

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL DE CÓRDOBA

**Trabajo Práctico De Laboratorio N°3**  
**Mezcladores**

Alassia, Francisco	60861
Amaya, Matías	68284
Lamas, Matías	65536
Navarro, Facundo	63809
Veron, Misael	62628

Curso: 5r2  
Grupo N°4

**Electrónica Aplicada III**

Docentes:  
Ing. Rabinovich, Daniel  
Ing. Yoaquino, Leandro

25 de junio de 2019

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Definición de parámetros</b>	<b>2</b>
2.1. Pérdida por conversión [CL]	2
2.2. Aislamiento [ISO]	3
2.3. Pérdidas por Compresión [CP]	3
2.4. Figura de Ruido - Rango Dinámico	3
2.5. Tipos de mezcladores	3
<b>3. Experiencia práctica</b>	<b>4</b>
3.1. Mezclador de terminación única	4
3.1.1. Circuito	4
3.1.2. Perdida por conversión	4
3.1.3. Figura de ruido	4
3.1.4. Aislación entre puertos	4
3.1.5. Pérdida por compresión	5
3.2. Mezcladores de balanceo simple	5
3.2.1. Circuito	5
3.2.2. Perdida por conversión	5
3.2.3. Figura de ruido	5
3.2.4. Aislación entre puertos	5
3.2.5. Pérdida por compresión	6
3.3. Mezcladores de balanceo doble	6
3.3.1. Circuito	6
3.3.2. Perdida por conversión	6
3.3.3. Figura de ruido	6
3.3.4. Aislación entre puertos	6
3.3.5. Pérdida por compresión	7
<b>4. Conclusión</b>	<b>7</b>
4.1. Perdida por conversión	7
4.2. Perdida por compresión y rango dinámico	7
4.3. Aislamiento entre puertos	7
4.4. Frecuencia imagen	7

## 1. Introducción

Un mezclador es un dispositivo electrónico que realiza el desplazamiento en frecuencia de la potencia de una señal. Un multiplicador ideal es, desde el punto de vista matemático, un perfecto mezclador que produce la suma y diferencia de las frecuencias de entrada, un diagrama en bloque del mismo se muestra en la figura 1.

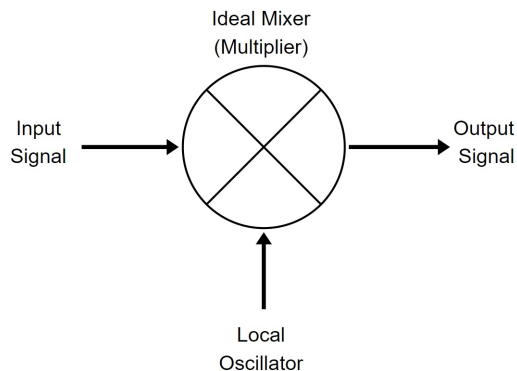


Figura 1: Mezclador ideal

En el proceso de recepción y transmisión de información en Radio Frecuencias son de fundamental utilidad los mezcladores. Cualquier dispositivo alineal puede ser un mezclador, diodos, transistores bipolares, FETs, etc. La no linealidad es necesaria para producir nuevas frecuencias. La elección del dispositivo y del circuito depende de las consideraciones que se realicen sobre la ganancia o pérdida de conversión, rango dinámico, ancho de banda, figura de ruido, aislación entre los puertos, generación de frecuencias indeseables, costo y adaptación de sus puertos.

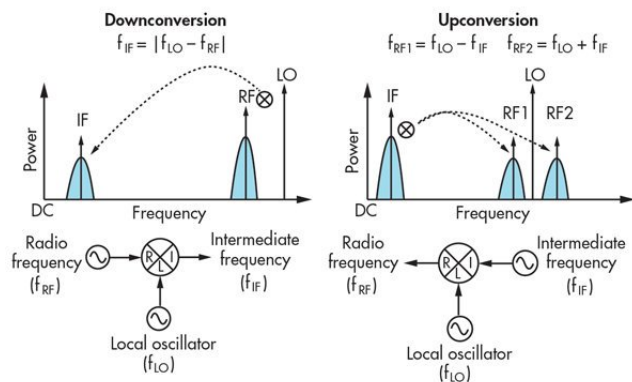


Figura 2: Esquema down-converter y up-converter

En cuanto a las características de la señal de salida, estos dispositivos pueden ser de dos tipos: uno se llama *up*, donde la frecuencia de salida es mayor que la frecuencia de entrada y se emplean en procesos de transmisión; el otro tipo de mezclador se denomina *down*, en este caso la frecuencia de salida es menor a la de entrada y se utiliza generalmente en procesos de recepción. Esto se representa en la figura 2

Como se mencionó anteriormente, en el proceso de recepción la señal de *RF* es *down converted*. El receptor cuenta con un oscilador local (LO) cuya frecuencia es determinada por la señal de *RF* que se desea sintonizar. En la 3 se muestra el espectro en frecuencia para un conversor de este tipo, donde *LO* representa al oscilador local a la frecuencia  $f_{LO}$  y *RF* es

la señal *IF* a sintonizar a la frecuencia  $f_{RF}$ . La señal de *RF* es mezclada con la señal del oscilador local produciendo la suma y diferencia de ambas frecuencias. La suma  $f_{LO} + f_{RF}$  queda fuera de rango de operación del sistema y la diferencia  $f_{LO} - f_{RF}$  es la señal de frecuencia intermedia *IF* a la frecuencia  $f_{IF}$ , que es filtrada y amplificada. Es importante destacar que también aparece una señal imagen *IM* a una frecuencia  $f_{IM}$  que debe ser eliminada por el filtro de *RF*. Dicho filtro debe ser suficientemente selectivo para eliminar esta componente imagen.

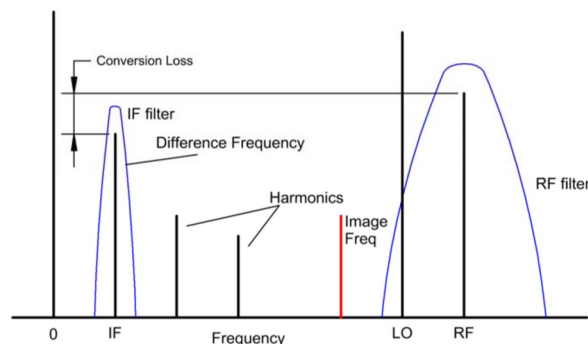


Figura 3: Frecuencias en un mezclador downconverter

Para el caso de un upconverter, la señal *LO* es multiplicada por la señal resultando la *RF* modulada en doble banda lateral con portadora suprimida. En otras palabras luego de realizar el producto se obtiene  $f_{RF} = f_{OL} \pm f_{IF}$ , pero generalmente es usada solo una de estas señales de *RF*, lo que hace necesaria también la implementación de un filtro.

Desde el punto de vista de la potencia, los mezcladores se clasifican en pasivos o activos. Un mezclador pasivo emplea diodos u otro dispositivo no lineal, donde la señal *LO* provee la potencia para producir la suma y la diferencia de frecuencias. Los mezcladores activos emplean FET o transistores alimentados con fuentes de tensión continua que proveen la potencia para el proceso de mezclado.

## 2. Definición de parámetros

### 2.1. Pérdida por conversión [CL]

La Pérdida por Conversión ó *Conversion Loss* para el caso particular de un conversor down, es definida como el cociente entre la señal de entrada *RF* y la señal de salida *IF* deseada.

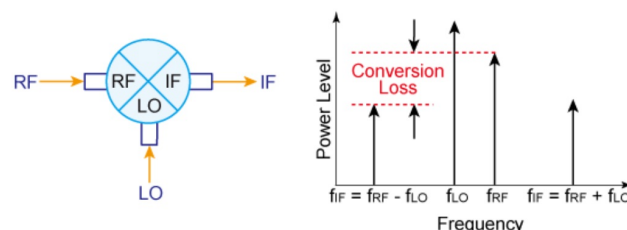


Figura 4: Pérdida por conversión de un mezclador

Para el caso de un mezclador ideal, la potencia de entrada es dividida a la mitad y distribuida en cada una de las dos componentes resultantes, produciendo un desplazamiento en frecuencia de la potencia. Entonces la pérdida por conversión se calcula como la relación entre la potencia de entrada y cualquiera de las resultantes de la mezcla:

$$CL = 10 \cdot \log \left( \frac{P_{out} [mW]}{P_{in} [out]} \right)$$

$$CL = P_{in} [dBm] - P_{out} [dBm] \quad (1)$$

En un mezclador pasivo ideal la pérdida por conversión parte de 3 [dB] ya que se emplea solo una de las resultantes del producto. Para el caso de un mezclador práctico balanceado o doblemente balanceado este factor es menor a 6 [dB]. La pérdida por conversión depende de la potencia aplicada por la señal del oscilador local y debe ser tenida en cuenta para el cálculo de la "Figura de Ruido". Es común, en receptores de calidad, el uso de un amplificador con ganancia mayor a este factor de pérdida para lograr que el mezclador afecte en menor medida la figura de ruido.

## 2.2. Aislamiento [ISO]

En la práctica se desea que exista una aislación entre los puertos *LO*, *RF* y *IF* del mezclador, pero esto no siempre se cumple. La aislación entre un par de puertos A - B cuyas componentes fundamentales se encuentra en  $f_A$  y  $f_B$  respectivamente, se determina como la diferencia entre la potencia de la componente fundamental del puerto A y la potencia que posee la componente en la frecuencia  $f_A$  del puerto B. En un mezclador de un solo diodo no suele existir aislamiento entre sus puertos. En el caso de los balanceados la aislación depende de las características de los diodos utilizados, por este motivo los fabricantes emplean dispositivos diseñados para tal fin. Un amplificador doble balanceado que hace uso de estos diodos particulares la aislación toma valores de 30 [dB].

## 2.3. Pérdidas por Compresión [CP]

Para un mezclador down ideal la salida *IF* debe ser proporcional a la señal de entrada *RF*, en la práctica ocurre que a medida que la señal de entrada se aproxima a los 10 [dB] por debajo de la potencia del oscilador local, la salida de frecuencia intermedia comienza a saturarse y la pérdida por conversión incrementa. Los fabricantes especifican el punto de 1 [dB] de compresión ya que se relaciona directamente con la potencia del oscilador local, un mayor valor de esta potencia permite lograr un punto de compresión de 1 [dB] más alto, incrementando el rango dinámico del mezclador. Se determina por medio de un barrido del parámetro  $P_{RF}$  realizando una gráfica de la potencia de frecuencia intermedia  $P_{IF}$  en función de  $P_{RF}$ . En un caso ideal, esta relación es lineal, sin embargo en la práctica para determinado valor de  $P_{RF}$  esta relación se aleja de la linealidad. Definiendo entonces a la pérdida por compresión como el valor de  $P_{RF}$  a partir del cual la gráfica real de  $P_{IF} = f(P_{RF})$  se aleja un decibel de la gráfica ideal.

## 2.4. Figura de Ruido - Rango Dinámico

El rango dinámico se define como el grado de variación útil en que puede operar el mezclador. El valor superior del rango se encuentra determinado por el punto de compresión de 1 [dB] y el valor inferior es limitado por la figura de ruido.

La figura de ruido es la cantidad de ruido aportado por el mixer a la señal convertida, sumada las pérdidas por conversión. Por definición, es el cociente entre la relación señal-ruido

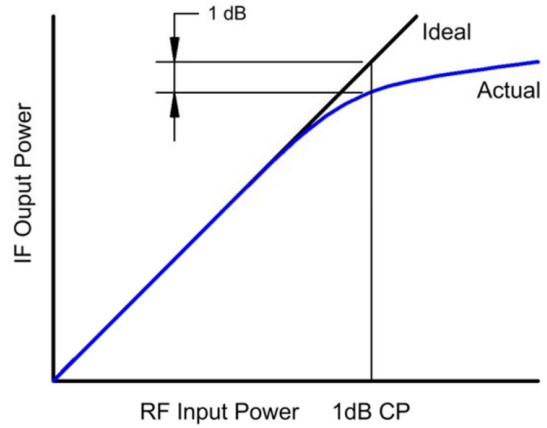


Figura 5: Punto de compresión de 1[dB] de un mezclador

RF en la entrada y la relación señal-ruido FI en el puerto de salida, es decir,

$$\begin{aligned} NF_{SSB} &= 10 \cdot \log \frac{SNR_i}{SNR_o} \\ &= 10 \cdot \log \frac{P_{RF_{in}}}{P_{N_{in}}} - 10 \cdot \log \frac{P_{IF_{out}}}{P_{N_{out}}} \\ &= [P_{RF_{in}} - P_{IF_{out}}] + [P_{N_{out}} - P_{N_{in}}] \\ NF_{SSB} &= CL_{SSB} + P_{N_{mixer}} \end{aligned}$$

Se debe considerar que salvo solamente en casos específicos de poseer diodos o transistores muy ruidosos, la figura de ruido es aproximadamente igual a la pérdida de conversión. En hojas de datos, generalmente, se especifica la figura de ruido de banda única ( $NF_{SSB}$ ), ya que aunque el producto de la mezcla produce ambas bandas, inferior y superior, solo se desea uno de esos productos descartando el otro, causando que se pierda la mitad de la potencia de entrada y haciendo que la figura de ruido de banda lateral única esté 3 decibels por encima de la figura de ruido de doble banda lateral ( $NF_{DSB}$ ). Esta consideración se toma a menudo, debido a que medir la figura de ruido de doble banda lateral es sencillo. Se trata que sea lo menor posible para obtener un mayor rango dinámico de aplicación.

El ruido aportado, contiene principalmente 3 componentes: Térmico (Johnson), ruido de disparo (Shot) y ruido de flicker. Generalmente, la figura de ruido de banda única está alrededor de los 0,5 dB por encima de la pérdida por conversión.

## 2.5. Tipos de mezcladores

Según las exigencias del diseño, no en todos los casos se debe permitir que una o varias componentes de frecuencia aplicada en un puerto se filtren en otro, esto se define como la aislación entre puertos. Una forma de eliminar o atenuar estas componentes de frecuencia, es empleando un número par de dispositivos dispuestos en forma simétrica. Los tipos de mezcladores se pueden clasificar según su balanceo o equilibrio, es decir según la simetría de la configuración y paridad entre sus dispositivos. Las configuraciones más comunes son:

- Mezcladores de terminación única.
- Mezcladores de balanceo simple
- Mezcladores de balanceo doble.

### 3. Experiencia práctica

Diseñar, calcular y simular diferentes mezcladores para ser utilizados en un receptor superheterodino de FM con las siguientes características:

- $f_{IF} = 10,7 \text{ [Mhz]}$ .
- $f_{RF} = 88 - 108 \text{ [Mhz]}$ ;  $P_{RF} = -10 \text{ [dBm]}$ .
- $P_{LO} = 8 \text{ [dBm]}$ .

#### 3.1. Mezclador de terminación única

Son aquellos mezcladores que emplean un único dispositivo alineal, ya sea un diodo o un transistor. Al poseer un solo dispositivo (impar), no hay simetrías que permitan eliminar frecuencias no deseadas en algunos de los terminales. En el caso de emplear un transistor, se logran niveles de aislación interesantes más por la unilaterialidad que por simetría. Generalmente se emplean FETs, debido a su característica de transferencia más cuadrática que los BJT (generan menor cantidad de productos de intermodulación), permitiendo ganancias de conversión mayor que uno ( $G_C = P_{IF}/P_{RF}$ ), y cierta aislación de  $OL$  dada por la unilaterialidad del dispositivo. En aplicaciones no muy comprometidas, su uso se justifica en los costos.

##### 3.1.1. Circuito

La simulación se implementa en el software AWR. A continuación se muestra el esquemático

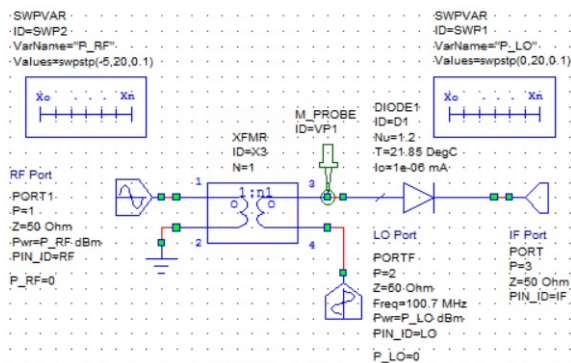


Figura 6: Mezclador de terminación única con diodo.

El circuito anterior produce el espectro de fourier de salida que se muestra en la figura 7.

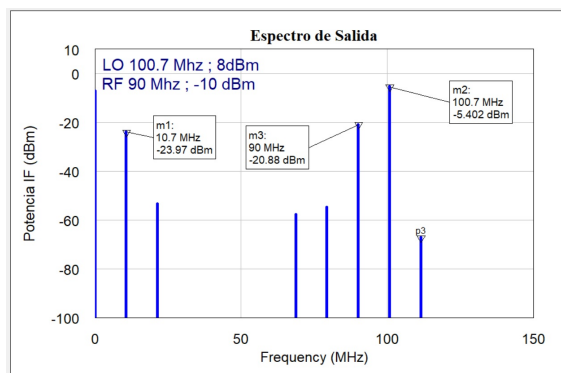


Figura 7: Espectro de Fourier de IF.

##### 3.1.2. Perdida por conversión

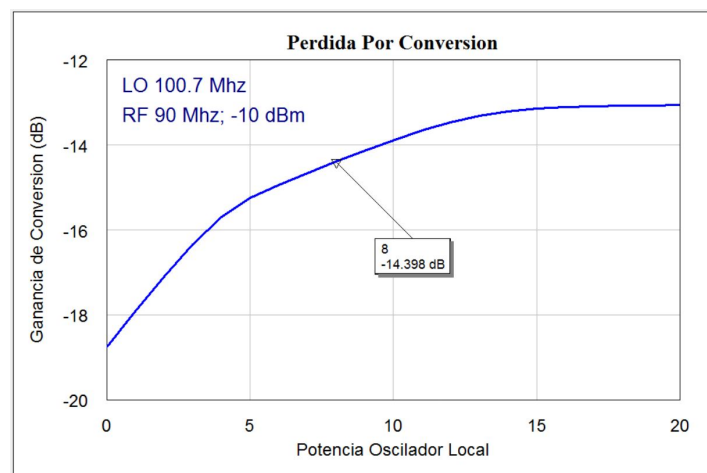


Figura 8: Perdida por conversión de mezclador terminación única.

$$C.L.T.U. = 14,398 \text{ [dB]}$$

##### 3.1.3. Figura de ruido

La figura de ruido se considera aproximadamente igual a la pérdida por conversión, excepto en los casos que se tengan diodos muy ruidosos.

$$N.F. \approx 14,398 \text{ [dB]}$$

##### 3.1.4. Aislación entre puertos

- $ISO_{RF-IF} = 10,88 \text{ [dB]}$ .
- $ISO_{LO-IF} = 13,40 \text{ [dB]}$ .
- $ISO_{LO-RF} = 13,40 \text{ [dB]}$ .

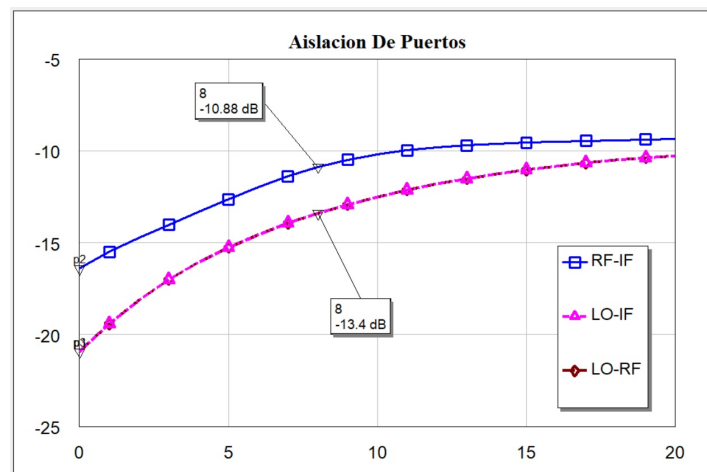


Figura 9: Aislación entre puertos, terminación única.

### 3.1.5. Pérdida por compresión

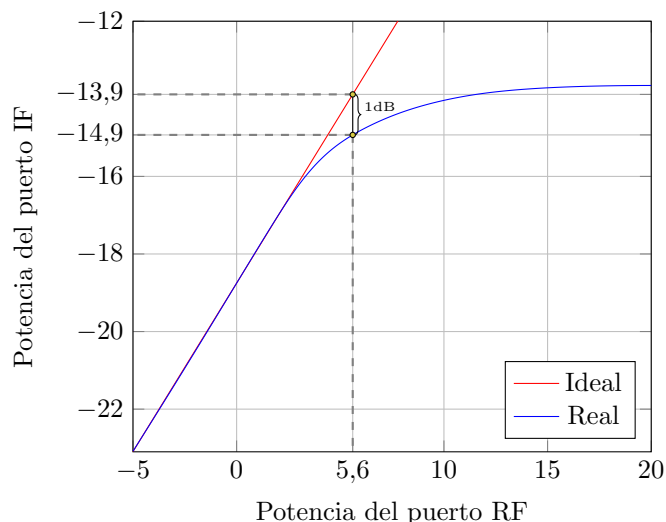


Figura 10: Pérdida por compresión terminación única

$$\text{Pérdida por compresión} = 5,6 \text{ [dB]}$$

## 3.2. Mezcladores de balanceo simple

Este tipo de mezclador posee un par de dispositivos alineales, normalmente diodos o FETs, dispuestos en forma equilibrada de tal manera que el terminal de entrada quede aislado de los otros dos terminales.

### 3.2.1. Circuito

La simulación se implementa en el software AWR. A continuación se muestra el esquemático

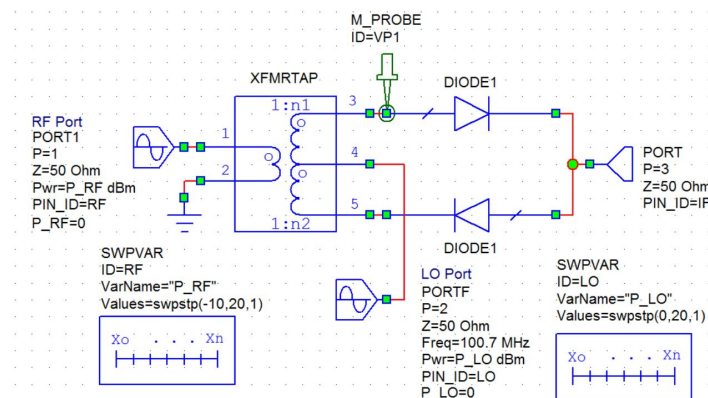


Figura 11: Mezclador de balanceo simple.

El circuito anterior produce el espectro de Fourier de salida que se muestra en la figura 12.

### 3.2.2. Pérdida por conversión

$$C.L.B.S. = 8,653 \text{ [dB]}$$

### 3.2.3. Figura de ruido

La figura de ruido se considera aproximadamente igual a la pérdida por conversión, excepto en los casos que se tengan

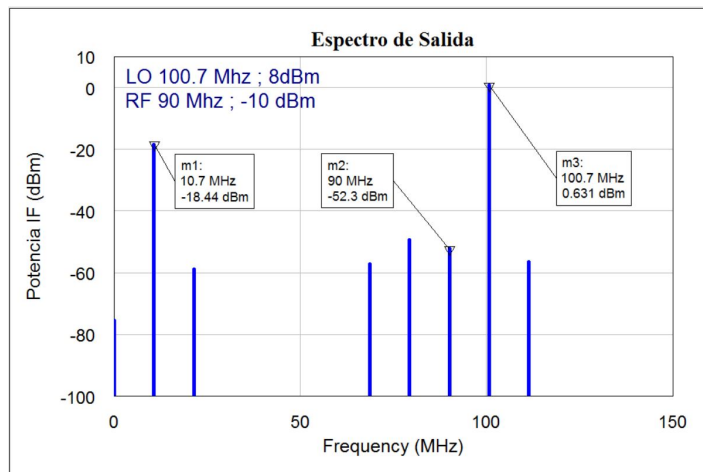


Figura 12: Espectro de Fourier de IF.

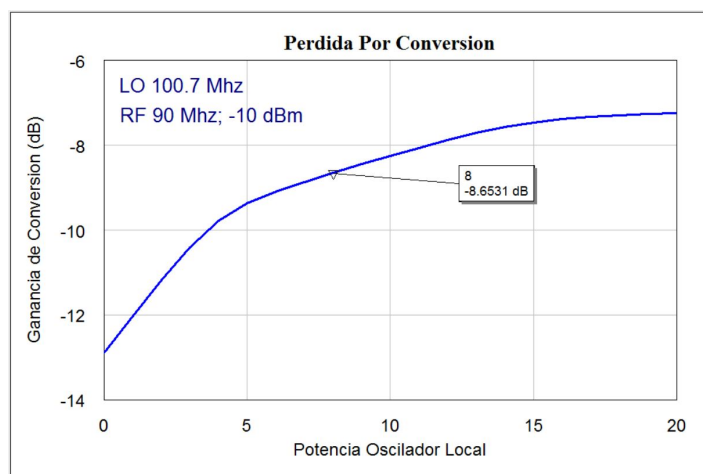


Figura 13: Pérdida por conversión de mezclador de balanceo simple.

diodos muy ruidosos.

$$N.F. \approx 8,653 \text{ [dB]}$$

### 3.2.4. Aislación entre puertos

- $ISO_{RF-IF} = 42,3 \text{ [dB]}$ .
- $ISO_{LO-IF} = 7,396 \text{ [dB]}$ .
- $ISO_{LO-RF} = 90,39 \text{ [dB]}$ .

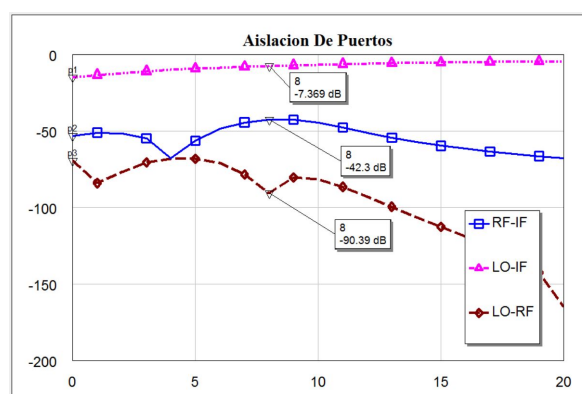


Figura 14: Aislación entre puertos, balanceo simple.



### 3.2.5. Pérdida por compresión

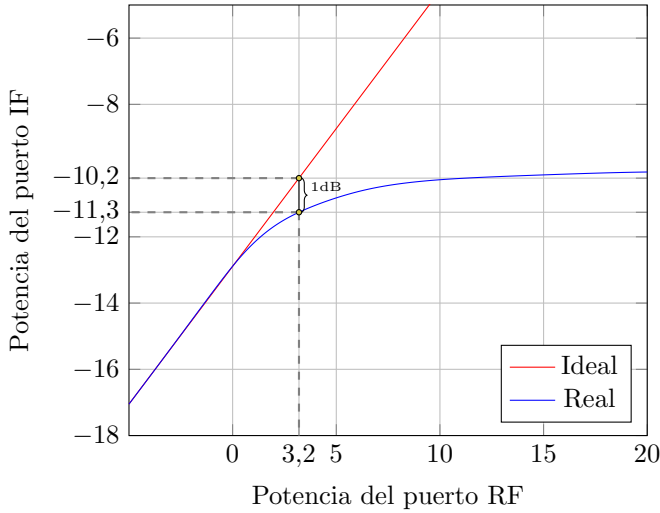


Figura 15: Pérdida por compresión de mezclador de balanceo simple

$$\text{Pérdida por compresión} = 3,2 \text{ [dB]}$$

### 3.3. Mezcladores de balanceo doble

Todos los terminales están aislados entre sí, por lo que las frecuencias de las señales de entrada no aparecen a la salida. Los dos transformadores proveen aislación a todos los puertos, de esta forma se evita que las componentes de LO aparezcan en otros puertos o mejor dicho se vea reducida. Es necesario que la implementación de este puente sea equilibrado para así obtener un perfecto bloqueo de la señal.

#### 3.3.1. Circuito

La simulación se implementa en el software AWR. A continuación se muestra el esquemático

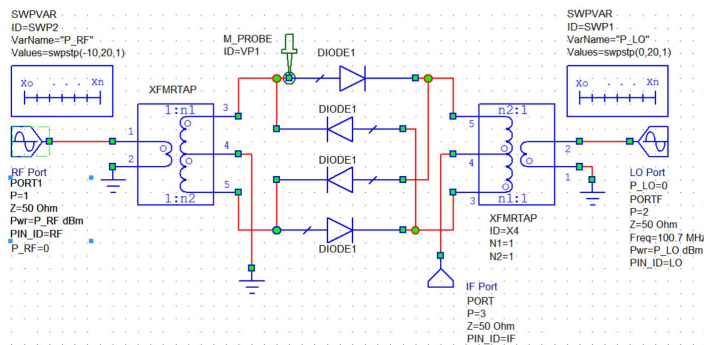


Figura 16: Mezclador de balanceo doble.

El circuito anterior produce el espectro de Fourier de salida que se muestra en la figura 17.

#### 3.3.2. Pérdida por conversión

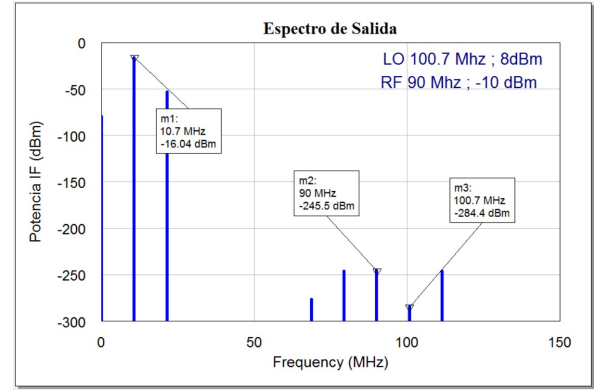


Figura 17: Espectro de Fourier de IF.

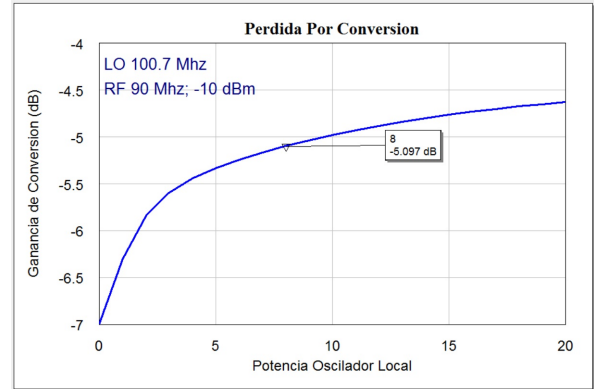


Figura 18: Pérdida por conversión de mezclador de balanceo doble.

#### 3.3.3. Figura de ruido

La figura de ruido se considera aproximadamente igual a la pérdida por conversión, excepto en los casos que se tengan diodos muy ruidosos.

$$N.F. \approx 5,097 \text{ [dB]}$$

#### 3.3.4. Aislación entre puertos

- $ISO_{RF-IF} = 235,5 \text{ [dB]}$ .
- $ISO_{LO-IF} = 292,4 \text{ [dB]}$ .
- $ISO_{LO-RF} = 92,02 \text{ [dB]}$ .

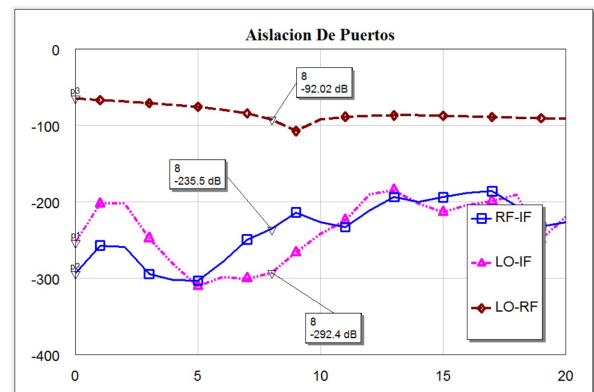


Figura 19: Aislación entre puertos, balanceo doble.

$$C.L.B.D. = 5,0976 \text{ [dB]}$$

### 3.3.5. Pérdida por compresión

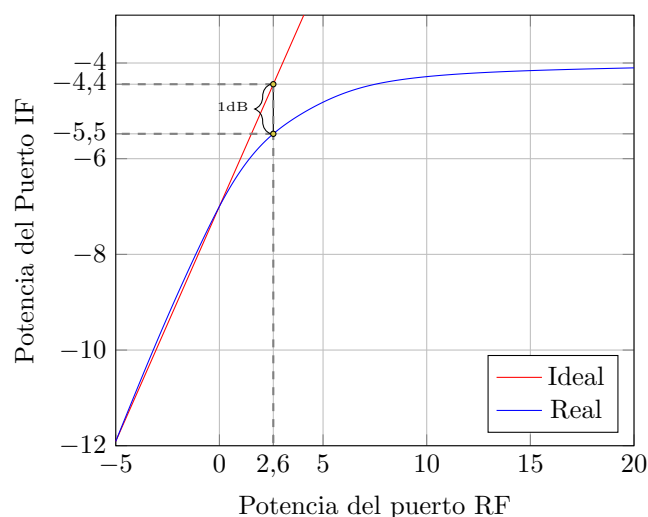


Figura 20: Pérdida por compresión de mezclador de balanceo doble.

Pérdida por compresión = 2,6 [dB]

## 4. Conclusión

Como modo de finalizar se agrupan los valores obtenidos en las siguientes tablas

Mixer	C.L.	C.P.	N.F.
Terminacion Unica	14,398	5,6	14,398
Balanceo Simple	8,653	3,2	8,653
Balanceo Doble	5,097	2,6	5,097

Valores en dB.

Cuadro 1: Pérdida por conversión, compresión y figura de ruido.

Mixer	$ISO_{(RF-IF)}$	$ISO_{(LO-IF)}$	$ISO_{(LO-RF)}$
Terminacion Unica	10,88	13,40	13,40
Balanceo Simple	42,3	7,396	90,39
Balanceo Doble	235,5	292,4	92,02

Valores en dB.

Cuadro 2: Aislaciones entre puertos

Los mezcladores a diodos tienen como principal característica que presentan pérdidas de conversión (3[dB] a 15[dB]), es decir que no proporcionan ganancia. A consecuencia de estas pérdidas el ruido del sistema aumentará, necesitando un bloque de amplificación, lo que aumenta la distorsión incrementándose el coste del sistema debido a que se hace necesario una etapa de preamplificación de bajo ruido.

A favor de este tipo de mezcladores se puede resaltar que presenta un ancho de banda grande y bajo coste. Además no necesitan ninguna polarización de bias para operar y tienen una capacidad de conmutación rápida.

Observando los resultados obtenidos se estableció una comparación entre los 3 tipos de configuraciones analizadas, considerando que se independizó del dispositivo alineal empleado, ya que se empleó un diodo genérico para los 3 casos, y que

existen programas de simulación que imitan en mayor medida el comportamiento y las condiciones reales en RF (NI AWR).

Una configuración de terminación única se lo emplea en aplicaciones donde se busca reducir costes o donde existen frecuencias muy elevadas, destacando su simplicidad y añadiendo solamente filtros selectivos.

Si bien todas las características de la configuración de balance doble son buenas, hay que poner en el otro extremo de la balanza la complejidad, costo y volumen que significa en comparación con las otras topologías analizadas.

### 4.1. Pérdida por conversión

Analizando las pérdidas por conversión se visualiza que el mezclador de terminación única posee una elevada pérdida, casi el doble o el tripe en comparación con las otras topologías analizadas, seguido por el mezclador de balanceo simple y siendo el mezclador de balanceo doble el que muestra el mejor rendimiento, convirtiendo en mayor medida la potencia de entrada RF en potencia de salida FI.

### 4.2. Pérdida por compresión y rango dinámico

Desde la perspectiva del rango dinámico, el mezclador de terminación única se ve limitado por una alta figura de ruido y una pérdida por compresión óptima para la simplicidad del circuito. Mejorando paulativamente en las otras configuraciones, sobre todo por la disminución de las figuras de ruido, pero desde el punto de vista de la compresión se observa que se pierde la linealidad a menores valores de potencia del puerto RF en forma descendente desde la terminación única, balanceo simple y finalmente el balanceo doble.

### 4.3. Aislamiento entre puertos

Analizando desde el punto de vista de la aislación entre puertos, el esquema de doble balance posee un mejor desempeño, ya que existe una aislación total (galvánica) en ambos sentidos, entre los 3 puertos, producto del empleo de transformadores de punto medio donde los amperes por vuelta de cada secundario son iguales y están en contrafase, anulando cualquier componente de cada puerto en los demás, lo que se visualiza en los espectros de la simulación. Esto hace notar la relevancia de la paridad entre los dispositivos alineales. Luego, en el circuito de balance simple se observa una aislación total, en este caso, solamente en el puerto RF, mientras que la aislación entre el puerto IF y FR se podría compensar mediante el uso de filtros. Por último, en la configuración de terminación única se puede remarcar que existe algún tipo de aislación desde el puerto FI hacia los demás puertos, debido a la unilateralidad del diodo.

### 4.4. Frecuencia imagen

Como agregado, cabe recalcar el concepto de frecuencia de la imagen. Esta es una frecuencia de entrada no deseada que es demodulada por receptores superheterodinos junto con la señal de entrada deseada. Esto hace que se reciban dos estaciones al mismo tiempo, lo que produce interferencias, por lo que es esencial incluir un filtro lo suficientemente selectivo, en cualquiera de las topologías, con el fin de eliminar esta frecuencia no deseada, ya que ninguna de las etapas posteriores es capaz de eliminar esta interferencia.