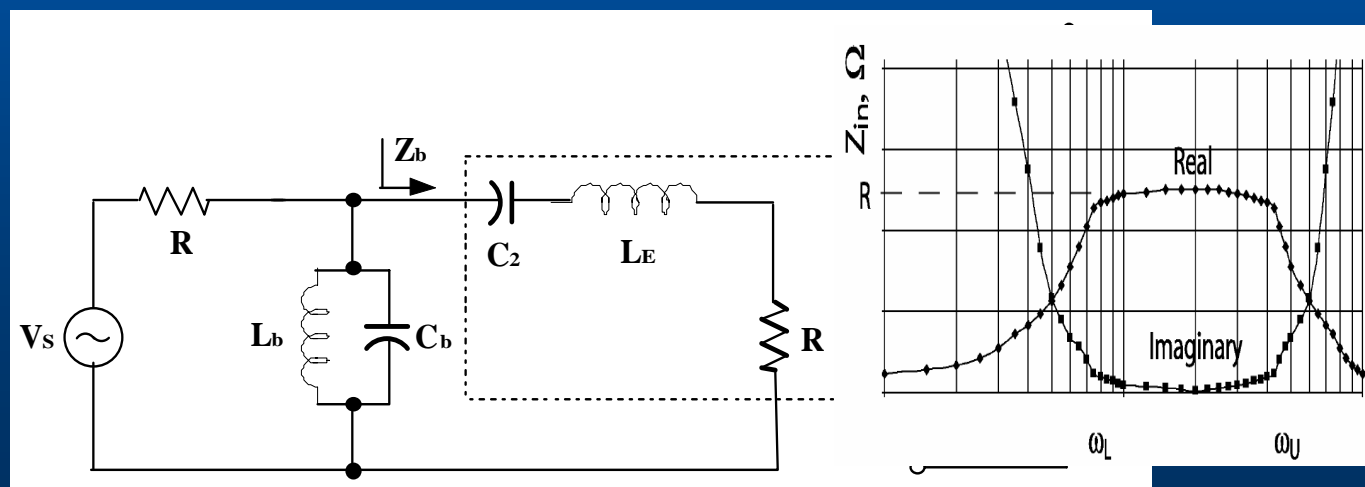
LNAs Multibanda

- **Consideraciones de banda ancha**

- ▶ Adaptación de entrada de banda ancha

Si trasladamos el filtro paso bajo

$$\left(\frac{s}{\omega_0}\right) \Rightarrow \left(\frac{s}{\omega_0}\right) + \left(\frac{\omega_0}{s}\right)$$



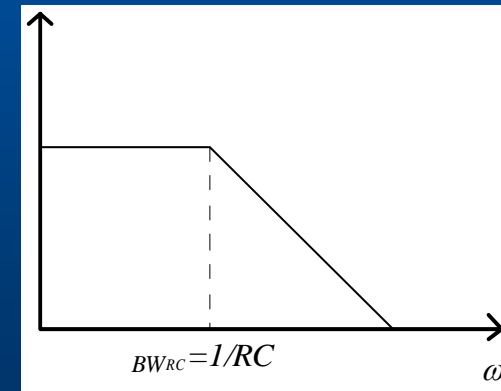
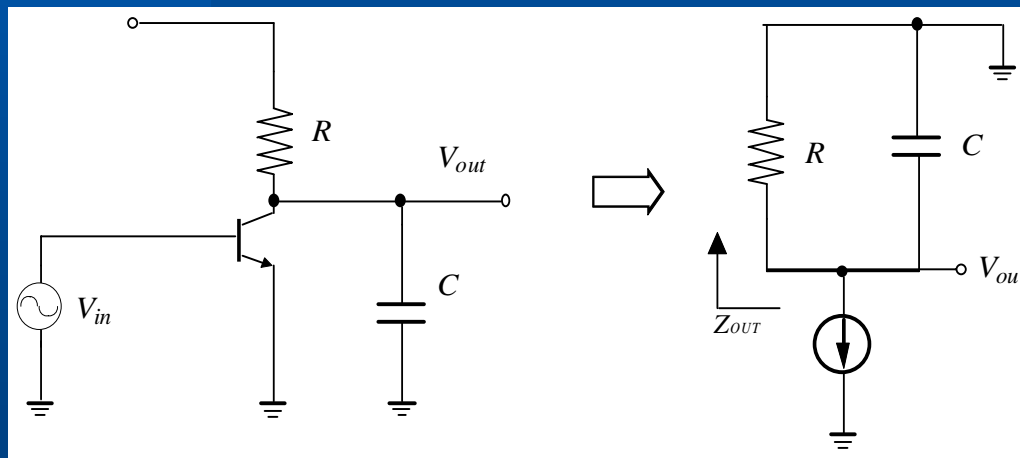


LNAs Multibanda

- **Consideraciones de banda ancha**

- ▶ Carga de banda ancha

- Carga RC



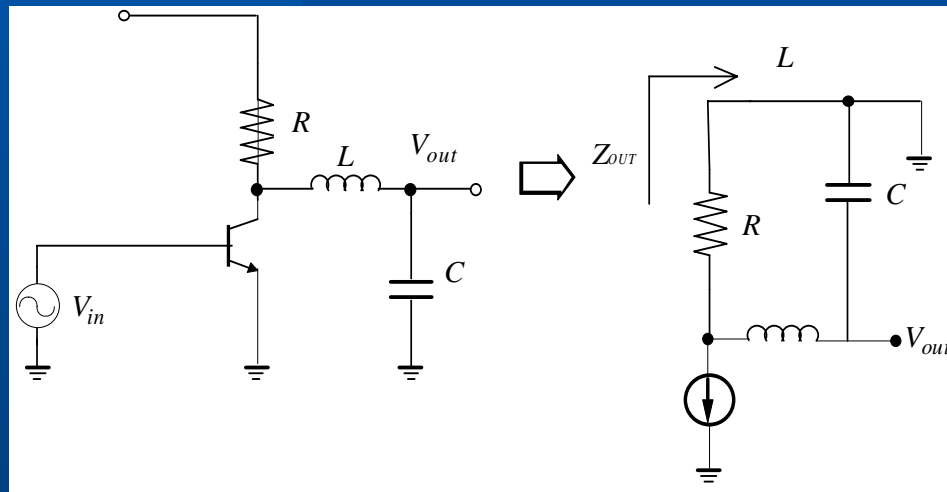


LNAs Multibanda

- **Consideraciones de banda ancha**

- ▶ Carga de banda ancha

- Series-peaking



Mejora BW_{RC}^* 1.41

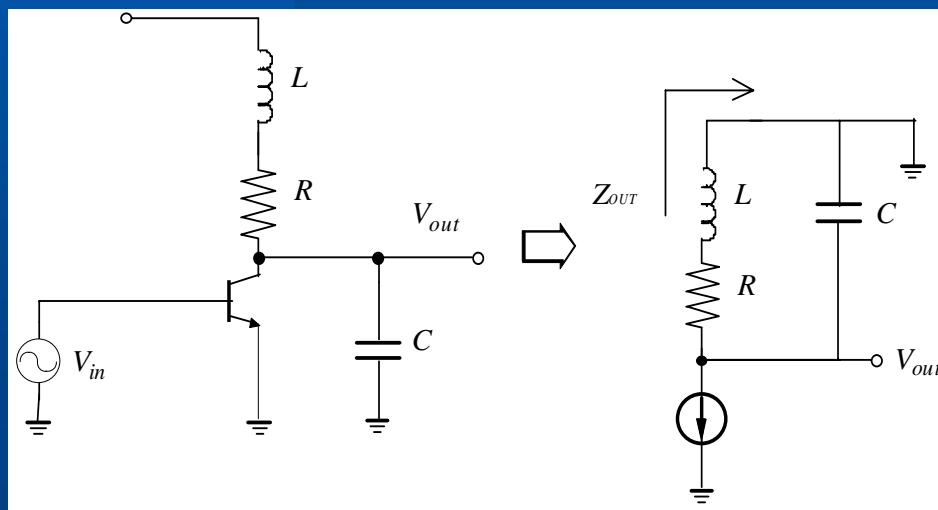


LNAs Multibanda

- **Consideraciones de banda ancha**

- ▶ Carga de banda ancha

- Shunt-peaking



Mejora BW_{RC}^* 1.85

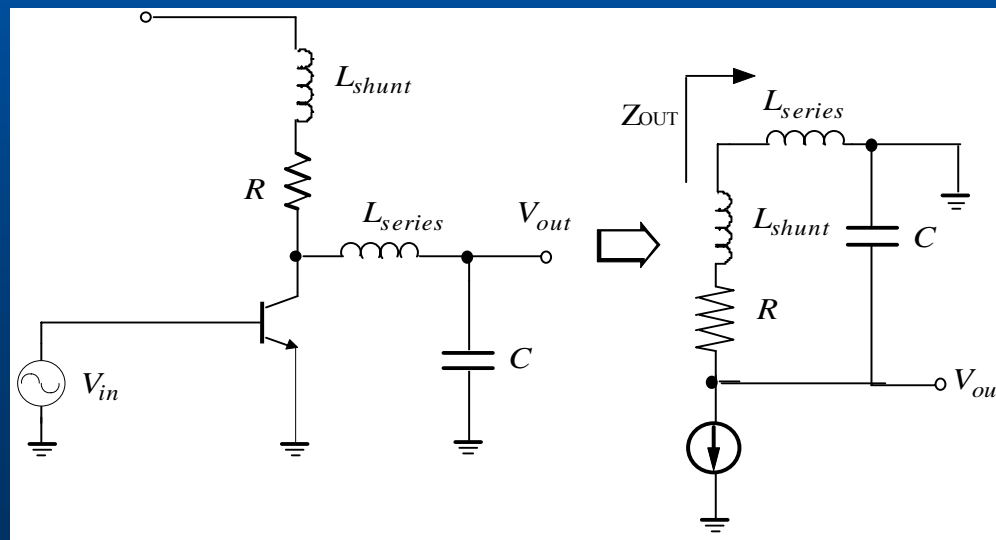


LNAs Multibanda

- **Consideraciones de banda ancha**

- ▶ Carga de banda ancha

- Shunt-series-peaking

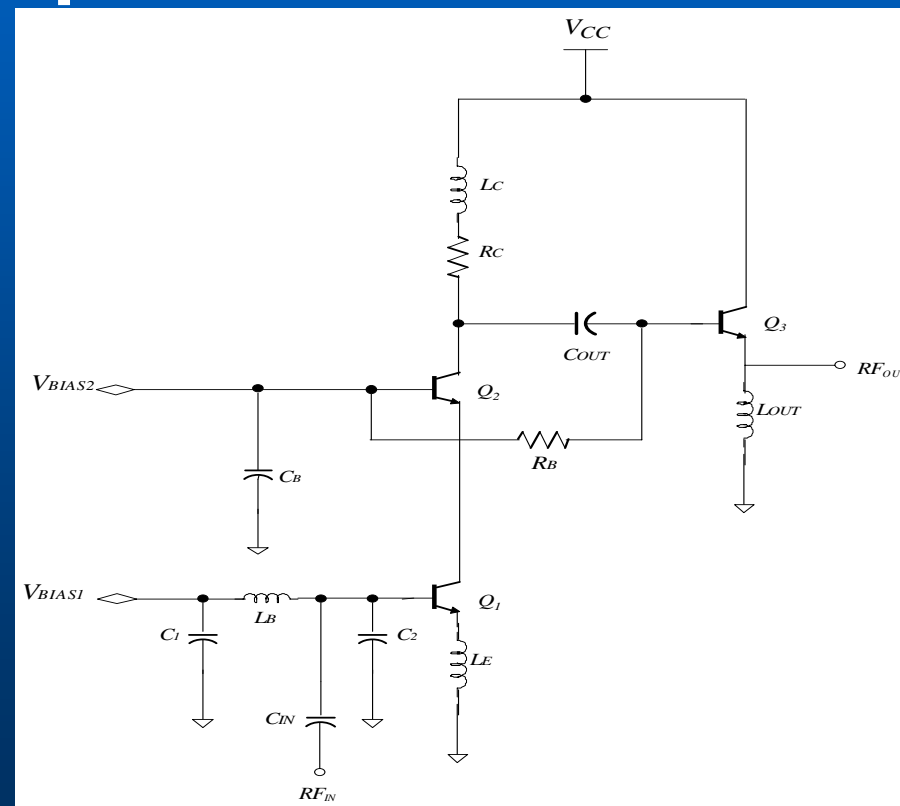




LNAs Multibanda

- Estructuras propuestas

Estructura LNA1

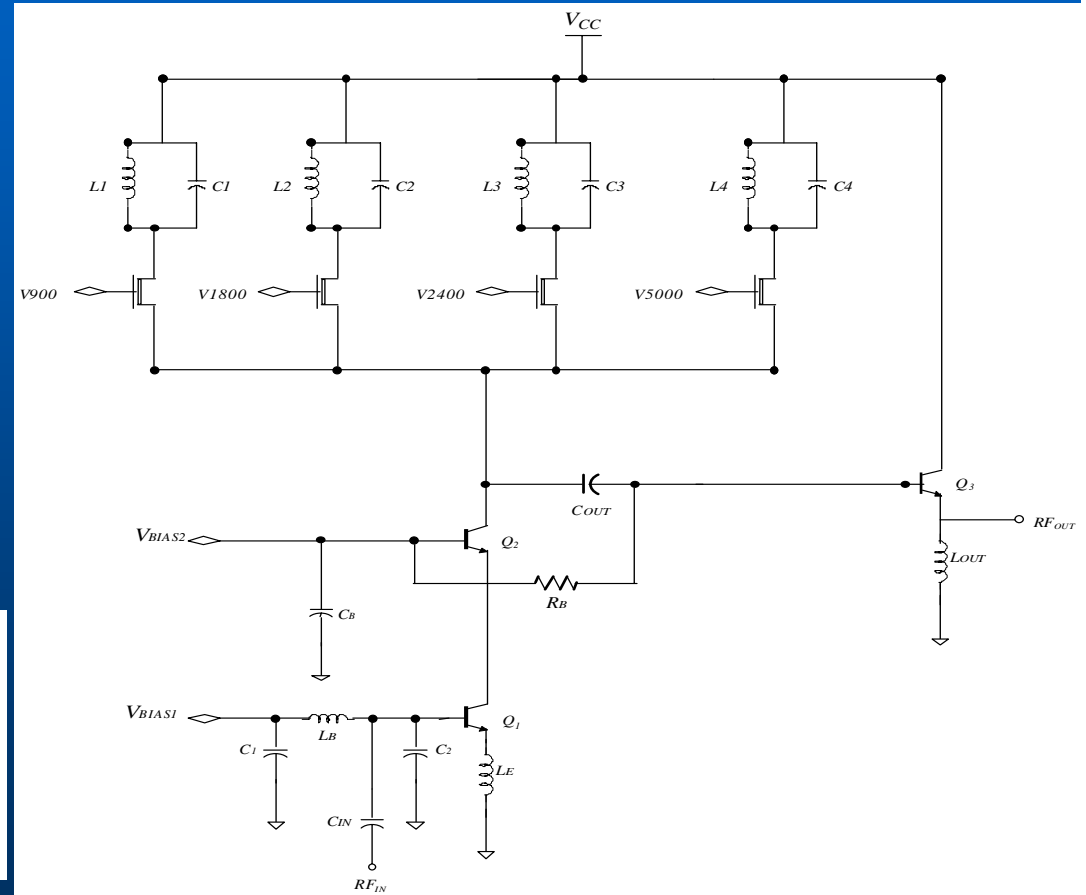
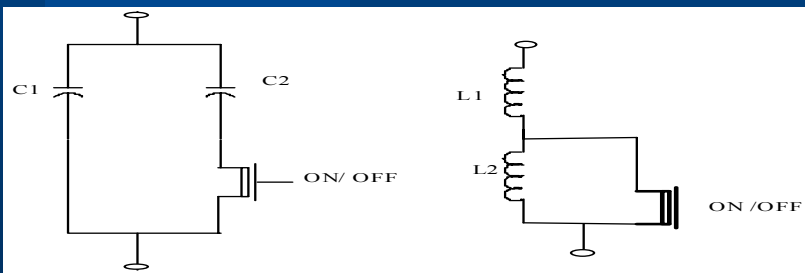
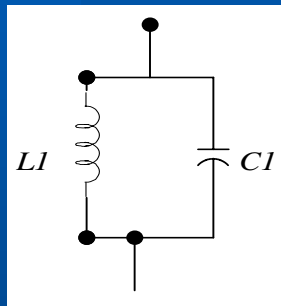




LNAs Multibanda

● Estructuras propuestas

Estructura LNA2





Índice

BLOQUE 1

- **Introducción**
- **Objetivos**
- **Estudio de los principales estándares para terminales móviles**
- **LNAs Multibanda**
- **Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS**

BLOQUE 2

- **Diseño a nivel de esquemático**
- **Diseño a nivel de *layout***
- **Medidas**

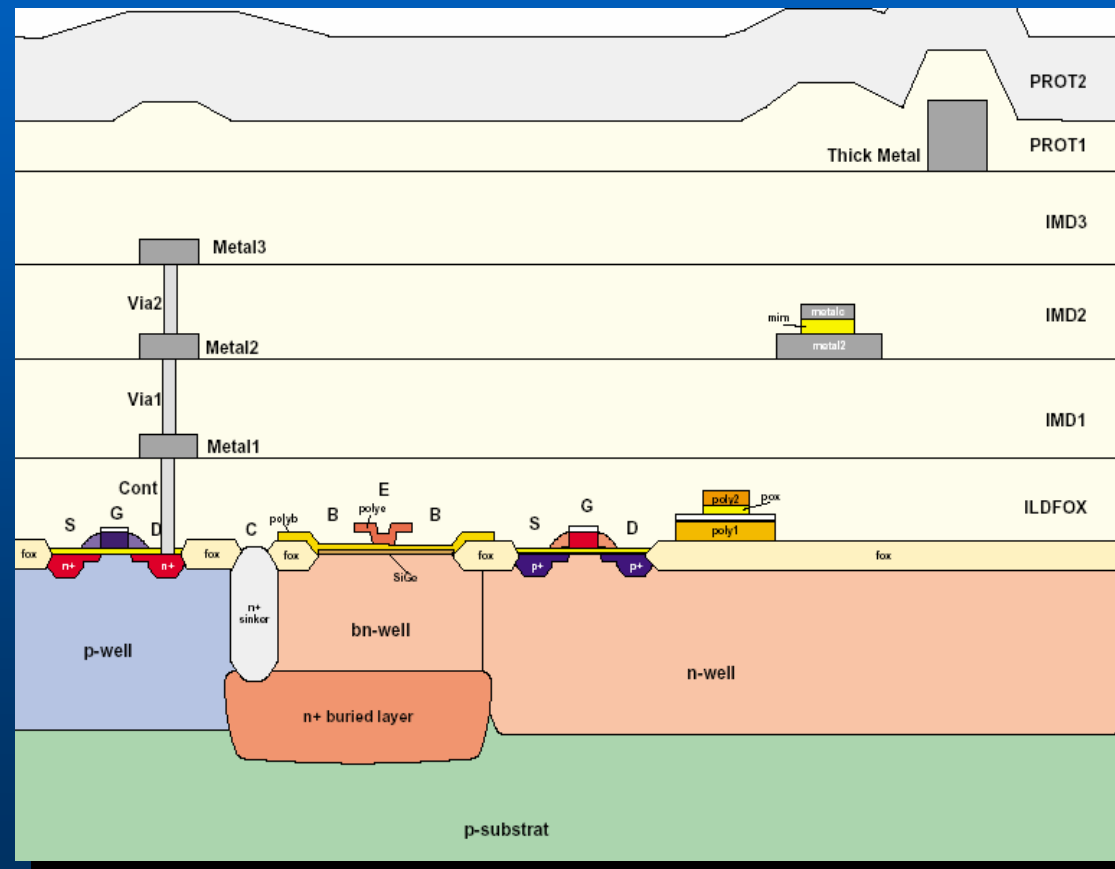
BLOQUE 3

- **Conclusiones**
- **Presupuesto**



Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS

- 4 metales y 2 polys
- *Thick Metal*
- Elementos pasivos
- Transistores Bipolares
- Transistores MOSFET

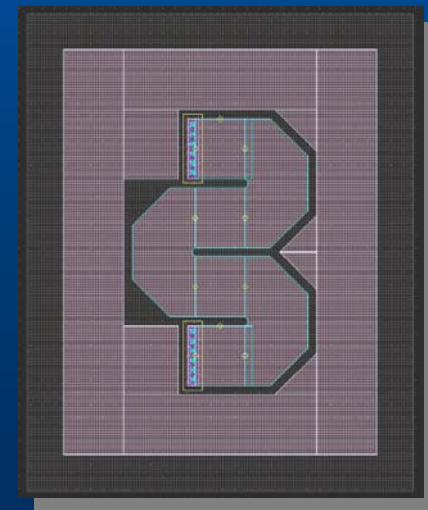
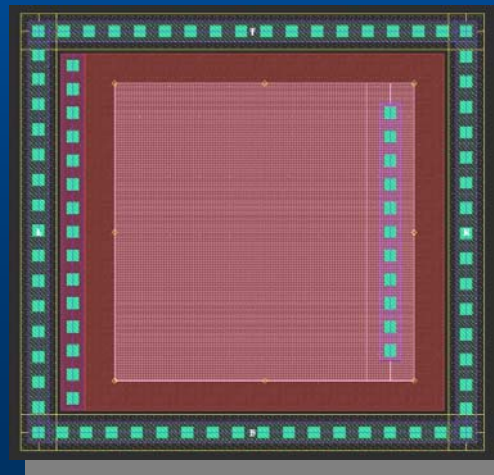
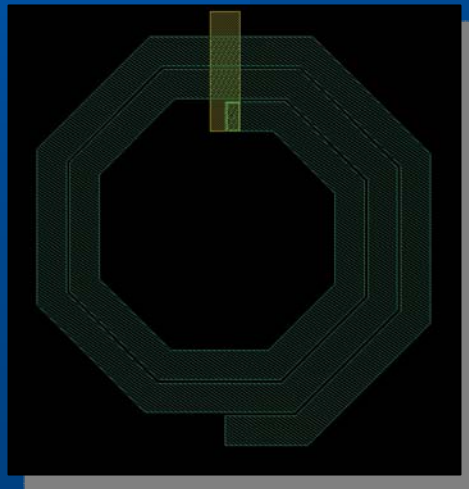
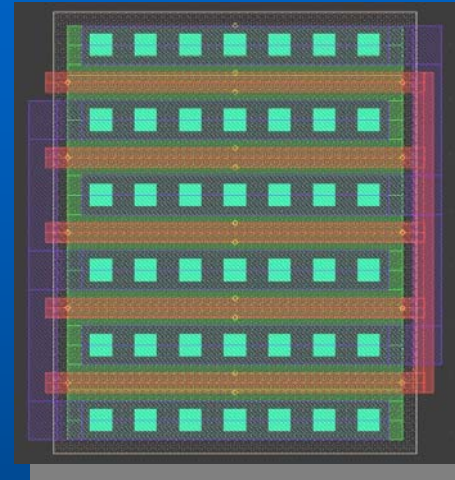
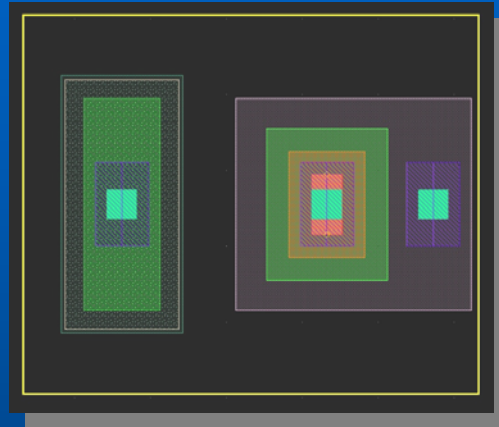


Junio 2008

Gustavo Alexis Pérez Ruiz



Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS



Junio 2008

Gustavo Alexis Pérez Ruiz



Índice

BLOQUE 1

- **Introducción**
- **Objetivos**
- **Estudio de los principales estándares para terminales móviles**
- **LNAs Multibanda**
- **Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS**

BLOQUE 2

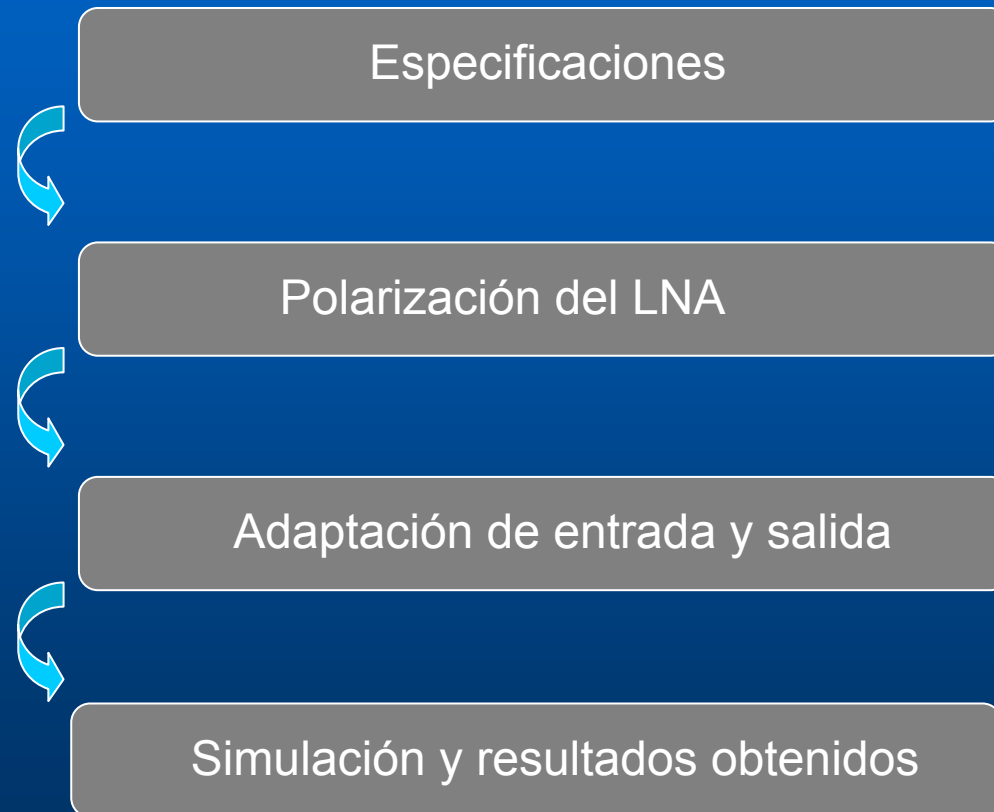
- **Diseño a nivel de esquemático**
- **Diseño a nivel de *layout***
- **Medidas**

BLOQUE 3

- **Conclusiones**
- **Presupuesto**



Diseño a nivel de esquemático





Diseño a nivel de esquemático

- Especificaciones

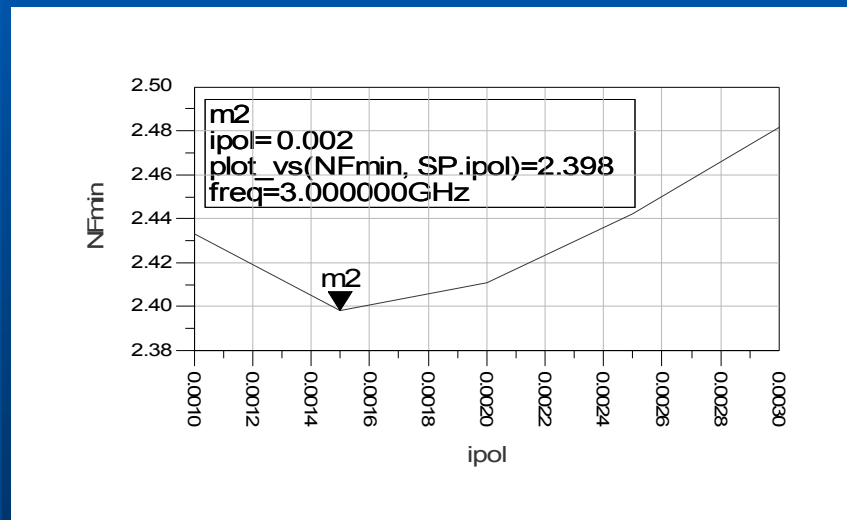
	Ganancia	NF	P_{1dB}	IIP3	Frecuencia a la que opera
802.11a/b/g	18dB	3dB	-15dBm	-5dBm	900 MHz
GSM	23dB	3dB	-15dBm	-5dBm	1.8GHz
UMTS	18dB	3dB	-10dBm	0dBm	1.9GHz
LNA Multibanda	18-23dB	3dB	-10dBm	0dBm	2GHz
					2.4GHz
					5GHz



Diseño a nivel de esquemático

- Polarización del LNA

➤ Obtener mínima NF y máxima ganancia



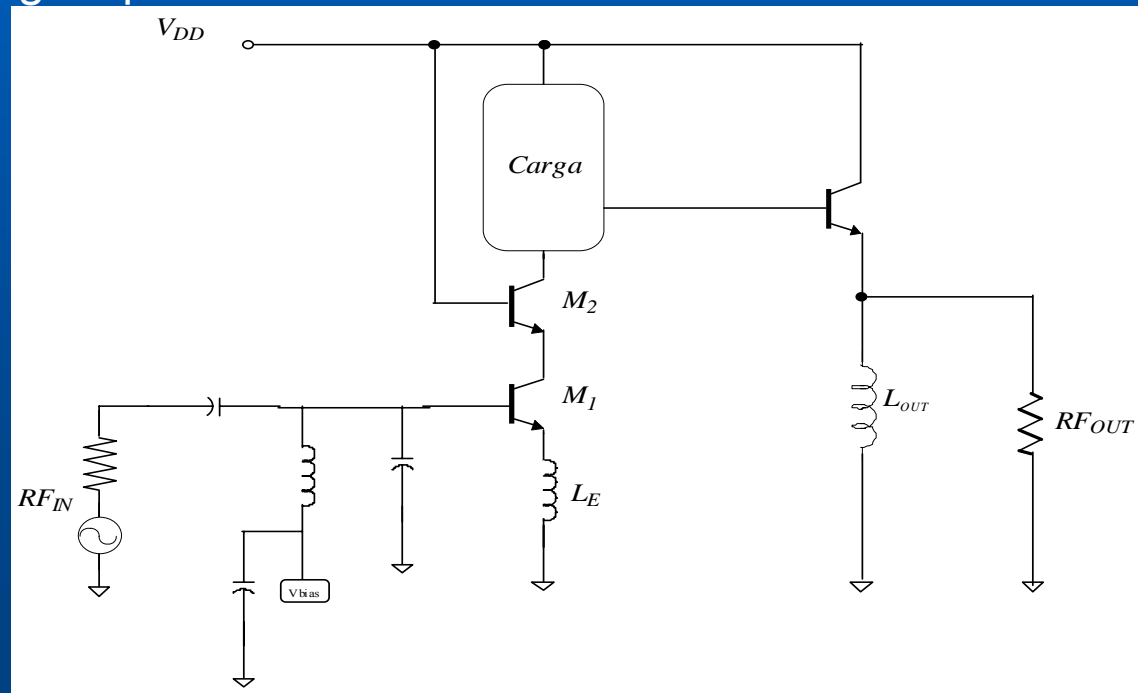
$$J_{opt} = \frac{2mA}{10\mu m^2} = 0,2mA / \mu m^2$$



Diseño a nivel de esquemático

- Adaptación de entrada y salida

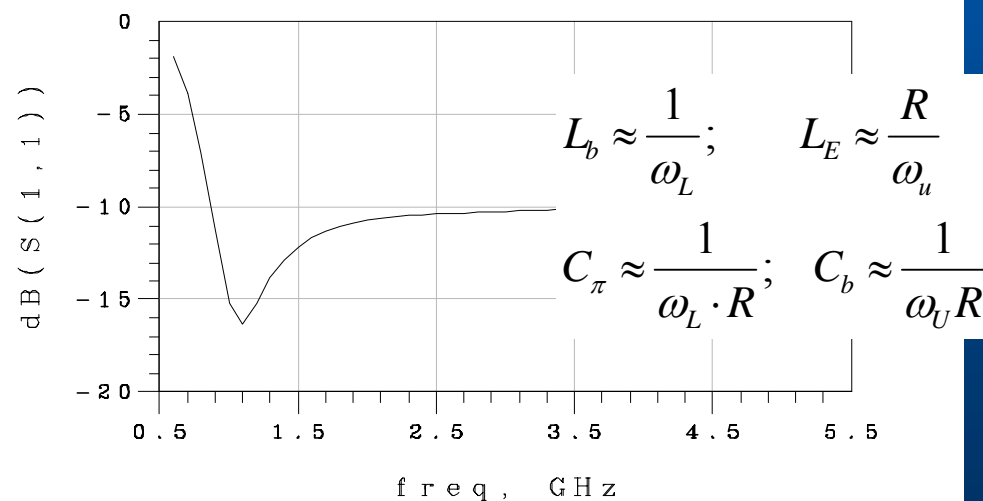
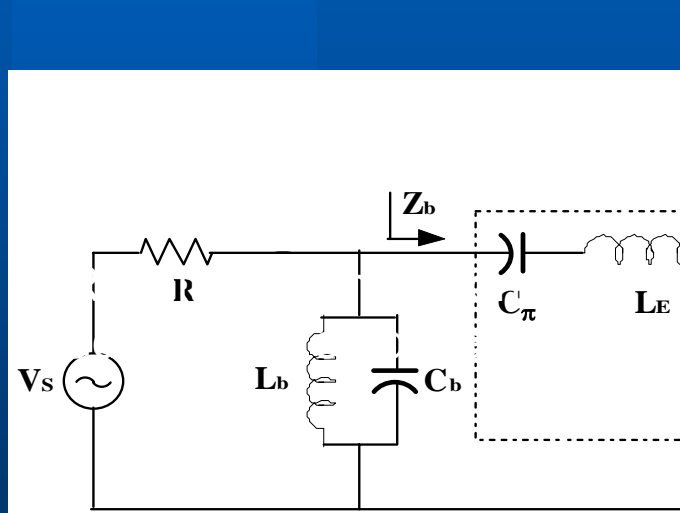
➤ Igual para los dos modelos de LNAs a diseñar



Diseño a nivel de esquemático

- Adaptación de entrada y salida

➤ Adaptación de entrada

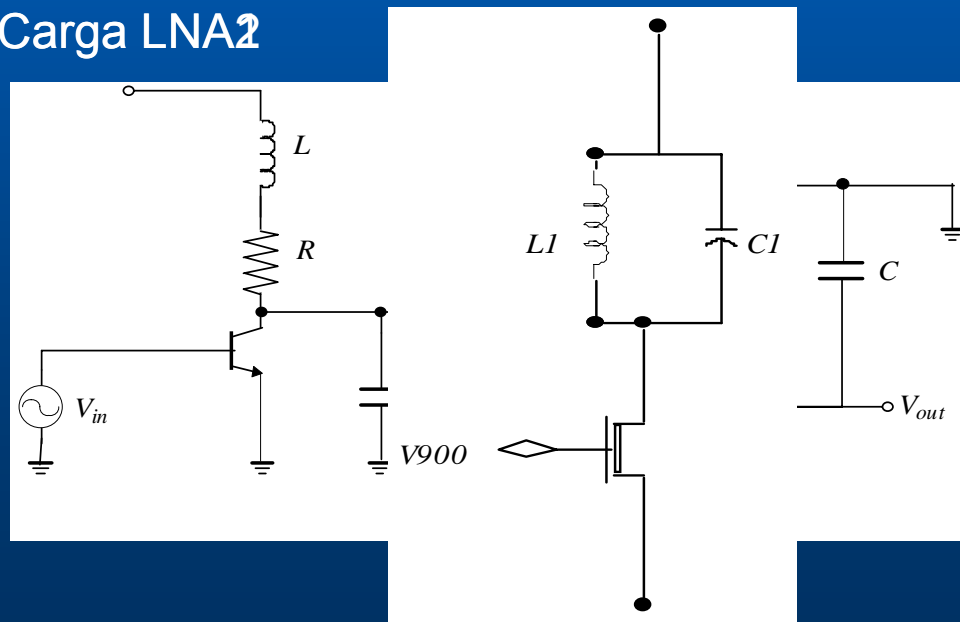


Diseño a nivel de esquemático

- Adaptación de entrada y salida

- Adaptación de salida

- Carga LNA2

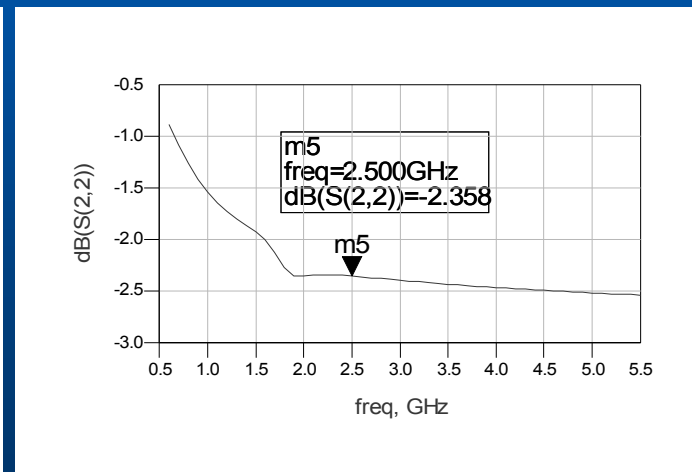
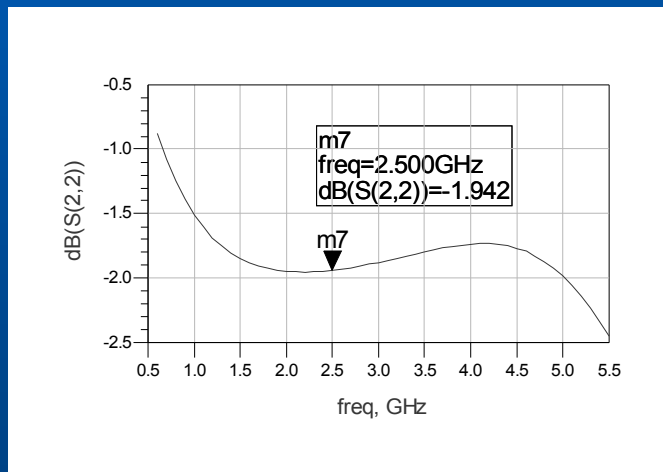




Diseño a nivel de esquemático

- Adaptación de entrada y salida

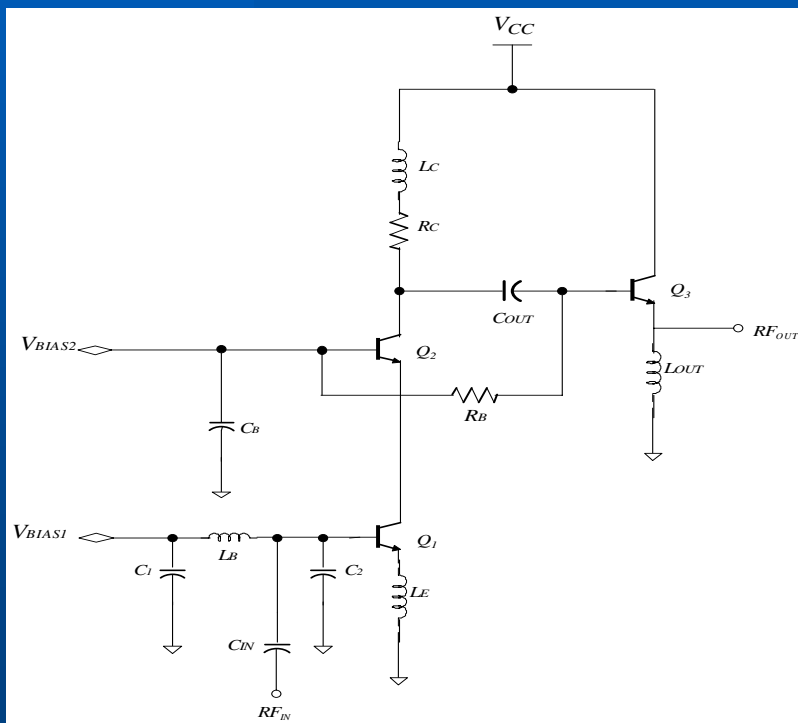
- Adaptación de salida



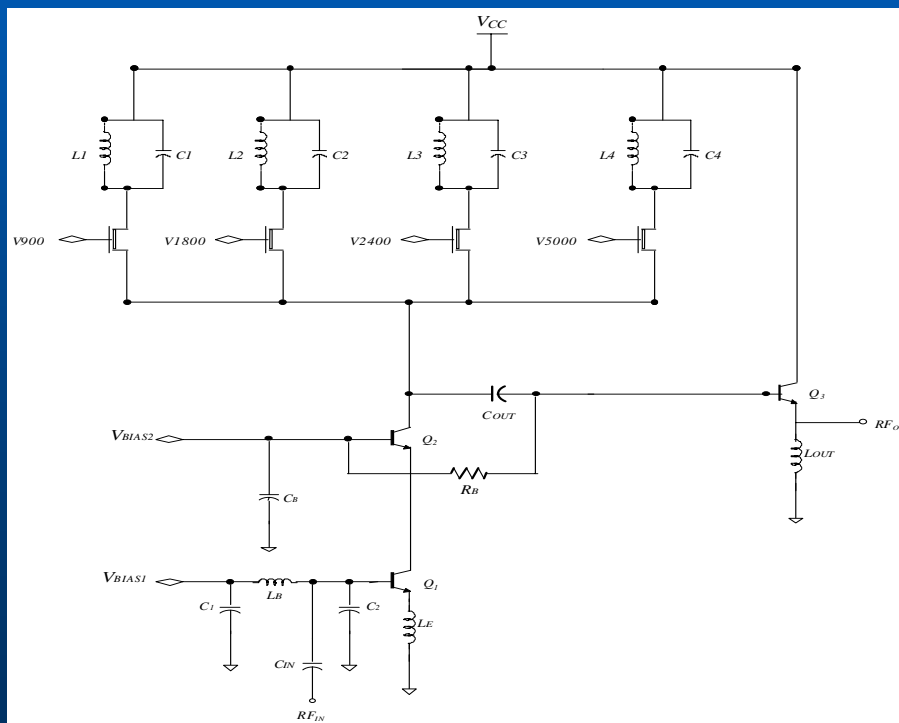
Diseño a nivel de esquemático

● Simulación y resultados obtenidos

➤ Estructura LNA1



➤ Estructura LNA2



Junio 2008

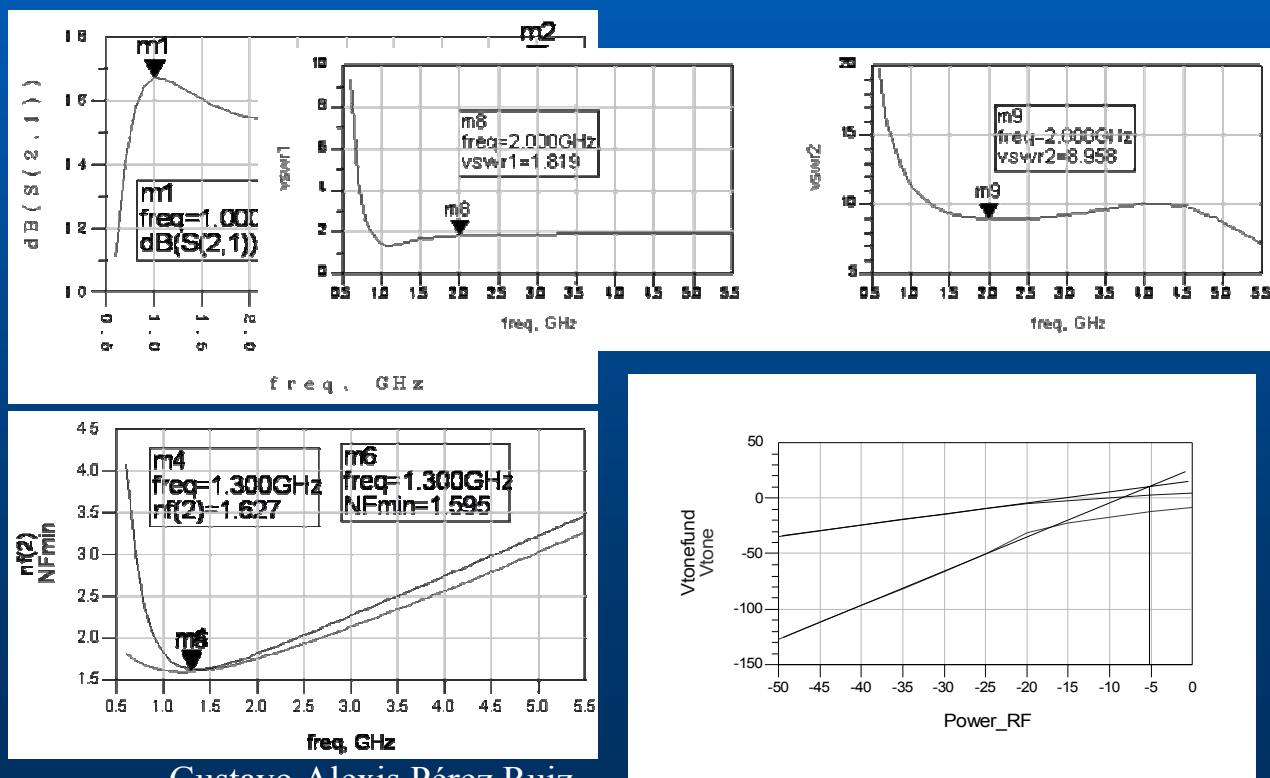
Gustavo Alexis Pérez Ruiz



Diseño a nivel de esquemático

- Simulación y resultados obtenidos

- Simulación LNA1 con bobinas ideales

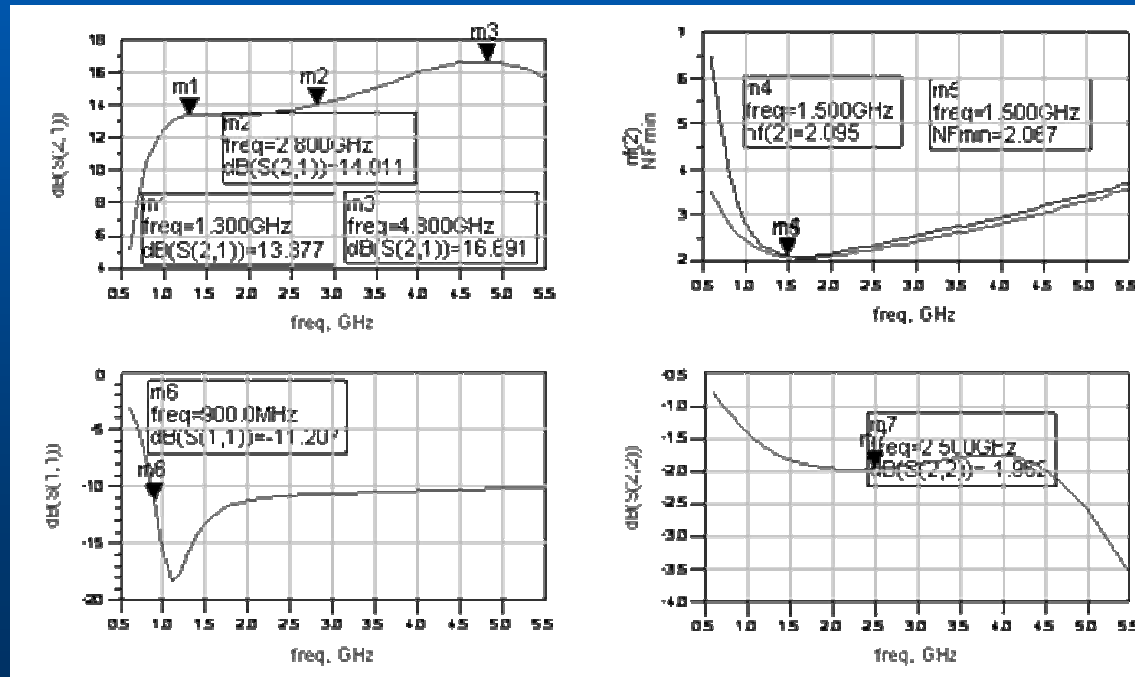




Diseño a nivel de esquemático

- Simulación y resultados obtenidos

- Simulación LNA1 con bobinas reales





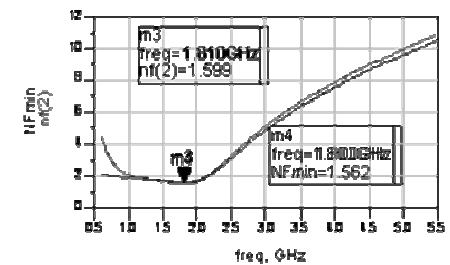
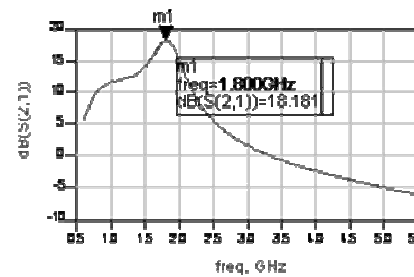
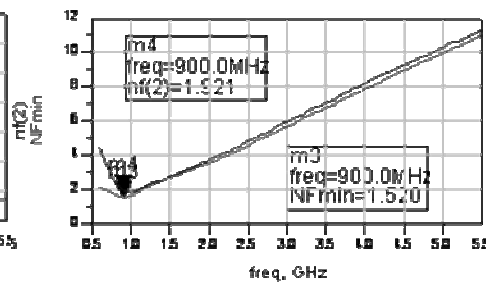
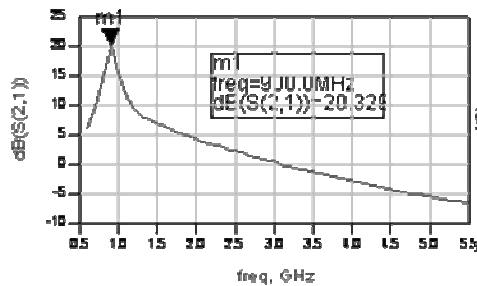
Diseño a nivel de esquemático

● Simulación y resultados obtenidos

➤ Simulación LNA2 con bobinas ideales

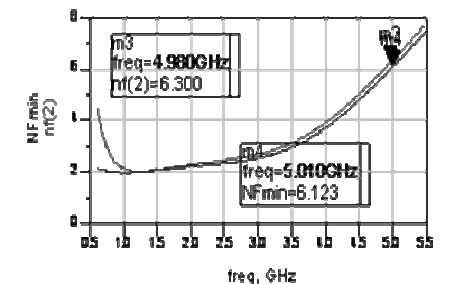
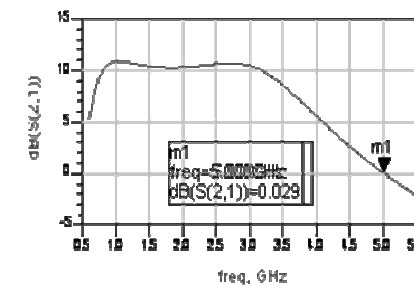
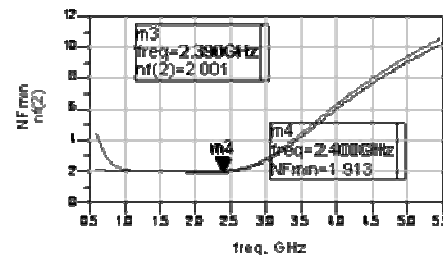
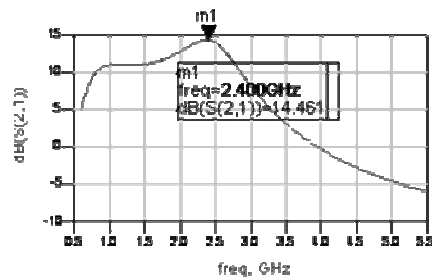
➤ Switch V900

➤ Switch V1800



➤ Switch V2400

➤ Switch V5000



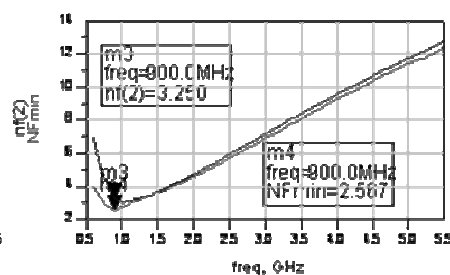
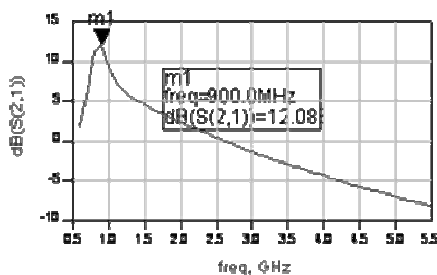


Diseño a nivel de esquemático

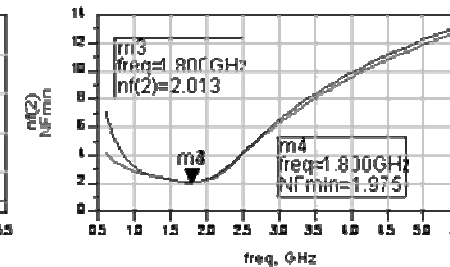
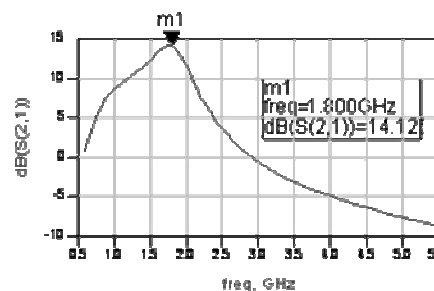
● Simulación y resultados obtenidos

➤ Simulación LNA2 con bobinas reales

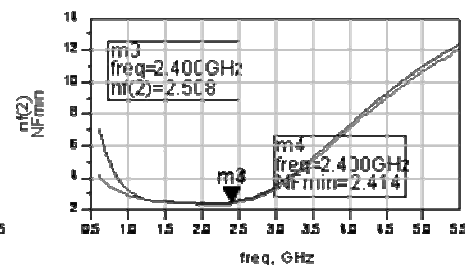
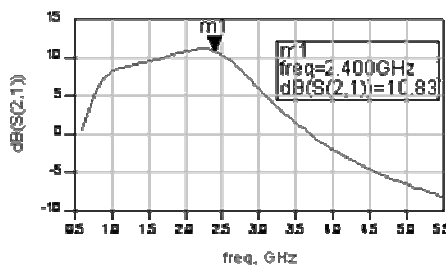
➤ Switch V900



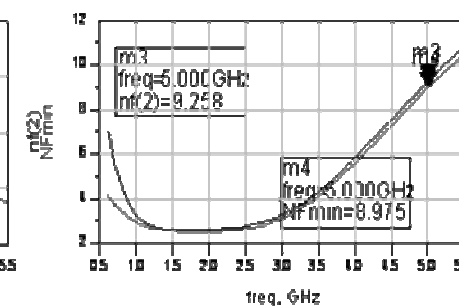
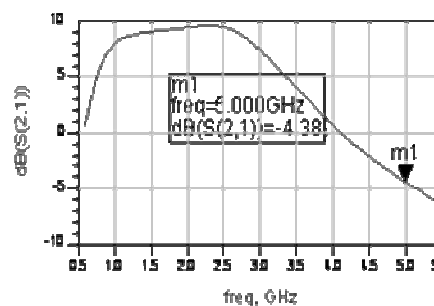
➤ Switch V1800



➤ Switch V2400



➤ Switch V5000



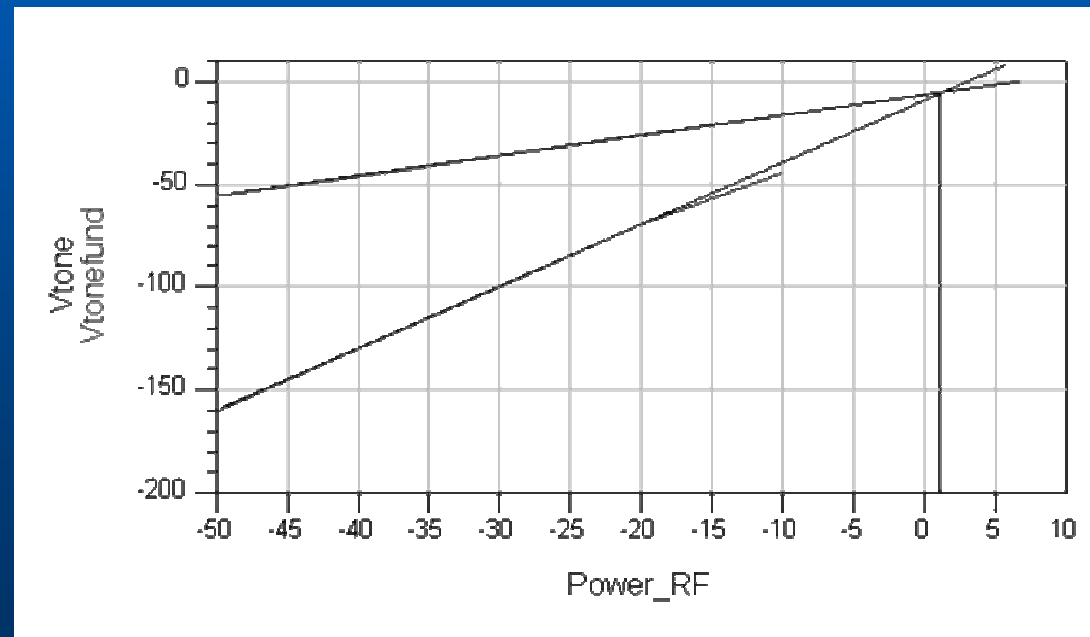
Junio 2008

Gustavo Alexis Pérez Ruiz



Diseño a nivel de esquemático

- **Simulación y resultados obtenidos**
 - Simulación LNA2 (Medida IP3)





Índice

BLOQUE 1

- **Introducción**
- **Objetivos**
- **Estudio de los principales estándares para terminales móviles**
- **LNAs Multibanda**
- **Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS**

BLOQUE 2

- **Diseño a nivel de esquemático**
- **Diseño a nivel de *layout***
- **Medidas**

BLOQUE 3

- **Conclusiones**
- **Presupuesto**



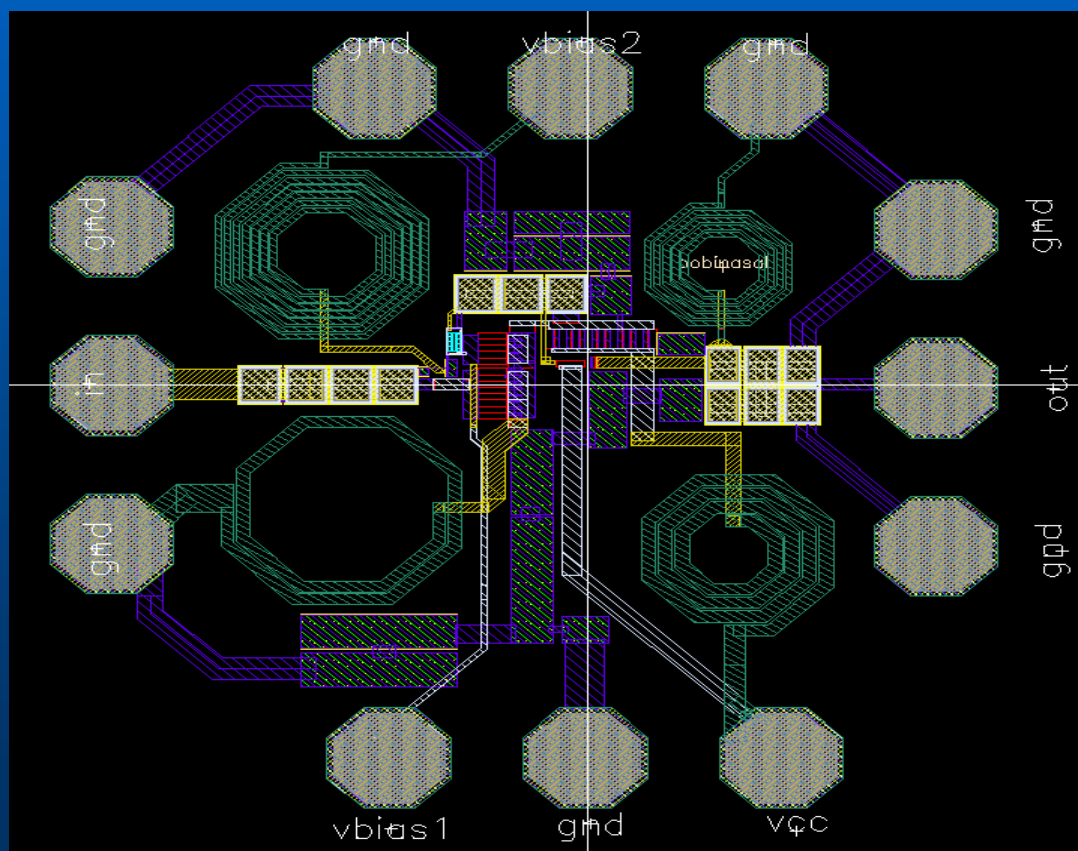
Diseño a nivel de *Layout*

- *Layout* del LNA1
- *Layout* del LNA2



Diseño a nivel de *Layout*

- Layout del LNA1



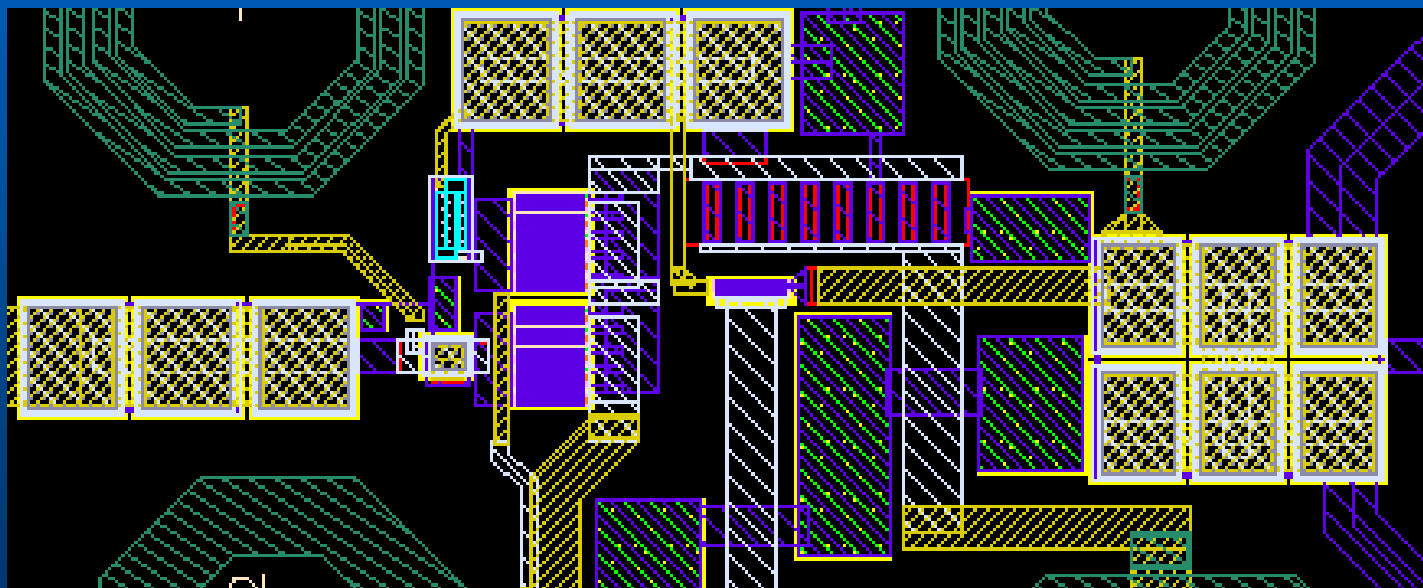
Junio 2008

Gustavo Alexis Pérez Ruiz



Diseño a nivel de *Layout*

- Layout del LNA1



Junio 2008

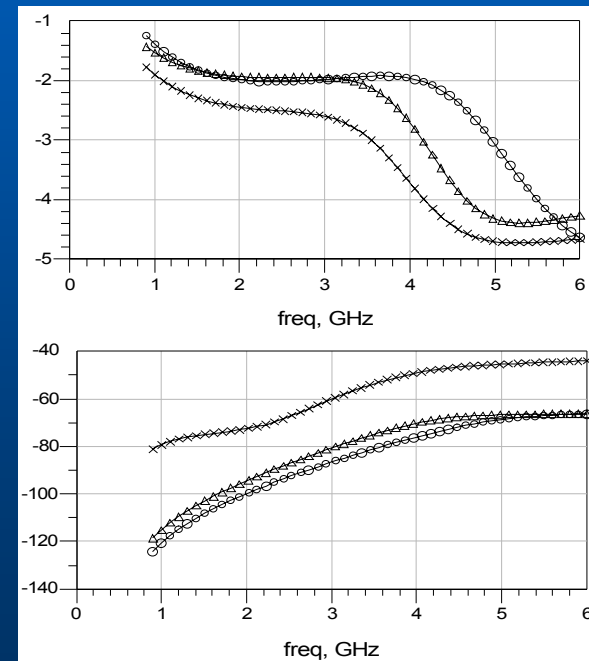
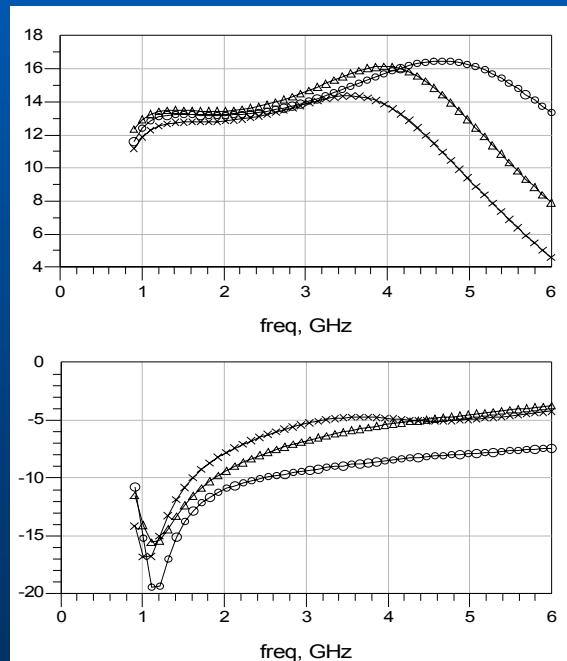
Gustavo Alexis Pérez Ruiz



Diseño a nivel de *Layout*

● Layout del LNA1

➤ Simulaciones post-layout del LNA1



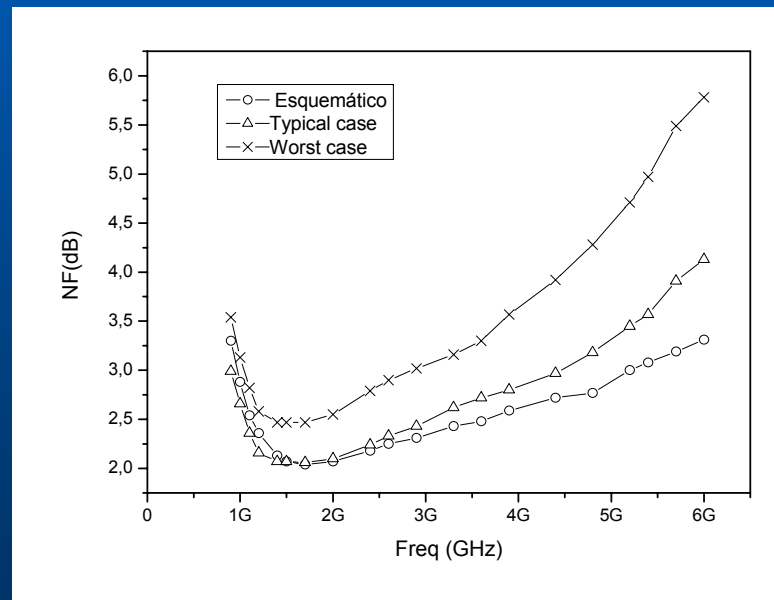
-○- *Esquemático* -△- *Typical case* -x- *Worst case*



Diseño a nivel de *Layout*

● Layout del LNA1

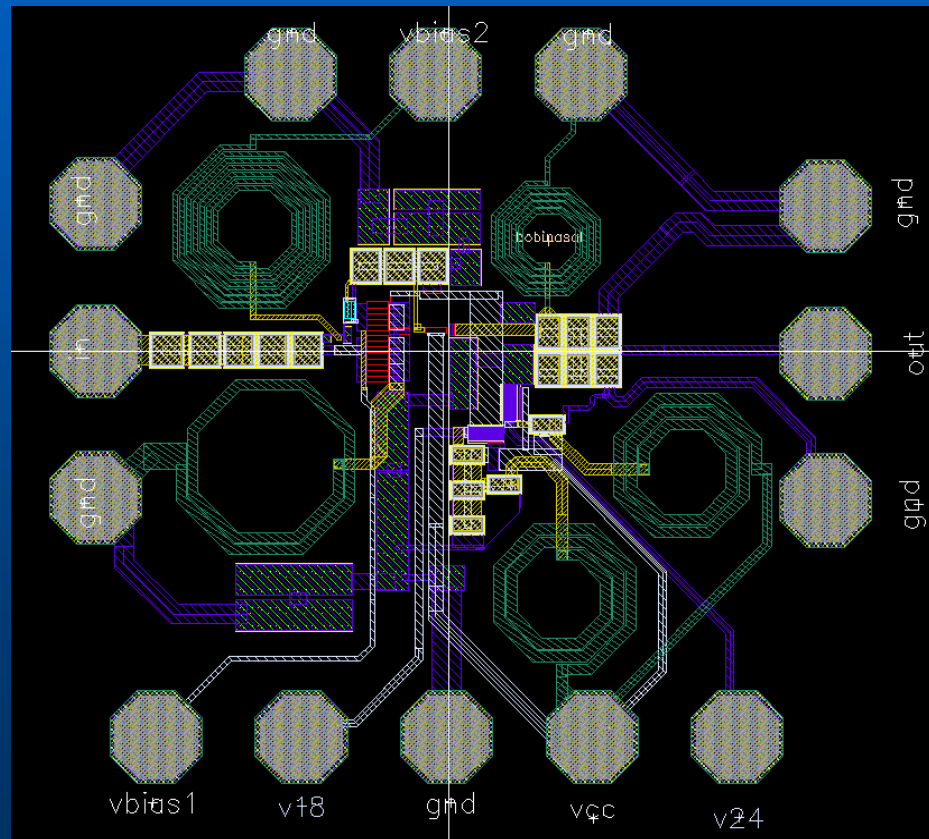
➤ Simulaciones post-layout del LNA1





Diseño a nivel de *Layout*

- Layout del LNA2



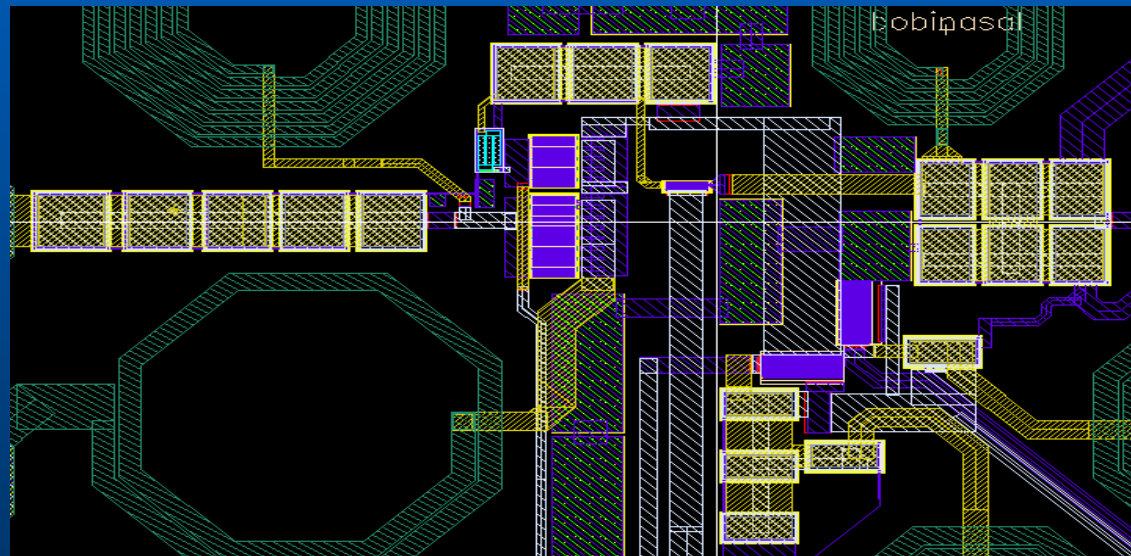
Junio 2008

Gustavo Alexis Pérez Ruiz



Diseño a nivel de *Layout*

- **Layout del LNA2**

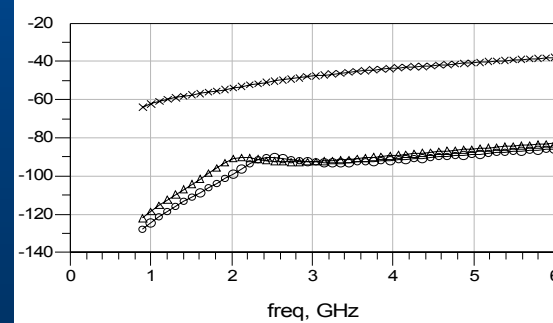
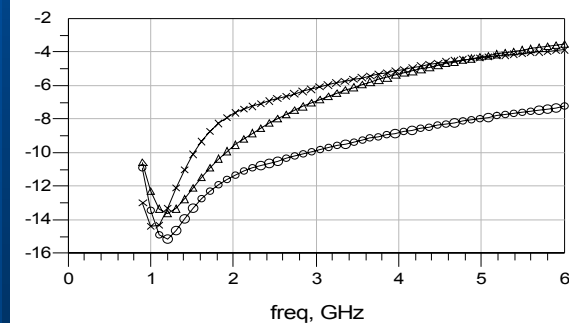
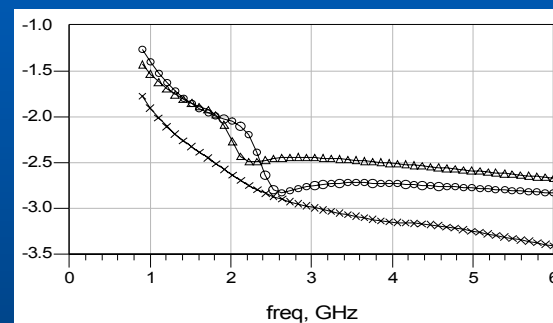
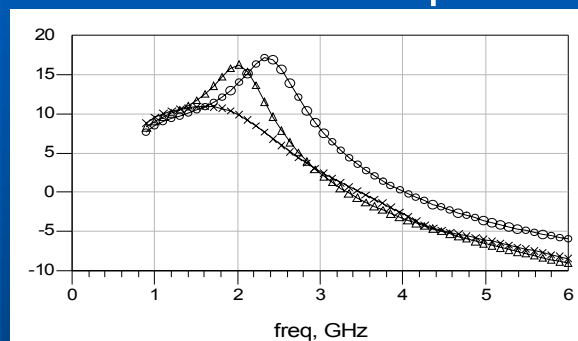




Diseño a nivel de *Layout*

● Layout del LNA2

➤ Simulaciones post-layout del LNA2 v18 activado



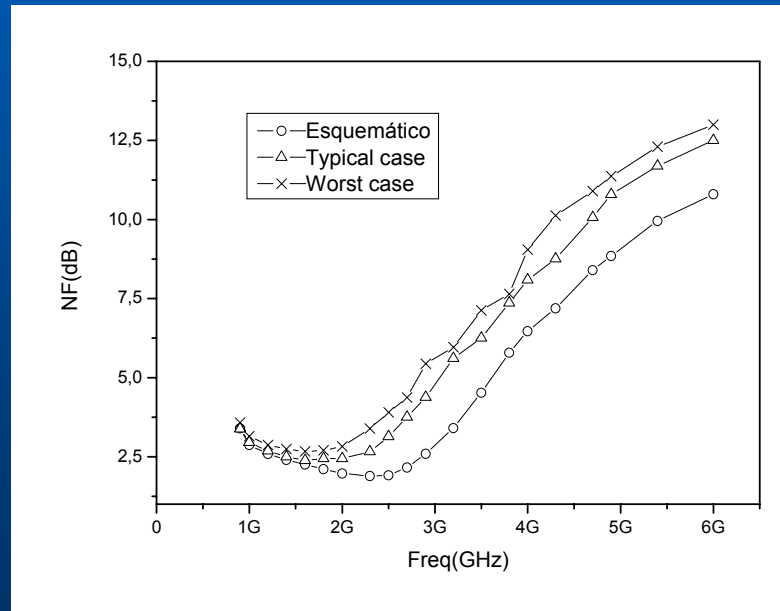
-○- Esquemático -△- Typical case -x- Worst case



Diseño a nivel de *Layout*

● Layout del LNA2

➤ Simulaciones post-layout del LNA2 v18

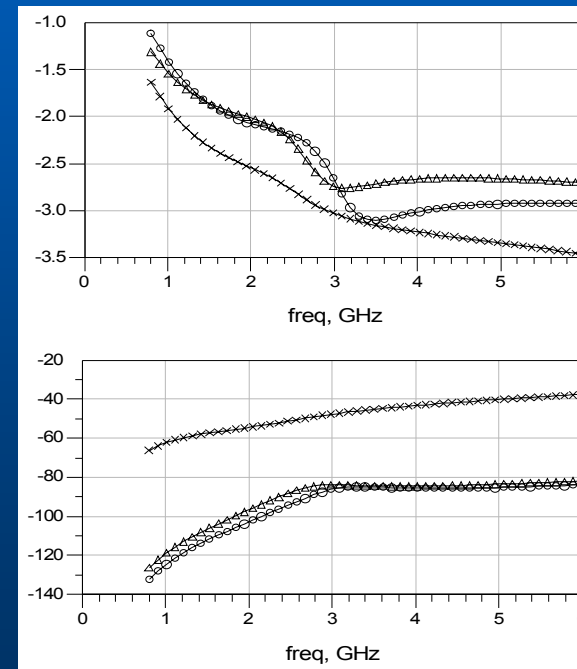
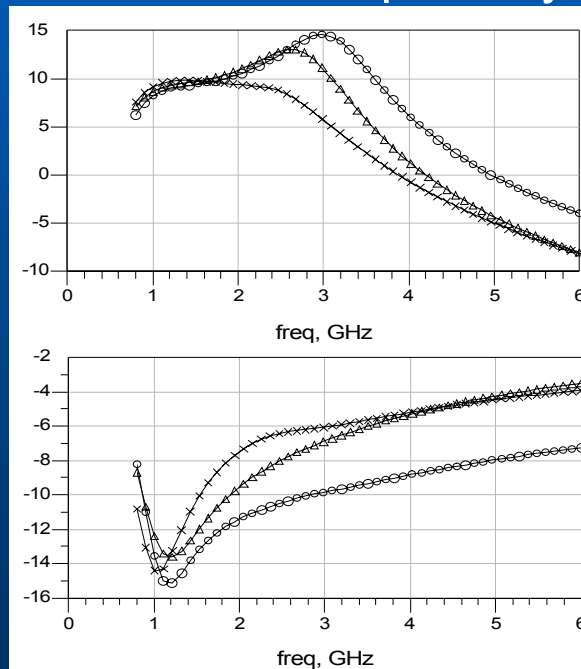




Diseño a nivel de *Layout*

● Layout del LNA2

➤ Simulaciones post-layout del LNA2 v24 activado



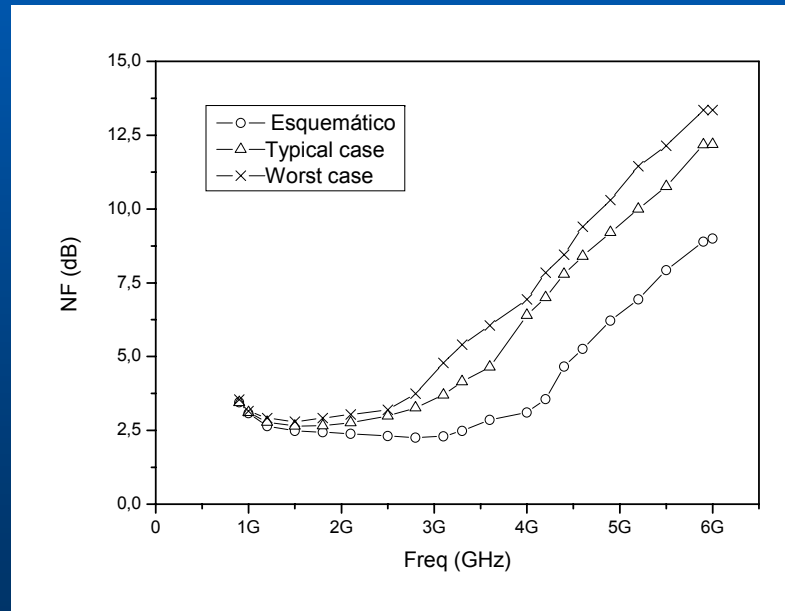
-○- Esquemático -△- Typical case -x- Worst case



Diseño a nivel de *Layout*

● Layout del LNA2

➤ Simulaciones post-layout del LNA2 v24





Índice

BLOQUE 1

- **Introducción**
- **Objetivos**
- **Estudio de los principales estándares para terminales móviles**
- **LNAs Multibanda**
- **Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS**

BLOQUE 2

- **Diseño a nivel de esquemático**
- **Diseño a nivel de *layout***
- **Medidas**

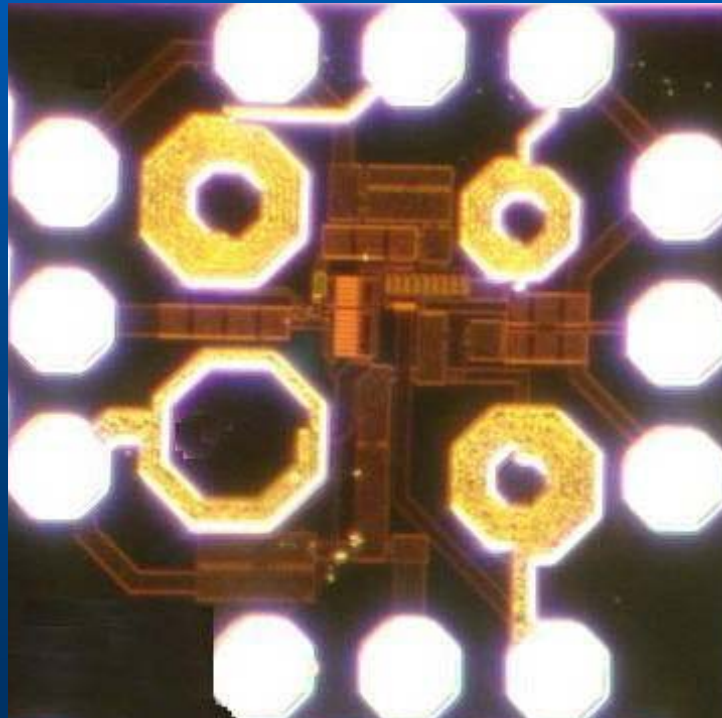
BLOQUE 3

- **Conclusiones**
- **Presupuesto**



Medidas

- **Medidas realizadas en el LNA1**
 - **Fotografía del LNA1 diseñado**

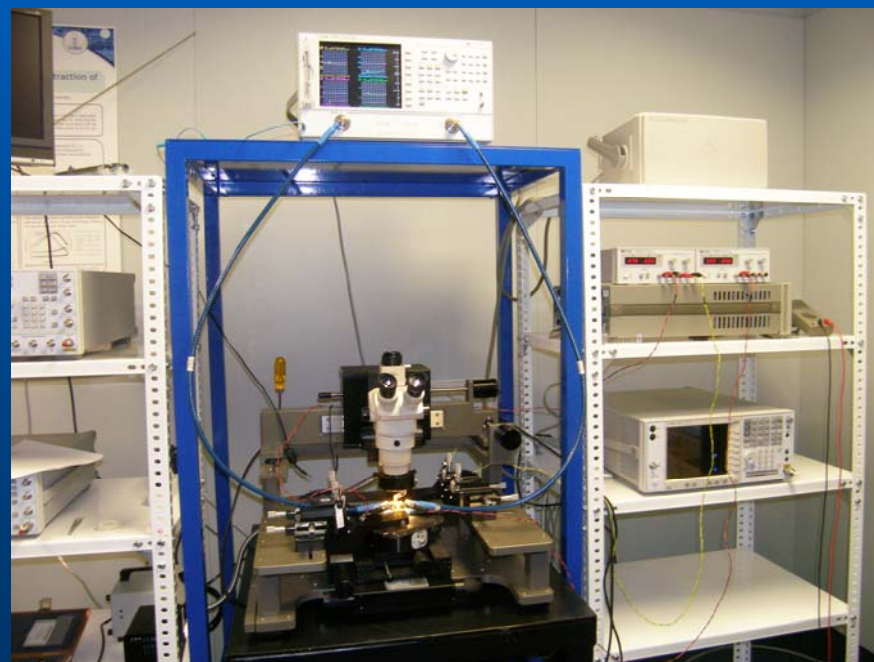
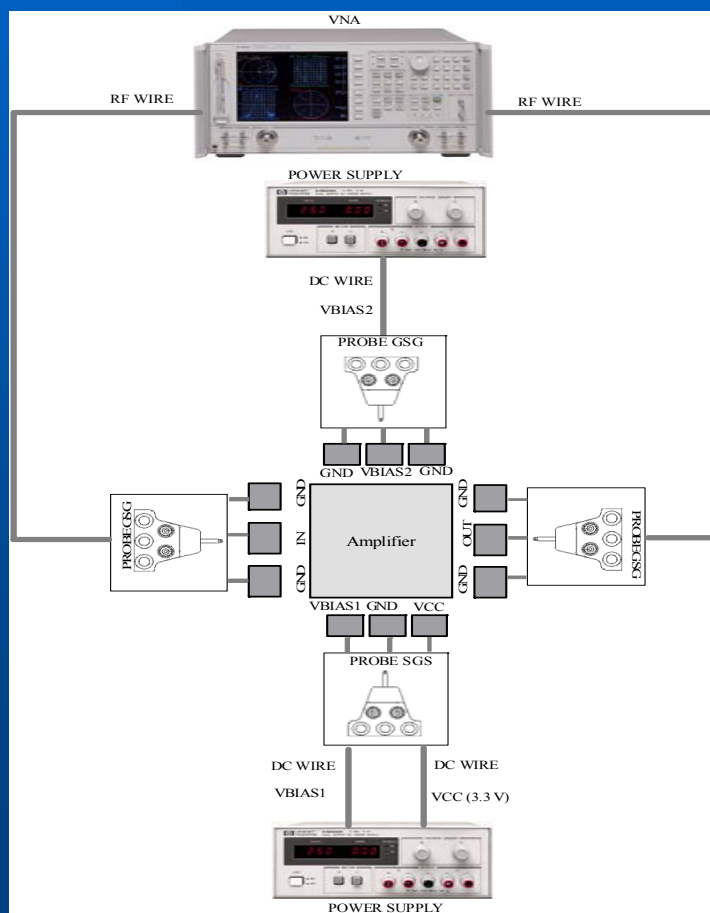


Área=0,725×0,730mm²

Consumo { 14 mA
3.3 V

Medidas

- Medidas realizadas en el LNA1 (Set-up parámetros S)



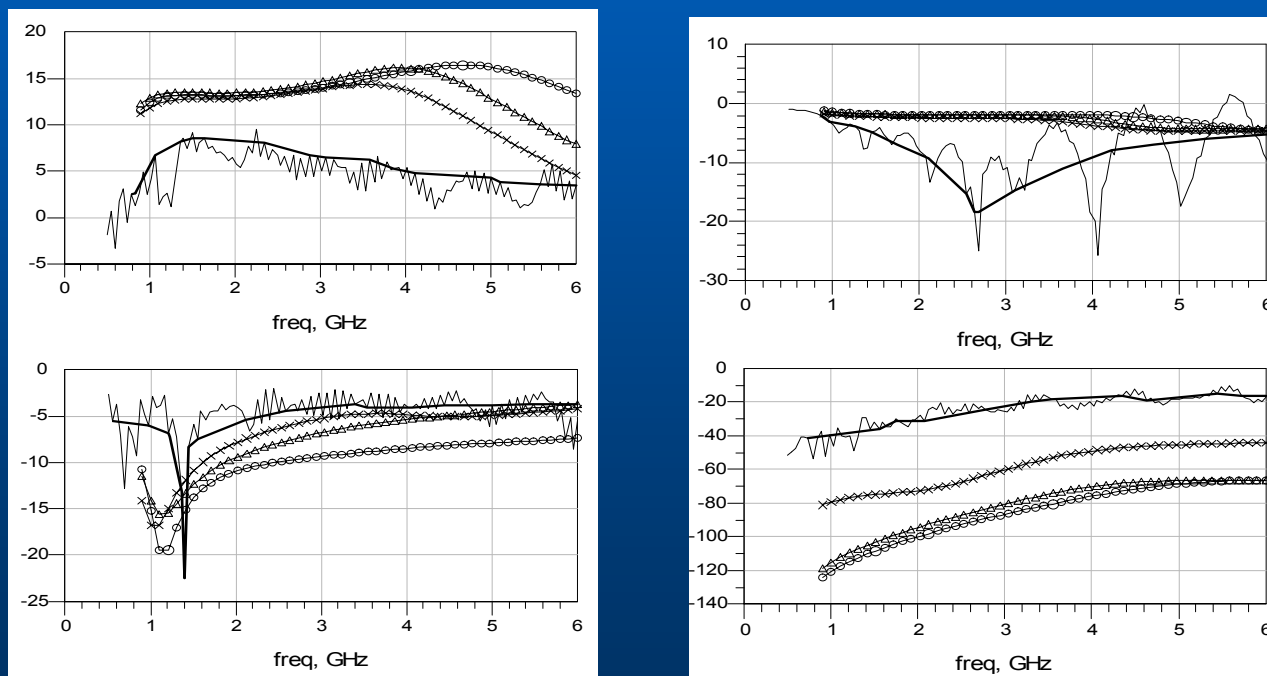
Junio 2008

Gustavo Alexis Pérez Ruiz

Medidas

- **Medidas realizadas en el LNA1**

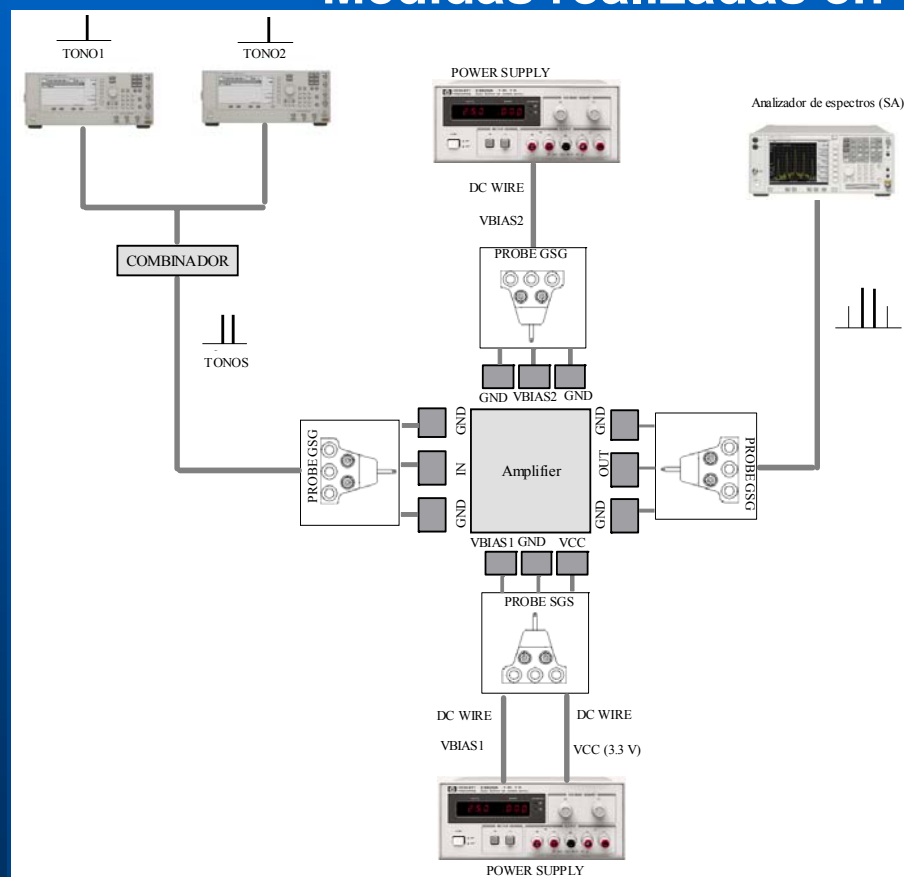
➤ Simulación vs medidas LNA1



-○- Esquemático -Δ- Typical case -x- Worst case — Medida

Medidas

- Medidas realizadas en el LNA1 (Set-up de medida IP3)

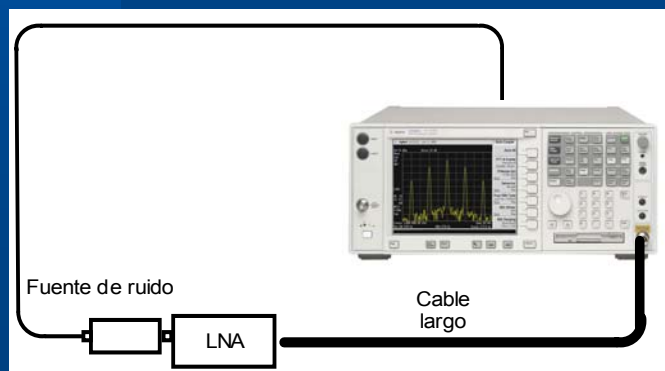
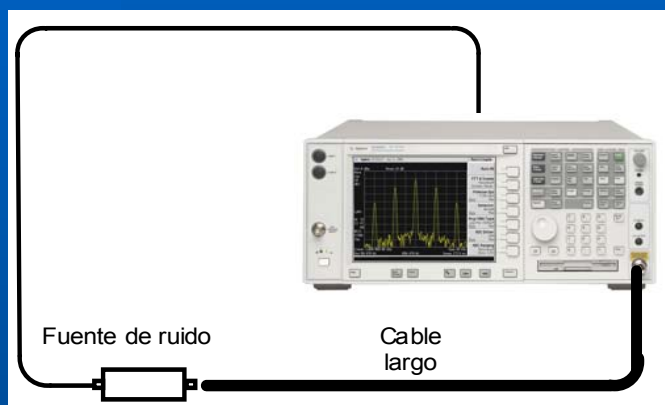


Junio 2008

Gustavo Alexis Pérez Ruiz

Medidas

- Medidas realizadas en el LNA1 (Set-up de medida NF)



Junio 2008

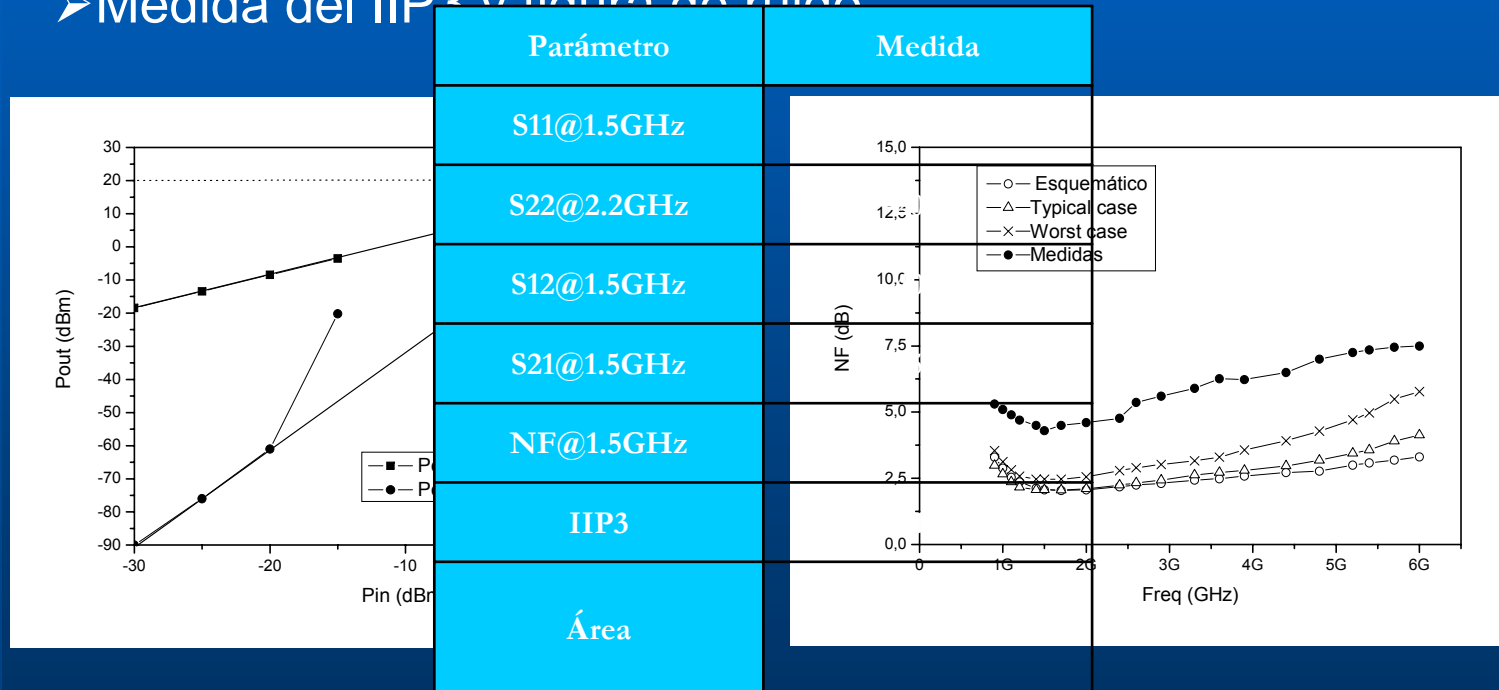
Gustavo Alexis Pérez Ruiz



Medidas

- **Medidas realizadas en el LNA1**

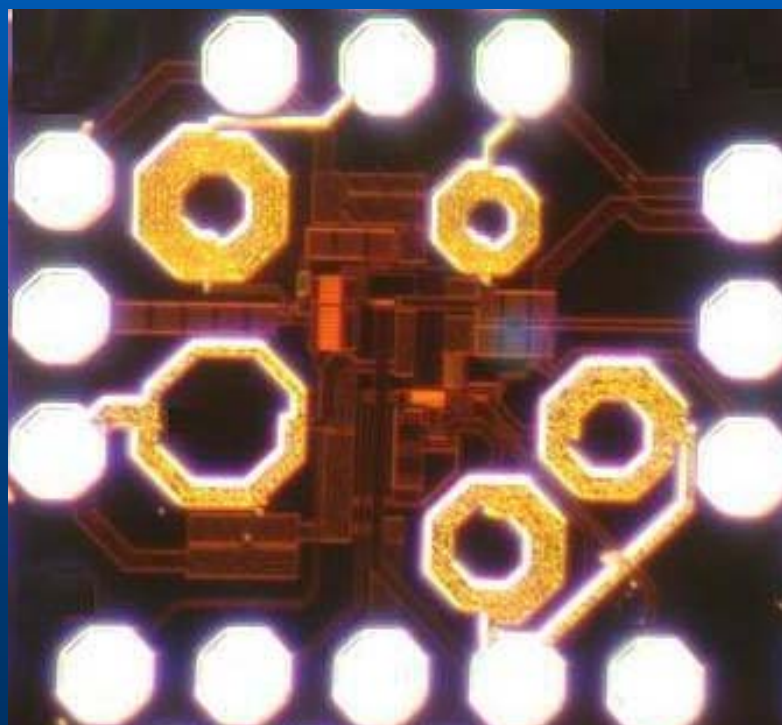
➤ Medida del IIP3 y figura de ruido





Medidas

- **Medidas realizadas en el LNA2**
 - **Fotografía del LNA2 diseñado**

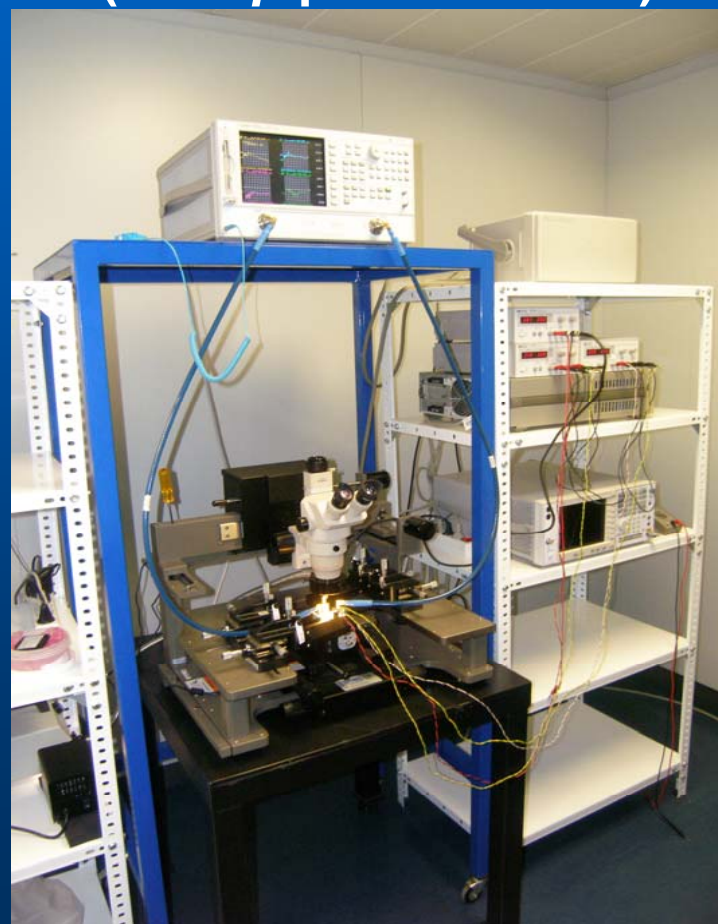
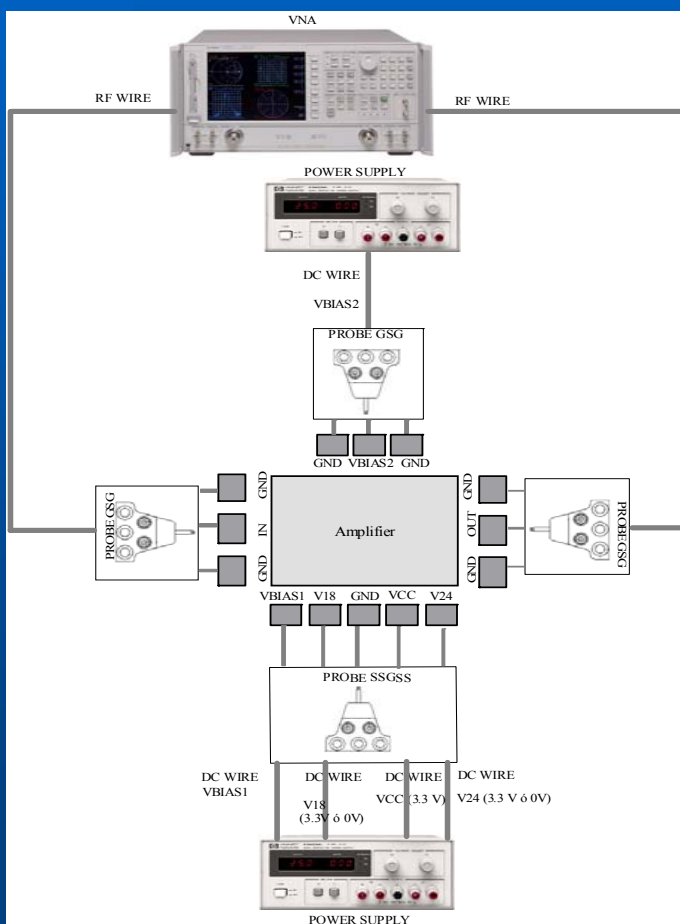


Área=0,771×0,848mm²

Consumo { 16 mA
3.3 V

Medidas

- Medidas realizadas en el LNA2 (Set-up parámetros S)



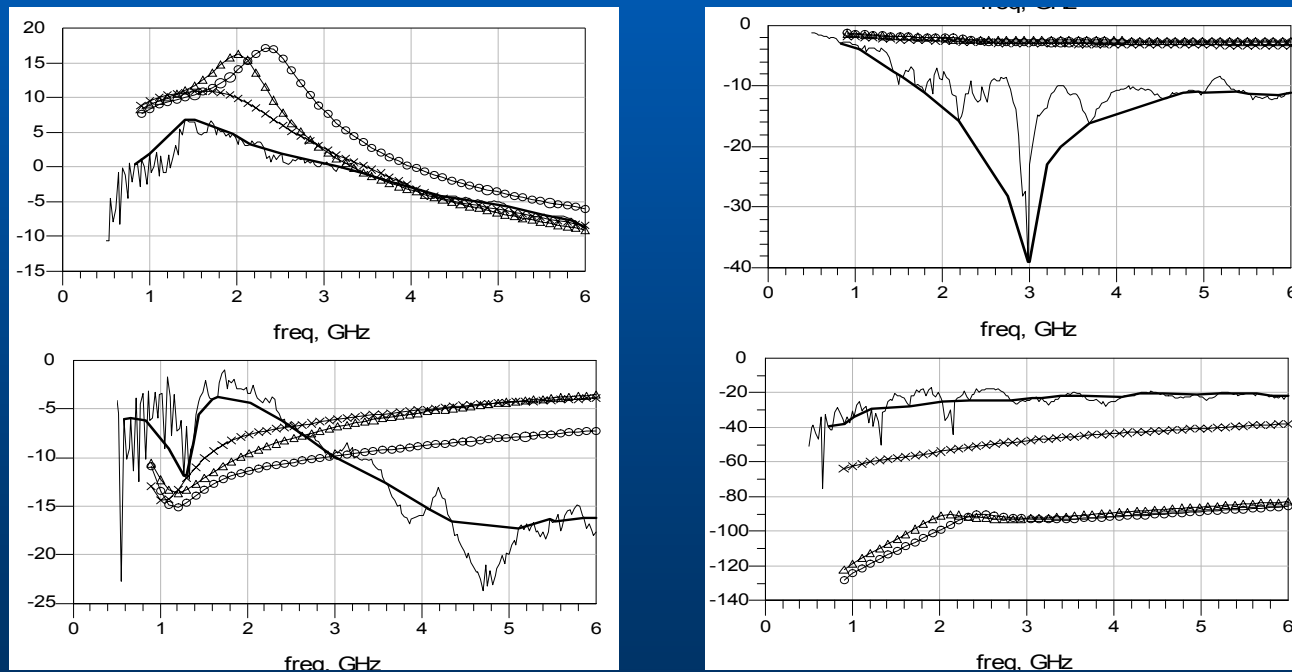
Junio 2008

Gustavo Alexis Pérez Ruiz

Medidas

- **Medidas realizadas en el LNA2**

➤ Simulación vs medidas LNA2 con v18 activado

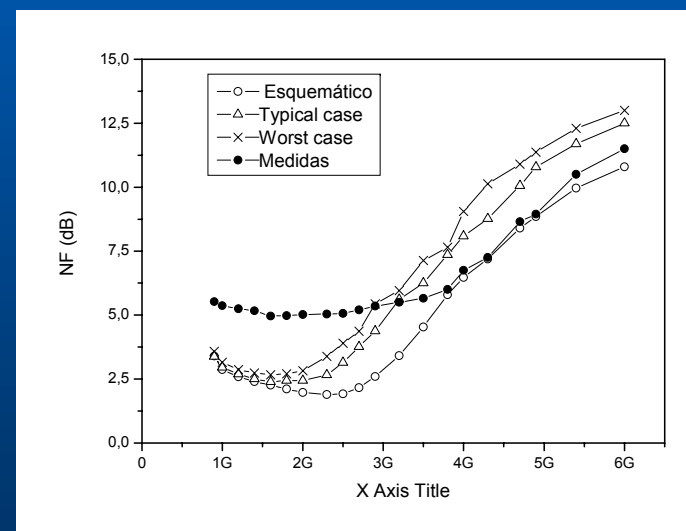
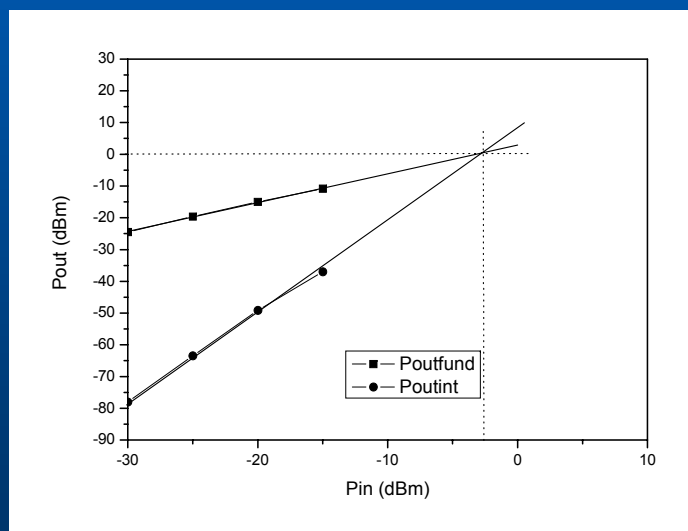


-○- Esquemático -△- Typical case -x- Worst case — Medida

Medidas

- **Medidas realizadas en el LNA2**

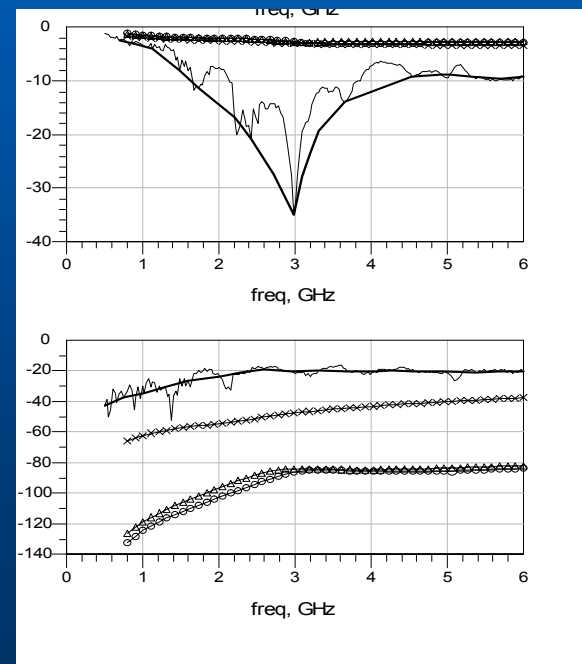
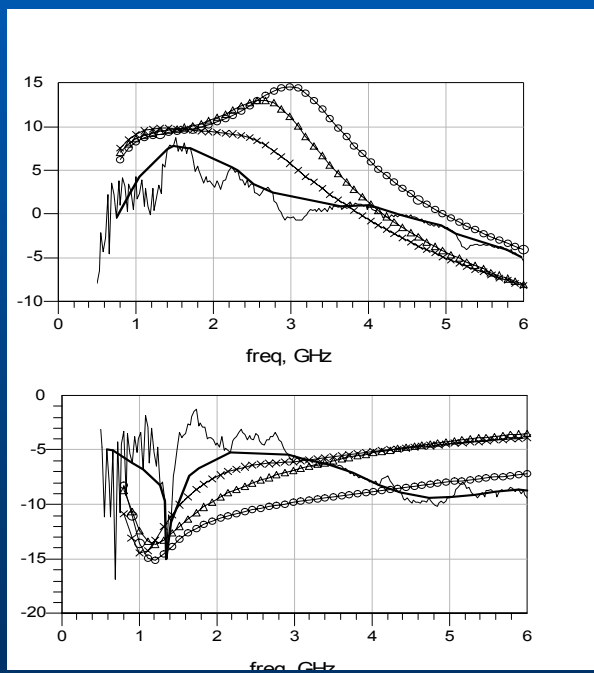
➤ Medida del IIP3 y figura de ruido con v18 activado



Medidas

- **Medidas realizadas en el LNA2**

➤ Simulación vs medidas LNA2 con v24 activado



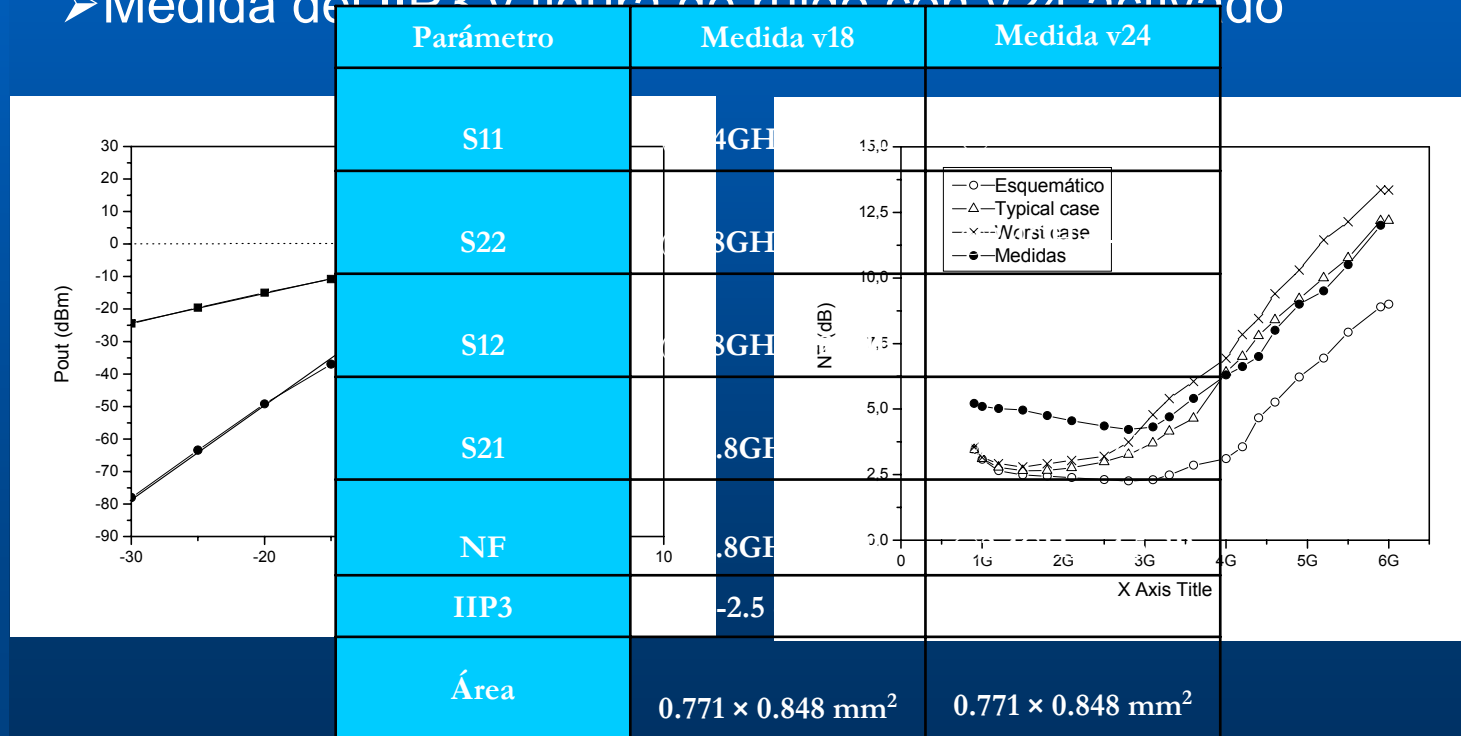
-○- Esquemático -△- Typical case -x- Worst case — Medida



Medidas

- Medidas realizadas en el LNA2

➤ Medida del IIP3 y figura de ruido con v24 activado





Índice

BLOQUE 1

- **Introducción**
- **Objetivos**
- **Estudio de los principales estándares para terminales móviles**
- **LNAs Multibanda**
- **Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS**

BLOQUE 2

- **Diseño a nivel de esquemático**
- **Diseño a nivel de *layout***
- **Medidas**

BLOQUE 3

- **Conclusiones**
- **Presupuesto**



Conclusiones

➤ Comparación entre los LNAs diseñados

	LNA1 Esquemático	LNA1 <i>Layout</i>	LNA1 Medidas	LNA2 Esquemático	LNA2 <i>Layout</i>	LNA2 Medidas
Ganancia Máx.(S21)	17.109 dB	14.7 dB	8.5 dB	20.32 dB	10.7 dB	7.7 dB
NF min.	1.59 dB	2.5 dB	4 dB	1.52 dB	2.8 dB	4.5 dB
S11 min.	-16.25 dB	-16 dB	-14 dB	-16.25 dB	-14.2 dB	-12 dB
S22 min.	-1.94 dB	-2.5 dB	-20 dB	-2.358 dB	-3 dB	-30 dB



Conclusiones

➤ Comparación con otros trabajos

Referencia	Tecnología	Freq. (GHz)	S21 (dB)	S11 (dB)	NF (dB)	IIP3 (dBm)	Consumo	Área mm ²
[34]	0.18 μm CMOS	2.4 GHz 5.5 GHz	13.1 12.2	-14.8 -7.2	3.7 5.1	-4.7 N/A	75mW 75mW	----
[35] *	0.18 μm CMOS	900MHz 1.8 GHz 2.4 GHz	26 20 18	-17 -16 -15	4.1 4.4 4.6	4.5 3 1.5	20mA 1.8V	0.4×0.34
LNA1	0.35 μm SiGe	1.8 GHz 2.4 GHz	7 7.7	-12 -15	4 4	-2.5 -2.5	14mA 3.3V	0.77×0.84
LNA2	0.35 μm SiGe	Banda 900 MHz- 6 GHz	8.5	-14	4.5	8	16mA 3.3V	0.72×0.73

* Ganancia de LNA + Mezclador



Conclusiones

- Resultados similares al comparar los diseños
- Especificaciones obtenidas análogas a las obtenidas en otros trabajos
- Los objetivos planteados inicialmente se han alcanzado
- Adaptación de entrada buena en toda la banda a cubrir



Índice

BLOQUE 1

- **Introducción**
- **Objetivos**
- **Estudio de los principales estándares para terminales móviles**
- **LNAs Multibanda**
- **Tecnología SiGe 0,35 μm de AMS**

BLOQUE 2

- **Diseño a nivel de esquemático**
- **Diseño a nivel de *layout***
- **Medidas**

BLOQUE 3

- **Conclusiones**
- **Presupuesto**



Presupuesto

Costes	Total(€)
Costes de herramientas software	106,21
Costes de equipos informáticos	288,12
Costes de medida	295,63
Costes de fabricación	1182
Costes de recursos humanos	29900
Otros costes	579,2
Subtotal	32351,16
IGIC (5%)	1617,56
PRESUPUESTO TOTAL	33968,72

Diseño de un LNA multibanda integrado con carga sintonizable y adaptación de entrada de banda ancha



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

EUITT Sistemas Electrónicos

Autor: Gustavo Alexis Pérez Ruiz

Tutor: Francisco Javier del Pino Suárez

Fecha: Junio 2008

Cotutor: Sunil Lalchand Khemchandani

PROYECTO FIN DE CARRERA