

UP CONVERTER DE HF A UHF PARA APLICACIONES LTE

Rodrigo Cervetto, Federico Dadam

Director: MCs. Ing. José Luis Amado
Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales

28 de Junio de 2019



- Introducción y objetivos
- Mixer VHF
- Filtro VHF
- Mixer UHF
- Filtro UHF
- Sistema completo
- Conclusiones

Contenidos

Introducción y
objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema
completo

Conclusiones

1 Introducción y objetivos

2 Mixer VHF

3 Filtro VHF

4 Mixer UHF

5 Filtro UHF

6 Sistema completo

7 Conclusiones

Contenidos

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

1 Introducción y objetivos

2 Mixer VHF

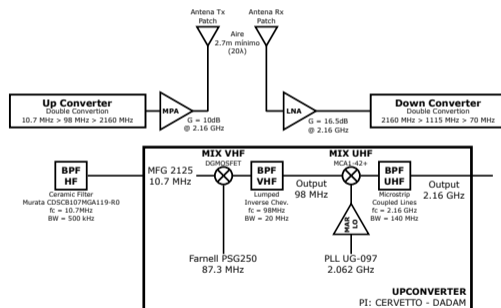
3 Filtro VHF

4 Mixer UHF

5 Filtro UHF

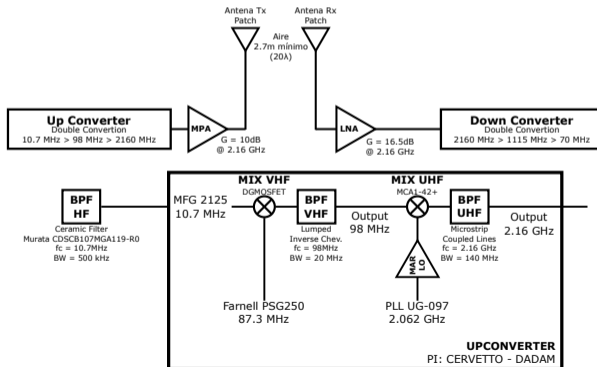
6 Sistema completo

7 Conclusiones



Objetivos Generales

Diseñar un *Up Converter* para el sistema de radiocomunicaciones del LRFyM, aplicando los conocimientos adquiridos durante la carrera y manteniendo costo acotado.



Conversión HF-VHF

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

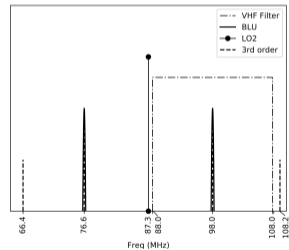
Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

IP3	Filtro VHF (88 – 108 MHz)	
w_{lo}	87,3 MHz	
w_{rf}	10,45 MHz	10,95 MHz
$2w_{rf} + w_{lo}$	108,2 MHz	109,2 MHz
$ 2w_{rf} - w_{lo} $	66,4 MHz	65,4 MHz
$2w_{lo} + w_{rf}$	185,05 MHz	185,55 MHz
$ 2w_{lo} - w_{rf} $	164,15 MHz	163,65 MHz
$3w_{lo}$	261,9 MHz	261,9 MHz
$3w_{rf}$	31,35 MHz	32,85 MHz



Conversión VHF-UHF

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

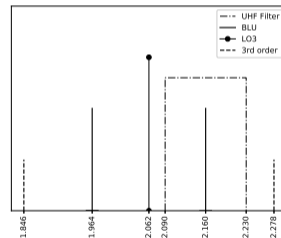
Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

IP3	Filtro UHF (2,09 – 2,23 GHz)	
w_{lo}	2,062 GHz	
w_{rf}	88 MHz	108 MHz
$2w_{rf} + w_{lo}$	2,238 GHz	2,278 GHz
$ 2w_{rf} - w_{lo} $	1,886 GHz	1,846 GHz
$2w_{lo} + w_{rf}$	4,212 GHz	4,232 GHz
$ 2w_{lo} - w_{rf} $	4,036 GHz	4,016 GHz
$3w_{lo}$	6,186 GHz	6,186 GHz
$3w_{rf}$	264,0 MHz	324,0 MHz



Objetivos Particulares

- Analizar requerimientos y especificaciones de bloques existentes y a realizar.
- Estudiar bibliografía y alternativas.
- Seleccionar alternativas.
- Simular.
- Implementar.
- Medir individualmente y contrastar resultados.
- Medir el sistema completo.

Introducción y
objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema
completo

Conclusiones

Contenidos

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

1 Introducción y objetivos

2 Mixer VHF

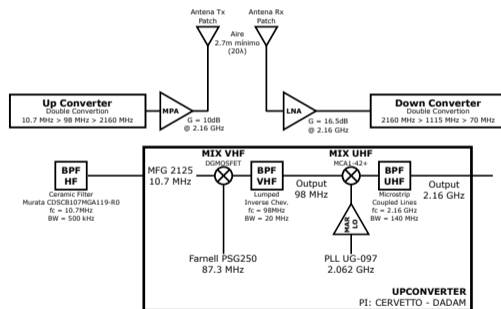
3 Filtro VHF

4 Mixer UHF

5 Filtro UHF

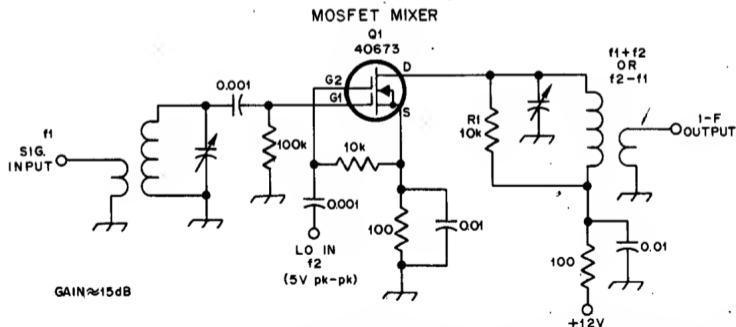
6 Sistema completo

7 Conclusiones



Diseño del mezclador VHF con DGMOSFET

- Facilidad de implementación: Sin híbridos
- Mezclador activo: Ganancia de conversión
- Aprovechar el aislamiento LO-RF.
- Buscar simplificaciones de diseño.



Diseño del mezclador VHF con DGMOSFET

Introducción y objetivos

Mixer VHF

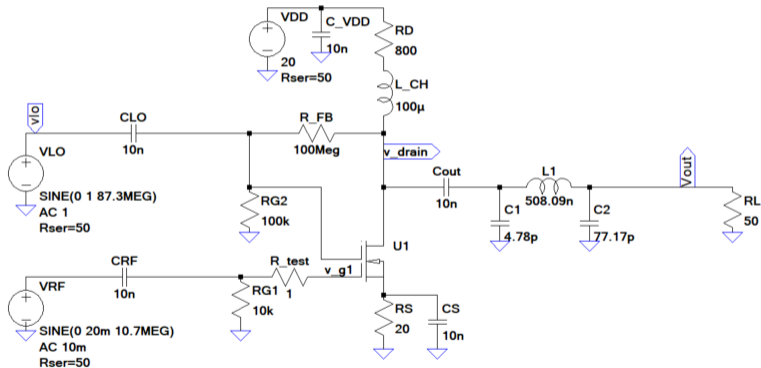
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



FFT

Introducción y objetivos

Mixer VHF

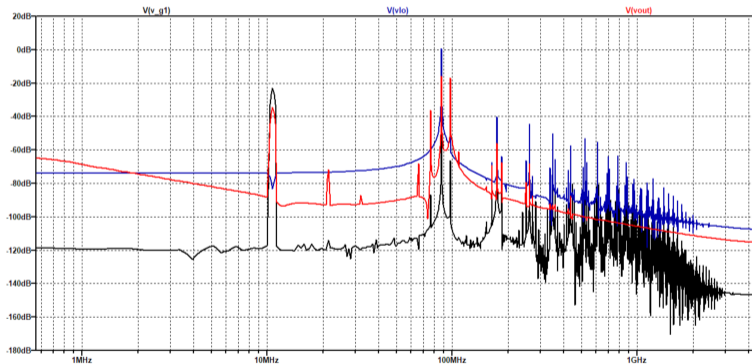
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



Implementación

Introducción y objetivos

Mixer VHF

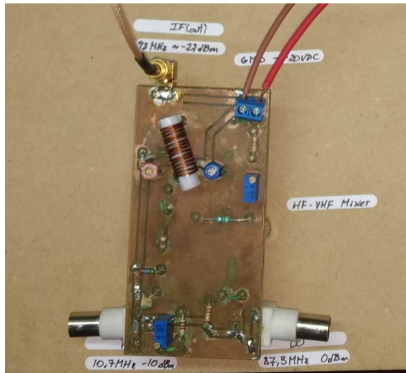
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



Salida del mezclador VHF

Introducción y objetivos

Mixer VHF

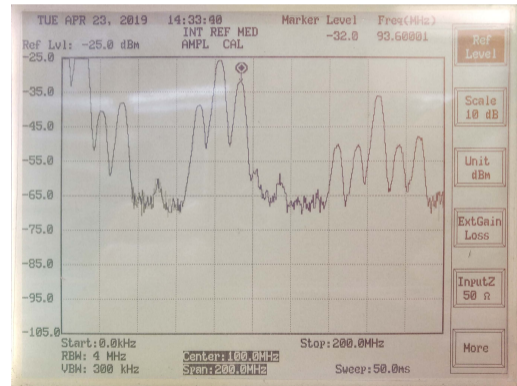
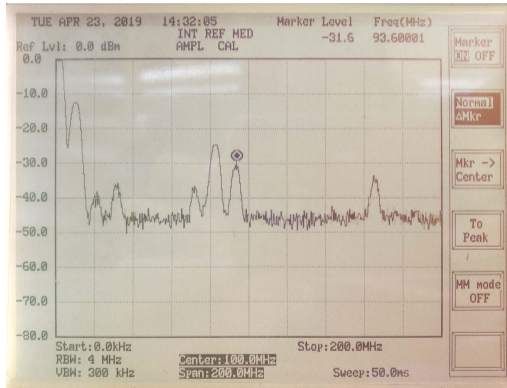
Filtro VHF

Mixer UHF

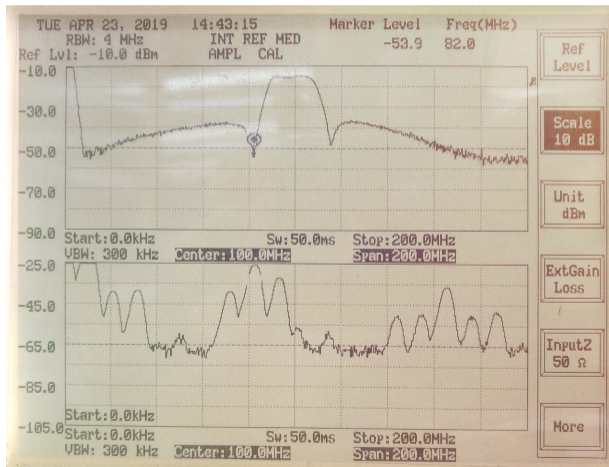
Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



Salida del mezclador VHF y filtro VHF



Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

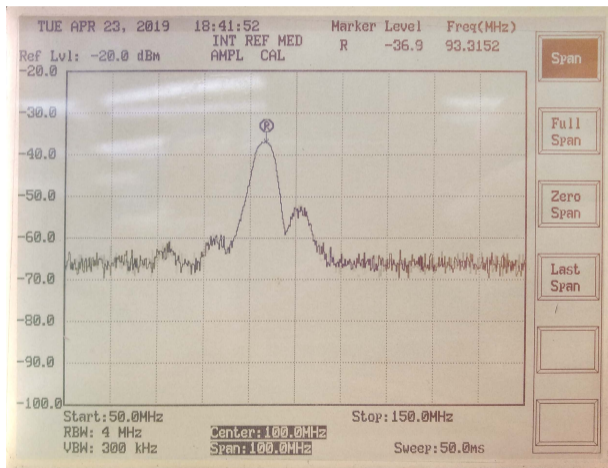
Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

Salida del mezclador VHF filtrada



Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

Comparación: Potencia de IF en puerto IF variando RD

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

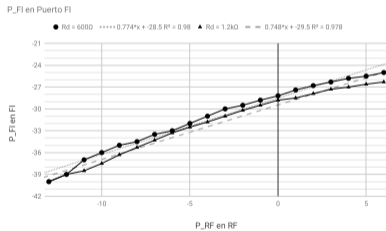
Mixer UHF

Filtro UHF

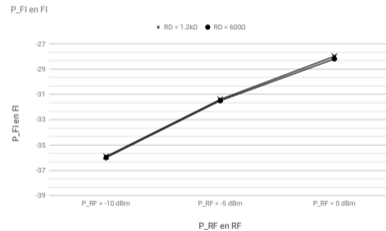
Sistema completo

Conclusiones

Medición.



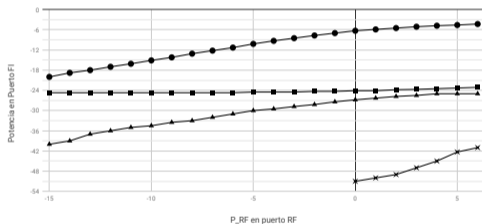
Simulación.



Comparación: Potencias de Salida

Medición.

Potencias en Puerto IF

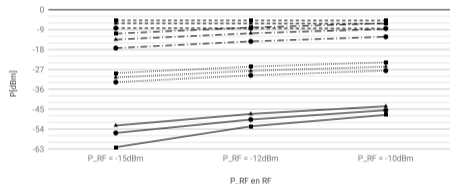


▲ Puerto IF - IF 94 MHz ■ Puerto IF - LO 83MHz ● Puerto IF - RF 10.7 MHz × Puerto IF - IP3 104.4

LO 0 dBm @83 MHz
RF @10,7 MHz
IF @93,7 MHz

Simulación.

Potencias en Puerto FI



● FI 98MHz P_{LO} = 0dBm ● IP3 108MHz P_{LO} = 0dBm ● RF 10.7 MHz P_{LO} = 0dBm
▲ FI 98MHz P_{LO} = 3dBm ▲ IP3 108MHz P_{LO} = 3dBm ▲ LO 87.3 MHz P_{LO} = 3dBm ▲ RF 10.7 MHz P_{LO} = 3dBm
■ FI 98MHz P_{LO} = 6dBm ■ IP3 108MHz P_{LO} = 6dBm ■ LO 87.3 MHz P_{LO} = 6dBm ■ RF 10.7 MHz P_{LO} = 6dBm

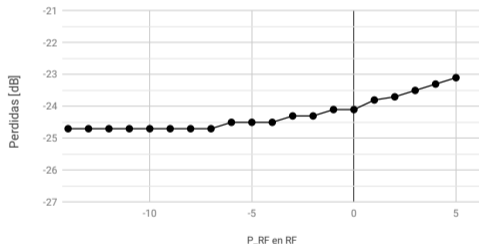
LO @87,3 MHz
RF @10,7 MHz
IF @98 MHz

Comparación: Ganancia de Conversión

Medición.

Perdidas de Conversión

P_{FI} en FI - P_{RF} en RF

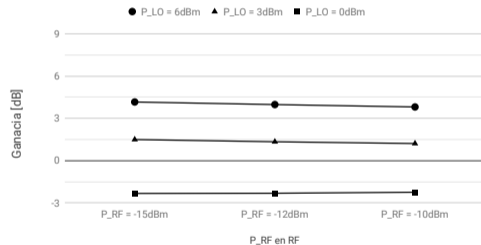


LO 0 dBm @83 MHz
RF @10,7 MHz
IF @93,7 MHz

Simulación.

Ganancia de Conversión

P_{FI} en FI - P_{RF} en RF



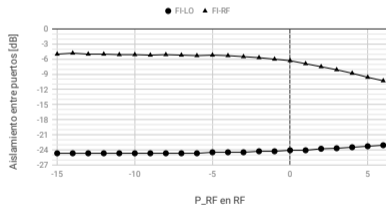
LO @87,3 MHz
RF @10,7 MHz
IF @98 MHz

Comparación: Aislamiento entre puertos

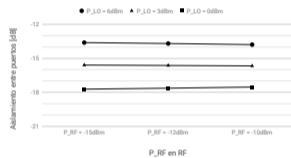
Simulación.

Medición.

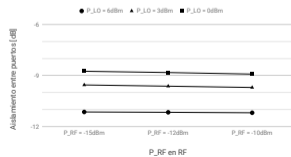
Aislamiento FI-LO y FI-RF



Aislamiento IF-RF



Aislamiento IF-LO



Contenidos

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

1 Introducción y objetivos

2 Mixer VHF

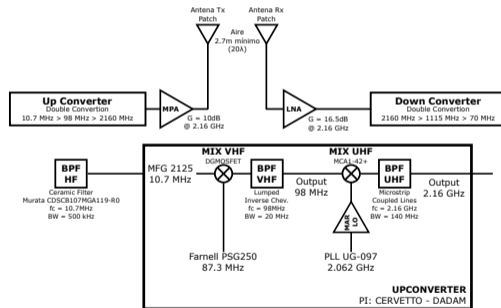
3 Filtro VHF

4 Mixer UHF

5 Filtro UHF

6 Sistema completo

7 Conclusiones



Diseño de filtros en ADS

Introducción y objetivos

Mixer VHF

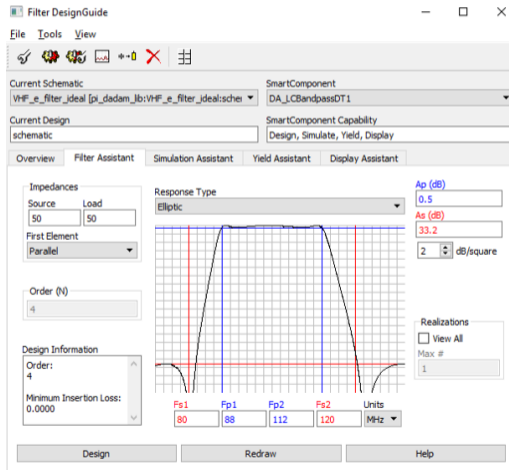
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



Parámetros de diseño del filtro VHF (mf y e)

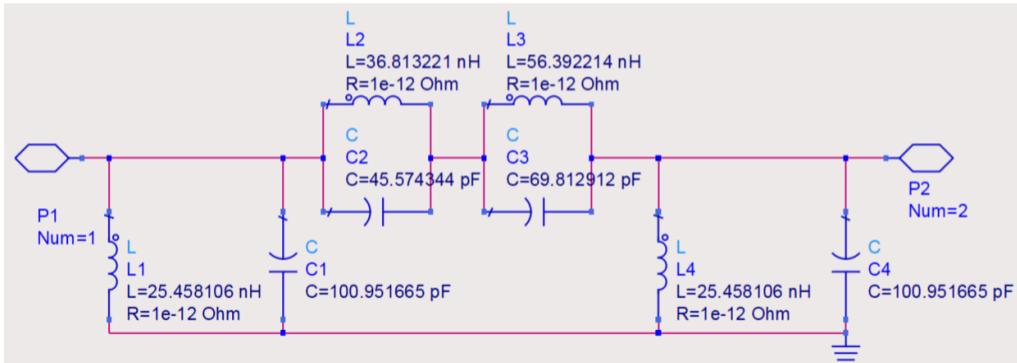
Frecuencia de corte inferior	88 MHz
Frecuencia de corte superior	112 MHz
Ancho de banda a -3 dB	24 MHz
Atenuación máxima en la banda de paso	0,5 dB
Atenuación mínima en la banda de rechazo	33 dB
Impedancias de entrada y salida	50 Ω

Parámetros de diseño del filtro VHF (ic)

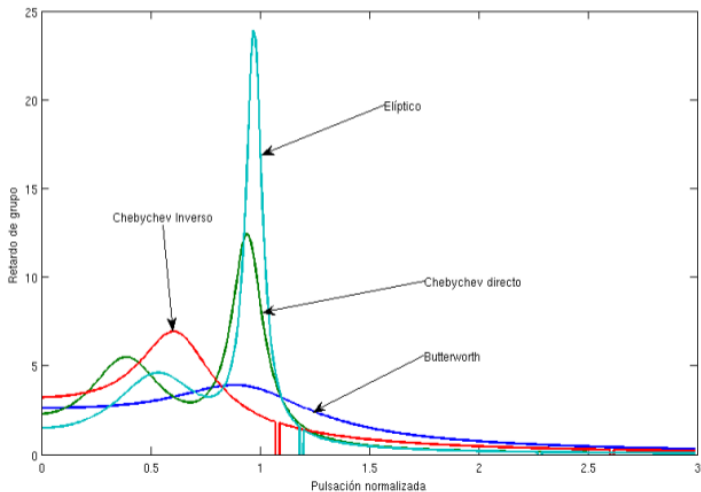
Frecuencia de corte inferior	88 MHz
Frecuencia de corte superior	112 MHz
Atenuación máxima en la banda de paso	3 dB
Atenuación mínima en la banda de rechazo	20 dB
Impedancias de entrada y salida	50 Ω

Filtro inverso de Chebyshev ideal. Orden 3

- Introducción y objetivos
- Mixer VHF
- Filtro VHF
- Mixer UHF
- Filtro UHF
- Sistema completo
- Conclusiones

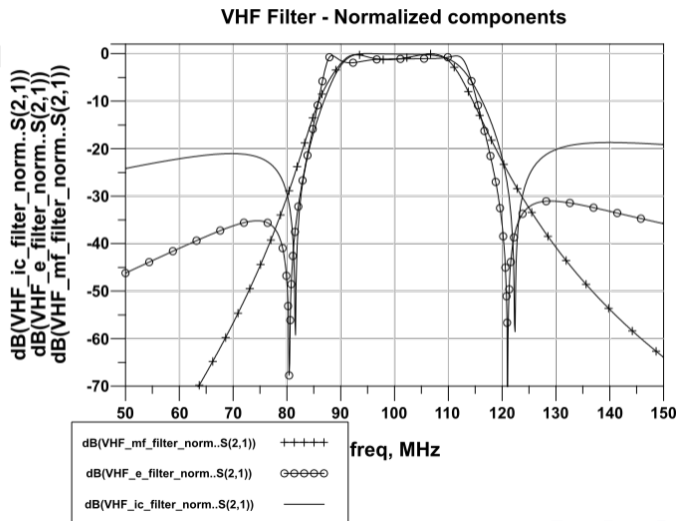


Comparación de aproximaciones



Comparación de filtros normalizados

ADS



Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

Implementación del filtro

Introducción y objetivos

Mixer VHF

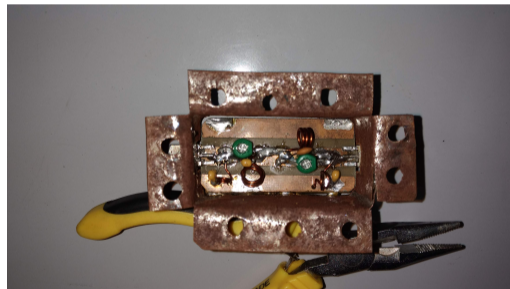
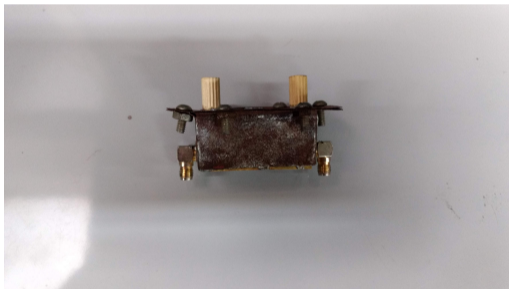
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

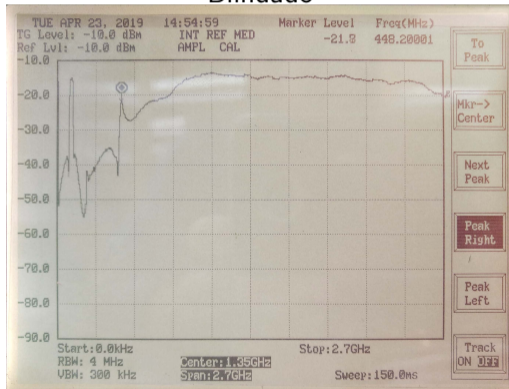
Conclusiones



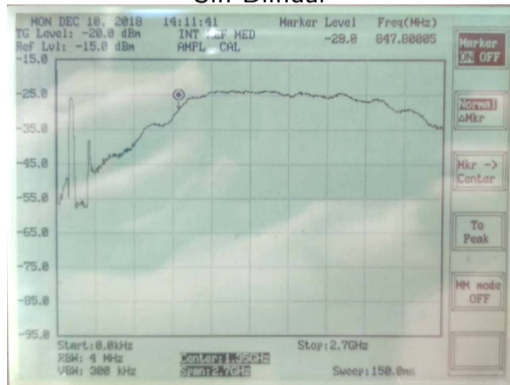
Efecto del blindaje

- Introducción y objetivos
- Mixer VHF
- Filtro VHF
- Mixer UHF
- Filtro UHF
- Sistema completo
- Conclusiones

Blindado

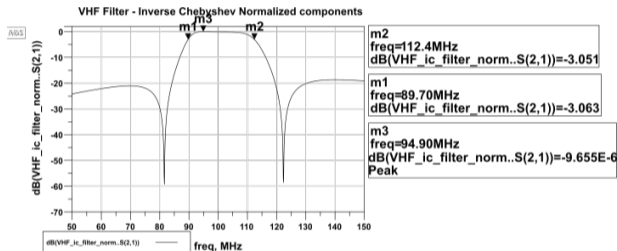
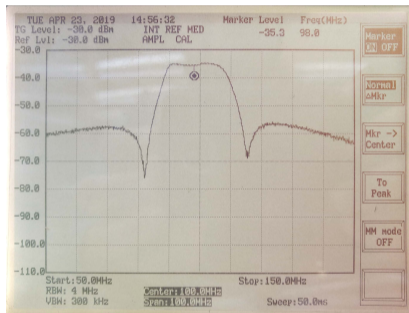


Sin Blindar



Comparación: Respuesta del filtro

Introducción y objetivos
 Mixer VHF
 Filtro VHF
 Mixer UHF
 Filtro UHF
 Sistema completo
 Conclusiones



	Simulación	Medición
Pérdidas de Ins.	$\approx 0dB$	5,2dB
Ripple	$\approx 0dB$	1,1dB
BW	22,7 MHz	19,6 MHz
f_c^-	89,7 MHz	88,98 MHz
f_c^+	112,4 MHz	108,57 MHz
Notch	-59,3 dB @81,6 MHz	-43 dB @82 MHz

Contenidos

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

1 Introducción y objetivos

2 Mixer VHF

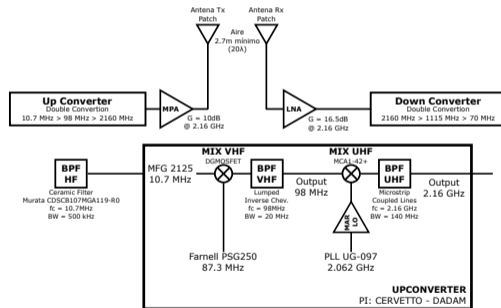
3 Filtro VHF

4 Mixer UHF

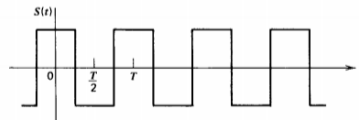
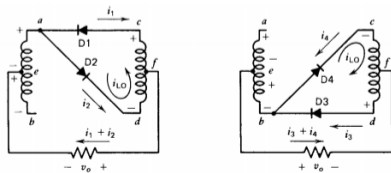
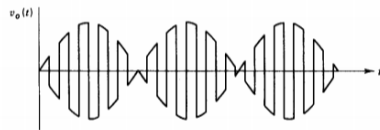
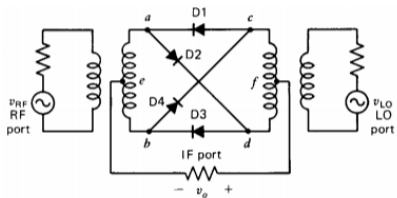
5 Filtro UHF

6 Sistema completo

7 Conclusiones



Mezclador Doblemente Balanceado



Mezclador Doblemente Balanceado

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

Kit K1-MCA1+ Electrical specifications of each model

Model	LO Level (dBm)	Frequency (MHz)		Conversion Loss (dB)	RF In @1 dB Compr. (dBm)	IP3 (dBm)	LO-RF Isolation (dB)	LO-IF Isolation
		LO/RF	IF					
MCA1-85L+	4.0	2800-8500	DC-1200	6.0	0.0	11	35	38
MCA1-12GL+	4.0	3800-12000	DC-1500	6.5	1.0	9	38	40
MCA1-24+	7.0	300-2400	DC-700	6.1	1.0	10	40	25
MCA1-42+	7.0	1000-4200	DC-1500	6.1	1.0	10	35	20
MCA1-60+	7.0	1600-6000	DC-2000	6.3	1.0	9	32	17
MCA1-24LH+	10.0	300-2400	DC-700	6.5	5.0	13	40	22
MCA1-60LH+	10.0	1700-6000	DC-2000	6.4	5.0	13	35	21
MCA1-42MH+	13.0	1000-4200	DC-1500	6.2	9.0	16	32	20
MCA1-80H+	17.0	5000-8000	DC-1250	6.3	14.0	24	35	35
MCA1-113H+	17.0	3800-11000	DC-1800	6.7	14.0	23	35	32

Protected under U.S. Patent 7,027,795



Simulación del mezclador

Introducción y objetivos

Mixer VHF

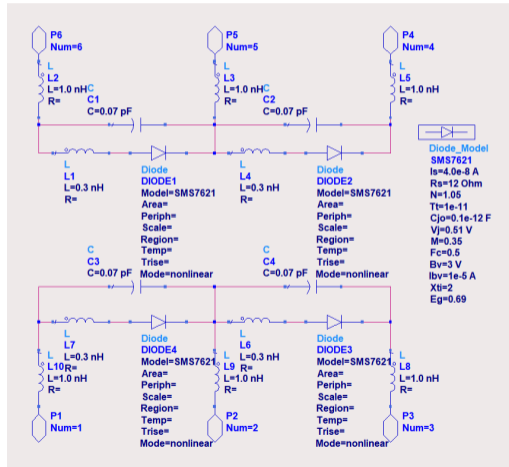
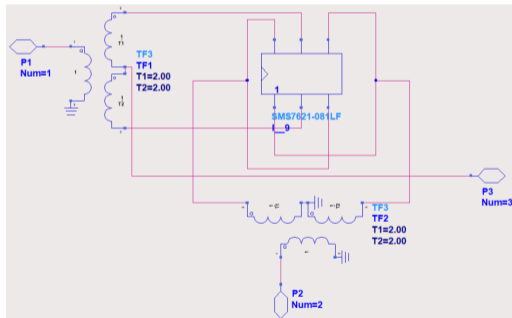
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



Simulación para las Pérdidas de Conversión

Introducción y objetivos

Mixer VHF

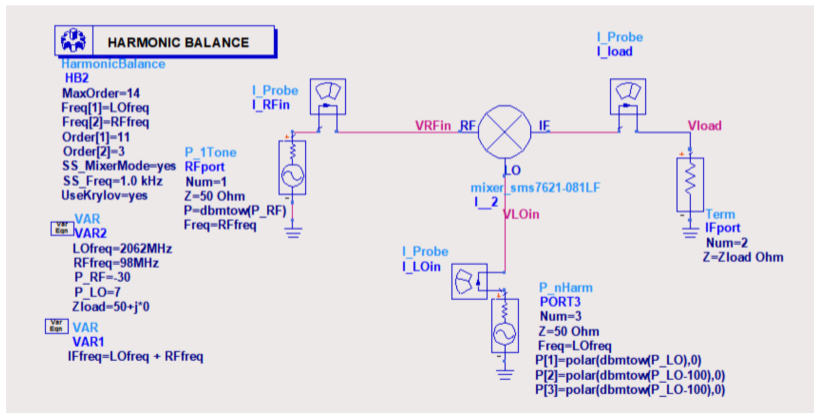
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



Espectro de entrada y salida

Introducción y objetivos

Mixer VHF

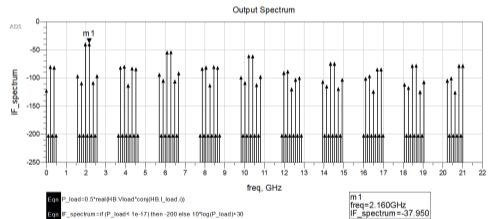
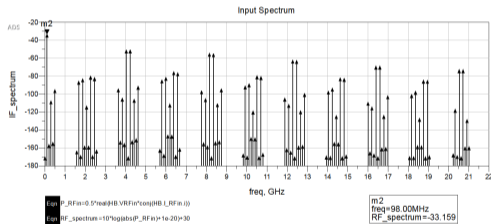
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



Pérdidas de Conversión

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

<table border="1"><thead><tr><th>Output Frequency</th><th>RF Voltage</th><th>RF Pavailable</th></tr></thead><tbody><tr><td>98.00 MHz</td><td>0.017 / -0.258</td><td>-30.000</td></tr></tbody></table>	Output Frequency	RF Voltage	RF Pavailable	98.00 MHz	0.017 / -0.258	-30.000	<pre>Eqn RF_Pavailable=mix(P_RF,{0,1}) Eqn RF_Voltage = mix(HB.VRFin,{0,1})</pre>
Output Frequency	RF Voltage	RF Pavailable					
98.00 MHz	0.017 / -0.258	-30.000					
<table border="1"><thead><tr><th>Output Frequency</th><th>LO Voltage</th><th>LO Pavailable</th></tr></thead><tbody><tr><td>2.062 GHz</td><td>1.017 / 0.945</td><td>7.000</td></tr></tbody></table>	Output Frequency	LO Voltage	LO Pavailable	2.062 GHz	1.017 / 0.945	7.000	<pre>Eqn LO_Pavailable=mix(P_RF,{1,0}) Eqn LO_Voltage=mix(HB.VRFin,{1,0})</pre>
Output Frequency	LO Voltage	LO Pavailable					
2.062 GHz	1.017 / 0.945	7.000					
<table border="1"><thead><tr><th>Output Frequency</th><th>Up Conversion Gain (dB)</th><th>Output voltage</th></tr></thead><tbody><tr><td>2.160 GHz</td><td>-7.949</td><td>0.004 / 139.178</td></tr></tbody></table>	Output Frequency	Up Conversion Gain (dB)	Output voltage	2.160 GHz	-7.949	0.004 / 139.178	<pre>Eqn IF_W=0.5*real((mix(HB.Vload,{1,1}))*conj(mix(HB.I_load,i,{1,1}))) Eqn ConvGain=10*log(PIF_W)+30-P_RF[0] Eqn Dut_Voltage = mix(HB.Vload,{1,1})</pre>
Output Frequency	Up Conversion Gain (dB)	Output voltage					
2.160 GHz	-7.949	0.004 / 139.178					

Compresión de Conversión

Introducción y objetivos

Mixer VHF

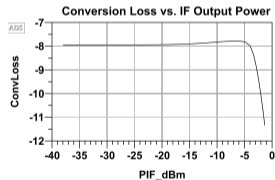
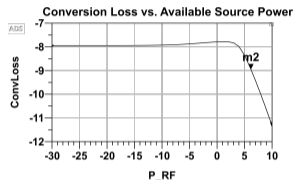
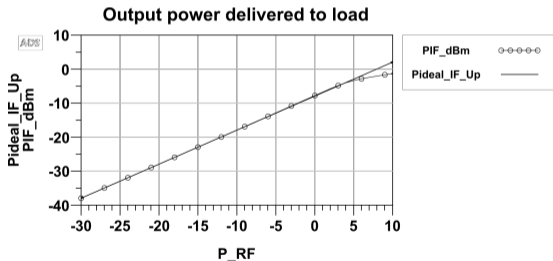
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

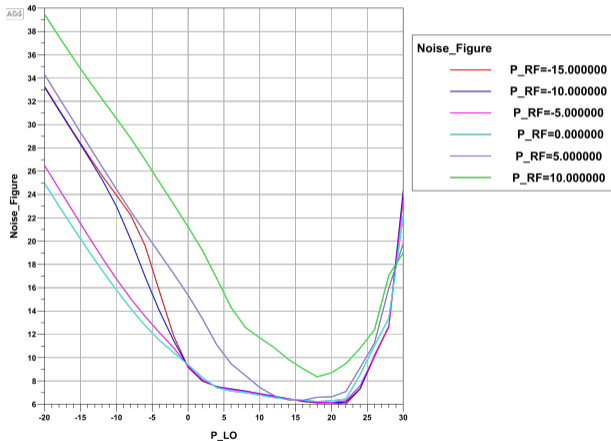
Sistema completo

Conclusiones



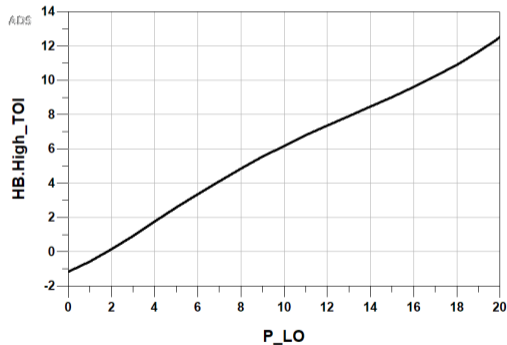
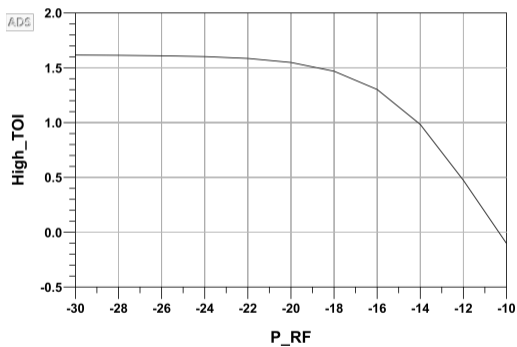
Delta (N)	PNdB
-1.00	6.15

Variación de la Figura de Ruido



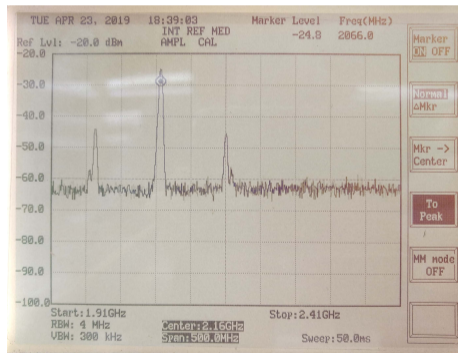
Variación del IP3 vs PRF y PLO

- Introducción y objetivos
- Mixer VHF
- Filtro VHF
- Mixer UHF
- Filtro UHF
- Sistema completo
- Conclusiones



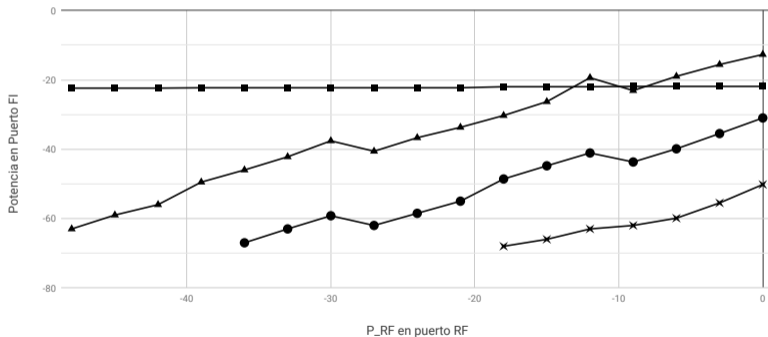
Implementación del mezclador

- Introducción y objetivos
- Mixer VHF
- Filtro VHF
- Mixer UHF
- Filtro UHF
- Sistema completo
- Conclusiones



Señales en puerto IF del mezclador UHF

Potencias en Puerto FI

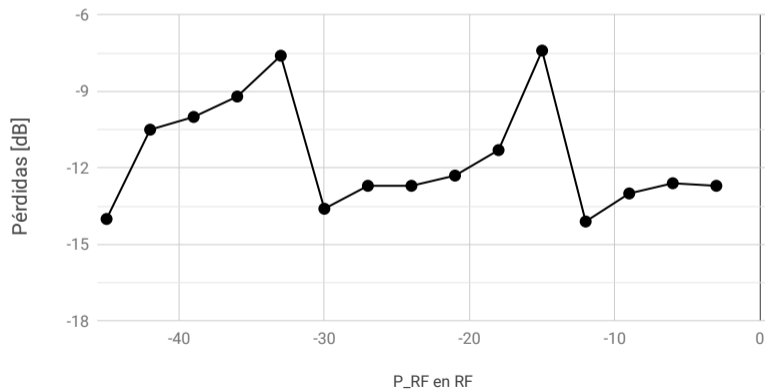


▲ Puerto IF - IF 2.16 GHz ■ Puerto IF - LO 2.062 GHz ● Puerto IF - RF 98 MHz × Puerto IF - IP3 2.258 GHz

Pérdidas de Conversión

Pérdidas de Conversión

P_{FI} en FI - P_{RF} en RF



Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

Contenidos

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

1 Introducción y objetivos

2 Mixer VHF

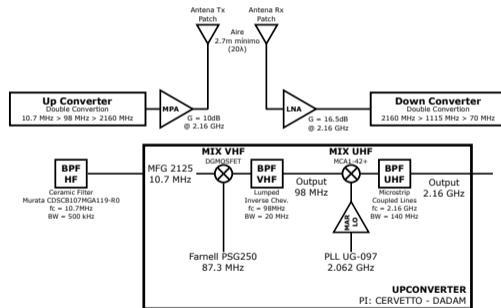
3 Filtro VHF

4 Mixer UHF

5 Filtro UHF

6 Sistema completo

7 Conclusiones



Circuito para la simulación

Introducción y objetivos

Mixer VHF

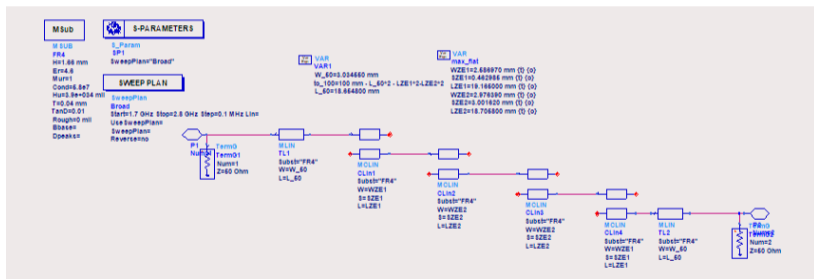
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



Comparación de las respuestas de filtros de microtiras

Introducción y objetivos

Mixer VHF

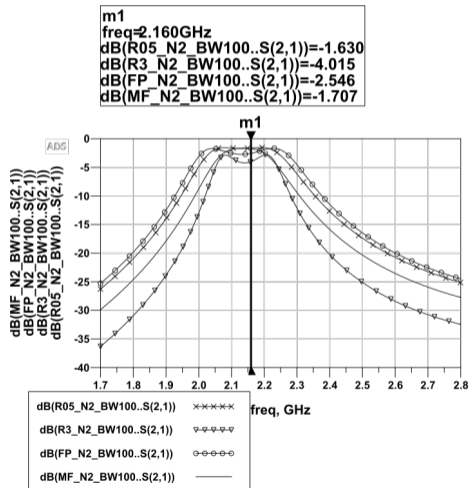
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

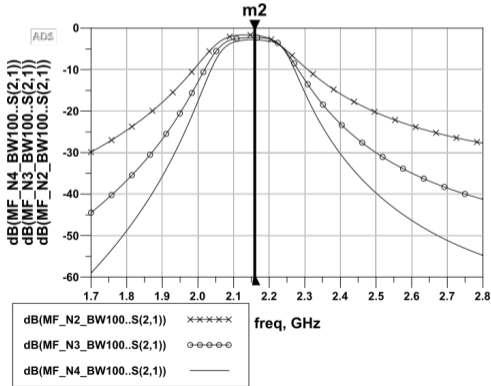
Conclusiones



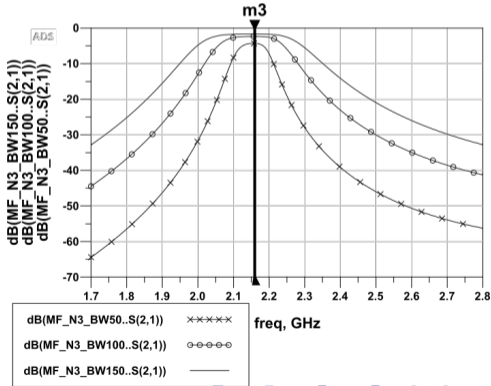
Respuesta de un filtro MF para distintos N y BW

- Introducción y objetivos
- Mixer VHF
- Filtro VHF
- Mixer UHF
- Filtro UHF
- Sistema completo
- Conclusiones

m2
 freq=2.160GHz
 dB(MF_N2_BW100..S(2,1))=-1.707
 dB(MF_N3_BW100..S(2,1))=-2.317
 dB(MF_N4_BW100..S(2,1))=-2.835



m3
 freq=2.160GHz
 dB(MF_N3_BW50..S(2,1))=-4.301
 dB(MF_N3_BW100..S(2,1))=-2.317
 dB(MF_N3_BW150..S(2,1))=-1.647



Especificaciones del filtro

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

Parámetros de diseño del filtro UHF

Frecuencia de corte inferior	2,09 GHz
Frecuencia de corte superior	2,23 GHz
Ancho de banda a -3 dB	140 MHz
Máxima atenuación en la banda de paso	2 dB
Mínima atenuación en la banda de rechazo	15 dB
Impedancias de entrada y salida	50 Ω

LineCalc/untitled

File Simulation Options Help

Component
Type: MCLIN ID: MCLIN: Cln6

Substrate Parameters
ID: FR4
H: 1.660 mm
Er: 4.600 N/A
Mur: 1.000 N/A
Cond: 5.8e7 N/A
Hu: 3.9e+034 mil
T: 0.040 mm

Physical
W: 22.764200 mm
S: 5.023890 mm
L: 16.982300 mm

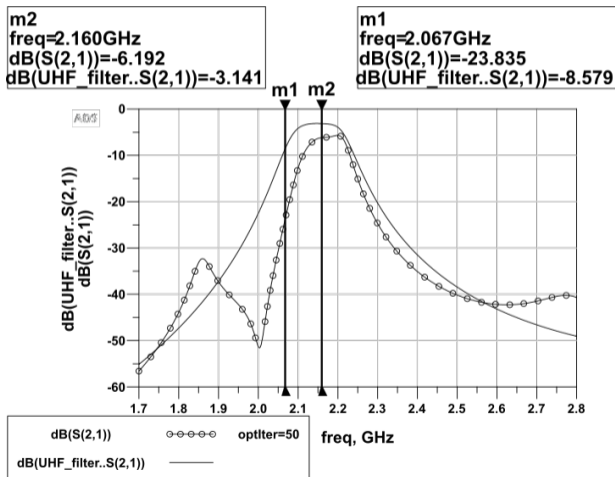
Synthesize Analyze

Electrical
Z0: 11.390300 Ohm
ZD: 10.879500 Ohm
ZO: 11.132000 Ohm
C_DB: -32.789000 N/A
E_Eff: 90.000 deg

Calculated Results
KE = 4.264
KD = 4.085
AO_DB = 0.071
SkinDepth = 0.055

Values are consistent

Optimización en ADS con un *notch*



Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

Implementación del filtro

Introducción y objetivos

Mixer VHF

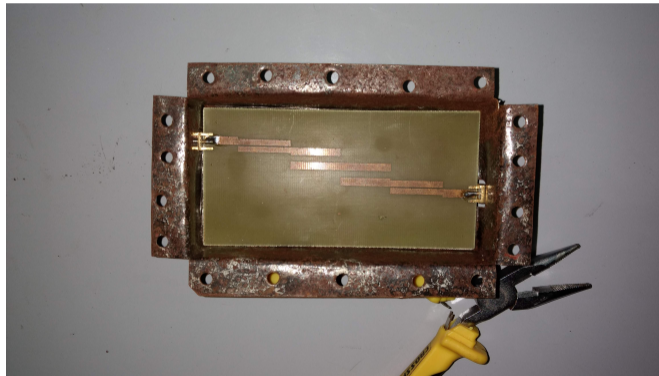
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



Respuesta del filtro

Introducción y objetivos

Mixer VHF

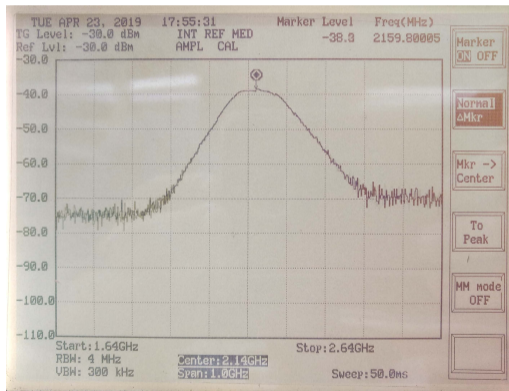
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones



	Simulación	Medición
Pérdidas de Ins.	3,12 dB	3,4 dB
BW	138 MHz	137 MHz
f_c^-	2,082 GHz	2,091 GHz
f_c^+	2,220 GHz	2,228 GHz

Contenidos

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

1 Introducción y objetivos

2 Mixer VHF

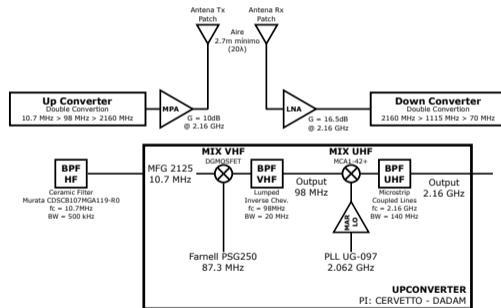
3 Filtro VHF

4 Mixer UHF

5 Filtro UHF

6 Sistema completo

7 Conclusiones



Conexionado

Introducción y objetivos

Mixer VHF

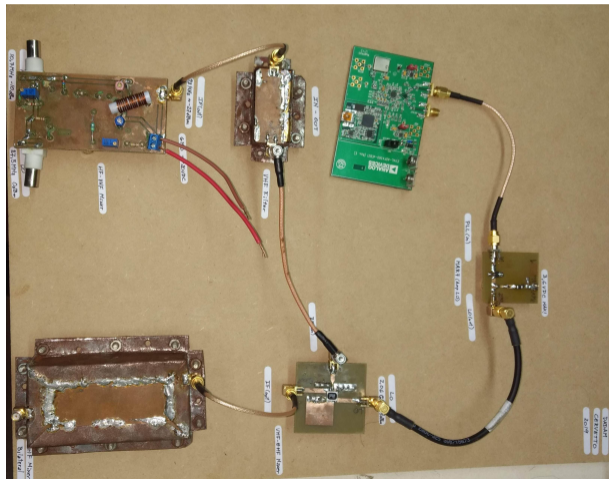
Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

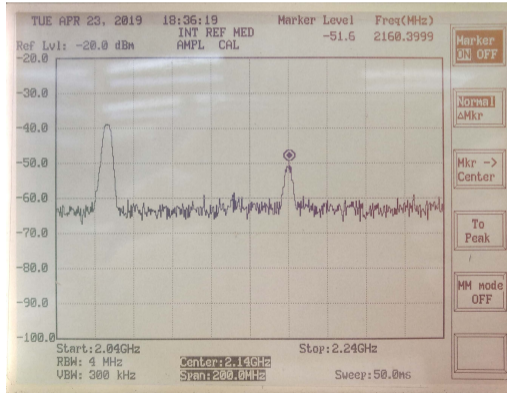
Sistema completo

Conclusiones



Salida del sistema Up Converter

- Introducción y objetivos
- Mixer VHF
- Filtro VHF
- Mixer UHF
- Filtro UHF
- Sistema completo
- Conclusiones



Contenidos

Introducción y objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema completo

Conclusiones

1 Introducción y objetivos

2 Mixer VHF

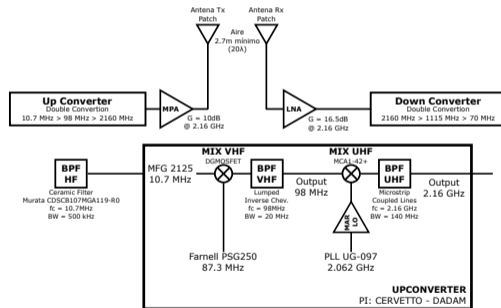
3 Filtro VHF

4 Mixer UHF

5 Filtro UHF

6 Sistema completo

7 Conclusiones



Conclusiones del proyecto

- El objetivo general y los objetivos generales propuestos en la SAT fueron cumplimentados satisfactoriamente en los tiempos definidos.
- Se realizó un estudio exhaustivo de bloques del *up converter*, obteniendo criterios de diseño de la bibliografía para luego simularlos, implementarlos y comparar los resultados etapa por etapa.
- Se superó el reto de diseño para poder adaptarse a las especificaciones y requerimientos externos de proyectos previos.
- Se aplicaron íntegramente los conceptos académicos y técnicos de distintas áreas vistas en el cursado de la carrera de Ingeniería Electrónica.

Introducción y
objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema
completo

Conclusiones

Posibles Mejoras

- Disminuir las pérdidas de inserción inherentes a la arquitectura modular.
- Implementar un amplificador lineal en VHF para aumentar la potencia de LO en el mezclador HF-VHF.
- Mejorar el sustrato y las técnicas de fabricación de las placas.
- Filtrar las espurias generadas por el PLL en el LO de UHF.
- Utilizar las placas de evaluación de los integrados TRF372017 Integrated IQ Modulator PLL/VCO de *Texas Instruments* o los integrados MAX2306/MAX2308/MAX2309 de *Maxim Integrated*.

Introducción y
objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema
completo

Conclusiones

Agradecimientos



Universidad
Nacional
de Córdoba



Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales

Introducción y
objetivos

Mixer VHF

Filtro VHF

Mixer UHF

Filtro UHF

Sistema
completo

Conclusiones

Muchas Gracias