

## Trabajo Práctico N°3



**TEMA:** Mezcladores

**MATERIA:** ELECTRONICA APLICADA III

**INTEGRANTES:**

- |                    |               |
|--------------------|---------------|
| • FARFAN, Darío    | Legajo: 60649 |
| • GÓMEZ, Lucas     | Legajo: 58056 |
| • MONTAÑA, Joaquín | Legajo: 58340 |
| • MUSSO, Ezequiel  | Legajo: 60443 |

**PROFESOR:** Paz, Claudio José

**CURSO:** 5R1

**LUGAR:** UTN FRC

**FECHA:** 26/06/2015

## Contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Mezcladores .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2</b>	<b>Tipos de mezcladores .....</b>	<b>5</b>
3.2.1	Mezclador propiamente dicho .....	5
3.2.2	Detector de producto .....	6
3.2.3	Modulador para la generación de BLU .....	6
3.3.4	Upconverter y Downconverter .....	6
<b>3.3</b>	<b>Teoría de los mezcladores .....</b>	<b>7</b>
<b>3.4</b>	<b>Mezcladores balanceados, simétricos o equilibrados.....</b>	<b>8</b>
	Mezcladores de terminación única .....	8
	Mezclador de balanceo simple.....	10
	Mezclador de balanceo doble.....	11
<b>3.5</b>	<b>Pérdida de conversión .....</b>	<b>12</b>
<b>3.6</b>	<b>Aislaciones .....</b>	<b>13</b>
<b>3.7</b>	<b>Figura de ruido.....</b>	<b>15</b>
<b>3.8</b>	<b>Rango dinámico .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Ventajas y desventajas.....</b>	<b>16</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo se realizara el análisis, simulaciones, diseño y mediciones de los diferentes circuitos mezcladores

## 2 OBJETIVOS

Como objetivo de este trabajo práctico de laboratorio se busca el aprendizaje y ver a simple vistas las ventajas y desventajas de cada caso, por ello se llevaran a cabo 3 modelos de los cuales se sacaran conclusiones al final.

Se utilizará un receptor superheterodino de FM con las siguientes características:

$$F_{IF} = 10.7\text{MHz}$$

$$F_{RF} = 88 - 108\text{ MHz}; P_{RF} = -10\text{dBm}$$

$$P_{LO} = 8\text{dBm}$$

Los diferentes tipos de mezcladores son:

Simular los siguientes tipos de mezcladores:

- de terminación única (diodo o transistor),
- de balance único,
- de doble balance.

Realizar las siguientes mediciones para cada caso:

- Pérdida por conversión
- Pérdida por compresión
- Figura de Ruido
- Aislación

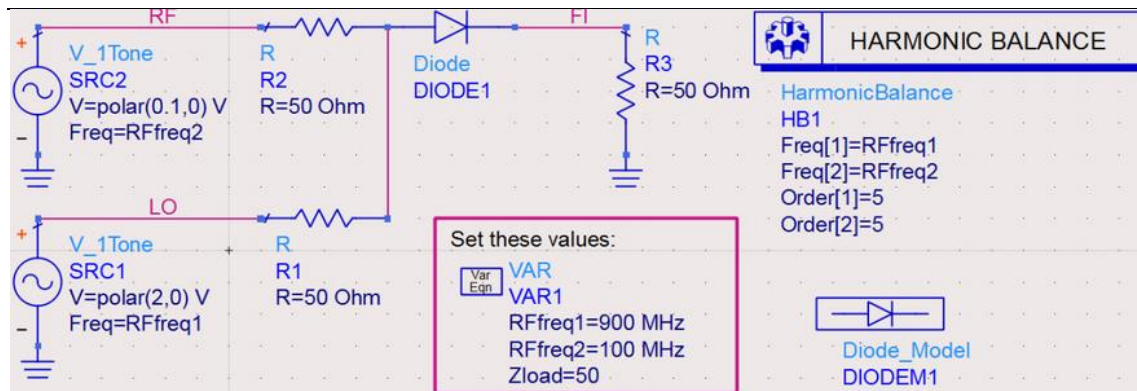
Enumerar ventajas y desventajas de cada caso.

## 3 Mezcladores

### 3.1 MARCO TEÓRICO

Un mezclador es un dispositivo electrónico que a partir de dos señales de entrada de frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  respectivamente, permite obtener a su salida otras de frecuencias  $mf_1 + nf_2$ , donde  $n$  y  $m$  son números enteros, siendo las frecuencias más deseables  $f_1 + f_2$  y  $f_1 - f_2$  si  $f_1 > f_2$  o viceversa. 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 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 la Figura anterior se muestra un circuito muy simple de un mezclador, si las dos fuentes de tensión se hubieran puesto en serie el efecto hubiera sido similar. En la Fig. 2 y Fig. 3 se muestran los resultados de la simulación en el dominio de la frecuencia y el tiempo respectivamente. Se han denominado las señales como normalmente se estila hacerlo en las hojas de datos relacionando los terminales con la funcionalidad de los mismos aplicado a un mezclador de un receptor heterodino, RF, LO y IF. Este no es el caso ya que se intenta generar una señal de AM con una portadora en 900 MHz modulada con un tono de 100 MHz.

Muchos de los tonos que aparecen en el espectrograma de la Fig. 2 tienen una potencia absolutamente despreciable,  $-100 \text{ dBm} = 0,1 \text{ pW}$ . Pero si las frecuencias deseadas son  $f_{LO} + f_{RF}$ ,  $f_{LO}$ , y  $f_{LO} - f_{RF}$ , hay muchas señales espurias que compiten en amplitud. Sin duda que este circuito, a primera vista, no es muy bueno como modulador de AM.

En la Fig. 2 las frecuencias combinadas del tipo  $m f_{LO} + n f_{RF}$  se llaman productos de intermodulación de orden

$k$ , donde  $k = |m| + |n|$ .

En rigor el orden está dado por el exponente de la potencia del término de la serie de Taylor que describe la función de transferencia del dispositivo alineal.

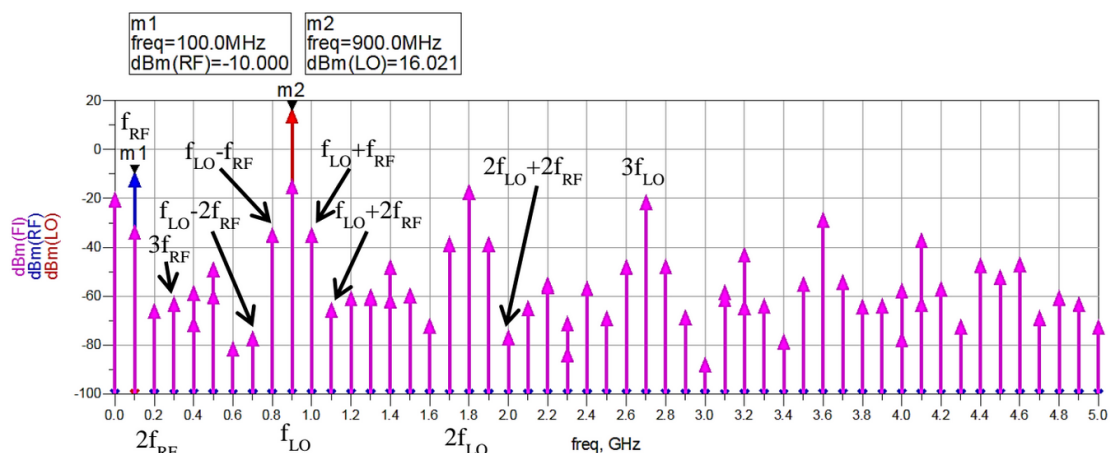


Fig. 2

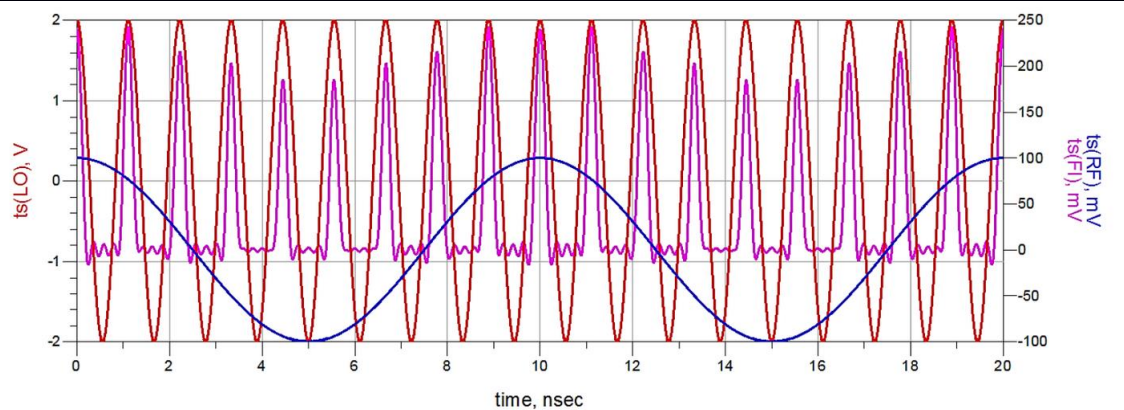


Fig. 3

En la Fig. 3, se muestran las formas de onda en el dominio del tiempo. Hay que tener en cuenta que la amplitud de la tensión del OL es 20 veces mayor que la de la señal de RF. En el oscilograma se aprecia a simple vista que la FI tiene una componente de CC, además de las dos frecuencias de entrada  $f_{LO}$  y  $f_{RF}$ . Si se imagina la señal de FI quitándole la componente de CC y la componente de baja frecuencia  $f_{RF}$  con un pequeño capacitor en serie, resulta en una señal de AM con bajo índice de modulación compuesta por  $f_{LO} + f_{RF}$ ,  $f_{LO}$ , y  $f_{LO} - f_{RF}$  y los productos de orden mayor que 2.

### 3.2 Tipos de mezcladores

#### 3.2.1 Mezclador propiamente dicho

Son aquellos que se usan en los receptores heterodinos para trasladar la señal de RF a la frecuencia central de la cadena de FI. No es poco común que pueda haber más de una cadena de FI, aunque generalmente no más de tres, lo que implica un mezclador y un oscilador local por cada cadena de FI.



En la Figura se muestra un mezclador y el espectro pertinente a la aplicación. El mezclador produce la suma y la diferencia, pero solo esta última se ubica en la frecuencia del filtro de la IF. Sin embargo una emisora con la frecuencia imagen también produciría una diferencia en IF. Para evitar esto, en los receptores se suele usar un filtro de RF que atenúa la frecuencia imagen si la hubiera.

Existen mezcladores que tienen implementado algún mecanismo para eliminar en la salida de FI la suma o la resta, en este caso podría ser útil eliminar la suma. Sin embargo acá sería una mala inversión ya que la suma está muy alejada del canal de IF como para causar algún inconveniente.

### 3.2.2 Detector de producto



*Mezclador como detector de producto en un Rx de BLU, en este caso BLS.*

En línea de guiones el FPB que elimina las mezclas indeseadas a la salida. El mezclador recibe este nombre cuando se aplica como mezclador de un receptor de BLU. Al oscilador correspondiente se lo denomina oscilador de frecuencia de batido (BFO en Inglés).

### 3.2.3 Modulador para la generación de BLU

En la Fig. 4 se observa un modulador para la generación de BLU (específicamente BLS) por el método del filtrado. Este es un caso típico donde es necesario un modulador balanceado para que a la salida se elimine la portadora, de esta forma disminuye la exigencia en la pendiente del flanco del filtro para la eliminación de la portadora y de la BLI

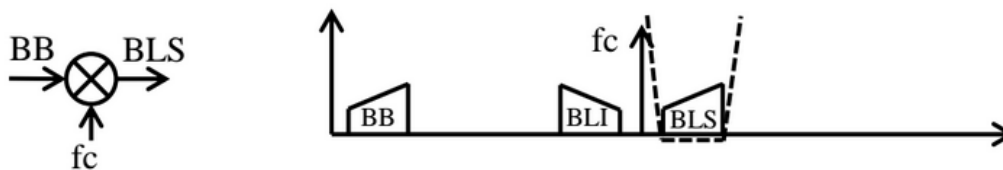


Fig. 4 Mezclador como modulador para generar BLU por el método del filtrado. En línea de guiones el muy especial filtro pasabanda para filtrar la banda lateral deseada, en este caso la BLS.

### 3.3.4 Upconverter y Downconverter

El primero se usa para trasladar una señal a frecuencias más elevadas y el segundo lo inverso. Estas denominaciones en general se aplican para equipos completos que además de un mezclador, incluyen LO con sintetizador, filtros y amplificadores, además de todo lo necesario para eliminar a la salida los productos de mezcla indeseables. Su uso más común es en aplicaciones para comunicaciones satelitales, para subir y para bajar la señal del satélite.



### 3.3 Teoría de los mezcladores

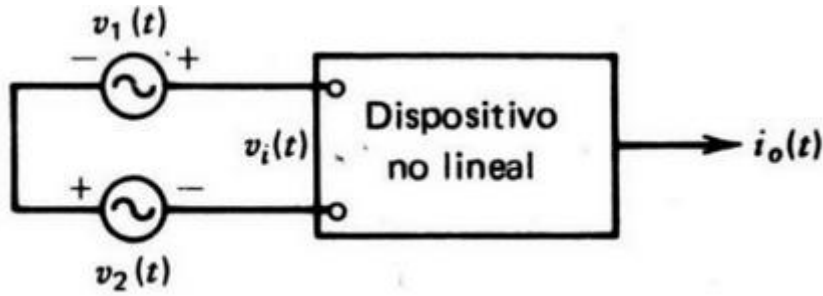


Fig. 5

La Fig. 5 muestra un sencillo mezclador formado por un dispositivo no lineal con dos tensiones sinusoidales aplicadas a su entrada  $v_1(t)$  y  $v_2(t)$  de frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ , respectivamente. Si el dispositivo fuera perfectamente lineal, la tensión o la corriente de salida contendrían sólo las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ . La naturaleza no lineal del dispositivo determina que se generen otras frecuencias.

En general, la relación entrada salida en el dominio del tiempo se puede expresar por una serie de Taylor

$$i_0(t) = I_0 + av_i(t) + b[v_i(t)]^2 + c[v_i(t)]^3 + \dots \quad (1)$$

donde  $I_0$  es la corriente de salida en reposo y  $V_i(t)$  representa la suma de los efectos de todas las señales de entrada. Si la entrada contiene sólo una frecuencia, la no linealidad generará armónicas de esta frecuencia y alterará la componente de CC.

Si se tiene varias frecuencias de entrada, se generarán frecuencias suma y diferencia, así como armónicas. Las frecuencias suma y diferencia generadas por el término cuadrático en ( 1 ) se llaman productos de intermodulación de segundo orden, las originadas por el término cúbico, productos de tercer orden.

Un dispositivo con función de transferencia cuadrática es ideal para ser usado como mezclador, ya que produce una cantidad mínima de frecuencias indeseables. Si el dispositivo tiene la característica de transferencia

$$i_0(t) = av_i(t) + b[v_i(t)]^2 \quad (2)$$

y la entrada es

$$v_i(t) = V_1 \cos(\omega_1 t) + V_2 \cos(\omega_2 t) \quad (3)$$

la corriente de salida resulta

$$i_0(t) = aV_1 \cos(\omega_1 t) + aV_2 \cos(\omega_2 t) + bV_1^2 \cos^2(\omega_1 t) + bV_2^2 \cos^2(\omega_2 t) + 2bV_1 V_2 \cos(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t) \quad (4)$$



Los dos primeros términos en ( 4 ) carecen de interés para la acción del mezclador, salvo que en un circuito práctico puede ser necesario filtrarlos. Aplicando una igualdad trigonométrica

$$bV_1^2 \cos^2(\omega_1 t) = \frac{b}{2} V_1^2 (1 + \cos(2\omega_1 t)) \quad (6)$$

lo que pone en evidencia que los términos tercero y cuarto representan una componente de CC y segundas armónicas de las frecuencias de entrada. El último termino de (4) es el que representa al producto y que produce la salida deseada, esto es

$$2bV_1V_2 \cos(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t) = bV_1V_2 \{ \cos[(\omega_1 - \omega_2)t] + \cos[(\omega_1 + \omega_2)t] \} \quad (7)$$

Obsérvese que las amplitudes de las componentes de frecuencias suma y diferencia, son proporcionales al producto  $V_1V_2$  de las amplitudes de las señales de entrada.

Por lo general, en los mezcladores de recepción, sólo se desea la componente de salida de la frecuencia diferencia, por lo se debe eliminar las frecuencias originales, las armónicos y su suma, mediante filtrado o por otros medios.

### **3.4 Mezcladores balanceados, simétricos o equilibrados**

No siempre se tolera que una componente de la misma frecuencia que la señal aplicada a un terminal aparezca en otro. Como se mostró en la Fig. 5, para generar BLU por el método del filtrado es altamente conveniente que la portadora esté bien atenuada a la salida, disminuyendo la exigencia del filtro y por ende su costo.

Construyendo el mezclador con un número par de dispositivos dispuestos en forma simétrica es posible eliminar, o atenuar algunas frecuencias o armónicos de la señal aplicada en un terminar en el otro

No es conveniente que la señal del LO aparezca en el terminal de IF ni en el terminal de RF, tampoco es conveniente que la señal de RF pase al terminal de IF, el grado de dificultad para que esto suceda se llama aislación entre terminales.

Por el balanceo o equilibrio los mezcladores se clasifican en mezcladores

- 1) de terminación única
- 2) de balanceo simple
- 3) de balanceo doble

#### **Mezcladores de terminación única**



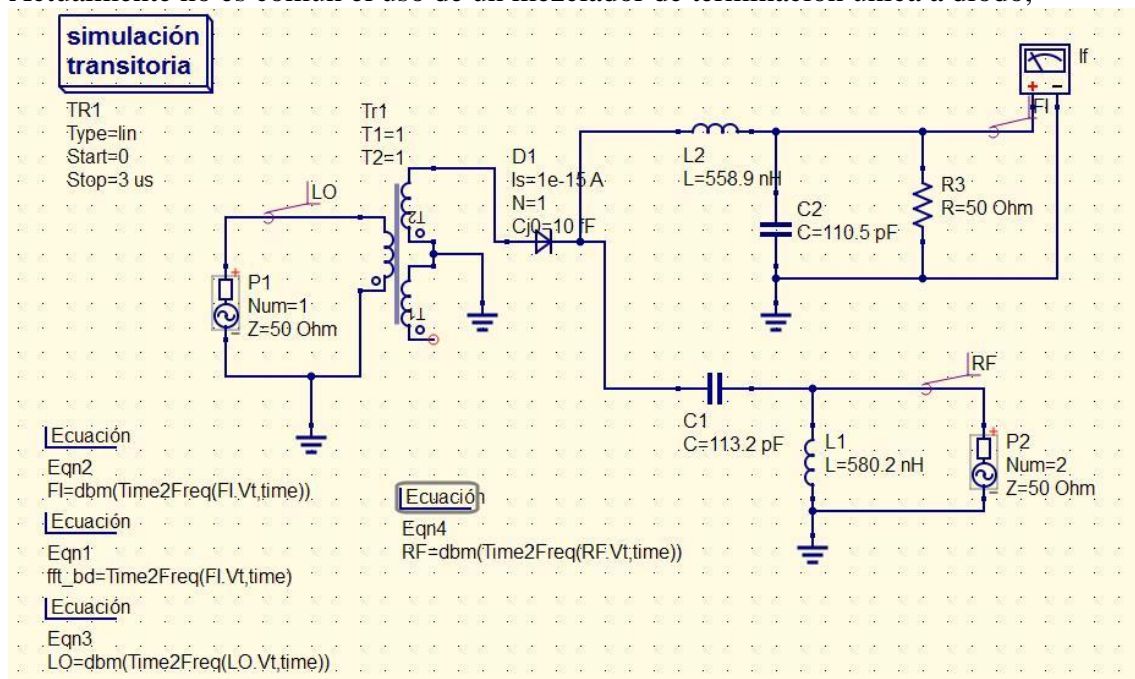
Son aquellos mezcladores que usan un único dispositivo alineal, que puede ser un diodo o un transistor. Al tener un solo dispositivo no hay simetrías que permitan eliminar frecuencias no deseadas en alguno de los terminales.

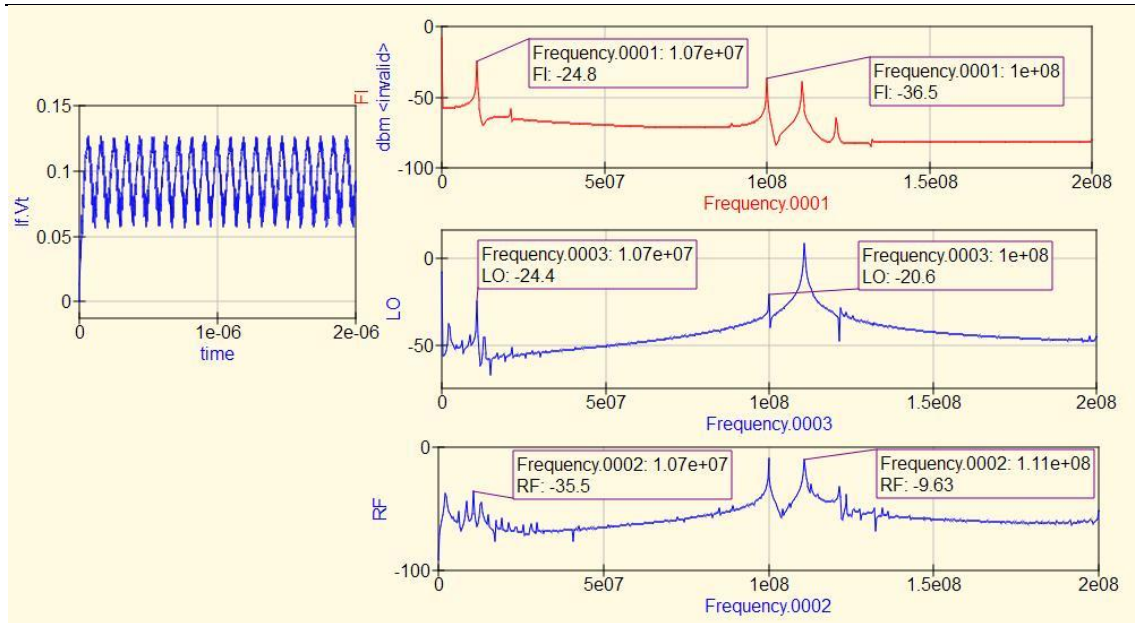
Sin embargo en aplicaciones no muy comprometidas con la supresión de señales indeseadas, la aplicación de esta configuración es totalmente aceptable. Además usando transistores se puede conseguir algunos niveles de aislación interesantes, por la unilateralidad de los dispositivos más que por simetría.

La característica fuertemente alineal del diodo que solo circule corriente por él cuando la tensión de la señal es mayor que la tensión umbral del mismo.

La característica no lineal del diodo es la que origina nuevas componentes de frecuencia en la corriente del mismo y por ende en la salida

Actualmente no es común el uso de un mezclador de terminación única a diodo,

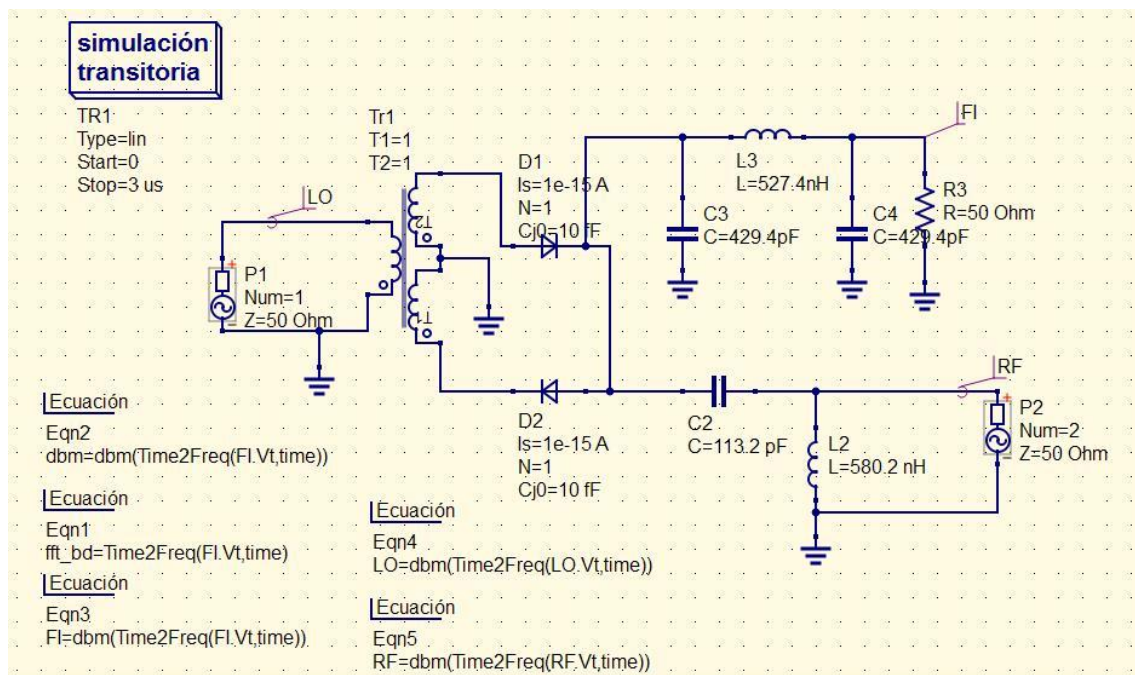


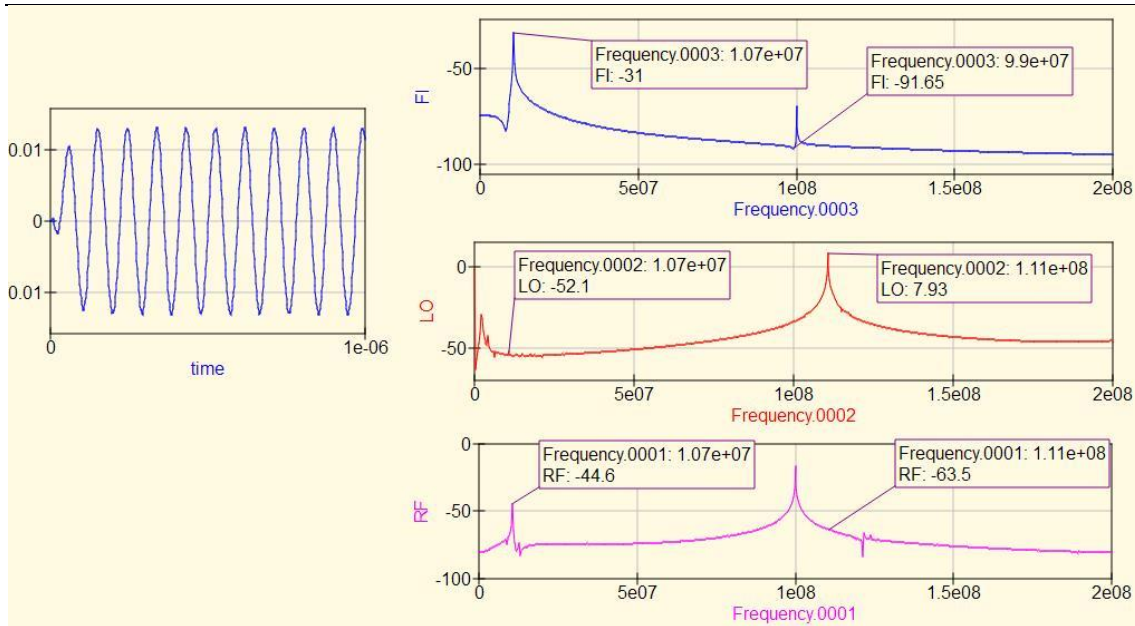


### Mezclador de balanceo simple

Usa un número par de dispositivos alineales, normalmente diodos o FETs, dispuestos en forma equilibrada, de tal manera que un a un terminal de entrada queda aislada de los otros terminales.

Que un terminal esté aislado implica que una señal aplicada al mismo, por si sola, no produce efecto en los otros terminales.



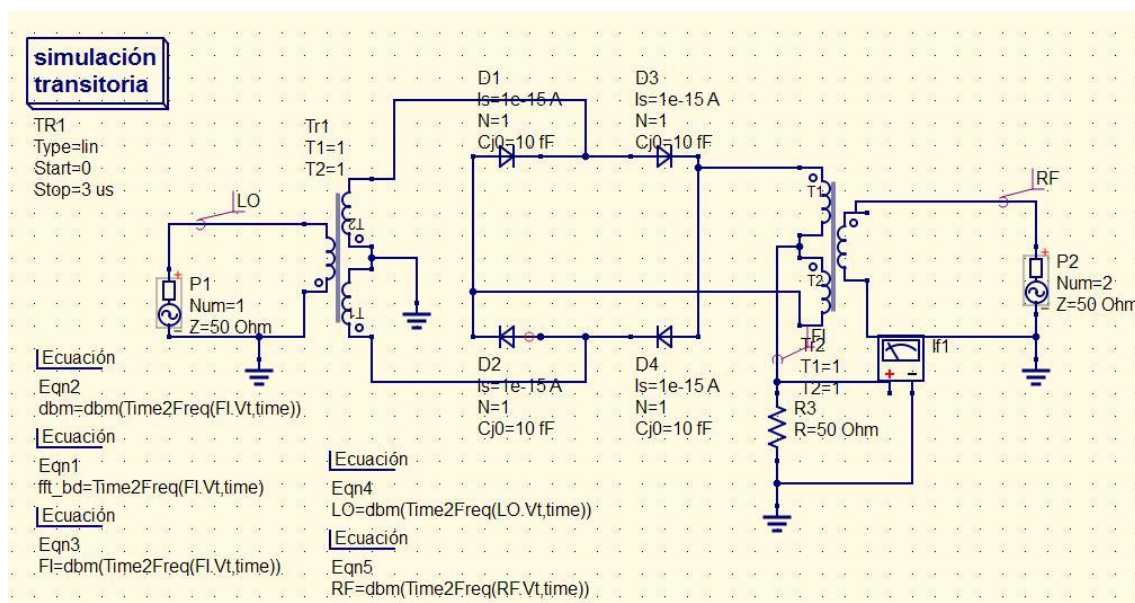


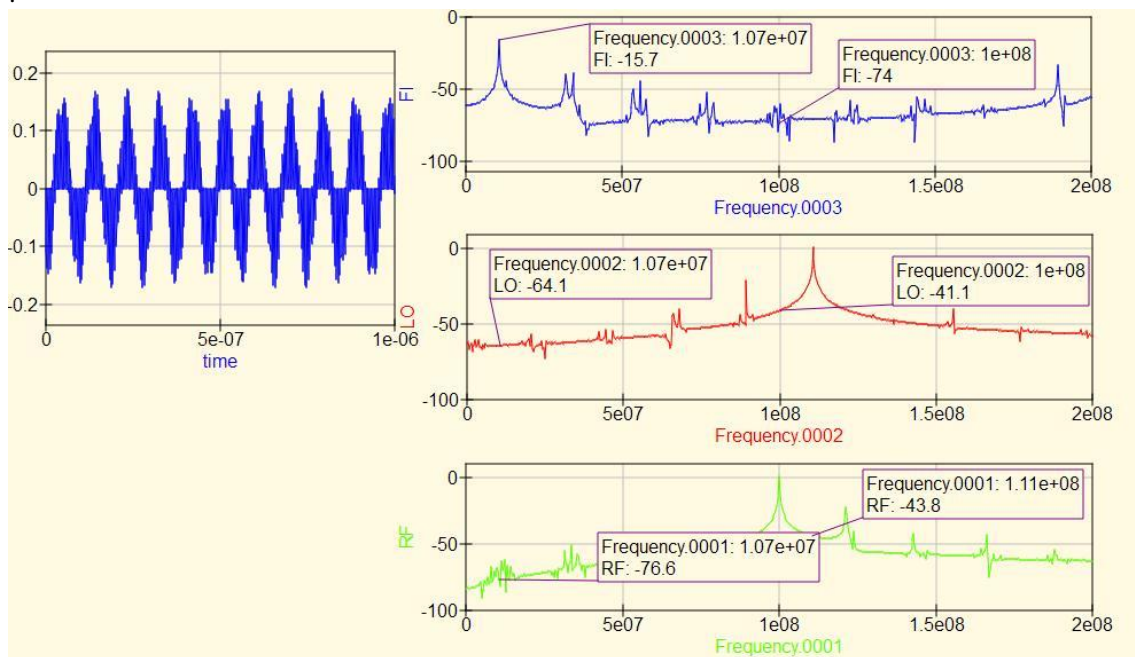
### Mezclador de balanceo doble

Todos los terminales están aislados entre si, por lo que las frecuencias de las señales de entrada no aparecen a la salida.

La señal F tiene una amplitud suficiente para hacer conducir plenamente los diodos polarizados directamente. Cuando F tiene la polaridad indicada en la figura siguiente, los diodos exteriores D2 y D3 conducen y ambos transformadores TF1 y TF2 quedan conectados en forma directa por la baja impedancia de los mencionados diodos.

La corriente que circula por los transformadores, debido a F no tiene efecto en los terminales de P1 y P2 porque los amperes vueltas de los semi devanados superiores se cancela con los amper vueltas de los devanados inferiores en cada transformador.





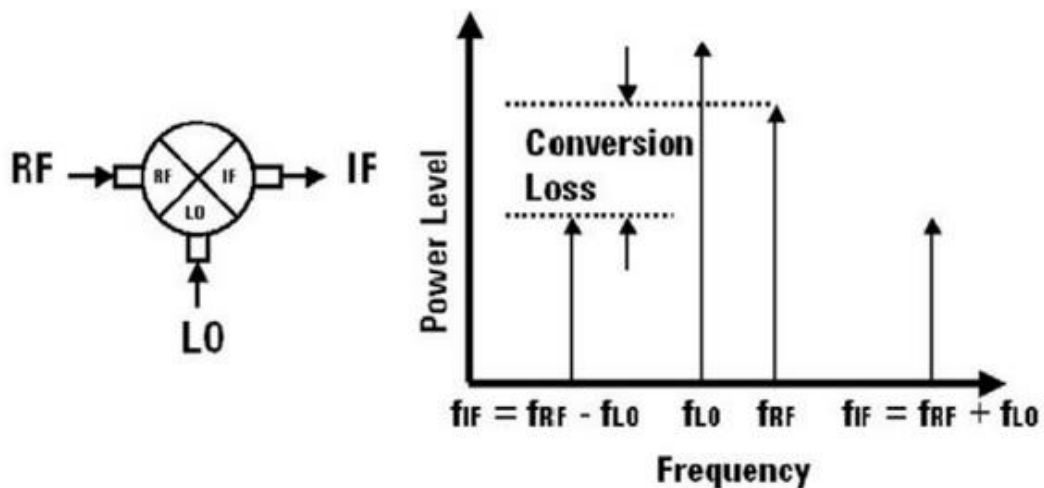
### 3.5 Pérdida de conversión

El parámetro más importante de un mezclador es la pérdida de conversión. La pérdida de conversión se define como la diferencia entre la potencia de RF de entrada y la potencia de IF de salida. Entonces

$$CL = P_{RF} - P_{IF} \quad (8)$$

Dado que normalmente solo se desea uno de los productos de mezcla, el otro producto se filtra, haciendo que la mitad de la potencia convertida se pierda. Por lo tanto un mezclador ya tiene de base una pérdida de conversión de 3 dB. Lógicamente existen pérdidas adicionales tales como los productos de mezcla de orden superior, pérdidas por disipación en la resistencia serie de los diodos, desequilibrios del mezclador, etc. Las pérdidas de conversión típicas en los dispositivos van de los 6 a los 9 dB.





*Definición gráfica de pérdida de conversión*

	Diodo Simple	Balance simple	Balance doble
Pérdida de conversión	21 dB	14,8 dB	5,7 dB

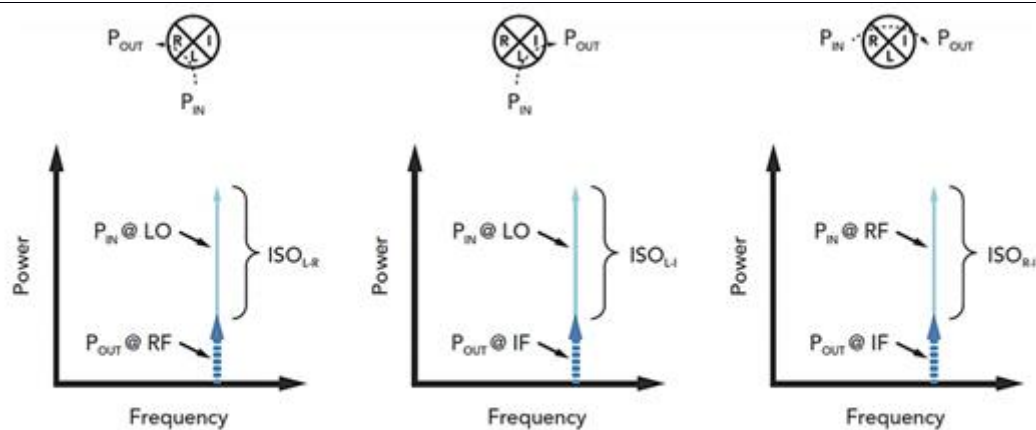
### 3.6 Aislaciones

La aislación es una medida de la cantidad de potencia que se fuga o filtra de un puerto a otro puerto del mezclador. La aislación se obtiene por balanceo del mezclador, tanto de los elementos lineales del circuito como el apareamiento de los diodos o transistores, o por el uso de dispositivos unilaterales. Desafortunadamente siempre existe alguna pequeña cantidad de potencia de pérdida entre los puertos de RF, LO y IF.

La aislación es la diferencia de potencia entre la entrada de señal en un puerto y la potencia de la misma frecuencia fugada a otro puerto. En otras palabras, si se aplica una señal de entrada en el puerto del LO y se mide la potencia disponible en el puerto de RF en la frecuencia del LO, la aislación está dada por

$$ISO_{(LO-RF)} = P_{in(@LO)} - P_{out(@RF)} \quad (9)$$

Las aislaciones tienen un comportamiento aproximadamente recíproco, la aislación entre el puerto 1 y el puerto 2 es similar a la aislación entre el puerto 2 y el puerto 1. Por lo tanto una sola medición basta para determinar la aislación en ambas direcciones.



Definiciones de las aislaciones de un mezclador, de izquierda a derecha LO-RF, LO-IF y RF-IF (ISO es un apocope de isolated, aislado en Inglés).

La aislación LO-RF es la pérdida de la señal del LO en el puerto de RF. Los valores de aislamiento LO-RF típicos varían entre 25 a 35 dB. El aislamiento LO-RF es crítico en las conversiones hacia abajo (downconversions) porque la potencia del LO puede filtrarse en los circuitos de RF. Si hay un aislamiento pobre entre el LO y el terminal de RF, la potencia del LO puede contaminar la línea de RF interfiriendo con el amplificador de RF, y si la entrada de RF estuviera directamente conectada a la antena el receptor podría radiar la señal del LO. También en las conversiones hacia arriba (upconversions) puede causar problemas cuando la frecuencia del LO está muy cerca de la frecuencia de salida de RF (esto puede suceder cuando la IF es muy baja) una vez que la señal del LO alcanza el puerto de RF es imposible filtrarla por la cercanía con la señal deseada de RF.

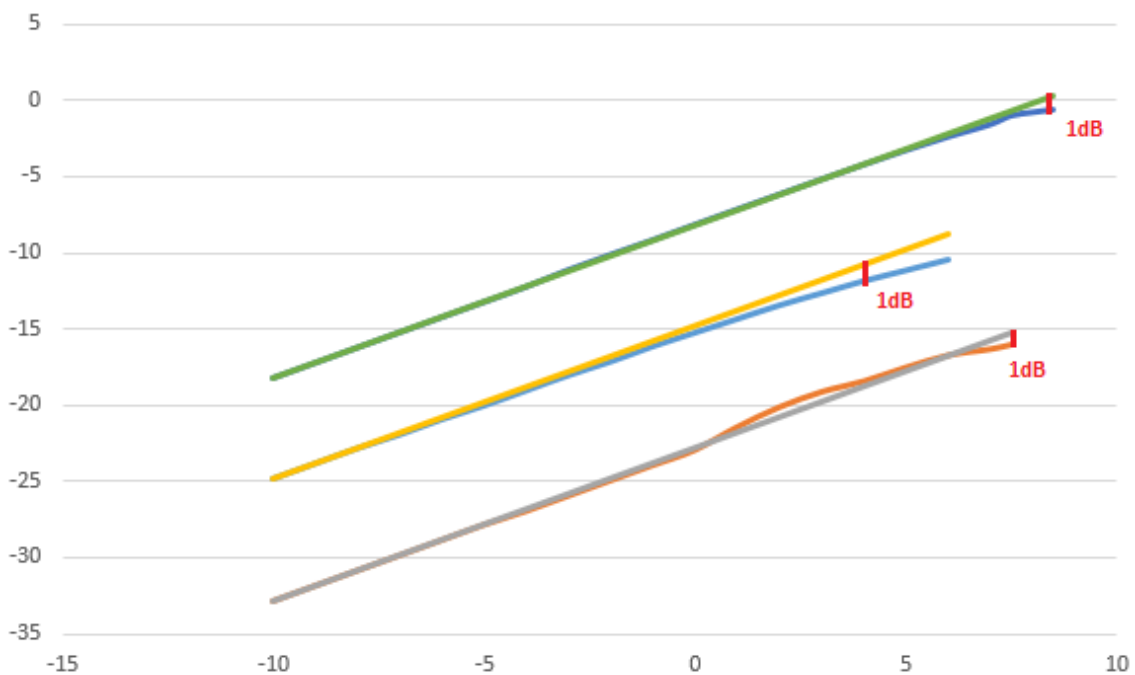
El aislamiento LO-IF es la fuga de la LO en el puerto de IF. El aislamiento LO-IF tiende a ser el peor de los tres tipos de aislamiento del mezclador con valores típicos que van desde 20 hasta 30 dB. Cuando hay un pobre aislamiento LO-IF, el problema más grande ocurre cuando las frecuencias del LO y IF están suficientemente cerca como para que el LO contamine el circuito IF, al ser grande la potencia del LO la pérdida puede llegar a saturar el amplificador de IF. Además una pobre aislación LO-IF puede causar una respuesta no plana en la pérdida de conversión.

Los valores típicos de aislamiento RF-IF varía entre 25-35 dB. Los diseñadores piensan que un pobre aislamiento RF-IF no es un problema importante ya que las potencias de las señales de RF y de FI generalmente son algunos órdenes de magnitud menor que la potencia del LO. Por lo tanto los problemas de aislamiento del LO son la principal preocupación de los diseñadores de circuitos. Sin embargo un buen aislamiento RF-IF es un indicador de un mezclador bien balanceado, con baja pérdida de conversión y respuesta en frecuencia plana.

	D U	B U	BD
RF	FI	FI	FI
-10	-24,8	-32,8	-18,2
-9	-23,8	-31,8	-17,2
-8	-22,8	-30,8	-16,2
-7	-21,9	-29,8	-15,2

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

-6	-20,9	-28,8	-14,2
-5	-20	-27,8	-13,2
-4	-19	-26,9	-12,2
-3	-18	-25,9	-11,1
-2	-17,1	-24,9	-10,1
-1	-16,1	-23,9	-9,13
0	-15,2	-22,9	-8,12
1	-14,3	-21,4	-7,12
2	-13,4	-20,1	-6,13
3	-12,6	-19,1	-5,14
4	-11,8	-18,4	-4,17
5	-11,1	-17,5	-3,23
6	-10,4	-16,7	-2,34
7		-16,3	-1,53
7,5		-16	-0,947
8			-0,732
8,5			-0,552



### 3.7 Figura de ruido

El rango dinámico se mide en dB y es el rango de potencia RF de entrada en que el mezclador es útil. El límite inferior del rango dinámico es el piso de ruido equivalente a la entrada, que depende del mezclador y del ancho de banda del sistema. El límite superior del rango dinámico se toma generalmente como el punto de compresión de 1 dB del mezclador. Dicho con otras palabras es el rango de la potencia de entrada de RF que va desde que la señal de IF asoma sobre el ruido hasta que la pérdida de conversión



aumenta 1 dB. Un mezclador excitado con mayor potencia de LO tiene un mayor rango dinámico, pero a expensas de un mayor consumo de potencia.

	Diodo Simple	Balance simple	Balance doble
Figura de Ruido	≈21 dB	≈14,8 dB	≈5,7 dB

### 3.8 Rango dinámico

El rango dinámico se mide en dB y es el rango de potencia RF de entrada en que el mezclador es útil. El límite inferior del rango dinámico es el piso de ruido equivalente a la entrada, que depende del mezclador y del ancho de banda del sistema. El límite superior del rango dinámico se toma generalmente como el punto de compresión de 1 dB del mezclador. Dicho con otras palabras es el rango de la potencia de entrada de RF que va desde que la señal de IF asoma sobre el ruido hasta que la pérdida de conversión aumenta 1 dB. Un mezclador excitado con mayor potencia de LO tiene un mayor rango dinámico, pero a expensas de un mayor consumo de potencia.

## 4 Ventajas y desventajas

- Terminación única:
  - Solo se utiliza un elemento no lineal como mezclador de señal y unos filtros para seleccionar la señal útil.
  - Se utilizan en diseños a muy altas frecuencias donde se requiere;
    - simplicidad en el circuito
    - aplicaciones en las que sea más importante el precio que las prestaciones técnicas.
- Balanceo simple:
  - La principal característica de estas estructuras es que suprimen los armónicos pares de OL-RF y mejoran el aislamiento OL-RF y OL-FI sin necesidad de filtros
- Balanceo doble:
  - Consigue eliminar los productos de mezcla correspondientes a todos los armónicos pares tanto de la señal de RF como del oscilador local.
  - Es difícil encontrar mezcladores doblemente balanceados a frecuencias superiores a algunas decenas de gigahercios