

# Sistemas de Comunicación

## - Circuitos AM 2-

Ph.D. Cristian Guarnizo Lemus

[cristianguarnizo@itm.edu.co](mailto:cristianguarnizo@itm.edu.co)

# Contenido

1. Modulación Angular.
2. Análisis matemático.

# 1. Modulación Angular

$$m(t) = V_c \cos(2\pi f t \pm \theta)$$

Cuando se varia  $f$  se conoce como modulación de frecuencia. Mientras que si se varia  $\theta$  se conoce como modulación de fase.

# 1. Modulación Angular

## Ventajas:

Reducción de ruido.

Mayor fidelidad.

Uso mas eficiente de potencia.

## Desventajas:

Necesidad de mayor ancho de banda.

Requiere de circuito mas complicados tanto en transmisión como en recepción.

# 1. Modulación Angular

$$m(t) = V_c \cos(\omega_c t + \theta(t))$$

$m(t)$  = onda con modulación angular.

$V_c$  = amplitud máxima de portadora (volts).

$\omega_c$  = frecuencia de la portadora en radianes.

$\theta(t)$  = desviación instantánea de fase (radianes).

# 1. Modulación Angular

Si  $v_m(t)$  es la señal moduladora, la modulación angular se expresa como

$$\theta(t) = F(v_m(t))$$

en donde  $v_m(t) = V_m \sin(\omega_m t)$ .

# 1. Modulación Angular

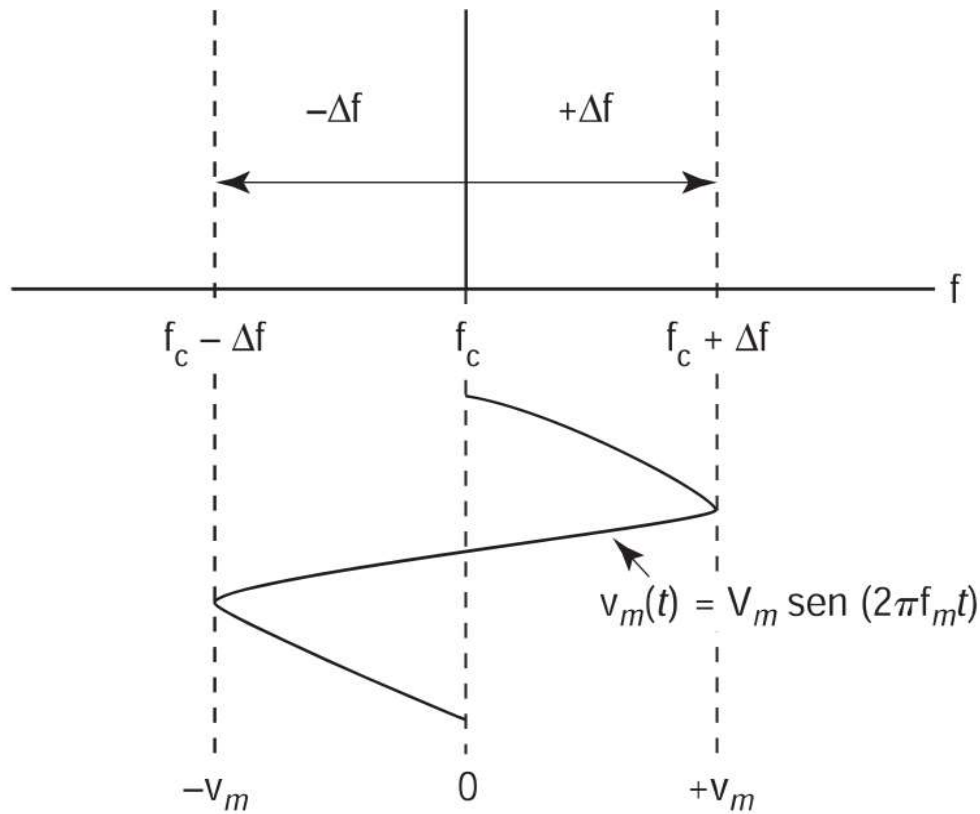
Modulación directa de frecuencia (FM):

Variar la **frecuencia de la portadora** en proporción directa a la **amplitud de la señal moduladora**.

Modulación directa de fase (PM):

Variar la **fase de la portadora** en proporción directa a la **amplitud de la señal moduladora**.

# 1. Modulación Angular - FM



La frecuencia de la señal moduladora determina la frecuencia de la rapidez de desviación, o cuantas veces por segundo la frecuencia de la portadora se desvía por arriba y abajo de su frecuencia central.



# 1. Modulación Angular - FM

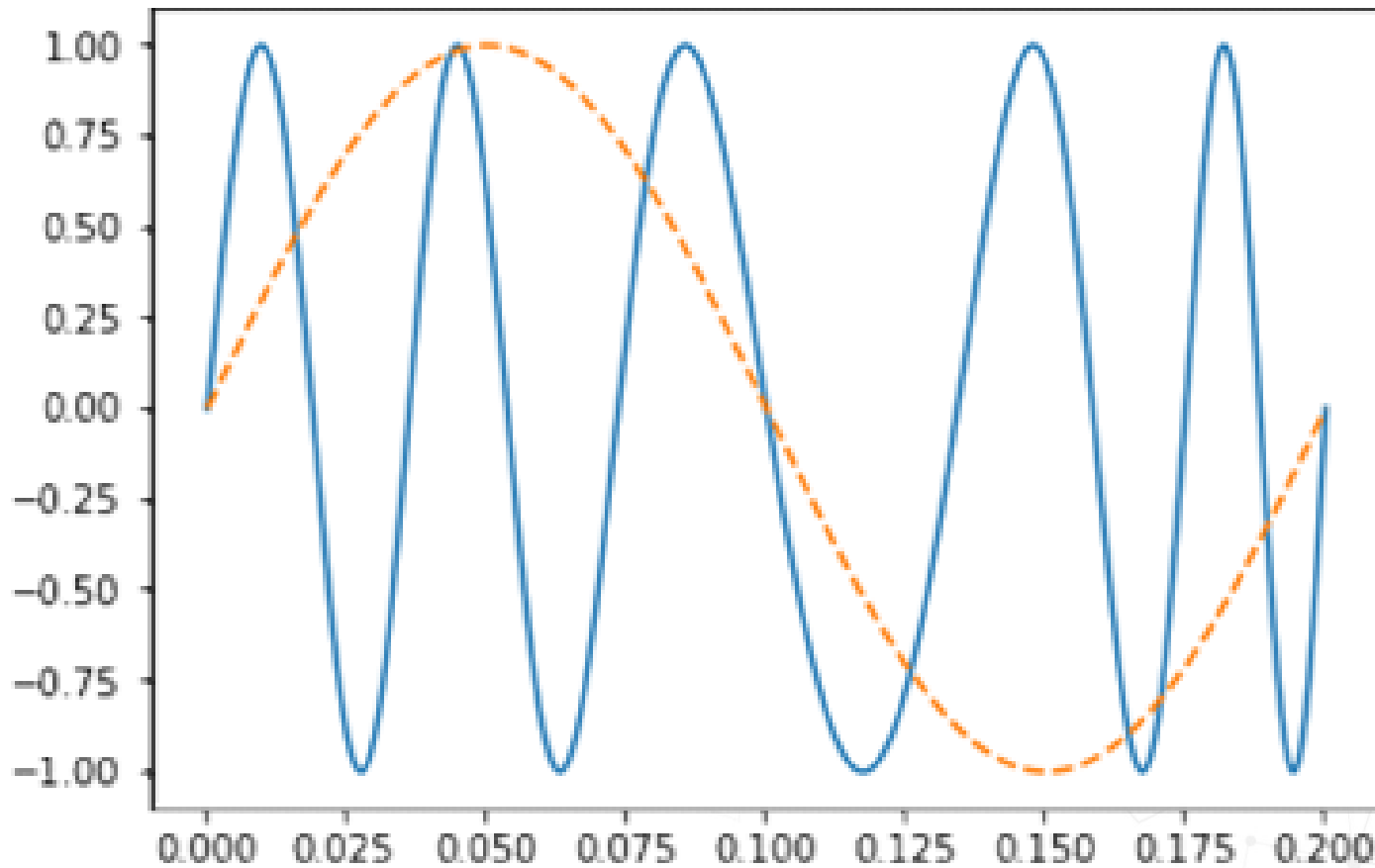
**Ejemplo:** Un transmisor opera sobre una frecuencia de 915MHz. La desviación FM máxima es  $\pm 12.5\text{kHz}$ . Cuales son las frecuencias máximas y mínimas que ocurren en la modulación?

$$915 \text{ MHz} = 915000 \text{ kHz}$$

$$\text{Maxima desv.} = 915000 + 12.5 = 915012.5 \text{ kHz}$$

$$\text{Minima desv.} = 915000 - 12.5 = 914987.5 \text{ kHz}$$

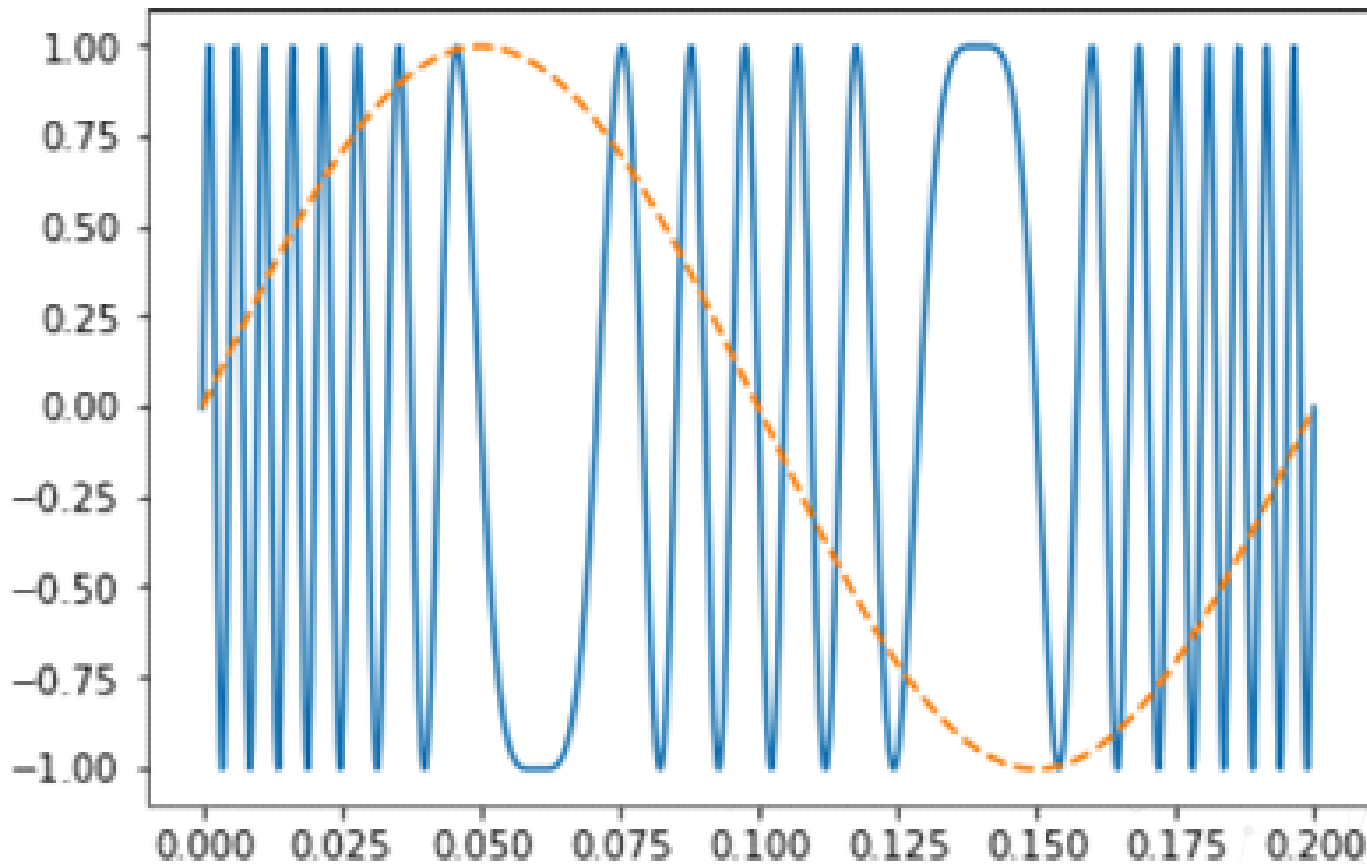
# 1. Modulación Angular - FM



# 1. Modulación Angular - PM

En PM, la máxima desviación de frecuencia ocurre cuando la señal modulante varia mas rápido. Para una onda seno como moduladora, ocurre cuando la onda modulante cambia de positivo a negativo o de negativo a positivo.

# 1. Modulación Angular - PM



## 2. Análisis matemático

La diferencia entre FM y PM se analiza con:

1. Desviación instantánea de fase:  $\theta(t)$
2. Fase instantánea:  $\omega_c t + \theta(t)$
3. Desviación instantánea de frecuencia:  $\dot{\theta}(t)$
4. Frecuencia instantánea:  $\omega_i = \omega_c + \dot{\theta}(t)$

## 2. Análisis matemático

1. **Desviación instantánea de fase:** es el cambio instantáneo de fase de la portadora, en determinado momento, e indica cuánto está cambiando la fase de la portadora con respecto a su fase de referencia

$$\theta(t)$$

## 2. Análisis matemático

**2. Fase instantánea:** es la fase precisa de la portadora en un momento dado, y se describe matemáticamente como sigue

$$\omega_c t + \theta(t)$$

## 2. Análisis matemático

**3. Desviación instantánea de frecuencia :** Es el cambio instantáneo en la frecuencia de la portadora, y se define como la primera derivada de la desviación instantánea de fase con respecto al tiempo.

$$\dot{\theta}(t) \text{ rad/s}$$
$$\frac{\dot{\theta}(t) \text{ rad/s}}{2\pi \text{ rad/ciclo}} = \frac{\text{ciclos}}{\text{s}} = \text{Hz}$$



## 2. Análisis matemático

**4. Frecuencia instantánea:** es la frecuencia precisa de la portadora en determinado momento, y se define como la primera derivada de la fase instantánea respecto al tiempo

$$\begin{aligned}\omega_i &= \frac{d}{dt} [\omega_c t + \theta(t)] \\ &= \omega_c + \dot{\theta}(t)\end{aligned}$$

## 2. Sensibilidad a la desviación

Para una señal moduladora  $v_m(t)$ , la modulación de fase y la de frecuencia son

modulación de fase  $\theta(t) = K v_m(t)$  rad

modulación de frec.  $\dot{\theta}(t) = K_1 v_m(t)$  rad/s

## Bibliografía

- FRENZEL, Louis. (2016) Principles of Electronic Communication Systems. 4<sup>th</sup> Edition.