

Diseño de un mezclador en CMOS 0.35 μm para un receptor basado en el estándar IEEE802.11a.



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA



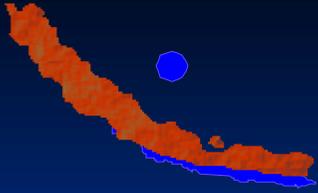
Titulación: Sistemas Electrónicos

Autor: Roberto Díaz Ortega

Tutores: Francisco Javier del Pino Suárez

Fecha: Abril 2004

Amaya Goñi Iturri



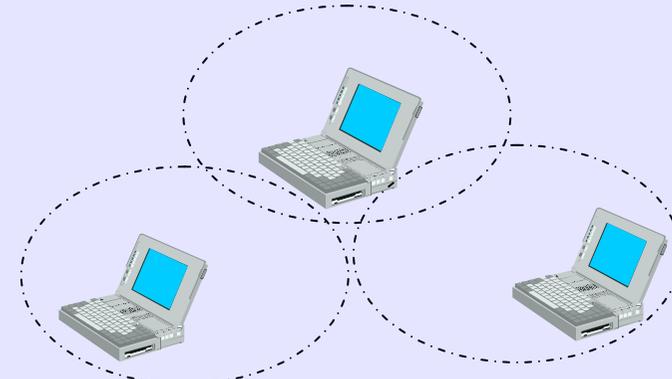
Introducción

WLAN = Wireless Local Area Network

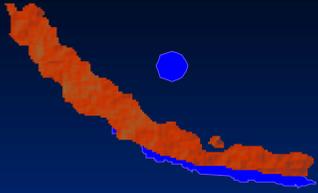
Rapidez de Instalación



Escalabilidad



Movilidad



Índice

BLOQUE I

- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

BLOQUE II

- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

BLOQUE III

- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto



Ganancia

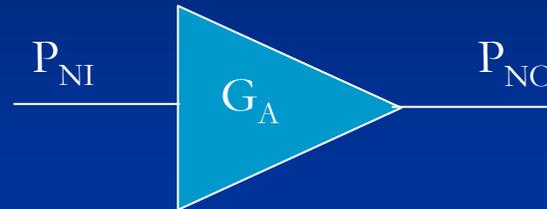
- La ganancia de un circuito determina la relación entre las amplitudes de la señal de salida y la señal de entrada.

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

- Siendo el valor de la tensión en decibelios como:

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

Figura de Ruido



- La figura de ruido viene dada por la expresión:

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

P_{No} = Potencia de ruido en la salida

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

- Teniendo en cuenta que $G_A = P_{So} / P_{Si}$ se obtiene que:

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



Figura de Ruido (Cont.)

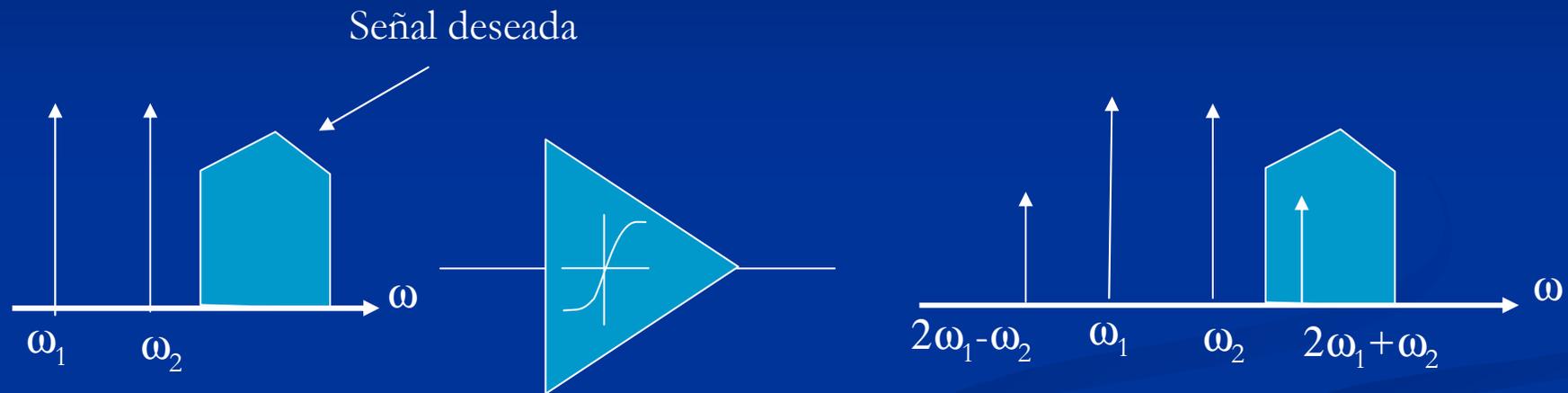


- Cuando se encuentran varias etapas en cascada la figura de ruido viene dada como:

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

- La primera etapa de un sistema de radiofrecuencia debe tener una baja figura de ruido y una alta ganancia

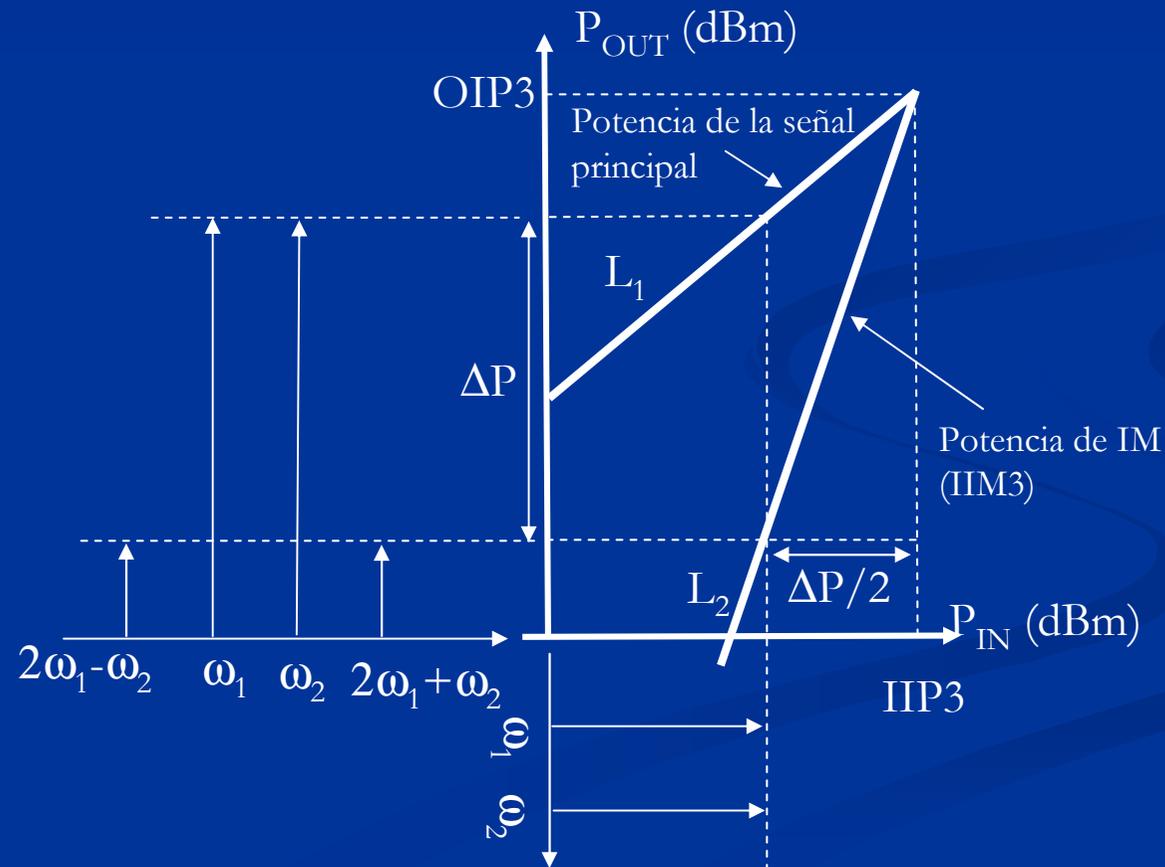
Punto de Intercepción de Tercer Orden



- Los sistemas no lineales en la salida aparecen términos armónicos de la señal de entrada que siguen la ley $m\omega_1 \pm n\omega_2$
- Los productos de intermodulación de tercer orden son los más peligrosos porque pueden solaparse a la señal deseada

● Punto de Intercepción de Tercer Orden (Cont.)

- El IIP3 determina la degradación de la señal debido a los producto de intermodulación

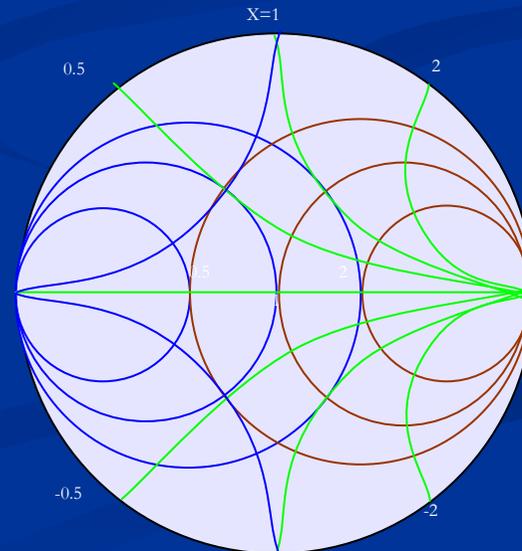


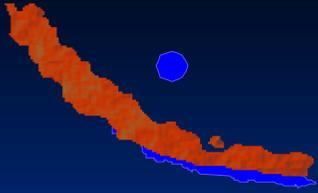
Coeficiente de onda estacionaria (VSWR)

- Indica una medida cuantitativa de la adaptación tanto en la entrada como en la salida del circuito.

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

- La forma más usual de representarlo es sobre el diagrama de Smith





Índice

BLOQUE I

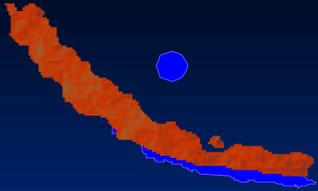
- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

BLOQUE II

- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

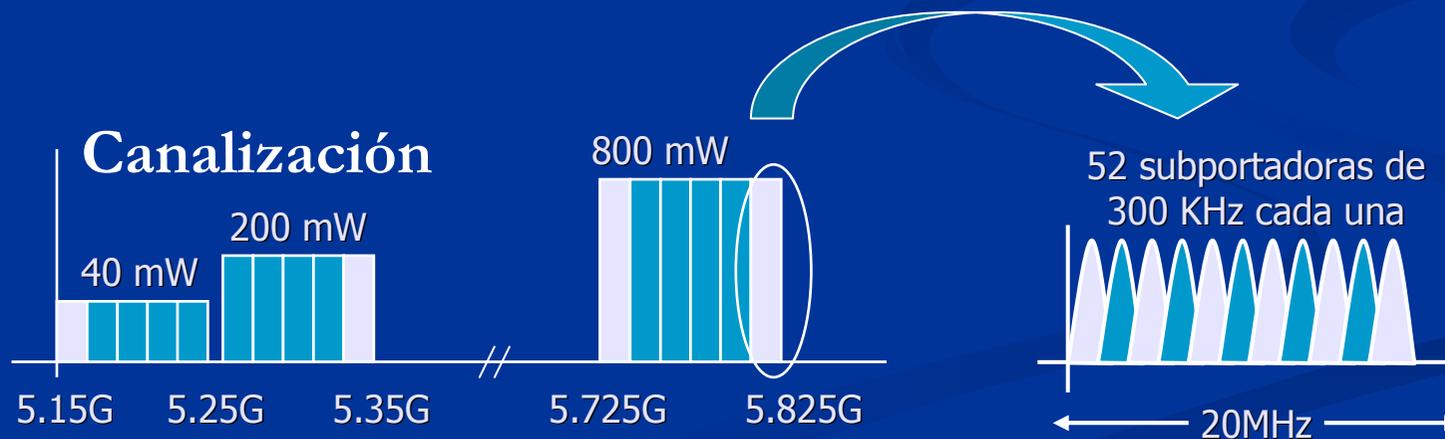
BLOQUE III

- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto



Estándar IEEE802.11a

- Este estándar se define para redes inalámbricas en la banda de 5GHz
- Para reducir errores se definen diferentes tasas de transferencia pudiendo llegar a una tasa máxima de 54 Mbps





● Especificaciones del estándar IEEE802.11a

- La impedancia de la antena tanto en transmisión como en recepción debe ser 50 Ohmios

- Rango de temperatura de funcionamiento {
 - Tipo 1 0 °C a 40 °C
 - Tipo 2 -20 °C a 50 °C
 - Tipo 3 -30 °C a 70 °C

- Potencia de transmisión {
 - 5.15-5.25 (GHz) -> 40mW
 - 5.25-5.35 (GHz) -> 200mW
 - 5.25-5.35 (GHz) -> 800mW

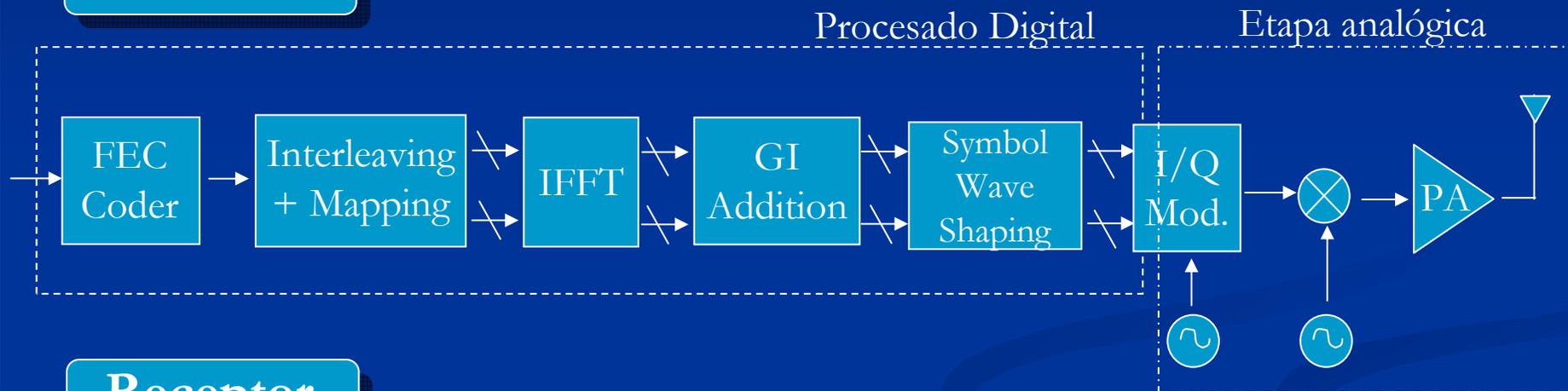
- Variación máxima de frecuencia en la salida de 20 ppm

- Sensibilidad mínima de -82 dBm para una tasa de 6 Mbits/s

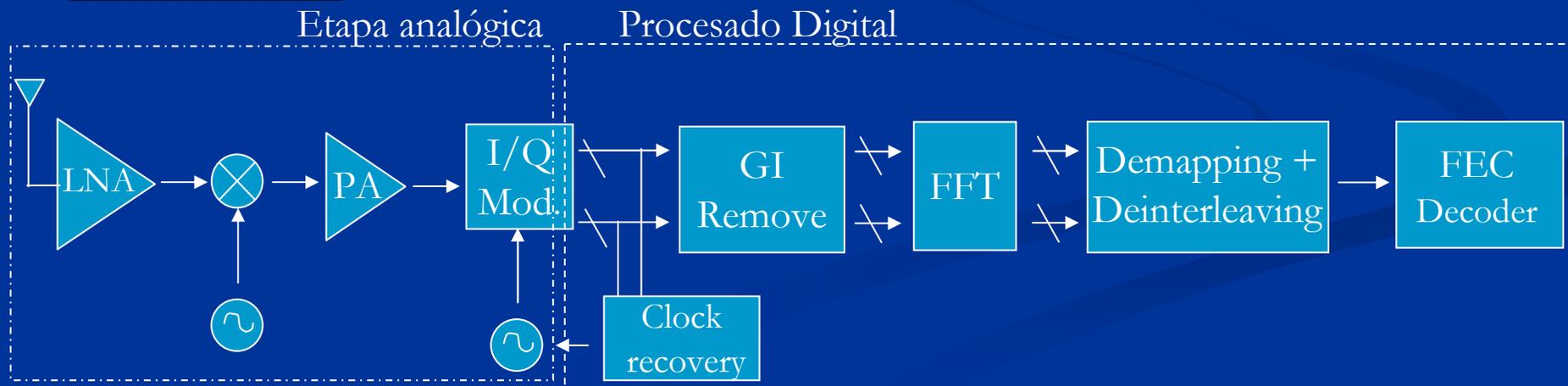
- Figura de ruido máxima en recepción de 14 dBs

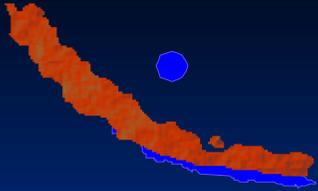
Sistema genérico de OFDM

Transmisor



Receptor





Índice

BLOQUE I

- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

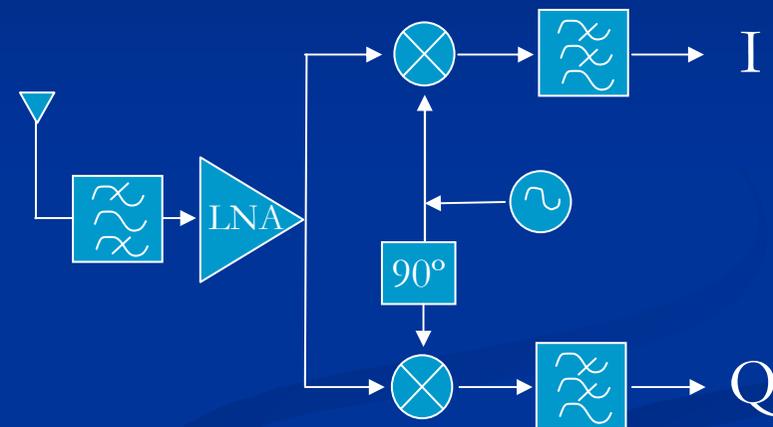
BLOQUE II

- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

BLOQUE III

- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto

Receptor de Conversión Directa



Ventajas

- No hay problemas con la frecuencia imagen
- Reducido número de componentes

Inconvenientes

- Aparece un Offset en la salida (Self Mixing)
- Aparición de error de constelación
- Implementación del sintetizador

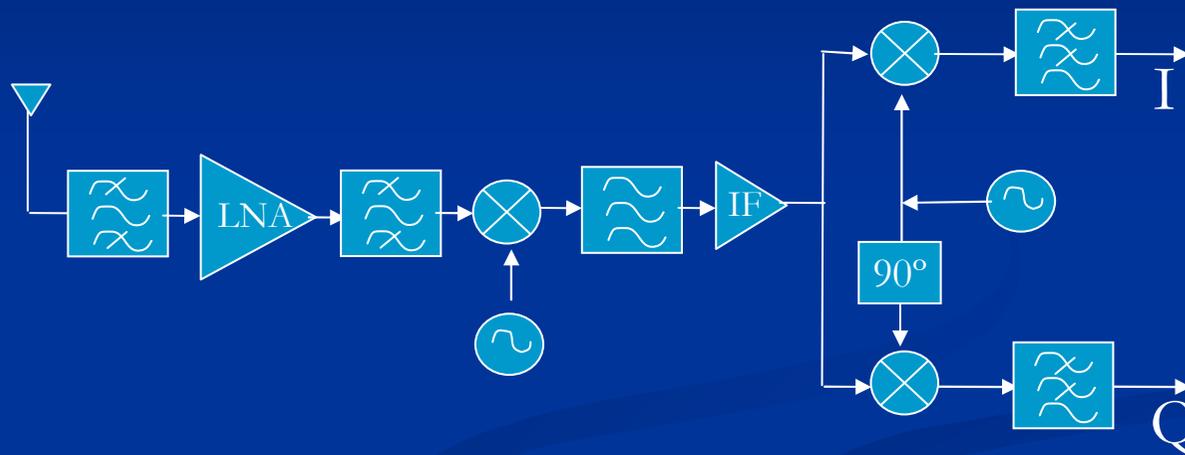
Receptor de Doble Conversión

Ventajas

- Elimina Self Mixing
- Mejora selectividad
- Sintetizador de baja frecuencia

Inconvenientes

- Elevado número de componentes
- El filtro de Frecuencia intermedia no es integrable



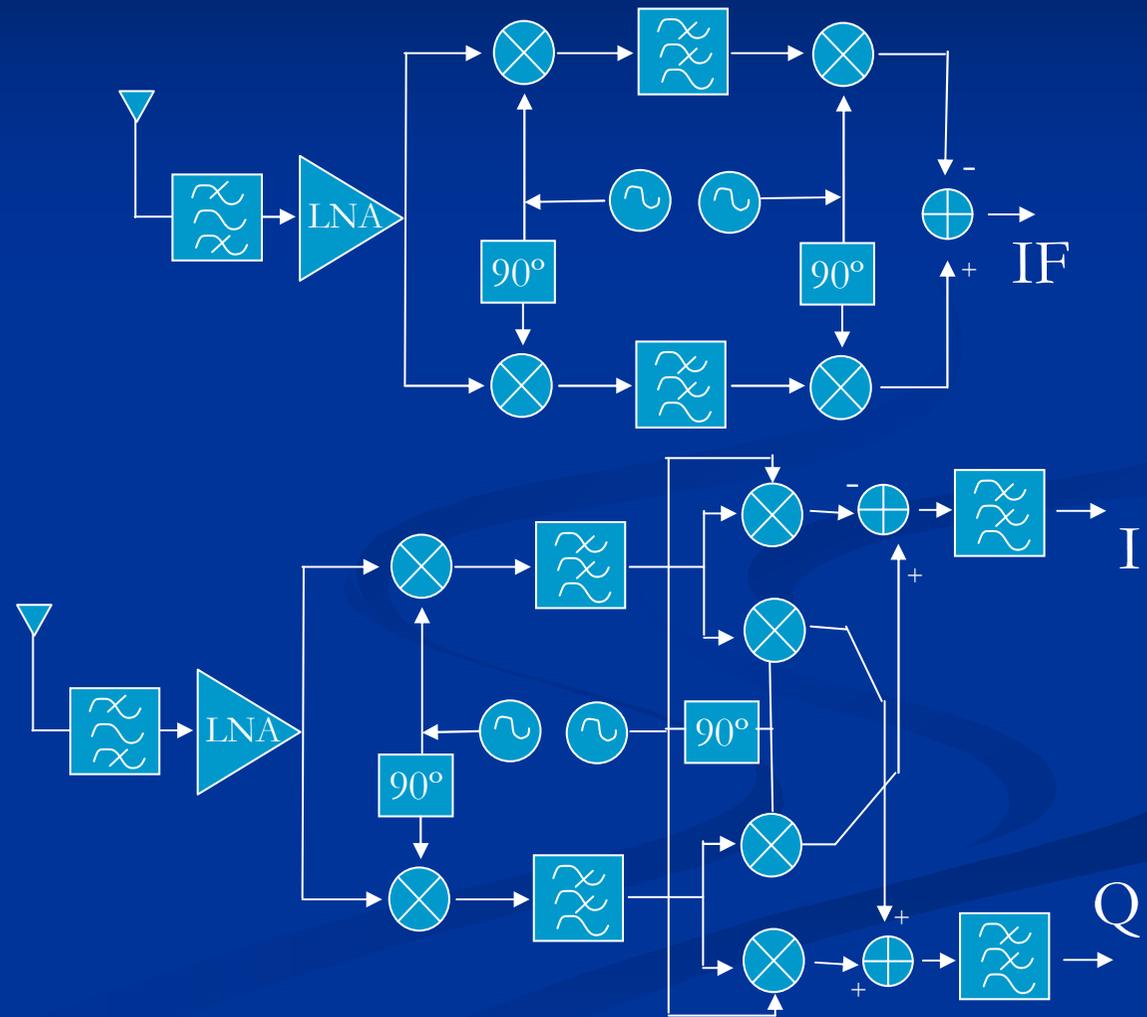
Receptor Weaver Modificado

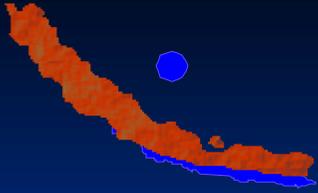
Ventajas

- Gran selectividad
- No es necesario el uso de filtros de frecuencia intermedia

Inconvenientes

- Elevado número de componentes
- Pueden aparecer errores de constelación





Índice

BLOQUE I

- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

BLOQUE II

- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

BLOQUE III

- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto

Mezclador de Frecuencias

- El mezclador tiene como función el trasladar la señal presente en su entrada a un rango de frecuencias diferente, sin modificar las características de la señal

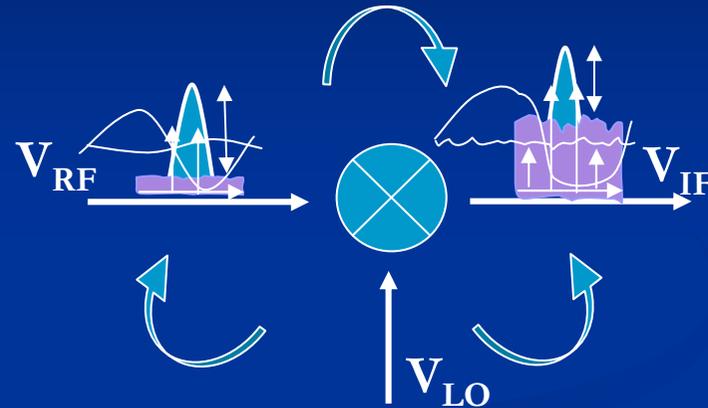


- Los mezcladores se clasifican según su rango de trabajo en:

Up-conversion

Down-Conversion

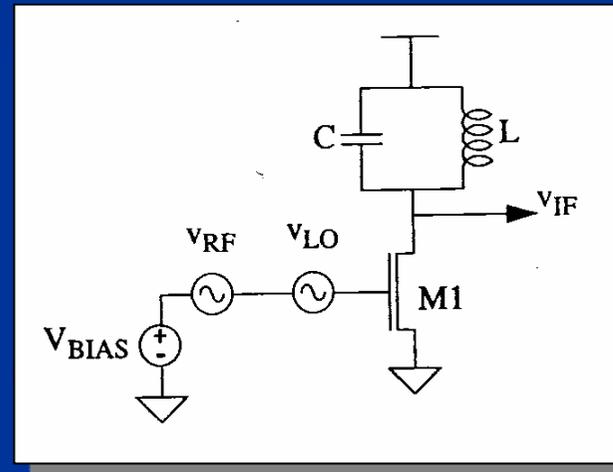
Parámetros del Mezclador



- Ganancia de conversión
- Figura de ruido
- Punto de intercepción de tercer orden
- Rango Dinámico.- Diferencia entre valores mínimos y máximos que se pueden aplicar al circuito.
- Aislamiento.- Representa la cantidad de señal que se acopla en los distintos puertos del sistema.

Sistemas no lineales como mezcladores

- Algunos mezcladores realizan el mezclado basándose en no-linealidades que presenta el circuito.



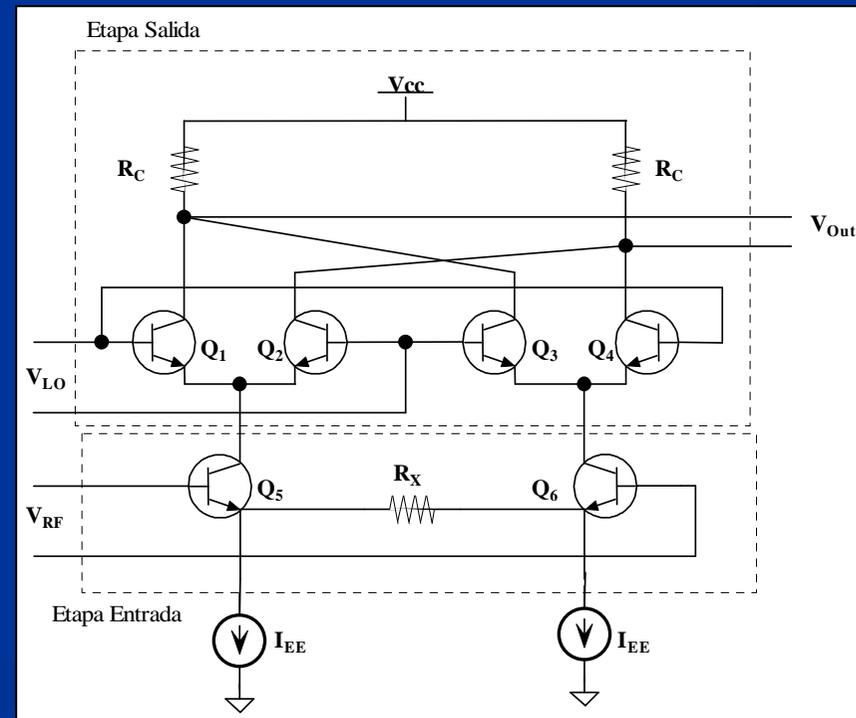
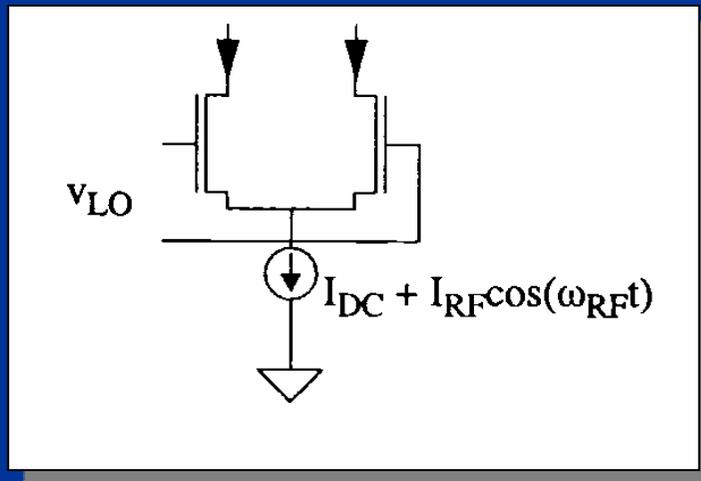
$$i_2(t) = a \cdot v_1(t) + b \cdot [v_1(t)]^2$$

$$v_1(t) = V_{RF} \cdot \cos(\omega_{RF}t) + V_{LO} \cdot \cos(\omega_{LO}t)$$

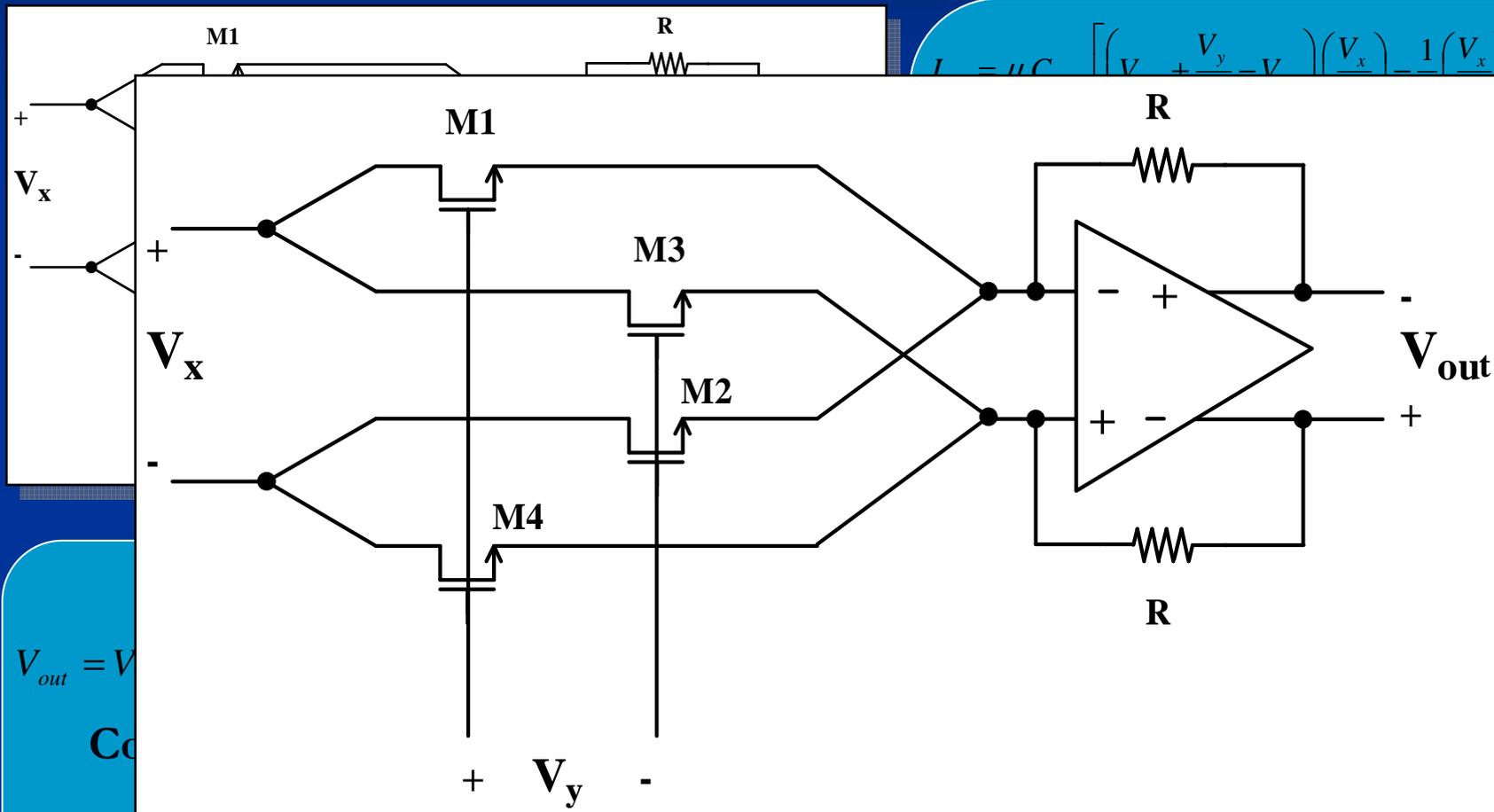
$$2bV_{RF}V_{LO} \cos(\omega_{RF}t) \cdot \cos(\omega_{LO}t) = bV_{RF}V_{LO} [\cos(\omega_{LO} - \omega_{RF})t + \cos(\omega_{LO} + \omega_{RF})t]$$

Mezcladores basados en multiplicadores

- Los mezcladores basados en multiplicadores presentan un mayor rendimiento con respecto a los basados en no-linealidades.



Mezclador CMOS pasivo



$$I_D = \mu C_{OX} \left[(V_{GS} + V_y - V_T)(V_x) - \frac{1}{2}(V_x)^2 \right]$$

$$\left(\frac{V_x}{2} \right)^2$$

$$V_{T4}$$

$$V_{out} = V$$

$$C_{OX}$$

$$I_D = \mu C_{OX} \cdot (V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \left(\frac{V_{DS}}{2} \right)^2$$

$$K_m = R \cdot \beta \rightarrow V_{out} = K_m \cdot V_x \cdot V_y$$



Índice

BLOQUE I

- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

BLOQUE II

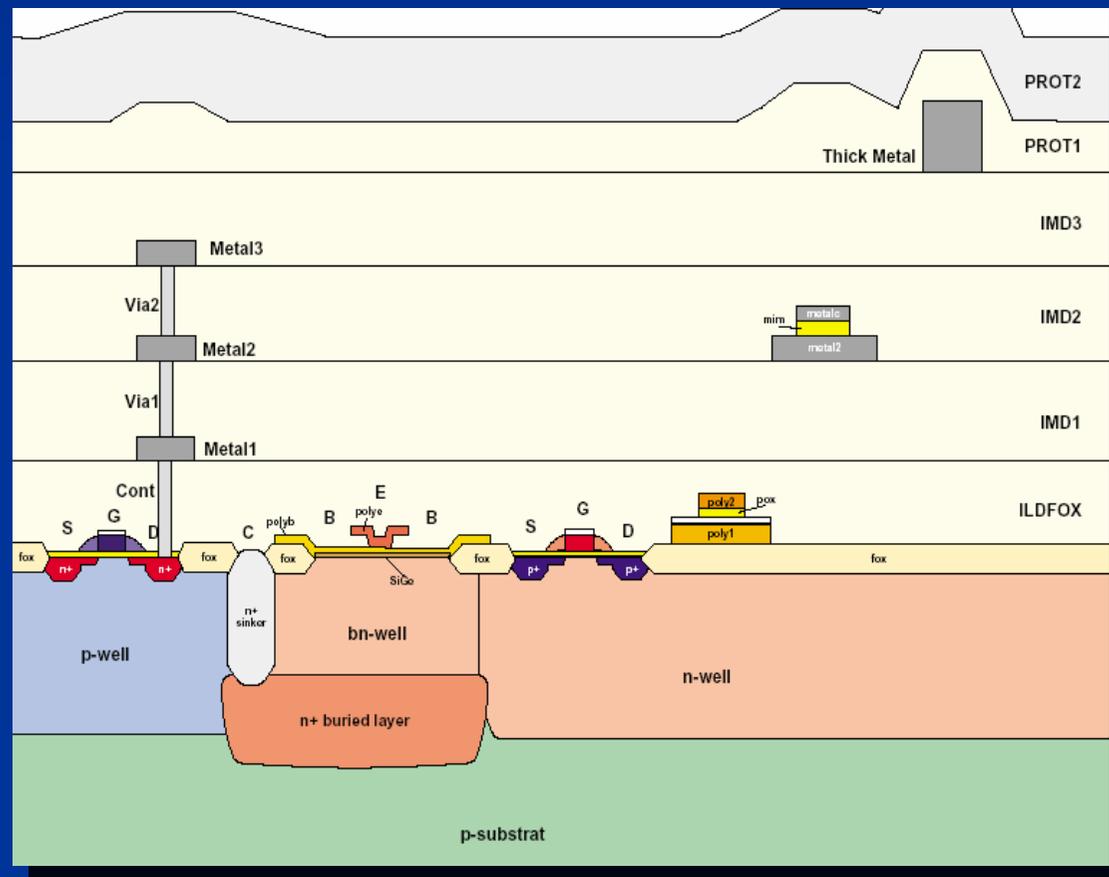
- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

BLOQUE III

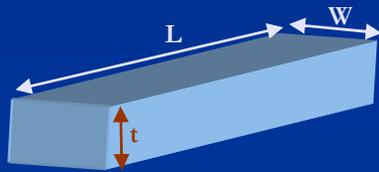
- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto

Tecnología S35D4 de AMS

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



Resistencias



$$R = \frac{\rho}{t} \cdot \frac{W}{L}$$

ρ = Resistividad del material
 t = Espesor del material
 L = Longitud de la pista
 W = Anchura de la pista

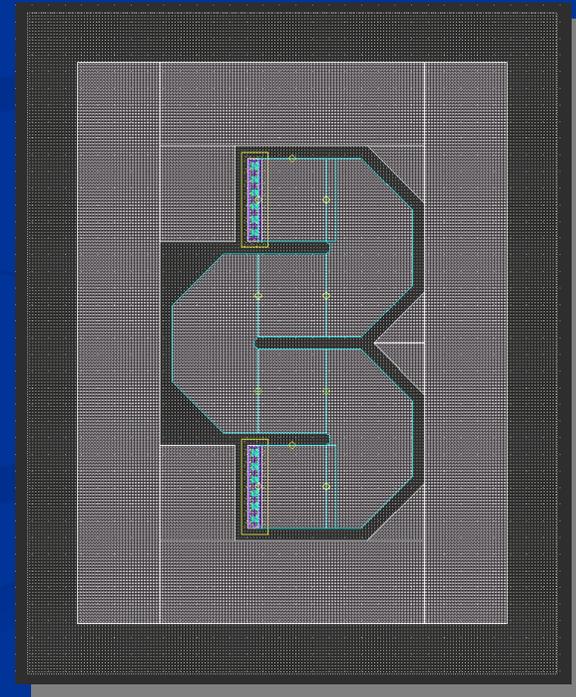
Definiendo ρ/t como R_{square} :

$$R = R_{square} \cdot \frac{W}{L}$$

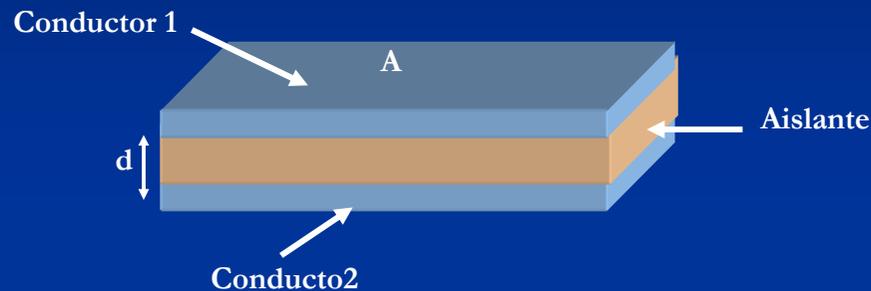
- Existen de 2 tipos de resistencias:

Rpoly: Valores pequeños de resistencias

Rpolyh: Valores Elevados de Resistencia



Condensadores



$$C = \frac{\epsilon' \cdot \epsilon_o \cdot A}{d}$$

ϵ' = Permitividad relativa del material

ϵ_o = Permitividad del vacío

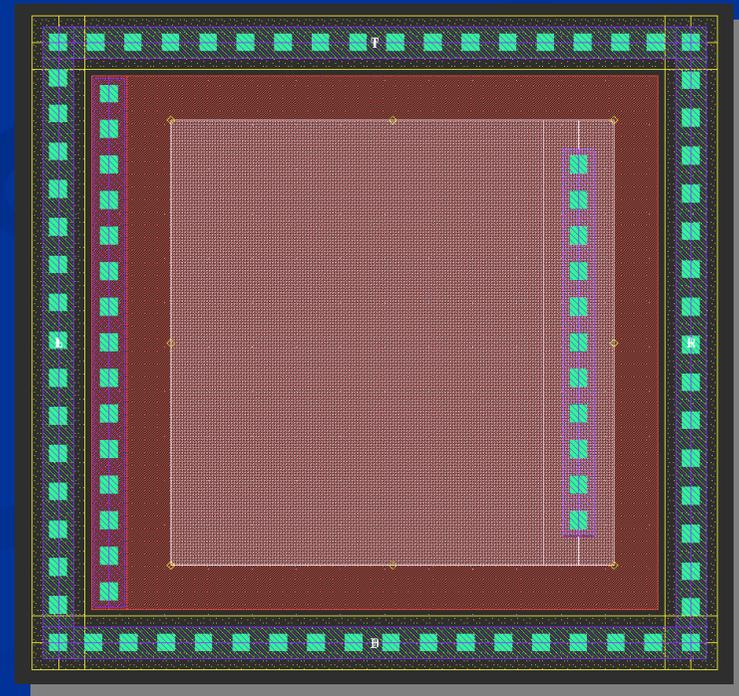
A = Área de las placas del condensador

d = Distancia entre las placas del condensador

- Existen de 2 tipos de Condensadores:

C_{poly}: Pequeñas capacidades

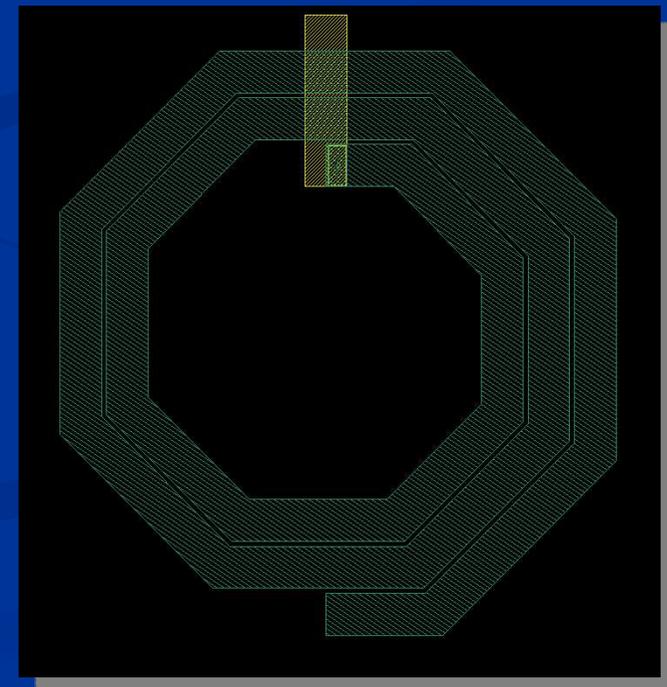
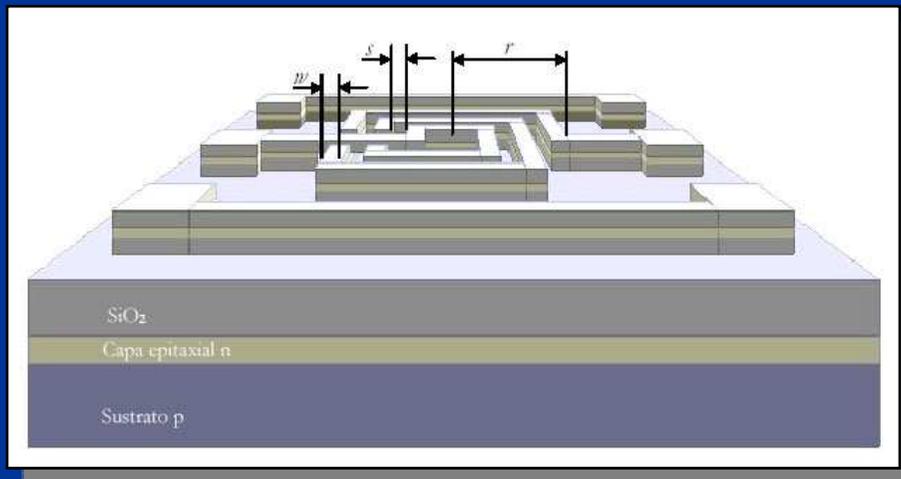
C_{min}: Grandes capacidades



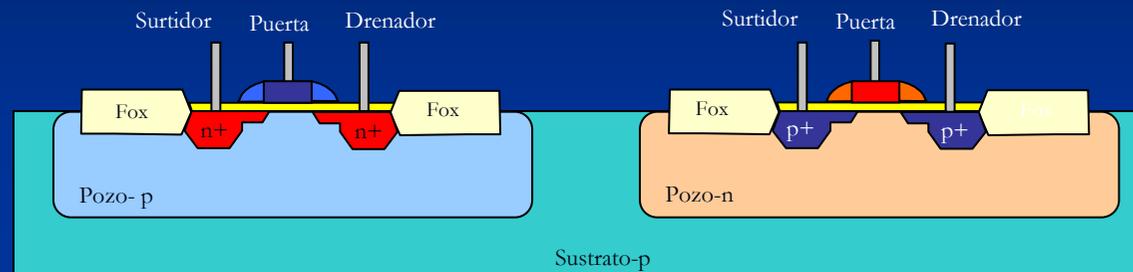


Bobinas

- La librería de bobinas que presenta la tecnología son de baja calidad
- Se emplearon bobinas desarrolladas por el IUMA empleando el simulador electromagnético Momentum



Transistores MOSFETs



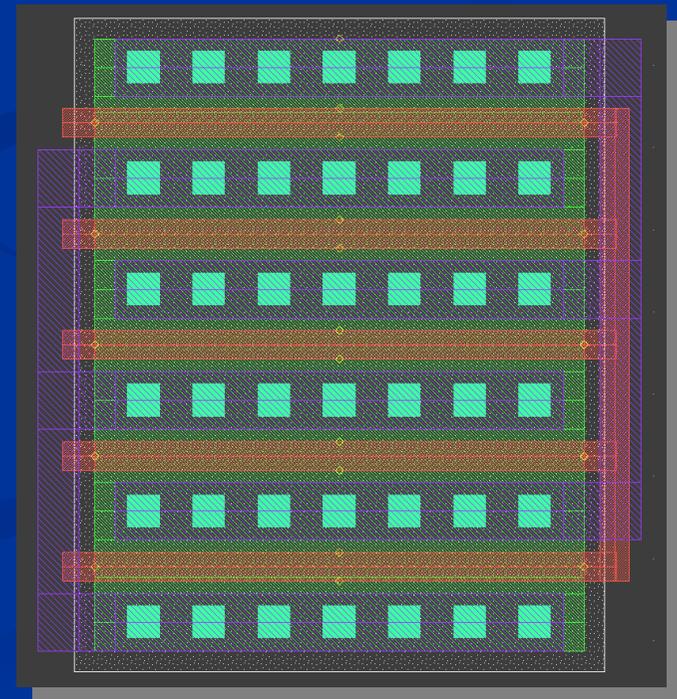
• MOSFET en región de saturación

$$I_D = \frac{\mu_n \cdot C_{OX}}{2} \cdot \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2$$

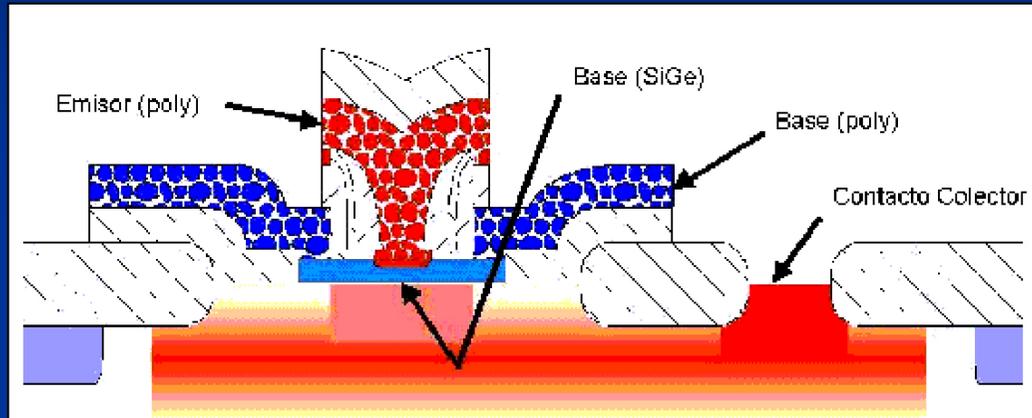
• La tecnología dispone de transistores:

PMOS : $V_T = 0.6V$

NMOS: $V_T = 0.46V$

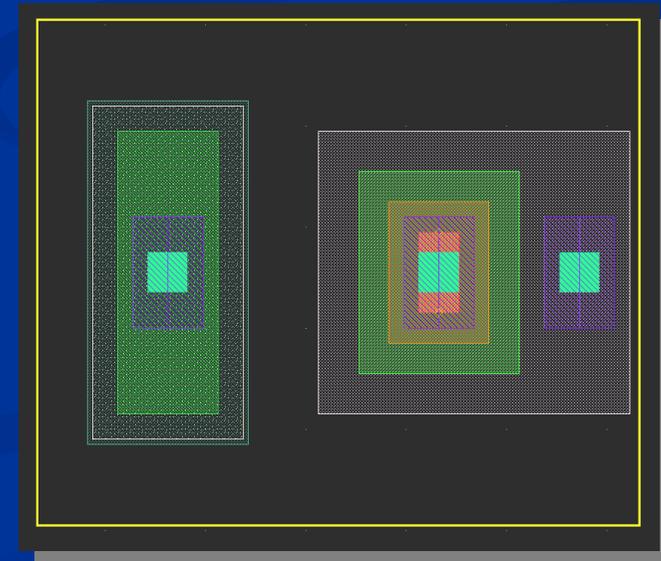


Transistores HBTs de SiGe



- Los HBTs suministrados por la tecnología presentan una f_T de 70 GHz

- En los HBTs La base presenta un espesor muy pequeño y se encuentra dopada de forma gradual con Germanio





Índice

BLOQUE I

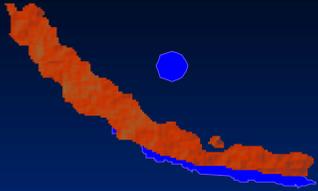
- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

BLOQUE II

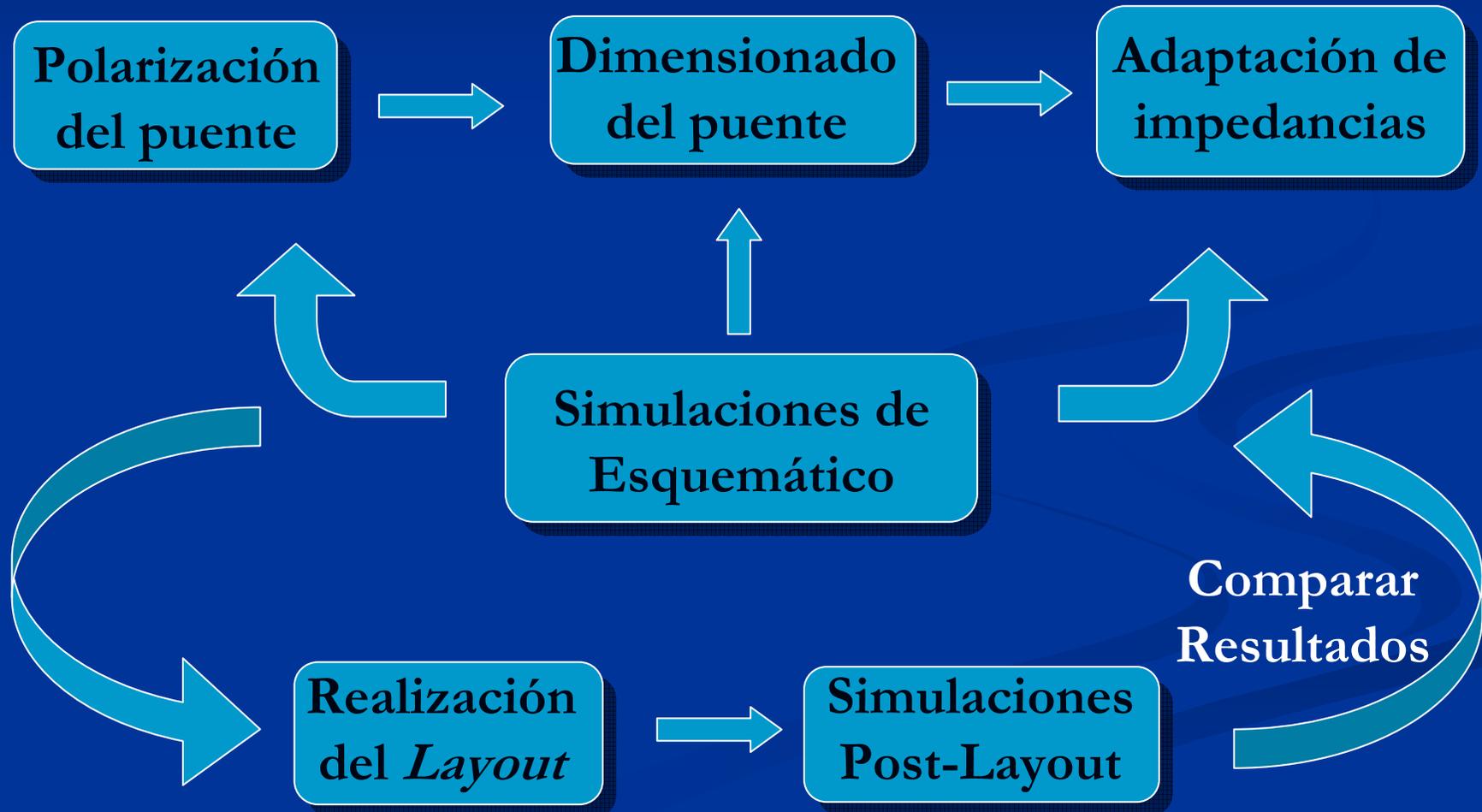
- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

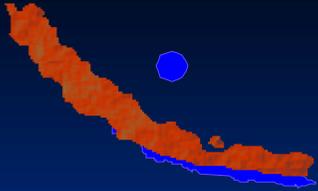
BLOQUE III

- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto

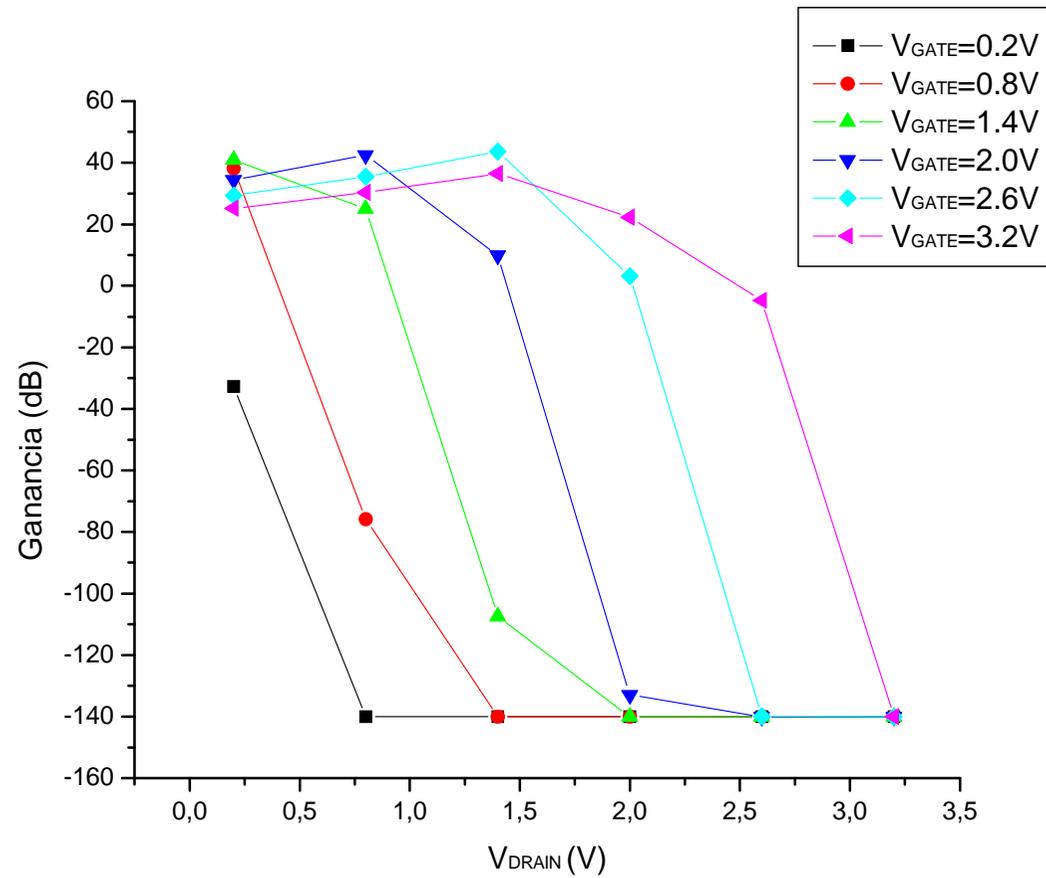


Diseño del Mezclador Pasivo





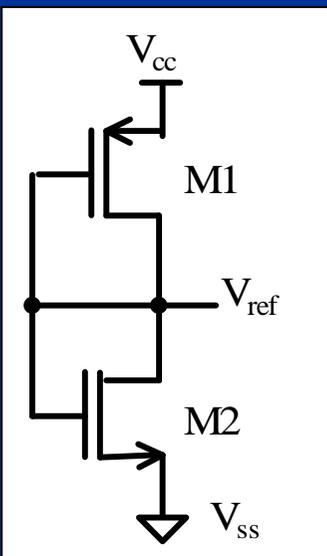
Polarización del puente



Polarización del puente

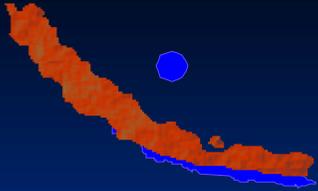
Polarización	Tensión (V)
V_{GATE}	3.3
V_{DRAIN}	2

Parámetros	Valor
Ganancia (dB)	22,29
Figura de Ruido DSB (dB)	22,51
Figura de Ruido SSB (dB)	19,46
IIP3 (dBm)	21,23
OIP3 (dBm)	43,53



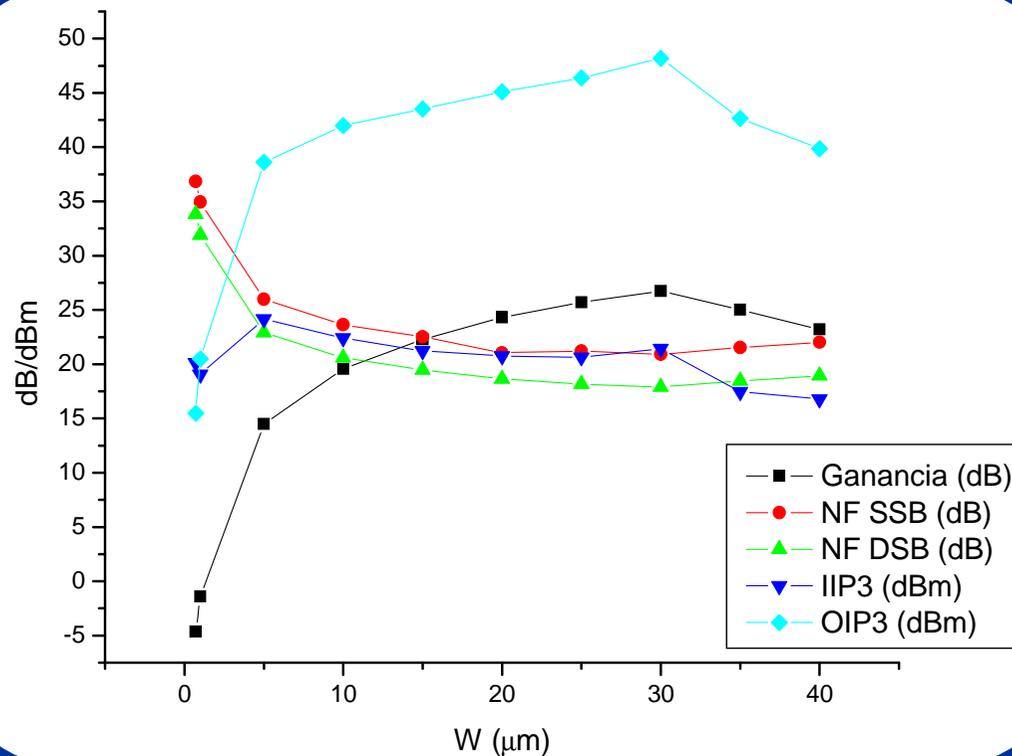
$$\frac{(W_p / L_p) \cdot K_p}{(W_n / L_n) \cdot K_n} = \left[\frac{V_{DD} - V_{ref} - V_T}{V_{ref} - V_{ss} - V_T} \right]^2$$

- La V_{GATE} implementada con resistencias de 50 Ohmios de V_{cc} a la puerta de los MOSFETS



Dimensionado del puente

- La Longitud del canal ha sido establecida en $0.35 \mu\text{m}$ porque se trabaja con señales de alta frecuencia



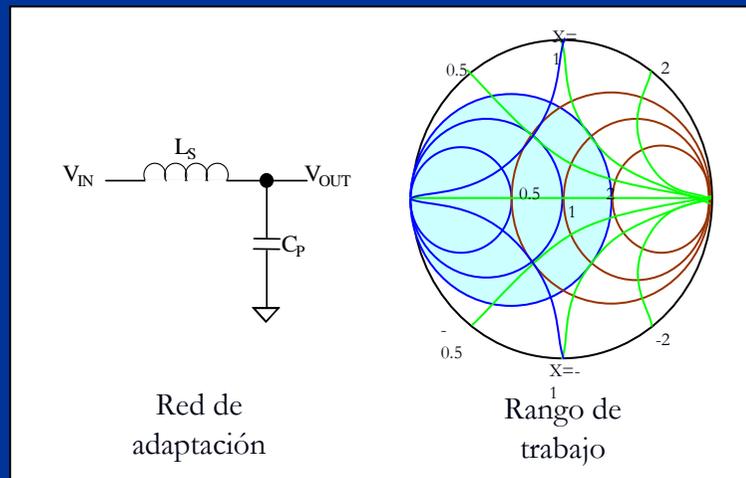
- Para una W de $30 \mu\text{m}$ se obtienen las mejores prestaciones

Adaptación de Impedancias

- La impedancia de entrada sin adaptar de es:

$$Z_{RF} = 32.43 - j21.63 \rightarrow VSWR_{RF} = 2$$

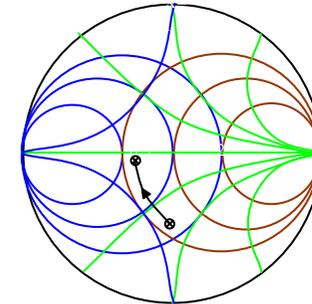
$$Z_{LO} = 20 - j34.4 \rightarrow VSWR_{LO} = 3.82$$



Adaptación de LO

$$\begin{aligned} L_S &= 2 \text{ nH} \\ Q &= 10.3 \\ F &= 5.5 \text{ GHz} \end{aligned}$$

V_{IN} ——— V_{OUT}

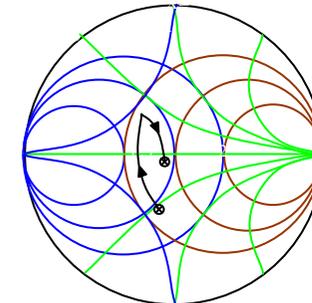


Adaptación de RF

$$\begin{aligned} L_S &= 1 \text{ nH} \\ Q &= 13.8 \\ F &= 5.5 \text{ GHz} \end{aligned}$$

V_{IN} ——— V_{OUT}

$C_P = 120 \text{ fF}$

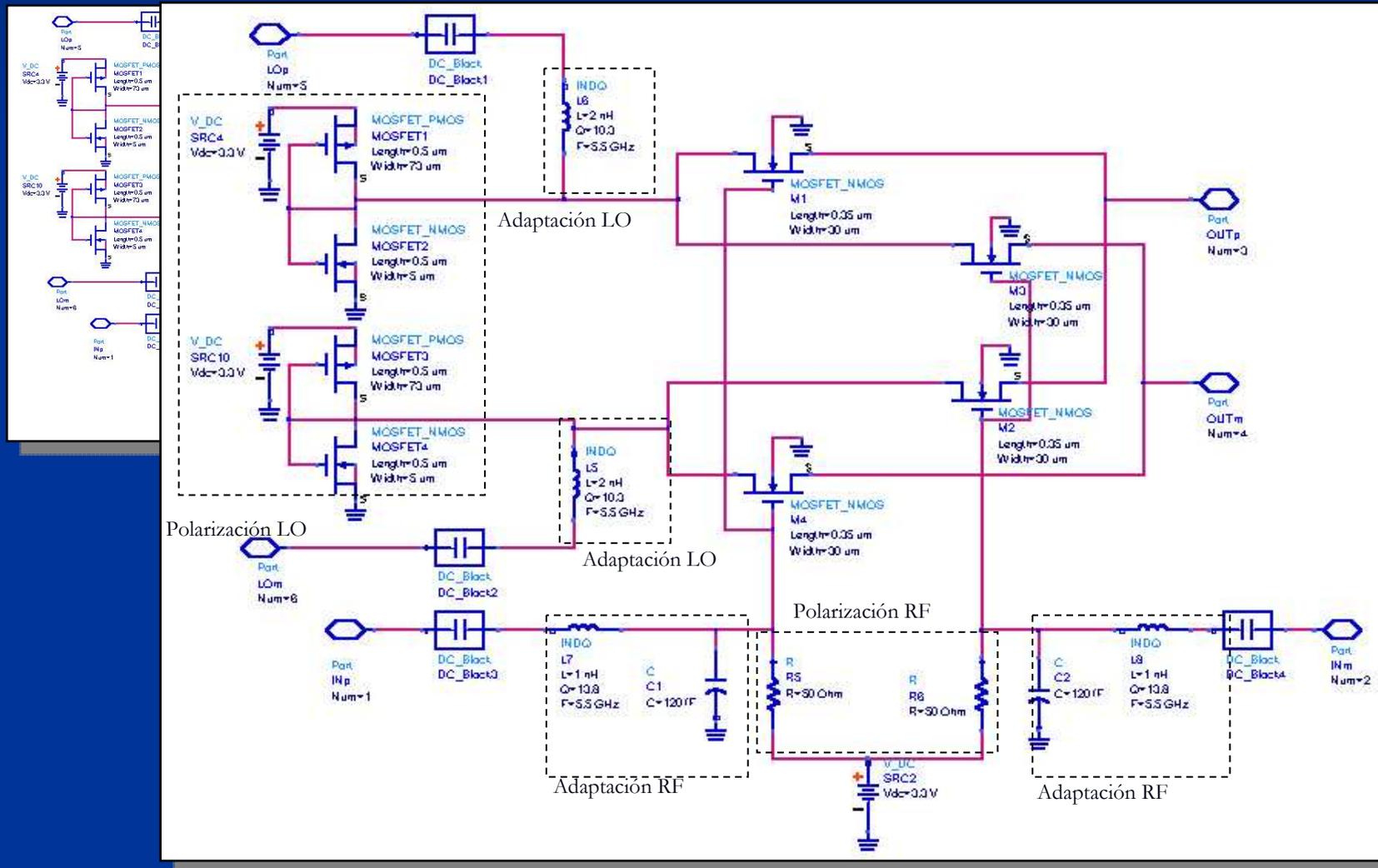


- La impedancia resultante es:

$$Z_{RF} = 41.63 - j9.73 \rightarrow VSWR_{RF} = 1.32$$

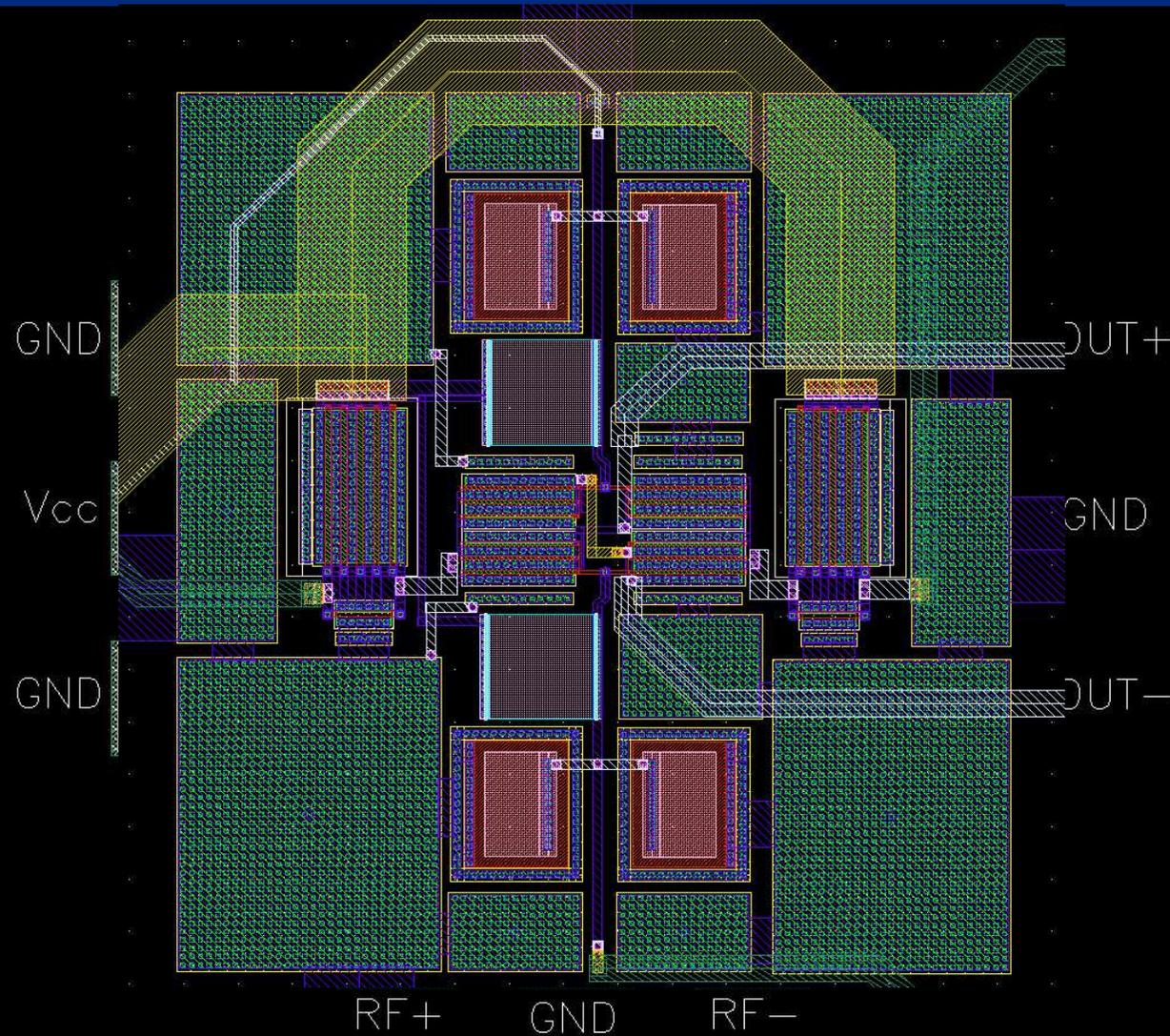
$$Z_{LO} = 31.23 - j2.19 \rightarrow VSWR_{RF} = 1.82$$

Simulaciones de esquemático

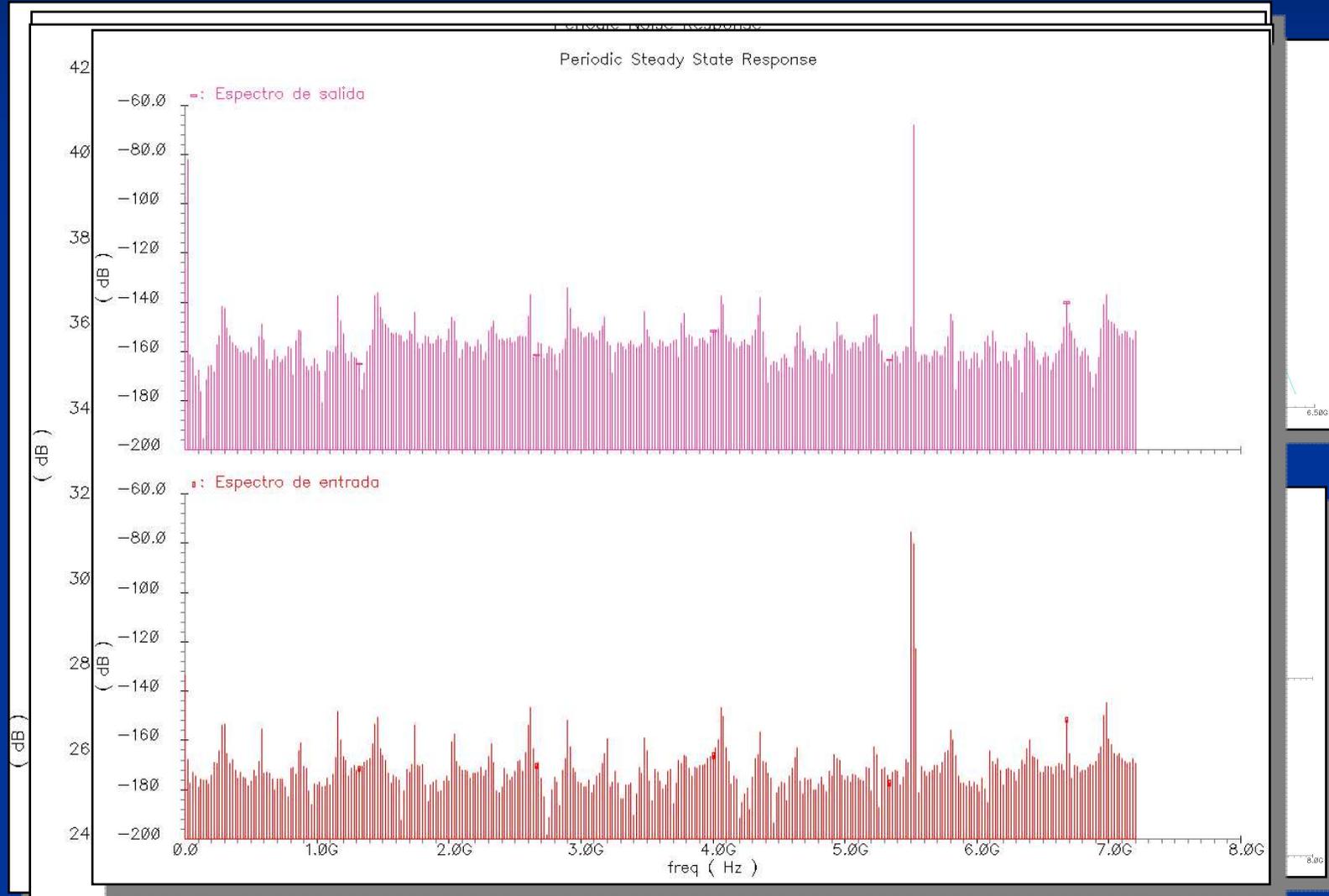


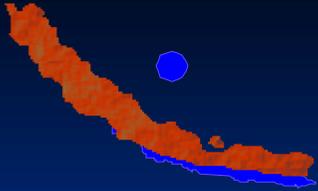
dad
potencia

Layout del sistema



Simulaciones *Pos-Layout*





Índice

BLOQUE I

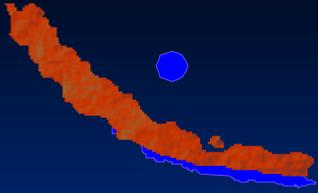
- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

BLOQUE II

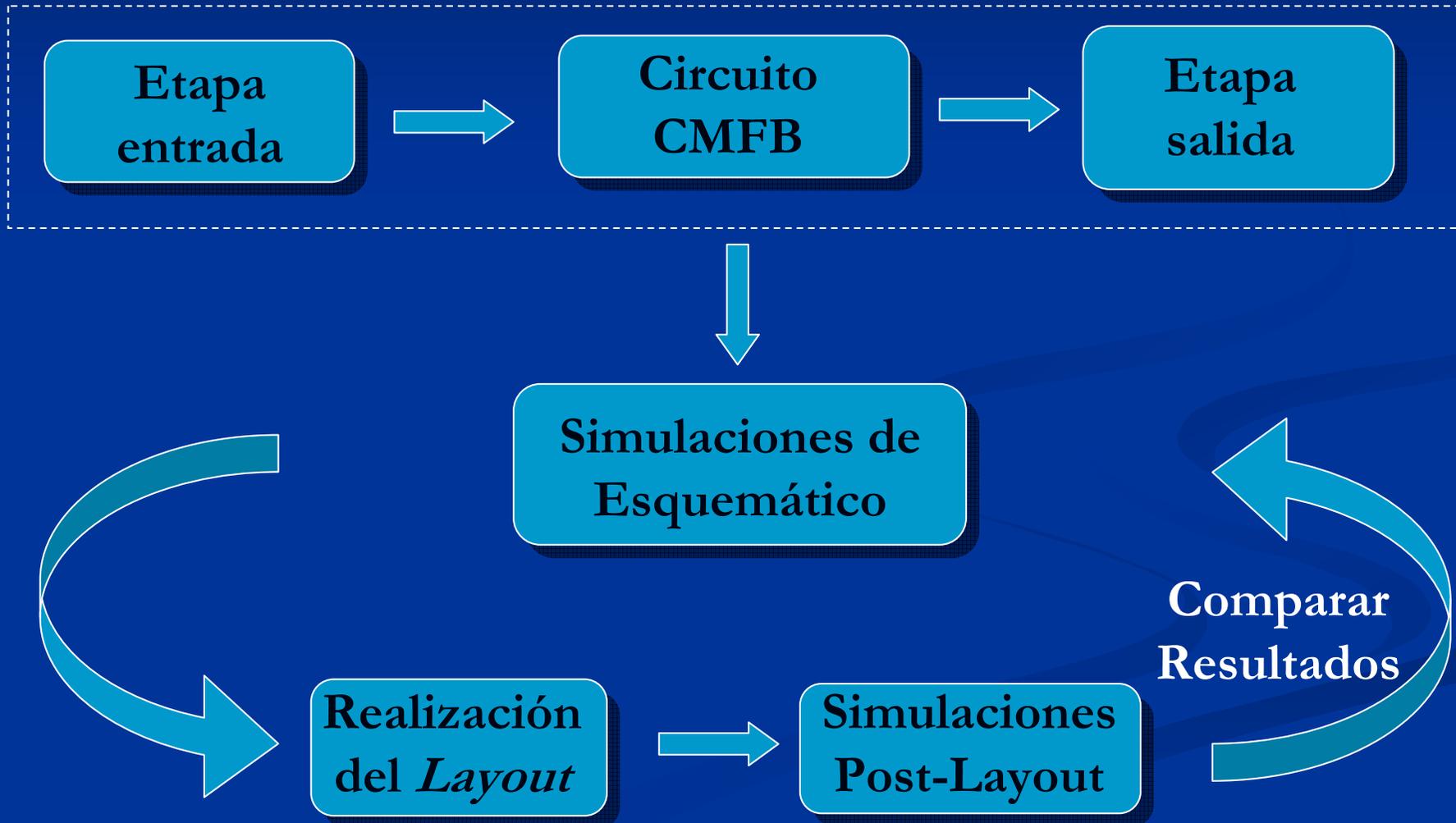
- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

BLOQUE III

- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto

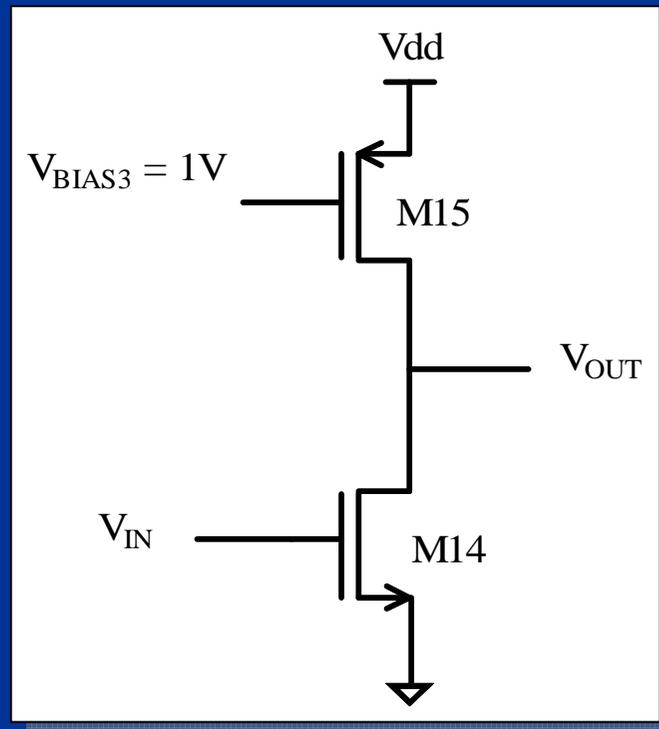


Diseño del amplificador Operacional



Etapa de Salida

- La etapa de salida del amplificador debe presentar un buen rango dinámico así como un ancho de banda suficiente para no interferir en la señal de salida de la etapa anterior.

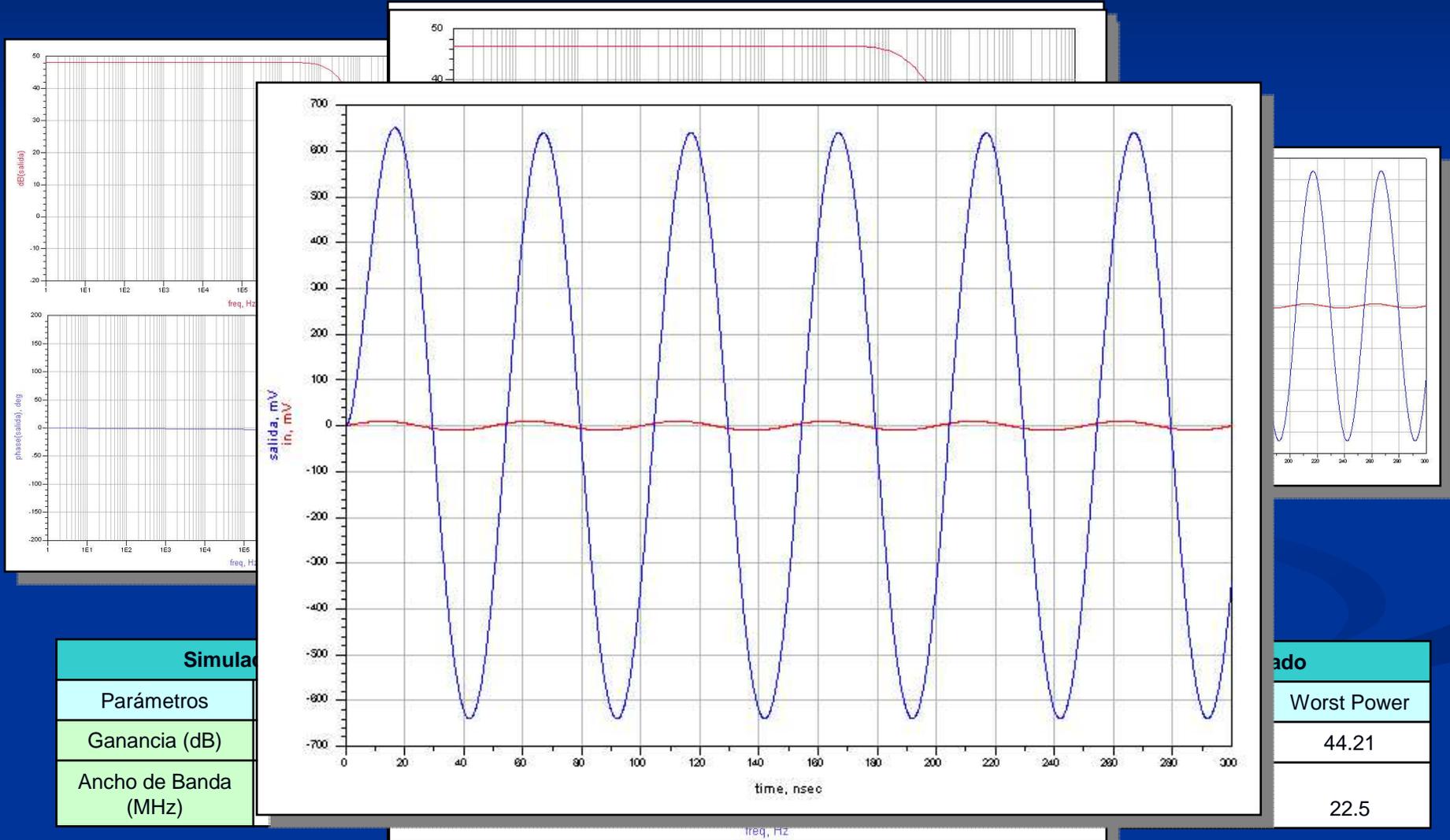


- El proceso de dimensionado se ha hecho de igual forma que en los casos anteriores

Transistor	Tensión (V_{GS})	W (μm)	L (μm)
M14	2	1	0.35
M15	1	2	0.35



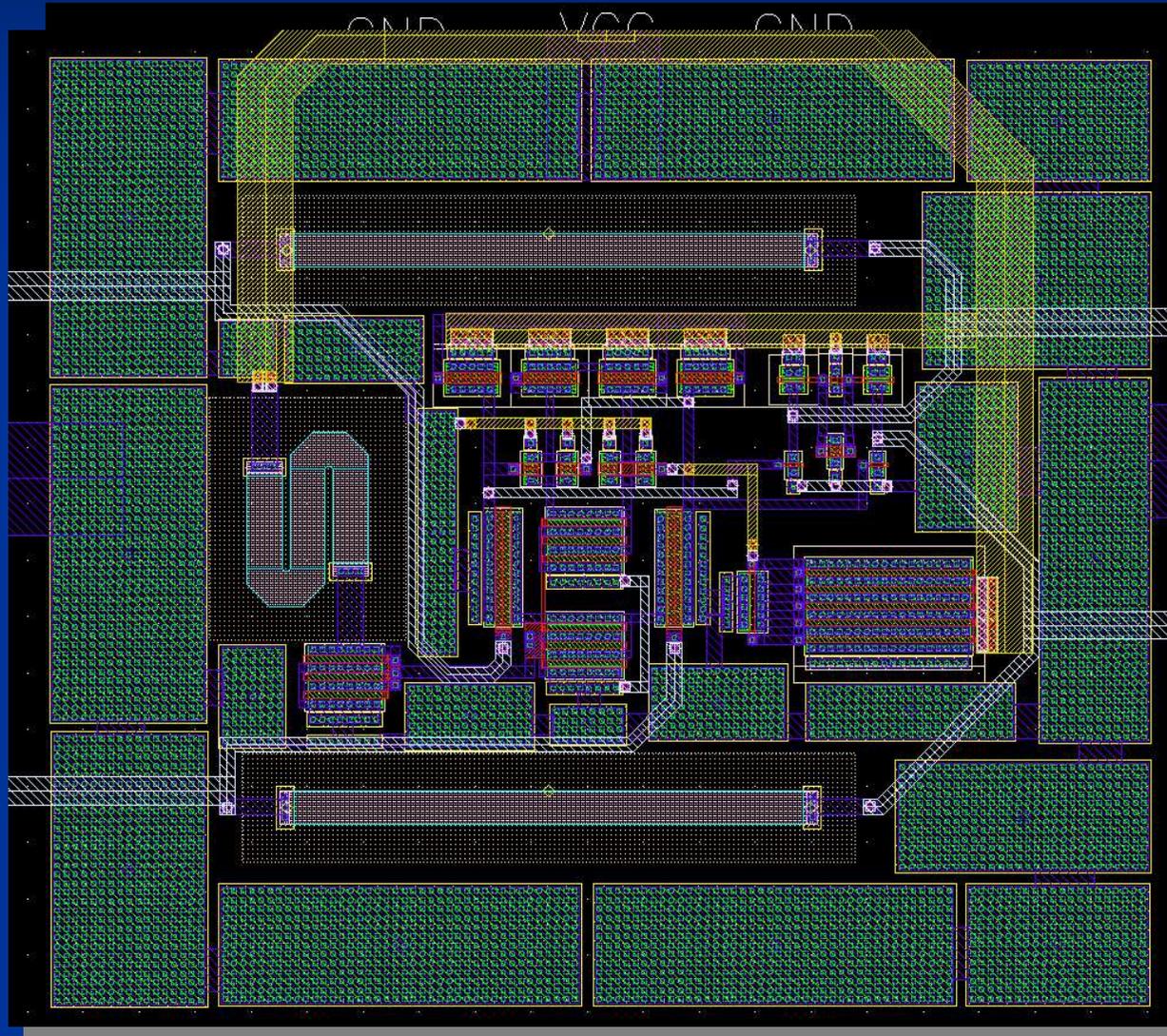
Simulaciones de Esquemático



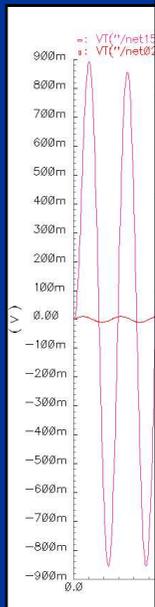
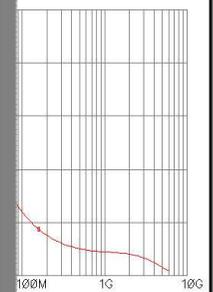
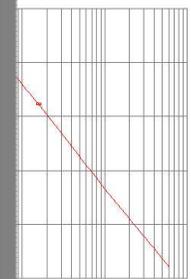
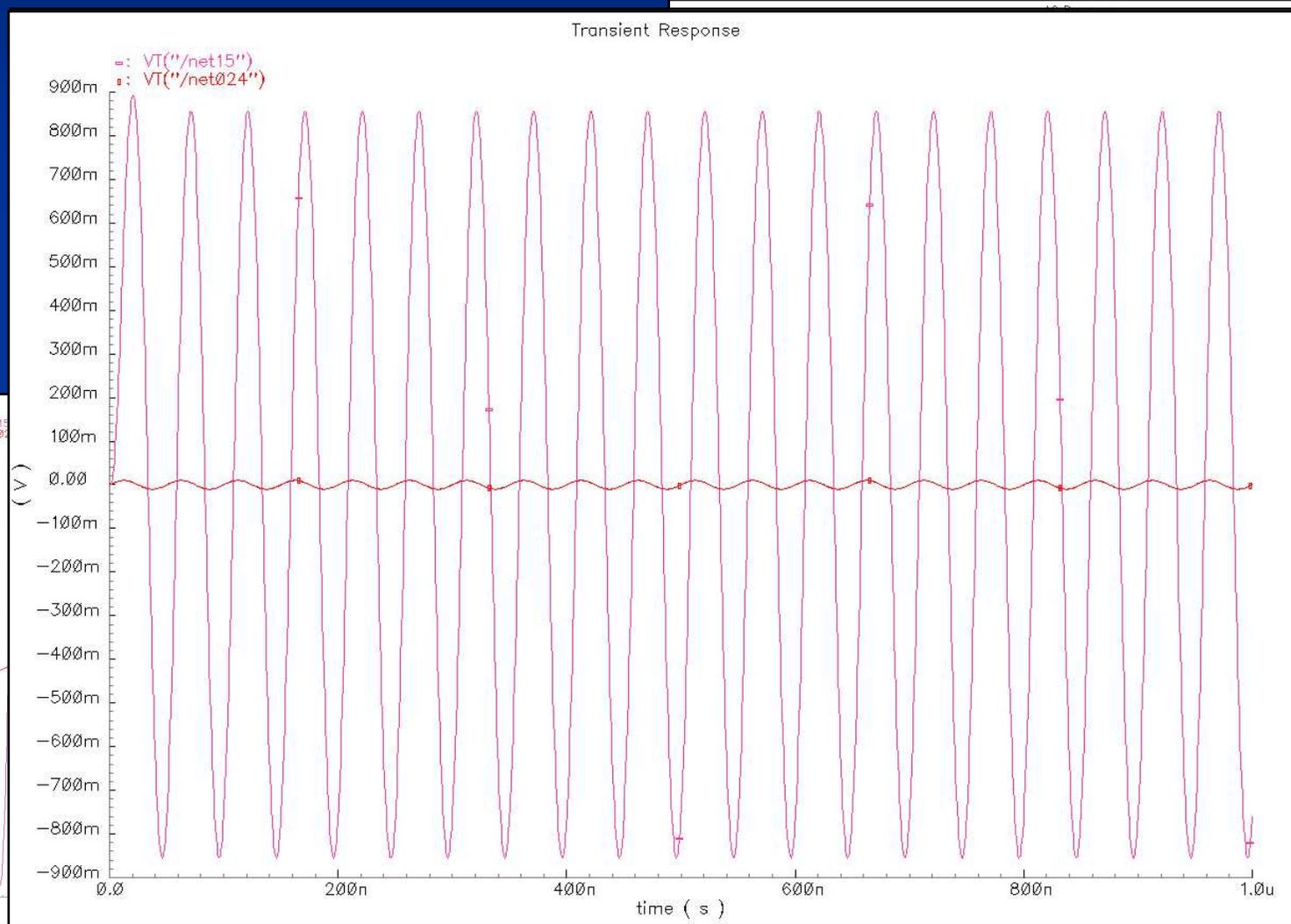
Simulac
Parámetros
Ganancia (dB)
Ancho de Banda (MHz)

Estado
Worst Power
44.21
22.5

Layout del Amplificador



Simulaciones *Post-Layout*





Índice

BLOQUE I

- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

BLOQUE II

- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

BLOQUE III

- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto



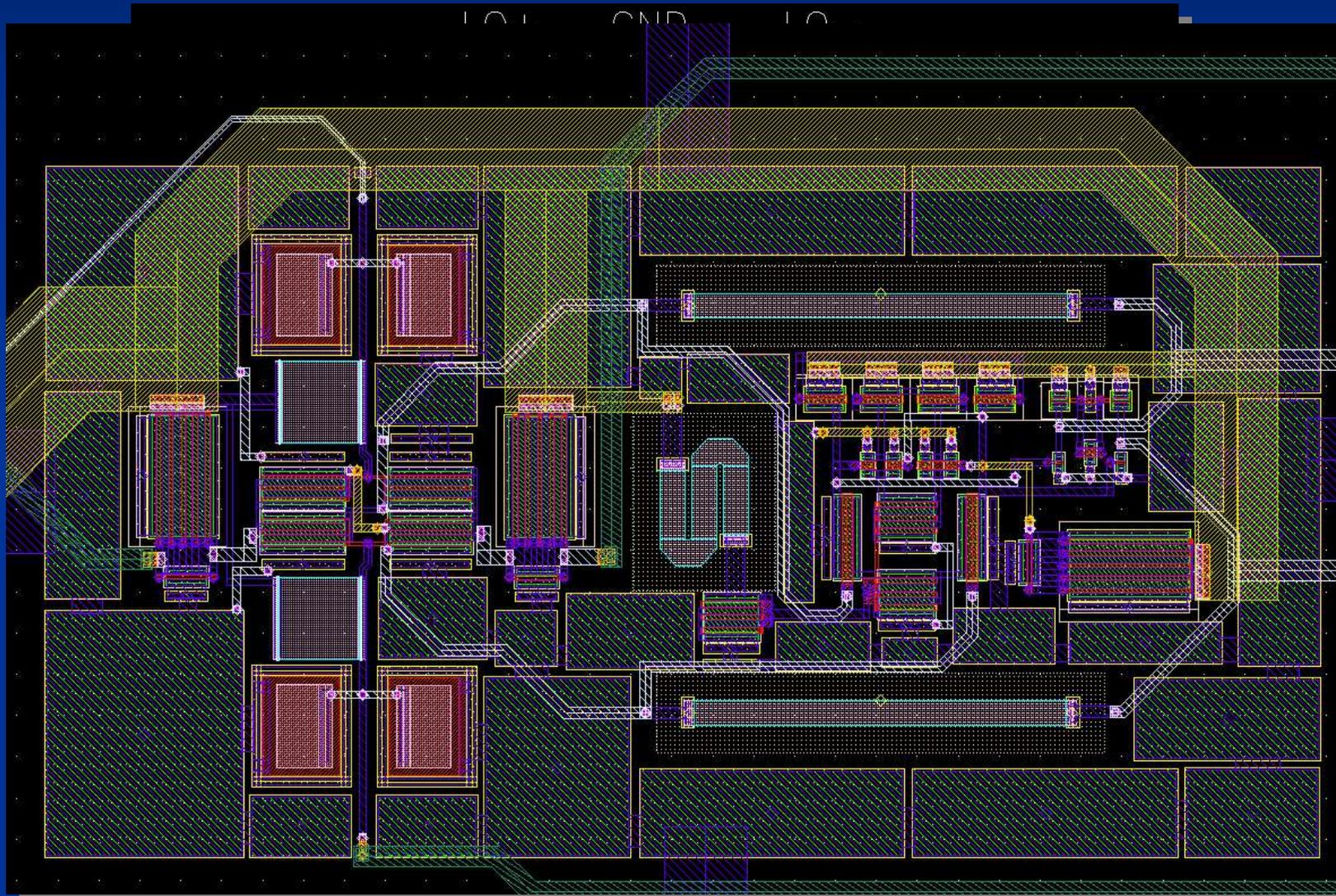
• Simulaciones de esquemático del Mezclador con amplificador

• Una vez unidos ambos circuitos se obtuvieron los siguientes resultados

Simulaciones finales del sistema completo			
Parámetros	Typical Mean	Worst Speed	Worst Power
Ganancia (dB)	33,67	31,40	25,86
VSWR RF	1,30	1,31	1,30
VSWR LO	1,69	2,90	1,04
NF SSB (dB)	35,49	33,88	42,08
NF DSB (dB)	32,47	30,85	39,07
IIP3 (dBm)	45(aprox.)	43(aprox.)	40(aprox.)
OIP3 (dBm)	82(aprox.)	75(aprox.)	65(aprox.)

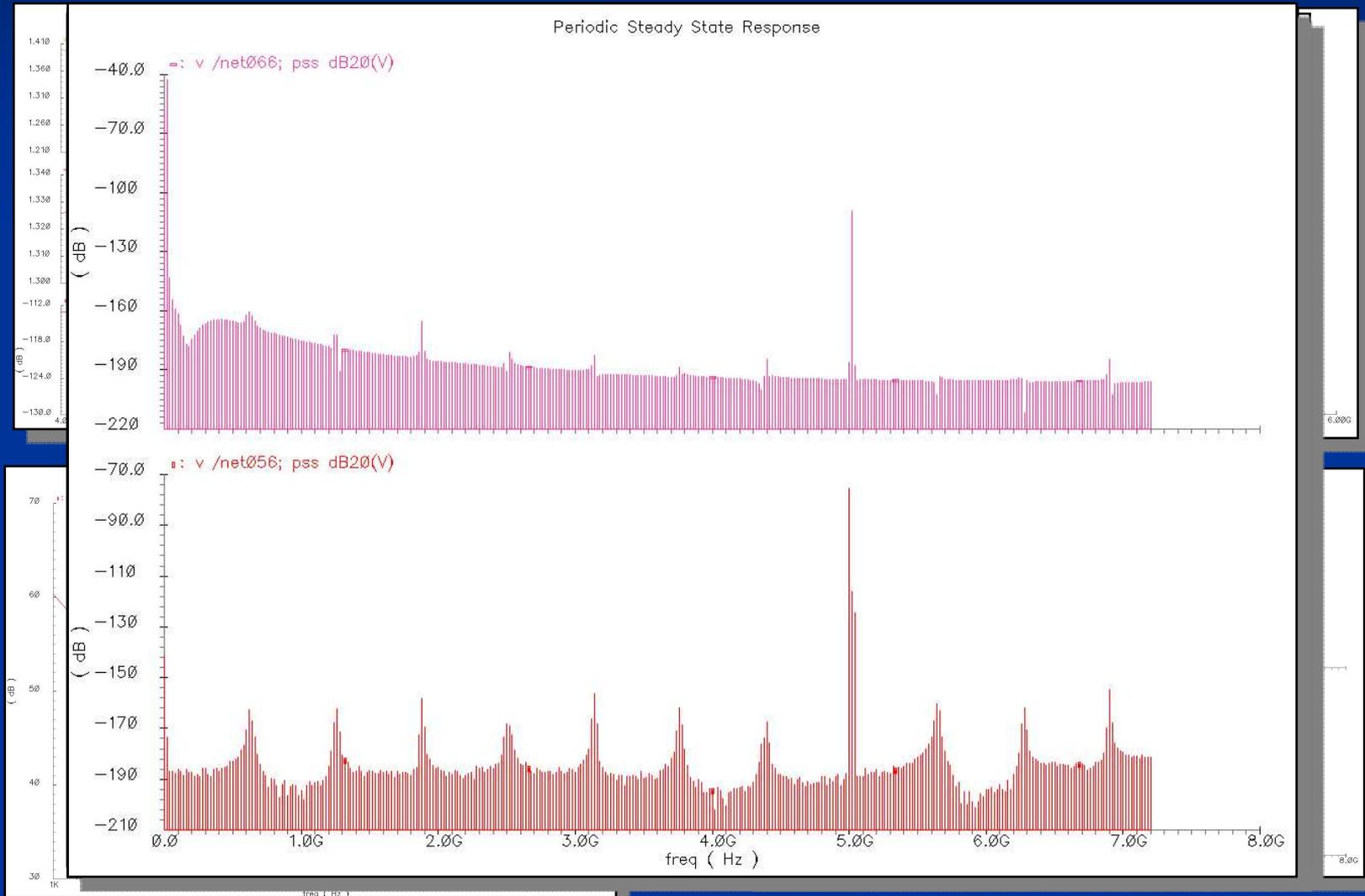
• Puede observarse la influencia notable sobre la linealidad y la figura de ruido del sistema completo

Layout del conjunto



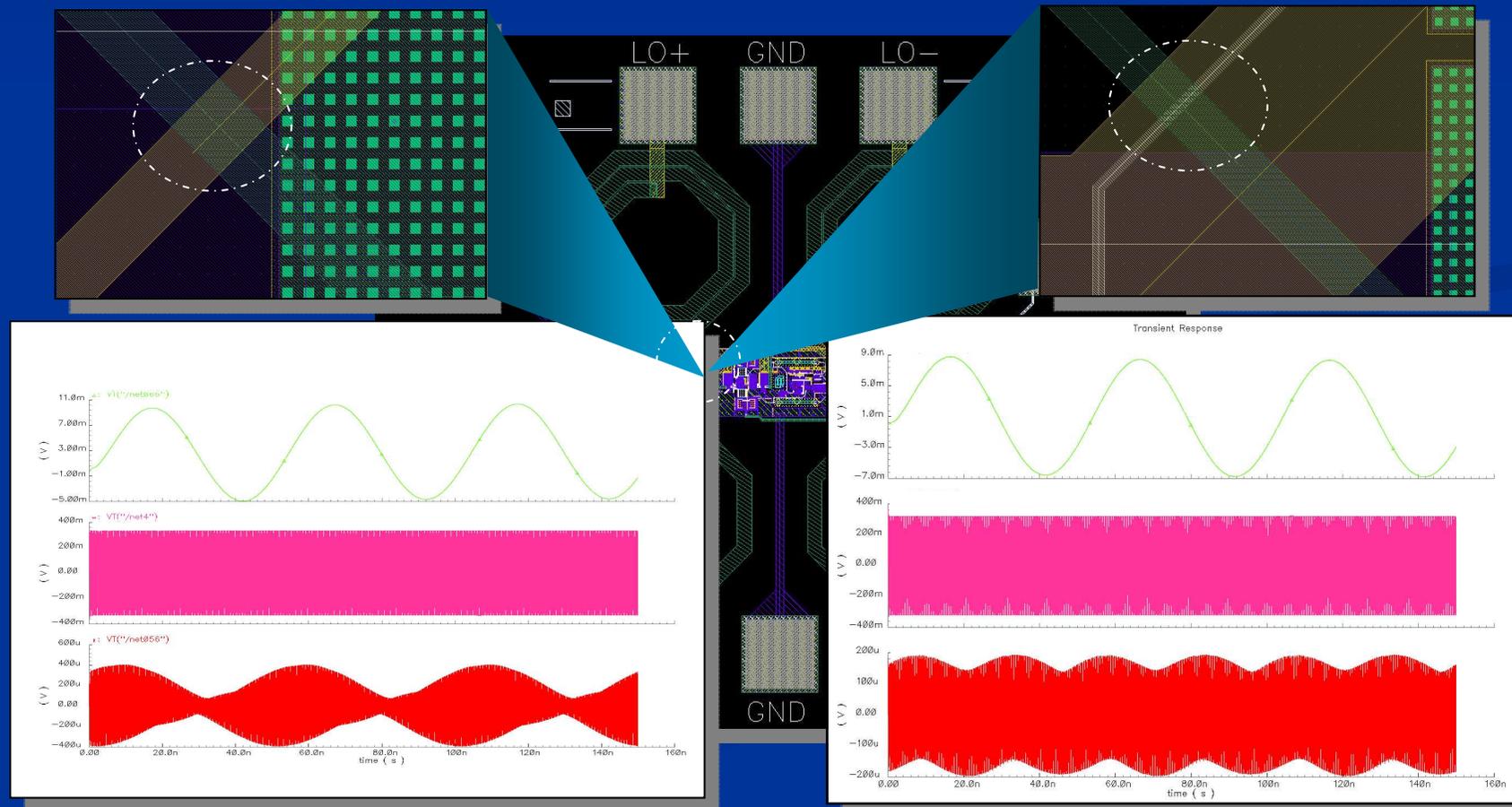


Simulaciones *Post-Layout*



Acoplamiento de señales

- Este problema aparece cuando se trabaja con señales que presentan grandes diferencias de potencia





Índice

BLOQUE I

- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

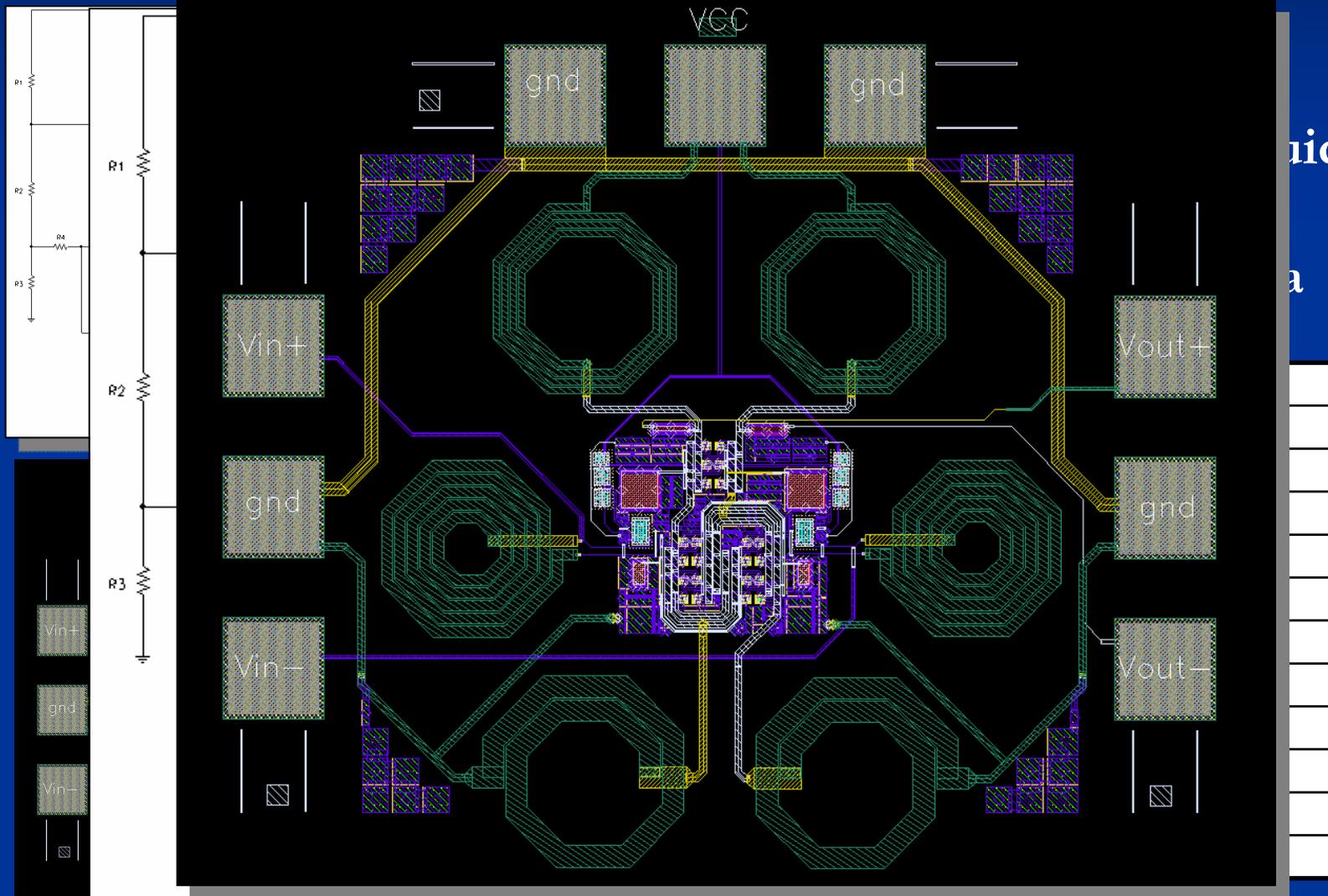
BLOQUE II

- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

BLOQUE III

- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto

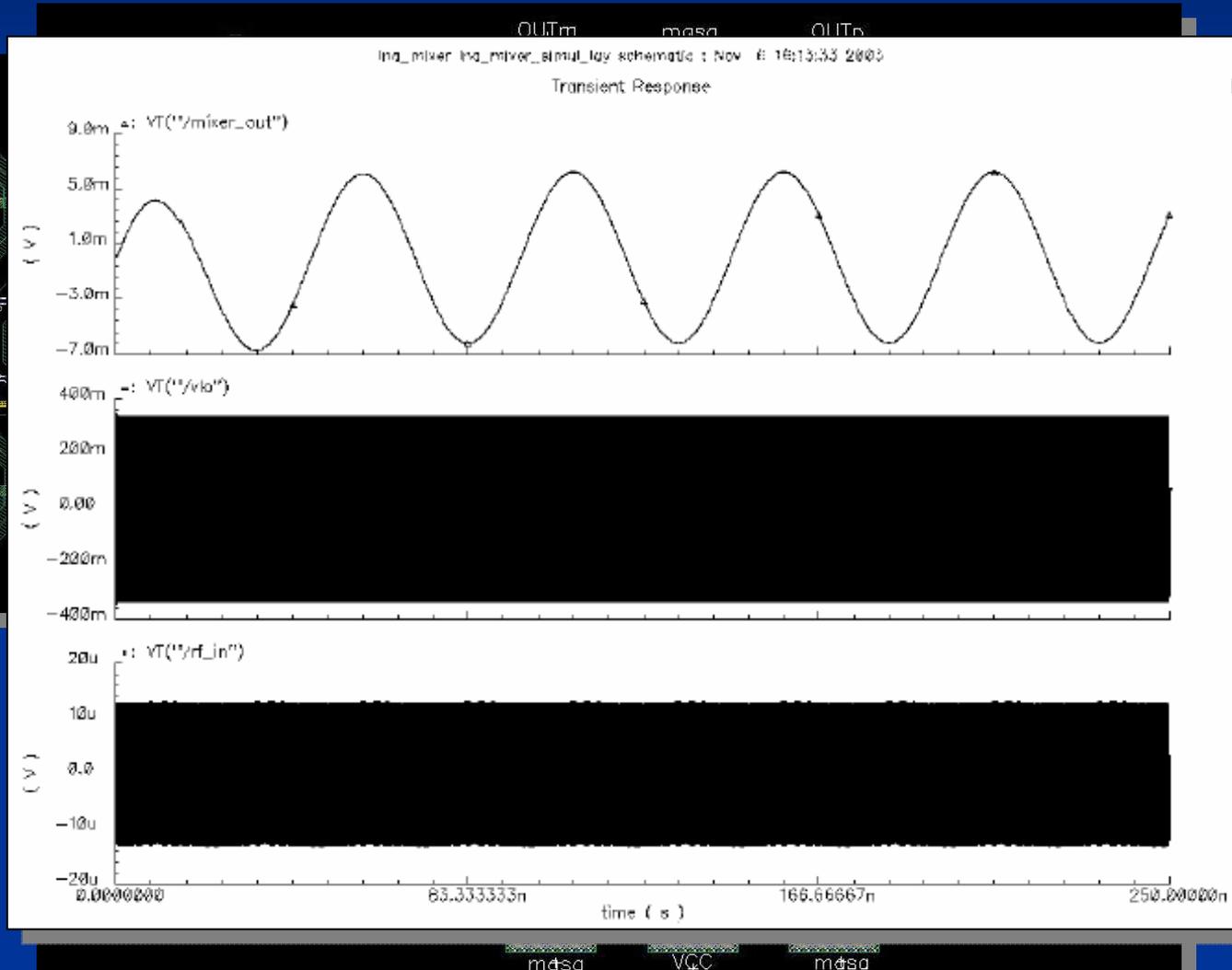
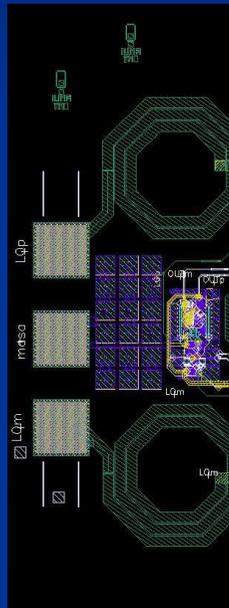
Amplificador de Bajo Ruido



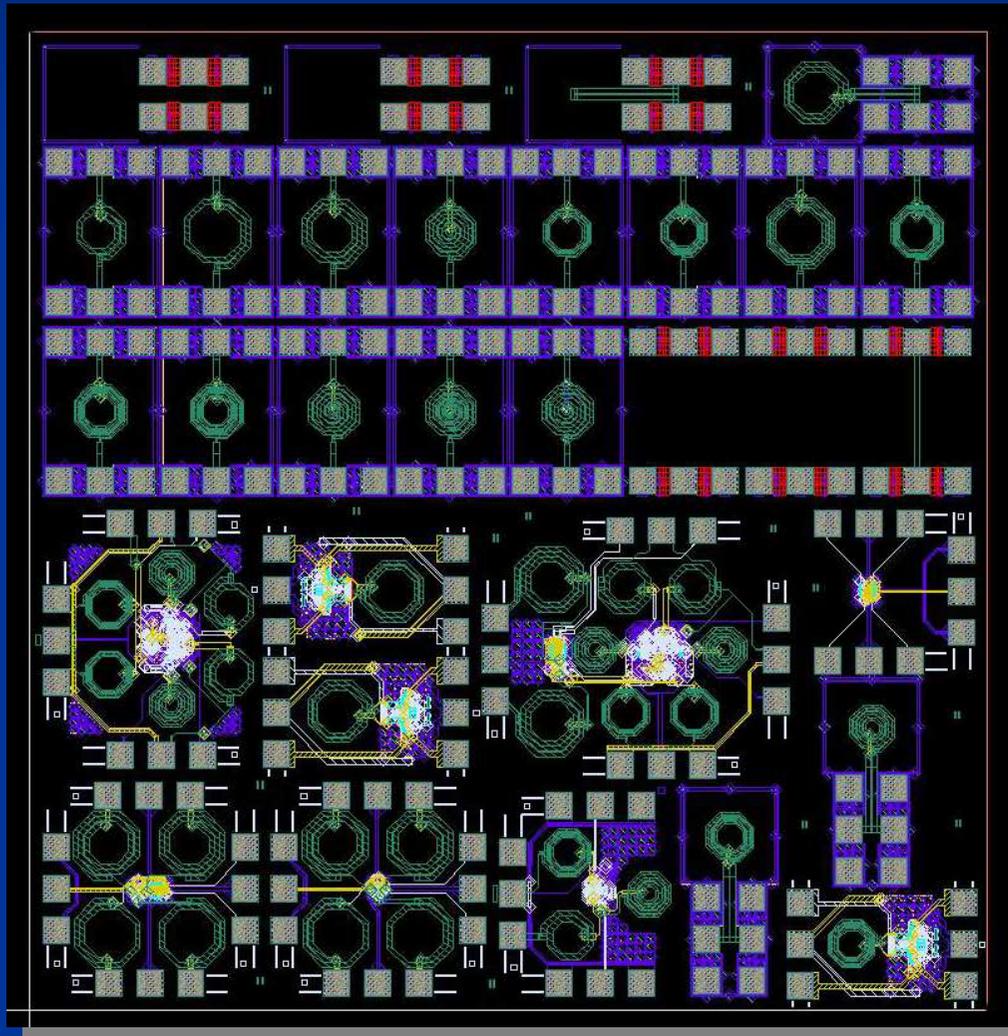
uido

a

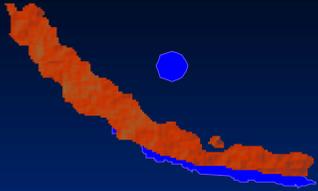
Conexión LNA - Mezclador



RUN de Fabricación



- 16 bobinas
- 4 estructuras de medidas
- 3 VCOs
- 2 LNAs
- Mezclador pasivo
- Mezclador pasivo con amplificador
- Conjunto de LNA y mezclador pasivo



Índice

BLOQUE I

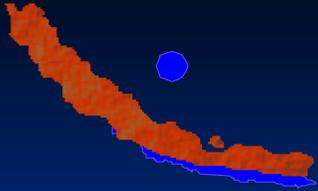
- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

BLOQUE II

- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

BLOQUE III

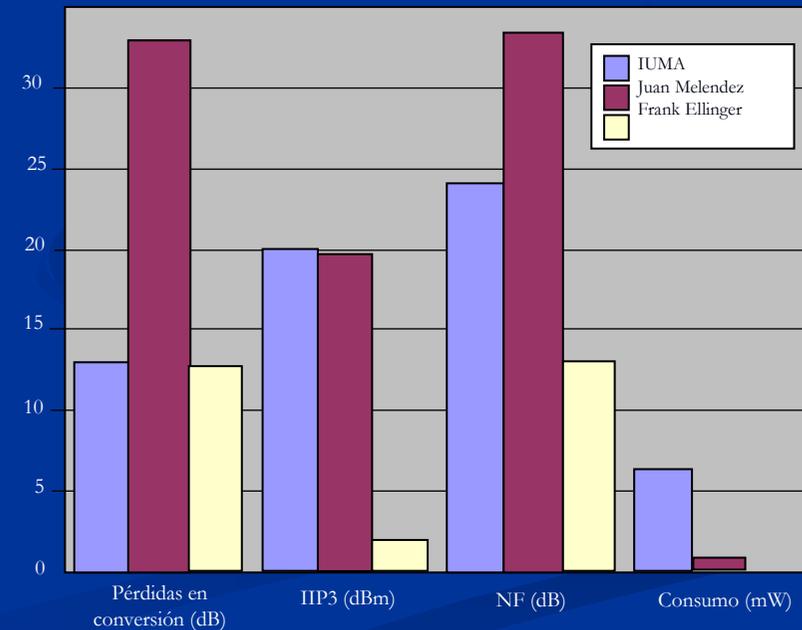
- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto

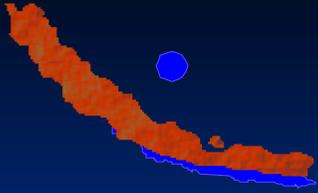


Comparativa

- A continuación se muestra una comparativa del mezclador pasivo con otros trabajos similares

Mezclador	IUMA	Juan Melendez	Frank Elliger
Tecnología	SiGe 0.35 um	CMOS 0.35 um	GaAs 0.6 um
Vdd (V)	3.3	3.3	---
Consumo (mW)	6.3	0.3	---
Frec. RF (GHz)	5.5	1.575	5.2
Frec. IF (MHz)	20	3	950
Ganancia (dB)	-13	-30.5	-12.6
IIP3 (dBm)	20	19.7	2
NF (dB)	24	33.3	13
Fecha	2004	2001	2002

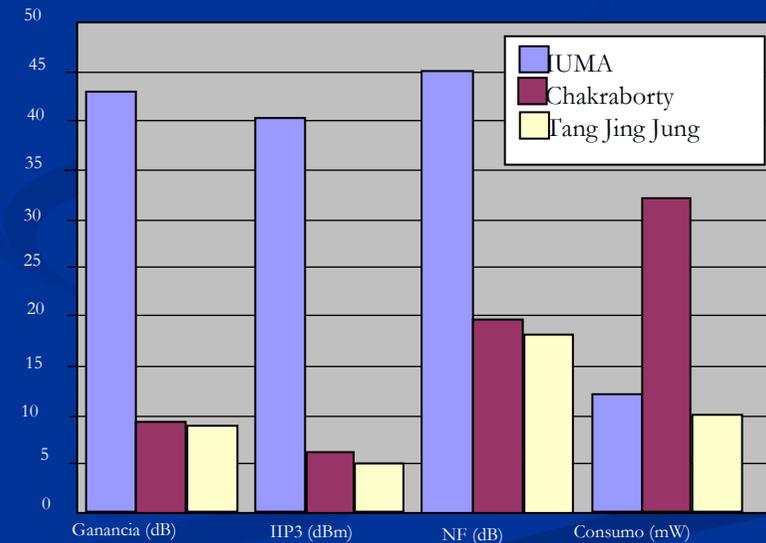




Comparativa

● A continuación se muestra una comparativa del mezclador pasivo con etapa de amplificación con otros trabajos similares

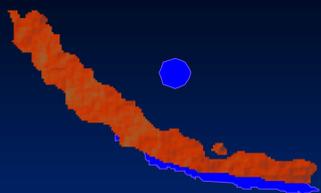
Mezclador	IUMA	Chakraborty	Tang Jing Jung
Tecnología	SiGe 0.35 um	SiGe 0.24 um	CMOS 0.35 um
Vdd (V)	3.3	3.1	2
Consumo (mW)	12	32	10
Frec. RF (GHz)	5.5	5.5	3
Frec. IF (MHz)	20	20	100
Ganancia (dB)	43	9.23	9
IIP3 (dBm)	40	6	5
NF (dB)	45	19,5	18
Fecha	2004	2002	2001





Conclusiones

- Como ha podido observarse el aislamiento ha resultado un parámetro fundamental en el diseño.
- Este proyecto se encuentra dentro de una línea de investigación más amplia y puede tener continuidad en trabajos como:
 - * Medida de los circuitos realizados
 - * Implementación del PLL
 - * Desarrollo de mezcladores para etapas de transmisión



Índice

BLOQUE I

- Características de los sistemas de RF
- Estándar IEEE802.11a
- Tipos de receptores
- Estudio de los mezcladores
- Tecnología utilizada

BLOQUE II

- Diseño del mezclador
- Diseño del amplificador operacional
- Mezclador con etapa de amplificación

BLOQUE III

- Integración en la cadena de recepción
- Conclusiones
- Presupuesto



Presupuesto
