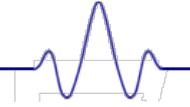




PRÁCTICA 3

LAZO DE ENGANCHE EN FASE (PLL) Y SINTETIZADOR DE FRECUENCIAS

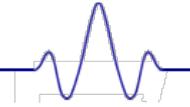


CONOCIMIENTOS PREVIOS:

- Fundamentos de modulación FM
- Estructura y fundamentos de un lazo enganchado en fase (PLL)
- Estructura de un sintetizador de frecuencias basado en PLL
- Estructura de un demodulador FM basado en PLL

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:

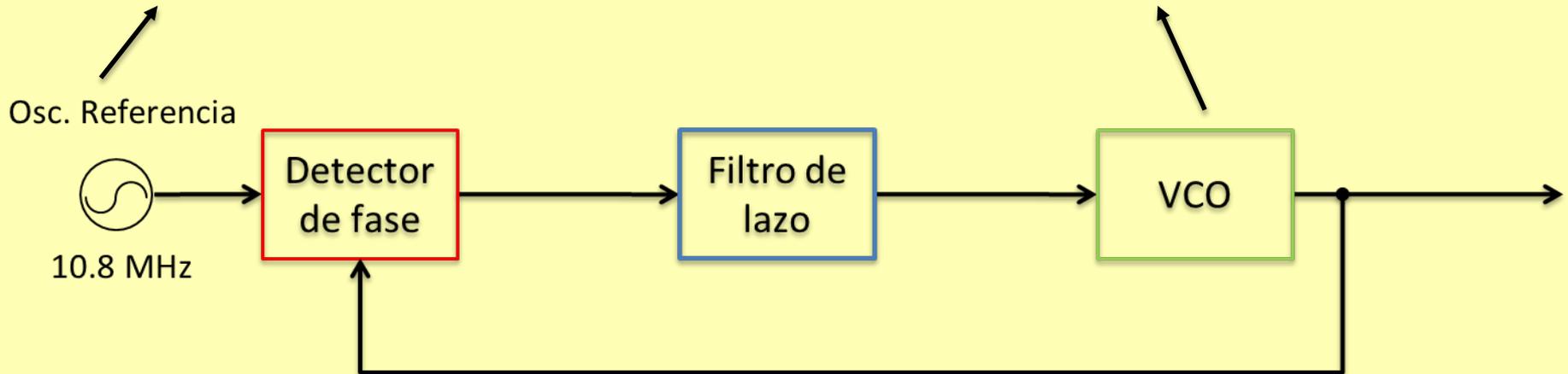
- Caracterización eléctrica de los componentes del PLL (detector de fase y VCO)
- Medida modulador FM
- Medida de parámetros característicos del PLL (F. Transferencia, margen seguimiento, ..)
- Síntesis de frecuencia
- Visualización de efectos no ideales

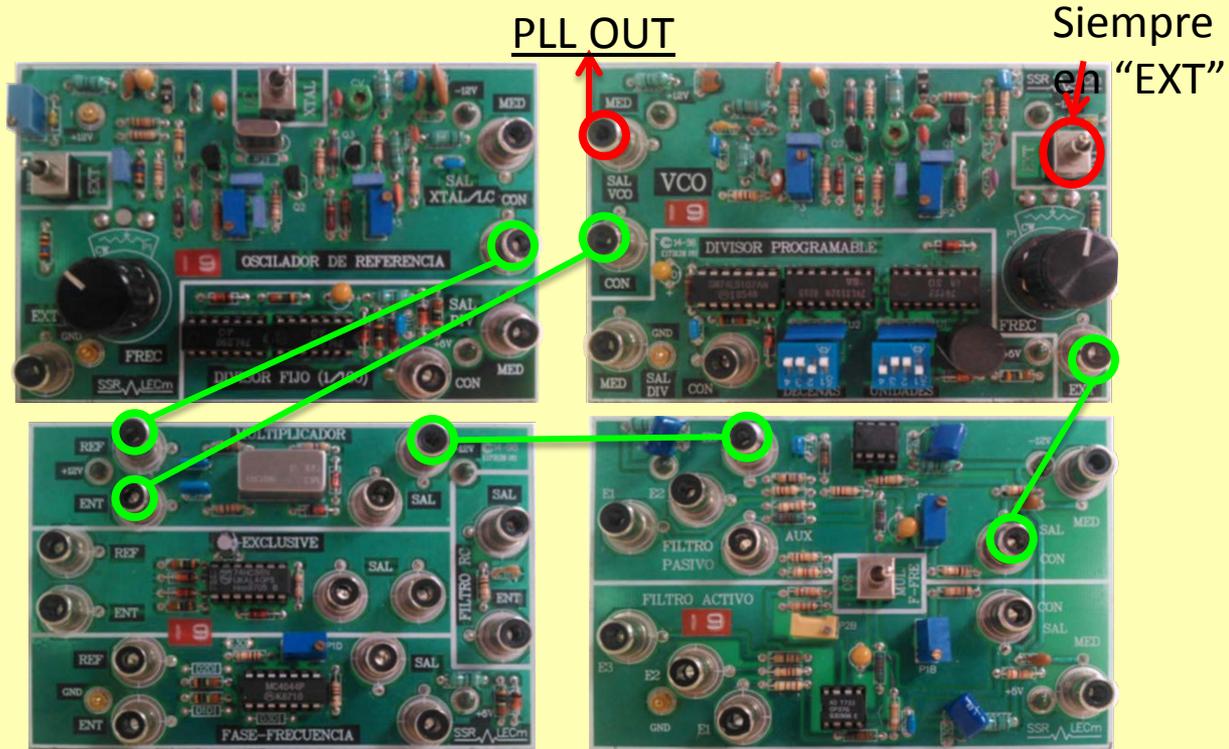


Apartado 1

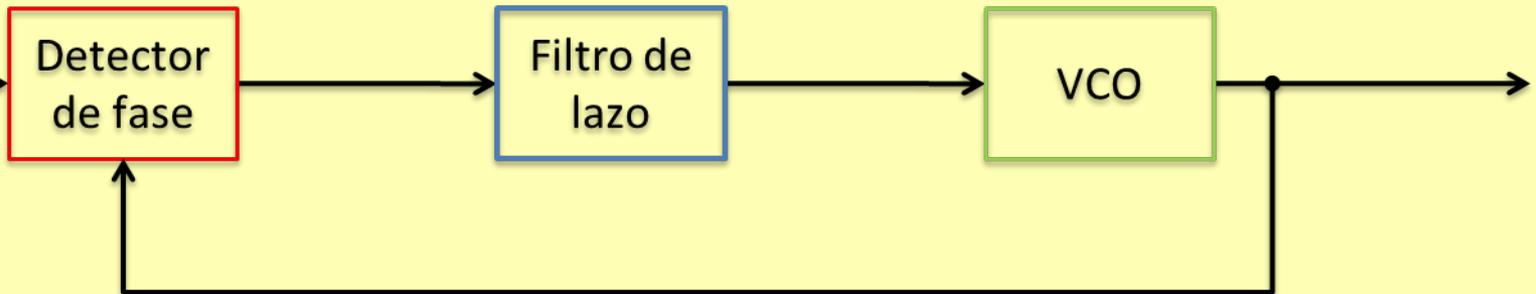
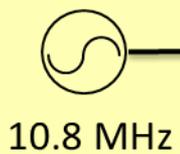
Medida de frecuencia (frecuencímetro)

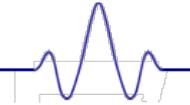
Siempre en "EXT"





Osc. Referencia





MODULACIÓN FM

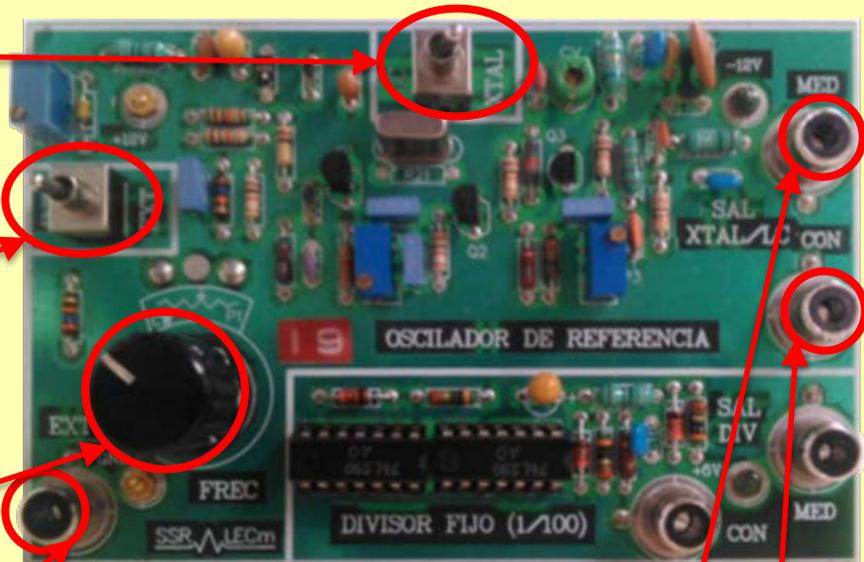
Placa "OSCILADOR de referencia (10.8 MHz)"

Interruptor "LC/XTAL":

- "XTAL": Oscilador de frecuencia muy estable (**No FM**)
- "LC": Oscilador controlado por tensión (**VCO**).

Interruptor "INT/EXT":

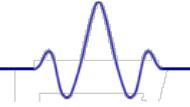
- "INT": La tensión de control (DC) del **VCO** determinada por el potenciómetro "FREC"
- "EXT": La tensión de control (DC/AC) del **VCO** determinada por la entrada "EXT"



Moduladora

Señal modulada (FM)

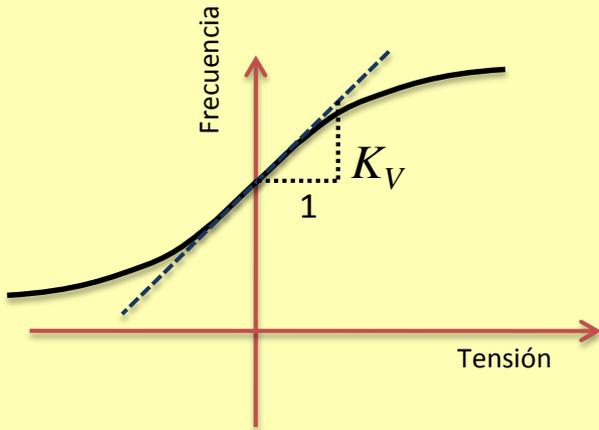
Interruptores en posiciones
"LC" y "EXT"



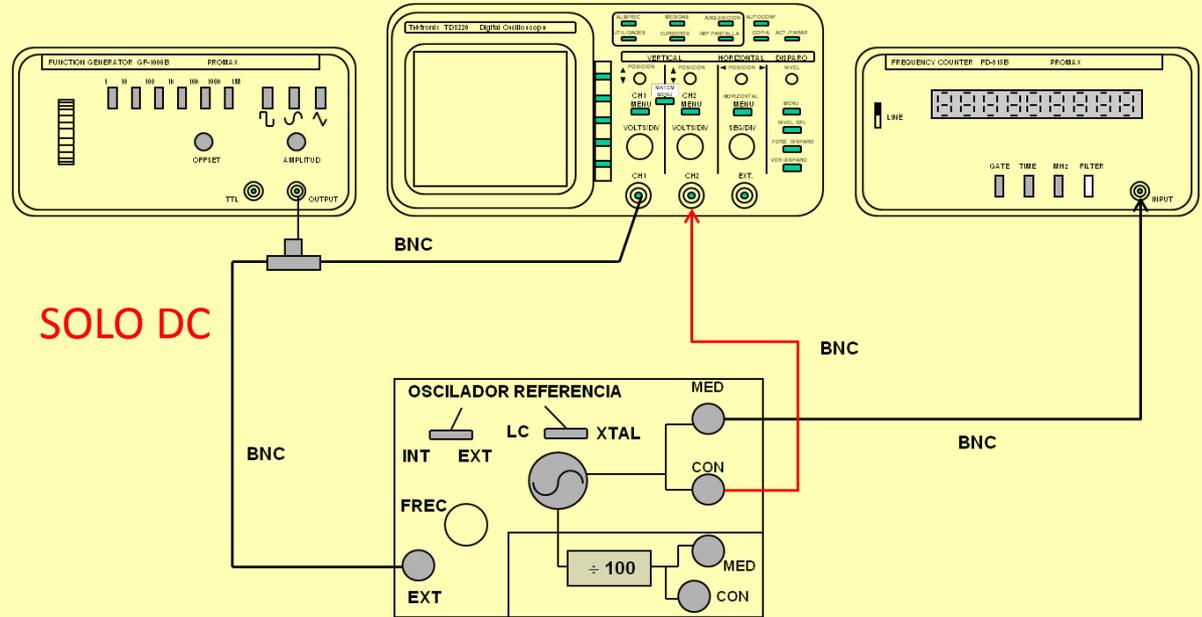
VCO: Curva característica

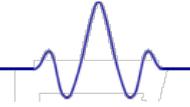
Apartado 2

CH1: Acoplo en continua



K_V ($\Delta f/\Delta V$) se mide en pequeña señal (DC)





MODULACIÓN FM: Moduladora sinusoidal

$x(t)$

$$y_F(t) = A_c \cos \left[\omega_c t + 2\pi K_V \int_{-\infty}^t A_m \cos(\omega_m t) dt \right] = A_c \cos \left[\omega_c t + \frac{f_D}{f_m} \sin(\omega_m t) \right] = A_c \cos[\omega_c t + \beta \cdot \sin(\omega_m t)]$$

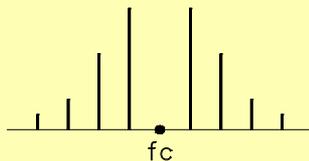
$$\beta = \frac{f_D}{f_m} = \frac{K_V |x|_{MAX}}{f_m}$$

$$f_i(t) - f_c = f_d(t) = K_F x(t)$$

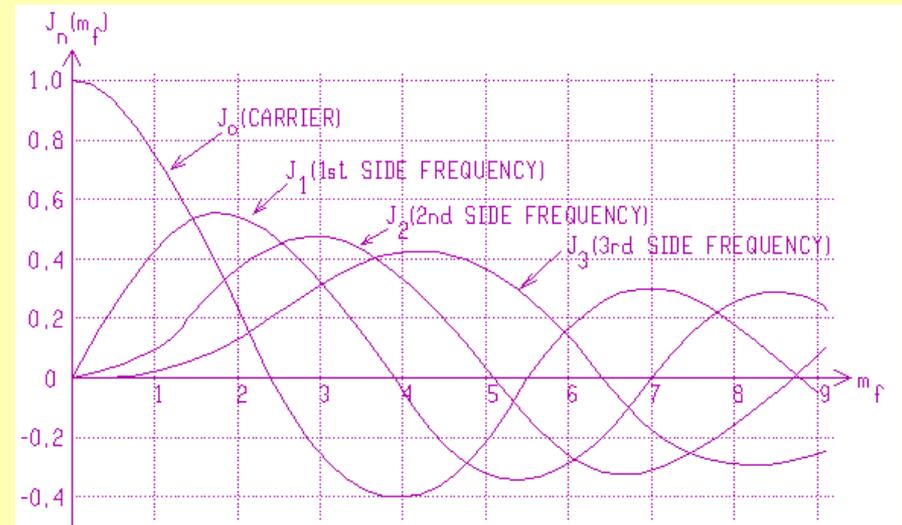
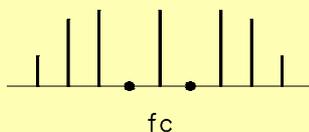
Espectro señal FM

$$y(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cos(\omega_c + n\omega_m)t$$

$\beta = 2,405$



$\beta = 3,832$

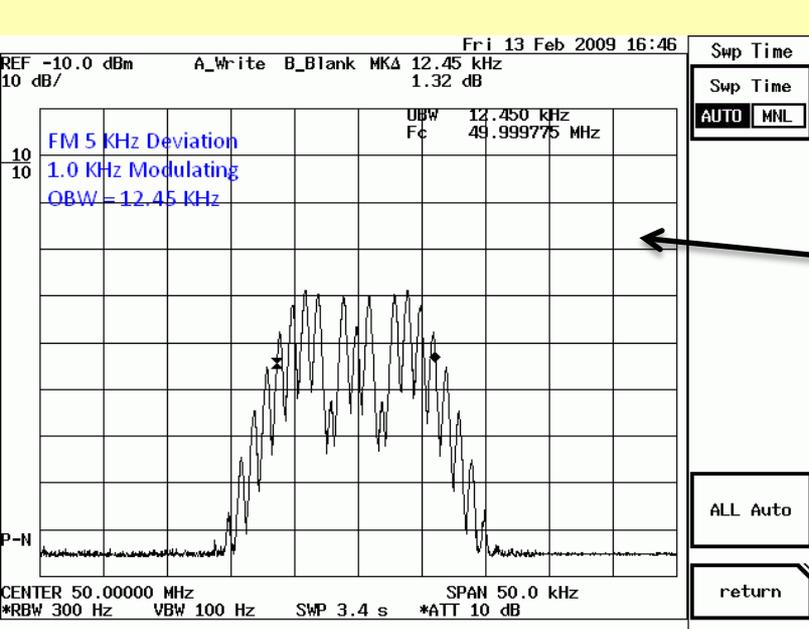
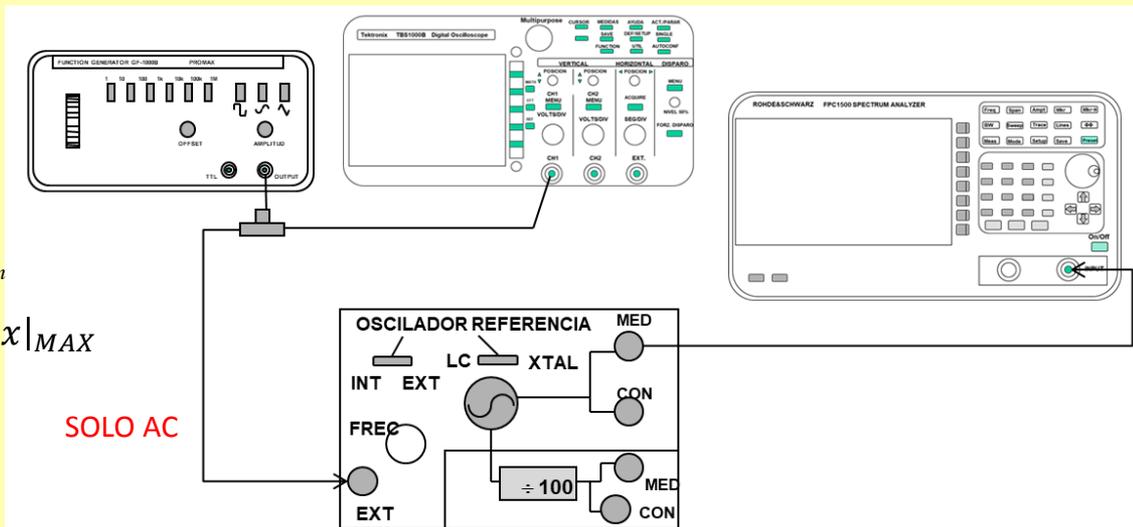




MODULADOR FM

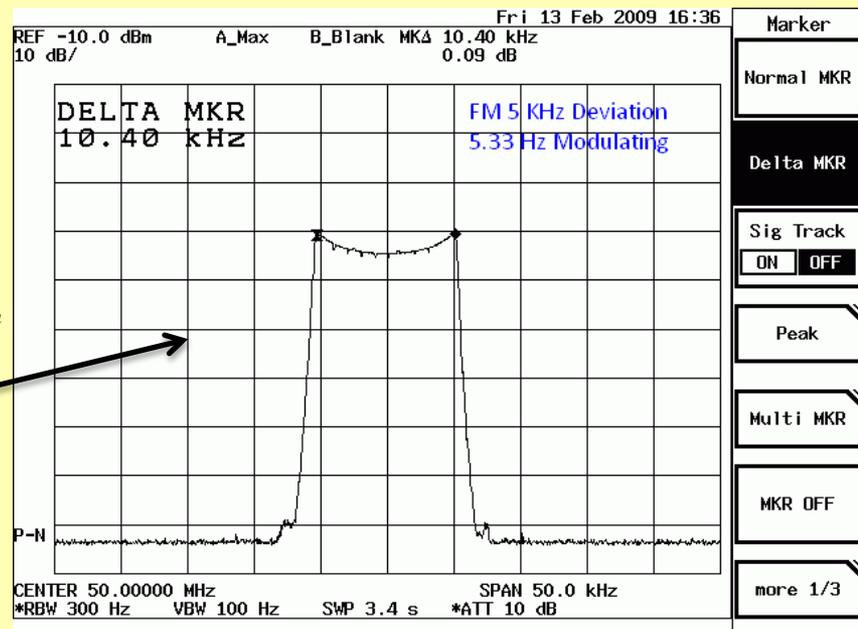
Apartado 3

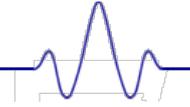
$$\beta = \frac{f_D}{f_m} = \frac{K_V |x|_{MAX}}{f_m} \Rightarrow \begin{cases} f_D = \beta \cdot f_m \\ f_D = K_V |x|_{MAX} \end{cases}$$



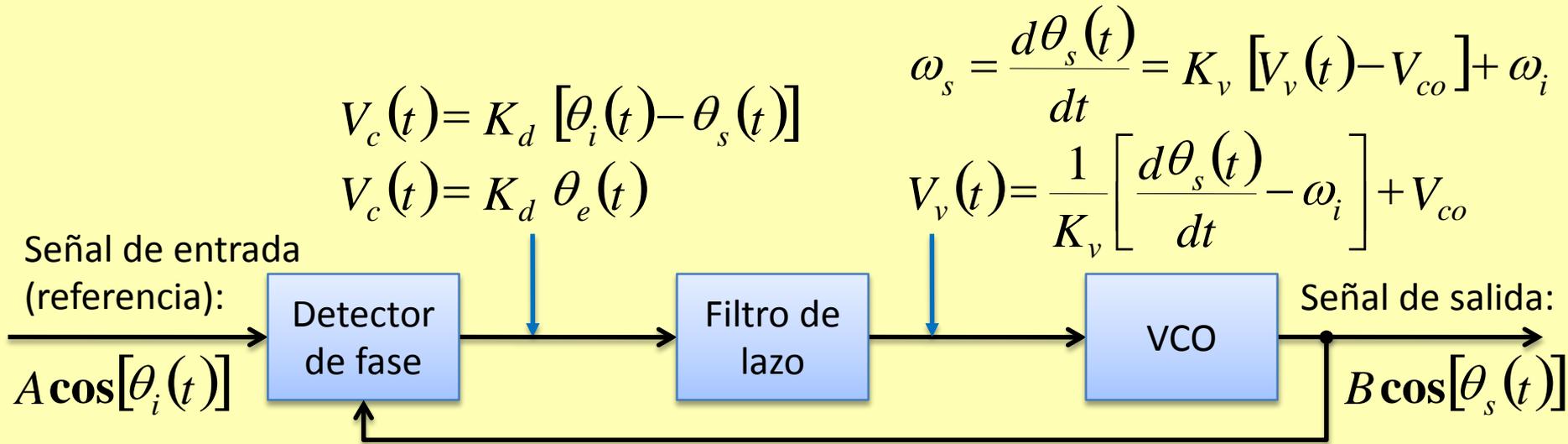
$$B \approx 2(\beta + 1) \cdot f_m$$

$$B \approx 2 \cdot f_D$$





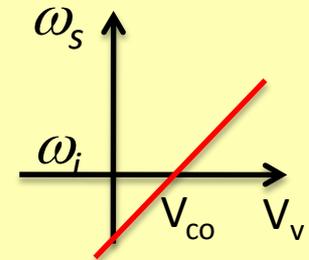
ESTRUCTURA DEL PLL

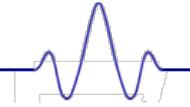


En situación de enganche:

- La frecuencia instantánea de la salida es igual a la de la entrada:

$$\frac{d\theta_s(t)}{dt} = \frac{d\theta_i(t)}{dt} \Rightarrow \theta_s(t) = \theta_i(t) + cte$$





LA ENTRADA ES UN TONO: SITUACIÓN DE ENGANCHE

$$\theta_s(t) = \theta_i(t) + cte \rightarrow \theta_s(t) = \omega_i t - \theta_e$$

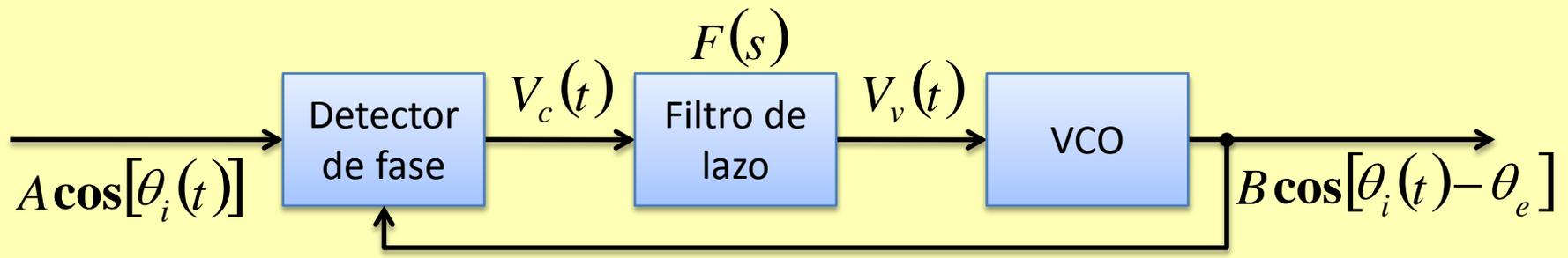
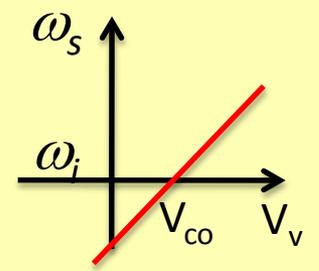
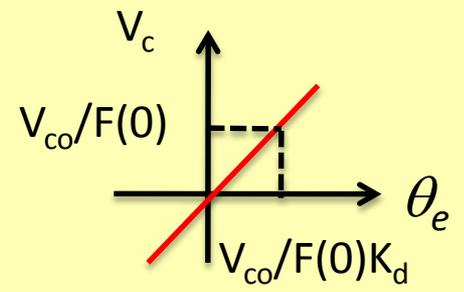
$$V_c(t) = K_d \theta_e$$

$$V_v(t) = F(0)V_c(t) = F(0)K_d \theta_e$$

DC

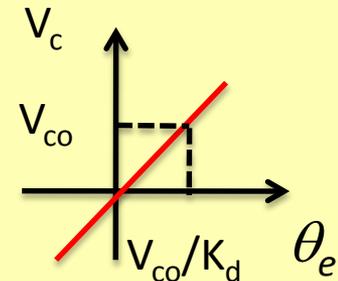
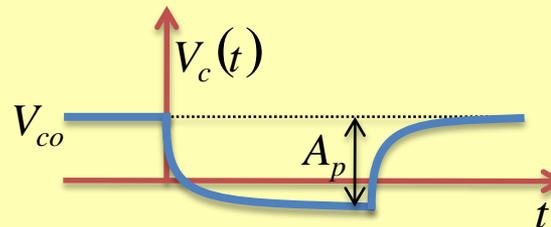
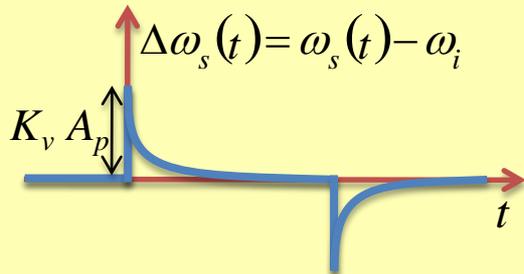
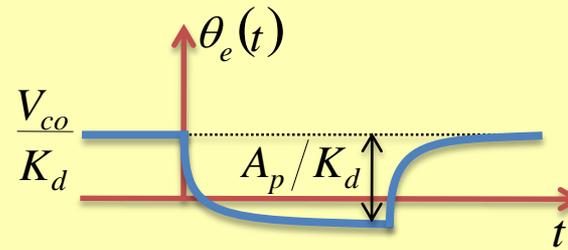
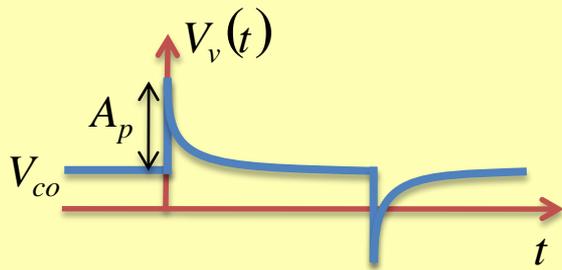
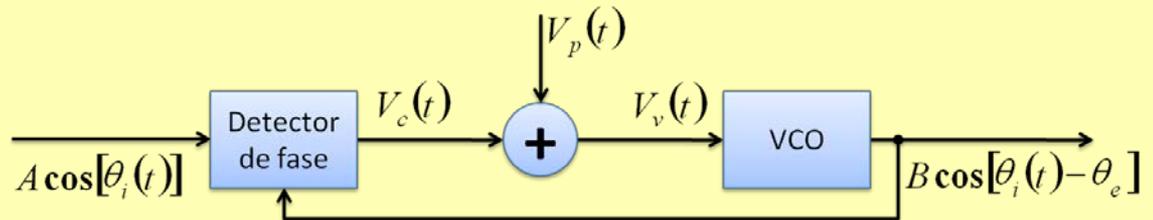
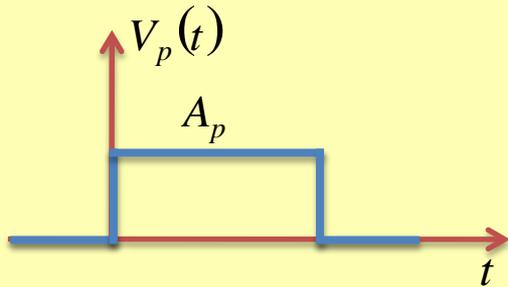
$$V_v(t) = \frac{1}{K_v} \left[\frac{d\theta_s(t)}{dt} - \omega_i \right] + V_{co} = V_{co}$$

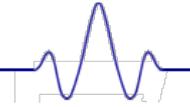
$$\theta_e = \frac{V_{co}}{F(0)K_d}$$





RESPUESTA A PERTURBACIONES: RECUPERACIÓN DEL ENGANCHE





¿POR QUÉ SE MANTIENE EL ENGANCHE?

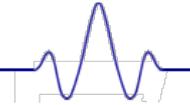
El enganche del PLL se mantiene porque es una situación estable. Conceptualmente:

• $\omega_s \uparrow \Rightarrow \theta_e \downarrow \Rightarrow V_v \downarrow \Rightarrow \omega_s \downarrow$

• $\omega_i \downarrow \Rightarrow \theta_e \downarrow \Rightarrow V_v \downarrow \Rightarrow \omega_s \downarrow$

Para un tono de entrada, el PLL no es capaz de engancharse cuando el VCO no es capaz de oscilar a la frecuencia de la señal de referencia:

- Por el margen de frecuencias del VCO
- Por el margen de tensiones a la entrada del VCO

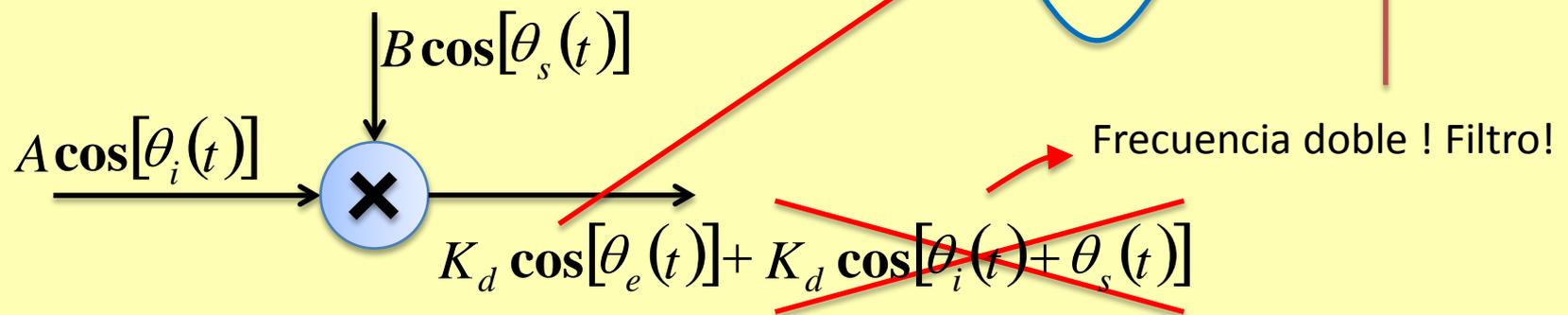
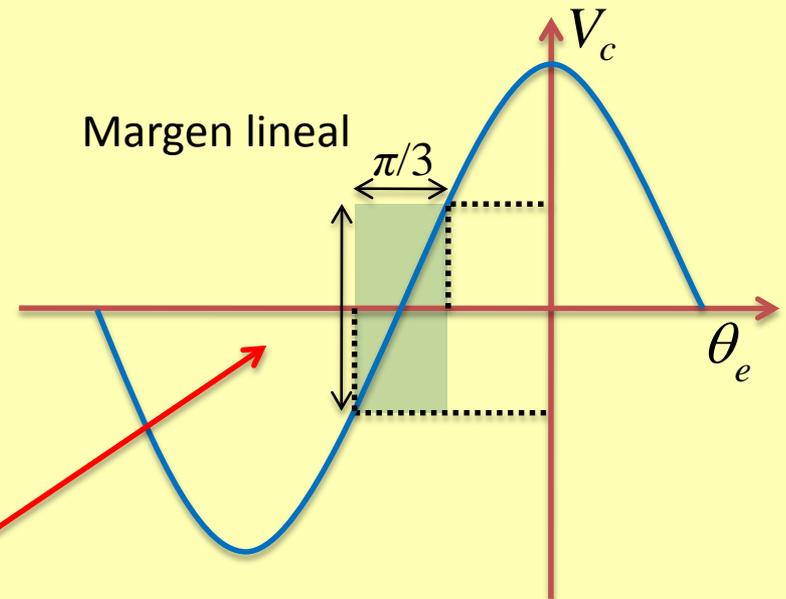


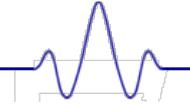
DETECTORES DE FASE

- **ANALÓGICOS:** multiplicador
- **DIGITALES:** XOR, fase-frecuencia, biestables

MULTIPLICADOR

- Gran margen de frecuencias (KHz-GHz)
- Curva característica no lineal (margen lineal $\pm\pi/6$)
- K_d pequeña
- Ruido pequeño

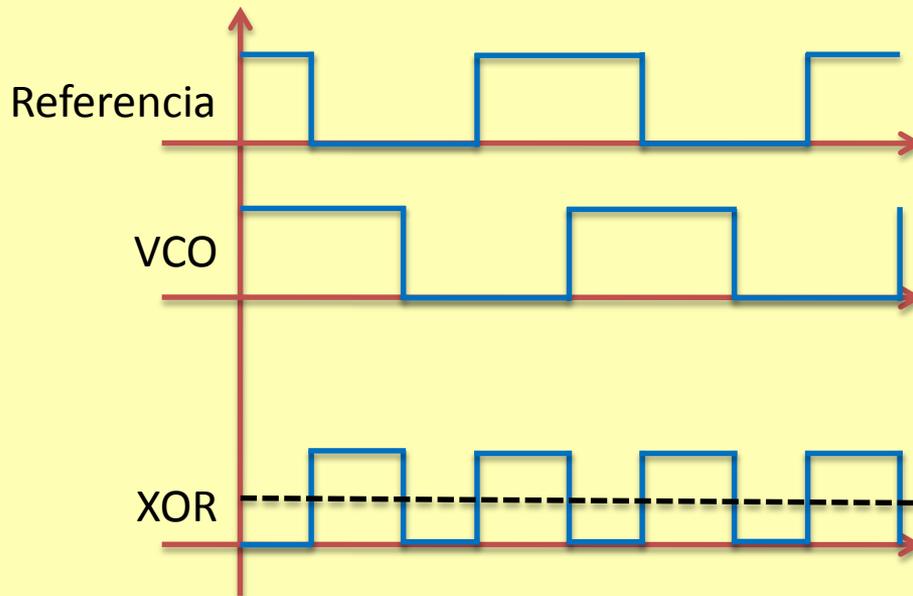
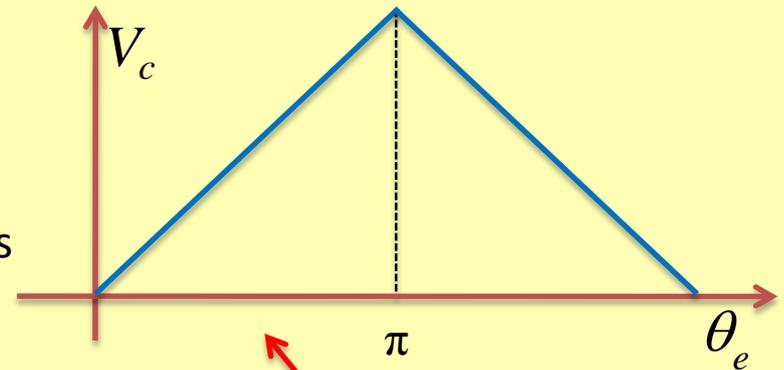




DETECTORES DE FASE

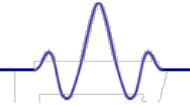
XOR

- Margen de frecuencias digital (0-MHz)
- Curva característica lineal ($\pm\pi/2$)
- K_d grande
- Ruido de conmutación
- Mejor comportamiento para señales digitales



Frecuencia doble ! Filtro!

El valor medio es proporcional al desfase

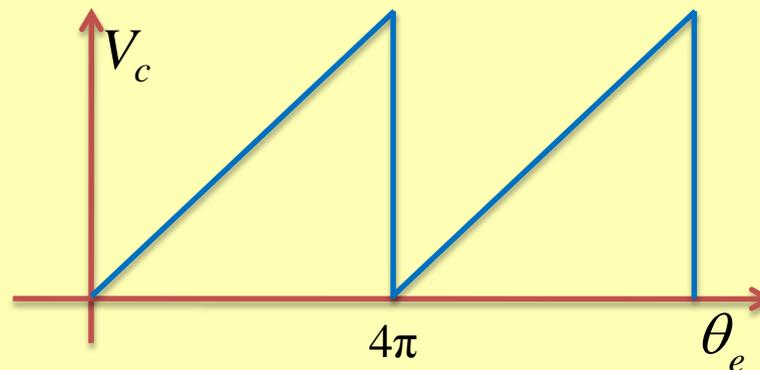


DETECTORES DE FASE

Fase-frecuencia

- Margen de frecuencias digital (0-MHz)
- K_d medio
- Ruido de conmutación
- Mejor comportamiento para señales digitales
- Basado en biestables
- Aumenta el margen de fases ($\pm 2\pi$)
- Polaridad: las dos entradas no son intercambiables (sólo pendiente positiva)
- También funciona como detector de frecuencia

Es spurio de frecuencia IGUAL a la de comparación !!

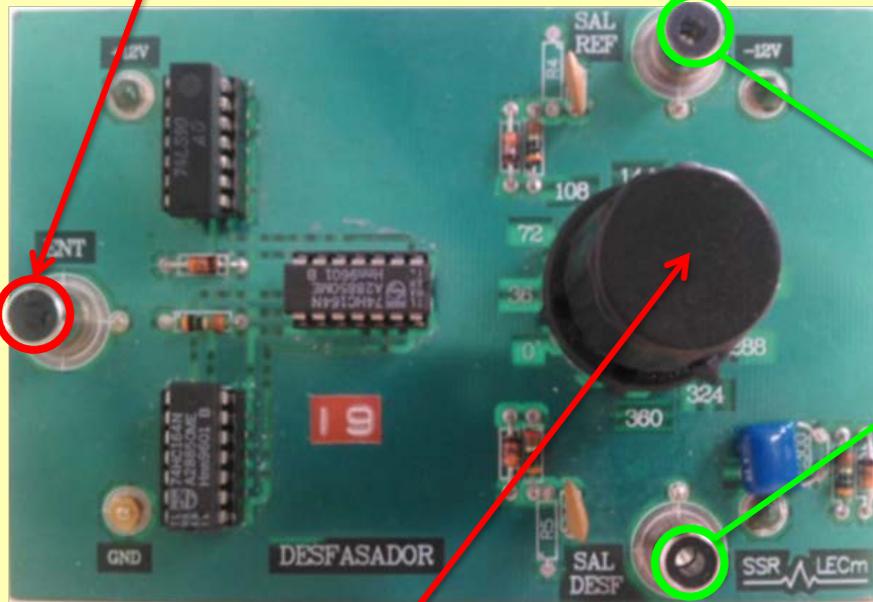


Apartado 4

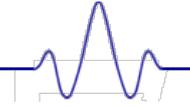
DETECTORES DE FASE: CARACTERIZACIÓN

Señal de referencia (tono)

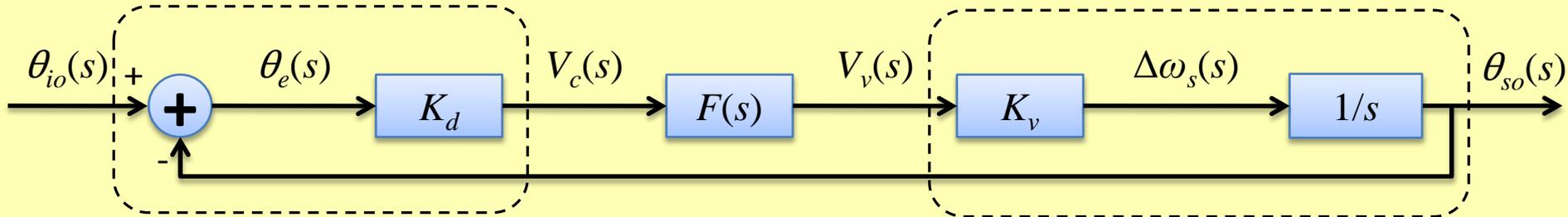
Al osciloscopio (acoplo en CC)



Mando de control de desfase



ESTUDIO DEL PLL EN ALTERNA



$$K_t = K_d K_v$$

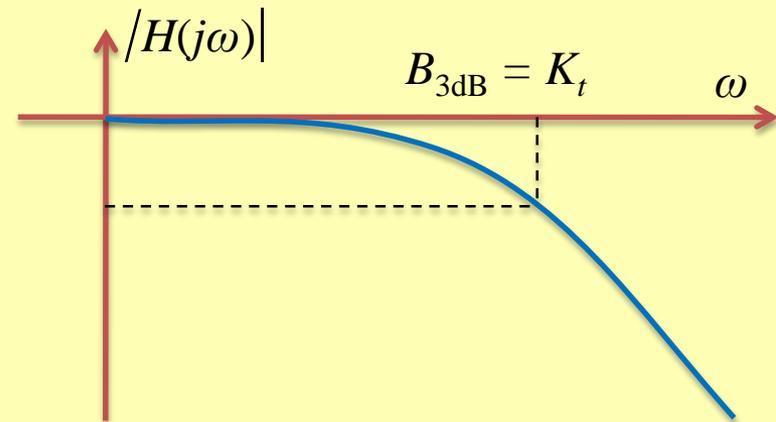
Ganancia en lazo abierto:

$$F(s) = 1 \Rightarrow H(s) = \frac{K_t}{s + K_t}$$

$$G(s) = \frac{\theta_{so}(s)}{\theta_e(s)} = \frac{K_t F(s)}{s}$$

Función de transferencia, o ganancia en lazo cerrado:

$$H(s) = \frac{\theta_{so}(s)}{\theta_{io}(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} = \frac{K_t F(s)}{s + K_t F(s)}$$

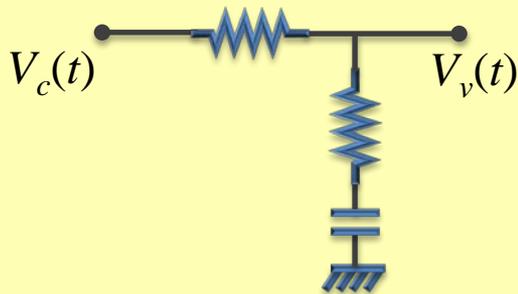




FILTRO DE LAZO

- Permite controlar la función de transferencia del PLL
- Filtra la señal de frecuencia $2f_i$ (ó f_i) generada por el detector de fases

Lead-lag pasivo

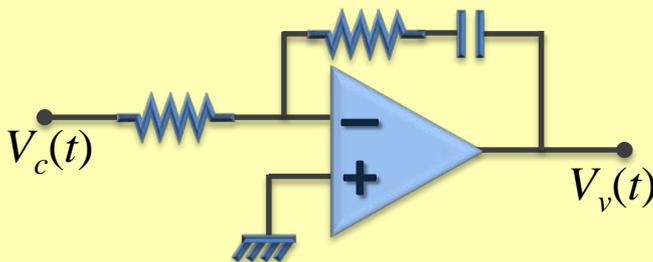


- $H(s)$ paso bajo de orden 2
- Caída de 20 dB/década
- $F(0) = 1 \Rightarrow \theta_e$ varía con la frecuencia
- **Margen de seguimiento** limitado por detector de fase

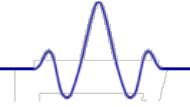
$$\Delta V_v = F(0) \Delta V_c = F(0) K_d \Delta \theta_e$$

$$\Delta \omega = K_v F(0) \Delta V_c \quad \Delta \theta_e = \frac{\Delta \omega}{F(0) K_d K_v}$$

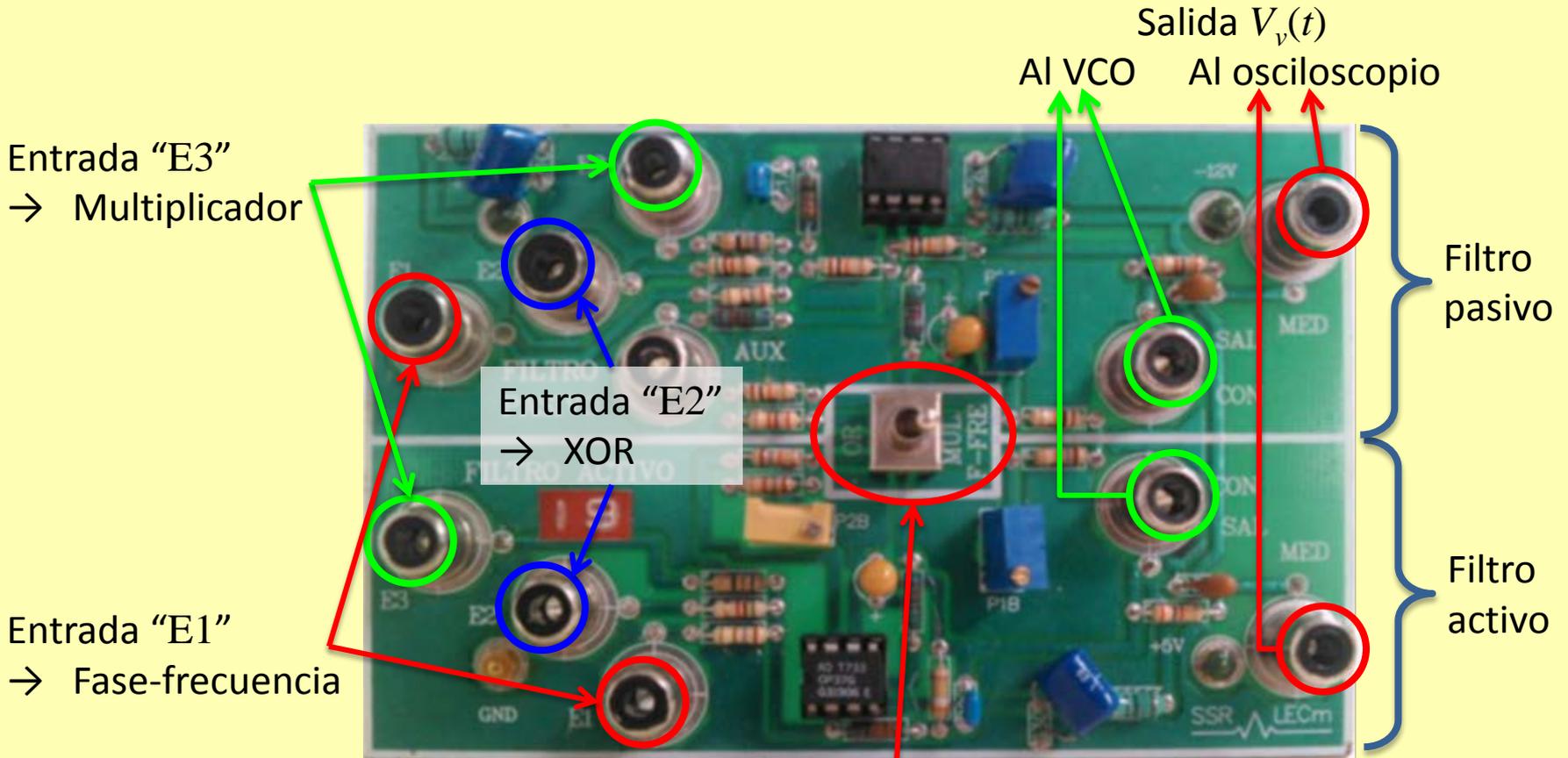
Lead-lag activo



- $H(s)$ paso bajo de orden 2
- Caída de 20 dB/década
- $F(0) = \infty \Rightarrow \theta_e$ no depende de la frecuencia
- **Margen de seguimiento** limitado por VCO o saturación del amplificador



PLACA FILTROS DE LAZO



Entrada "E3"
→ Multiplicador

Entrada "E2"
→ XOR

Entrada "E1"
→ Fase-frecuencia

Interruptor

- "MUL/F-FREC"
- "OR"

Salida $V_v(t)$
Al VCO Al osciloscopio

Filtro
pasivo

Filtro
activo

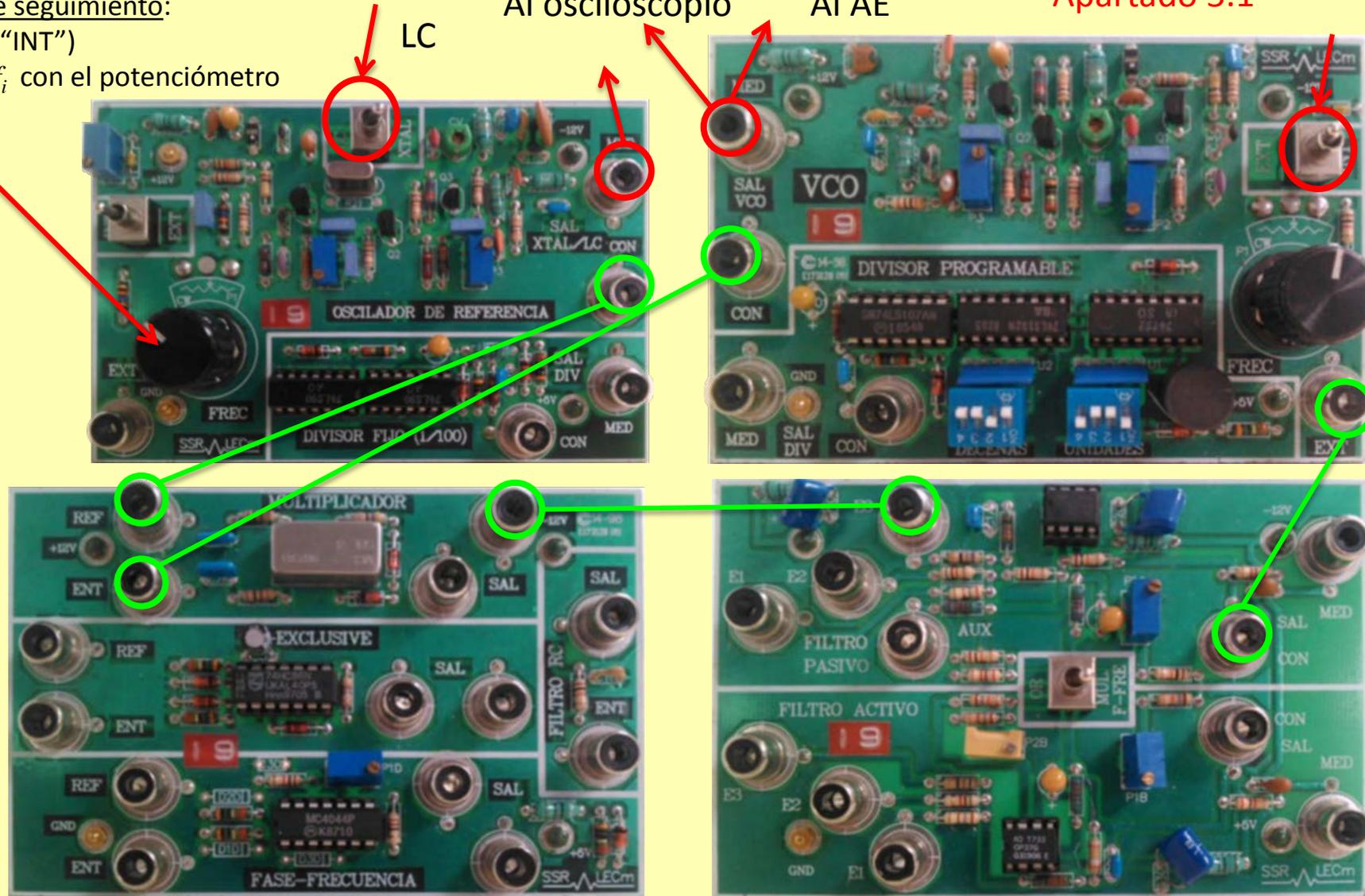


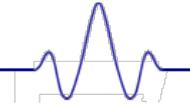
Medida del margen de seguimiento:

- ("LC" e "INT")
- Variar f_i con el potenciómetro

Comprobar el enganche
Al osciloscopio Al AE

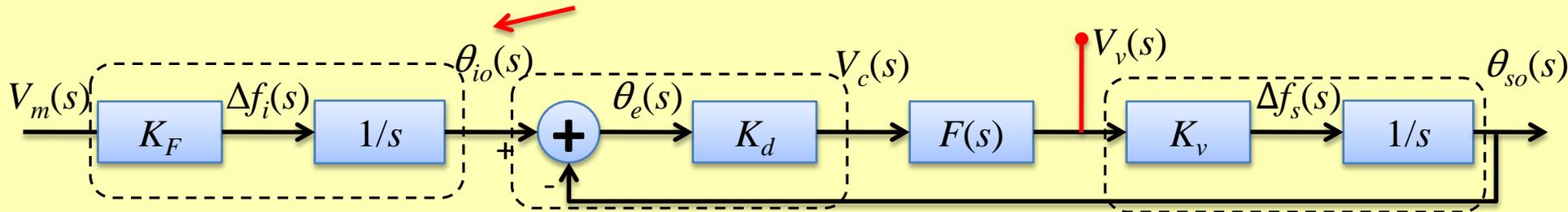
Apartado 5.1





CARACTERIZACIÓN DEL PLL: demodulador FM

Se utiliza la salida de un VCO (señal FM) como señal de entrada:



$$H(s) = \frac{\theta_{so}(s)}{\theta_{io}(s)} = \frac{\Delta f_s(s)}{\Delta f_i(s)} = \frac{K_v}{K_F} \frac{V_v(s)}{V_m(s)} \Rightarrow V_v(s) = cte \times H(s) V_m(s)$$

- $V_v(t)$ es proporcional a la señal moduladora $V_m(t)$ filtrada con la función de transferencia del PLL
- Si la señal moduladora es un tono, $V_m(t) = \cos(2\pi f_m t)$, entonces $V_v(t)$ es un tono de frecuencia f_m , y amplitud proporcional a $|H(j\omega_m)|$
- El PLL debe ser capaz de engancharse a todo el margen de variación de $\Delta f_i(t)$ (la frecuencia instantánea de la señal FM) controlado con la amplitud de $V_m(t)$

DEMODULADOR DE FM.

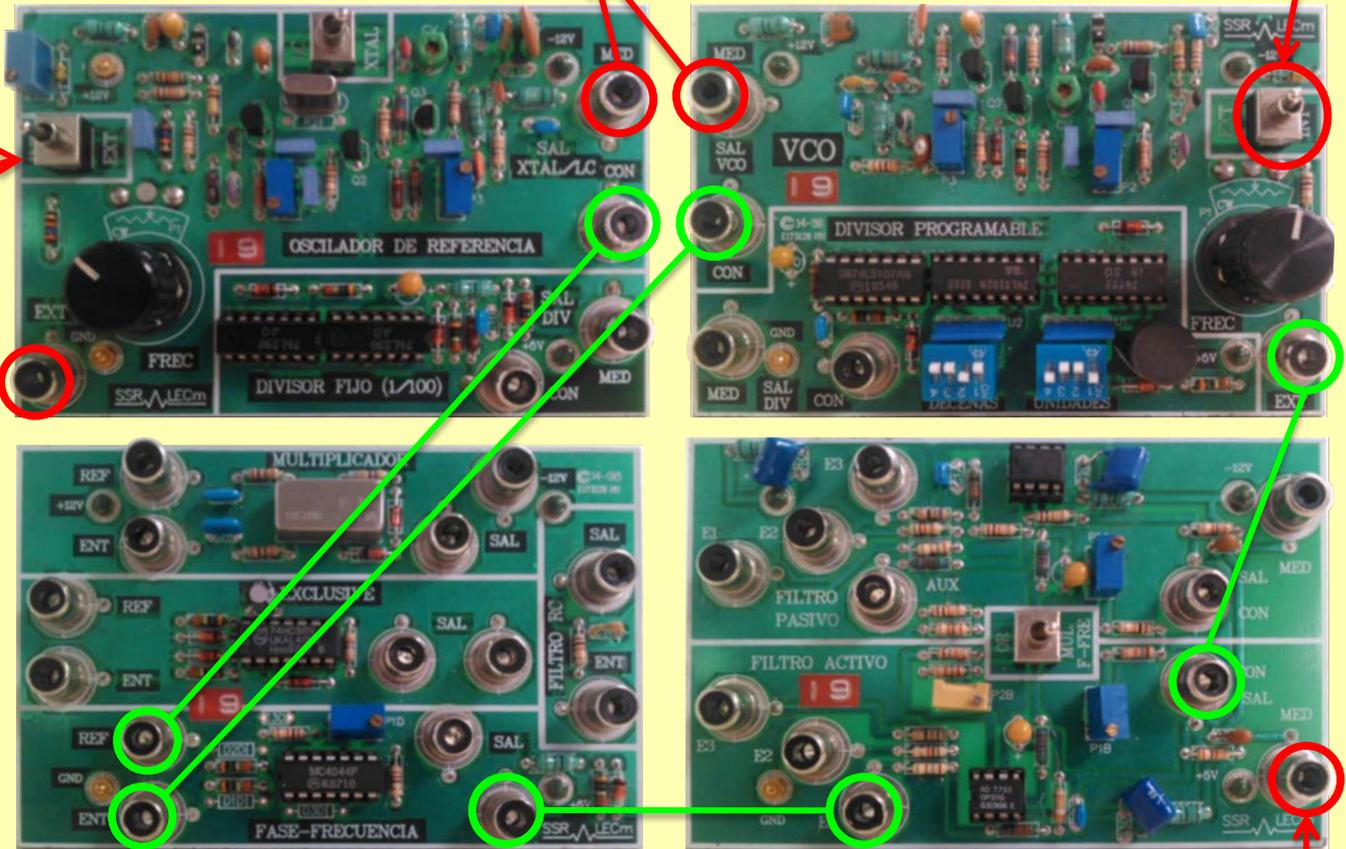
Apartado 5.2

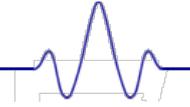
Comprobar el enganche
Al osciloscopio

Siempre
en "EXT"

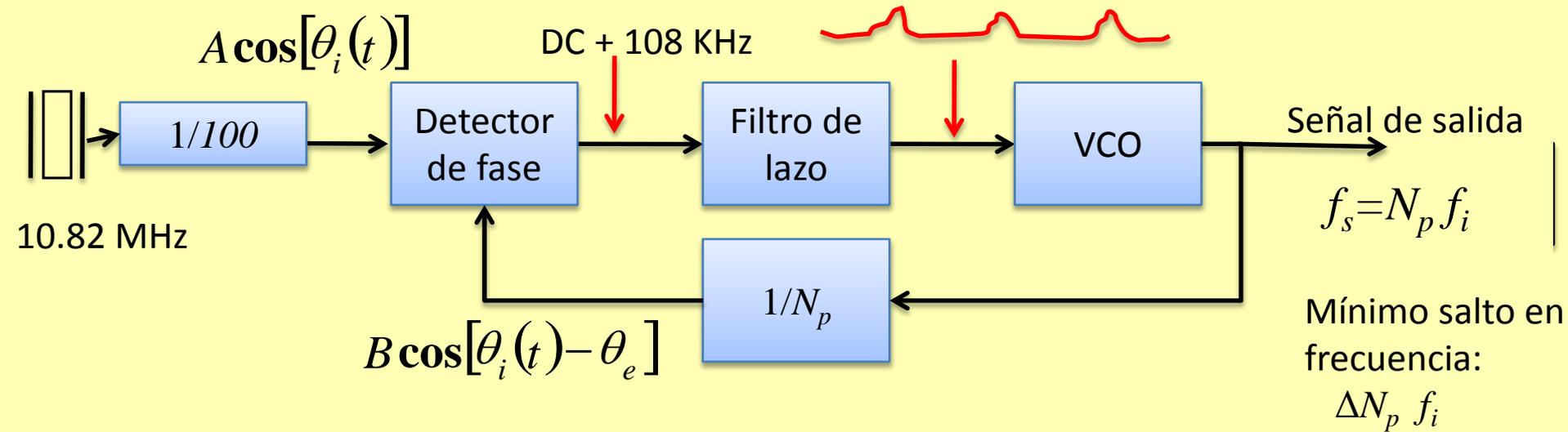
Medida de la
ganancia en lazo
cerrado

- "EXT"
- Señal $V_m(t)$ del generador de funciones
- Señal $V_v(t)$ al osciloscopio





SINTETIZADOR DE FRECUENCIAS BASADO EN PLL



$$H(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)/N_p} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bullet B'_{3\text{dB}} \approx \frac{B_{3\text{dB}}}{\sqrt{N_p}} \\ \bullet f_i = f_s / N_p \end{array} \right.$$



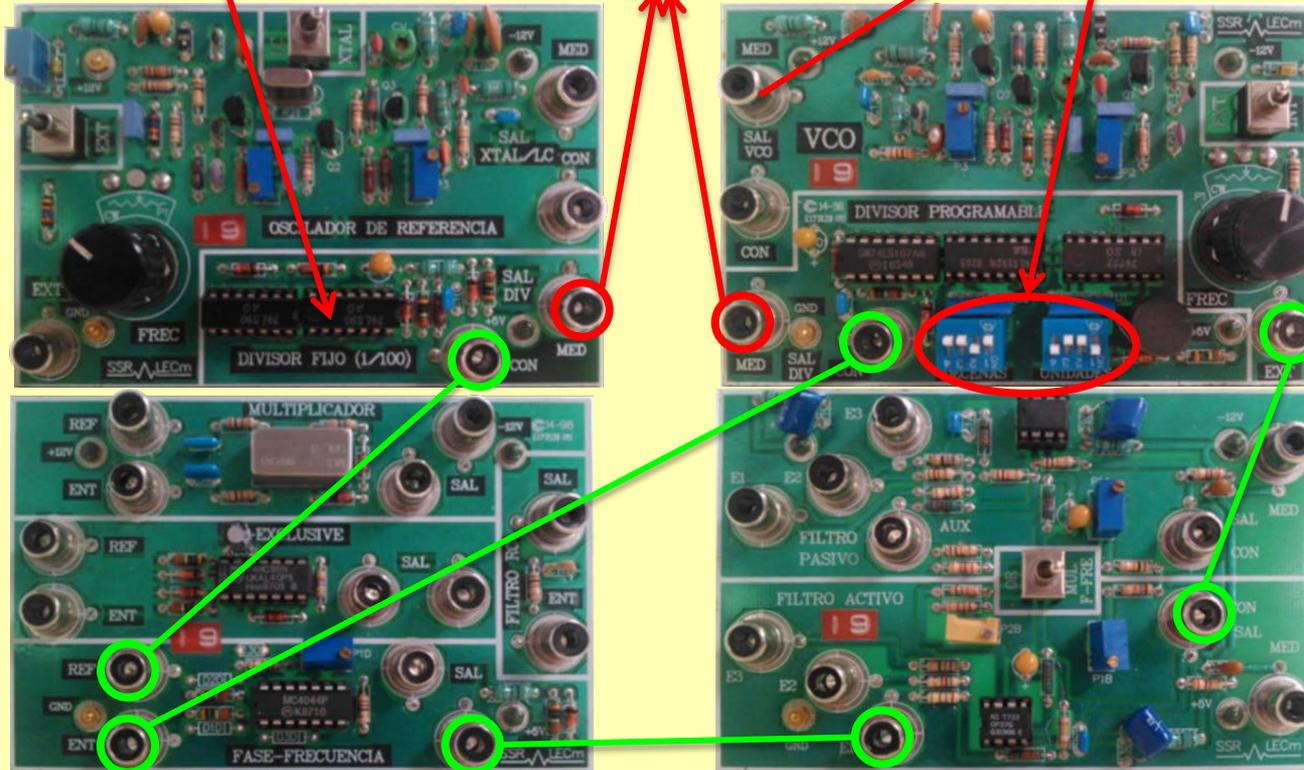
SINTETIZADOR DE FRECUENCIAS: MONTAJE

Divisor fijo (1/100)

Comprobar el enganche

Divisor programable

Salida del sintetizador



Osc. Referencia



108 kHz

Detector de fase

Filtro de lazo

VCO

$1/(2 \cdot N_p)$



CONFIGURACIONES DEL PLL

DEMODULADOR DE FRECUENCIA:

- Señal de referencia: La señal modulada (FM)
- Salida del VCO: La señal modulada
- Señal demodulada: A la entrada del VCO

MODULADOR DE FASE:

- Señal de referencia: La portadora
- Señal moduladora: A la entrada del filtro de lazo (aditiva)
- Señal modulada: A la salida del VCO

DEMODULADOR DE FASE:

- Señal de referencia: La señal modulada (PM)
- Salida del VCO: La portadora (ancho de banda muy pequeño)
- Señal demodulada: A la salida del detector de fases (filtrar paso bajo)