

# Mezcladores

Alcazar Diego\*, Marcos Gonzalo† y Nievas Rafael‡

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Ingeniería Electrónica  
Maestro López esq. Av. Cruz Roja Argentina, X5016ZAA, Córdoba, Rep. Argentina.

\*Email: diegoja.alcazar@gmail.com

†Email: gonzalojeremiasmarcos@gmail.com

‡Email: rafasrn@gmail.com

**Abstract—Diseño y simulación de tres tipos de mezcladores, de terminación única, de balance simple y de doble balance, para ser utilizados en un receptor superheterodino de FM, con  $f_{IF} = 10,7\text{MHz}$ ,  $f_{RF} = 88 - 108\text{MHz}$ ,  $P_{RF} = -10\text{dBm}$  y  $P_{LO} = 8\text{dBm}$  condiciones pedidas en el trabajo práctico 3 de la cátedra Electrónica Aplicada 3.**

## I. INTRODUCCIÓN

Un *mezclador* es un dispositivo electrónico que realiza el desplazamiento en frecuencia de la potencia de una señal.

En el proceso de recepción y transmisión de información en Radio Frecuencias son de fundamental utilidad los *mezcladores*.

Cualquier dispositivo a lineal puede ser un mezclador, diodos, transistores bipolares, FETs, etc. La no linealidad es necesaria para producir nuevas frecuencias. La elección del o 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, aislamiento entre los puertos, generación de frecuencias indeseables, costo y adaptación de sus puertos.

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.

Un multiplicador ideal es, desde el punto de vista matemático, un perfecto mezclador que produce la suma y diferencia de las frecuencias de entrada.

Como se mencionó anteriormente, en el proceso de recepción la señal de RF es *down converted*<sup>1</sup>. El receptor cuenta con un *oscilador local* (LO) cuya frecuencia es determinada por la señal de RF que se desea sintonizar. En la Fig. 1 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 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.

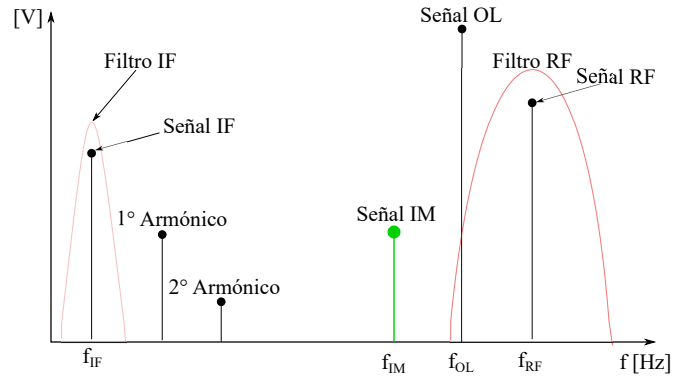


Fig. 1. Espectro en frecuencia del mezclador down

Para el caso de un *up converter*<sup>2</sup>, la señal LO es multiplicada por la señal IF 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.

## II. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

### A. 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.

<sup>1</sup>Se emplea este término para hacer referencia a la señal obtenida de un mezclador tipo *down*.

<sup>2</sup>Se emplea este término para hacer referencia a la señal obtenida de un mezclador tipo *up*.

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:

$$CL = 10 \log \frac{P_{saldia}[mW]}{P_{entrada}[mW]}$$

$$CL = P_{entrada}[dBm] - P_{saldia}[dBm] \quad (1)$$

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.

### B. 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  $30[dB]$ .

### C. 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  $P_{RF}$

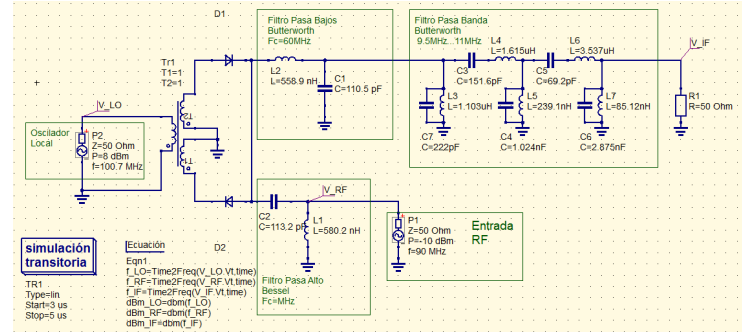
a partir del cual la gráfica real de  $P_{IF} = f(P_{RF})$  se aleja un decibel de la gráfica ideal.

### D. Figura de Ruido - Rango Dinámico

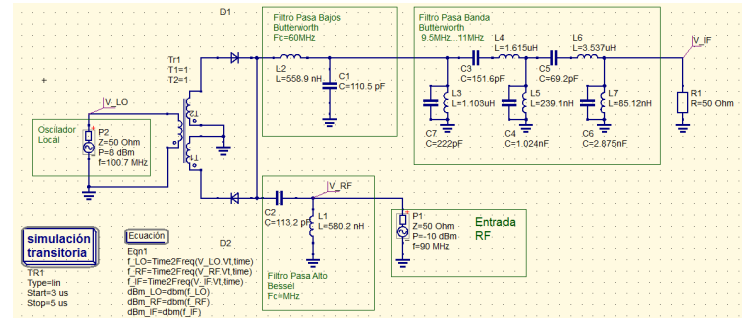
El rango dinámico se define como el grado de variación útil en que puede operar el mezclador. El valor superior del rango se encuentra determinado por el punto de compresión de  $1[dB]$  y el valor inferior es limitado por la figura de ruido.

La figura de ruido, salvo excepciones, es aproximadamente igual que la pérdida por conversión. Se trata que sea lo menor posible para obtener un mayor rango dinámico de aplicación.

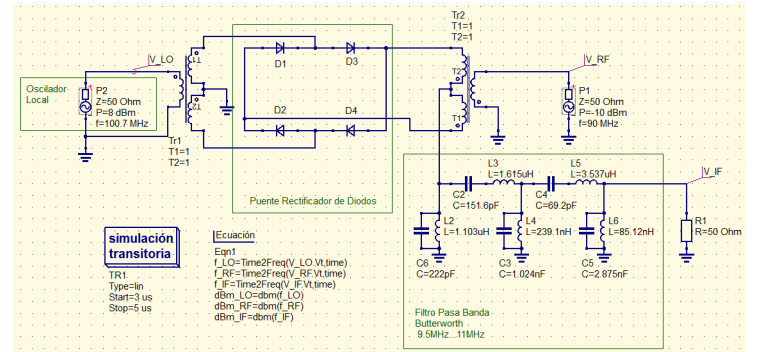
## III. SIMULACIÓN DE MEZCLADORES



(a) Terminación única



(b) Balance simple



(c) Balance doble

Fig. 2. Circuitos mezcladores

En esta sección se realiza la simulación de tres tipos de mezcladores por medio del software *Qucs*, determinado para cada caso el valor de los parámetros definidos en el apartado anterior.

Los tipos de mezcladores empleados son: de terminación única, balance simple y balance doble. Cada topología de mezclador, expuesta en la Fig. 2, es diseñada para trabajar en conjunto con un receptor superheterodino con las siguientes características:

$$f_{IF} = 10,7[MHz]$$

$$f_{RF} = 90[MHz]$$

$$P_{RF} = -10[dBm]$$

$$P_{LO} = 8[dBm]$$

Por lo tanto se emplea  $f_{LO} = 100,7[MHz]$ .

Es importante destacar que para todas las configuraciones se emplea un filtro Butterworth pasa banda con el objetivo de eliminar componentes no deseadas.

#### A. Mezclador de Terminación Única

##### 1) Ventajas:

- Es de construcción rápida
- Bajo costo y sencilla interpretación y modificación.

##### 2) Desventajas::

- Cifra de ruido relativamente alta
- Alta pérdida por conversión
- Debido a la característica de corte brusco del diodo, no posee linealidades de orden superior
- Ningún aislamiento entre el LO y las entradas de RF, incrementando así la posibilidad de que la señal del LO pueda inyectarse a la antena receptora
- Corriente de salida relativamente intensa en la frecuencia del LO que tiende a sobrecargar la etapa de la entrada de FI.

#### B. Mezclador de Balance Simple

##### 1) Ventajas:

- Los dispositivos alineales se encuentran configurados en "push pull", evitando que interfieran en el puerto de FI las componentes impares y sus armónicas;
- Los puertos se encuentran aislados eléctricamente, por lo tanto, las pérdidas por aislamiento son menores.

##### 2) Desventajas::

- Debe utilizar un número par de dispositivos alineales
- La señal de RF se encuentra atenuada pero existente en la etapa de salida
- La conmutación en un solo semi ciclo de la señal de LO incorpora productos de intermodulación no deseados.

#### C. Mezclador de Balance Doble

##### 1) Ventajas:

- Es muy estable frente a alteraciones en la línea
- Elimina la componente de RF que se encontraba en la etapa de salida del Mezclador de balanceo simple.

##### 2) Desventajas::

- Requieren transformadores de entrada y salida bien balanceados y un acoplamiento exacto de las características del dispositivo activo
- Es de elevado costo y de una complejidad mayor que los anteriores.

**Para poder realizar una comparación y a modo de resumen se clasifica en cuadros cada uno de los parámetros de interés, haciendo una distinción de la topología a la cual pertenecen.**

#### D. Pérdida por conversión:

Se determina por la Ec. 1 de la Subsección II-A. Los valores para cada topología se encuentran en la Tabla I. Se observa que la configuración de balance doble es la que menor pérdida representa.

	Mezcladores		
	Terminación única	Balance simple	Balance doble
$CL[dBm]$	14,9	9,2	7,9

TABLE I  
PÉRDIDA POR CONVERSIÓN

#### E. Aislación:

Según lo indicado en la Subsección II-B, en la Tabla II se agrupan los valores de aislamiento entre los tres puertos para cada topología. Se observa un incremento de la aislamiento entre determinados puertos a medida que el circuito se hace más complejo. Para la configuración de terminación única, como era de esperar debido a la simplicidad del circuito, las características de aislamiento entre algunos puertos están muy por debajo de las otras configuraciones, principalmente desde la salida de frecuencia intermedia hacia el oscilador local. Comparando las dos últimas configuraciones se destaca una mejora en la aislamiento entre los puertos  $IF - RF$ .

	Mezcladores		
	Terminación única	Balance simple	Balance doble
$LO - IF[dBm]$	92,7	99,3	101,7
$IF - LO[dBm]$	-1	53,8	54,7
$RF - IF[dBm]$	74	80,4	82,2
$IF - RF[dBm]$	8,8	9,2	64,8
$LO - RF[dBm]$	17,58	70,8	77,7
$RF - LO[dBm]$	10,2	44,9	49

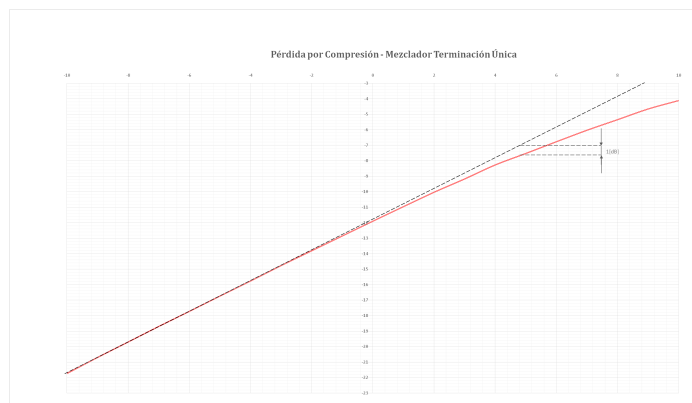
TABLE II  
AISLACIÓN

#### F. Pérdida por compresión:

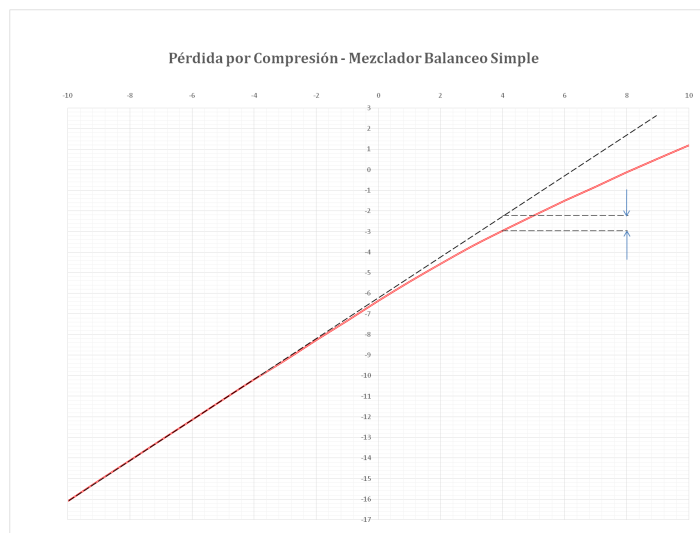
Para la obtención de esta magnitud se realiza un barrido del parámetro  $P_{RF}$  en el rango de  $-10[dBm]$  a  $10[dBm]$  y en función de lo indicado en la Subsección II-C se obtienen las gráficas de la Fig. 3. La Tabla III contiene las magnitudes correspondientes a este parámetro para los tres tipos de mezcladores.

A partir de los resultados obtenidos es importante destacar que la configuración de balance doble es la que permite un mayor rango dinámico, debido a que es posible una mayor variación del parámetro  $P_{RF}$ . Una característica similar se encuentra en la configuración de terminación única. Es importante indicar que a pesar de que la configuración de terminación única y de balance doble poseen una pérdida por

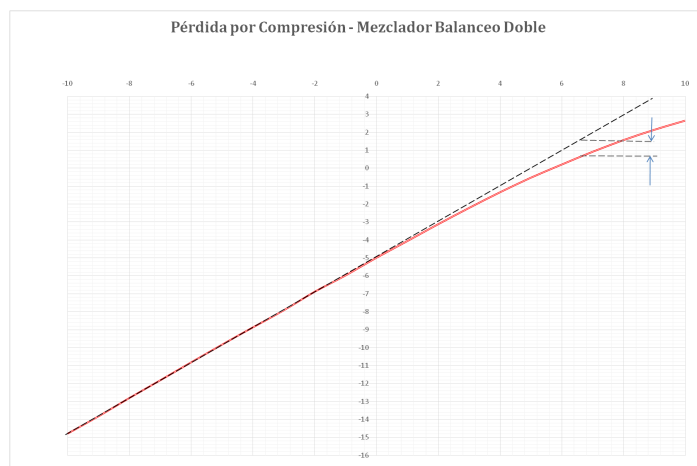
compresión similar, la última permite una mayor potencia de frecuencia intermedia antes de la saturación, esto se observa al comparar las Fig. 3c y 3a. Por último hay que remarcar que la opción del mezclador de terminación única permite un amplio rango dinámico, similar a la opción más compleja, a un costo mucho menor.



(a) Terminación única



(b) Balance simple



(c) Balance doble

Fig. 3. Pérdida por compresión

	Terminación única	Balance simple	Balance doble
$CP[dBm]$	7	6,3	7,2

TABLE III  
PÉRDIDA POR COMPRESIÓN

#### G. Figura de ruido:

Se obtiene a partir de la pérdida por conversión. Los valores se encuentran en la Tabla IV.

	Mezcladores		
	Terminación única	Balance simple	Balance doble
$FR[dBm]$	14,9	9,2	7,9

TABLE IV  
FIGURA DE RUIDO

## IV. CONCLUSIONES

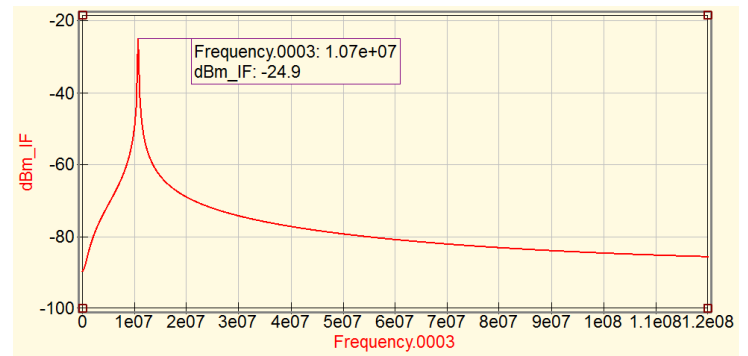
A modo de conclusión y en función de lo obtenido en el desarrollo se hace una valoración de las ventajas y desventajas de cada configuración. Partiendo de la más simple, con solo hacer uso de un diodo como mezclador se obtiene una pérdida por conversión elevada, aproximadamente de dos veces mayor magnitud que las otras configuraciones. Respecto de la aislación las características no son buenas para determinados puertos. Desde la perspectiva del rango dinámico, este se ve limitado por una alta figura de ruido y una pérdida por compresión óptima para la simplicidad del circuito.

La configuraciones de balance doble es la que presenta mejores características en todo el análisis, logrando un rango dinámico mayor, mejores características tanto de aislación como de pérdidas por compresión. Sin excluir la configuración de balance simple, solo se destaca que ubica una posición intermedia entre las dos ya nombradas, entregando en algunos aspectos prestaciones apenas inferiores a la configuración doble.

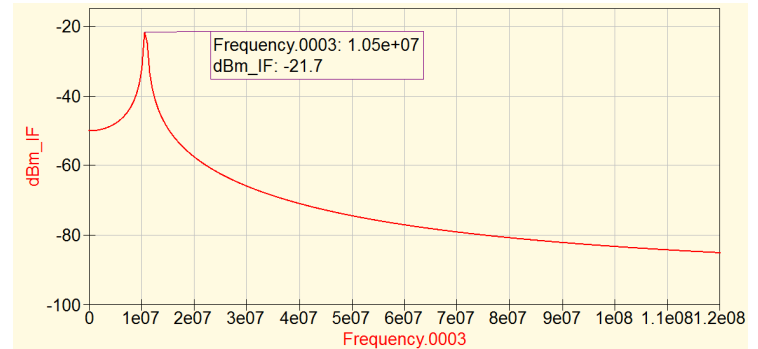
Si bien todas las características de la configuración de balance doble son buenas, hay que poner en el otro extremo de la balanza la complejidad, costo y volumen que significa en función de la optimización que requiera una implementación.

## APPENDIX

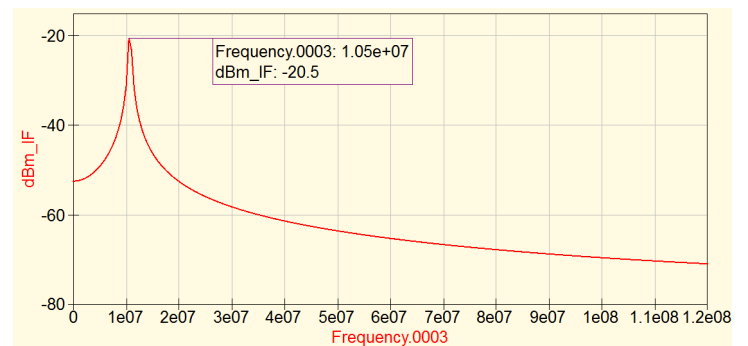
En las Fig. 4 se encuentran gráficas de potencia en  $dBm$  en función de la frecuencia, que representan la salida  $IF$  de cada configuración.



(a) Terminación única



(b) Balance simple



(c) Balance doble

Fig. 4. Salida  $IF$

## REFERENCES

- [1] RF Electronics Design and Simulation CJ Kikkert.