

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA

ELECTRONICA APLICADA III

TRABAJO PRÁCTICO N° 3

Mezcladores

Autores:

GALETTTO Agustín

GRAGLIA Federico

MONTAÑO Jorge

SOLIS Abel Fredy

Legajo:

57705

59667

59040

59156



1. Enunciado

1. Diseñar, calcular y simular diferentes mezcladores para ser utilizados en un receptor superheterodino de FM con las siguientes características:
 - $f_{IF} = 10,7\text{MHz}$
 - $f_{RF} = 88 - 108\text{MHz}$; $P_{RF} = -10\text{dBm}$
 - $P_{LO} = 8\text{dBm}$
2. Simular los siguientes tipos de mezcladores:
 - de terminación única (diodo o transistor),
 - de balance único, de doble balance.
3. Realizar las siguientes mediciones para cada caso:
 - Pérdida por conversión
 - Pérdida por compresión
 - Figura de Ruido
 - Aislación.
4. Enumerar ventajas y desventajas en cada caso.

2. Diseño

El diagrama genérico de un receptor superheterodino se muestra en la figura 1. En este trabajo implementaremos diferentes configuraciones circuitales para el elemento conocido como *mixer* (traducido como *mezclador*) el cual se encarga de hacer la conversión (*down converter*) de las señales que ingresan a través de la antena y pasan por un amplificador de entrada a otras con determinadas características.

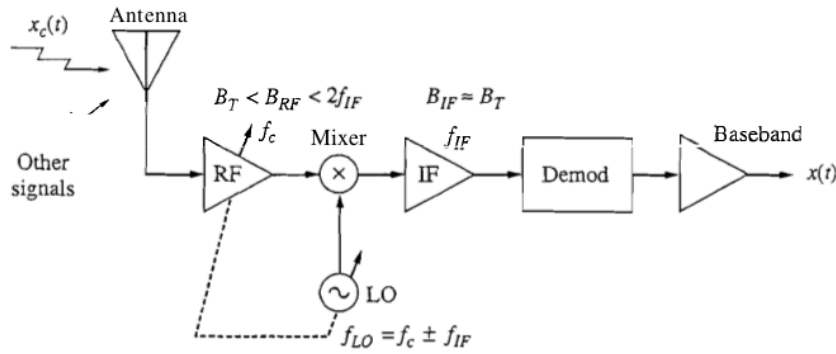


Figura 1: Receptor superheterodino.

De acuerdo a las condiciones establecidas en el enunciado para el funcionamiento del mezclador el rango de frecuencias de entrada es la banda comercial de FM, como se trata de un receptor superheterodino y el valor de la frecuencia intermedia (FI o IF) es 10.7 MHz el oscilador local (LO) debe ajustar su frecuencia de oscilación de manera tal que ésta debe situarse 10.7 MHz por encima de la señal que desea sintonizarse. Teniendo en cuenta esto $f_{LO} \in (98,7, 118,7)\text{MHz}$.

A fin de simular un comportamiento mas aproximado al sistema real se emplea un filtro en la entrada RF para eliminar lo que este fuera de la banda comercial de FM. Otro filtro se emplea como etapa de salida para IF, en este caso se implemento como pasa bajos aunque puede ser un pasabanda. En general estos filtros son incorporados en las etapas de amplificación es decir constituyen amplificadores sintonizados.

Luego de estas consideraciones el esquema general de los mezcladores que vamos a construir sera el de la figura 2

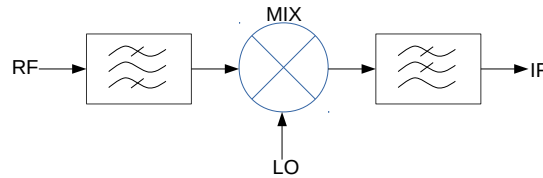


Figura 2: Diagrama de los mezcladores a implementar.

3. Simulación y mediciones

El software empleado es QUCS¹. La síntesis de filtros se realiza con la herramienta provista por el software, los mismos son de tipo Butterworth de orden 3, compuestos de elementos pasivos (capacitores e inductores) y dispuestos en topología Π . Los componentes empleados son los que vienen por defecto en el programa, en el caso de los diodos se modifica el parámetro “Potencial de la unión” para asimilarlo a un diodo Schottky. Como ejemplo se toma la frecuencia de entrada en 100MHz por lo que el oscilador local debe fijarse a 110.7 MHz.

3.1. Mezclador de terminación única

El circuito implementado es el mostrado en la figura 3, aqui se muestra además las ecuaciones, puntos de medición y simulaciones realizadas.

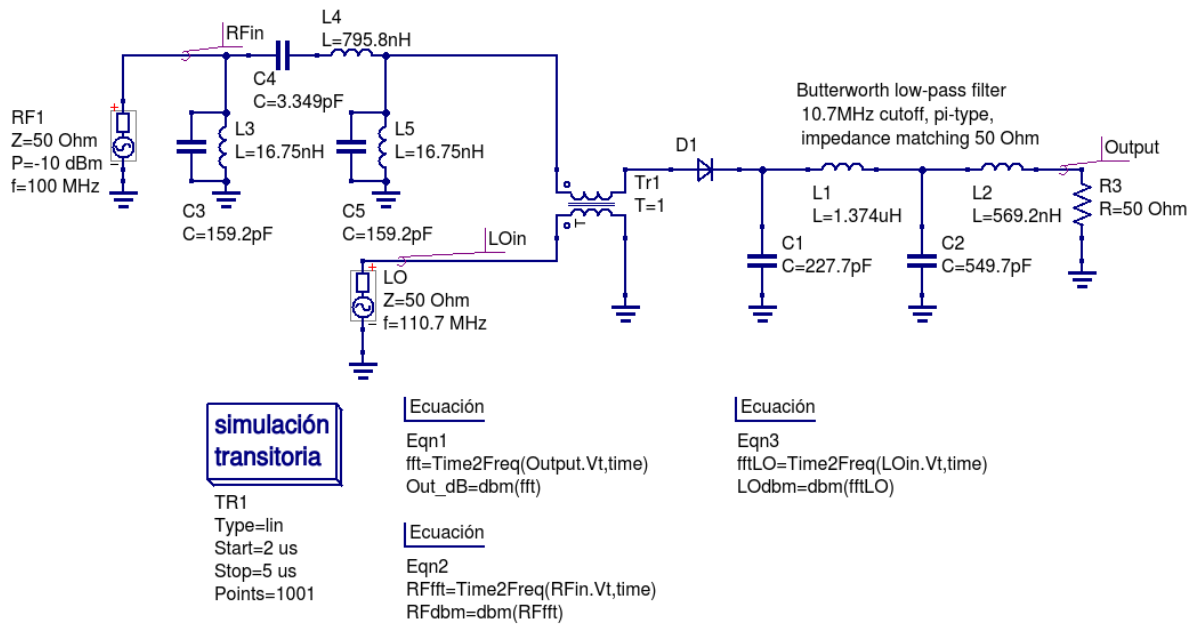


Figura 3: Esquemático del mezclador empleado.

En la figura 4 se observa la distribución espectral de las potencias puestas en juego en la medición, a partir de estas gráficas se pueden realizar las mediciones pedidas en el enunciado.

Pérdida por conversión y figura de ruido

Este parámetro se mide como la diferencia entre la potencia de la señal de entrada de nuestro mezclador (RF) y la salida del mismo (IF), ambas expresadas en dBm, para las frecuencias de interés. Por ello en RF se toma el valor de potencia en 100 MHz y en IF se mide la potencia en 10.7 MHz.

¹Quite Universal Circuit Simulator, versión 0.0.19

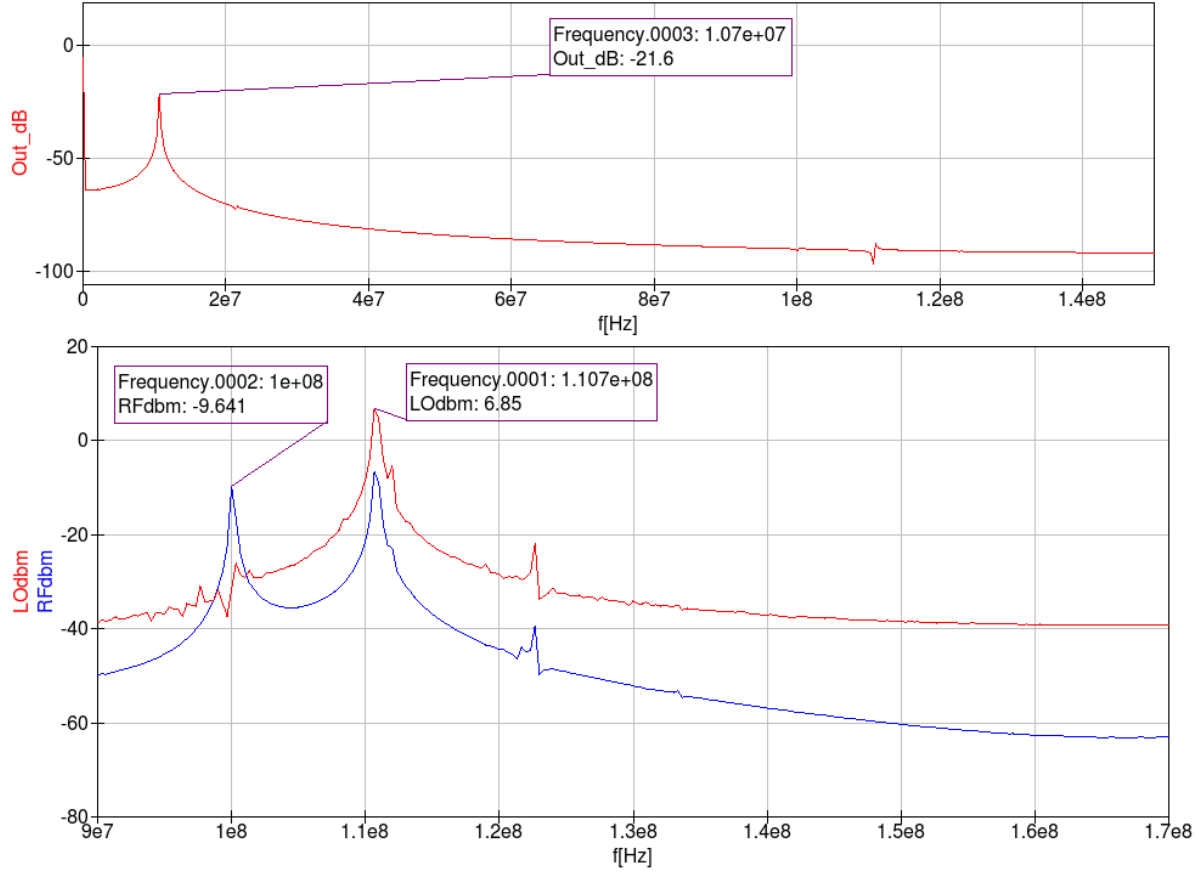


Figura 4: Espectros obtenidos en la simulación.

$$P_{RF} = -10 \text{ dBm}$$

$$P_{OUT} = P_{IF} = -21,6 \text{ dBm}$$

$$CL = P_{RF} - P_{OUT} = 11,6 \text{ dB}$$

Por otro lado consideramos que **la figura de ruido tiene un valor aproximado al de la pérdida por conversión**. Recordemos que la misma viene dada por

$$F = \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S_o}{N_o}} = \frac{S_i \times N_o}{S_o \times N_i} = \frac{N_o}{G \times N_i}$$

Además el ruido a la salida depende del ruido presente a la entrada junto con el ruido aportado por el mismo mezclador $N_o = N_i \times G + N_{mix}$. Teniendo en cuenta esto la figura de ruido F se puede expresar como

$$F = \frac{N_i \times G + N_{mix}}{G \times N_i} = 1 + \frac{N_{mix}}{G \times N_i}$$

Como la ganancia del dispositivo es la inversa de la pérdida por conversión se tiene que estos parámetros son directamente proporcionales. Luego si el nivel de ruidosidad

del mezclador y el presente a la entrada son similares (justamente es lo que sucede en estos dispositivos) se puede confirmar lo enunciado. De igual forma se tiene en cuenta que $CL \approx F$ para los demás mezcladores.

Pérdida por compresión

También conocido como punto de compresión de -1 dB, este parámetro se mide variando la potencia de la entrada (P_{RF}) y observando como se comporta la potencia de salida (P_{IF}). El sistema ideal debe mantener su ganancia constante para cualquier nivel de entrada pero como veremos para un nivel determinado de potencia de entrada, la ganancia del mezclador estará 1 dB por debajo de la pérdida por conversión. Los resultados de las mediciones se muestran en la tabla 1 y la gráfica 5 muestra nos permite ver que para una P_{RF} de entre 7.5 y 7.7 dBm se encuentra el punto de compresión.

Tabla 1: Mediciones para determinar P_{-1dB}

$P_{RF}[\text{dBm}]$	$P_{IF}[\text{dBm}]$	$P_{IF} - P_{RF}[\text{dB}]$
-10	-21.6	-11.6
-8	-19.6	-11.6
-6	-17.6	-11.6
-4	-15.6	-11.6
-2	-13.7	-11.7
0	-11.7	-11.7
2	-9.82	-11.82
4	-7.97	-11.97
6	-6.23	-12.23
7	-5.44	-12.44
7.5	-5.07	-12.57
7.7	-4.94	-12.64
8	-4.74	-12.74

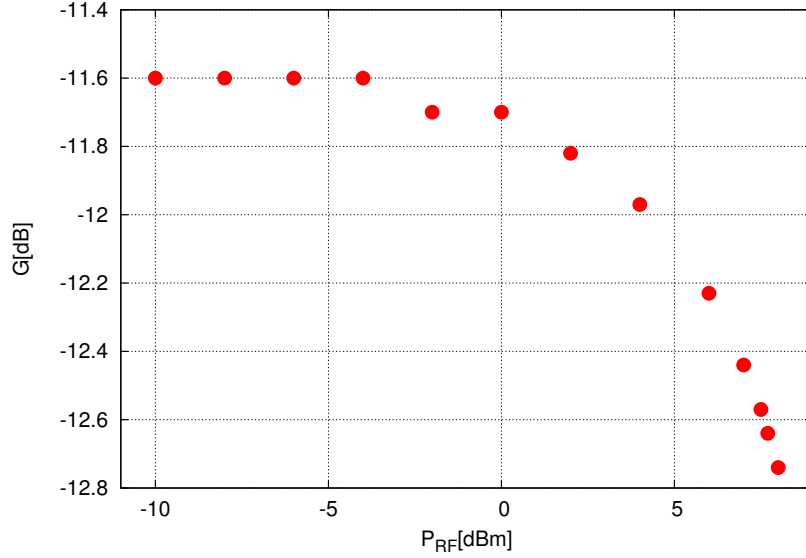


Figura 5: Punto de compresión -1dB.

Aislación

En este caso tenemos 6 posibles combinaciones dado que el mezclador tiene tres puertos.

$$ISO_{RF-LO} = P_{RF} - P_{RF@LO} = -10,68 \text{ dBm} - (-31,61 \text{ dBm}) = 20,93 \text{ dB}$$

$$ISO_{LO-RF} = P_{LO} - P_{LO@RF} = 6,85 \text{ dBm} - (-17,04 \text{ dBm}) = 23,89 \text{ dB}$$

$$ISO_{IF-RF} = P_{IF} - P_{IF@RF} = -21,6 \text{ dBm} - (-64,86 \text{ dBm}) = 43,26 \text{ dB}$$

$$ISO_{RF-IF} = P_{RF} - P_{RF@IF} = -10,68 \text{ dBm} - (-90,92 \text{ dBm}) = 80,24 \text{ dB}$$

$$ISO_{LO-IF} = P_{LO} - P_{LO@IF} = -6,85 \text{ dBm} - (-96,68 \text{ dBm}) = 89,83 \text{ dB}$$

$$ISO_{IF-LO} = P_{IF} - P_{IF@LO} = -21,6 \text{ dBm} - (-28,99 \text{ dBm}) = 7,39 \text{ dB}$$

3.2. Mezclador de balanceo único

El circuito empleado se muestra en la figura 6. El mismo emplea como elementos alineales dos diodos. En la figura 7 se muestran los espectros obtenidos en los puntos de medición.

Pérdida por conversión y figura de ruido

$$P_{RF} = -14,75 \text{ dBm}$$

$$P_{OUT} = P_{IF} = -21,5 \text{ dBm}$$

$$CL = P_{RF} - P_{OUT} = 6,75 \text{ dB}$$

Pérdida por compresión

En la tabla 2 resumimos las mediciones en IF usando como parámetro la potencia en RF.

En la figura 8 se observa que el punto de compresión corresponde a una potencia de RF

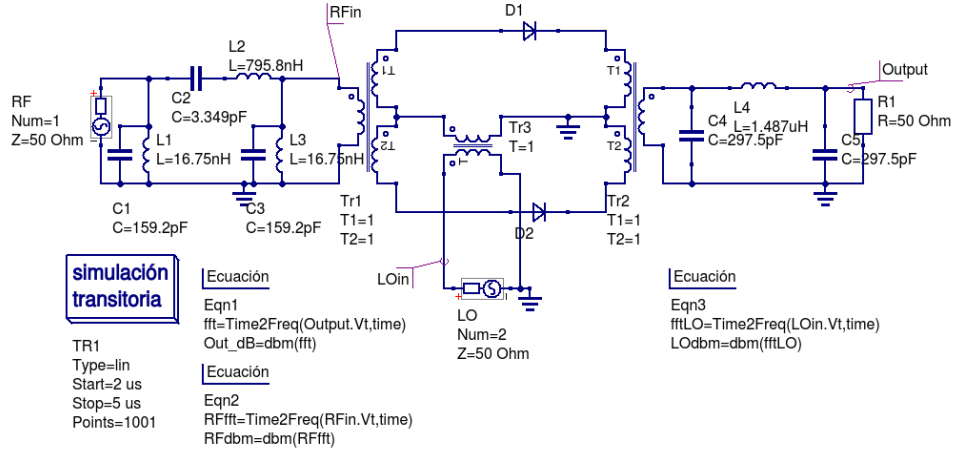


Figura 6: Circuito mezclador simplemente balanceado.

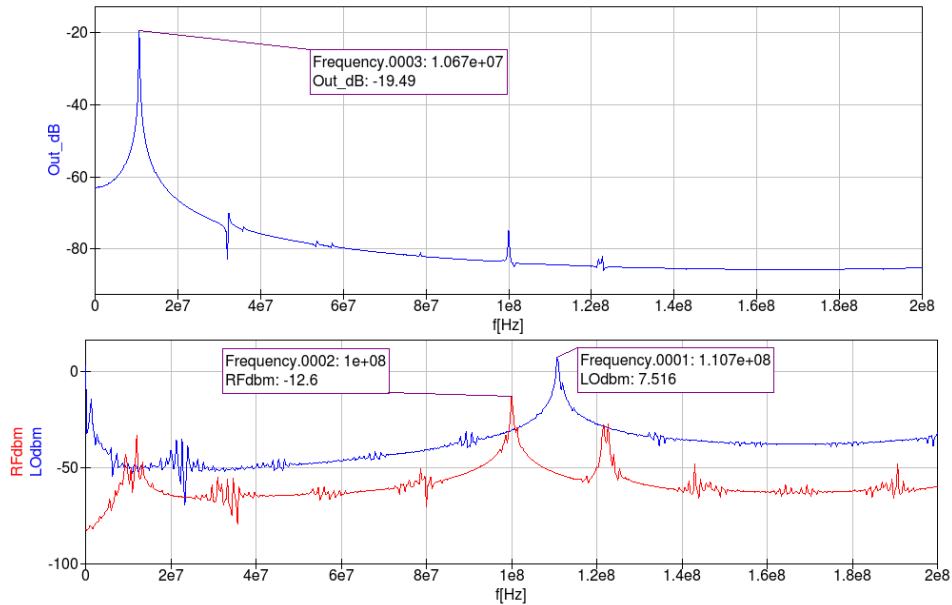


Figura 7: Espectros obtenidos en la simulación.

aproximadamente igual a 11 dBm, pues se considera como referencia la salida para una $P_{RF} = 0$ dBm.

Aislación

$$ISO_{RF-LO} = P_{RF} - P_{RF@LO} = -14,75 \text{ dBm} - (-30,3 \text{ dBm}) = 15,55 \text{ dB}$$

$$ISO_{LO-RF} = P_{LO} - P_{LO@RF} = 7,54 \text{ dBm} - (-55,12 \text{ dBm}) = 62,66 \text{ dB}$$

$$ISO_{IF-RF} = P_{IF} - P_{IF@RF} = -21,5 \text{ dBm} - (-50,48 \text{ dBm}) = 28,98 \text{ dB}$$

$$ISO_{RF-IF} = P_{RF} - P_{RF@IF} = -14,75 \text{ dBm} - (-76,75 \text{ dBm}) = 62 \text{ dB}$$

Tabla 2: Mediciones para determinar P_{-1dB}

$P_{RF}[\text{dBm}]$	$P_{IF}[\text{dBm}]$	$P_{IF} - P_{RF}[\text{dB}]$
-8	-21.5	-13.5
-6	-19.45	-13.45
-4	-17.28	-13.28
-2	-15.16	-13.16
0	-13.1	-13.1
2	-11.0	-13.2
4	-8.975	-12.975
6	-7.109	-13.109
8	-5.357	-13.357
10	-3.795	-13.795
11	-3.065	-14.065

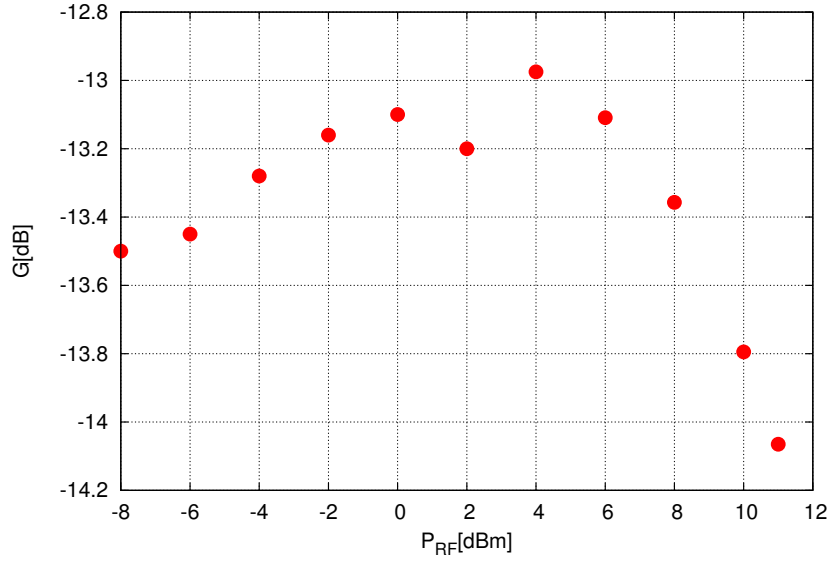


Figura 8: Medición del punto de compresión -1dB.

$$ISO_{LO-IF} = P_{LO} - P_{LO@IF} = 7,54 \text{ dBm} - (-85,8 \text{ dBm}) = 93,34 \text{ dB}$$

$$ISO_{IF-LO} = P_{IF} - P_{IF@LO} = -21,5 \text{ dBm} - (-49,8 \text{ dBm}) = 28,3 \text{ dB}$$

3.3. Mezclador doblemente balanceado

El circuito implementado, los puntos de medición y las simulaciones realizadas se muestran en la figura 9. En la figura 10 están los espectros tomados en los puntos de medición a partir de los cuales realizaremos las mediciones.

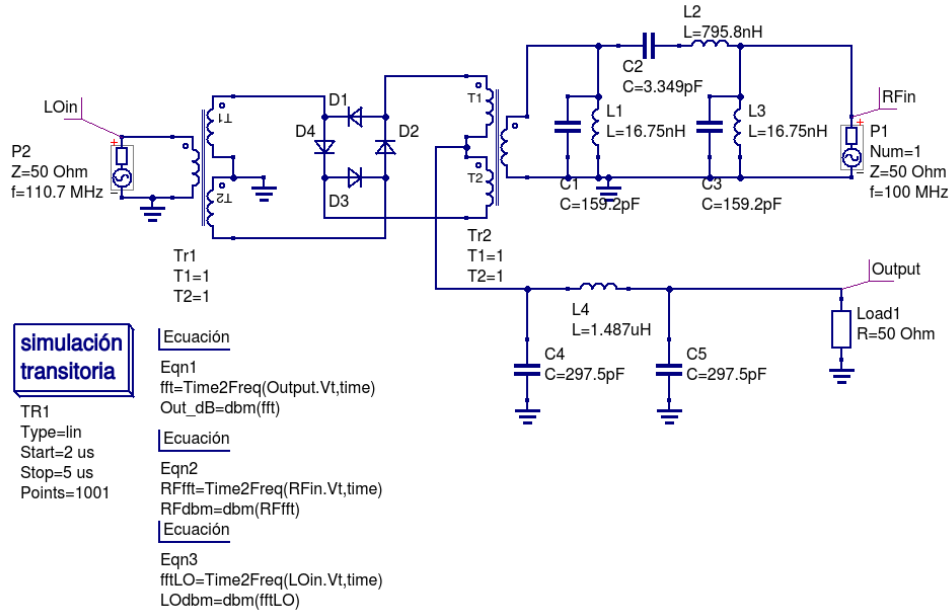


Figura 9: Circuito del mezclador en anillo.

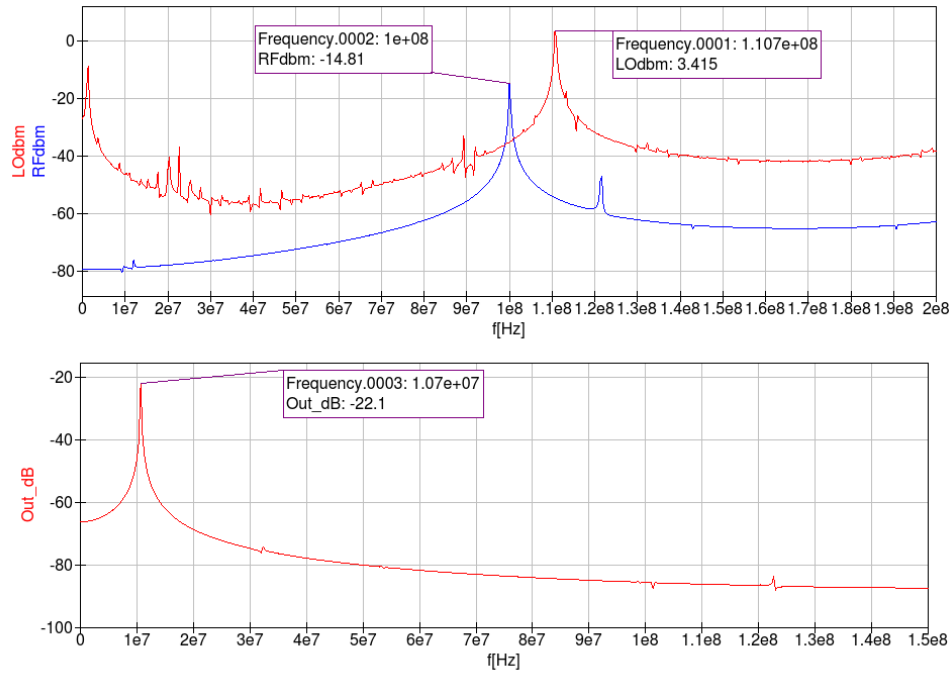


Figura 10: Espectros obtenidos en la simulación.

Pérdida por conversión y figura de ruido

$$P_{RF} = -14,81 \text{ dBm}$$

$$P_{OUT} = P_{IF} = -22,1 \text{ dBm}$$

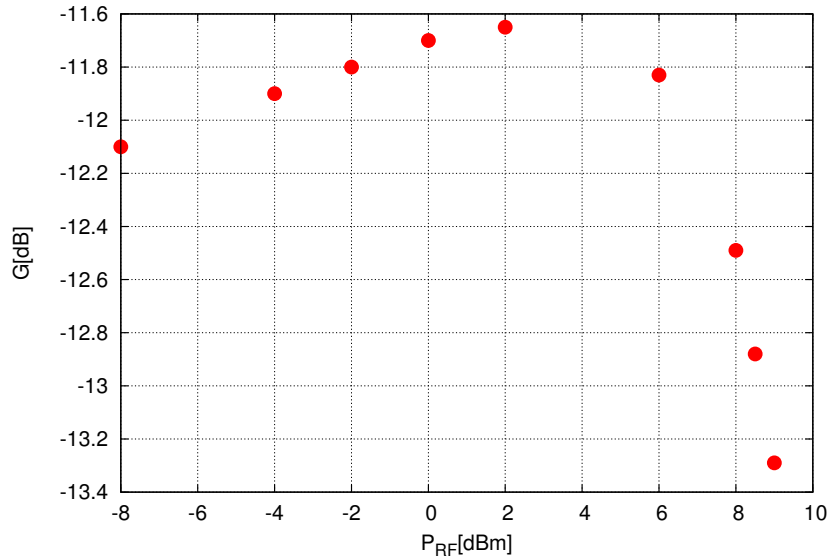
$$CL = P_{RF} - P_{OUT} = 7,29 \text{ dB}$$

Pérdida por compresión

Nuevamente realizamos un barrido de potencia para la señal RF y medimos los valores obtenidos en IF. Usando la tabla 3 y la gráfica podemos decir que el punto de compresión de 1 dB se encuentra alrededor de los 8.5 dBm.

Tabla 3: Mediciones para determinar P_{-1dB}

$P_{RF}[\text{dBm}]$	$P_{IF}[\text{dBm}]$	$P_{IF} - P_{RF}[\text{dB}]$
-8	-20.1	-12.1
-4	-15.9	-11.9
-2	-13.8	-11.8
0	-11.7	-11.7
2	-9.65	-11.65
6	-5.83	-11.83
8	-4.49	-12.49
8.5	-4.38	-12.88
9	-4.29	-13.29



Aislación

$$ISO_{RF-LO} = P_{RF} - P_{RF@LO} = -14,81 \text{ dBm} - (-35,22 \text{ dBm}) = 20,41 \text{ dB}$$

$$ISO_{LO-RF} = P_{LO} - P_{LO@RF} = 3,415 \text{ dBm} - (-54,45 \text{ dBm}) = 57,865 \text{ dB}$$

$$ISO_{IF-RF} = P_{IF} - P_{IF@RF} = -22,1 \text{ dBm} - (-78,74 \text{ dBm}) = 56,64 \text{ dB}$$

$$ISO_{RF-IF} = P_{RF} - P_{RF@IF} = -14,81 \text{ dBm} - (-85,6 \text{ dBm}) = 70,79 \text{ dB}$$

$$ISO_{LO-IF} = P_{LO} - P_{LO@IF} = 3,415 \text{ dBm} - (-86,12 \text{ dBm}) = 89,535 \text{ dB}$$

$$ISO_{IF-LO} = P_{IF} - P_{IF@LO} = -22,1 \text{ dBm} - (-46,82 \text{ dBm}) = 24,72 \text{ dB}$$

4. Conclusiones

En las tablas resumimos los principales resultados obtenidos en las mediciones realizadas en el presente trabajo. Podemos ver que la pérdida por conversión es mejor en el

Tabla 4: Comparación de las mediciones obtenidas.

	Terminación única	Balanceado simple	Balanceado doble
ISO_{RF-LO} [dB]	20.93	15.55	20.41
ISO_{LO-RF} [dB]	23.89	62.66	57.865
ISO_{IF-RF} [dB]	43.26	28.98	56.64
ISO_{RF-IF} [dB]	80.24	62	70.79
ISO_{LO-IF} [dB]	89.83	93.34	89.535
ISO_{IF-LO} [dB]	7.39	28.3	24.72
CL [dB]	11.6	6.75	5
P_{-1dB} [dBm]	$\approx 7,7$	≈ 11	≈ 10

mezclador de balanceo doble y es peor en el circuito de terminación única. Observando los espectros obtenidos puede notarse la dificultad que presenta la medición de la figura de ruido pues los niveles del mismo no permanecen constantes en las bandas de frecuencias en las que deben realizarse las mediciones.

La aislación entre LO y RF es mucho menor en el primer mezclador ensayado lo que incrementa la posibilidad de que se radie señal no deseada por la antena.

Los puntos de compresión para los mezcladores balanceados están próximos y son superiores al de terminación única.