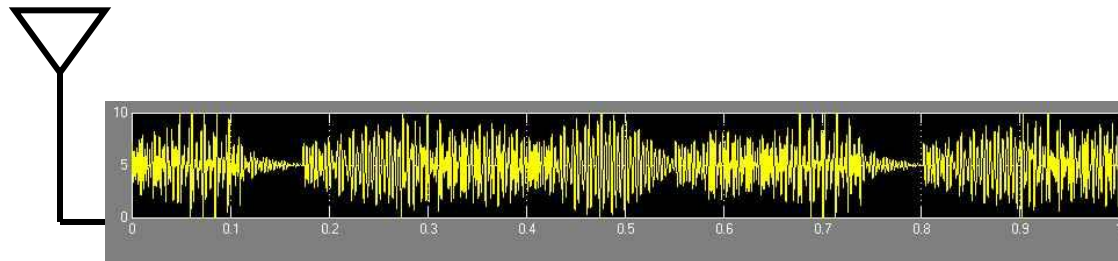
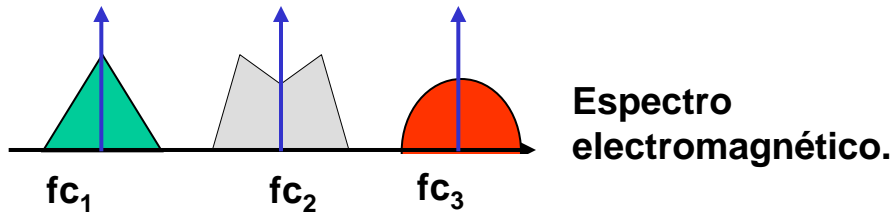


4. El receptor superheterodino.

Problema en “broadcasting”: al receptor de radio o de TV **llegan todos los canales (emisoras) simultáneamente**.

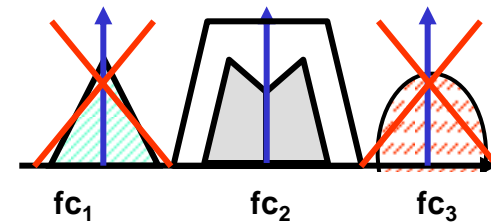
El equipo Rx debe sintonizarse con la emisora particular que interesa escuchar o ver.



Señal eléctrica generada en la antena, suma de todos los canales.

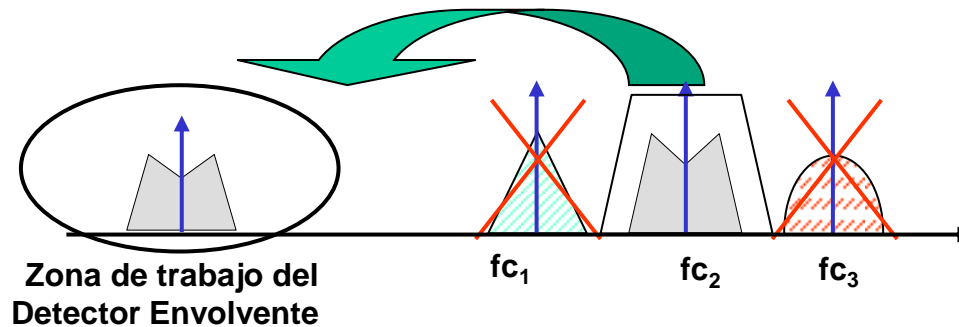
Con un filtro pasabanda sintonizable podremos seleccionar el canal / emisora deseado, pero éste seguirá centrado en la frecuencia de su portadora.

El detector de envolvente trabaja correctamente para una frecuencia central concreta, no para todo el conjunto de emisoras que están emitiendo. **¿Un detector de envolvente para cada emisora?**



4.1 La solución.

SOLUCIÓN: debemos mover el canal seleccionado a una frecuencia concreta donde trabajará el demodulador de envolvente correctamente diseñado. Sabemos que la forma de mover espectros es multiplicando por un tono.



Sea f_c la frecuencia portadora del canal que se desea demodular y f_{local} una frecuencia generada internamente en el receptor según el usuario.

Al efectuar el producto, el espectro aparecerá repetido en:

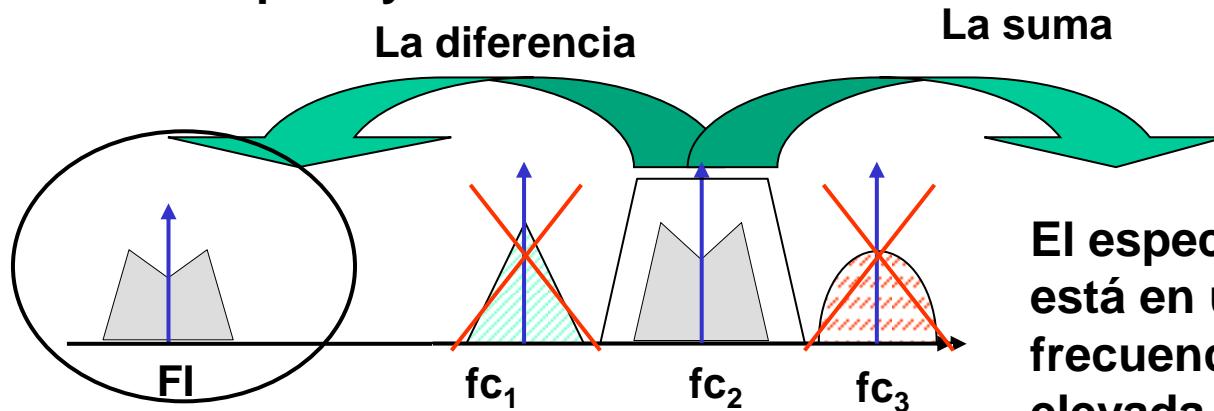
$$\text{SUMA} \quad = (f_c + f_{local})$$

$$\text{DIFERENCIA} \quad = (f_c - f_{local})$$

4.1 La solución.

Sea $f_{\text{local}} = f_c + FI \Rightarrow$ el espectro aparece en $(2 \cdot f_c + FI)$ y FI .

FI = “Intermediate Frequency”

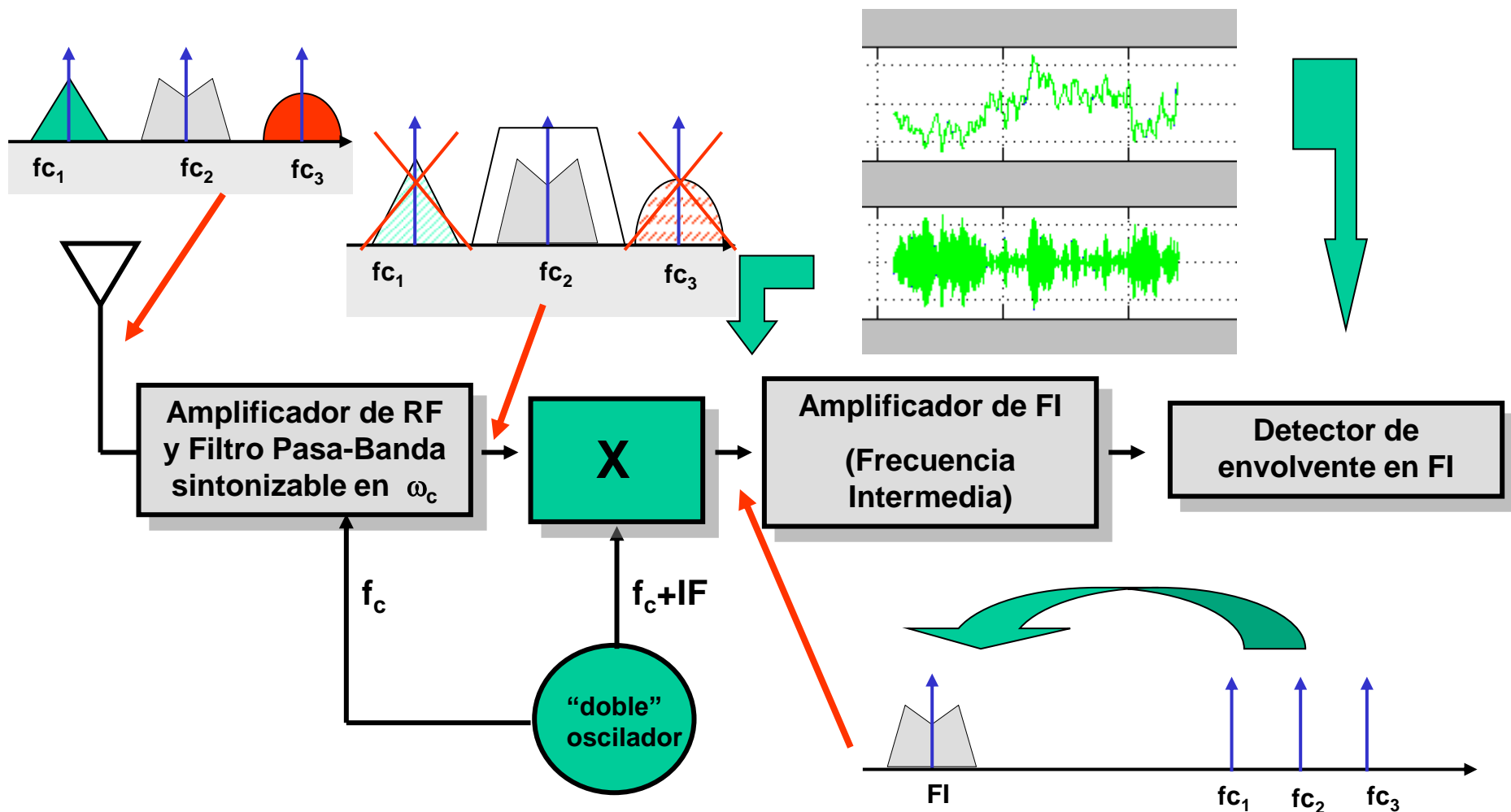


El espectro DIFERENCIA está SIEMPRE en FI . El detector de envolvente se diseña para trabajar alrededor de esta frecuencia.

El espectro suma está en una frecuencia muy elevada que será eliminado por algún filtro.

Con un condensador variable podemos cambiar la frecuencia de oscilación del circuito (VCO)

4.2 Diagrama completo del receptor superheterodino.



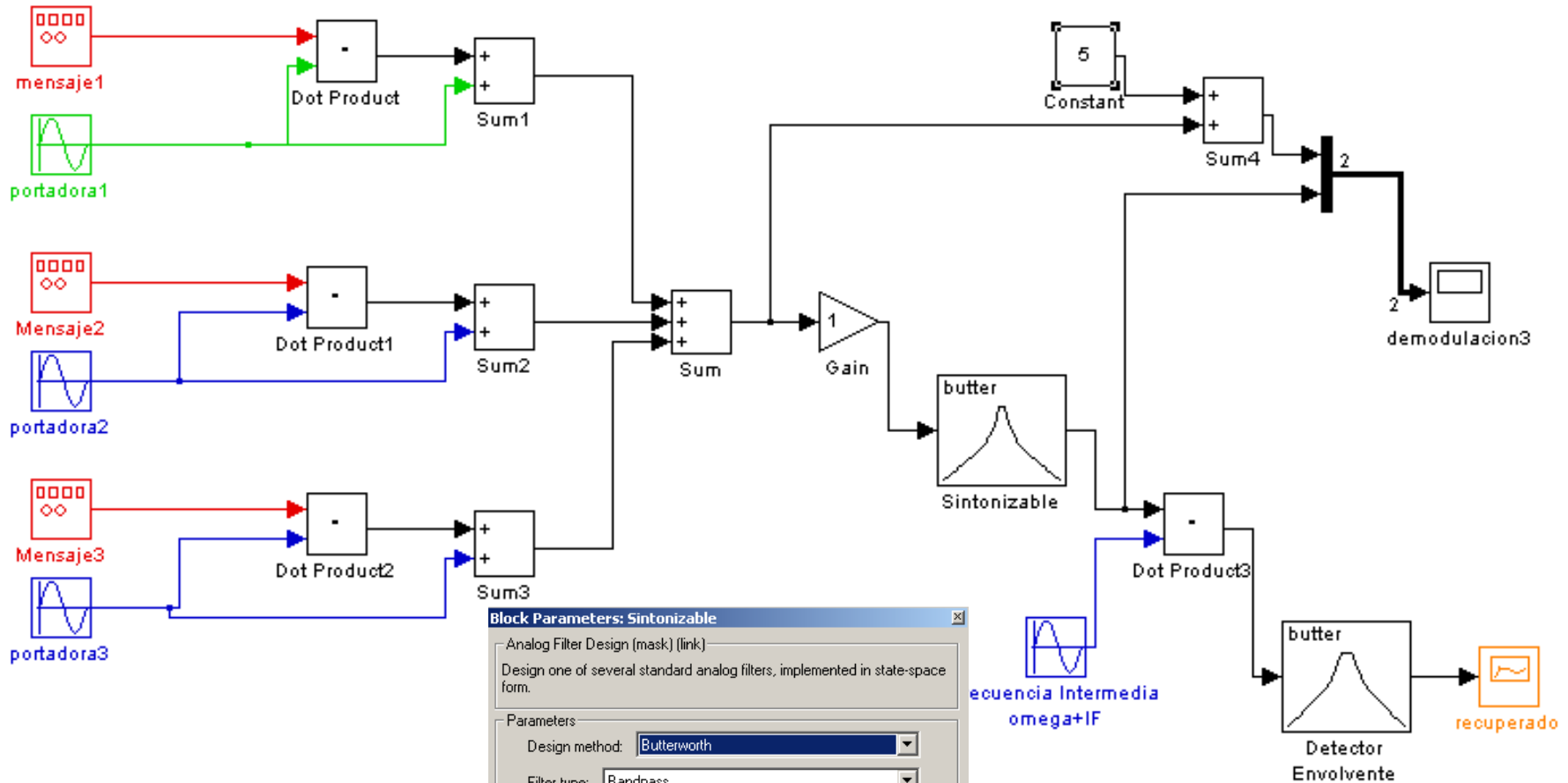
RX genera simultáneamente dos frecuencias:
 f_c actuará sobre BPF sintonizable.
 $f_c + FI$ sobre el resultado del filtrado

Generalmente:

$FI = 455 \text{ KHz}$ para la banda AM = 540-1640 KHz.

$FI = 10.7 \text{ MHz}$ en la banda FM.

4.3 MATLAB: receptor superheterodino.



Block Parameters: Sintonizable

Analog Filter Design (mask) (link)

Design one of several standard analog filters, implemented in state-space form.

Parameters:

Design method: **Butterworth**

Filter type: **Bandpass**

Filter order: **8**

Lower passband edge frequency (rads/sec): **omega-200**

Upper passband edge frequency (rads/sec): **omega+200**

OK Cancel Help Apply

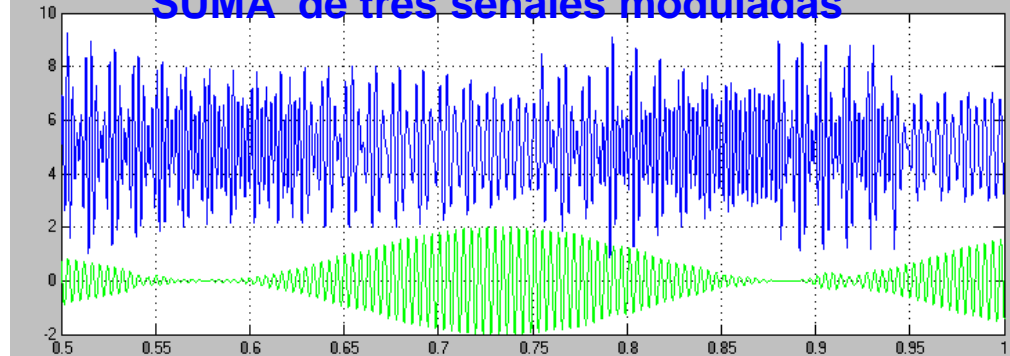
$$\omega_{c1} = 1500 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{c2} = 2000 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{c3} = 2500 \text{ rad/s}$$

4.3 MATLAB: receptor superheterodino.

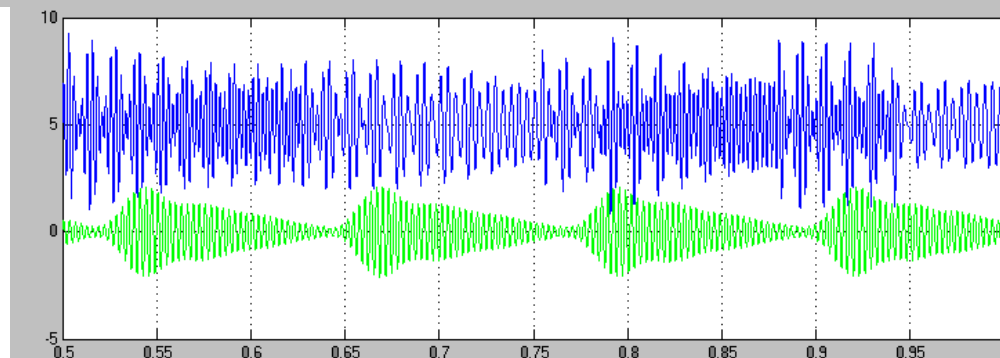
SUMA de tres señales moduladas



$$\omega_{\text{local}} = 1500 \text{ rad/s}$$

Canal 1 demodulado

Time offset: 0

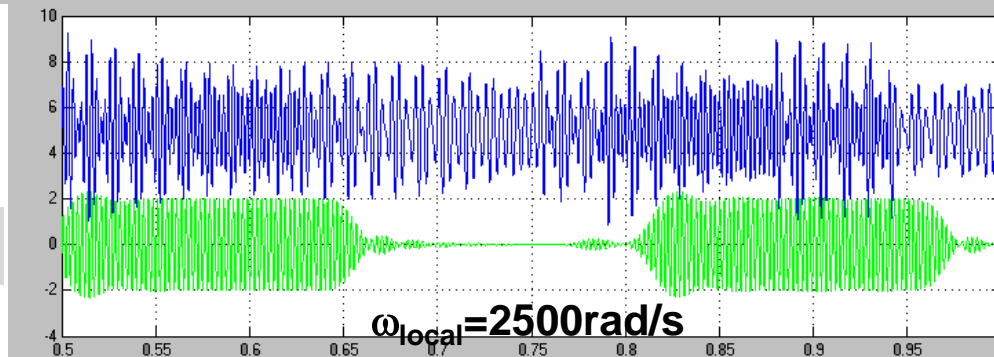


$$\omega_{\text{local}} = 2000 \text{ rad/s}$$

Canal 2 demodulado

Time offset: 0

Canal 3 demodulado



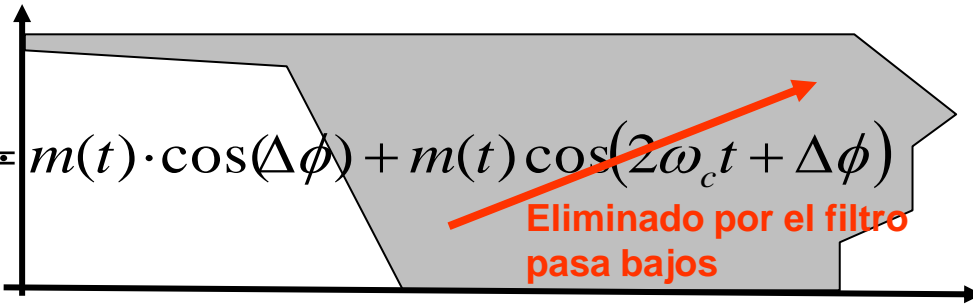
$$\omega_{\text{local}} = 2500 \text{ rad/s}$$

Time offset: 0

5. Multiplexado en cuadratura: **modulación QAM**

OBJETIVO: transmitir dos señales diferentes, superpuestas en la misma frecuencia portadora y sin ocupar más ancho de banda.

Recordemos el problema del desfase de la portadora LOCAL en la detección coherente en la DSB-SC.

$$\underbrace{[m(t) \cdot \cos \omega_c t]}_{\text{TX}} \times \underbrace{\cos(\omega_c t + \Delta\phi)}_{\text{RX}} = \dots = m(t) \cdot \cos(\Delta\phi) + m(t) \cos(2\omega_c t + \Delta\phi)$$


El caso más desfavorable es $\Delta\phi=90^\circ$, cuya salida es CERO.

$$\underbrace{[m(t) \cdot \cos \omega_c t]}_{\text{TX}} \times \underbrace{\cos\left(\omega_c t + \frac{\pi}{2}\right)}_{\text{RX}} = [m(t) \cdot \cos \omega_c t] \times \text{sen}(\omega_c t) = 0$$

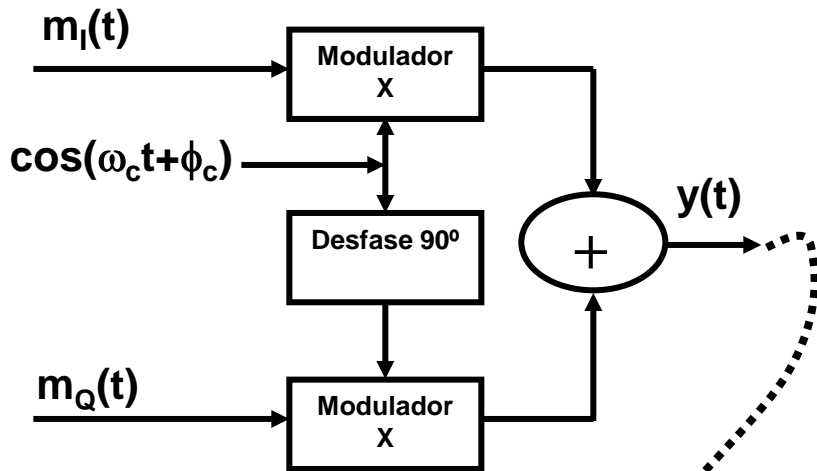
Más filtro pasa-bajos

Un desfase de 90° equivale a multiplicar por $\text{sen}(\omega_c t)$

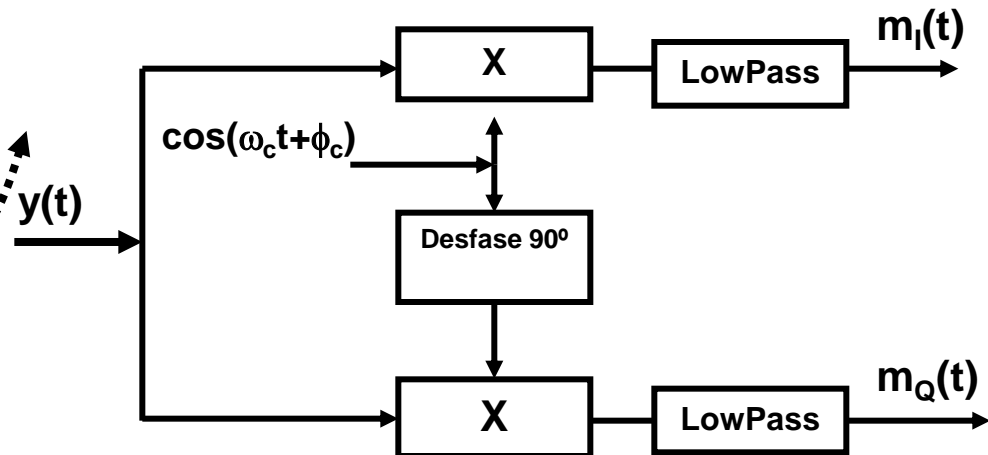
5.1 Modulación QAM

Sean **DOS MENSAJES**, $m_I(t)$ y $m_Q(t)$, con igual ancho de banda.

Construimos la señal:
$$y(t) = m_I(t) \cos(2\pi f t + \phi_c) + m_Q(t) \sin(2\pi f t + \phi_c)$$



Dos mensajes con modulación DSB-SC con portadoras de igual frecuencia y desfasadas 90°.

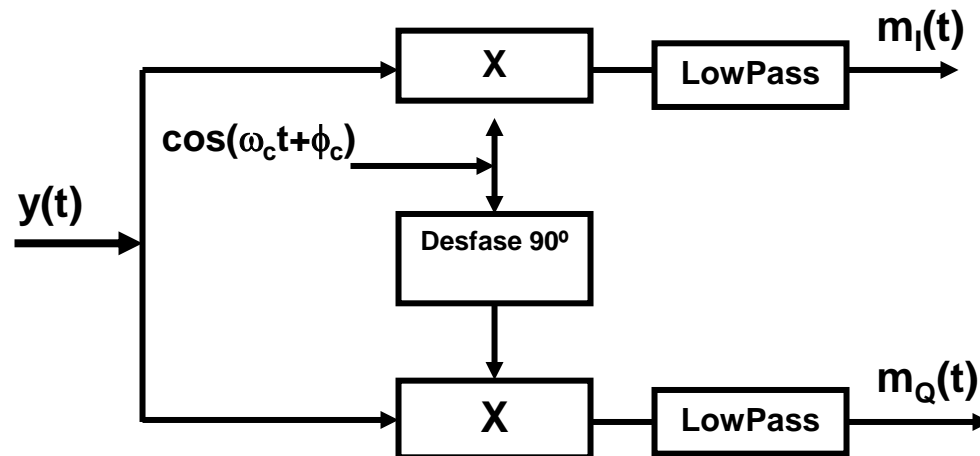


5.1 Modulación QAM

$$y(t) = m_I(t) \cos(2\pi f t + \phi_c) + m_Q(t) \sin(2\pi f t + \phi_c)$$

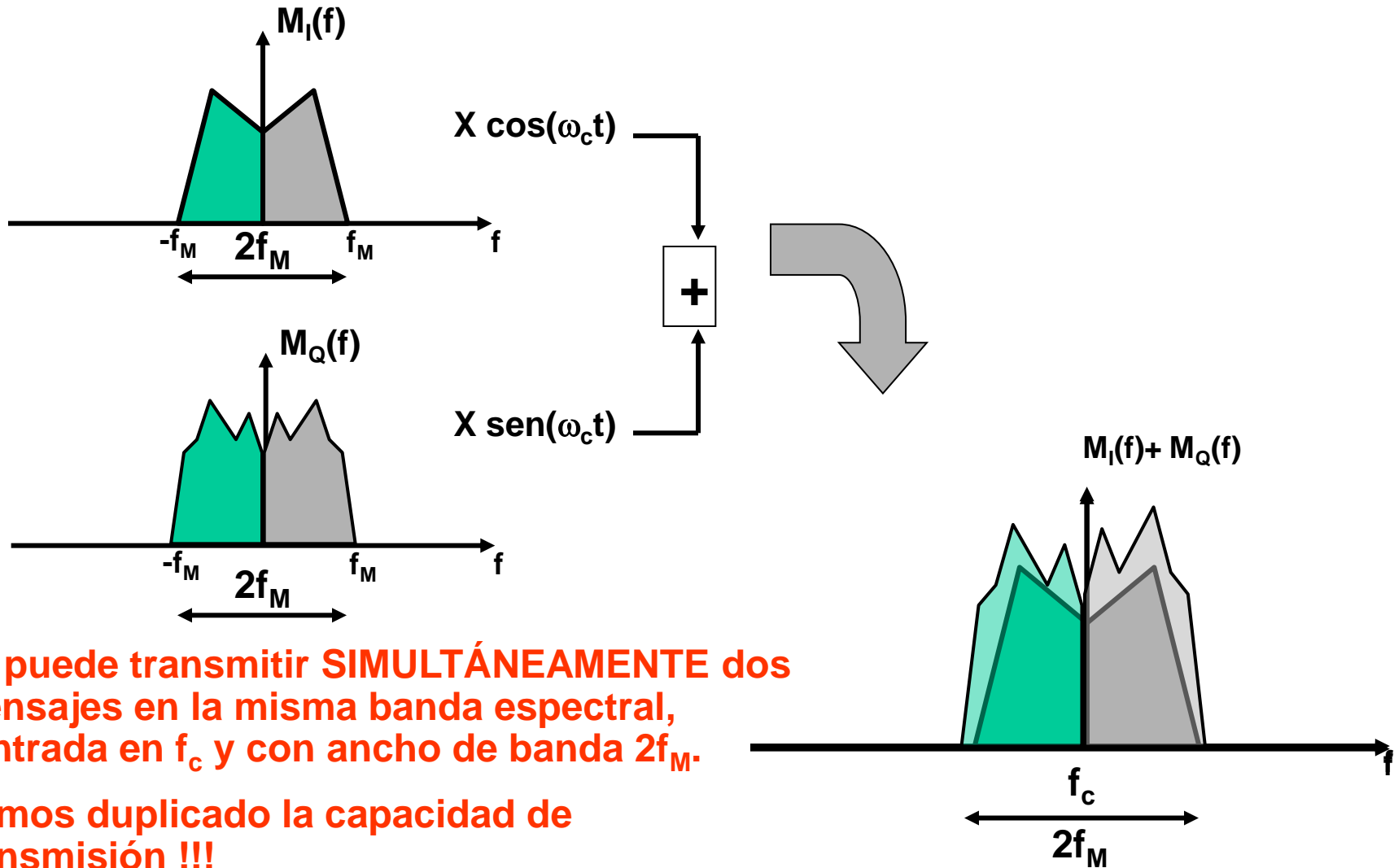
A la salida de la rama superior se tiene:

$$\begin{aligned}
 y(t) &= [m_I(t) \cos(2\pi f_c t) + m_Q(t) \sin(2\pi f_c t)] \cdot \cos(2\pi f_c t) = \\
 &= m_I(t) \cos^2(2\pi f_c t) + m_Q(t) \cos(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_c t) = \\
 &= m_I(t) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(2 \cdot 2\pi f_c t) \right] + m_Q(t) \cos(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_c t)
 \end{aligned}$$



La demostración para la rama inferior es análoga.

5.2 Modulación QAM en f.



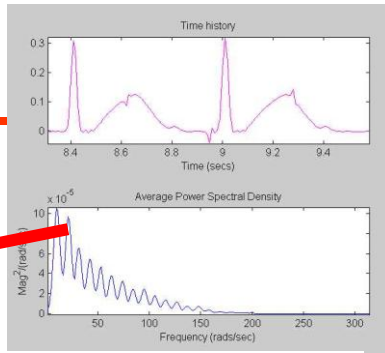
Se puede transmitir **SIMULTÁNEAMENTE** dos mensajes en la misma banda espectral, centrada en f_c y con ancho de banda $2f_M$.

Hemos duplicado la capacidad de transmisión !!!

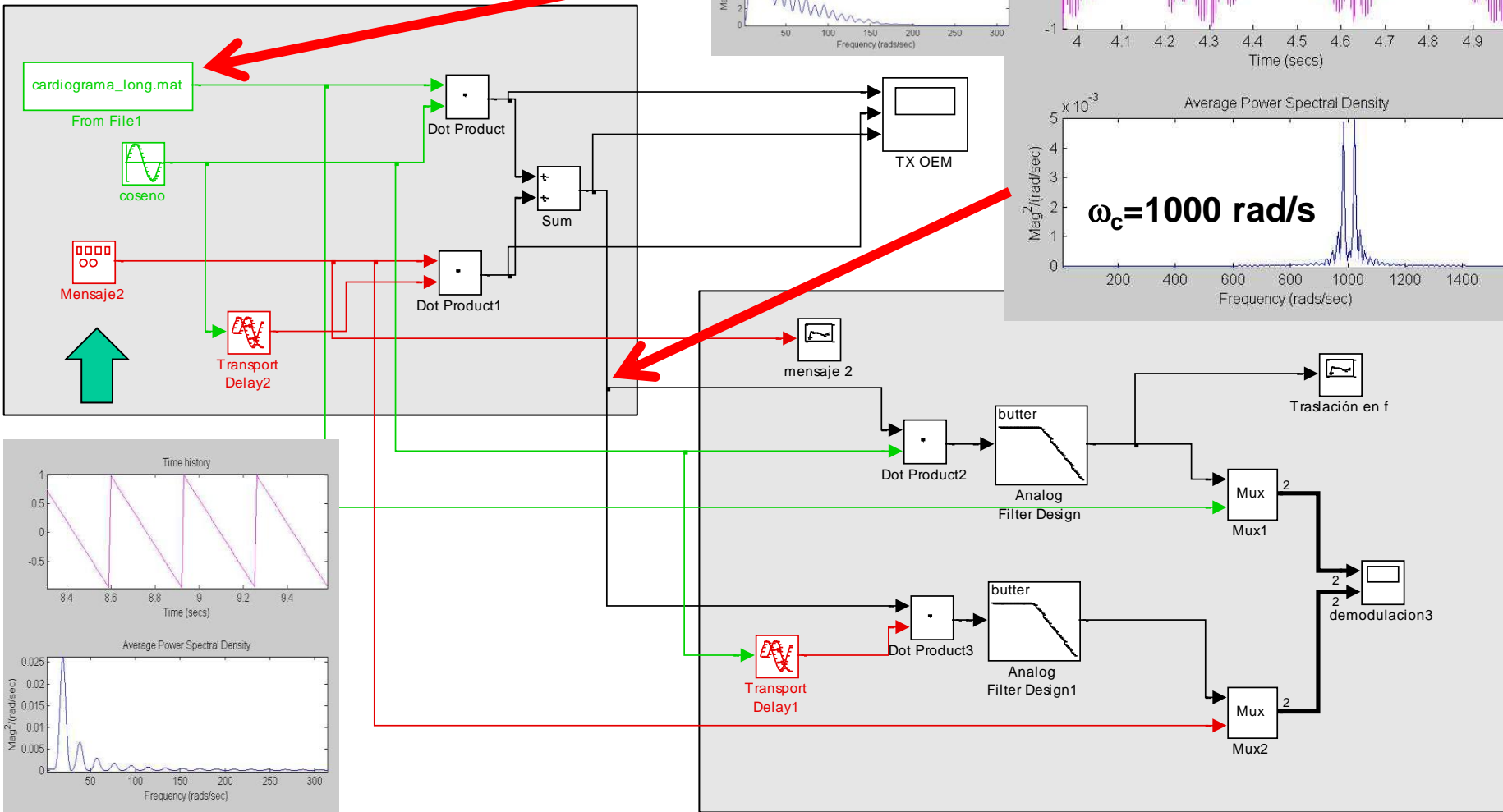
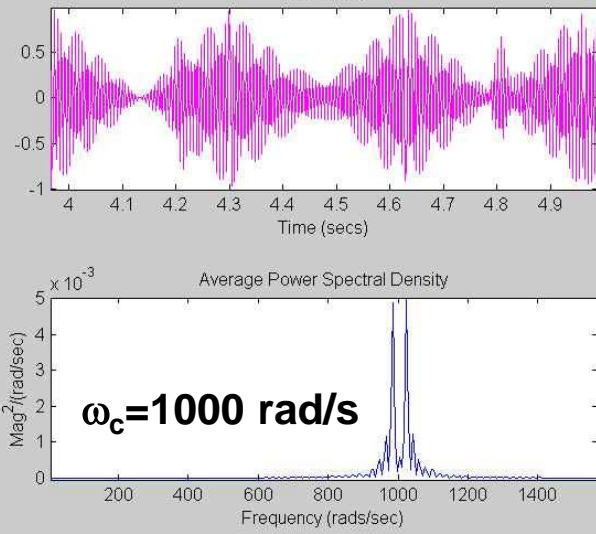
Problema: sincronización y fase del oscilador local !!!

5.3 Ejemplo QAM - MATLAB

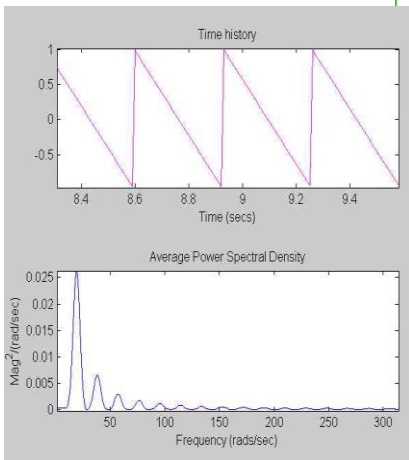
Mensaje 1 BB



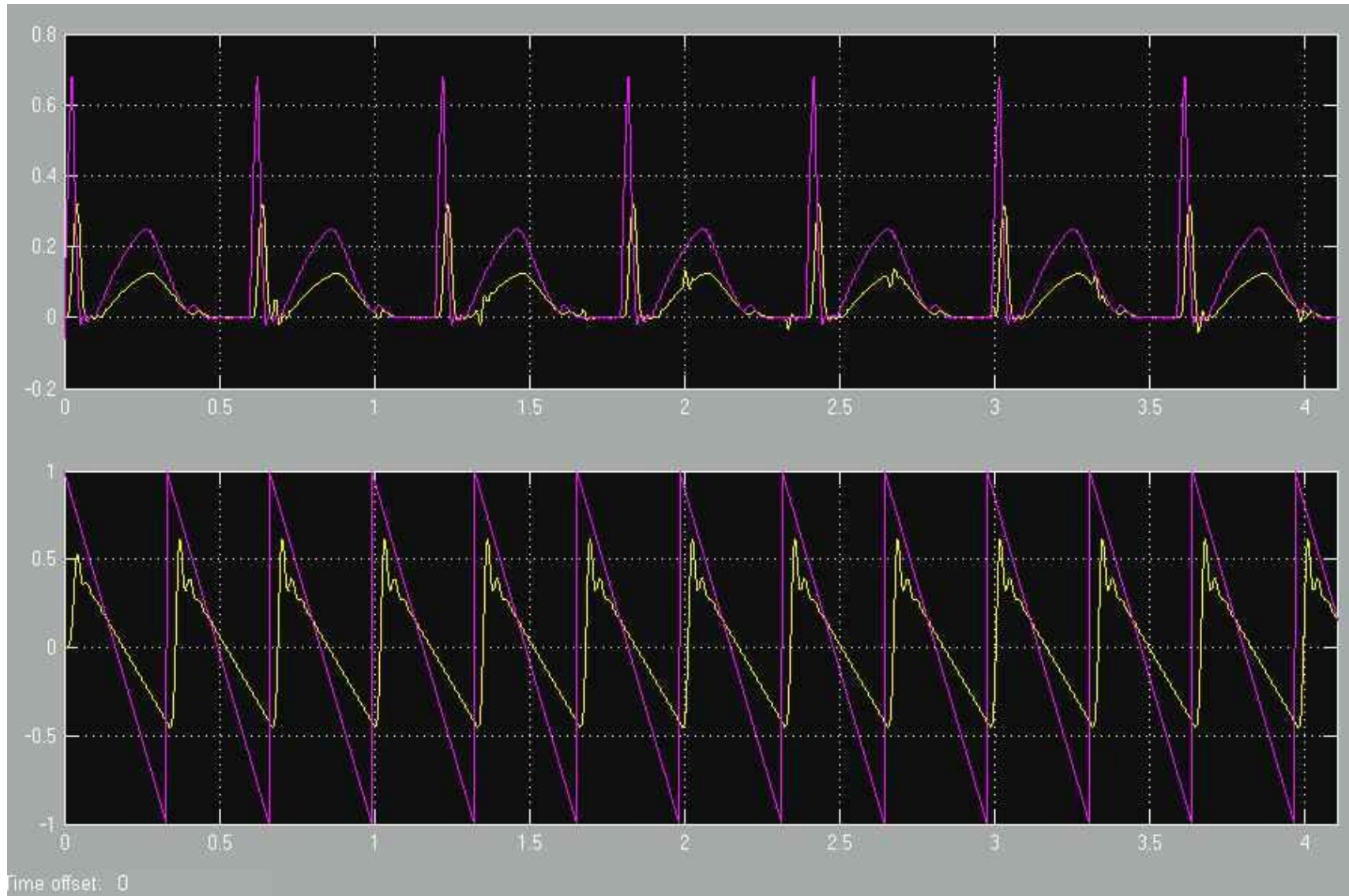
Mensaje QAM



Mensaje 2 BB



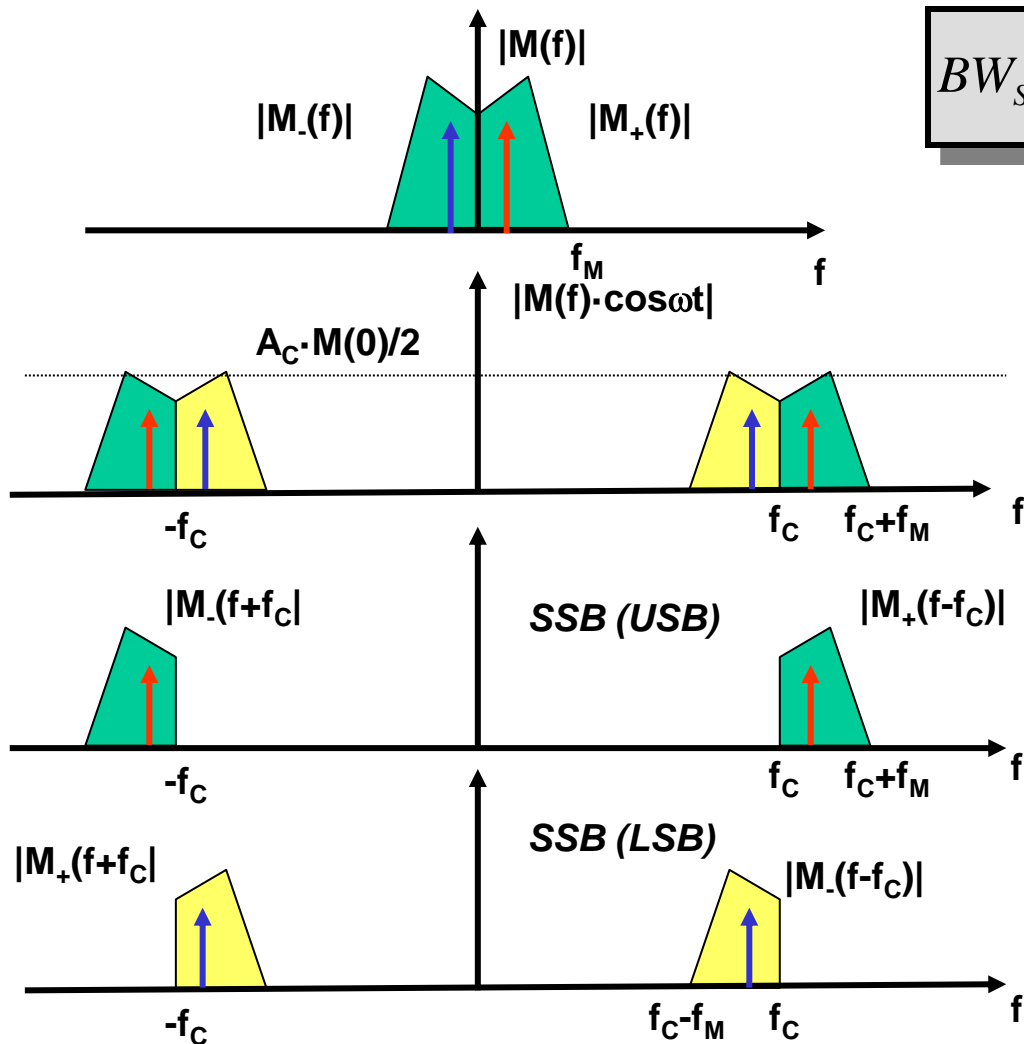
5.3 Ejemplo QAM - MATLAB



6. Modulación SSB: Single-Side-Band

Para reducir el ancho de banda basta transmitir sólo una de las bandas laterales (USB o LSB)

$$BW_{SSB} = \frac{1}{2} BW_{DSB-SC} = \frac{1}{2} BW_{AM}$$



Se puede recuperar mensaje ??

Razonamos para un tono ω particular del espectro del mensaje:

TX: $\cos(\omega t) \times \cos(\omega_c t) =$

$$\cos[(\omega + \omega_c)t] + \cos[(\omega - \omega_c)t]$$

filtro USB

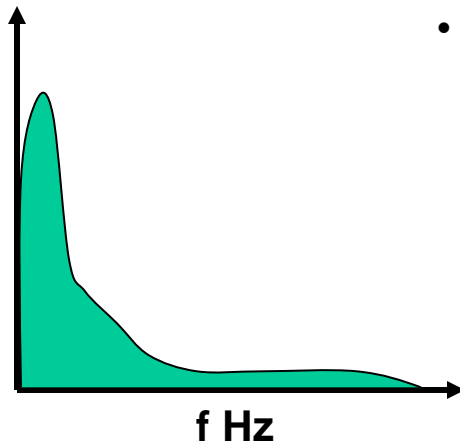
~~NO LSB !!~~

RX: $\cos[(\omega + \omega_c)t] \times \cos(\omega_c t) =$

$$\cos[(\omega + 2\omega_c)t] + \cos[\omega t]$$

Filtro f_{MAX}

6.1 Modulación SSB en varias etapas.



- **Dificultad de implementar:**

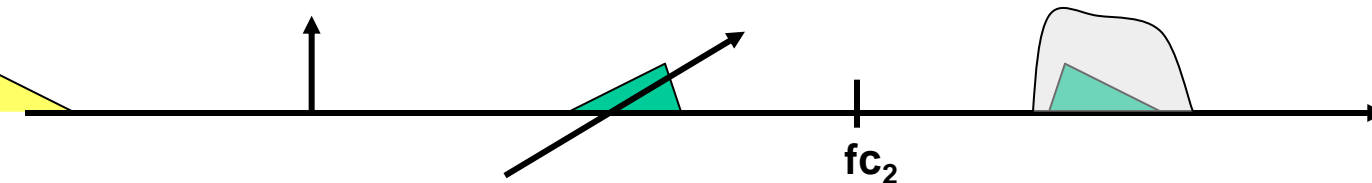
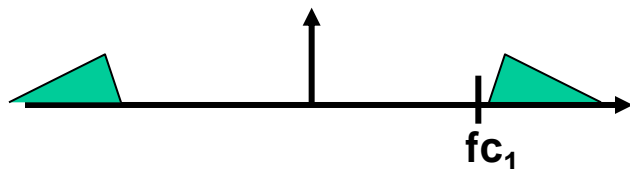
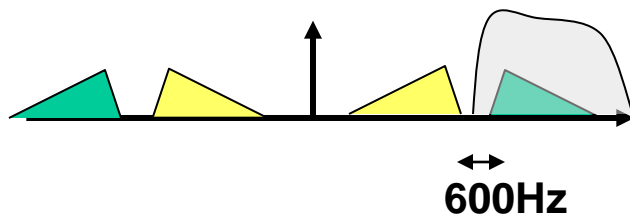
- Uso de filtros de “*corte exacto*”.

- El mensaje debe tener poca o nula energía a bajas frecuencias (ej. voz y música)

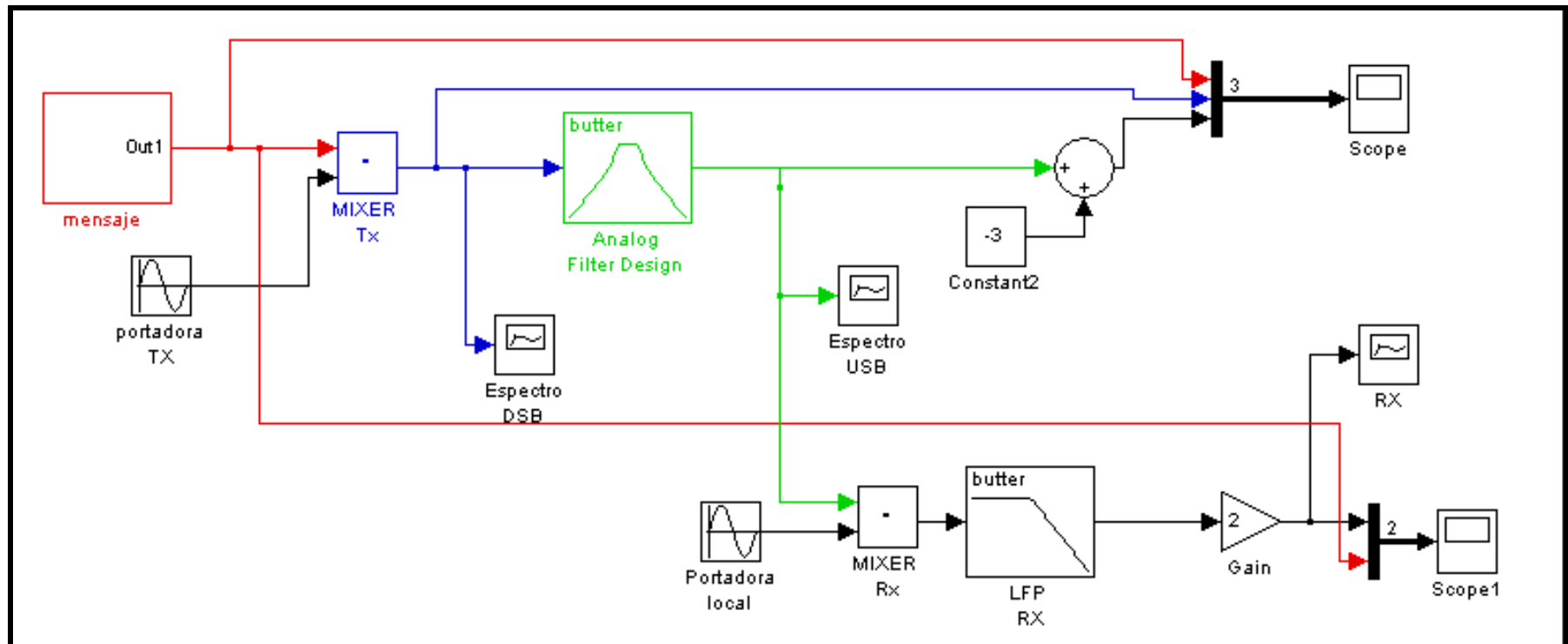
- En el caso de la voz se pueden suprimir las componentes $f < 300\text{Hz}$; el mensaje es inteligible.

⇒ En telefonía se usa la banda 300Hz-3400Hz

⇒ gap de 600Hz alrededor de f_c



6.2 Modulación SSB: MATLAB



6.2 Modulació SSB: MATLAB

