

# ELECTRÓNICA

## APLICADA III

### TRABAJO PRÁCTICO N° 3

### MEZCLADORES

Profesor Teórico: Ing. Oros, Ramón

JTP: Ing. Paz, Claudio

Año de cursado: 2015

Curso: 5R2

Integrantes:

Cáceres Mendoza, Elías

Cecconello, Mauro

Gagliardi, Gabriel

Michelán, Emiliano



GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel	Cecconelo, Mauro Michelán, Emiliano	5R2	2

### OBJETIVOS:

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 de cada caso.



GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel		5R2	3
Ceconelo, Mauro Michelán, Emiliano			

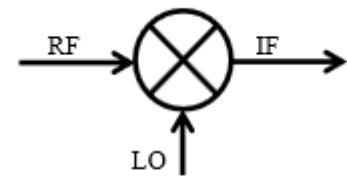
### INTRODUCCIÓN:

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  $f_1 - f_2$ . Cualquier dispositivo no lineal puede ser un mezclador, diodos, transistores bipolares, transistores FET, 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.

El producto temporal de dos señales sinusoidales es:

$$\cos(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t) = \frac{1}{2} \cos[(\omega_2 + \omega_1)t] + \frac{1}{2} \cos[(\omega_2 - \omega_1)t]$$

Da como resultado las frecuencias suma y diferencia de las frecuencias de las señales de entrada, algo que normalmente se espera que realice un mezclador, es por ello que a un mezclador se lo simboliza como un producto de señales.



Símbolo de un mezclador

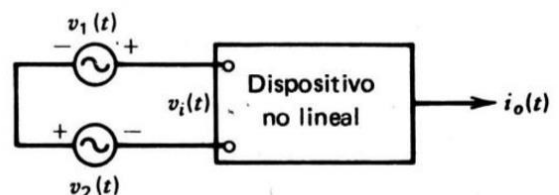
Un sencillo mezclador puede ser formado por un dispositivo no lineal con dos tensiones sinusoidales aplicadas a su entrada  $v_1(t)$  y  $v_2(t)$  de frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ , respectivamente. Si el dispositivo fuera perfectamente lineal, la tensión o la corriente de salida contendrían sólo las 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

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

donde  $I_o$  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.





GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel	Cecconelo, Mauro Michelán, Emiliano	5R2	4

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:

$$\begin{aligned} i_0(t) = & aV_1 \cos(\omega_1 t) + aV_2 \cos(\omega_2 t) + bV_1^2 \cos^2(\omega_1 t) \\ & + bV_2^2 \cos^2(\omega_2 t) + 2bV_1 V_2 \cos(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t) \end{aligned} \quad (4)$$

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:

$$bV_1^2 \cos^2(\omega_1 t) = \frac{b}{2} V_1^2 (1 + \cos(2\omega_1 t)) \quad (5)$$

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 término de (5) es el que representa al producto y que produce la salida deseada, esto es

$$2bV_1 V_2 \cos(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t) = bV_1 V_2 \{ \cos[(\omega_1 - \omega_2)t] + \cos[(\omega_1 + \omega_2)t] \} \quad (6)$$

Obsérvese que las amplitudes de las componentes de frecuencias suma y diferencia, son proporcionales al producto  $V_1 V_2$  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 armónicas y su suma, mediante filtrado o por otros medios.

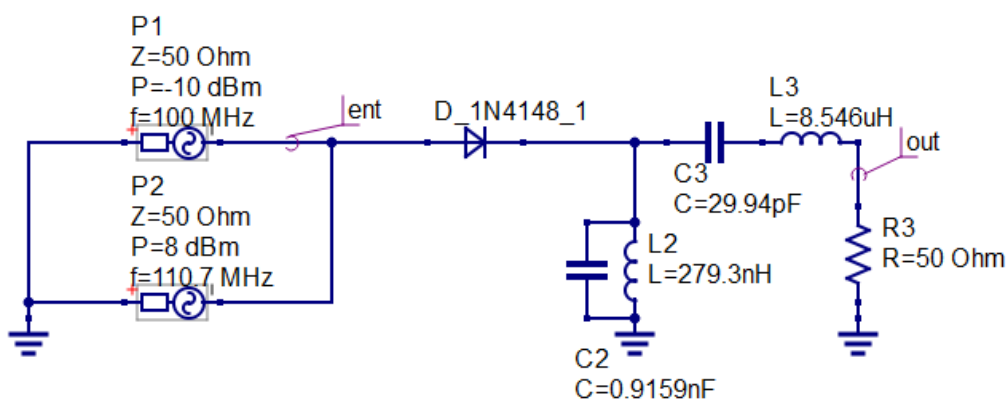


GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel	Ceconelo, Mauro Michelán, Emiliano	5R2	5

### Mezclador De Terminación Única:

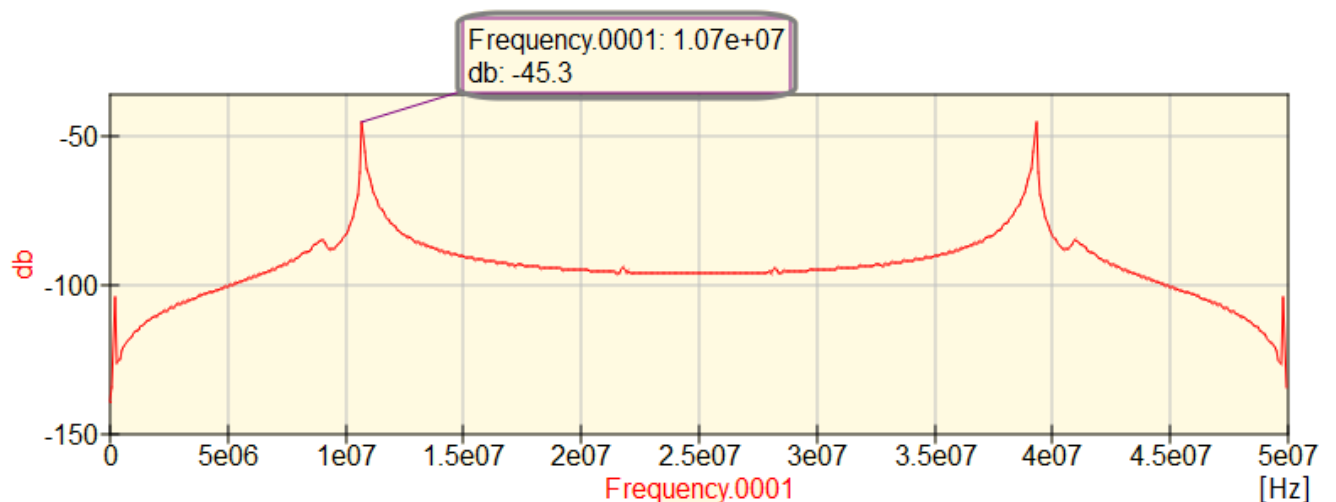
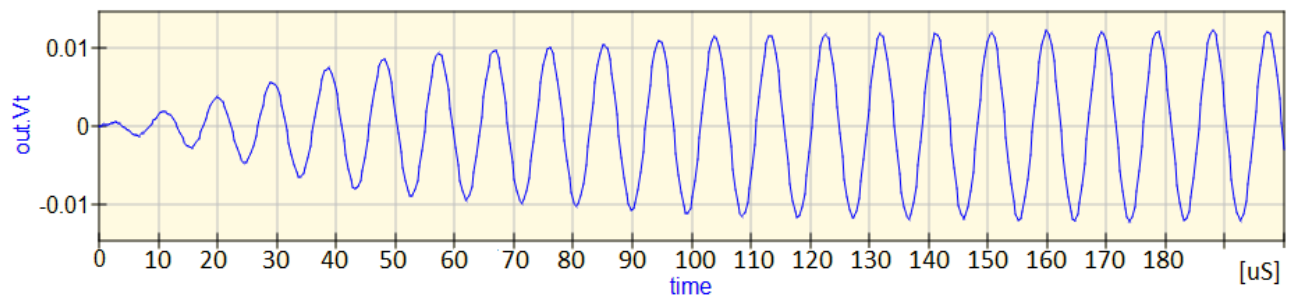
Son aquellos mezcladores que usan un único dispositivo no lineal, que puede ser un diodo o un transistor. Al tener un solo dispositivo no hay simetrías que permitan eliminar frecuencias no deseadas en alguno de los terminales. Sin embargo en aplicaciones no muy comprometidas con la supresión de señales 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.

Para realizar el trabajo práctico en este caso se eligió un circuito realizado con un diodo, como se muestra en la figura, al cual se le colocó un filtro pasa banda a la salida para filtrar las componentes no deseadas.



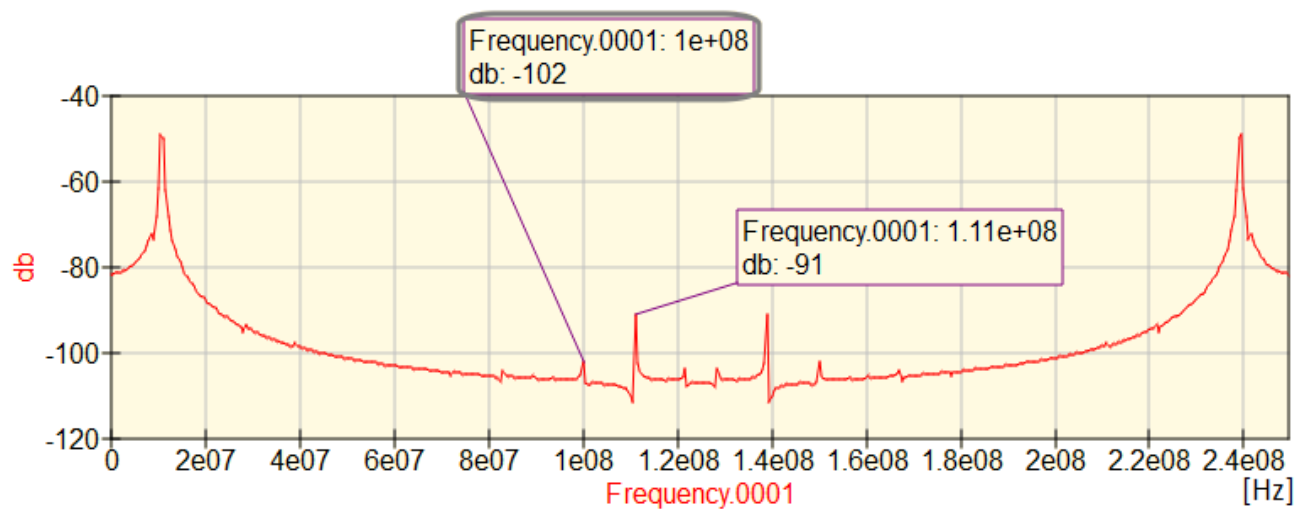
Los resultados obtenidos en las simulaciones fueron los siguientes:

Salida:

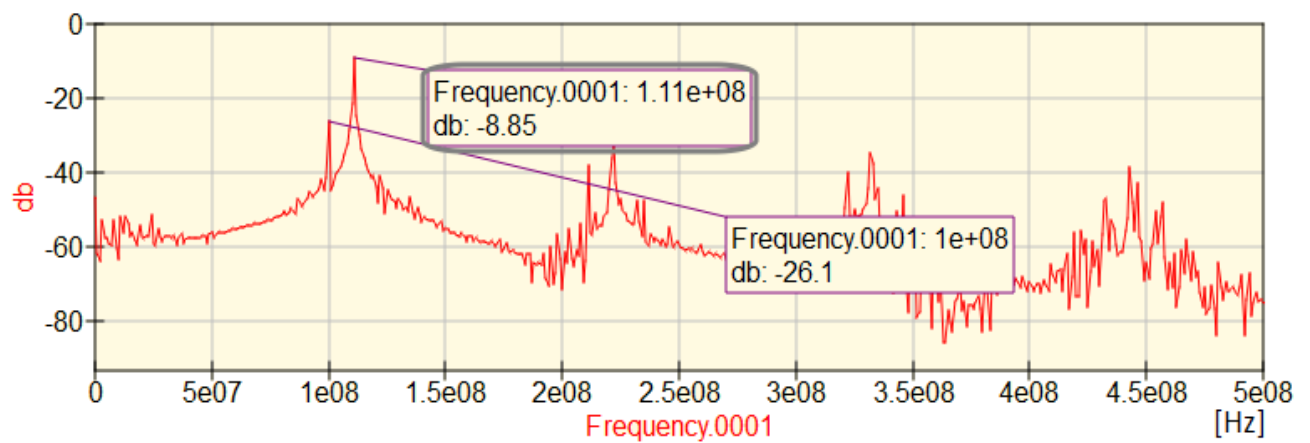




GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel		5R2	6
Cecconelo, Mauro Michelán, Emiliano			



Entrada:





GRUPO 2

CURSO

HOJA

Integrantes: Cáceres, Elías  
Gagliardi, Gabriel

Cecconelo, Mauro  
Michelán, Emiliano

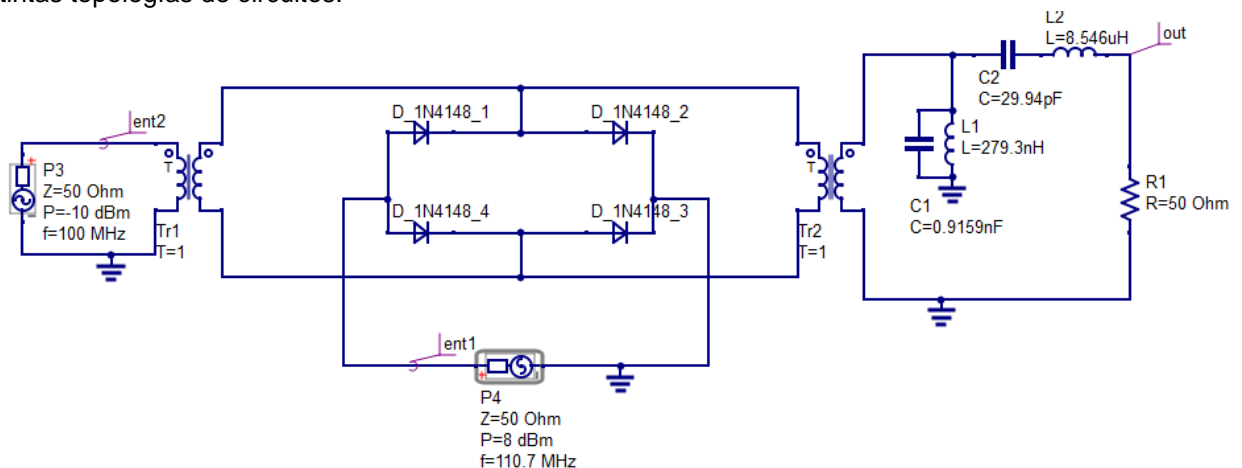
5R2

7

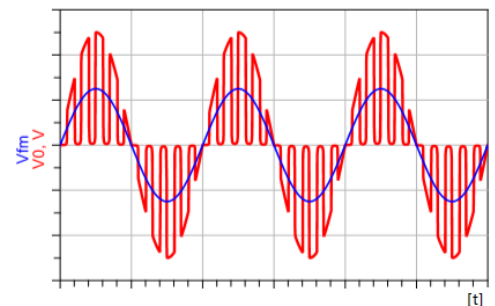
Mezclador De Balanceo Simple:

Este circuito usa un número par de dispositivos no lineales, normalmente diodos o FET, dispuestos en forma equilibrada, de tal manera que 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.

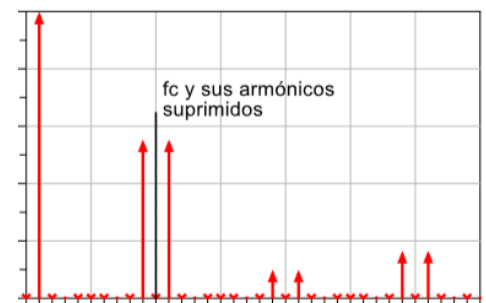
Para la realización del práctico se eligió un mezclador con 4 diodos, tal como se muestra a continuación. Se colocó el mismo filtro que en el caso anterior a la salida, para poder establecer una comparación entre las distintas topologías de circuitos.



La señal  $V_{LO}$  obtenida a la salida de P4, tiene que tener amplitud mucho mayor que el umbral de conducción de los diodos, cuando polariza en forma directa los cuatro diodos, fuerza un cortocircuito en el primario de Tr2 haciendo que  $V_{out}$  sea nula en los semiciclos positivos de  $V_{LO}$ . Esto se observa en el oscilograma de la figura de la derecha.



En el espectrograma en la fig. Siguiente se advierte que la frecuencia  $f_{LO}$  de la señal  $V_{LO}$  y sus armónicos han sido suprimidos en la tensión  $V_o$  de salida por efecto del balanceo.



Este circuito deja de funcionar cuando la señal de entrada  $V_{RF}$  aumenta de tal forma que comienza a impedir que  $V_{LO}$  sature los diodos. El mezclador de balanceo simple realizado con cuatro diodos no ofrece ventajas apreciables sobre el de balanceo doble, por lo que el circuito no es muy popular.



GRUPO 2

CURSO

HOJA

Integrantes: Cáceres, Elías  
Gagliardi, Gabriel

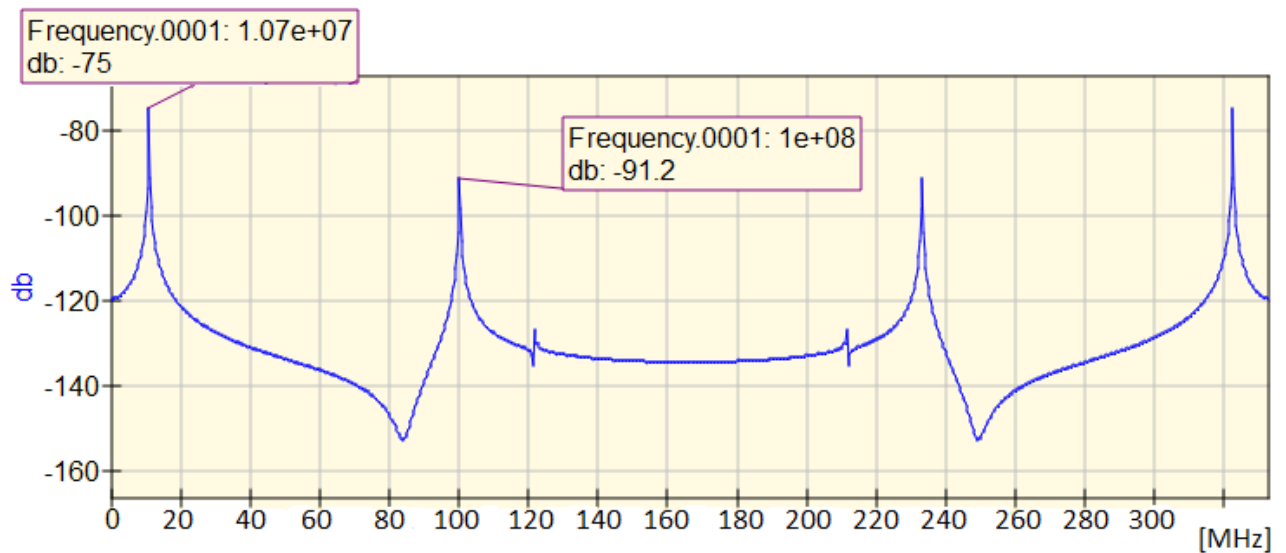
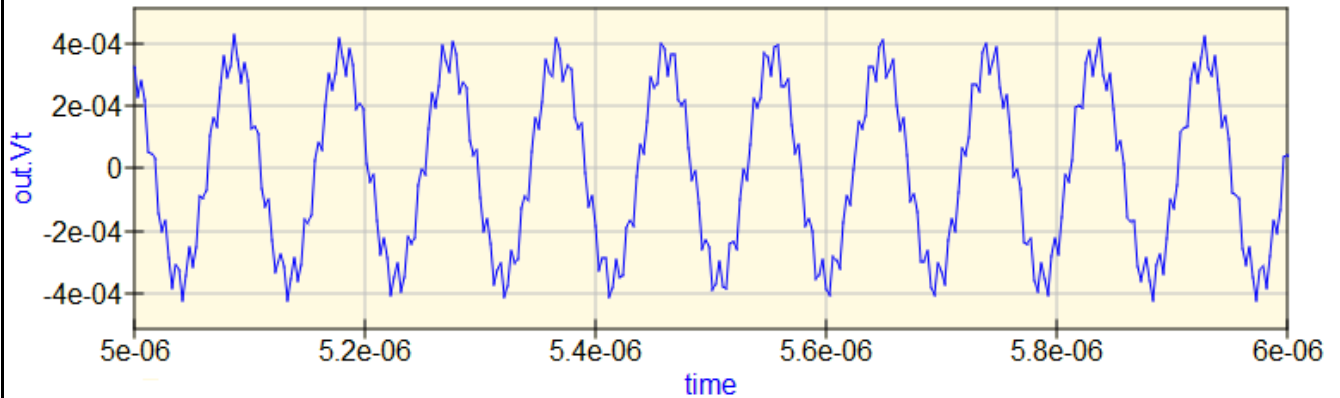
Ceconelo, Mauro  
Michelán, Emiliano

5R2

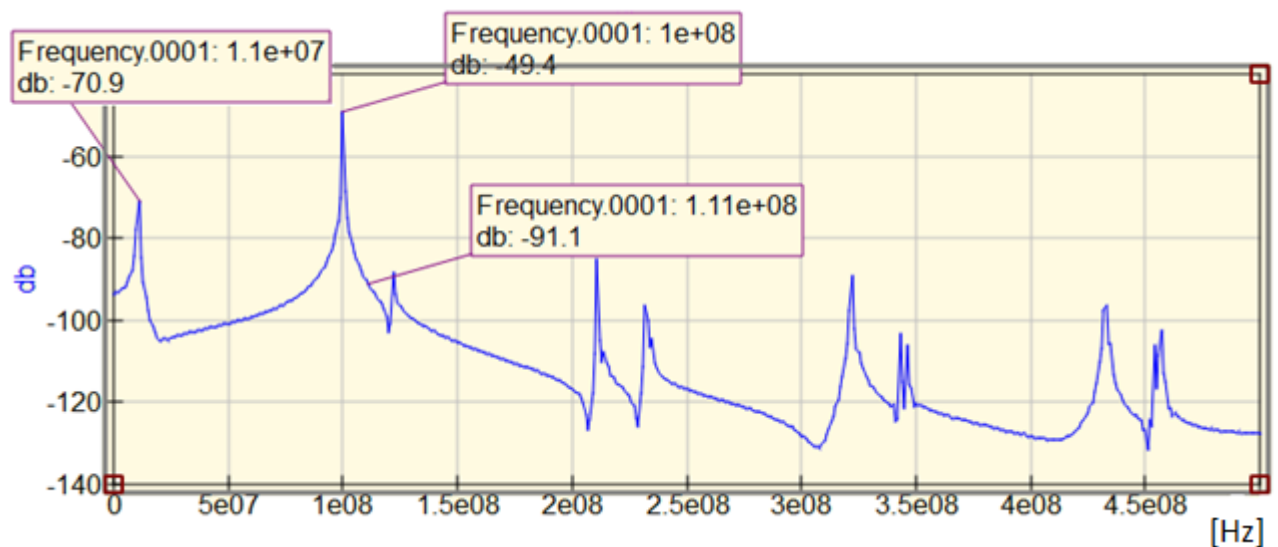
8

Los resultados obtenidos en las simulaciones fueron los siguientes:

Salida:



Entrada  $V_{RF}$ :

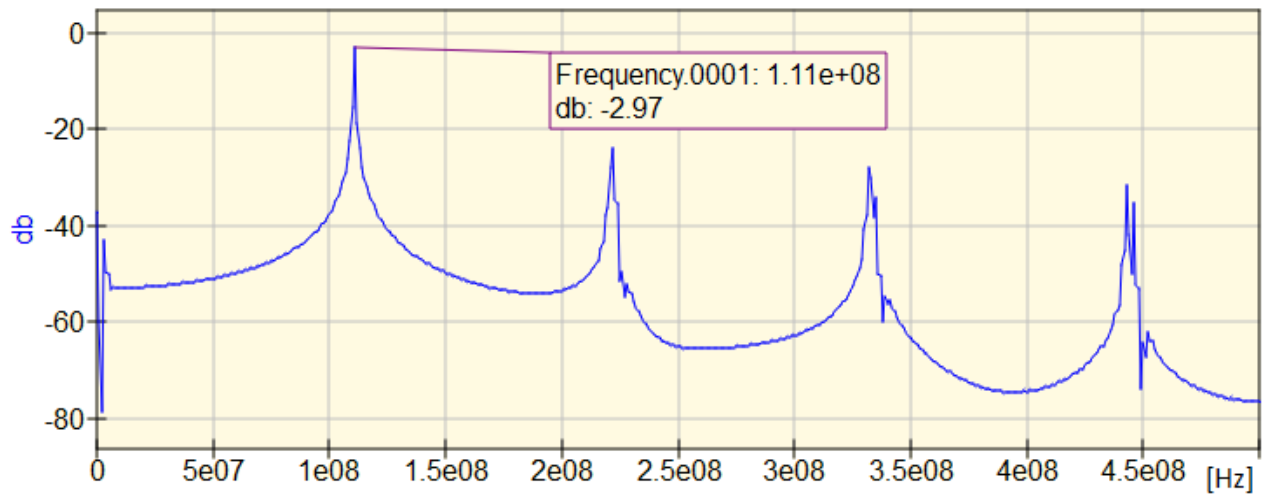






GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel	Cecconelo, Mauro Michelán, Emiliano	5R2	9

Entrada  $V_{LO}$ :





GRUPO 2

CURSO

HOJA

Integrantes: Cáceres, Elías  
Gagliardi, Gabriel

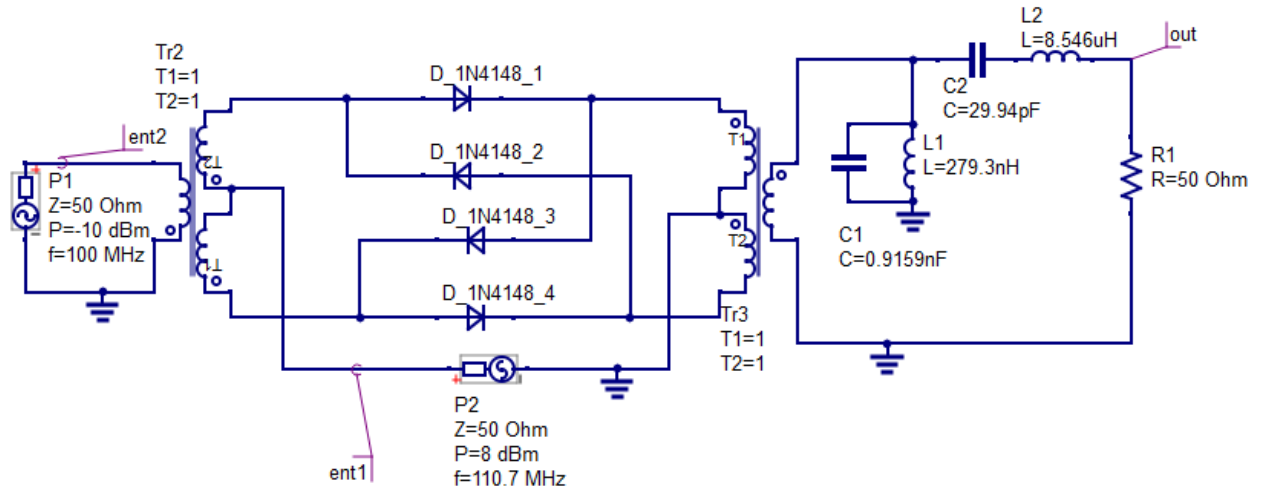
Cecconelo, Mauro  
Michelán, Emiliano

5R2

10

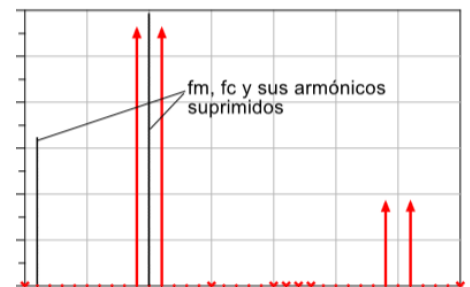
Mezclador De Balanceo Doble:

En este caso todos los terminales están aislados entre sí, por lo que las frecuencias de las señales de entrada no aparecen a la salida.



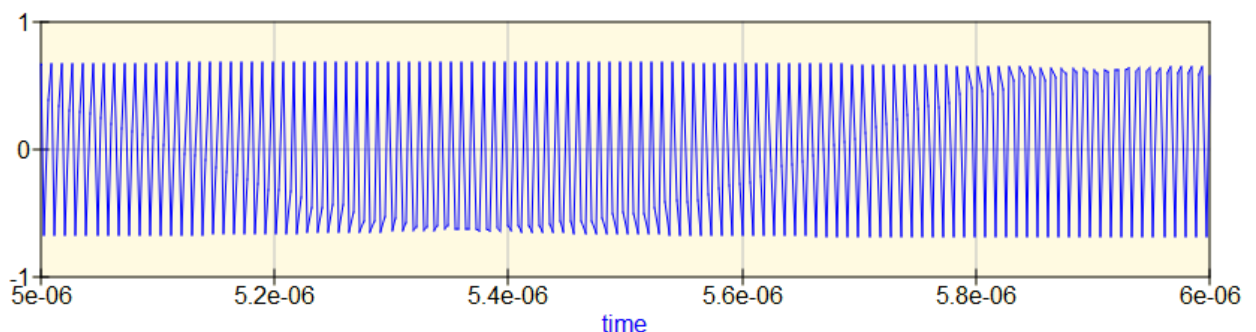
La señal  $V_{LO}$  tiene una amplitud suficiente para hacer conducir plenamente los diodos polarizados directamente. Cuando  $V_{LO}$  está en un semiciclo positivo, los diodos exteriores D1 y D4 conducen y ambos transformadores Tr2 y Tr3 quedan conectados en forma directa por la baja impedancia de los mencionados diodos. La corriente que circula por los transformadores debido a  $V_{LO}$  no tiene efecto en los terminales de  $V_{RF}$  y  $V_O$  porque los amper vueltas de los semi devanados superiores se cancela con los amper vueltas de los devanados inferiores en cada transformador. Una situación similar se produce cuando  $V_{LO}$  esta en un semiciclo negativo, excepto que los diodos que conducen son los internos D2 y D3. En este caso Tr2 y Tr3 quedan conectados en forma invertida lo que ocasiona una inversión en la polaridad de  $V_O$ .

Se observa en la figura de la derecha la supresión en la salida de  $V_{LO}$  y  $V_{RF}$  y de sus armónicos. No solo se suprimen los armónicos sino también algunos productos de mezcla no deseables.



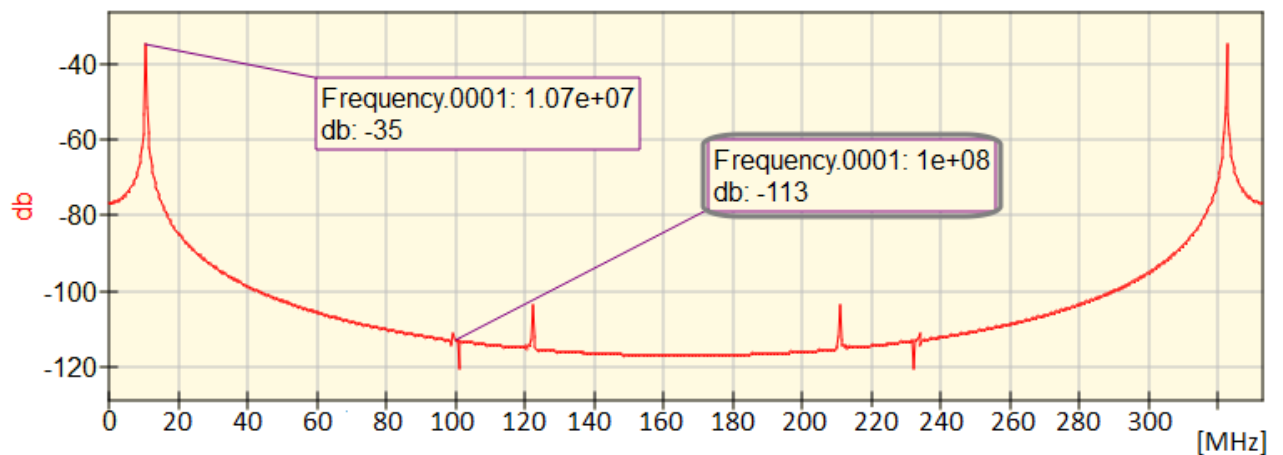
Los resultados obtenidos en las simulaciones fueron los siguientes:

Salida:

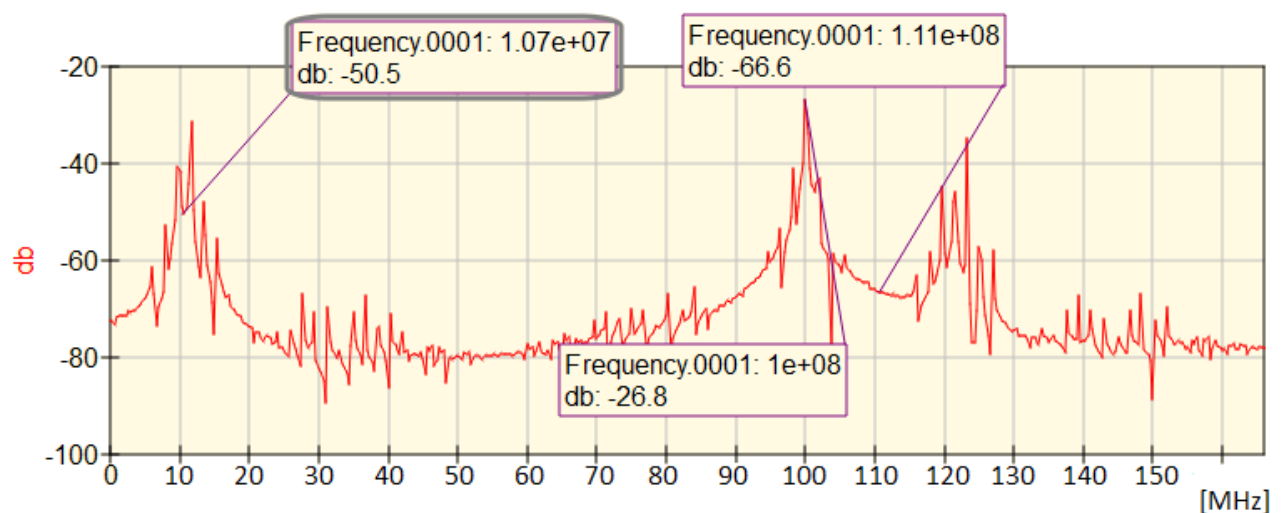




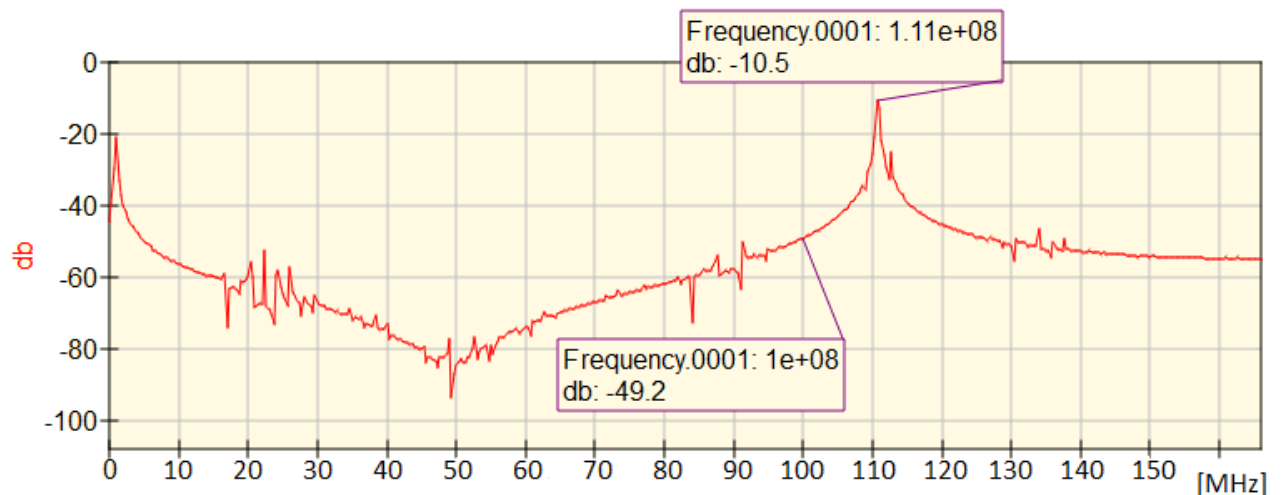
GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel	Cecconelo, Mauro Michelán, Emiliano	5R2	11



Entrada RF:



Entrada LO:





GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel	Cecconelo, Mauro Michelán, Emiliano	5R2	12

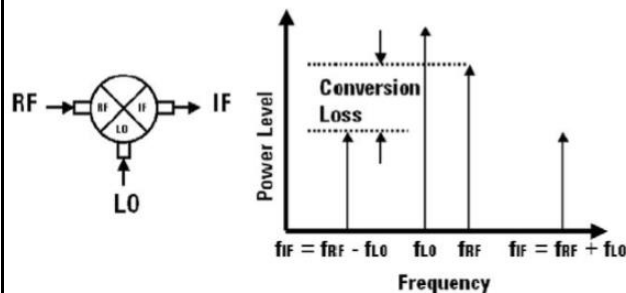
## MEDICIONES

### Pérdida por conversion

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

$$CL = P_{RF} - P_{IF}$$

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.



Mezclador de terminacion unica:

$$CL = [-26,1 - (-45,3)]$$
$$CL = 19,2 \text{ dB}$$

Mezclador de balanceo simple:

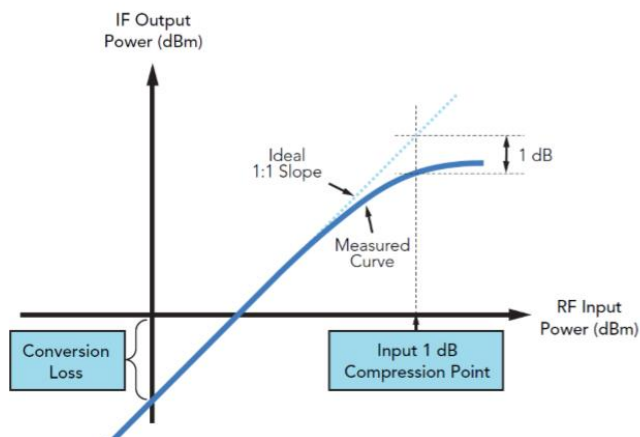
$$CL = [-49,4 \text{ dB} - (-75 \text{ dB})]$$
$$CL = 25,6 \text{ dB}$$

Mezclador de balanceo doble:

$$CL = [-26,8 \text{ dB} - (-35 \text{ dB})]$$
$$CL = 8,2 \text{ dB}$$

### Pérdida por compresion

En condiciones de funcionamiento normal, la pérdida de conversión del mezclador será constante, independientemente de la potencia de entrada RF. Sin embargo, cuando la potencia de RF se vuelve demasiado grande esta regla no se cumple. Cuando el mezclador se aleja de esta respuesta lineal se produce la perdida por compresion. El punto de 1 dB de compresión es una medida de la linealidad del mezclador y se define como la entrada de potencia de RF necesaria para aumentar la pérdida de conversión en 1 dB del valor ideal. Esto se muestra en la figura siguiente:



En condiciones de funcionamiento lineal, la potencia LO es mucho más grande que la potencia de RF por lo que la acción de conmutación de los diodos está totalmente dominada por el LO. Sin embargo, en la compresión, la potencia de RF compite con la potencia del LO por lo que la acción de conmutación de los diodos se ve



GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel	Cecconelo, Mauro Michelán, Emiliano	5R2	13

comprometida. Un funcionamiento del mezclador en condiciones de compresión incrementa los niveles de distorsión por intermodulación y aumenta la pérdida de conversión.

El punto de compresión de -1 dB se presenta a las siguientes potencias de RF para cada mezclador respectivamente:

Mezclador de terminación única:

$$P_{RF} = 7,5 \text{ dBm}$$

Mezclador de balanceo simple:

$$P_{RF} = 6 \text{ dBm}$$

Mezclador de balanceo doble:

$$P_{RF} = 6,4 \text{ dBm}$$

### Figura de ruido

Salvo casos excepcionales de diodos muy ruidosos, la figura de ruido de un mezclador es aproximadamente igual que la pérdida de conversión. Cuando se eligen mezcladores para aplicaciones de pequeña señal, como el caso de un receptor sin amplificador de RF, es conveniente seleccionar un mezclador con una pérdida de conversión tan baja como sea posible. Por ejemplo si la pérdida de conversión es 7dB, la figura de ruido es aproximadamente 7 dB.

Mezclador de terminación única:

$$NF \cong CL = 19,2 \text{ dB}$$

Mezclador de balanceo simple:

$$NF \cong CL = 25,6 \text{ dB}$$

Mezclador de balanceo doble:

$$NF \cong CL = 8,2 \text{ dB}$$

### Aislación

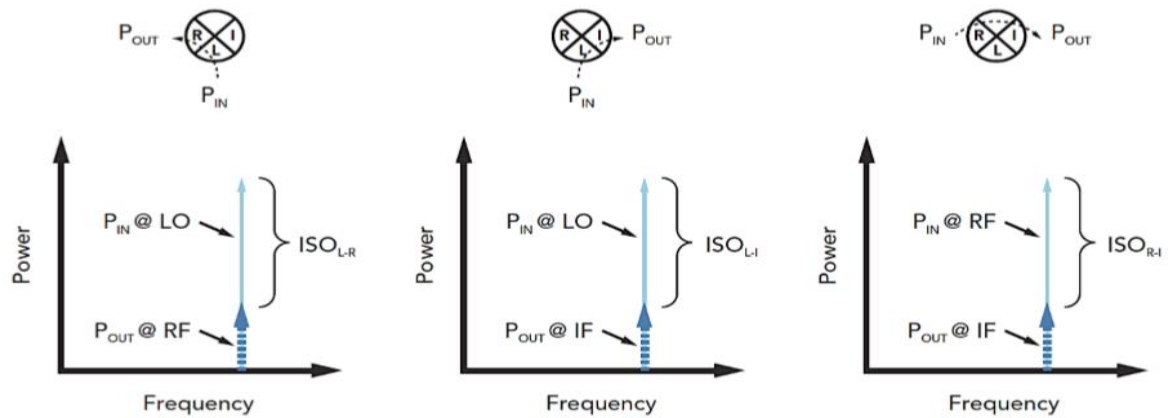
La aislación es una medida de la cantidad de potencia que se fuga o filtra de un puerto a otro puerto del mezclador. La aislación se obtiene por balanceo del mezclador, tanto de los elementos lineales del circuito como el apareamiento de los diodos o transistores, o por el uso de dispositivos unilaterales. 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

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

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.



GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel		5R2	14
Cecconelo, Mauro Michelán, Emiliano			



Mezclador de terminacion unica:

$$ISO_{(LO-IF)} = -8,85 \text{ dB} + 91 \text{ dB} = 82,15 \text{ dB}$$

$$ISO_{(LO-RF)} = 0 \text{ dB}$$

$$ISO_{(RF-IF)} = -26,1 + 102 = 75,9 \text{ dB}$$

Mezclador de balanceo simple:

$$ISO_{(LO-IF)} = -2,97 \text{ dB} + 127 \text{ dB} = 124,03 \text{ dB}$$

$$ISO_{(LO-RF)} = -2,97 \text{ dB} + 91,1 \text{ dB} = 88,13 \text{ dB}$$

$$ISO_{(RF-IF)} = -49,4 \text{ dB} + 91,2 \text{ dB} = 41,8 \text{ dB}$$

Mezclador de balanceo doble:

$$ISO_{(LO-IF)} = -10,5 \text{ dB} + 114 \text{ dB} = 103,5 \text{ dB}$$

$$ISO_{(LO-RF)} = -10,5 \text{ dB} + 66,6 \text{ dB} = 56,1 \text{ dB}$$

$$ISO_{(RF-IF)} = -26,8 \text{ dB} + 113 \text{ dB} = 86,2 \text{ dB}$$



GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Cáceres, Elías Gagliardi, Gabriel	Cecconelo, Mauro Michelán, Emiliano	5R2	15

### CONCLUSIONES

Podemos concluir que el mezclador de terminación única implementado con un diodo posee grandes desventajas comparadas con los demás, principalmente la falta de aislación entre la entrada de rf y el oscilador local, ya que la potencia del oscilador local sería en parte radiada por la antena del dispositivo a menos que se tomen las medidas necesarias. Sus ventajas son su simplicidad y bajo costo por ello se lo utiliza en aplicaciones que no sean demasiado críticas.

El mezclador simplemente balanceado emplea prácticamente la misma cantidad de componentes que el doblemente balanceado, por lo tanto a la hora de elegir entre uno de ellos se prefiere utilizar el doblemente balanceado, ya que elimina la necesidad de utilizar filtros demasiado complejos, y tiene una mejor pérdida de conversión.