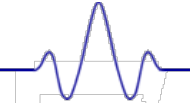


# PRÁCTICA 2

## MODULACIONES

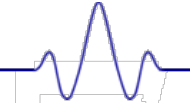


## CONOCIMIENTOS PREVIOS:

- Representación temporal y frecuencial de señales AM, DBL, ASK, BPSK, QPSK
- Estructura de los distintos moduladores

## OBJETIVOS DE LA PRACTICA:

- Analizar en tiempo real las señales moduladas actuando sobre los parámetros que caracterizan las mismas.
- Visualización en el dominio de la frecuencia y del tiempo de señales moduladas
- Caracterización eléctrica de moduladores y demoduladores
- Visualización efectos no ideales
- Familiarizarse con placas y montajes



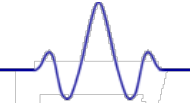
**MODULACIÓN:** Alteración sistemática de una forma de onda (portadora) de acuerdo a las características de otra forma de onda (moduladora, mensaje)

**NECESIDAD DE LA MODULACIÓN:** Para trasladar la señal de interés a una frecuencia más alta para su posterior transmisión (imposibilidad de transmitir la señal banda base por un medio no cableado)

**LA MODULACIÓN IMPLICA TRASLACIÓN DE FRECUENCIAS**

**LA MODULACIÓN PERMITE:**

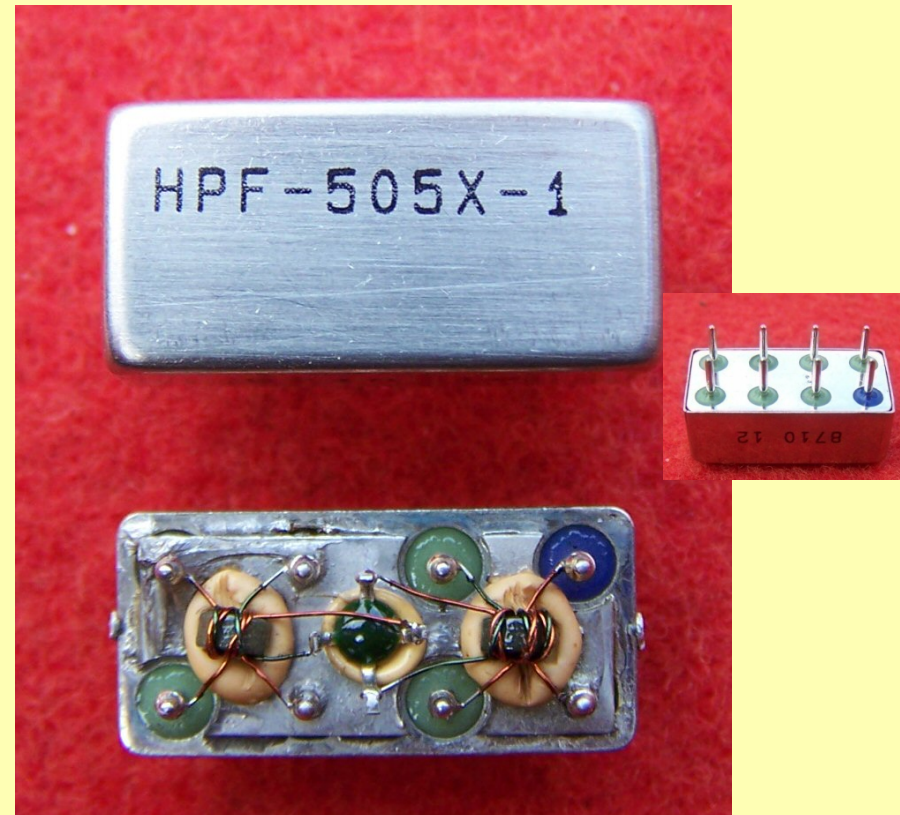
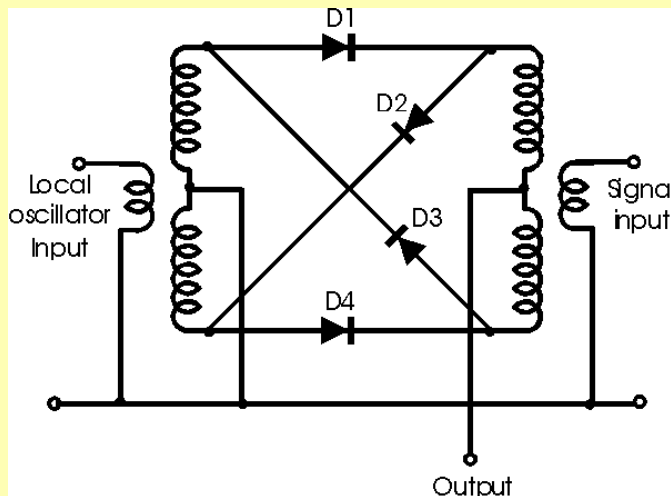
- Facilidad de transmisión (radiación de señales)
- Transmisión eficiente (según el canal radioeléctrico elegido)
- Multiplexado
- Asignación de frecuencias
- Mejora en S/N

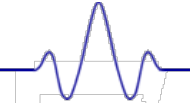


# MEZCLADORES/MODULADORES BALANCEADOS

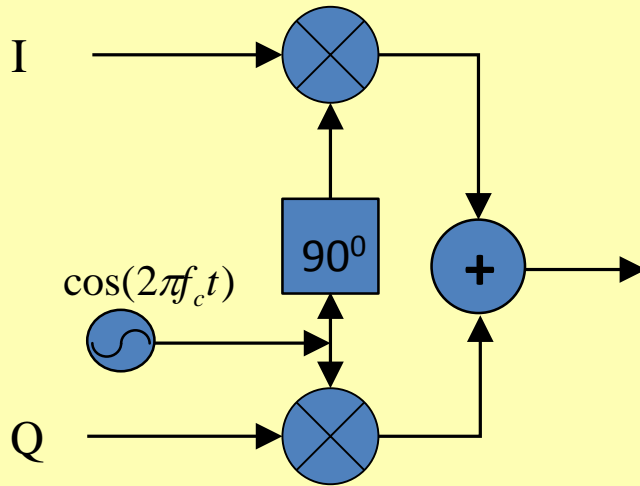
Permiten el producto analógico de dos señales

$$\cos(2\pi f_m t) \rightarrow \text{⊗} \leftarrow \cos(2\pi f_c t) \rightarrow u(t) = A[\cos(2\pi(f_c - f_m)t) + \cos(2\pi(f_c + f_m)t)]$$





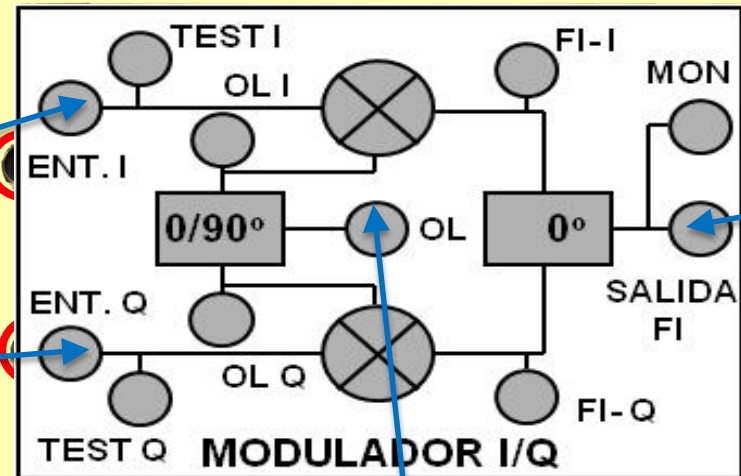
# EL MODULADOR IQ



- Modulador universal
- En el laboratorio se utiliza para:
  - AM
  - DBL
  - ~~BLU~~
  - ASK
  - BPSK, QPSK

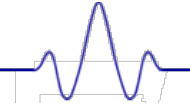
Entrada I

Entrada Q

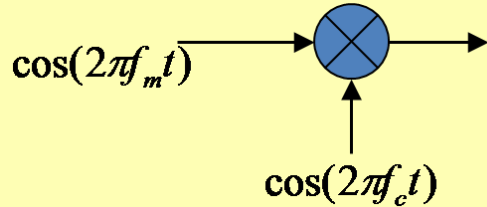


Salida

Entrada OL



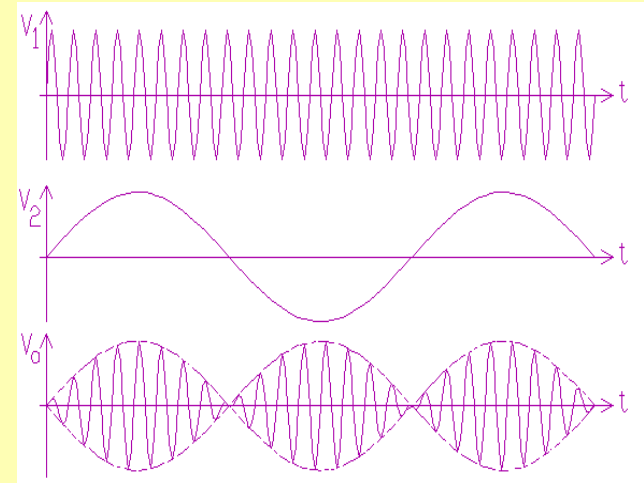
# MODULACIÓN DBL



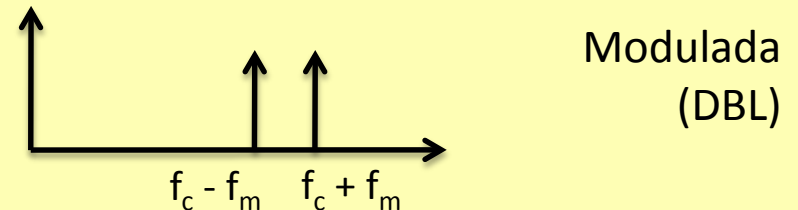
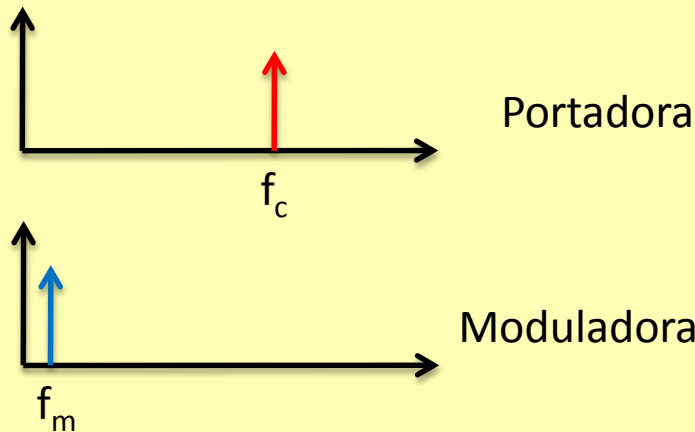
$$u(t) = \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t) = A[\cos(2\pi(f_c - f_m)t) + \cos(2\pi(f_c + f_m)t)]$$

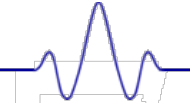
Dominio del tiempo (osciloscopio)

Portadora  
Moduladora  
Modulada (DBL)

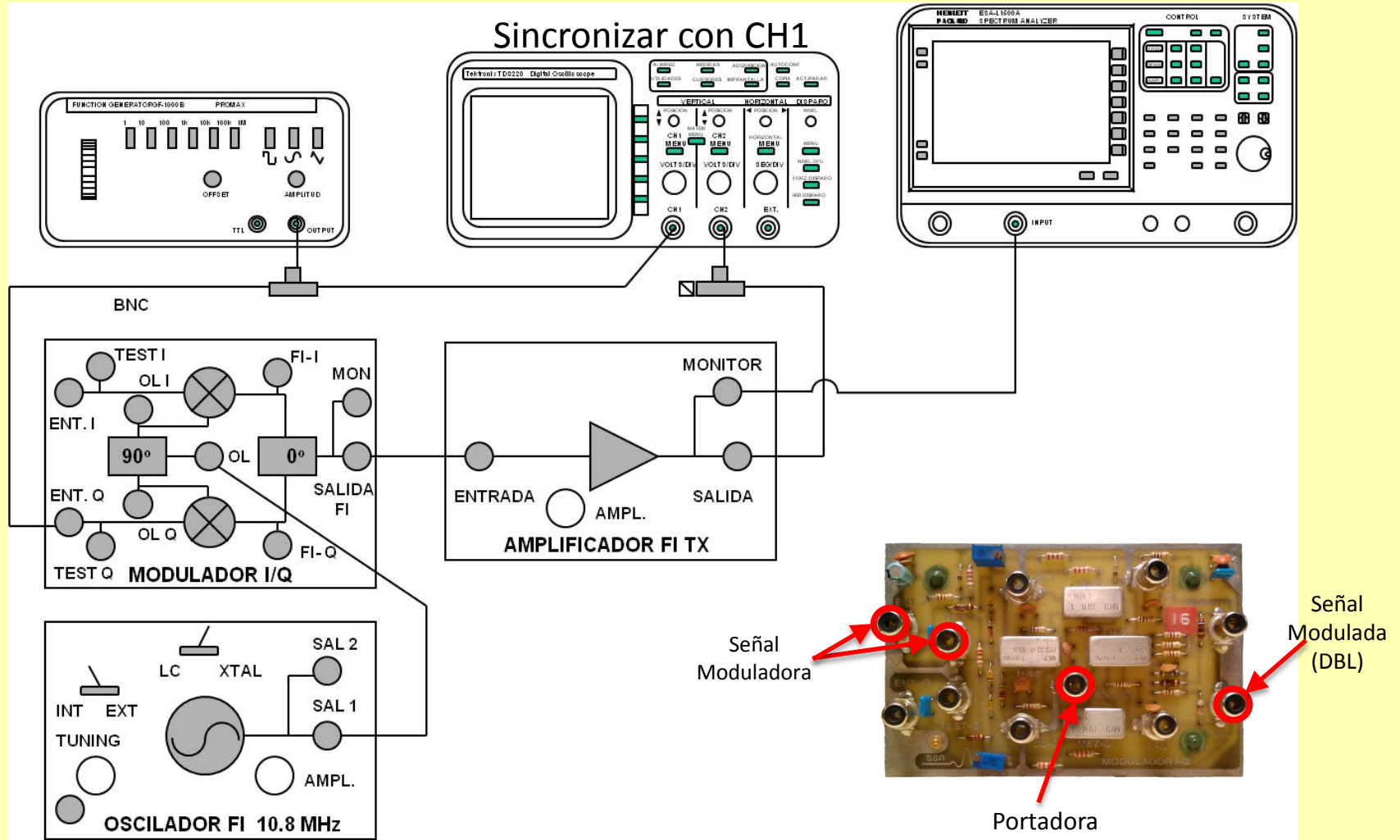


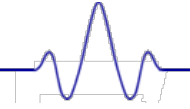
Dominio de la frecuencia (anализador de espectros)



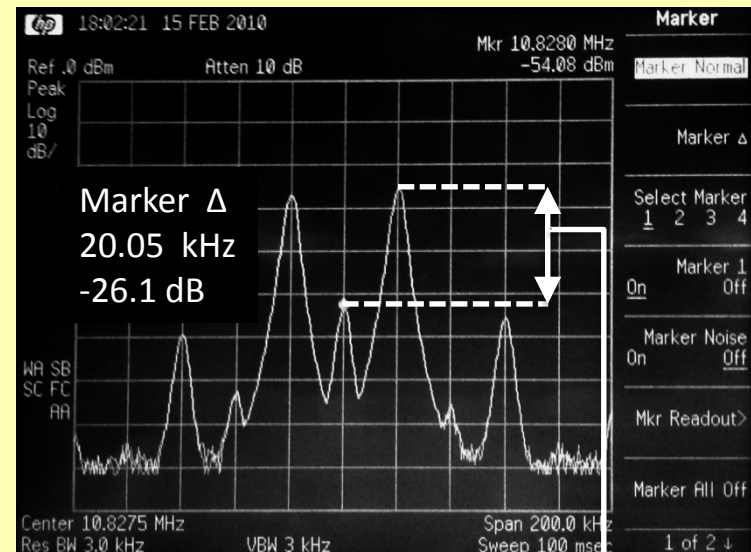
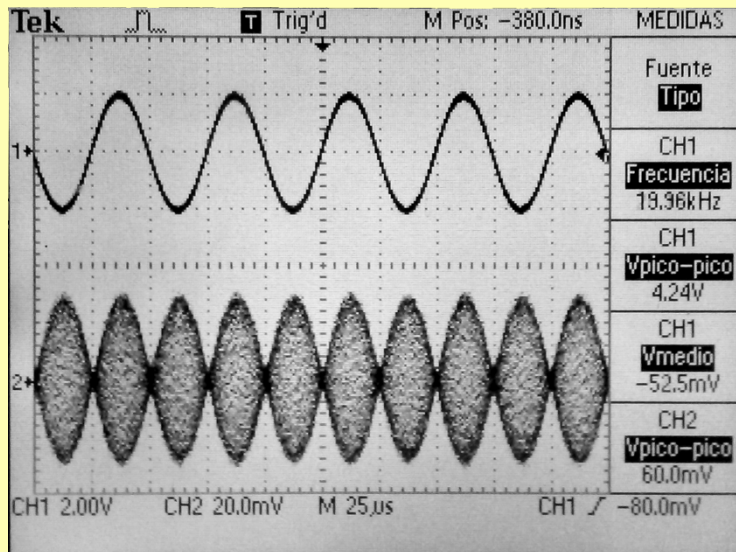


# MODULACIÓN DBL: MEDIDAS





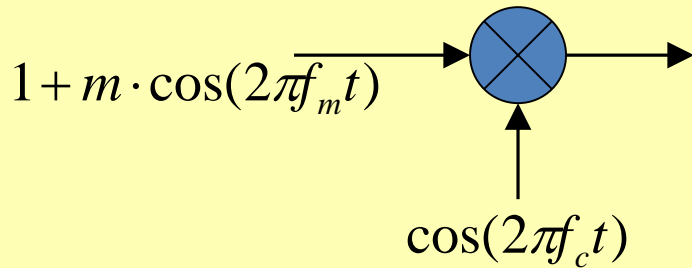
# MODULACIÓN DBL: MEDIDAS



Rechazo de portadora



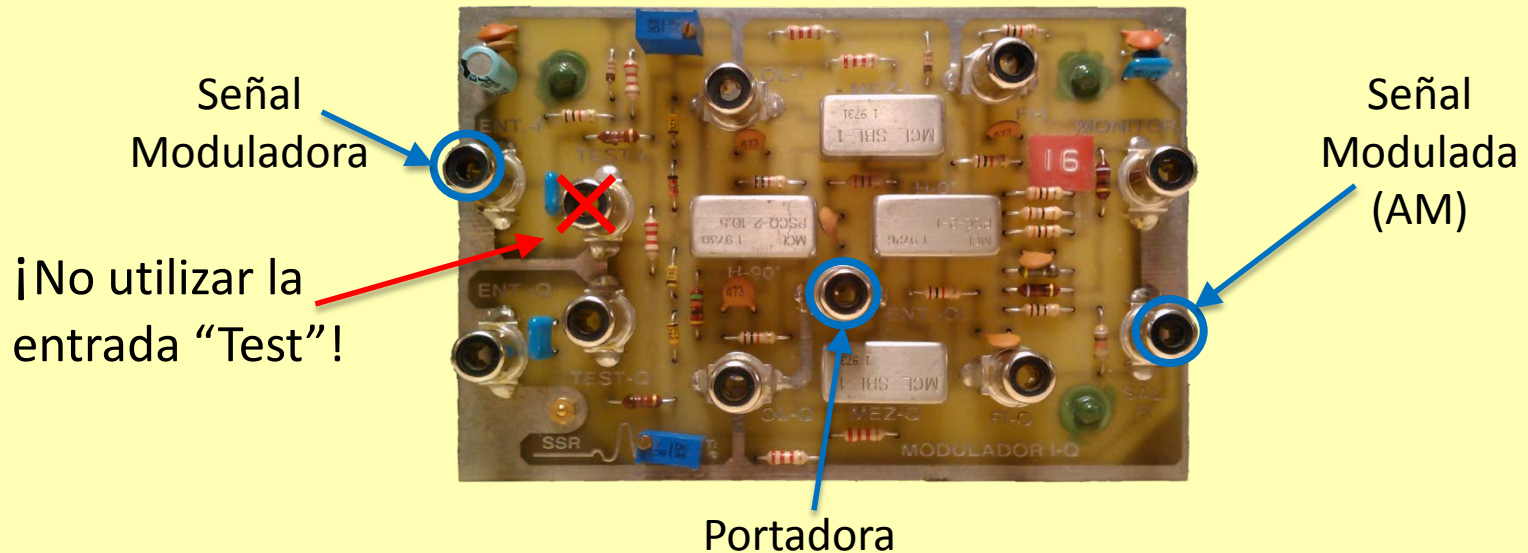
# MODULACIÓN AM

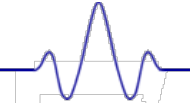


$$u(t) = A(1 + m \cos(2\pi f_m t)) \cos(2\pi f_c t) =$$

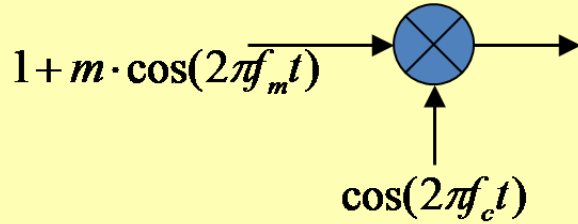
$$A \left( \cos(2\pi f_c t) + m \left[ \begin{array}{l} \cos(2\pi(f_c - f_m)t) + \\ \cos(2\pi(f_c + f_m)t) \end{array} \right] \right)$$

$m$ : Índice de modulación





# MODULACIÓN AM



Portadora

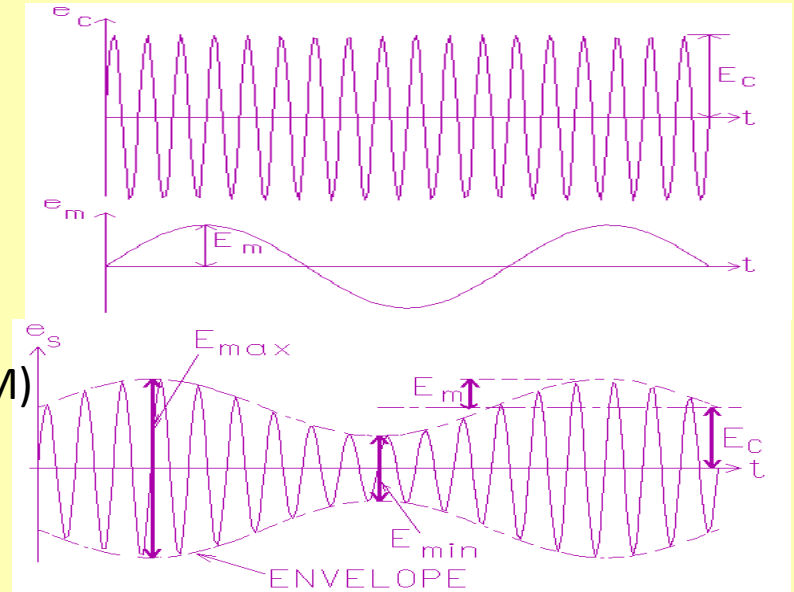
$$u(t) = A(1 + m \cos(2\pi f_m t)) \cos(2\pi f_c t) =$$

Moduladora

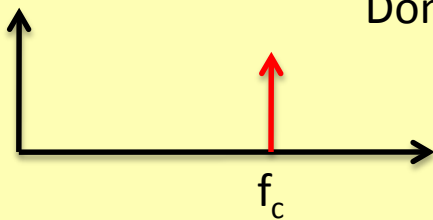
$$A \left[ \cos(2\pi f_c t) + m \begin{bmatrix} \cos(2\pi(f_c - f_m)t) + \\ \cos(2\pi(f_c + f_m)t) \end{bmatrix} \right]$$

Modulada (AM)

Dominio del tiempo (osciloscopio)



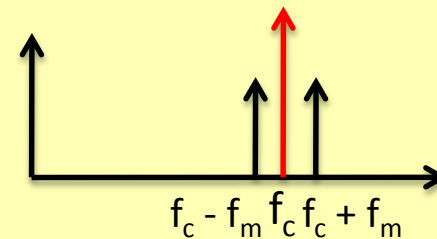
Dominio de la frecuencia (analizador de espectros)



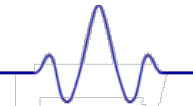
Portadora



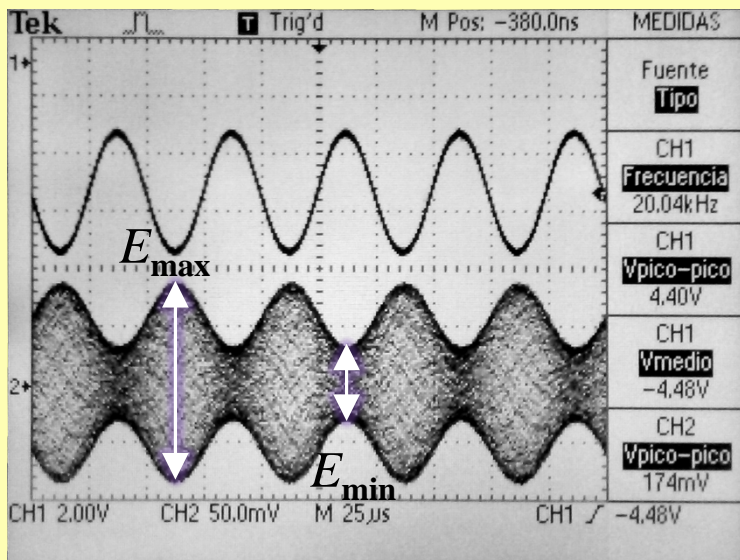
Moduladora



Modulada  
(AM)



# MODULACIÓN AM: MEDIDAS

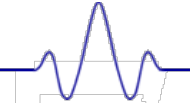


Índice de modulación:

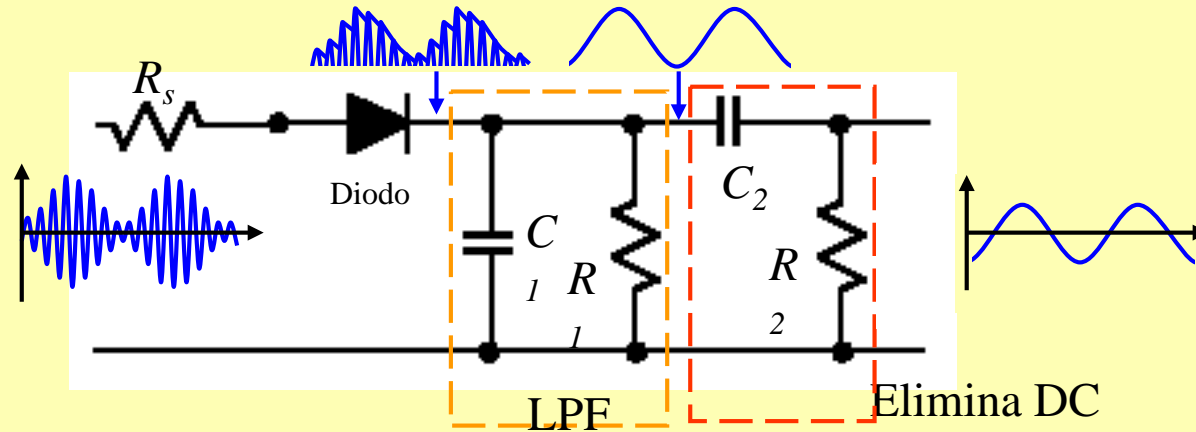
$$m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$$

Índice de modulación:

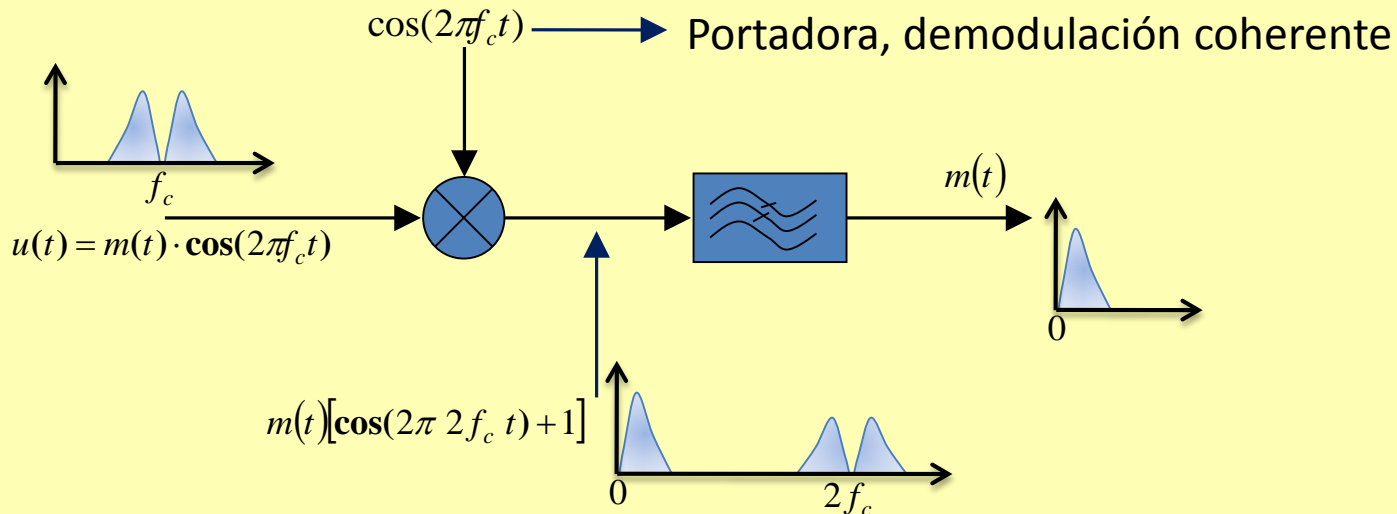
$$20 \log(m) = 6 \text{ dB} - \Delta$$

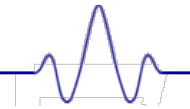


## DEMODULACIÓN AM: detector de envolvente

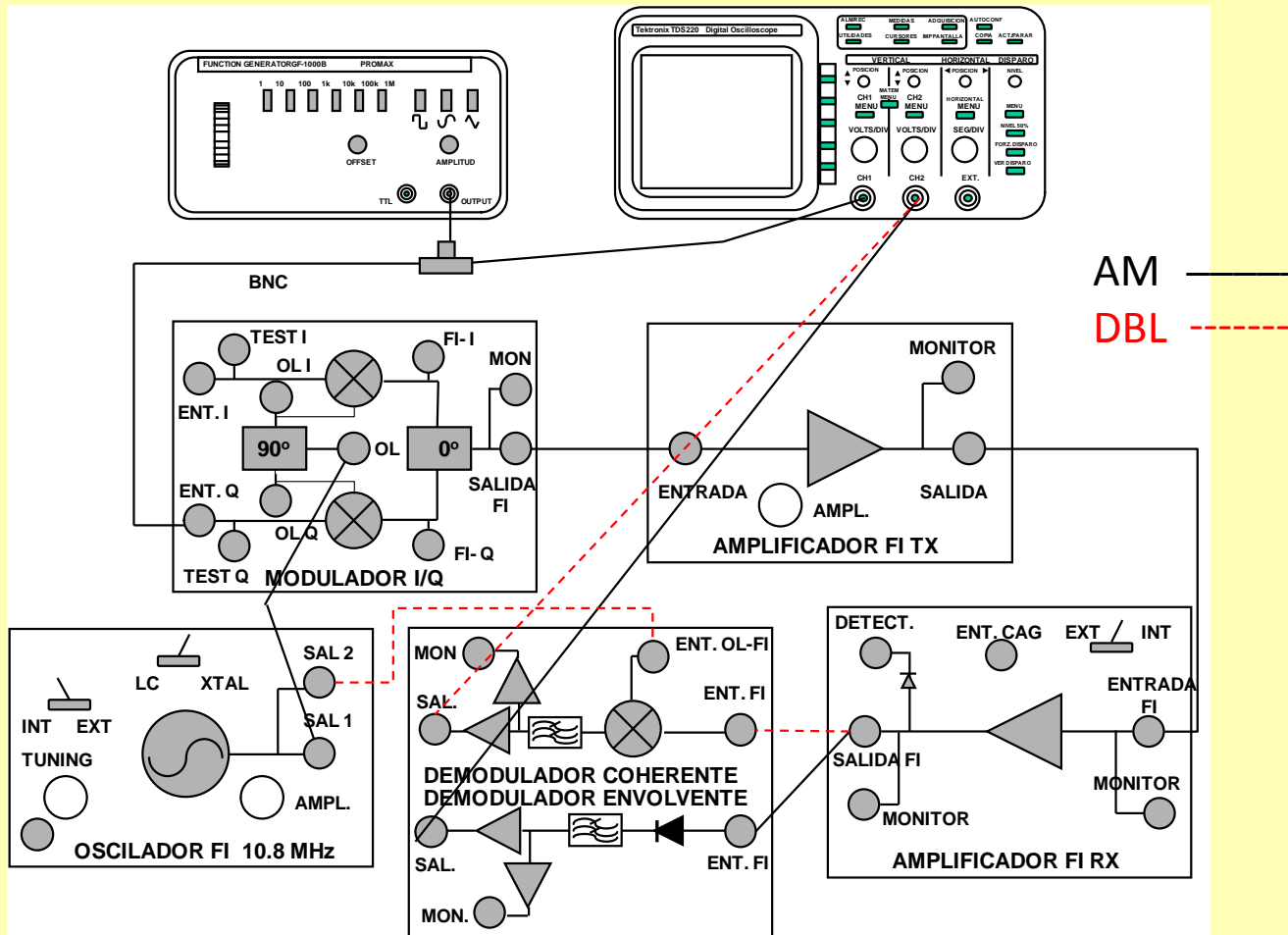


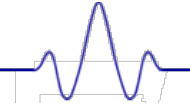
## DEMODULACIÓN COHERENTE (DBL)



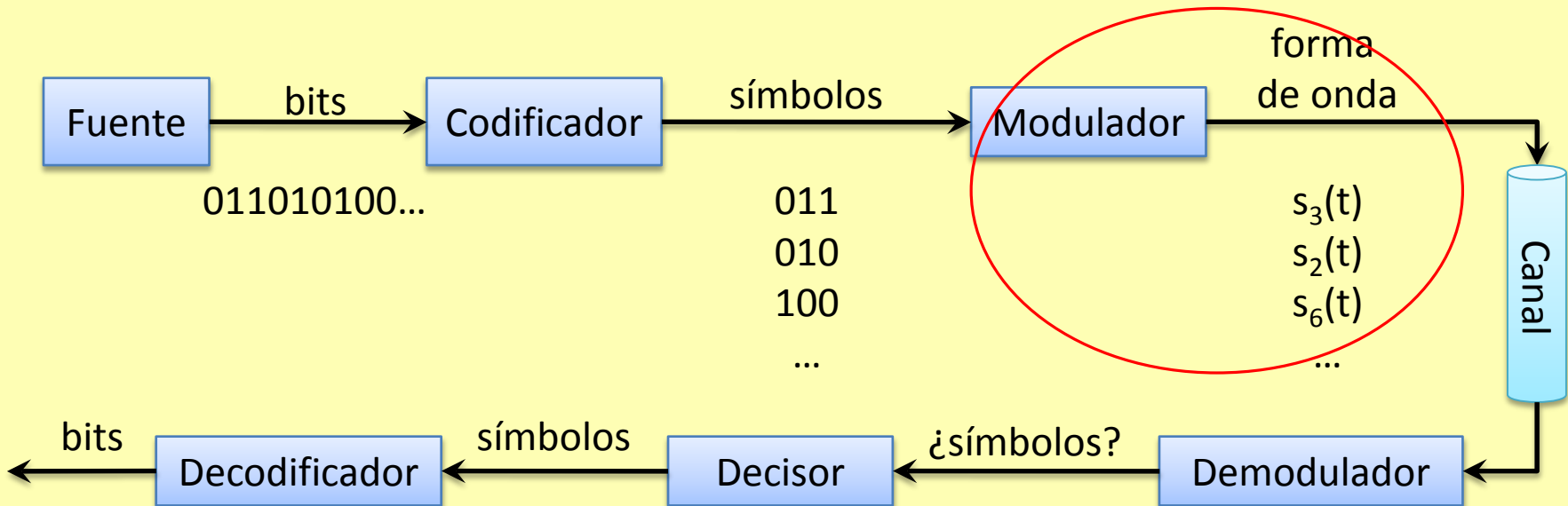


# DEMODULACIÓN AM Y DBL





## MOD. DIGITAL. DEFINICIONES GENERALES

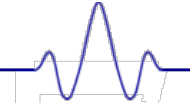


$$V_s = \frac{1}{T} : \text{Velocidad de símbolo}$$

**Símbolos:** grupos de  $k$  bits

**Alfabeto:**  $M=2^k$  símbolos

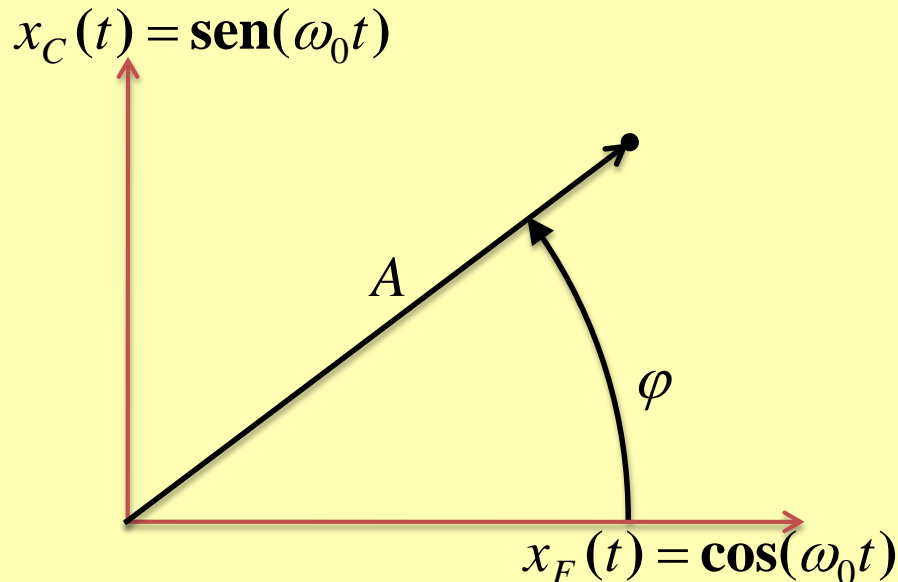
$$V_b = \frac{k}{T} : \text{Velocidad binaria}$$



# CONSTELACIÓN

Las formas de onda asociadas a cada símbolo representan una senoide de la misma frecuencia, pero distinta amplitud y fase: basta determinar el extremo del fasor.

Constelación: Colección de fasores de una modulación



$$s(t) = A \text{cos}(\omega_0 t + \varphi)$$

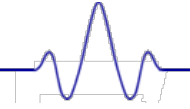
$$I = A \text{cos}(\varphi)$$

$$Q = A \text{sen}(\varphi)$$

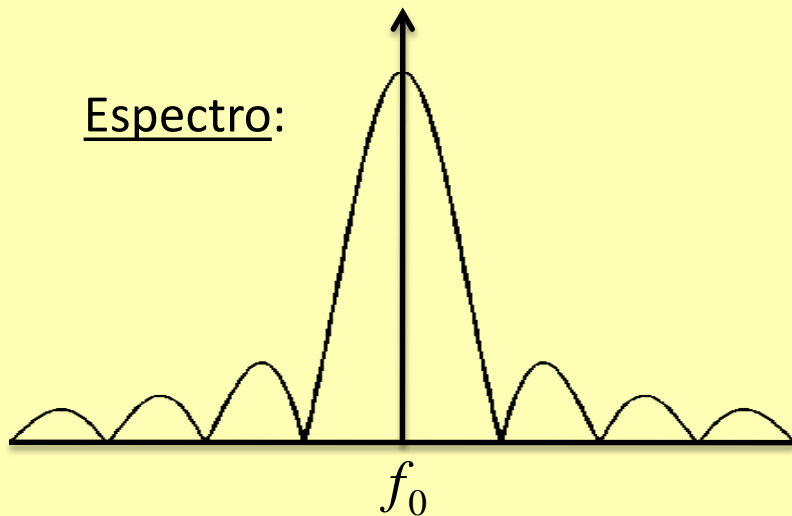
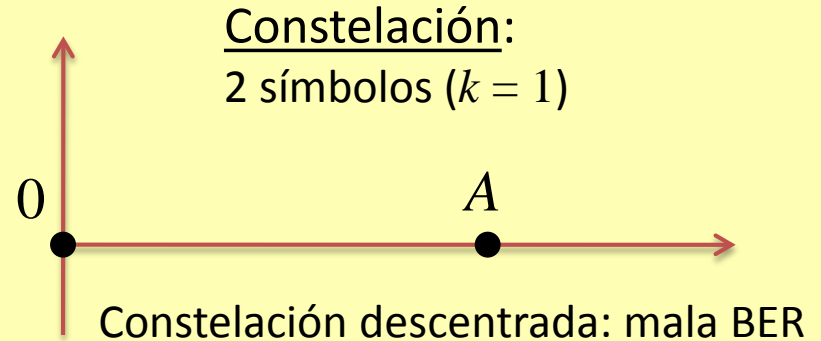
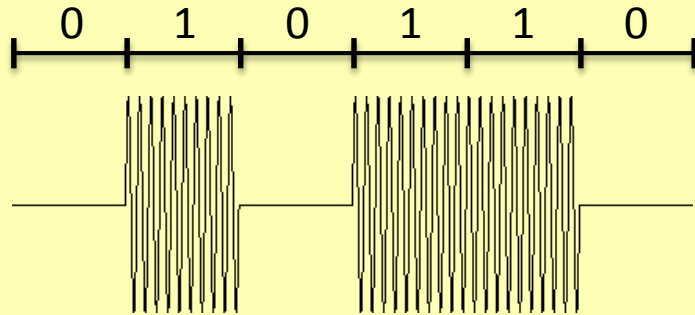
$$s(t) = I \text{cos}(\omega_0 t) - Q \text{sen}(\omega_0 t)$$



**MODULADOR IQ**



# MODULACIÓN ASK

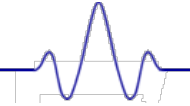


Eficiencia espectral:  
(filtro en coseno alzado)

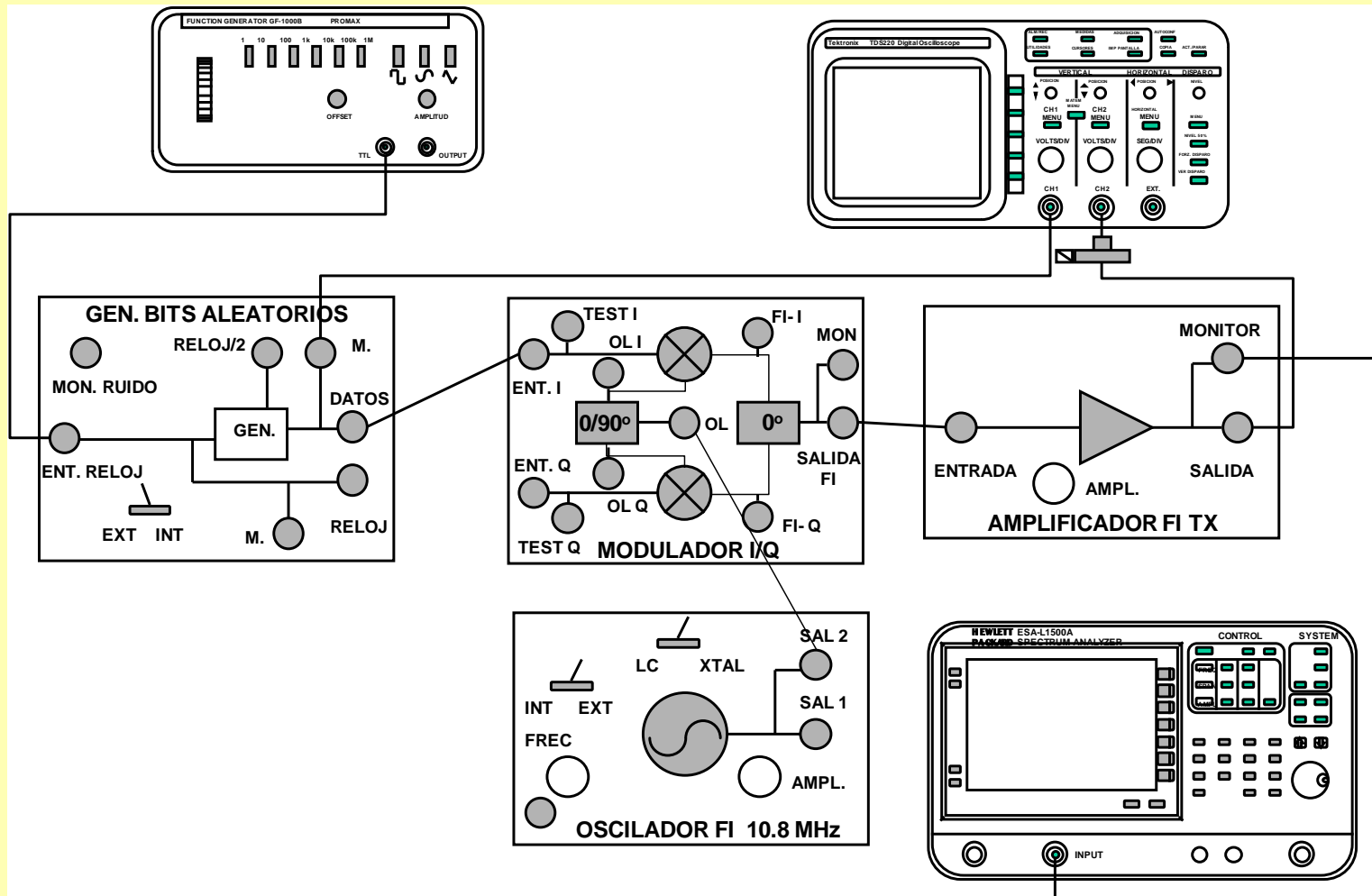
$$e_F = \frac{V_b}{BW} = \frac{V_b}{V_b(1+r)}$$

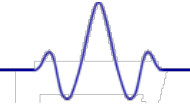
$$e_F = \frac{1}{1+r}$$



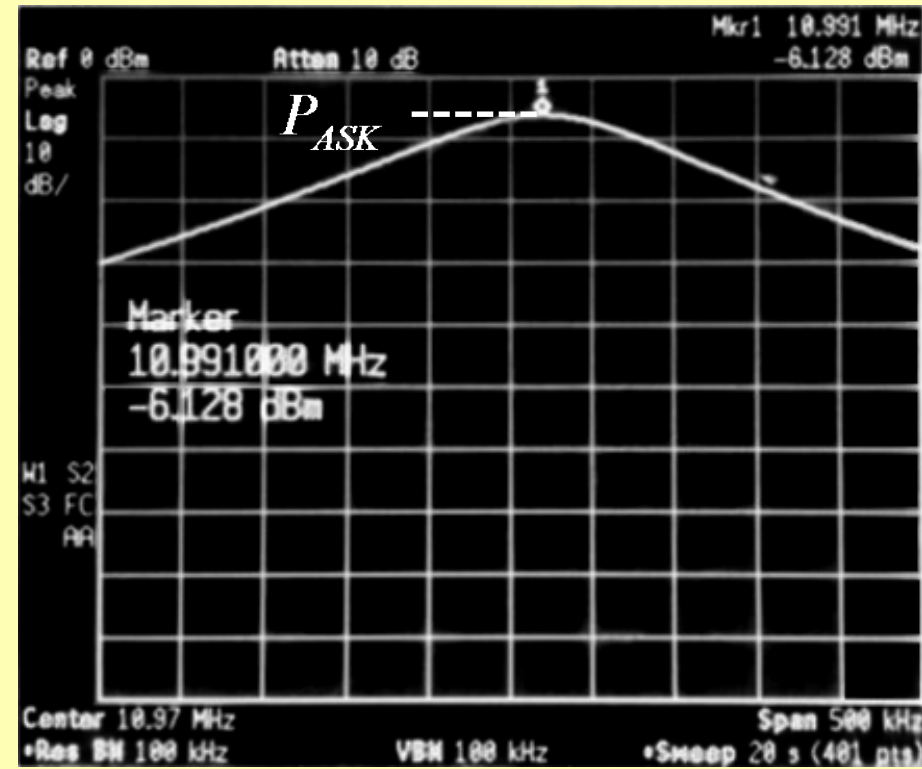
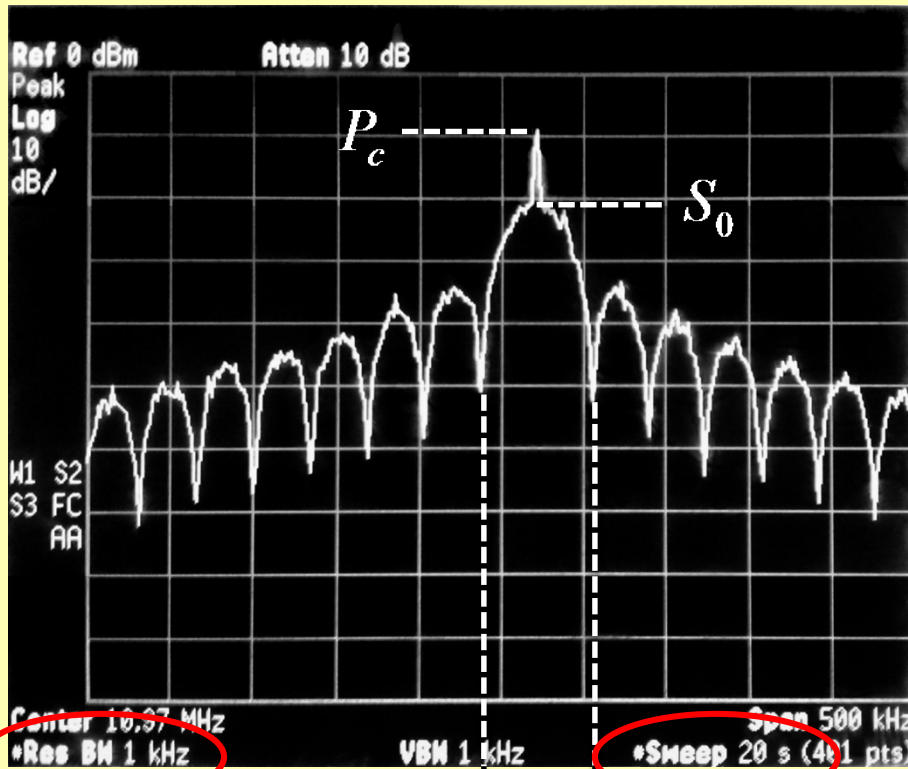


# MODULACIÓN ASK: MEDIDAS





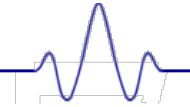
# MODULACIÓN ASK: MEDIDAS



$$2V_s (= 2V_b)$$

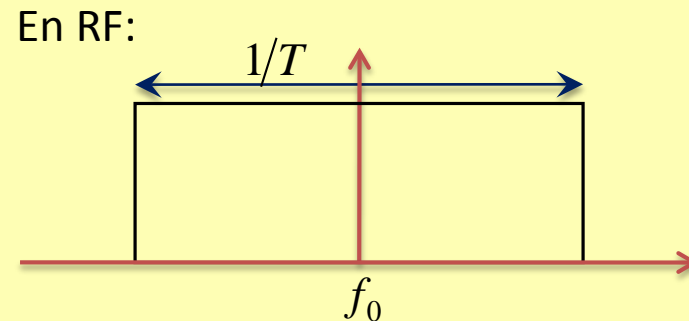
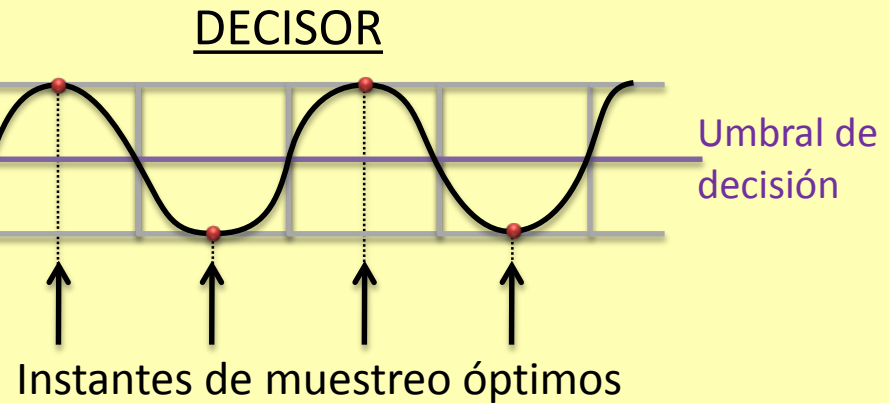
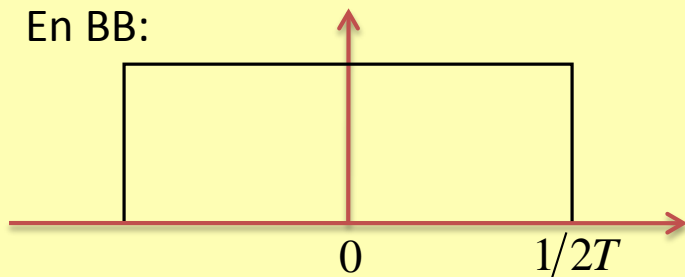
$$RBW \gg V_s$$

$$P_{BL} = S_0 - 10 \log_{10}(RBW) + 10 \log_{10}(V_s)$$

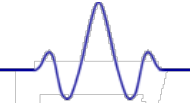


## FILTRADO DE LA SEÑAL: ISI

- Las señales utilizadas en banda base (BB) son pulsos. Al limitar su ancho de banda se deforman y producen ISI.
- Es posible elegir el filtro para que en el instante de decisión no exista ISI. El filtro sin ISI más estrecho posible es un filtro ideal de anchura  $1/2T$  ( $V_s/2$ )



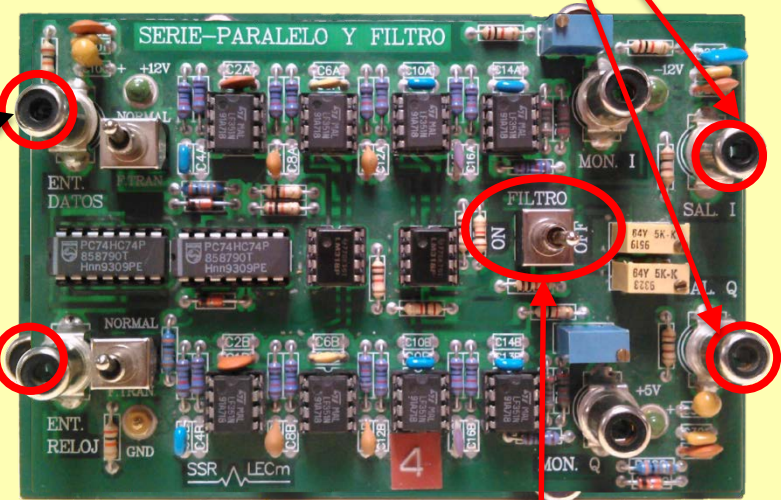
***El ancho de banda disponible limita la VELOCIDAD DE SÍMBOLO***



Salida “RELOJ/2”

Salida de DATOS  
NRZ unipolar: ASK

Salida de DATOS (RELOJ/2)  
NRZ bipolar: BPSK y QPSK

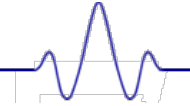


Entrada “RELOJ”:  
Salida **TTL** del  
generador de funciones

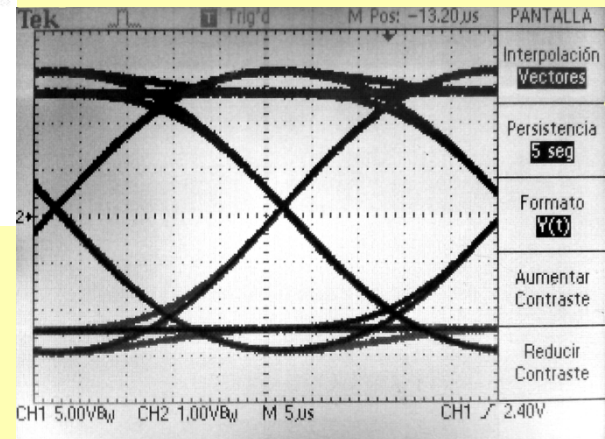
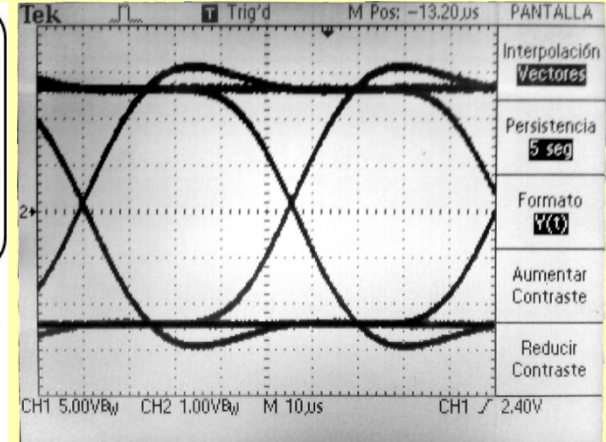
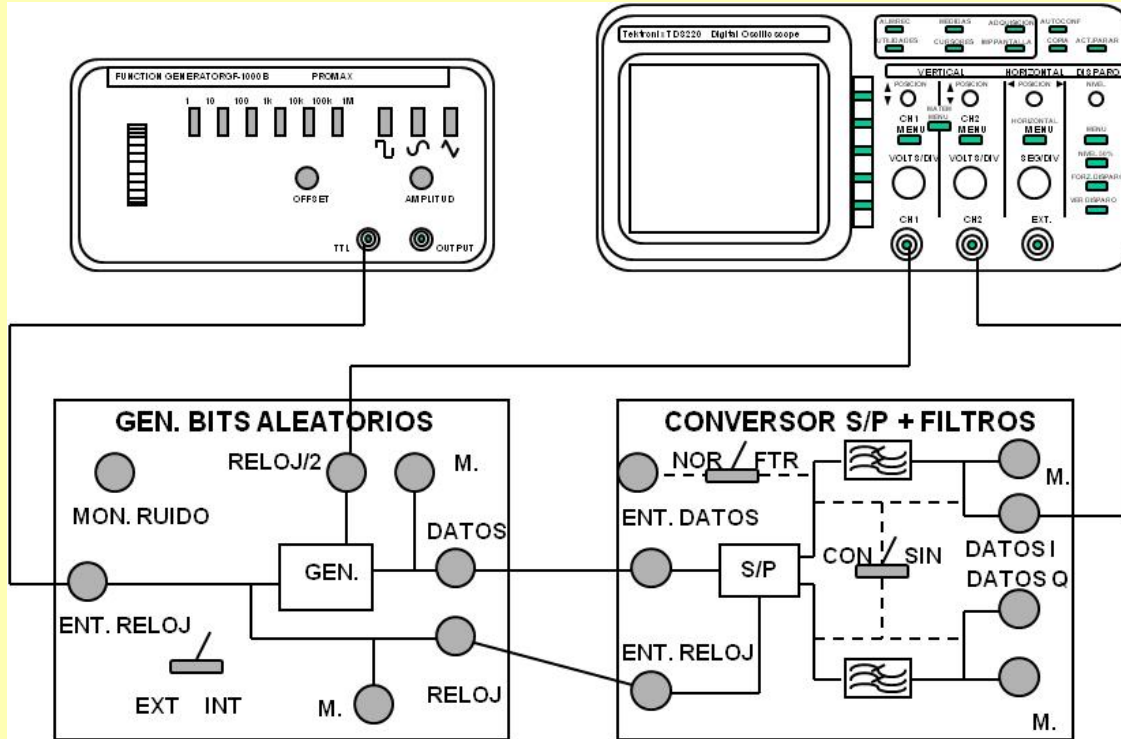
Interruptor:  

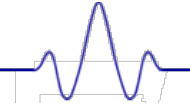
- “INT”: reloj interno (64 KHz)
- “EXT”: reloj externo

Interruptor filtro: “ON”/“OFF”

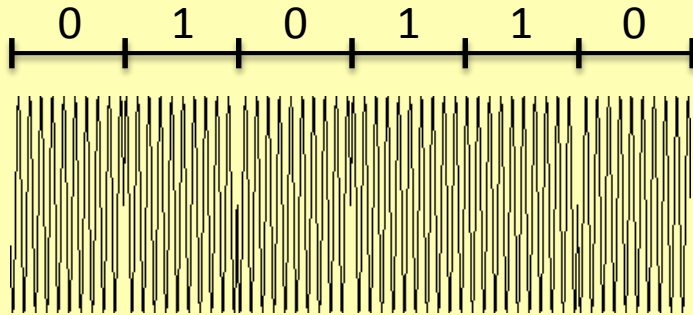


# MEDIDA DEL DIAGRAMA DE OJO

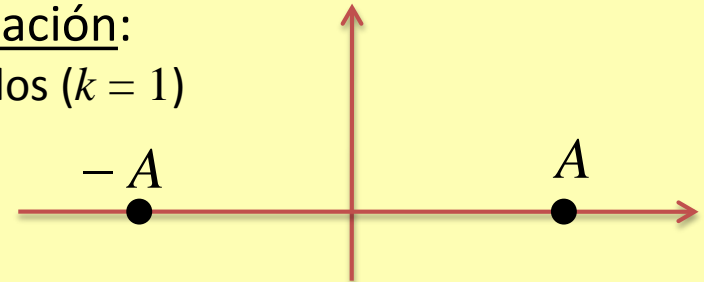




# MODULACIÓN BPSK



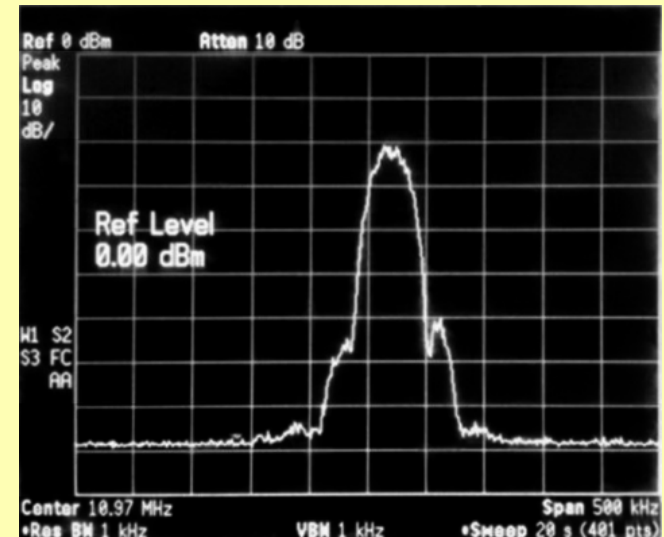
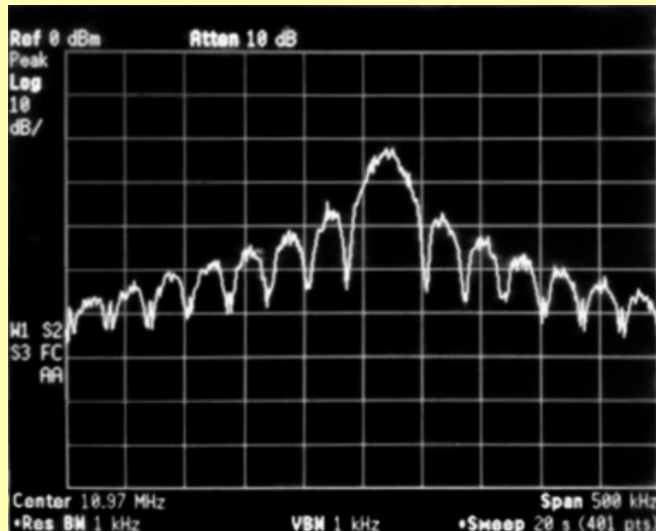
Constelación:  
2 símbolos ( $k = 1$ )

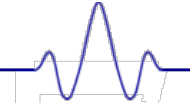


Eficiencia espectral:  
(filtro en coseno alzado)

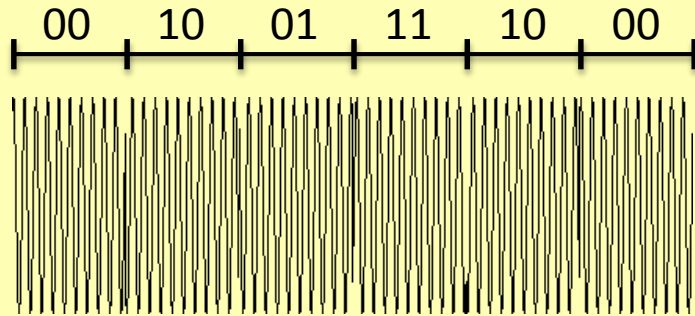
$$e_F = \frac{1}{1+r}$$

Efecto del filtrado BB en el ancho de banda (20 dB)

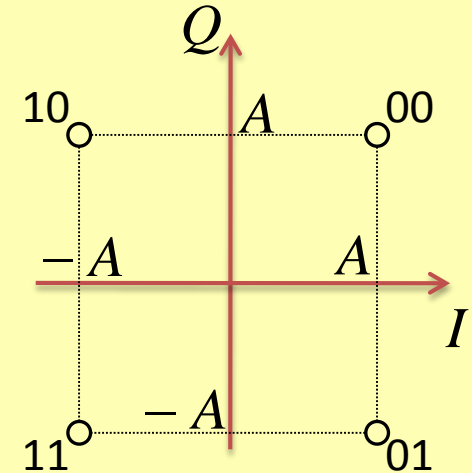




# MODULACIÓN QPSK

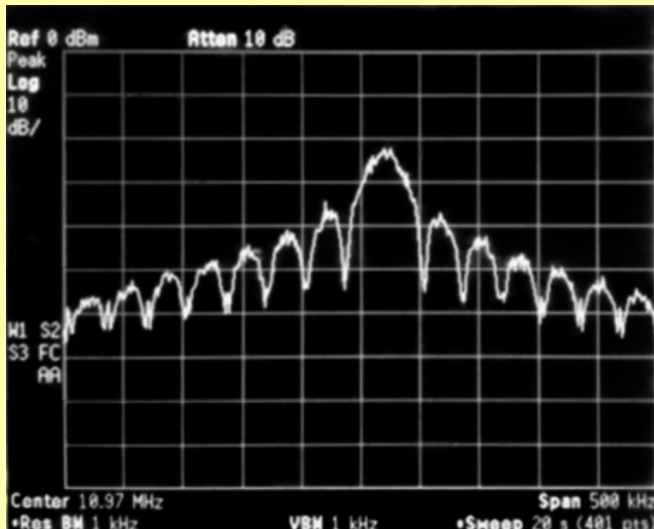


Constelación:  
4 símbolos ( $k = 2$ )

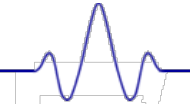


- Constelación centrada:  
buena BER  
(igual que BPSK)
- Pero más sensible a ruido de fase

Espectro: igual que BPSK para **mismo T**



Eficiencia espectral:  
(filtro en coseno alzado)  $e_F = \frac{2}{1+r}$

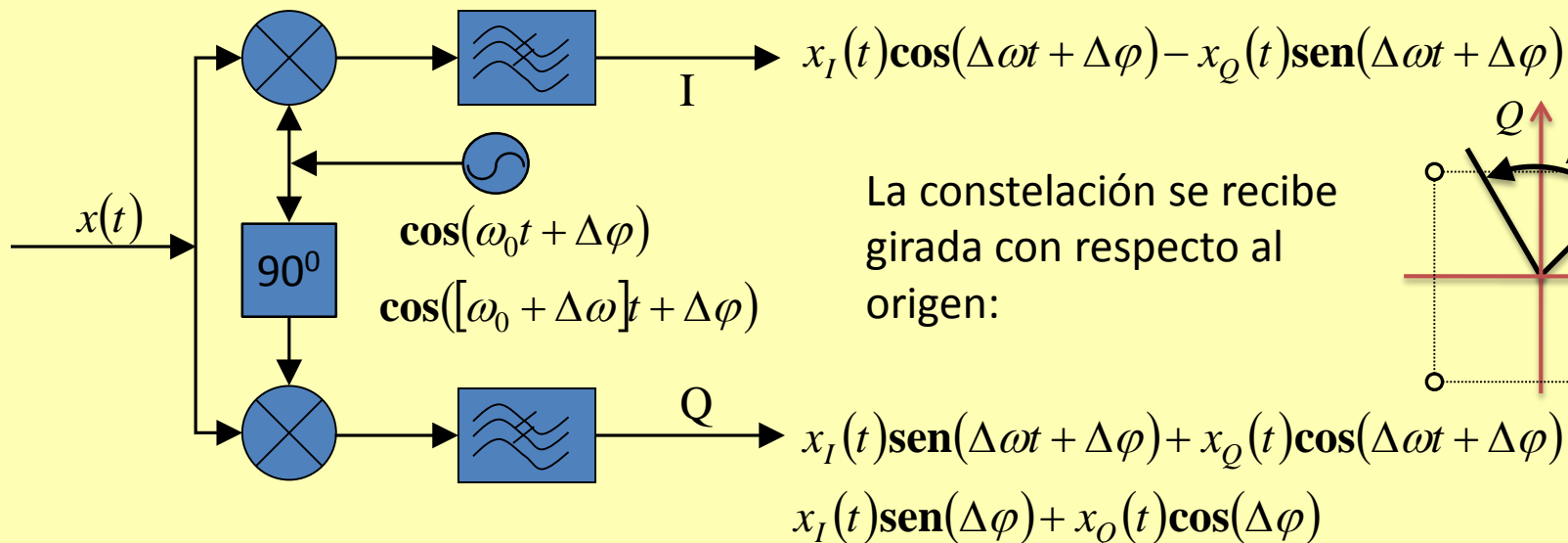


## DEMODULADOR IQ

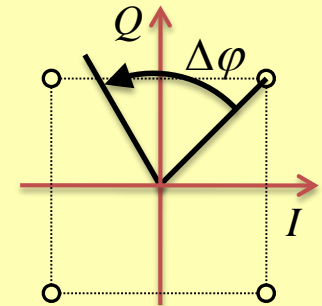
Cualquier señal **paso-banda** admite la expresión:  $x(t) = x_I(t)\cos(\omega_0 t) + x_Q(t)\sen(\omega_0 t)$

El modulador IQ es universal, por tanto, el demodulador IQ también es universal

$$x_I(t)\cos(\Delta\varphi) - x_Q(t)\sen(\Delta\varphi)$$

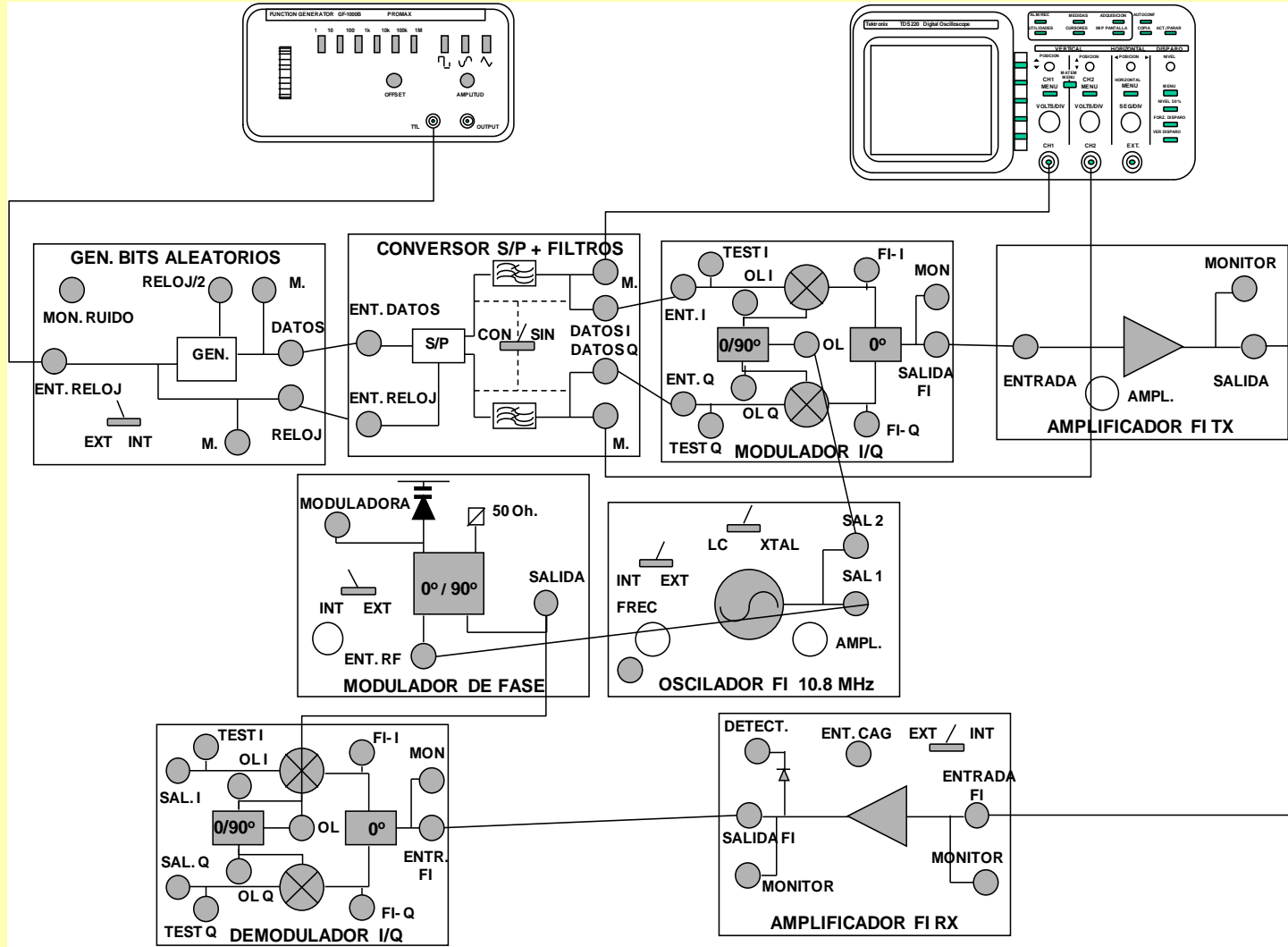
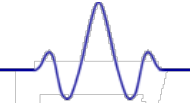


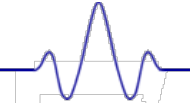
La constelación se recibe girada con respecto al origen:



El demodulador IQ es coherente: **Recuperación de portadora**



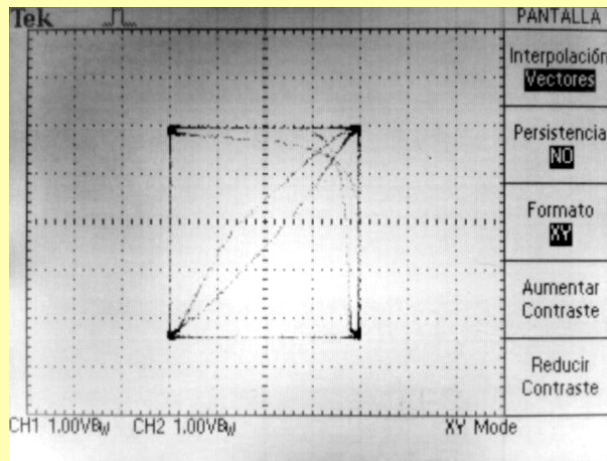




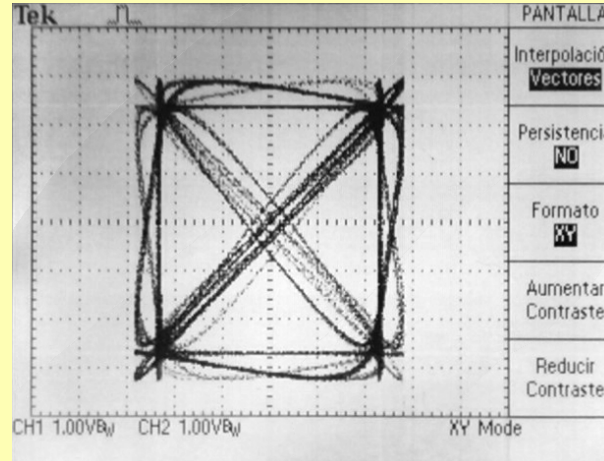
# MEDIDAS: CONSTELACIÓN QPSK

Visualizando los canales I y Q en el osciloscopio, en modo XY

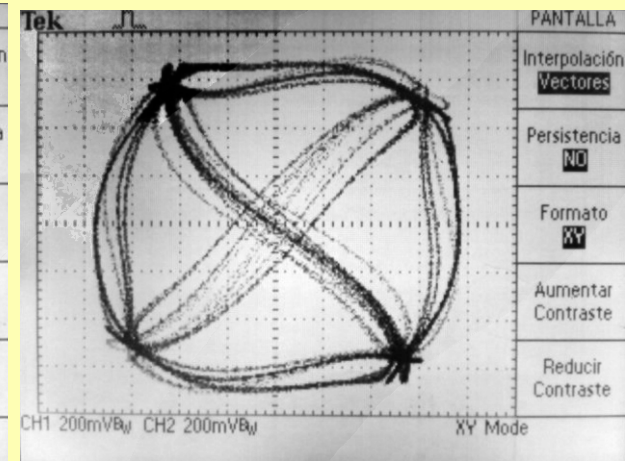
**Tx sin filtro BB**



**Tx con filtro BB**

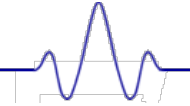


**Rx**



Visualizar:

- Efecto del filtrado (banda base y canal)



## NORMAS DE TRABAJO EN EL LABORATORIO

- Los cables se cogen de los conectores para conectarlos y/o desconectarlos
- No dejar cables / objetos metálicos en el bastidor: se pueden producir cortos (LEDs / fusibles rearmables)
- Cables cortos: entre placas
- Cables largos: instrumentos de medida (transiciones RCA-BNC / BNC-RCA)
- Los cables no pueden estar tirantes
- Señales en banda base: medidas en abierto
- Señales en FI/RF: carga de  $50 \Omega$  (excepto A.E.)
- Las salidas “MONITOR” están atenuadas 10 dB (usar A.E.)