

# TEMA 8

## Conversión de Frecuencia.

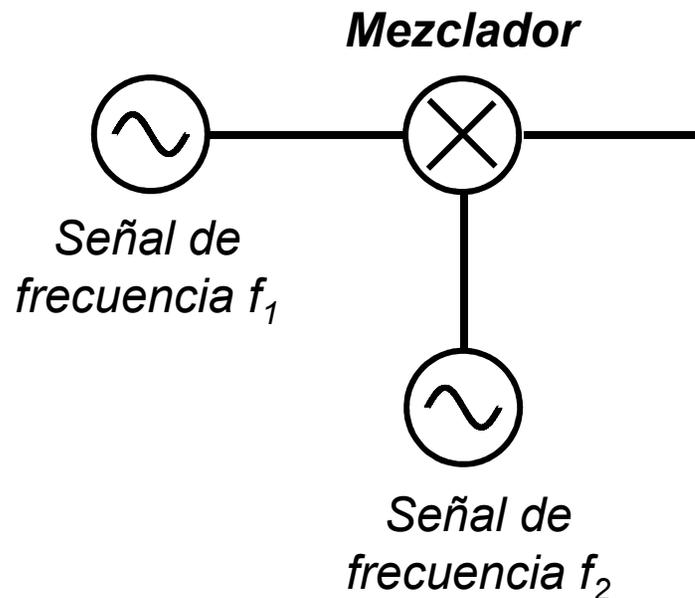
- × Distintos tipos de conversores de frecuencia.
- × Especificaciones principales.
- × Mezcladores
- × Multiplicadores de frecuencia.

# Convertor de Frecuencia

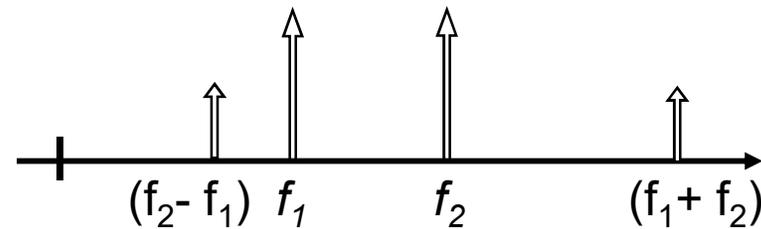
- Los mezcladores son componentes esenciales en radiocomunicaciones.
- Activos o pasivos se usan en todas las etapas de una cadena de emisión o recepción.
- Tienen muchas aplicaciones. Las aplicaciones principales son cambiar de frecuencia la señal, modulaciones y demodulaciones.

Idea fundamental:

Obtener una señal cuya frecuencia sea la suma o la diferencia de la frecuencia de otras dos



- Señal de frecuencias  $(f_1 + f_2)$  y  $|f_1 - f_2|$



# Convertor de Frecuencia

3

¿Cómo generar una señal con frecuencias  $(f_1 + f_2)$  y  $|f_1 - f_2|$  partiendo de dos de frecuencias  $f_1$  y de  $f_2$ ?

Recordando identidades trigonométricas:

$$\cos\omega_1 t \cdot \cos\omega_2 t = 0,5 \cdot \cos(\omega_1 + \omega_2)t + 0,5 \cdot \cos(\omega_1 - \omega_2)t$$

↑  
*Componente de  
frecuencia  $f_1 + f_2$*

↑  
*Componente de  
frecuencia  $|f_1 - f_2|$*

⇒ Si se multiplican dos señales se obtiene a la salida señales con frecuencia suma y la diferencia de las señales de entrada

¿Cómo multiplicar dos señales?

- Usando dispositivos de respuesta cuadrática:

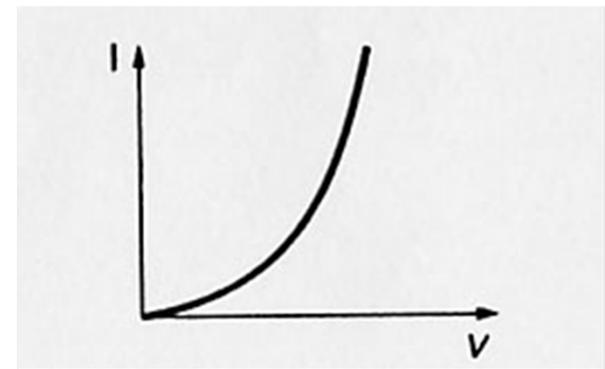


Figura 6. Función de transferencia de la forma  $I = a_2 V^2$

# Convertor de Frecuencia

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

La corriente de salida  $i_o$  es:

$$i_o(t) = I_o + a v_i(t) + b v_i^2(t)$$



Filtrando la continua y Reemplazando:

$$i_o(t) = aV_1 \cos \omega_1 t + aV_2 \cos \omega_2 t + bV_1^2 \cos^2 \omega_1 t + bV_2^2 \cos^2 \omega_2 t + 2bV_1V_2 \cos \omega_1 t \cos \omega_2 t$$

Amplitud	Frecuencia
$aV_1$	$f_1$
$aV_2$	$f_2$
$\frac{1}{2} bV_1^2$	$2f_1$
$\frac{1}{2} bV_2^2$	$2f_2$
$bV_1V_2$	$f_1 + f_2$
$bV_1V_2$	$f_1 - f_2$

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

$$bV_2^2 \cos^2 \omega_2 t = \frac{b}{2} V_2^2 (1 + \cos 2\omega_2 t)$$

$$2bV_1V_2 \cos \omega_1 t \cos \omega_2 t = bV_1V_2 [\cos(\omega_1 + \omega_2) + \cos(\omega_1 - \omega_2)]$$

# Aplicaciones de los Conversores de Frecuencia

---

- Mezcladores o desplazadores de frecuencia.
- Multiplicador de frecuencias.
- Moduladores.
- Demoduladores
- Otras aplicaciones:
  - Detectores de fase.
  - Recuperadores de portadora.
  - CAG.
  - (...)

# Mezclador o Desplazador de frecuencia

6

## Objetivo:

Trasladar (subir o bajar) en frecuencia una señal, sin alterar la información que pudiera llevar



La corriente de salida  $i_o$  es:

$$i_o(t) = I_o + a v_i(t) + b v_i^2(t)$$

Si se filtra la continua queda:

$$i_o(t) = aV_1 \cos \omega_1 t + aV_2 \cos \omega_2 t v_i(t) + \frac{1}{2} b V_1^2 \cos 2\omega_1 t + \frac{1}{2} b V_2^2 \cos 2\omega_2 t \\ + bV_1V_2 \cos(\omega_1 + \omega_2)t + bV_1V_2 \cos(\omega_1 - \omega_2)t$$

## Ejemplo 1:

$$v_1(t) = v_{OL}(t) = V_{OL} \cos \omega_{OL} t$$

$$v_2(t) = v_{AM}(t) = V_c \cos \omega_c t + V_{BL} \cos(\omega_c + \omega_m)t + V_{BL} \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

$$v_i(t) = V_{OL} \cos \omega_{ol} t + V_C \cos \omega_C t + V_{BL} \cos(\omega_C + \omega_m)t + V_{BL} \cos(\omega_C - \omega_m)t$$

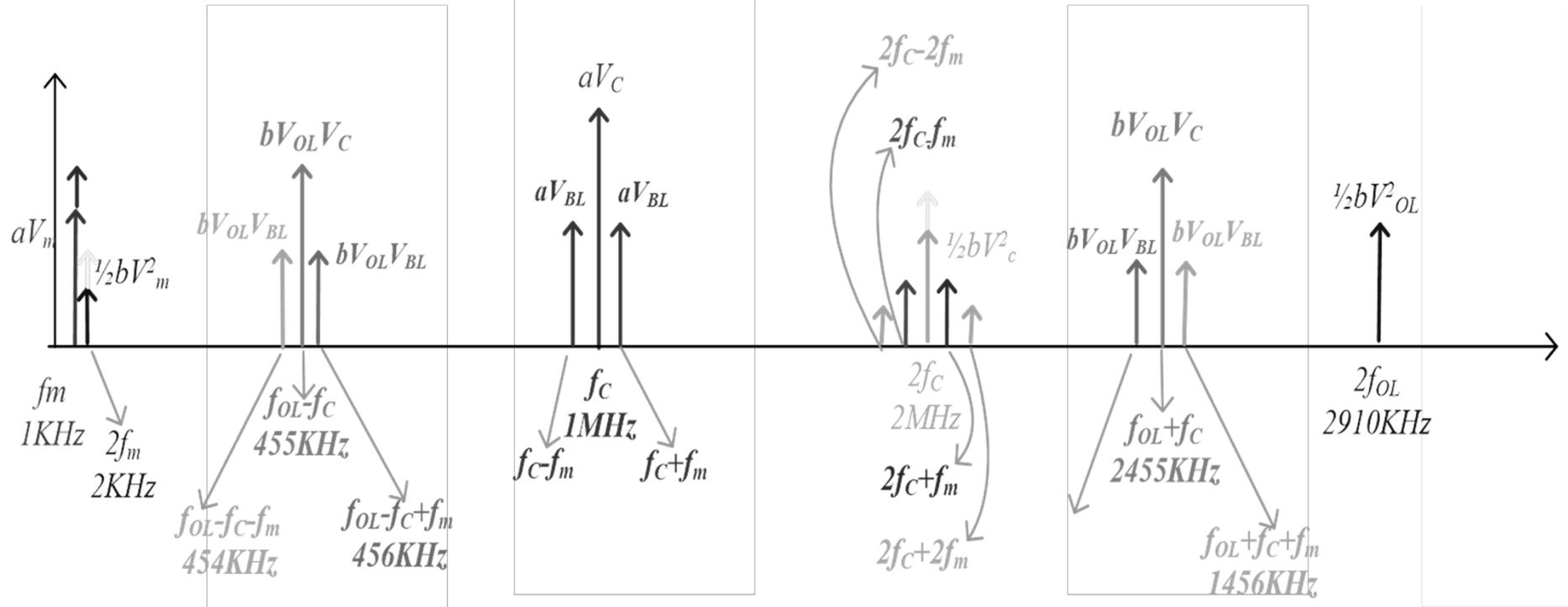
$$\begin{aligned}
 i_o(t) = & aV_{OL} \cos \omega_{OL} t + aV_C \cdot \cos \omega_C t + aV_{BL} \cos(\omega_c + \omega_m)t + aV_{BL} \cos(\omega_c - \omega_m)t + \\
 & + \frac{1}{2} bV_{OL}^2 \cos 2\omega_{OL} t + \frac{1}{2} bV_C^2 \cos 2\omega_c t + \frac{1}{2} bV_{BL}^2 \cos 2(\omega_c + \omega_m)t + \frac{1}{2} bV_{BL}^2 \cos 2(\omega_c - \omega_m)t \\
 & + bV_{OL}V_C \cos(\omega_{OL} + \omega_C)t + bV_{OL}V_C \cos(\omega_{OL} - \omega_C)t + \\
 & + bV_{OL}V_{BL} \cos(\omega_{OL} + (\omega_C + \omega_m))t + bV_{OL}V_{BL} \cos(\omega_{OL} - (\omega_C + \omega_m)) + \\
 & + bV_{OL}V_{BL} \cos(\omega_{OL} + (\omega_C - \omega_m))t + bV_{OL}V_{BL} \cos(\omega_{OL} - (\omega_C - \omega_m)) + \\
 & + bV_CV_{BL} \cos(\omega_C + (\omega_C + \omega_m))t + bV_CV_{BL} \cos(\omega_C - (\omega_C + \omega_m)) + \\
 & + bV_CV_{BL} \cos(\omega_C + (\omega_C - \omega_m))t + bV_{OL}V_{BL} \cos(\omega_C - (\omega_C - \omega_m)) + \\
 & + bV_{BL}V_{BL} \cos((\omega_C + \omega_m) + (\omega_C - \omega_m))t + bV_{BL}V_{BL} \cos((\omega_C + \omega_m) - (\omega_C - \omega_m)) +
 \end{aligned}$$

Amplitud	Frecuencia		Amplitud	Frecuencia	Amplitud	Frecuencia
$aV_{OL}$	$f_{OL}$	Lineales	$bV_{OL}V_C$	$f_{OL} + f_C$	$bV_{BL}V_C$	$2f_C + f_m$
$aV_C$	$f_C$		$bV_{OL}V_C$	$f_{OL} - f_C$	$bV_{BL}V_C$	$-f_m$
$aV_{BL}$	$f_c + f_m$		$bV_{OL}V_{BL}$	$f_{OL} + f_C + f_m$	$bV_CV_{BL}$	$2f_C - f_m$
$aV_{BL}$	$f_c - f_m$		$bV_{OL}V_{BL}$	$f_{OL} - f_C - f_m$	$bV_CV_{BL}$	$+f_m$
$\frac{1}{2} bV_{OL}^2$	$2f_{OL}$	Cuadráticos puro	$bV_{OL}V_{BL}$	$f_{OL} + f_C - f_m$	$bV_{BL}V_{BL}$	$2f_C$
$\frac{1}{2} bV_C^2$	$2f_C$		$bV_{OL}V_{BL}$	$f_{OL} - f_C + f_m$	$bV_{BL}V_{BL}$	$2f_m$
$\frac{1}{2} bV_{BL}^2$	$2f_C + 2f_m$	Productos cruzados o de intermodulación				
$\frac{1}{2} bV_{BL}^2$	$2f_C - 2f_m$					

# MEZCLADORES

**Ejemplo numérico:**

$$f_{oL}=1455\text{KHz}; f_c=1\text{MHz}; f_m=1000\text{KHz}$$



A la salida del mezclado aparece el espectro de la señal modulada en amplitud en 3 lugares distintos:

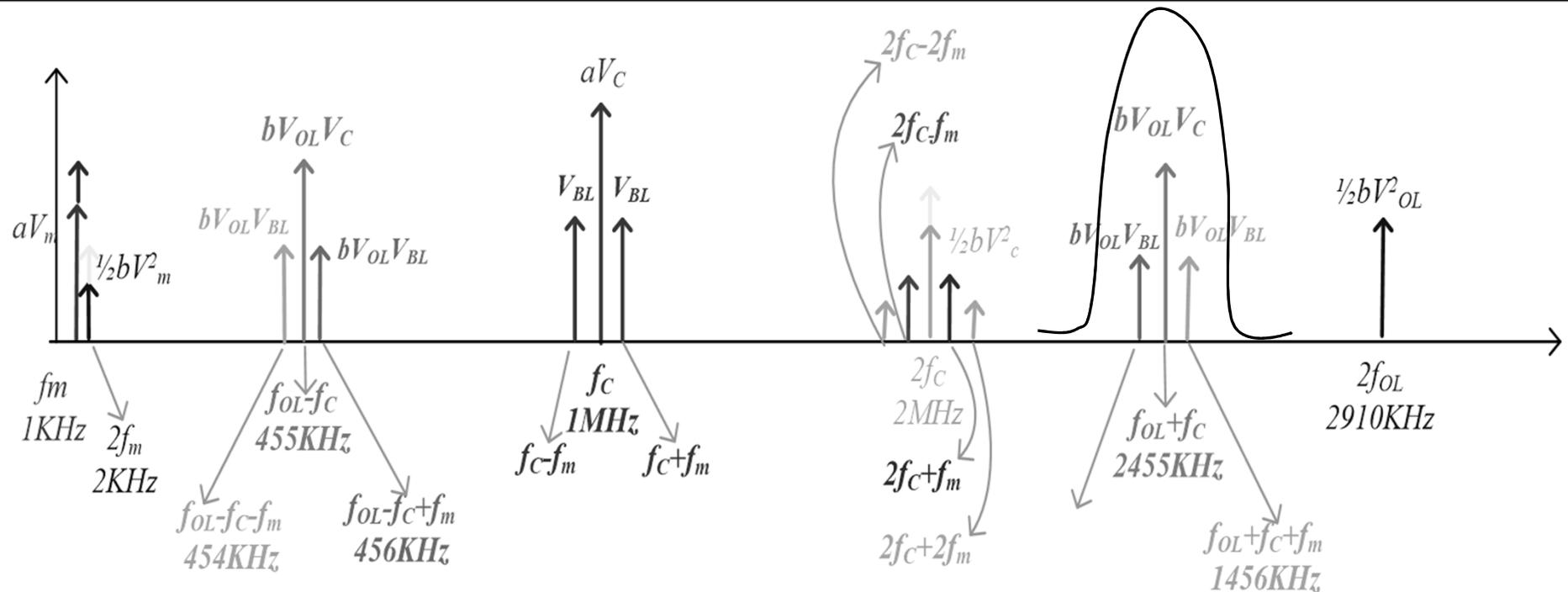
- a la misma frecuencia,
- a la frecuencia suma y
- a la frecuencia diferencia.

Observar: que los tres espectros tienen las mismas proporciones que la señal de entrada. No así el de que aparece con  $2f_c$  como frecuencia central.

# MEZCLADORES

9

En el ejemplo de abajo, el circuito de carga del mezclador, es un circuito tanque sintonizado a  $f_{OL} + f_c$  (frecuencia suma); y Ancho de Banda  $AB=2f_m$



## Inyección de oscilación inferior

- Cuando la frecuencia del oscilador local se sintoniza arriba de la RF, se llama *inyección lateral alta*, o *inyección de oscilación superior*.
- Cuando el oscilador local se sintoniza abajo de la RF, se llama *inyección lateral inferior*, o *inyección de oscilación inferior*

9

# Mezclador

En el ejemplo, el circuito de carga del mezclador, es un circuito tanque sintonizado a  $f_{oL} + f_c$  (frecuencia suma); y Ancho de Banda  $AB=2f_m$



$$\omega_o^2 LC = 1$$

$$\omega_o = \omega_c + \omega_{oL}$$

$$Q_c = \frac{f_o}{AB} = \frac{R_L}{\omega_o L}$$

$$AB \geq 2f_{m \text{ máx}}$$

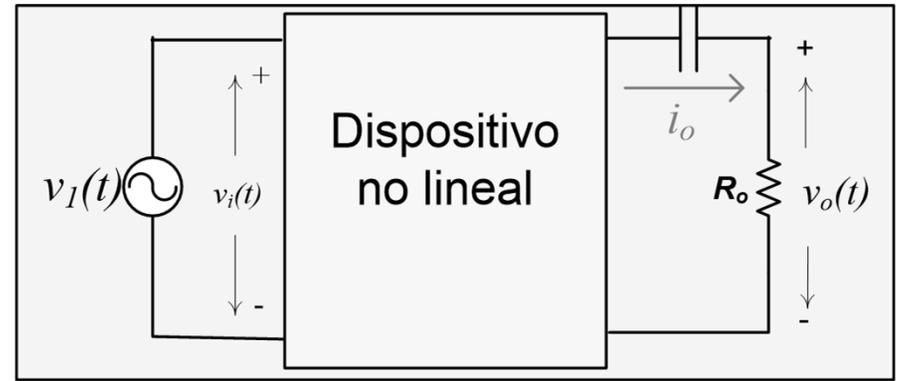
- Se usan mezcladores junto con un filtro paso banda.
- Trasposición de frecuencias hacia arriba (UP converter), o hacia abajo (DOWN converter).
- Por inyección superior o inferior
- Se usan en transmisores y receptores para poder operar en frecuencia intermedia y transmitir en radio frecuencia.
- Se multiplica la señal modulada por tono puro de frecuencia  $F_{ol}$ .
- Se obtiene la misma señal RF, pero a frecuencias  $F - F_{ol}$  y  $F + F_{ol}$ .
- Se filtramos y se deja pasar las componentes a  $F - F_{ol}$  , se obtiene un DOWN converter.
- Se filtramos y se deja pasar las componentes a  $F + F_{ol}$  , se obtiene un UP-Converter.
- Con una ganancia de conversión igual para todas las frecuencias las características de una modulación en fase, frecuencia o amplitud.

# Multiplicador de frecuencia

12

## Objetivo:

Obtener a la salida del circuito una señal con frecuencia múltiple de la de entrada



La corriente de salida  $i_o$  es:

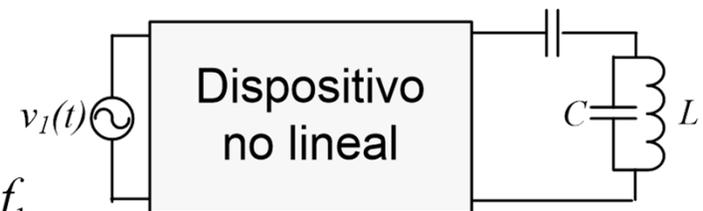
$$i_o(t) = I_o + a v_1(t) + b v_1^2(t) + c v_1^3(t)$$

Si se filtra la continua queda:

$$i_o(t) = a V_1 \cos \omega_1 t + \frac{1}{2} b V_1^2 \cos 2\omega_1 t + c \frac{3}{4} \cos \omega_1 t + \frac{1}{4} c V_1^3 \cos 3\omega_1 t$$

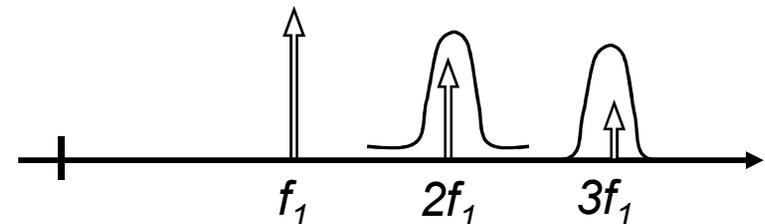
Si se carga la salida con un circuito resonante sintonizado a  $2f_1$ , se obtiene un duplicador de frecuencia:

$$\omega_o^2 LC = 1; \quad \omega_o = 2f_1$$



Si el circuito resonante de salida es sintonizado a  $3f_1$ , se obtiene un triplicador de frecuencia:

$$\omega_o^2 LC = 1; \quad \omega_o = 3f_1$$



La corriente de salida  $i_o$  es:

$$i_o(t) = I_o + a v_i(t) + b v_i^2(t)$$

Si se filtra la continua queda:



$$i_o(t) = aV_1 \cos \omega_1 t + aV_2 \cos \omega_2 t v_i(t) + \frac{1}{2} b V_1^2 \cos 2\omega_1 t + \frac{1}{2} b V_2^2 \cos 2\omega_2 t \\ + b V_1 V_2 \cos(\omega_1 + \omega_2) t + b V_1 V_2 \cos(\omega_1 - \omega_2) t$$

**Ejemplo 3:**

$$v_1(t) = v_C(t) = V_C \cos \omega_C t \quad v_2(t) = v_m(t) = V_m \cos \omega_m t$$

Entonces:

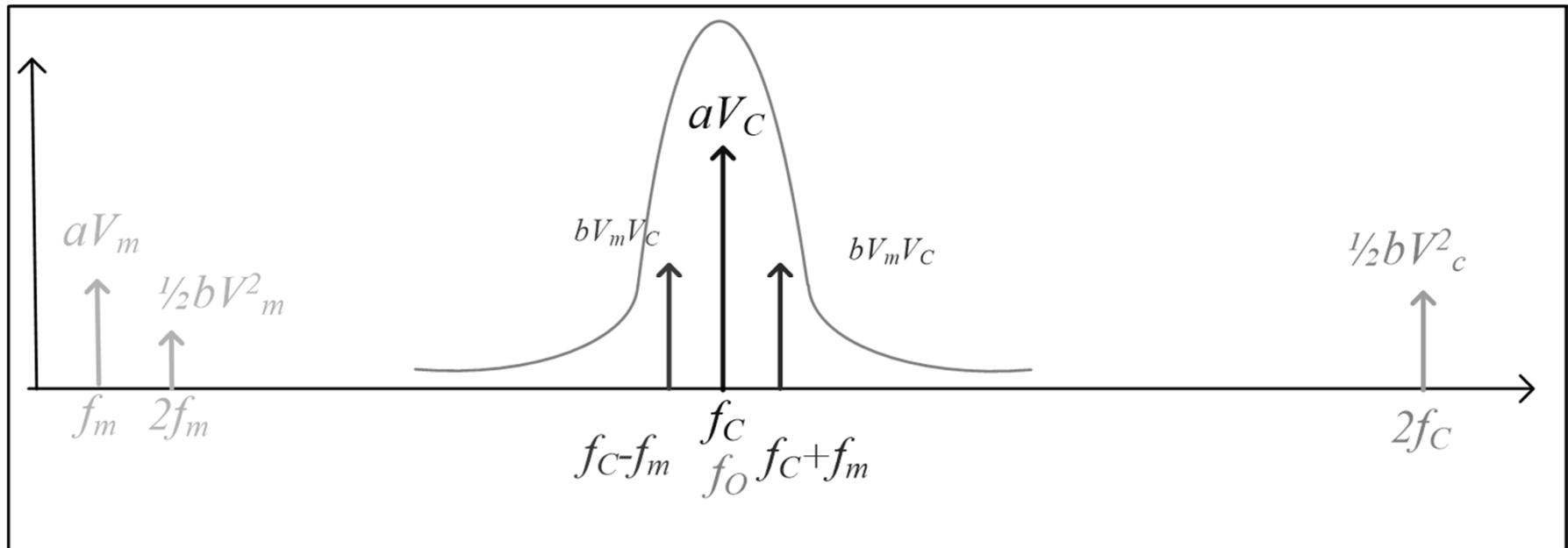
$$i_o(t) = aV_C \cos \omega_C t + aV_m \cos \omega_m t + bV_C^2 \cos^2 \omega_C t + bV_m^2 \cos^2 \omega_m t + \\ + bV_C V_m \cos(\omega_C + \omega_m) t + bV_C V_m \cos(\omega_C - \omega_m) t$$

# Modulador de AM de bajo nivel

14

$$i_o(t) = aV_c \cos \omega_c t + aV_m \cos \omega_m t + \frac{1}{2}bV_c^2 \cos 2\omega_c t + \frac{1}{2}bV_m^2 \cos 2\omega_m t + \\ + bV_cV_m \cos(\omega_c + \omega_m)t + bV_cV_m \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

Realizando el espectro:



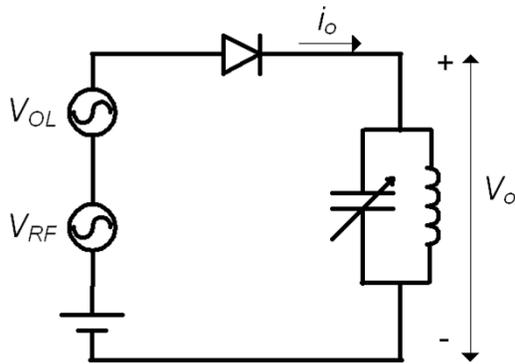
Se filtra la señal con un filtro resonante a  $f_0=f_c$  y  $AB=2f_{m\text{máx}}$

**¿Qué se puede hacer con un dispositivo que logra el producto de las señales de entrada?**

1. Un mezclador, para trasladar (subir o bajar) en frecuencia una señal, sin alterar la información que pudiera llevar. Se carga con un filtro que deja pasar la señal deseada (mezclador ascendente o descendente)
2. Un multiplicador de frecuencias por dos, si  $f_1=f_c$  y  $f_2=0$  y se utiliza como carga un filtro sintonizado a la frecuencia  $2f_c$ .
3. Un modulador de AM si se hace  $f_1=f_c$  y  $f_2=f_m$  y se coloca como carga un filtro sintonizado a la frecuencia  $f_c$  y con un ancho de banda de  $2f_{mmáx}$ . (Modulador de bajo nivel)
4. Un detector de señales de AM en sus distintas modalidades, si  $f_2=f_c$  y en la entrada de  $f_1$  se introduce una señal modulada en AM y la carga es un filtro pasa bajo que con frecuencia de corte igual o mayor que la frecuencia máxima de banda base. Es decir que su ancho de banda es  $f_{mmáx}$ . (Detector coherente)

# Circuitos Moduladores de bajo nivel

## Modulador a diodo



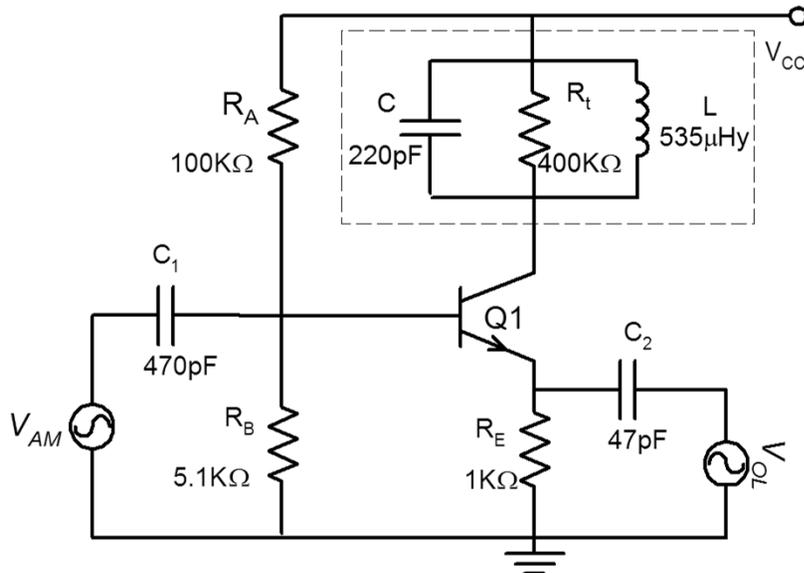
### Ventajas:

- Sencillez y economía del circuito

### Desventajas:

- Mezclador ruidoso
- Presenta pérdidas en la conversión
- Tiene frecuencias no deseadas debido a términos de tercer orden y superiores
- No tiene aislación entre los puertos de entrada

## Modulador con TBJ



### Ventajas:

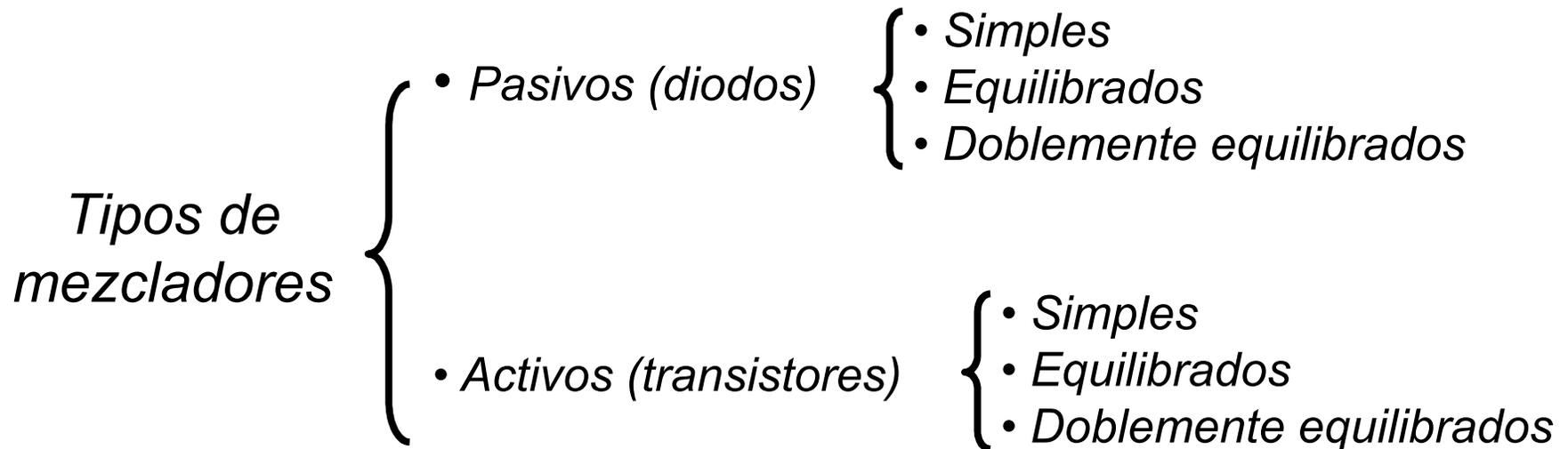
- Muy buena ganancia de conversión en algunos casos alcanza los 20 dB
- Bajo NF

### Desventajas:

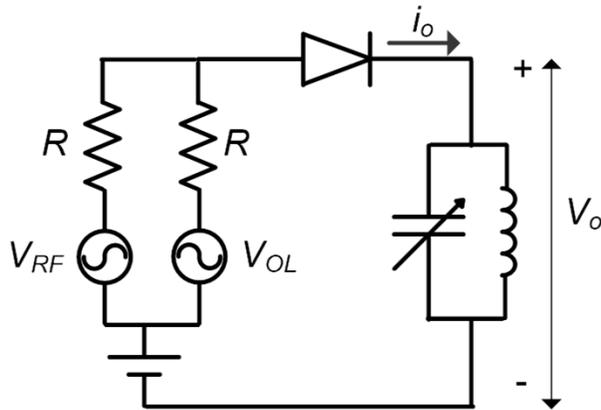
- Presenta productos de IMD de tercer orden altos
- Pequeño rango dinámico

**Para el diseño de un mezclador es importante tener en cuenta:**

- Comportamiento adecuado a las frecuencias de trabajo.
- Uso de dispositivos con comportamiento lo más parecido a cuadrático, sin términos apreciables en  $x$ ,  $x^3$ ,  $x^4$ , etc.
- Cancelación de componentes indeseadas por simetrías en los circuitos.



## Conversor a diodo



$$I = I_s \left[ \exp \left( \frac{V_D}{U_T} \right) - 1 \right]$$

$$I_s = 1 \text{ mA}$$

$$U_T = 26 \text{ mV}$$

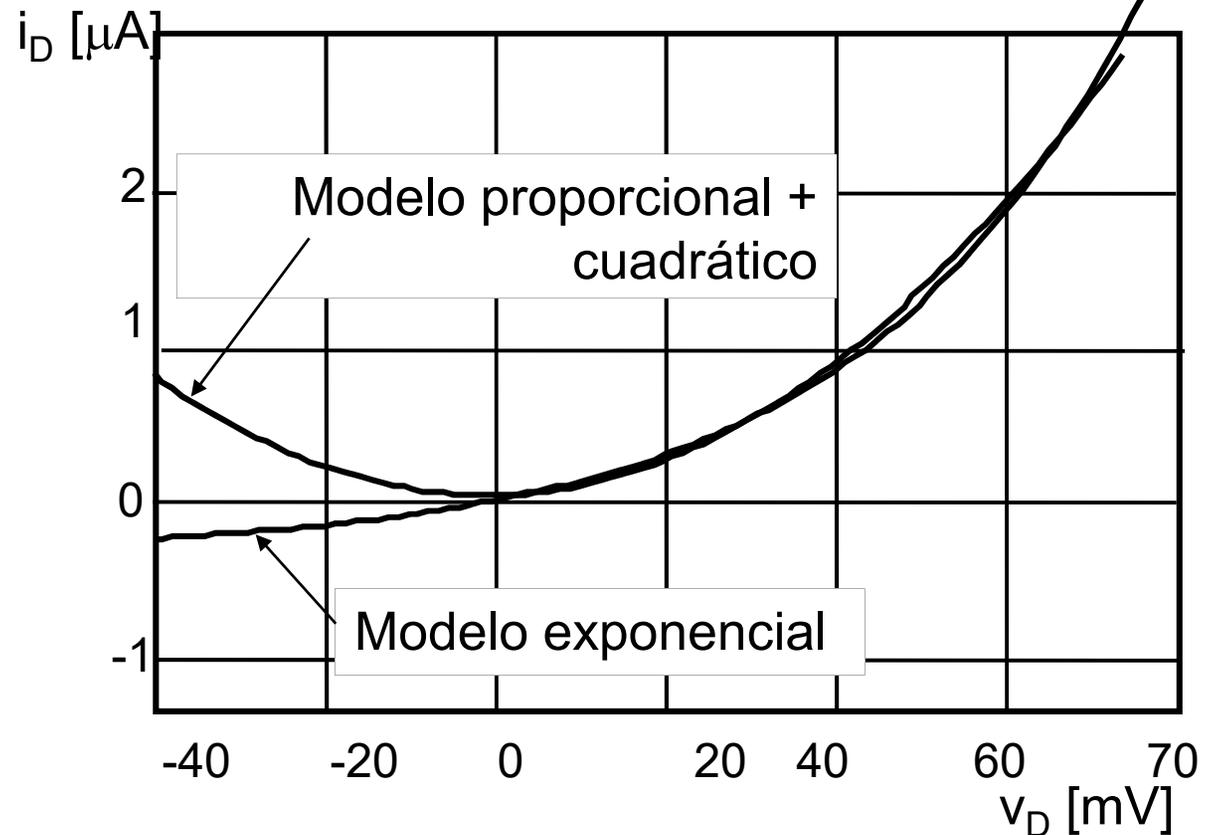
Se sintonizan el circuito de salida a la frecuencia suma o diferencia.

### Ventajas:

- Sencillez y economía del circuito

### Desventajas:

- Mezclador ruidoso
- Presenta pérdidas en la conversión
- Tiene frecuencias no deseadas debido a términos de tercer orden y superiores
- No tiene aislación entre los puertos de entrada



## Convertidor con TBJ

El circuito resonante de salida se sintonizan a la suma o diferencia de las frecuencias de entrada, según que se desee hacer pasar

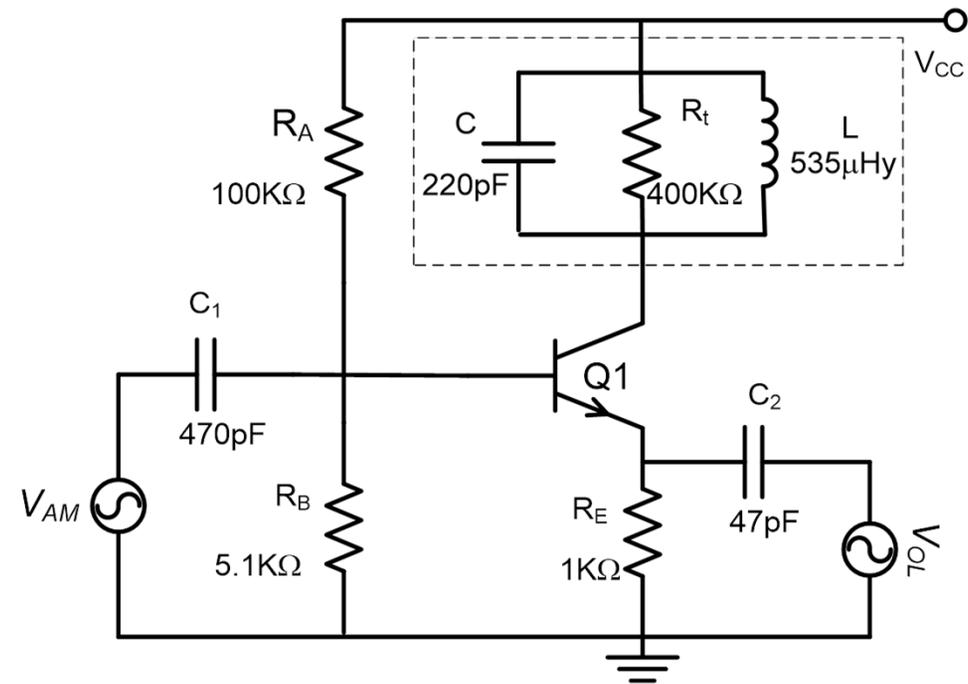
Se calcula la polarización de tal suerte que la tensión base-emisor sea inferior a la tensión umbral. Aproximadamente entre 0,55V y 0,63V

### Ventajas:

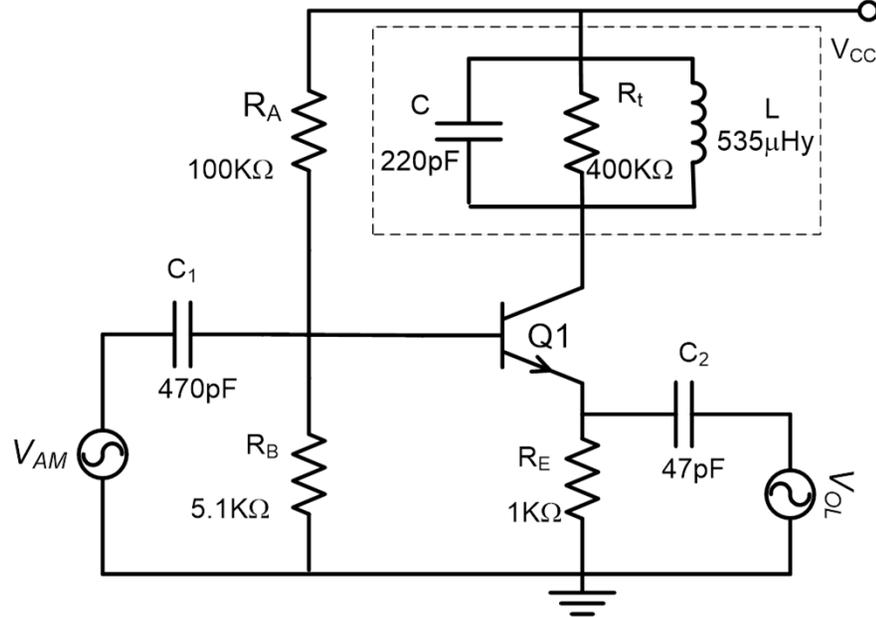
- Muy buena ganancia de conversión en algunos casos alcanza los 20 dB
- Bajo NF

### Desventajas:

- Presenta productos de IMD de tercer orden altos
- Pequeño rango dinámico



## Convertor con TBJ



### Ventajas:

- Muy buena ganancia de conversión en algunos casos alcanza los 20 dB
- Bajo NF

### Desventajas:

- Presenta productos de IMD de tercer orden altos
- Pequeño rango dinámico

- Se polariza el circuito de entrada en zona no lineal:  $V_{BE}=0,55\text{mV}$
- Se sintonizan el circuito de salida a la frecuencia suma o diferencia.

- Un transistor de efecto de campo tiene una respuesta “más cuadrática”  $\Rightarrow$  Sirve mejor para hacer mezcladores

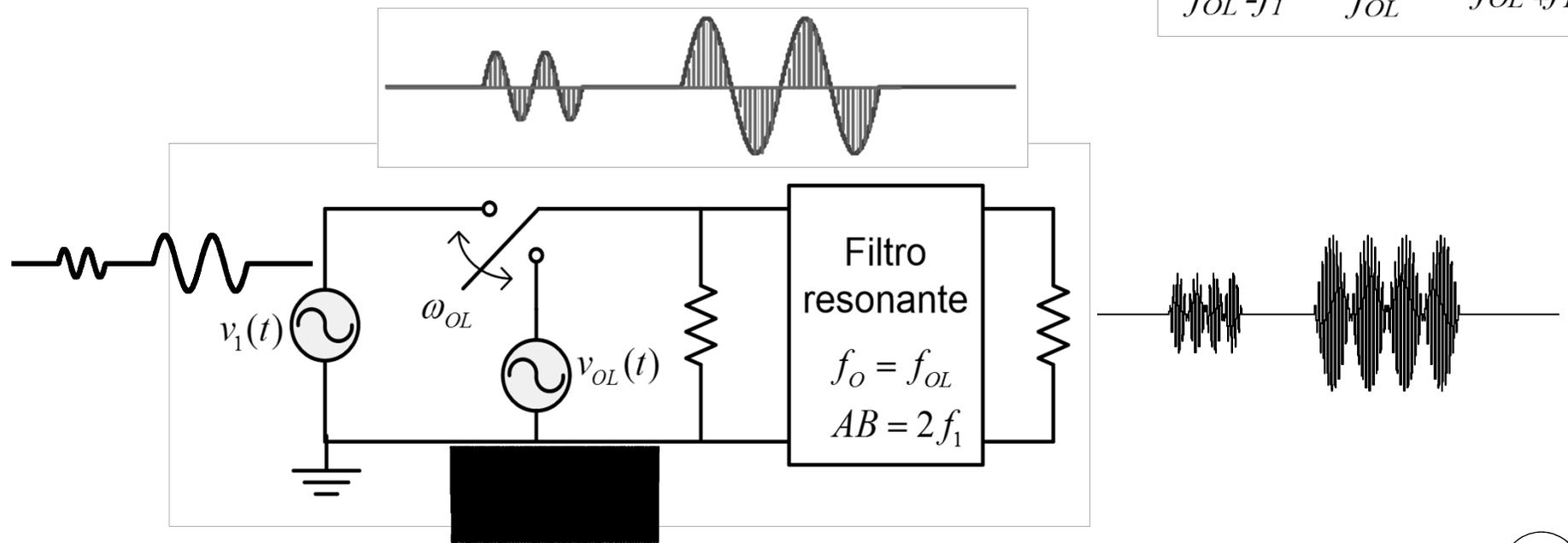
# Mezclador Balanceado

21

Los mezcladores balanceados son uno de los circuitos más importantes en los sistemas actuales de comunicaciones.

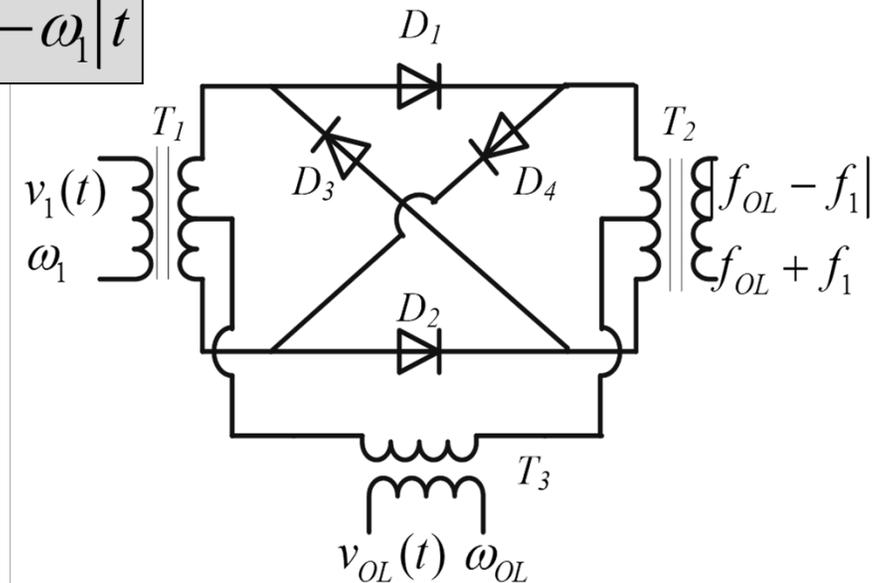
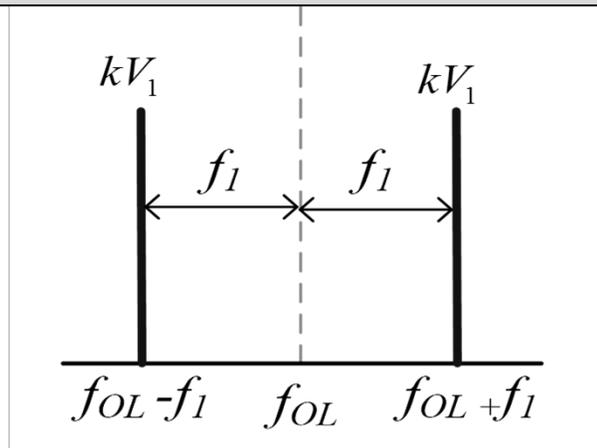
Un mezclador balanceado realiza el producto de las señales de entrada. A la salida solo aparecen la suma y la diferencia de frecuencias de entrada.

Principio de funcionamiento:



# Mezclador Balanceado

$$v_o(t) = KV_1 \cos(\omega_{OL} + \omega_1)t + KV_1 \cos|\omega_{OL} - \omega_1|t$$



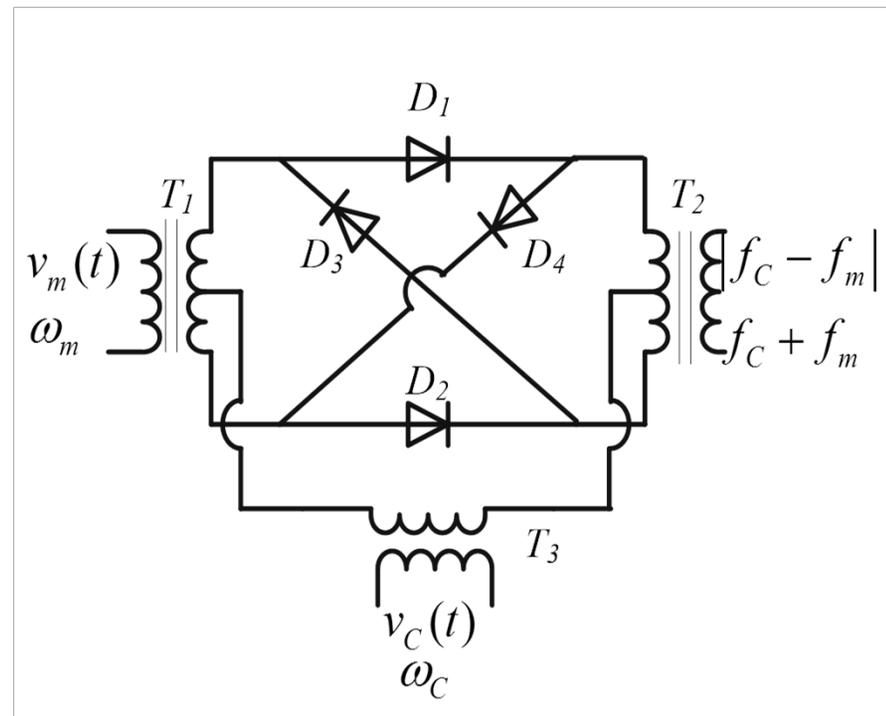
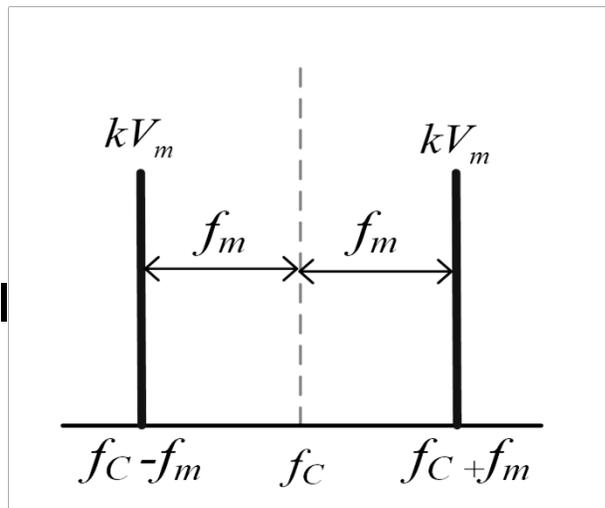
Integrados SBL1, MC1496

- $V_{OL}$  lo suficientemente grande para manejar la conducción de los diodos ( $V_{OL} > V_1$ ).
- Equivalente a multiplicar por una cuadrada de  $\pm 1V$  y frecuencia  $f_{OL}$
- Las cuadradas: tienen  $f_{OL}, 3f_{OL}; 5f_{OL}, 7f_{OL}; 9f_{OL}$ . A la salida:  $f_{OL} - f_1; f_{OL} + f_1; 3f_{OL} - f_1; 3f_{OL} + f_1; 5f_{OL} - f_1; 5f_{OL} + f_1; \dots$
- En caso de no estar bien balanceado a la salida aparecerán vestigios de  $f_{OL}$ .

# Modulador de DBL- Modulador Balanceado

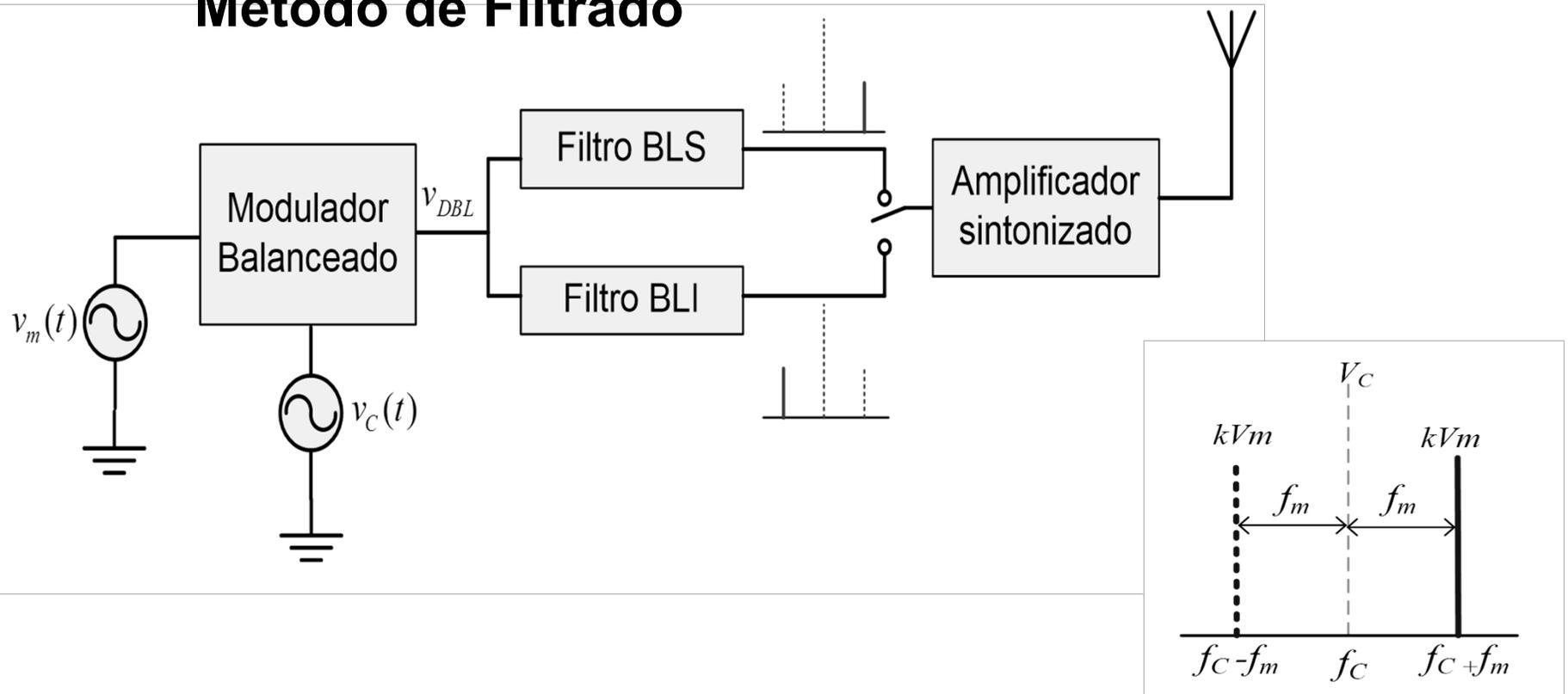
23

$$v_o(t) = v_{DBL}(t) = KV_m \cos(\omega_C + \omega_m)t + KV_m \cos|\omega_C - \omega_m|t$$



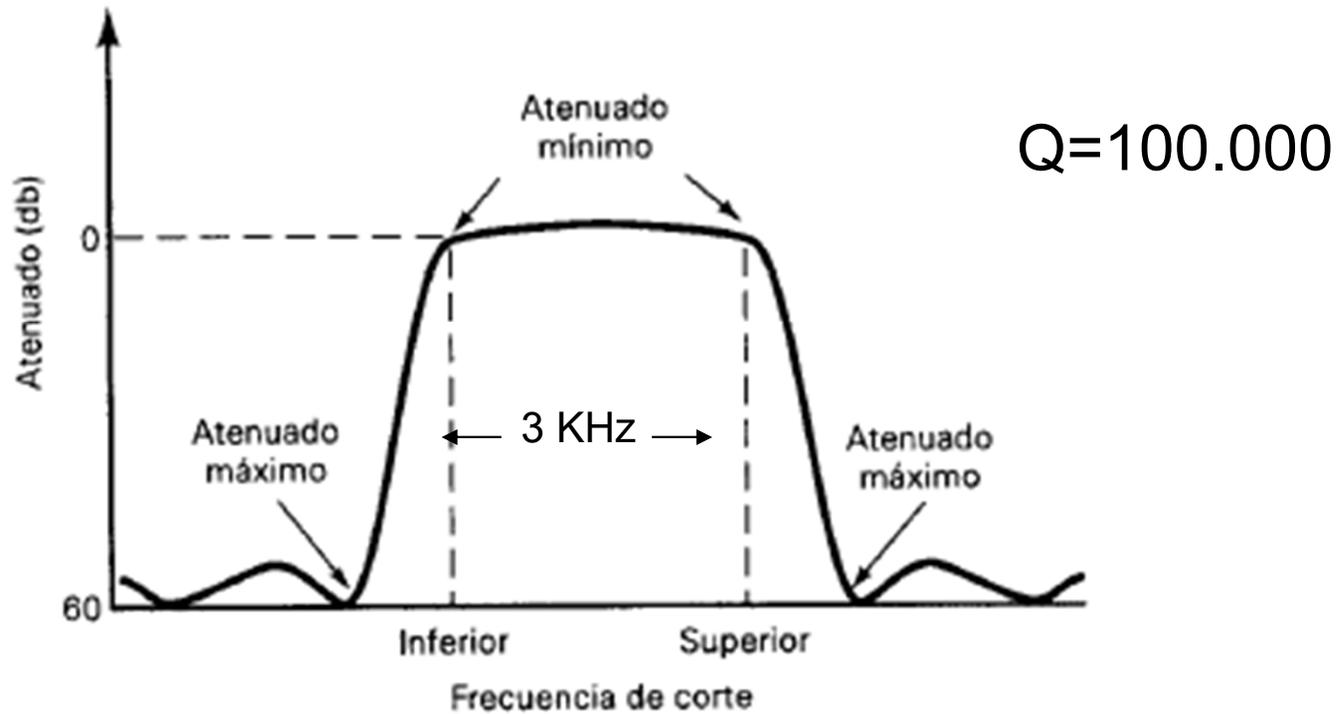
# Generación de Banda Lateral Única- BLU

## Método de Filtrado



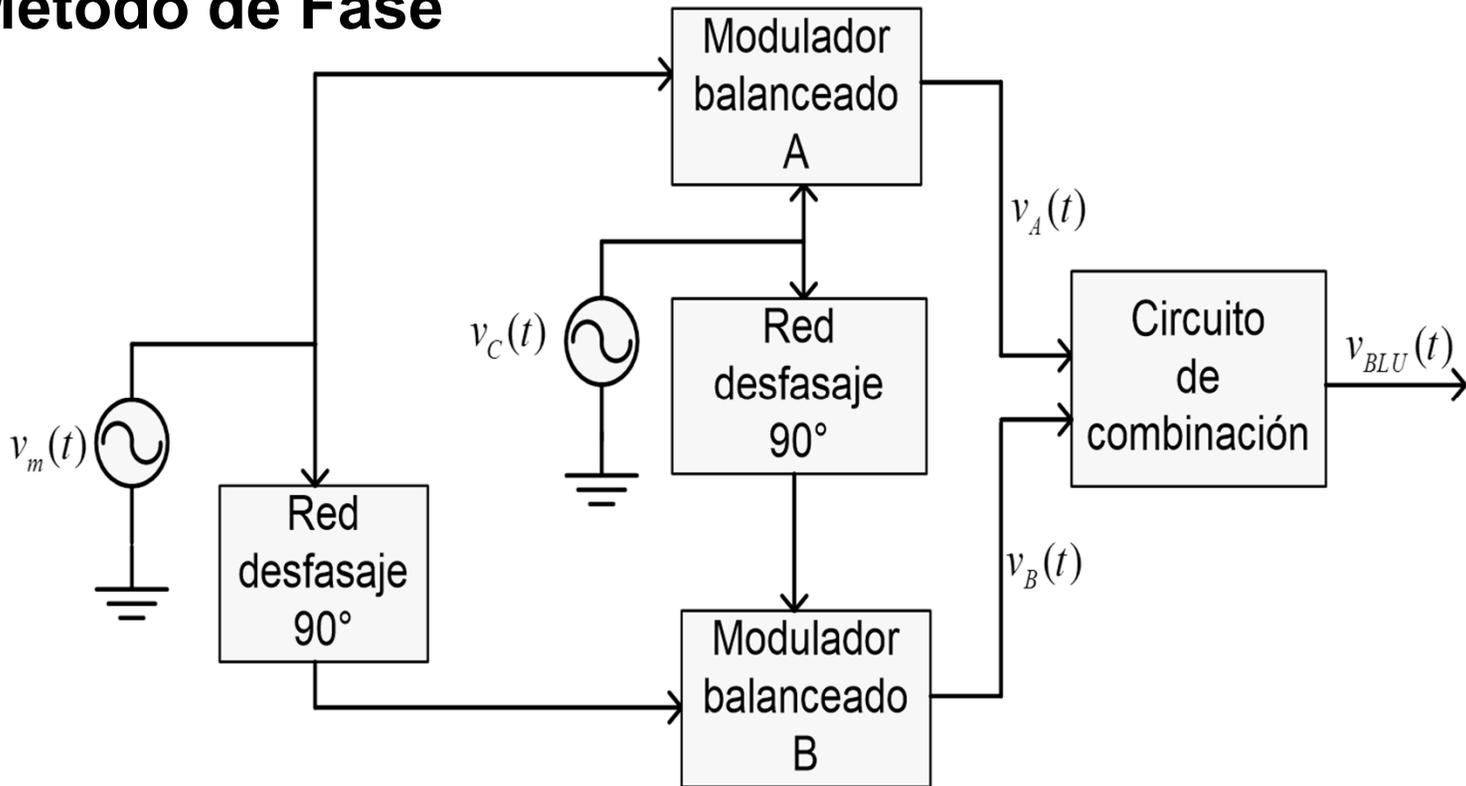
Características de los filtros: banda de paso de 3000 Hz (para uso en banda vocal) y atenuación en el lado de la frecuencia central debe tener una pendiente de por lo menos 40dB en 600Hz. Mecánicos, cristal, cerámicos

# Características de Filtros de cristal



# Generación de Banda Lateral Unica- BLU

## Método de Fase



Modulador Balanceado A:

$$\left. \begin{aligned} v_m(t) &= V_m \cdot \cos \omega_m t \\ v_c(t) &= V_c \cdot \cos \omega_c t \end{aligned} \right\} v_A(t) = k V_m V_c \cdot \cos \omega_m t \cdot \cos \omega_c t$$

# Generación de Banda Lateral Unica- BLU

Modulador balanceado B:

$$v_m(t) = V_m \cdot \text{sen} \omega_m t$$

$$v_c(t) = V_c \cdot \text{sen} \omega_c t$$

$$v_B(t) = kV_m V_c \cdot \text{sen} \omega_m t \cdot \text{sen} \omega_c t$$

Identidades geométricas

$$\cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$$

$$-\text{sen} \alpha \cdot \text{sen} \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta)]$$

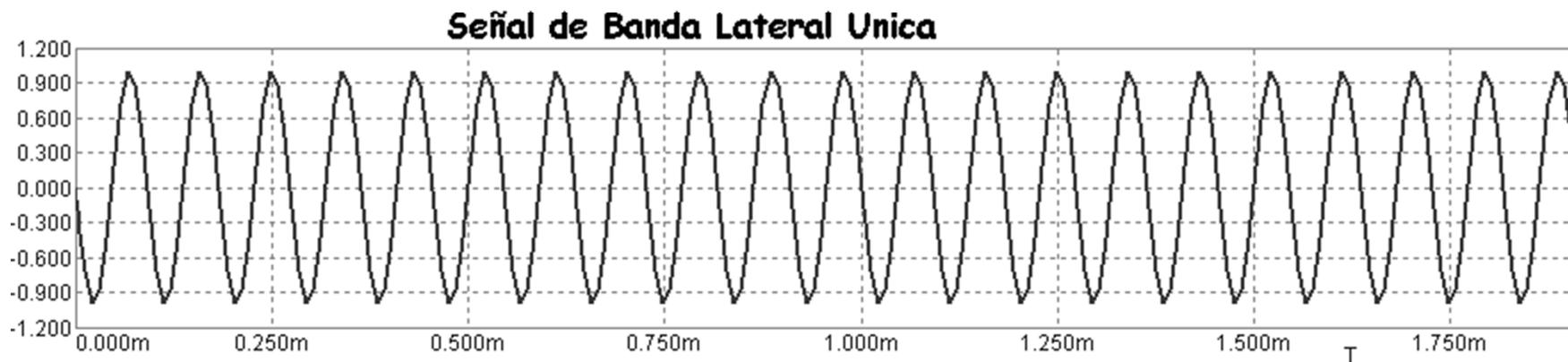
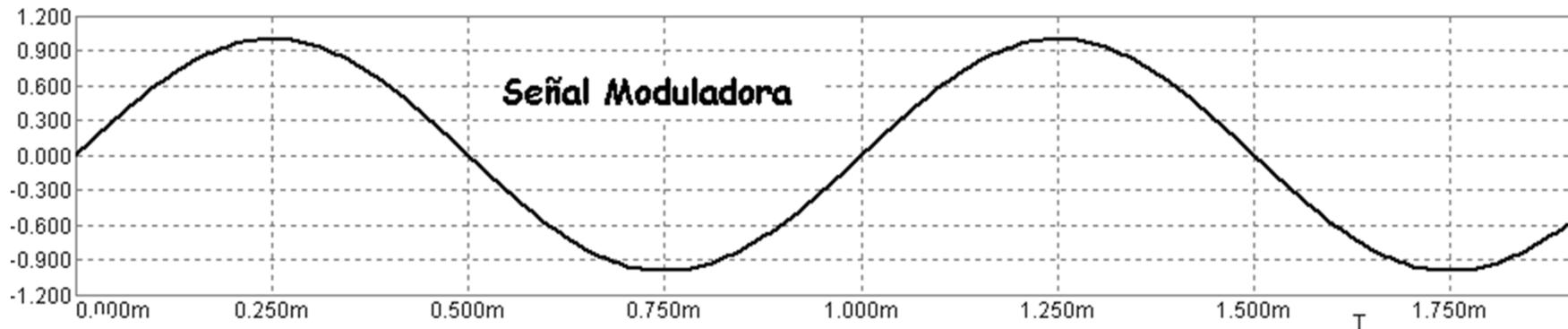
Entonces:

$$v_A(t) = kV_m [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t]$$

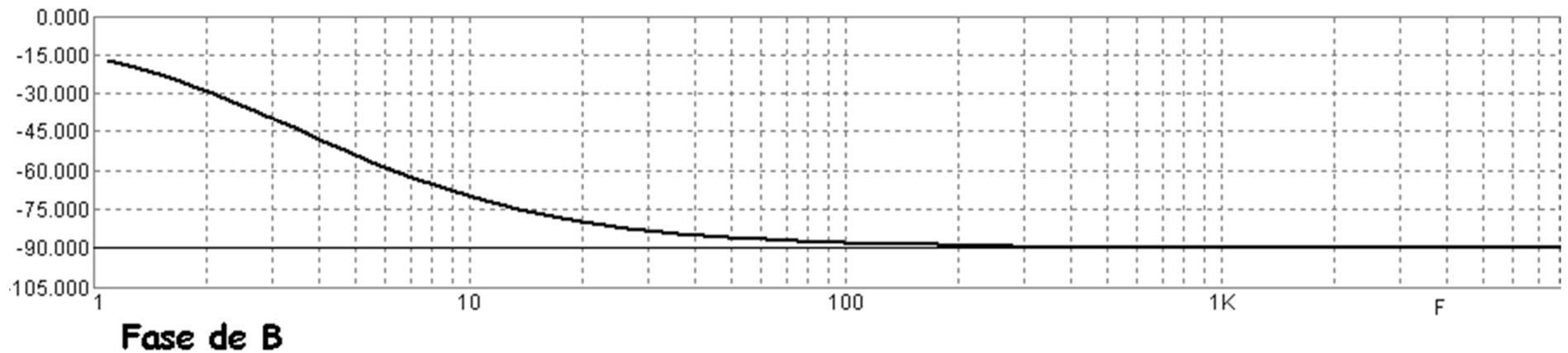
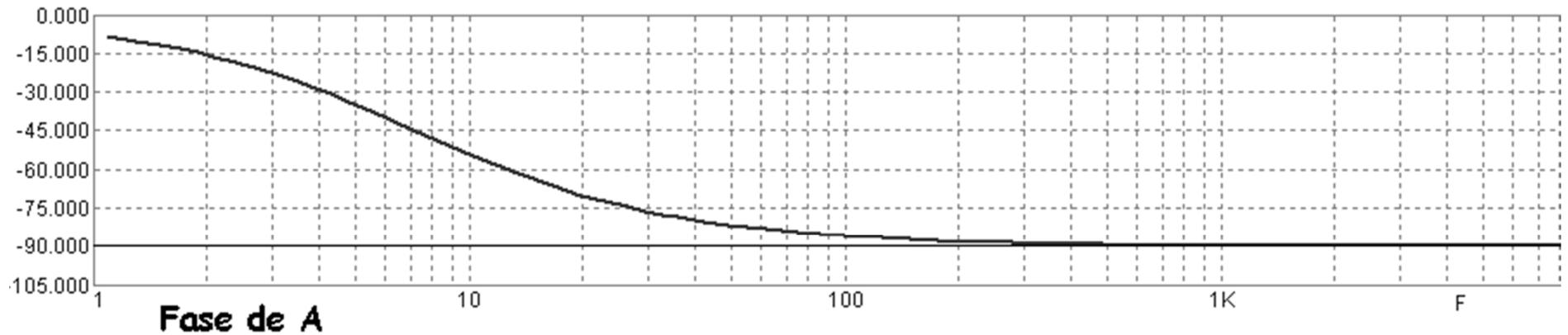
$$v_B(t) = -kV_m [\cos(\omega_c + \omega_m)t - \cos(\omega_c - \omega_m)t]$$

Entonces, si las tensiones se suman, a la salida del circuito de Combinación se obtiene una señal de BLI, y cuando se restan se obtendrá BLS.

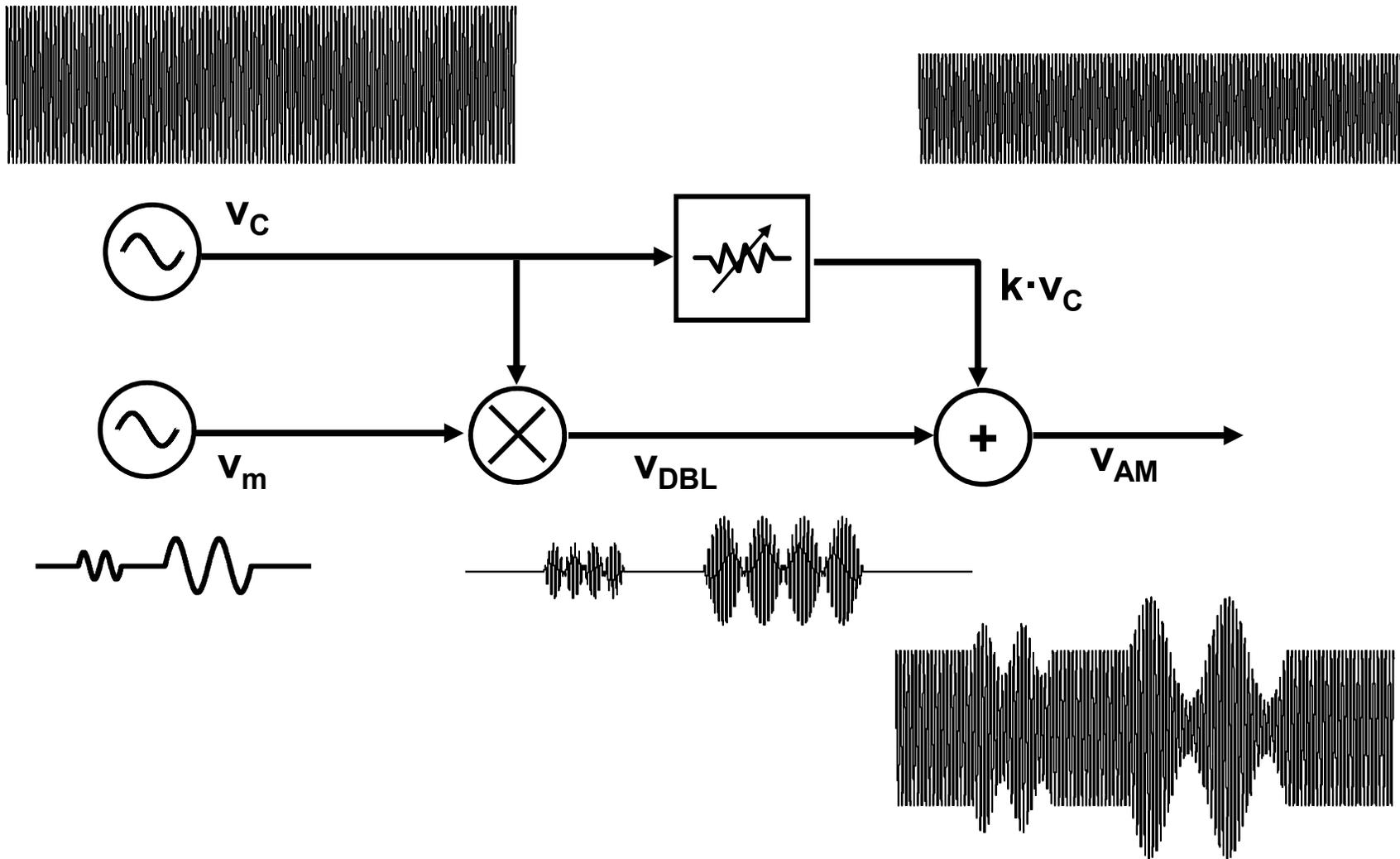
# Señales de AM- Banda Lateral Única - BLU



# Fase de las señales moduladas A y B



# Modulador de AM a partir de DBL



$$v_{DBL}(t) = kV_C + KV_m \cos(\omega_m + \omega_c)t + KV_m \cos(\omega_m - \omega_c)t$$

# Parámetros para la evaluación de un mezclador

31

## Ganancia de conversión:

$$A_c[dB] = 10 \log \frac{P_{FI}}{P_{RF}}$$

Se define con este nombre al cociente a la relación en decibeles entre la potencia de salida  $P_{FI}$  y la Potencia de entrada  $P_{RF}$ , la primera tiene su señal a la frecuencia de la frecuencia intermedia (frecuencia de salida del conversor) mientras que la segunda tiene las frecuencias de la señal de entrada.

## Transconductancia de conversión:

$$g_c = \frac{i_{FI}}{v_{RF}}$$

## Cifra de ruido

Es la relación entre la relación señal ruido en la entrada respecto a la salida, expresado en decibeles.

$$NF = \frac{SNR_{RF}}{SNR_{FI}}$$

# Parámetros para la evaluación de un mezclador

32

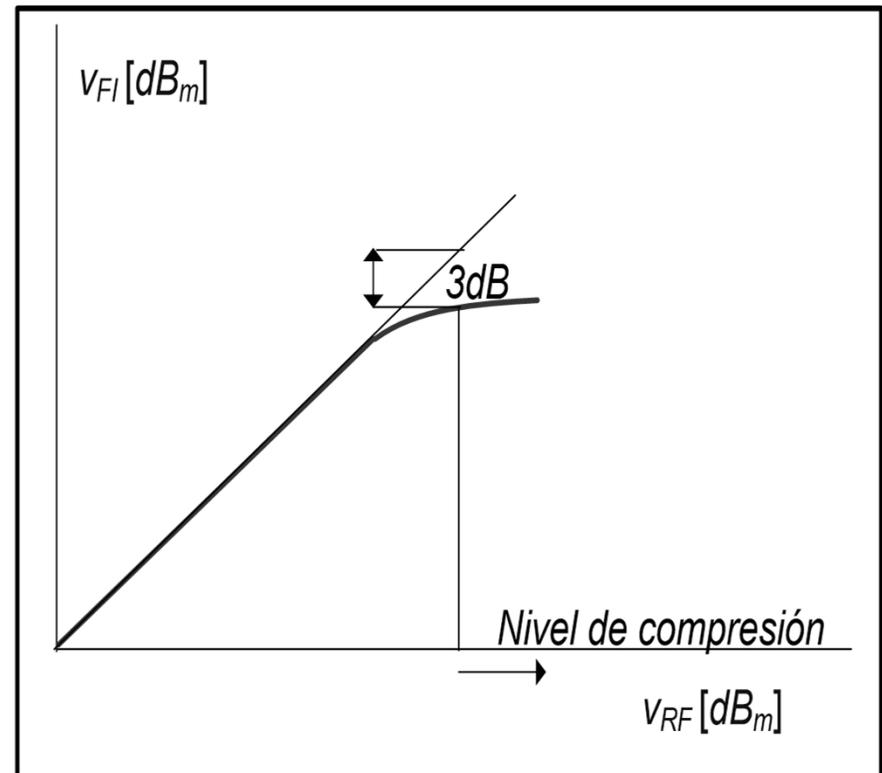
## Aislación

Atenuación que presenta de cada una de las señales sobre los otros dos puertos

## Compresión de conversión

Pérdida en dB de la señal de salida por debajo de la recta ideal.

La **compresión de conversión** se refiere al nivel de potencia de entrada RF arriba del cual la curva de potencia de salida FI vs potencia de entrada RF se desvía de la linealidad.



**Cuantitativamente, la compresión de conversión es la reducción del nivel de salida en dB abajo de la característica lineal.**

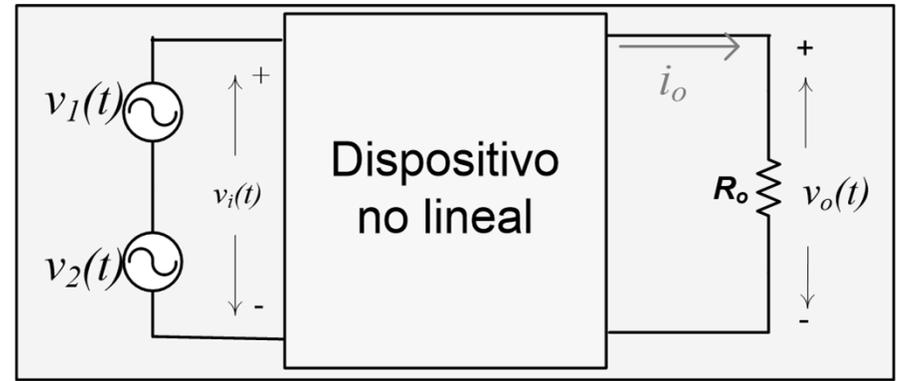
# Mezcladores

33

Si se usa TBJ en el amplificador y se polariza en zona no lineal, como el TBJ tiene curva cuadrática y cubica:

La corriente de salida  $i_o$  es:

$$i_o(t) = I_o + a v_i(t) + b v_i^2(t) + c v_i^3(t)$$



Término lineal:  $aV_1 \cos \omega_1 t + aV_2 \cos \omega_2 t v_i(t)$

Término cuadrático:  $\frac{1}{2} b V_1^2 \cos 2\omega_1 t + \frac{1}{2} b V_2^2 \cos 2\omega_2 t +$   
 $+ b V_1 V_2 \cos(\omega_1 + \omega_2) t + b V_1 V_2 \cos(\omega_1 - \omega_2) t$

Término cúbico:

$$c V_1^3 \cos \omega_1^3 t + c V_2^3 \cos \omega_2^3 t +$$

$$\frac{3}{4} c V_1^2 V_2 \cos(2\omega_1 + \omega_2) t + \frac{3}{4} c V_1 V_2^2 \cos(\omega_1 + 2\omega_2) t +$$

$$\frac{3}{4} c V_1^2 V_2 \cos(2\omega_1 - \omega_2) t + \frac{3}{4} c V_1 V_2^2 \cos(2\omega_2 - \omega_1) t$$

La salida del mezclador contiene una cantidad infinita de frecuencias armónicas y de producto cruzado, que incluyen las frecuencias de suma y diferencia entre la portadora deseada de RF y la del OL:  $i_o(t) = I_o + a v_i(t) + b v_i^2(t) + c v_i^3(t) + \dots$

$$c v_i^3(t) = c v_1^3 + 3 v_1^2 v_2 + 3 v_1 v_2^2 + c v_2^3 \Rightarrow 3f_1; 3f_2; 2f_1 + f_2; 2f_1 - f_2; 2f_2 + f_1; 2f_2 - f_1$$

- Los *productos de tercer orden* caen con frecuencia dentro del ancho de banda del sistema, y producen una distorsión llamada *distorsión de intersección de tercer orden*.
- La distorsión de tercer orden es un caso especial de la distorsión por intermodulación, y es la forma principal de distorsión de frecuencia.
- También se debe considerar los componentes de intermodulación de tercer orden: frecuencias de producto cruzado que se producen cuando la segunda armónica de una señal se suma a la frecuencia fundamental de otra señal
- La distorsión de frecuencia se puede reducir usando un *dispositivo de ley cuadrada*, como un FET. Los dispositivos de ley cuadrada sólo producen componentes de segunda armónica y de intermodulación

**La respuesta espuria son señales en FI no deseadas, que aparecen a la salida, debido a la presencia de determinadas señales a la entrada del mezclador.**

Estas componentes no deseadas pueden ser:

- Provenir directamente de la antena (si no hay etapa selectora de RF)
- Producidas por la alinealidad del amplificador de RF.
- Producidas por el mismo mezclador
- Provenir de armónicas del oscilador local

## Ejemplo:

Las fuentes de mayor interferencia no deseada son:

1.  $f_{RF} = f_{FI}$

2. Si en la entrada hay una señal con frecuencia  $f_{RF}/2$ . Esta se duplicarán por efectos del término cuadrático y combinarse con  $f_{OL}$  dando un término de frecuencia FI (que no será la deseada).

3. Si a la entrada hay una señal de frecuencia  $f_{RI}/2$ , esta se duplica por efecto del término cuadrático.

4. Si el oscilador local produce una segunda armónica de frecuencia  $2f_{OL}$ ; se puede batir con alguna señal, presente en la entrada, de (valor) frecuencia  $f_{OL} \pm f_{RI}$ , produciendo a la salida una señal de frecuencia  $f_{RI}$ .

5. Frecuencia imagen

# Respuesta Espúrea: Frecuencia imagen

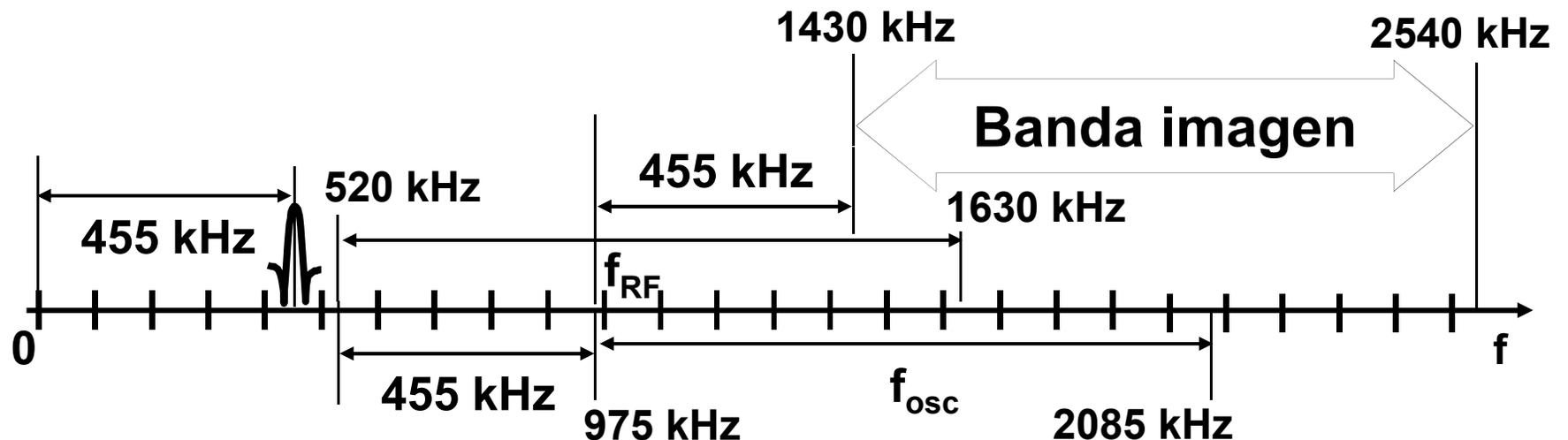
Se plantea la siguiente situación:

- Suponga que se desea escuchar la emisora que emite en 530KHz:  $f_c = 530$  KHz. Esta ingresa al mezclador y se bate (heterodina) con la señal del oscilador local que tiene valor  $f_{OL} = 985$  KHz (inyección superior)
- En el mezclador:  $f_{OL} - f_c = FI$  , saliendo del mezclador 455KHz
- Una segunda estación que emite a  $f_{c2} = 1440$  KHz, también ingresa al receptor y se bate con el OL:

$$f_{OL} - f_{c2} = 985\text{KHz} - 1440\text{KHz} = 455\text{KHz} \Rightarrow FI$$

■  $f_{c2} = f_{im}$

→  $f_{im} = f_c + 2FI = f_{OL} + FI$  *Muy importante!!*



- Es cualquier otra frecuencia que no sea la portadora de la emisora seleccionada que, si se le permite entrar a un receptor y mezclarse con el oscilador local, producirá una frecuencia de producto cruzado que es igual a la frecuencia intermedia.
- **Una vez que una frecuencia imagen a ingresado al mezclador y mezclado, no puede eliminarse por filtración o supresión.**
- Si la portadora de RF seleccionada y su frecuencia imagen entran a un receptor, las dos estaciones se reciben y se demodulan simultáneamente, produciendo dos conjuntos de frecuencias de información.
- La frecuencia imagen está FI por arriba del OL si este es de inyección superior.
- Se puede demostrar que si el OL es de inyección inferior la frecuencia imagen está a FI por debajo del OL:

$$\text{Si } f_{OL} = f_c - FI \Rightarrow f_{im} = f_c - 2FI = f_{OL} - FI$$

Todas estas señales, los 5 casos:

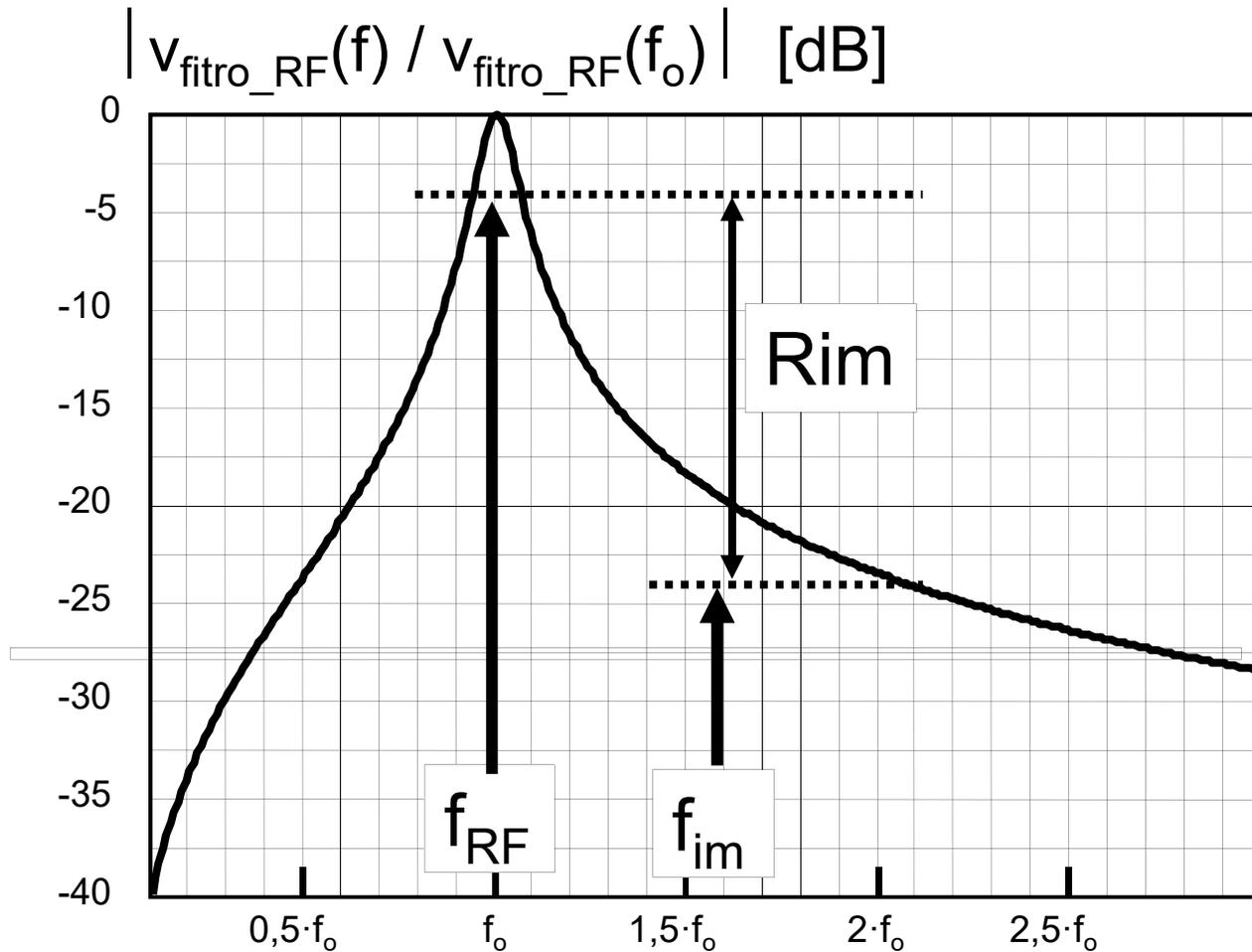
$$f_{RI}; \quad f_{RF}/2; \quad f_{RI}/2; \quad 2f_{OL}; \quad f_i$$

deberán ser rechazadas antes de ingresar al mezclador, o sea debe impedir el ingreso de señales con las frecuencias mencionadas al mezclador, ya que el filtro del mismo y las etapas posteriores no podrían discriminarlas.

Esto indica que la etapa anterior al mezclador deberá tener una buena selectividad y linealidad. Esta etapa es el amplificador de RF.

En el amplificador de RF esto se medirá como rechazo, por ejemplo, el rechazo a la frecuencia imagen será:

## Rechazo a la frecuencia imagen- Rim



$$R_{Im} = \frac{A_O}{A_{FI}} = \sqrt{1 + Q_C^2 \left( \frac{f_0}{f_i} - \frac{f_i}{f_0} \right)^2}$$

Valor deseable de Rechazo es  $R_{Im} \geq 60\text{dB}$ .