



# MODULACIÓN

**Comunicaciones Electrónicas**

Facultad de Ingenierías

Programa de Ingeniería Electrónica

Ing. Erika Sarria Navarro, M. Sc.



# Introducción

¿Por qué modular?



# INTRODUCCIÓN

Todo comienza con la transmisión de radio!!!

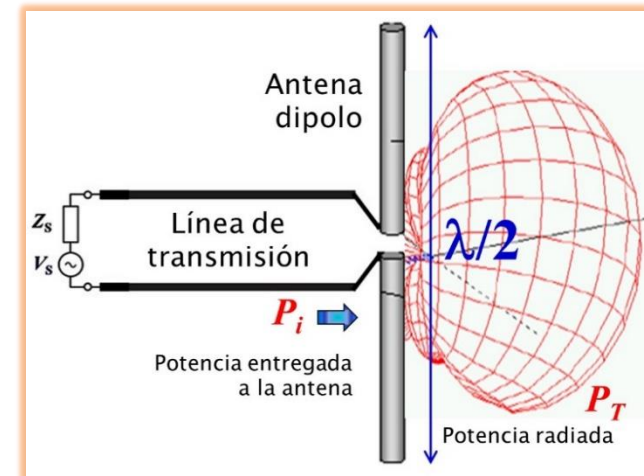
## LA TRANSMISIÓN POR RADIO

### Descripción

● La **transmisión por radio** se usa para transmitir señales de voz, video o datos, cuando las distancias son grandes, o cablear es caro, o por razones de movilidad.

● En esta transmisión, las señales viajan a través del aire como ondas de radio, pero necesitan mecanismos de transmisión y recepción, entre ellos las **antenas**.

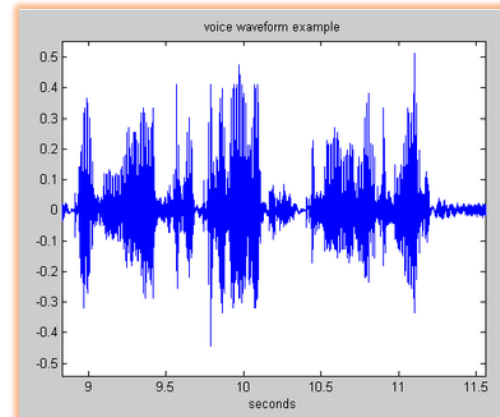
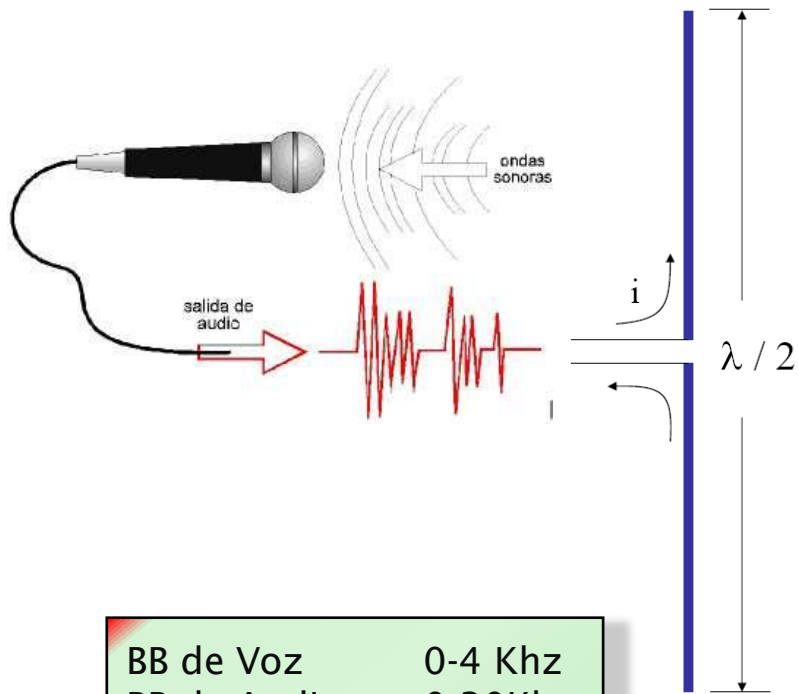
● La teoría de las **antenas** establece que si los extremos de una línea de transmisión se doblan en  $90^\circ$ , se obtiene una antena dipolo que posibilita la radiación de la onda. La radiación será óptima si la **longitud de la antena es  $\lambda/2$**  en la frecuencia de operación.



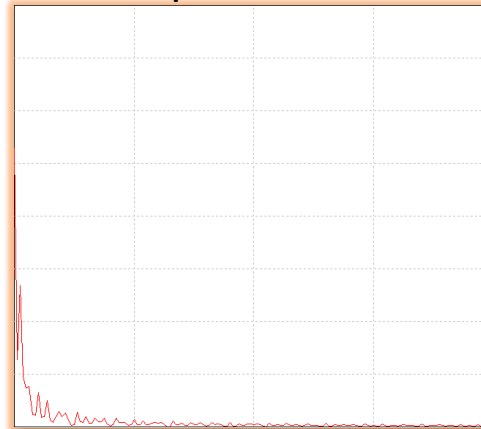
# Introducción

## Ejemplo:

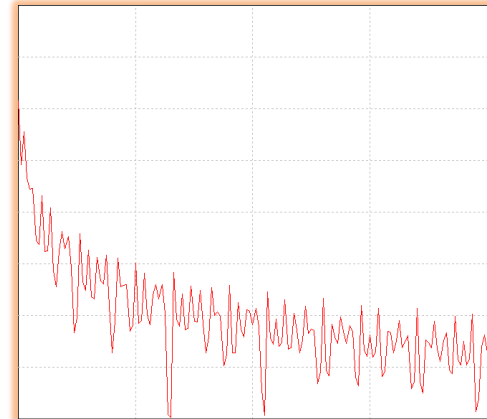
- ¿Qué sucedería si una señal de voz se transmitiera en sus frecuencias originales, es decir en su banda base de 300 a 3.400 Hz?
  - a) ¿Qué longitud tendría la antena?
  - b) ¿Se podrían transmitir varias señales de voz al mismo tiempo?



Amplitud lineal



Amplitud en dB



BB de Voz	0-4 Khz
BB de Audio	0-20Khz
BB Canal de TV	0-6Mhz

# Introducción

Respuesta.-

a) ¿Qué longitud tendría la antena?

Para un tono de 3KHz,  $\lambda = 100 \text{ km}$ , por tanto

$$\text{longitud de la antena} = \lambda/2 = 50\text{km}$$

La solución es elevar la frecuencia de transmisión a la banda de Radiofrecuencia para disminuir el tamaño de las antenas a valores prácticos (modulación)

A la señal de información se le conoce con el nombre de señal en banda base, por tener el espectro o banda de frecuencia original de la información.

b) ¿Se podrían transmitir varias señales de voz al mismo tiempo?

No, porque al ocupar los mismos rangos de frecuencias, se producirían interferencias entre ellas.

La solución es asignarle a cada fuente de información (emisora) un espectro o banda de frecuencia diferente (multiplexación FDM).

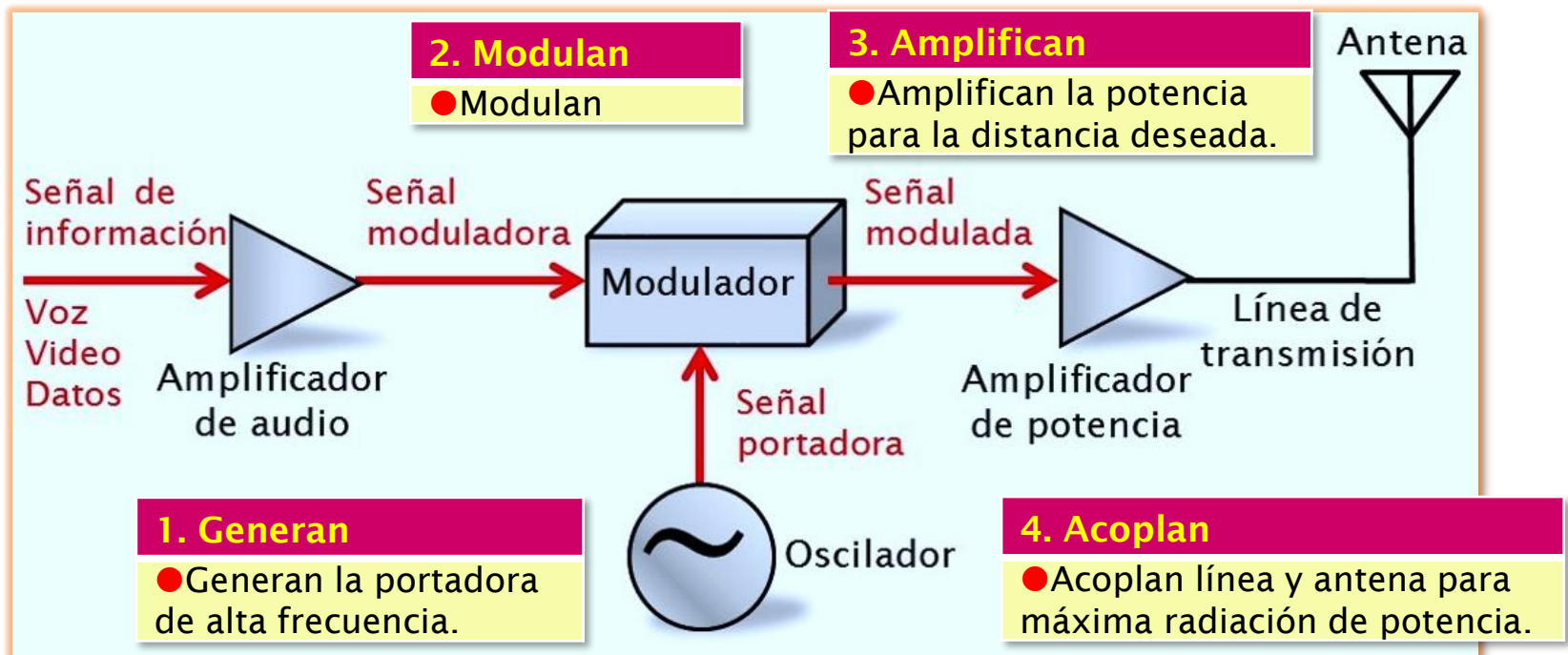


# El transmisor de radio

## TRANSMISOR DE RADIO

### Descripción

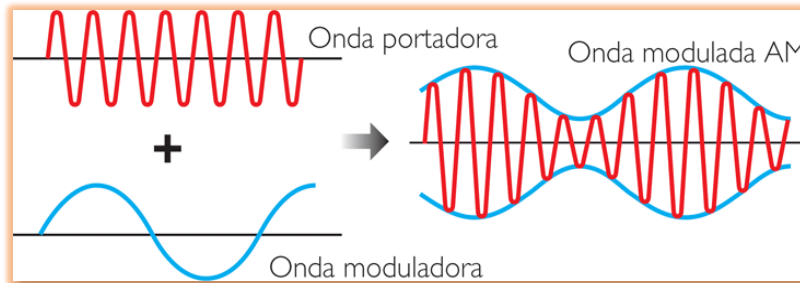
- Es el dispositivo electrónico que acepta la señal de información y la convierte en una señal de **radiofrecuencias** capaz de transmitirse a grandes distancias.
- A pesar de la variación en la potencia de salida, apariencia física y tipo de modulación, los transmisores tienen una sola configuración y deben cumplir **4 requerimientos** básicos.



El transmisor de un celular genera unos pocos mW. El de radiodifusión de onda corta del orden de MW.

# Modulación - Definiciones

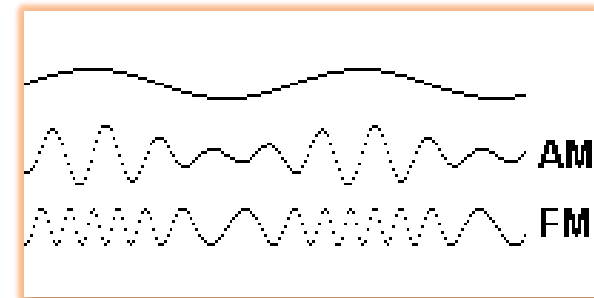
- La **modulación** es la alteración sistemática de una forma de onda, conocida como **portadora**, de acuerdo a las características de otra forma de onda, **señal moduladora** o **mensaje**



La transmisión por radio solo permite la **propagación** de portadoras analógicas.

- Consiste en hacer variar algún parámetro de la señal portadora de alta frecuencia en función de la señal de información.

$$f_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \phi_c)$$



La señal de banda base se conoce como onda moduladora y el resultado del proceso de modulación se denomina onda modulada.

# Modulación de onda continua

- Una forma común de portadora es una onda senoidal en cuyo caso hablamos de un proceso de **modulación de onda continua**.

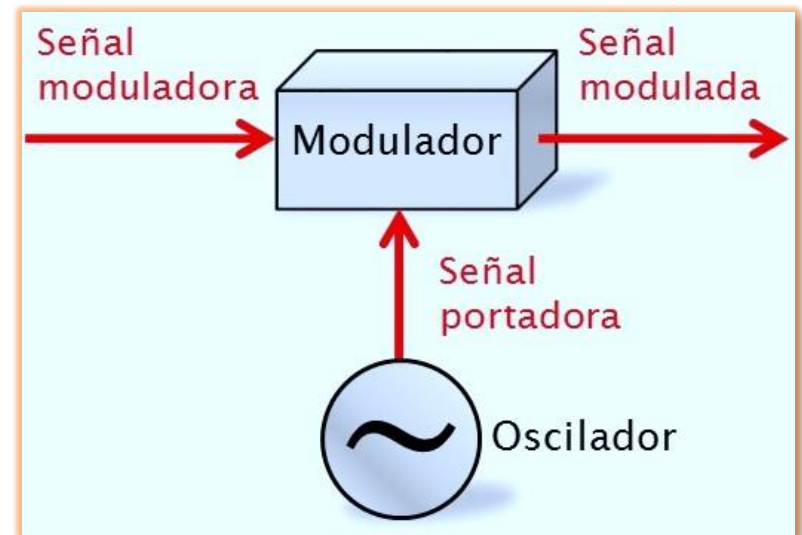
$$v_c(t) = A_c \sin(2\pi f_c t + \theta_c)$$



- El subíndice “c” hace referencia al termino inglés “carrier” que en este contexto significa “portadora”.

$$\left\{ \begin{array}{l} v_c(t) = \text{amplitud instantánea, en V.} \\ A_c = \text{amplitud pico, en V.} \\ f_c = \text{frecuencia portadora, en Hz.} \\ \theta_c = \text{fase, en rad.} \end{array} \right.$$

- Esta señal portadora se puede hacer variar en cualquiera de los siguientes parámetros:
  - Amplitud (modulación de amplitud),
  - Frecuencia (modulación en frecuencia) y
  - Fase (modulación en fase).



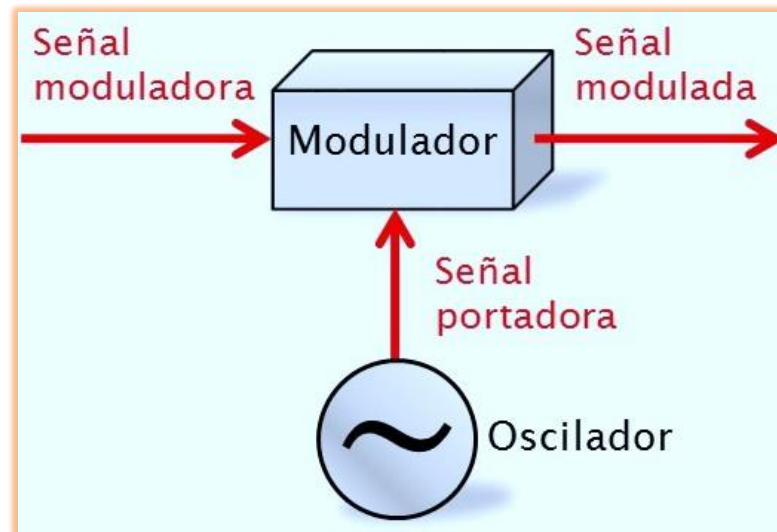
El tipo de modulación depende de la señal moduladora a transmitir, la cual puede ser:

- Analógica (voz y video)
- Digital (voz y video digitalizados y datos de PC).



# Tipos de modulaciones

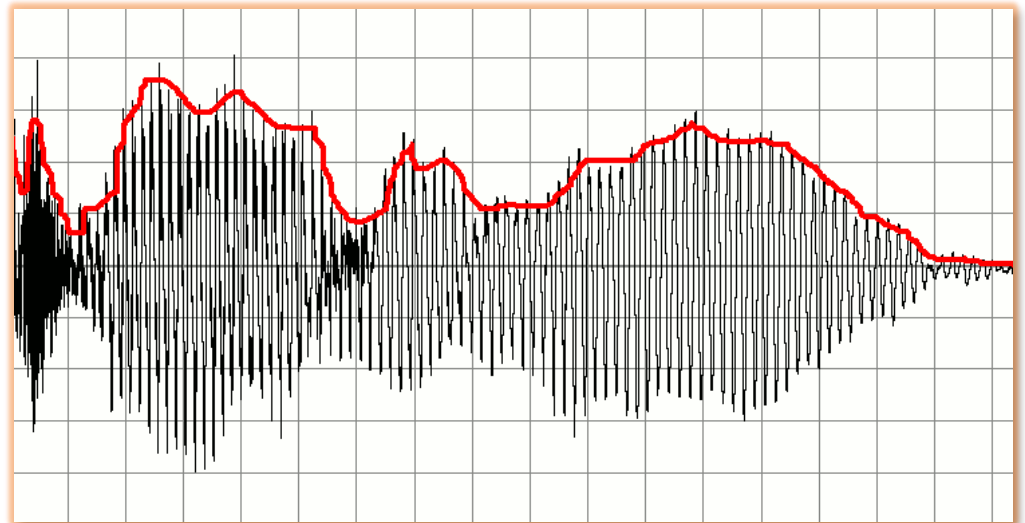
Analógica	Digital
● Si la señal moduladora es <b>analógica</b> (voz y video).	● Si la señal moduladora es <b>digital</b> (voz y video digitalizados y datos de PC).
▶ <b>AM</b> . Modulación de amplitud.	▶ <b>ASK</b> . Modulación por desplazamiento de amplitud.
▶ <b>FM</b> . Modulación de frecuencia	▶ <b>FSK</b> . Modulación por desplazamiento de frecuencia.
▶ <b>PM</b> . Modulación de fase.	▶ <b>PSK</b> . Modulación por desplazamiento de fase.
	▶ <b>QAM</b> . Modulación de amplitud en cuadratura.





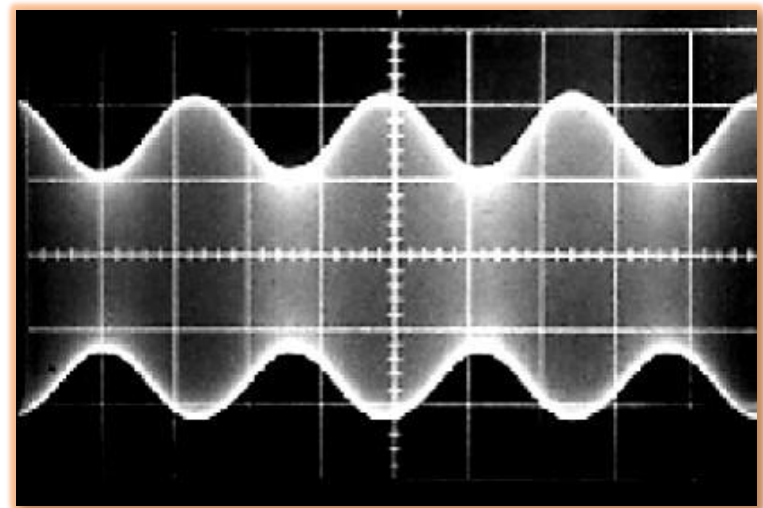
# Modulaciones Análogas

¿Amplitud,  
Frecuencia o Fase?





# Modulación en Amplitud



# Modulación en Amplitud (AM)

- Consiste en modificar la amplitud de la señal portadora con la señal de información (moduladora).

Moduladora:

$$v_m = A_m \sin(2\pi f_m t)$$

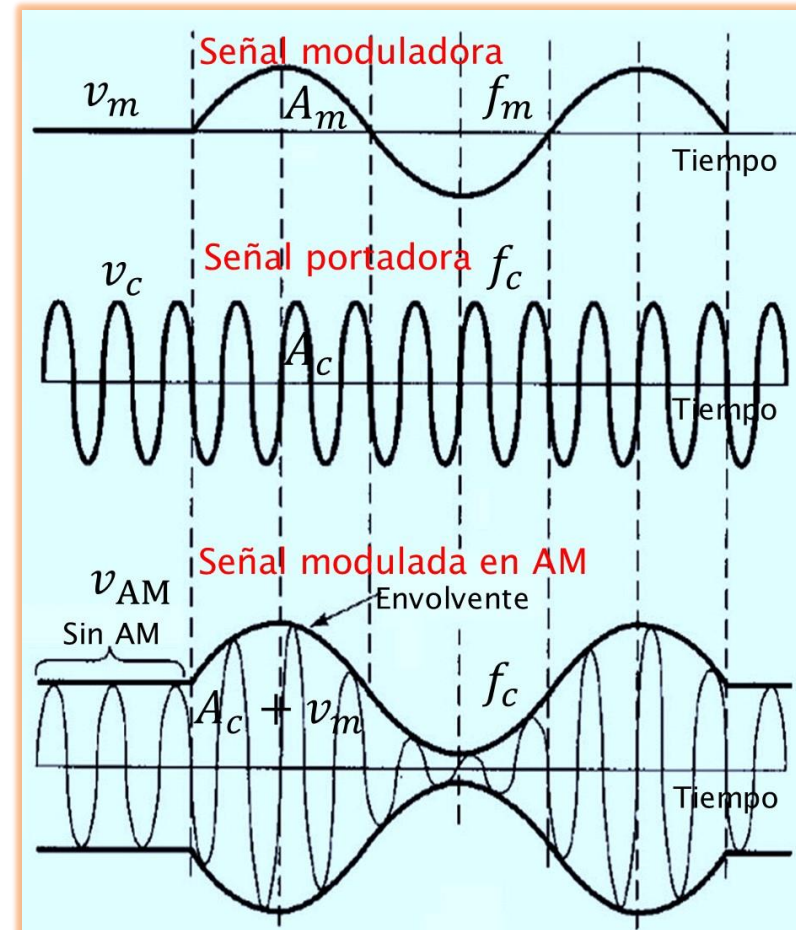
Portadora:

$$v_c = A_c \sin(2\pi f_c t)$$



$$v_{AM} = (A_c + v_m) \sin(2\pi f_c t)$$

$v_m, v_c, v_{AM}$  = amplitudes instantáneas, en **V**.  
 $A_m, A_c$  = amplitudes pico, en **V**.  
 $f_m, f_c$  = frecuencias, en **Hz**.



# Modulación en Amplitud (AM)

## Ejemplo:

- Suponga que la señal de información es:

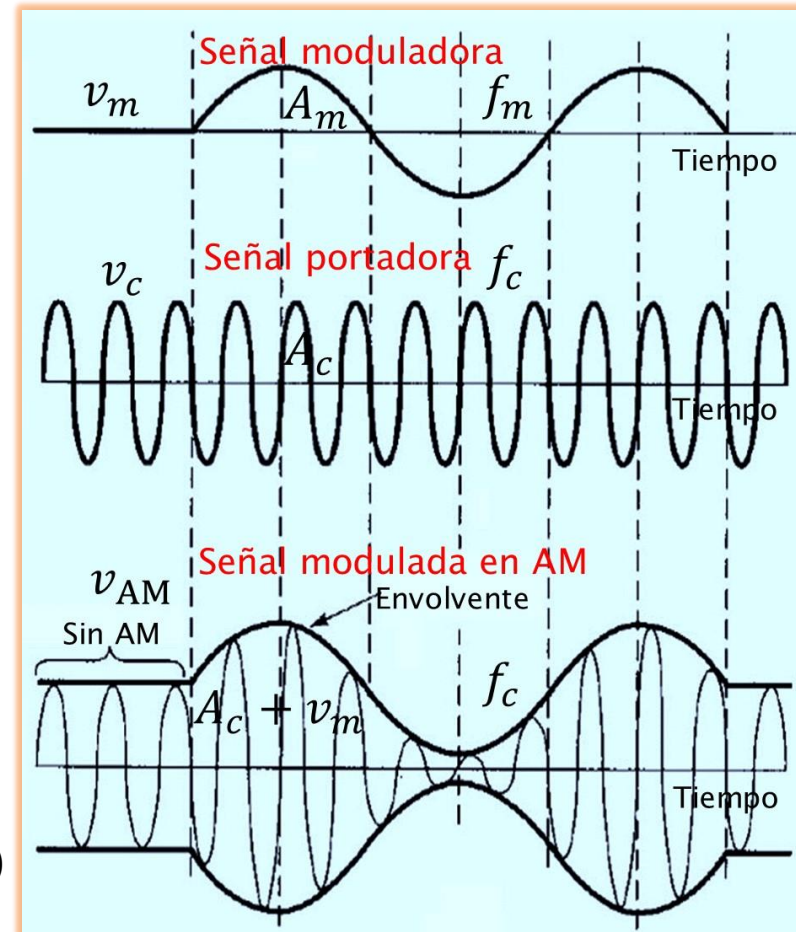
$$f(t) = V \cos(\omega t + \varphi) = 4 \sin(2\pi 3000t)$$

y la señal de portadora es:

$$f_c(t) = V_c \cos(\omega_c t + \varphi_c) = 10 \sin(2\pi 60000t)$$

- Se tiene entonces:

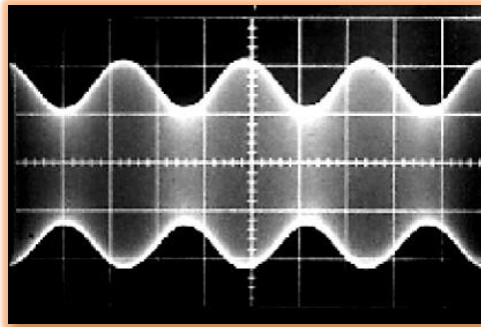
$$m_{AM}(t) = (10 + 4 \sin(2\pi 3000t)) * \sin(2\pi 60000t)$$



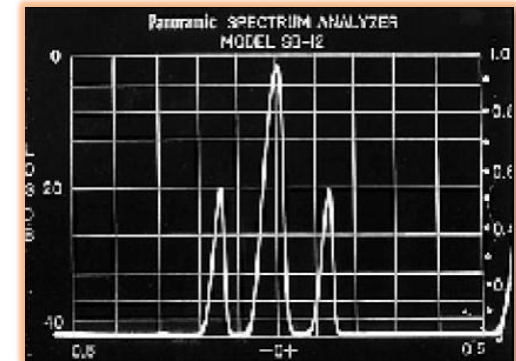
$$m_{AM}(t) = (4 \sin(2\pi 3000t)) * \sin(2\pi 60000t) + 10 \sin(2\pi 60000t)$$

# AM en el dominio de la frecuencia

AM en el  
osciloscopio



AM en el analizador  
de espectro



$$v_{AM} = (A_c + v_m) \sin(2\pi f_c t)$$

Usando identidades  
trigonométricas

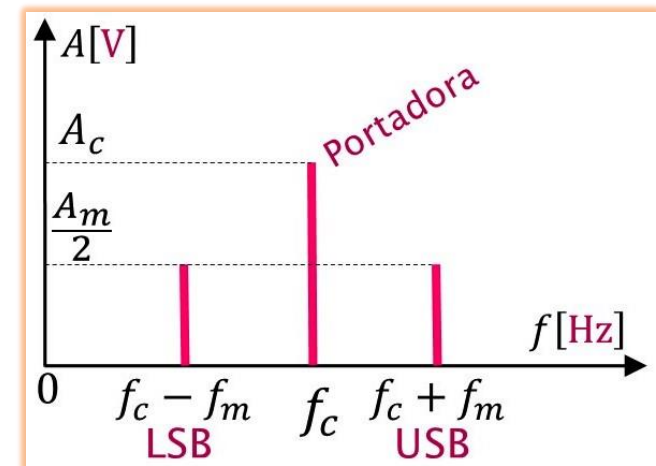


$$v_{AM} = A_c \sin(2\pi f_c t) + \frac{A_m}{2} \cos 2\pi(f_c - f_m)t - \frac{A_m}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t$$

## Espectro de AM

- Se observa que esta señal de AM tiene tres componentes coseno puros:

- Portadora** Frecuencia  $f_c$ .
- LSB (banda lateral inferior)**  $(f_c - f_m)$ .
- USB (banda lateral superior)**  $(f_c + f_m)$ .



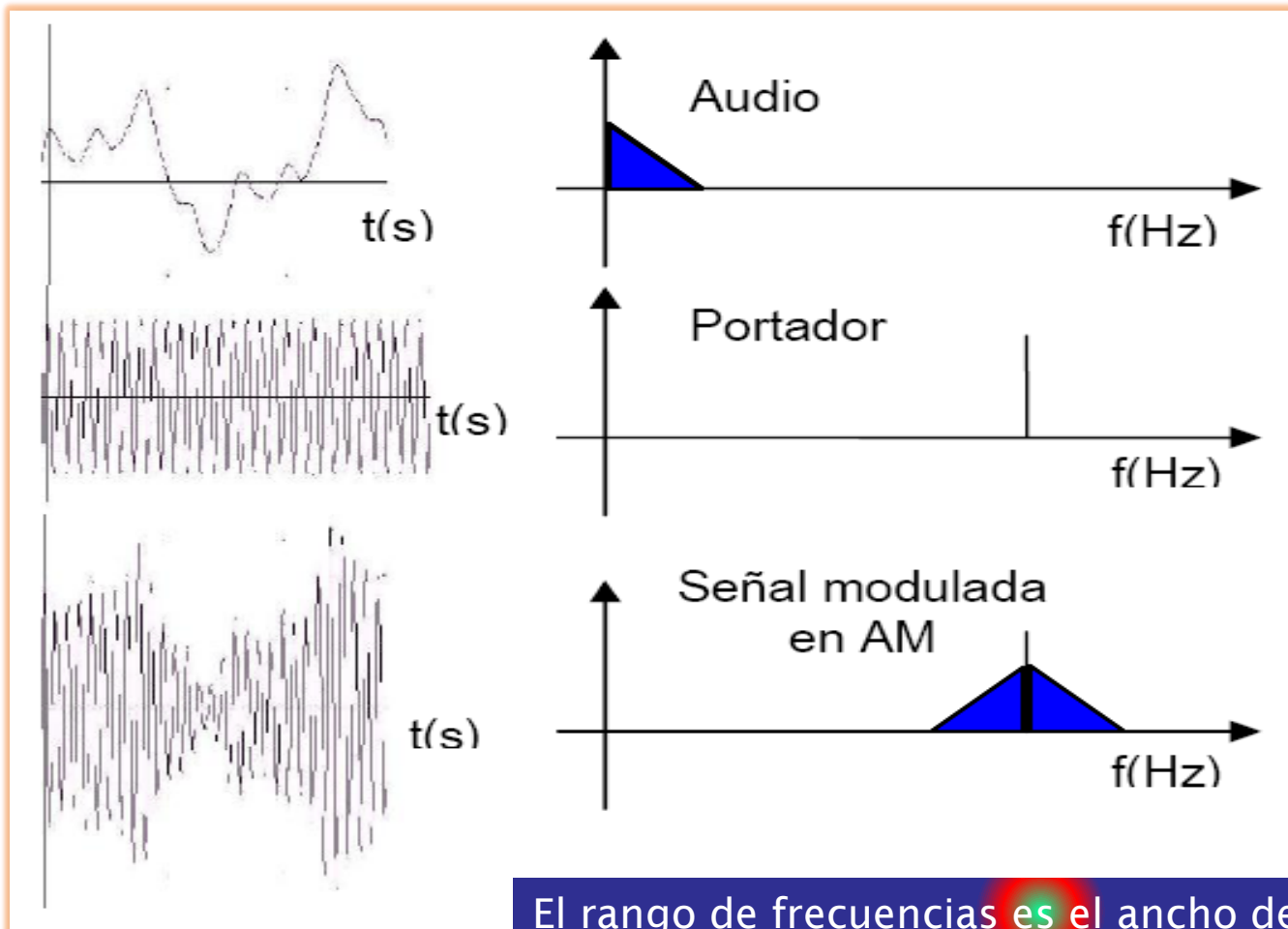


# Ancho de banda de la señal de AM

- La modulación AM crea un ancho de banda igual al doble de la frecuencia moduladora más alta, centrado alrededor de la frecuencia portadora.

$$B = 2f_{M\acute{a}x}$$

$B$  = ancho de banda de señal AM, en Hz.  
 $f_{M\acute{a}x}$  = frecuencia moduladora más alta, en Hz.



# Índice de modulación y porcentaje de modulación

- Recordando:

$$v_{AM} = A_c \sin(2\pi f_c t) + \frac{A_m}{2} \cos 2\pi(f_c - f_m)t - \frac{A_m}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t$$

## Índice de modulación

- Es un término para describir la cantidad del cambio de amplitud presente en una forma de onda de AM. Se define como:

$$m = \frac{E_m}{E_c} \quad \left\{ \begin{array}{l} E_m = \text{cambio máximo de amplitud del voltaje de la onda de salida, en V.} \\ E_c = \text{amplitud pico de la portadora sin modulación, en V.} \end{array} \right.$$

## Porcentaje de modulación

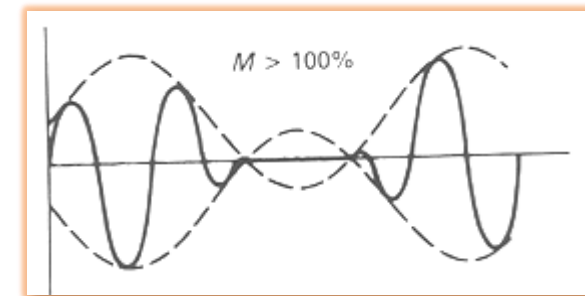
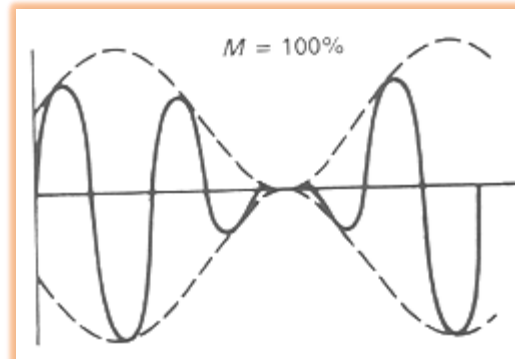
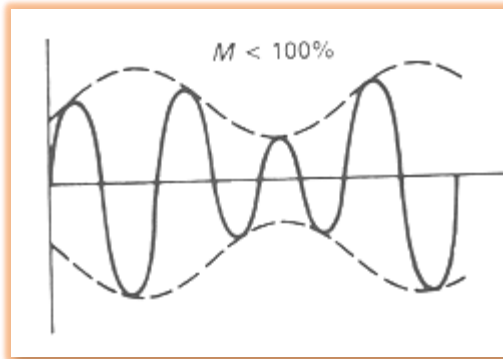
$$M = \frac{E_m}{E_c} * 100\% = m * 100\%$$

# Índice de modulación y porcentaje de modulación

- Es requisito que en una señal AM su envolvente nunca tenga cruces por cero, en consecuencia, la condición para que una señal modulada en AM es:

$$m = \frac{E_m}{E_c} \leq 1$$

- Es decir, **el coeficiente de modulación o su porcentaje no debe ser mayor a 1 o a 100%** respectivamente.

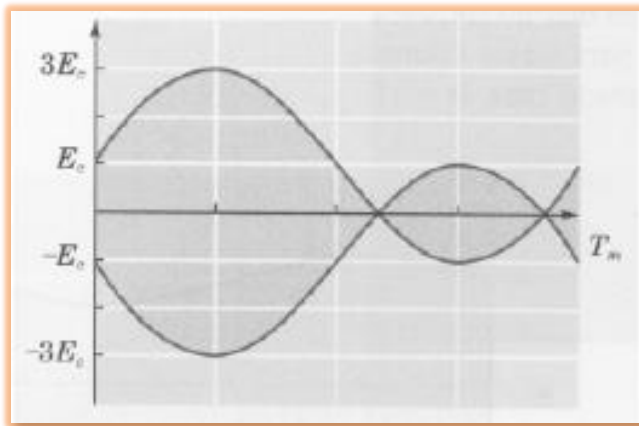


La condición ideal para AM es el 100% de modulación. Esto da una máxima potencia de salida en el transmisor y un máximo voltaje de salida en el receptor, sin distorsión.

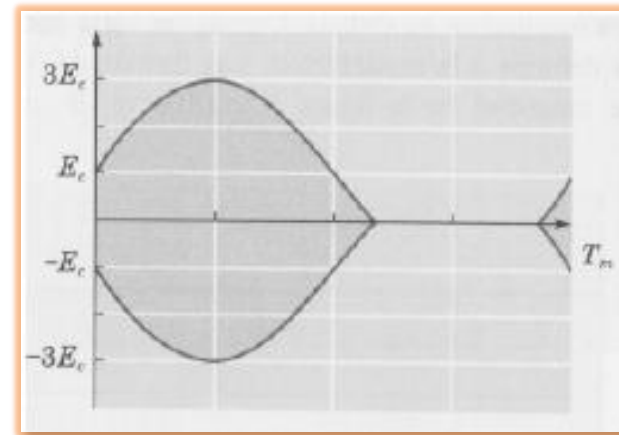
Si  $m > 1$ , hay sobremodulación; la envolvente ya **no se** asemeja a la moduladora.

# Sobremodulación

- Cuando  $m > 1$ , se dice que hay **sobremodulación**. En la ecuación AM no hay nada que pueda evitar que  $E_m > E_c$ .
- Sin embargo hay dificultades prácticas: la envolvente ya no se asemeja a la señal moduladora, por consiguiente,  $m$  debe ser  $m \leq 1$  siempre.
- Por ejemplo con  $m=2$ :



Según la ecuación matemática



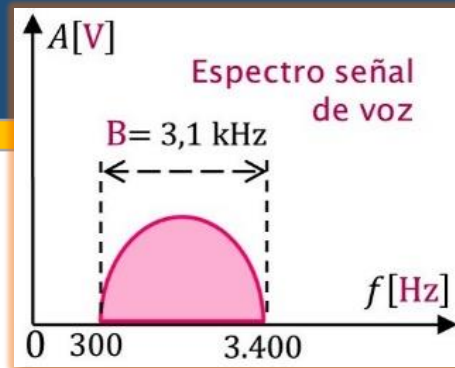
Con un modulador práctico

Si se incrementa a un porcentaje mayor de 100%, el resultado es distorsión, acompañada de frecuencias extrañas indeseables

# Transmisión AM DSB-SC

## Double-sideband suppressed-carrier transmission (doble banda lateral con portadora suprimida)

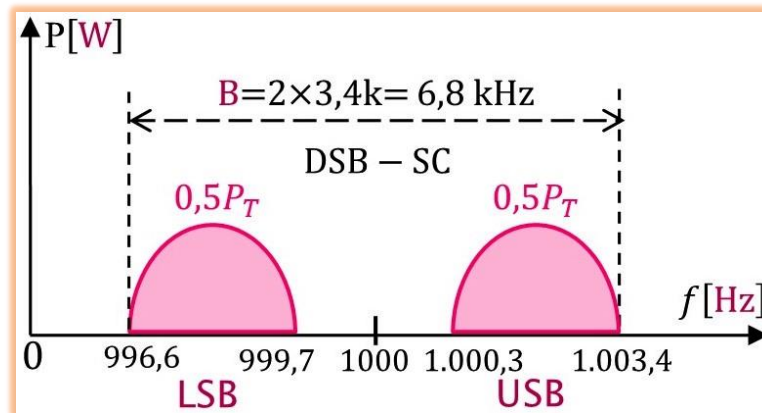
- Se basa en transmitir las 2 bandas laterales y suprimir la portadora.
- Al suprimir la portadora, toda la potencia del transmisor se destina a las bandas laterales, incrementando sustancialmente su potencia.
- El ancho de banda es similar al de DSB-FC.



### Ejemplo:

- Una señal de voz se transmite usando modulación AM DSB-SC con una portadora de 1 MHz. Dibuje el espectro de la señal AM, considerando la distribución de la potencia  $P_T$  disponible.

Respuesta.-



La transmisión AM DSB-SC es utilizada por las estaciones de radio AM comerciales.

# Transmisión AM SSB-SC

Single-sideband suppressed-carrier transmission

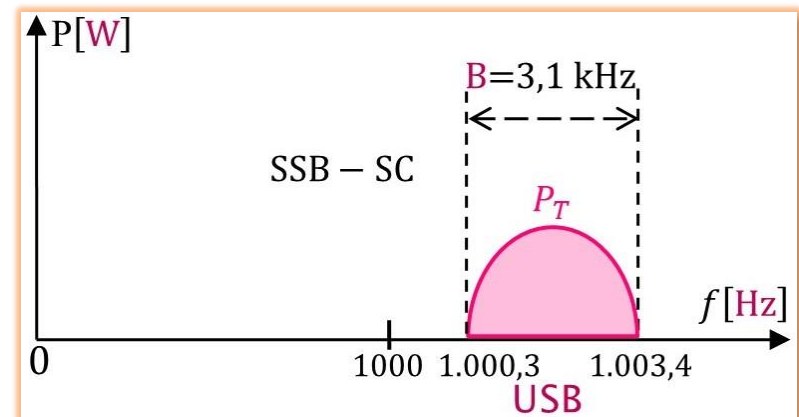
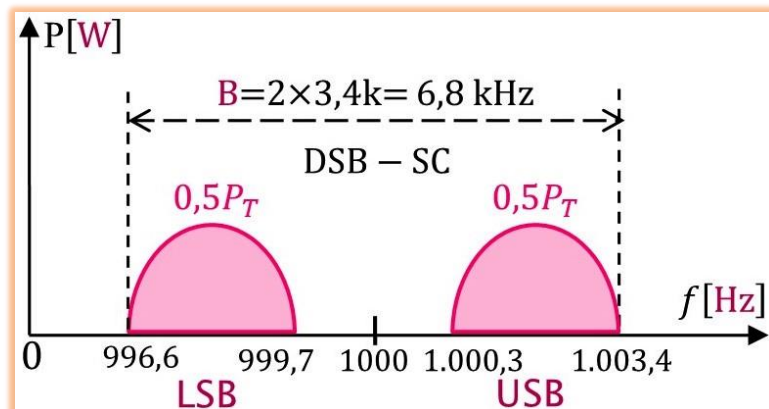
Banda lateral única con portadora suprimida

- Se basa en transmitir sólo una de las bandas laterales y suprimir la otra y la portadora.
- Al suprimir la portadora y una de las bandas, se ahorra potencia o, si se prefiere, toda la potencia del transmisor se destina a la banda que se transmite.
- El B de la transmisión se reduce hasta más de la mitad.

**Ejemplo:**

- Calcule la reducción de ancho de banda que se logra al transmitir una señal de voz usando AM SSB-SC, comparada con DSB-SC. La portadora es de 1 MHz.

**Respuesta.-**



¿Qué implica reducir el ancho de banda?

1.- Se puede transmitir el **doblo de señales** en un determinado espectro.

2.- El ancho de banda del receptor también se reduce y se elimina la **mitad del ruido**, por lo que aumenta la relación señal a ruido.

La transmisión AM SSB-SC es utilizada por los operadores de telefonía.



# Utilización del AM

- Su simplicidad y el hecho de que fue el primer sistema, garantizó su popularidad continua.
- AM es una forma de modulación relativamente económica que se utiliza principalmente en la radiodifusión de señales de audio y video.
- Se utiliza en:
  - Radiodifusión comercial AM (abarca 535 a 1605 KHz)
  - Radiodifusión comercial de TV:
    - VHF
    - UHF
  - Comunicaciones de radio Móvil de dos sentidos (radio de banda civil o ciudadana) – 26.965 a 27.405 MHz
  - Comunicaciones de transporte aéreo en la banda de VHF (entre los aviones y las torres de control)

AM tiene la ventaja de que puede usarse con moduladores o demoduladores muy simples.

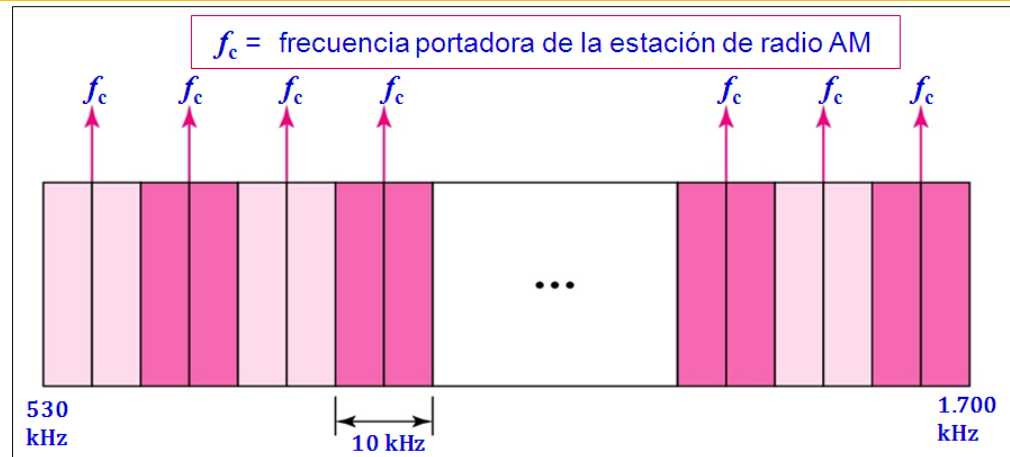
# Utilización del AM

- El AM modificado sirve como base para:
  - Comunicaciones por satélite (transpondedor).
  - Radiodifusión de televisión.
  - Telefonía de larga distancia.
  - Redes de banda ancha.

## Radiodifusión comercial

- Una banda entre 535 y 1605 kHz se asigna a la radio AM.
- Cada estación necesita 10 kHz de B.

Cada estación de radio AM utiliza una portadora diferente.

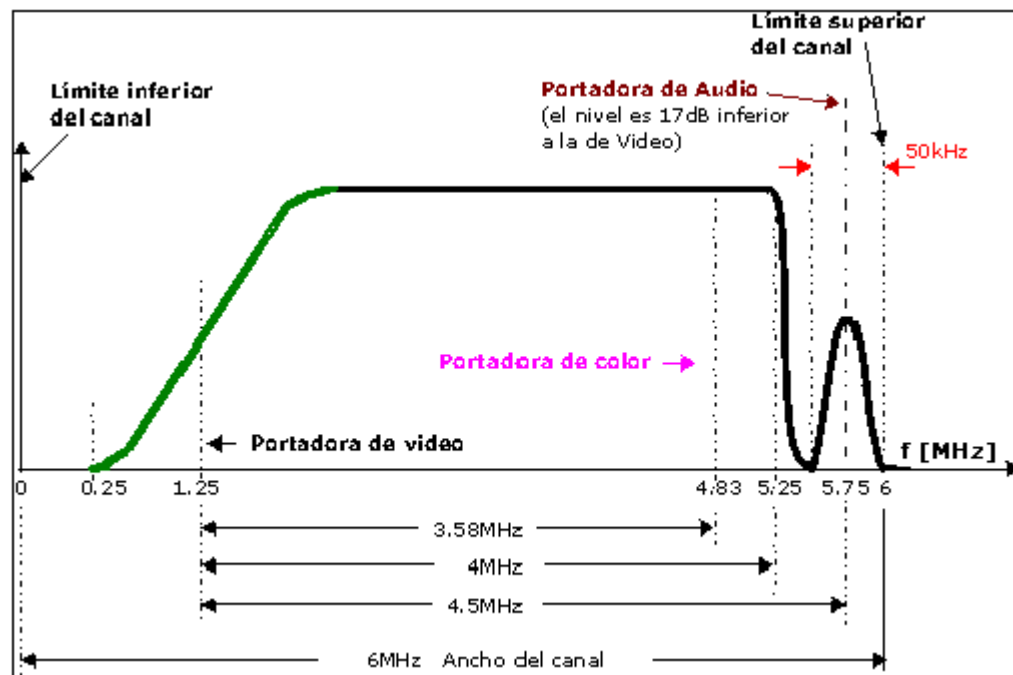


## RADIO

### Modulación de Amplitud

Canales	107 (10KHz de separación)
Frecuencia (KHz)	535 – 1605

# Utilización del AM



## TELEVISIÓN

### Canales VHF

Canales	2 - 4	5 - 6	7 - 13
Frecuencia (MHz)	54 - 72	76 - 88	174 - 216

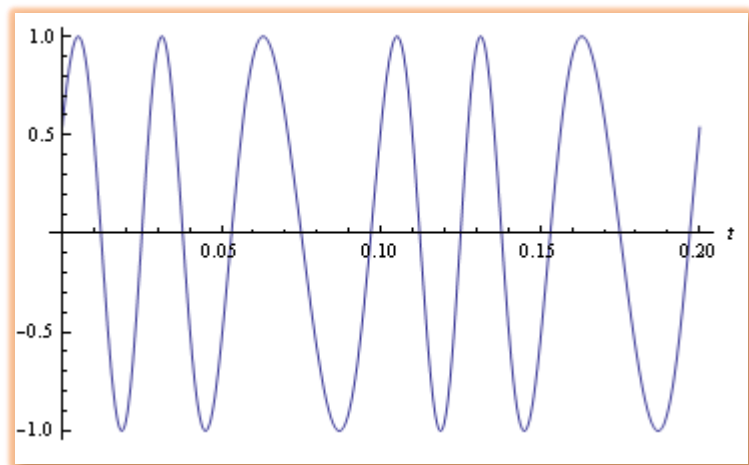
### Canales de UHF

Canales	14 - 83
Frecuencia (MHz)	470 - 890

Cada canal tiene un ancho de banda de 6 MHz. Para cada canal, la frecuencia portadora de video es igual a la frecuencia inferior del ancho de banda más 1.25 MHz, mientras la portadora de audio es igual a la frecuencia superior menos 0.25 MHz.



# Modulación Angular



# Modulación en Frecuencia (FM)

- Consiste en modificar la frecuencia de la señal portadora en función de la señal de información (moduladora)

Moduladora:

$$v_m = A_m \sin(2\pi f_m t)$$

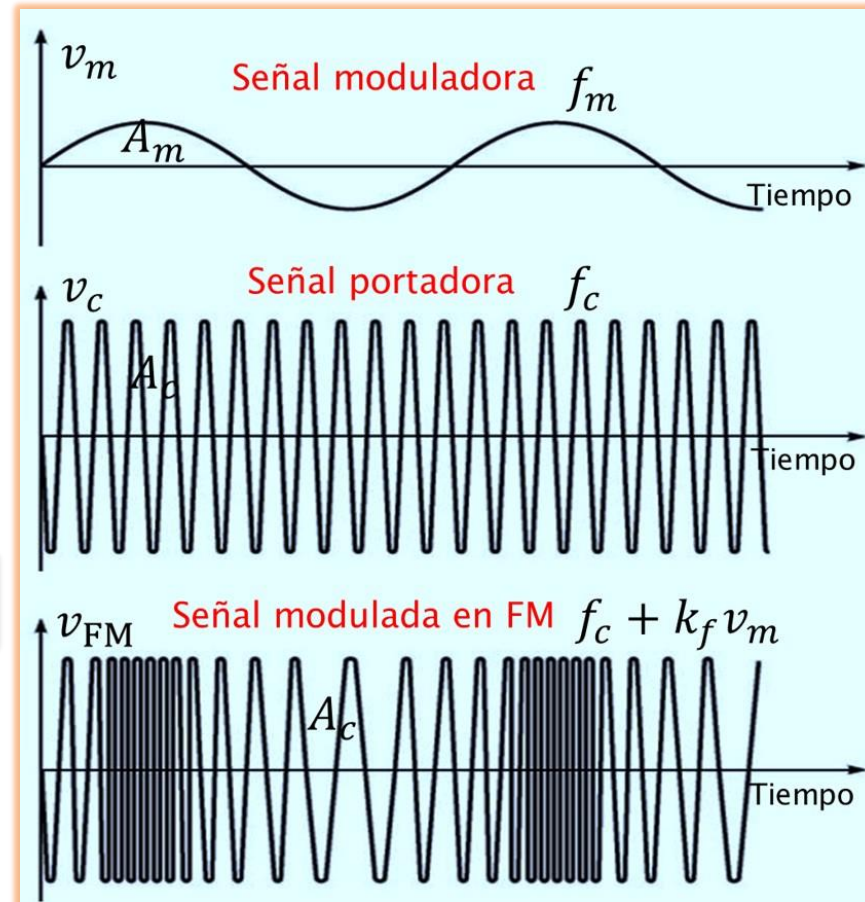
Portadora:

$$v_c = A_c \sin(2\pi f_c t)$$



$$v_{FM} = A_c \sin(2\pi f_c t + m \int \sin(2\pi f_m t) dt)$$

$v_m, v_c, v_{FM}$  = amplitudes instantáneas, en V.  
 $A_m, A_c$  = amplitudes pico, en V.  
 $f_m, f_c$  = frecuencias, en Hz.  
 $k_f$  = Desviación del modulador, en Hz/V.  
 $m$  = índice de modulación.



$$m = \frac{\Delta f}{f_m}$$

# Modulación en Frecuencia (FM)

## Ejemplo:

- Suponga que la señal de información es:

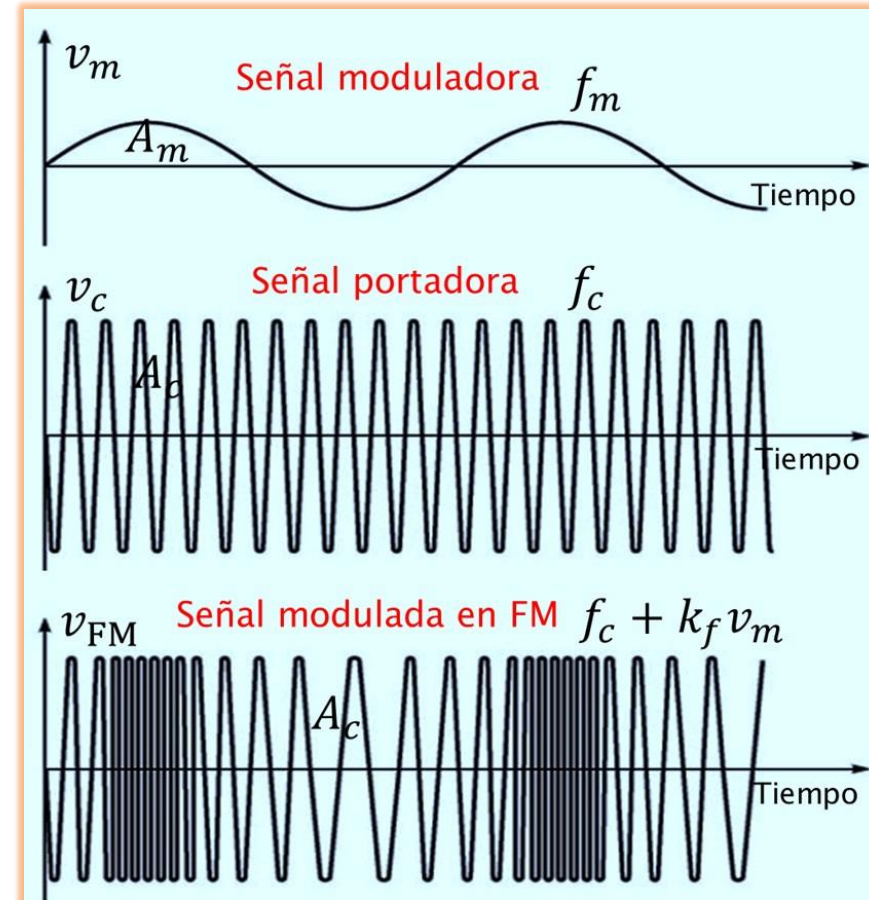
$$f(t) = V \cos(\omega t + \varphi) = 4 \sin(2\pi 3000t)$$

y la señal de portadora es:

$$f_c(t) = V_c \cos(\omega_c t + \varphi_c) = 10 \sin(2\pi 60000t)$$

- Se tiene entonces:

$$m_{FM}(t) = A \sin \left[ \omega_c t + m \int f(t) dt + \theta_o \right]$$



$$m_{FM}(t) = 6 \sin \left[ 2\pi 60000t - \frac{1}{2\pi 3000} m \cos(2\pi 3000t) \right]$$



# FM en el dominio de la frecuencia

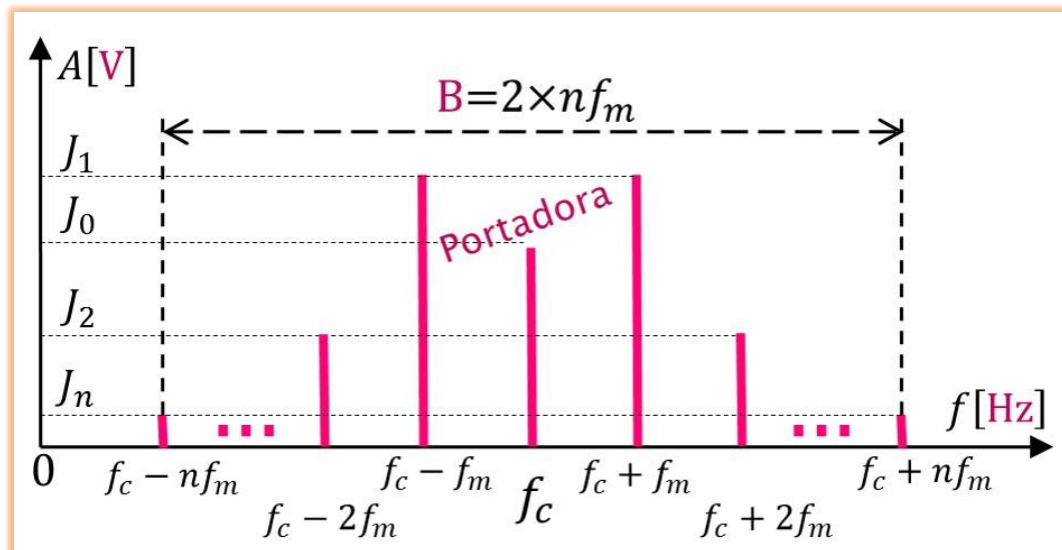
## FM EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

### Contenido espectral

● La ecuación FM no puede simplificarse con trigonometría, como en AM, pero sí puede expresarse como una serie de ondas seno mediante las **Funciones de Bessel**.

● La modulación FM produce una cantidad infinita de pares de bandas laterales, lo cual se puede verificar con un **anализador de espectro**.

$$v_{\text{FM}} = A_c \sin(2\pi f_c t + m \int \sin(2\pi f_m t) dt)$$



Una señal FM podría ocupar varias veces tanto ancho de banda como el requerido para una AM.

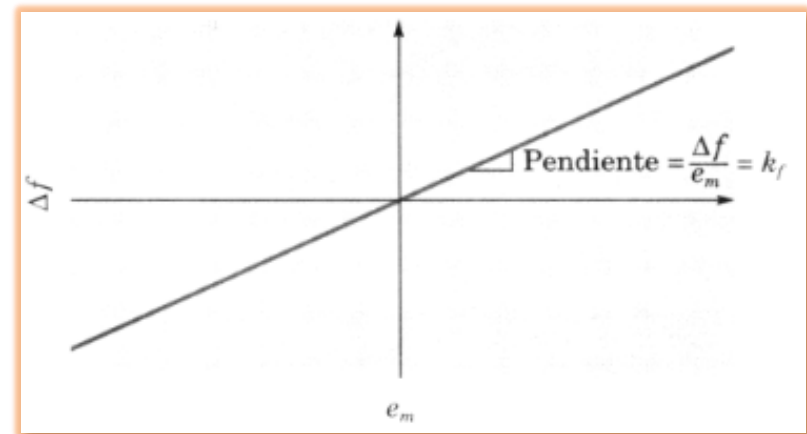
# Índice de modulación y desviación de frecuencia de FM

- En FM el índice de modulación se interpreta como la relación de la desviación pico de frecuencia ( $\delta$  o  $\Delta f$ ), dividida entre la frecuencia máxima de la señal modulante:

$$m = \frac{\Delta f}{f_m}$$

- La **desviación en frecuencia** es el cambio en la frecuencia que ocurre en la portadora cuando actúa sobre ella una señal modulante
- $\Delta f$  se da normalmente como un desplazamiento en frecuencia pico **en Hertz**. La desviación pico a pico se denomina oscilación de la portadora

$$\Delta f = K_1 V_m$$



# Porcentaje de modulación

- El porcentaje de Modulación (M) para una modulación angular se determina de diferente forma que en AM
- En modulación angular M es simplemente la relación de la desviación de frecuencia realmente producida a **la máxima desviación de frecuencia permitida por la ley**

$$M = \frac{\Delta f_{real}}{\Delta f_{m\acute{a}xima}} * 100$$

## Ejemplo:

- La FCC, limita la desviación de frecuencia para transmisores de banda de radiodifusión comercial de FM a  $\pm 75\text{kHz}$ . Si una señal modulante produce  $\pm 50\text{kHz}$  de desviación de frecuencia, Cuál es su porcentaje de modulación?

Respuesta.-

$$M = \frac{50\text{kHz}}{75\text{kHz}} * 100$$

$$= 67\%$$

# Ancho de Banda de la Señal de FM

- El ancho de banda real requerido, para pasar todas las bandas laterales importantes, para FM, es igual a (según Bessel):

$$B = 2nf_m$$

$$\begin{cases} n = \text{número de bandas laterales significativas.} \\ f_m = \text{frecuencia de la señal moduladora.} \end{cases}$$

- Carson establece en 1939 una regla general, para calcular aproximadamente el ancho de banda, para los sistemas de modulación angular sin importar el índice de modulación. (regla de carson).

$$B = 2(\Delta f + f_{m(\text{máx})})$$

$$\begin{cases} \Delta f = \text{máxima desviación de frecuencia.} \\ f_{m(\text{máx})} = \text{frecuencia mas alta de la señal moduladora} \end{cases}$$

- Esta regla proporciona BW mas angostos que utilizando la tabla de Bessel. Define un BW que incluye el 98% de la potencia total de la onda modulada.
- Para propósitos prácticos, se puede demostrar empíricamente que el ancho de banda de fm es varias veces el ancho de banda de la señal moduladora, o  $2N$ , siendo  $N=5$  un valor frecuente.

# FM en el dominio de la frecuencia

m	J <sub>0</sub>	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>8</sub>	J <sub>9</sub>	J <sub>10</sub>	J <sub>11</sub>	J <sub>12</sub>	J <sub>13</sub>	J <sub>14</sub>	J <sub>15</sub>	J <sub>16</sub>	J <sub>17</sub>	J <sub>18</sub>	J <sub>19</sub>	J <sub>20</sub>
0	1.00																				
0.25	0.98	0.12																			
0.5	0.94	0.24	0.03																		
0.75	0.86	0.35	0.07	0.01																	
1	0.77	0.44	0.11	0.02																	
1.25	0.65	0.51	0.17	0.04	0.01																
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01																
1.75	0.37	0.58	0.29	0.09	0.02																
2	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	0.01															
2.25	0.08	0.55	0.40	0.17	0.05	0.01															
2.4	0.00	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02															
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02															
2.75	-0.16	0.43	0.47	0.26	0.10	0.03	0.01														
3	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01														
3.5	-0.38	0.14	0.46	0.39	0.20	0.08	0.03	0.01													
4	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.01													
4.5	-0.32	-0.23	0.22	0.42	0.35	0.20	0.08	0.03	0.01												
5	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	0.01											
5.5	0.00	-0.34	-0.12	0.26	0.40	0.32	0.19	0.09	0.03	0.01											
6	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	0.01										
6.5	0.26	-0.15	-0.31	-0.03	0.28	0.37	0.30	0.18	0.09	0.04	0.01										
7	0.30	-0.01	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	0.01									
7.5	0.27	0.14	-0.23	-0.26	0.02	0.28	0.35	0.28	0.17	0.09	0.04	0.01	0.01								
8	0.17	0.24	-0.11	-0.29	-0.11	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	0.01								
8.5	0.04	0.27	0.02	-0.26	-0.21	0.07	0.29	0.34	0.27	0.17	0.09	0.04	0.02	0.01							
8.65	0.00	0.27	0.06	-0.24	-0.23	0.03	0.27	0.34	0.28	0.18	0.10	0.05	0.02	0.01							
9	-0.09	0.25	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30	0.21	0.13	0.06	0.03	0.01							
10	-0.25	0.04	0.26	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01						
11	-0.17	-0.18	0.14	0.23	-0.01	-0.24	-0.20	0.02	0.23	0.31	0.28	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	0.01				
12	0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.04	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01	0.10			
13	0.21	-0.07	-0.22	0.00	0.22	0.13	-0.12	-0.24	-0.14	0.07	0.23	0.29	0.26	0.19	0.12	0.07	0.03	0.01	0.01		
14	0.17	0.13	-0.15	-0.18	0.08	-0.15	-0.23	-0.11	0.08	0.24	0.29	0.25	0.19	0.12	0.07	0.03	0.02	0.01			
15	-0.01	0.20	0.04	-0.19	-0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12	0.07	0.03	0.02	0.01
16	-0.17	0.09	0.19	-0.04	-0.20	-0.06	0.17	0.18	-0.01	-0.19	-0.21	-0.07	0.11	0.24	0.27	0.24	0.18	0.11	0.07	0.03	0.02
17	-0.17	-0.10	0.16	0.14	-0.11	-0.19	0.00	0.19	0.15	-0.04	-0.20	-0.19	-0.05	0.12	0.24	0.27	0.23	0.17	0.11	0.07	0.04

$m = 0.5$

$m = 1$

$m = 2.5$

$m = 4$

$m = 0.5$

$m = 1$

$m = 2.5$

$m = 4$

Carrier

Carrier

Carrier

Carrier

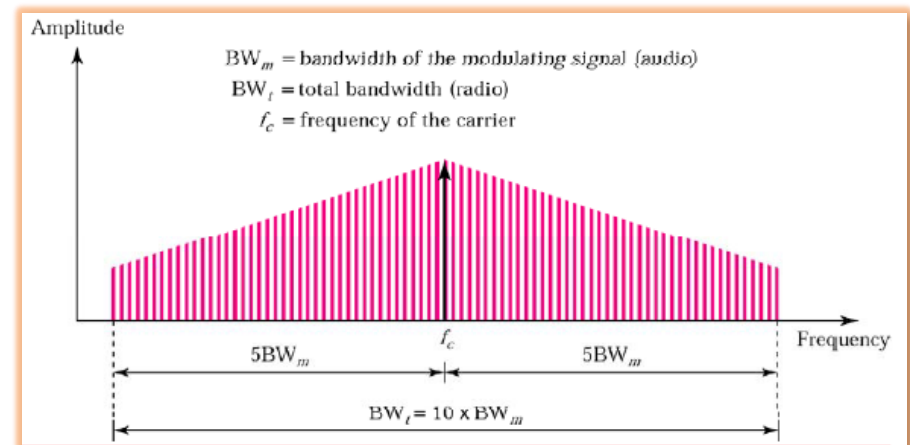
# Ventajas y Desventajas de FM

## VENTAJAS

- Mejor sensibilidad en los receptores. Produce una alta relación señal a ruido (SNR) cuando se recibe una señal de moderada intensidad.
- La recepción es prácticamente exenta de ruido y de interferencias. (Todo ruido, cualquiera que sea su origen, modula o varía la amplitud de una onda viajera de RF).
- Mayor fidelidad. Permite meter toda la gama audible de sonidos (20Hz 0 20kHz), imprimiendo realismo a cada audición.
- Uso eficiente de la potencia.

## DESVENTAJAS

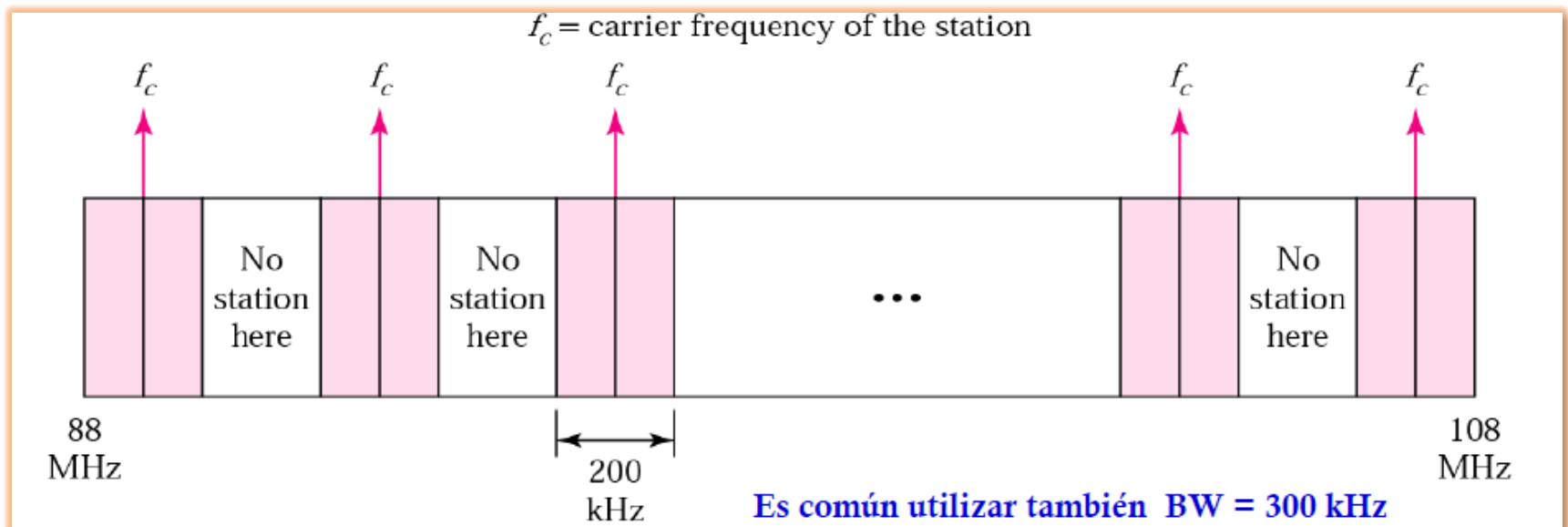
- Las señales de F.M. requieren de un mayor ancho de banda: En la práctica, el BW de una señal de radiodifusión FM es 10 veces el BW de la señal moduladora, y cubre un rango centrado alrededor de la frecuencia de la portadora.
- Experimentan una severa distorsión cuando se propagan a través de la ionosfera.
- Circuitos mas complejos tanto en transmisores y receptores





# Aplicaciones

- El sistema de FM (Modulación en Frecuencia) es uno de los métodos de transmisión de información más populares. La principal razón es que la recepción es prácticamente libre de ruido.
  - Estaciones de radiodifusión comercial: 88 MHz a 108MHz, donde cada emisora tiene un ancho de banda asignado de 200 kHz.
  - Radio-aficionados tienen ciertas bandas específicas y una de las más conocidas es la banda de 2 metros que está alrededor de los 144 MHz.
  - El sonido en los canales de TV en las bandas de VHF y UHF también se transmite en FM
  - Sistemas de comunicación por microondas
  - Sistemas de comunicación Satelital.



# Modulación en Fase (PM)

- Consiste en modificar la fase de la señal portadora en función de la señal de información (moduladora)

## Ejemplo:

- Suponga que la señal de información es:

$$f(t) = V \cos(\omega t + \varphi) = 4 \sin(2\pi 3000t)$$

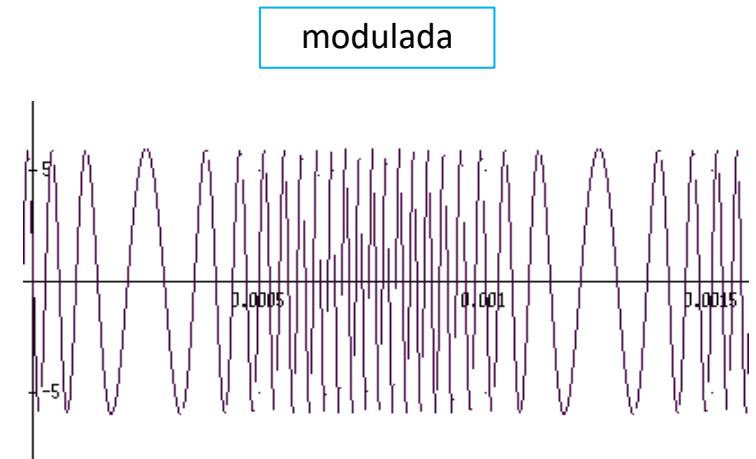
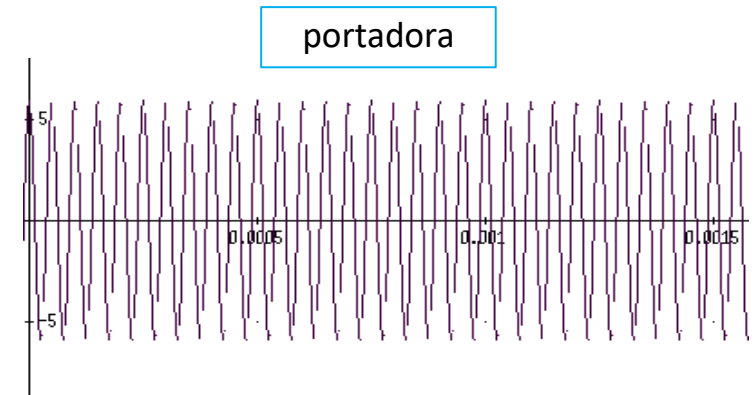
y la señal de portadora es:

$$f_c(t) = V_c \cos(\omega_c t + \varphi_c) = 10 \sin(2\pi 60000t)$$

- Se tiene entonces:

$$m_{PM}(t) = A \cos[\omega_c t + \theta_c + k_p f(t)]$$

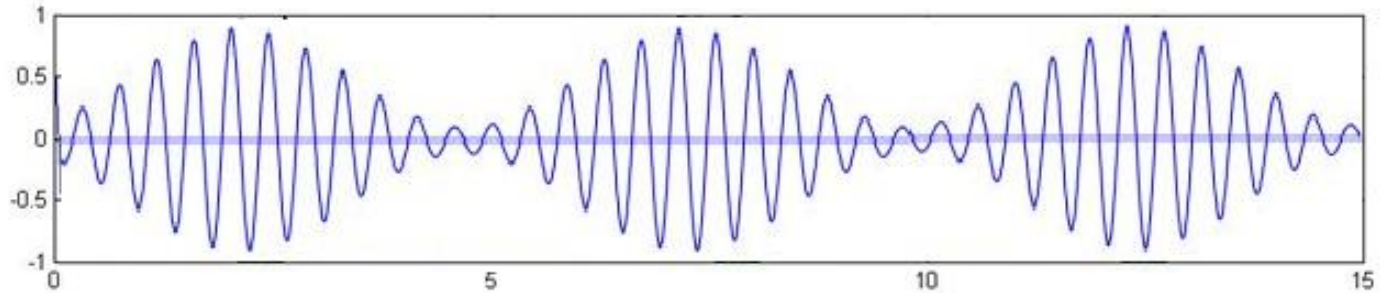
$$m_{PM\leftrightarrow}(t) = 10 \sin[2\pi 60000t + k_p 4 \sin(2\pi 3000t)]$$



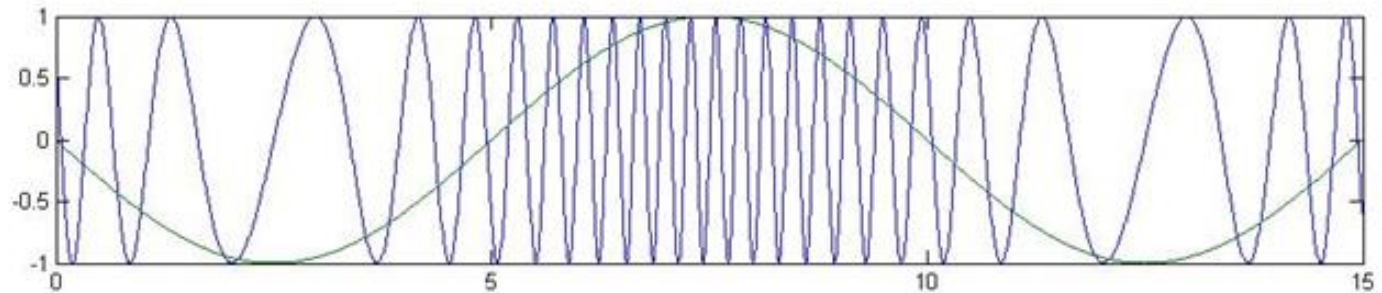
# Tipos de Modulaciones de onda continua

Cuando una señal análoga aplicada modula una portadora, el resultado se denomina "Modulación Análoga". Estas técnicas se utilizan comúnmente en las transmisiones de radio y televisión pública abierta.

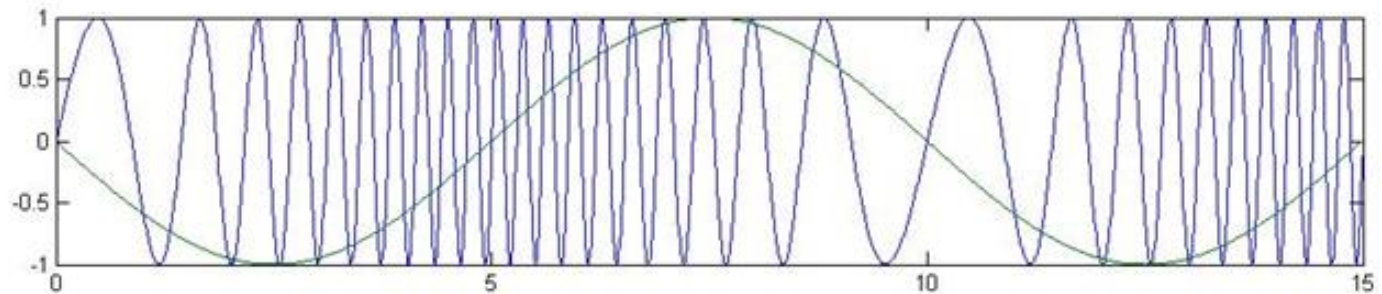
- AM



- FM



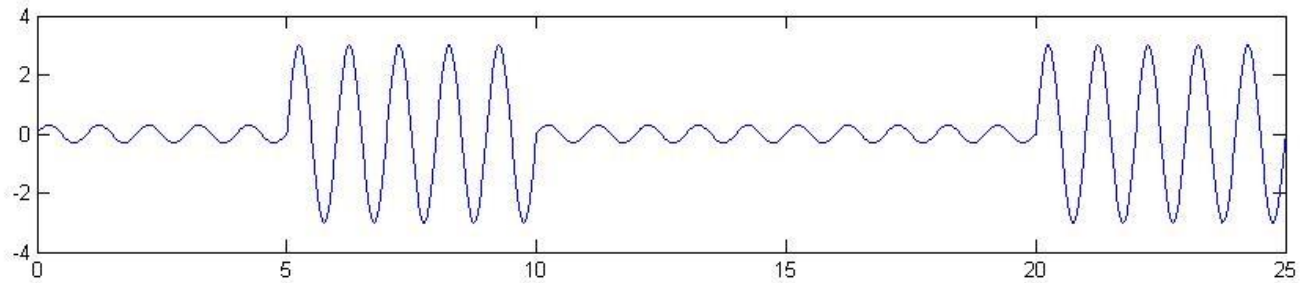
- PM



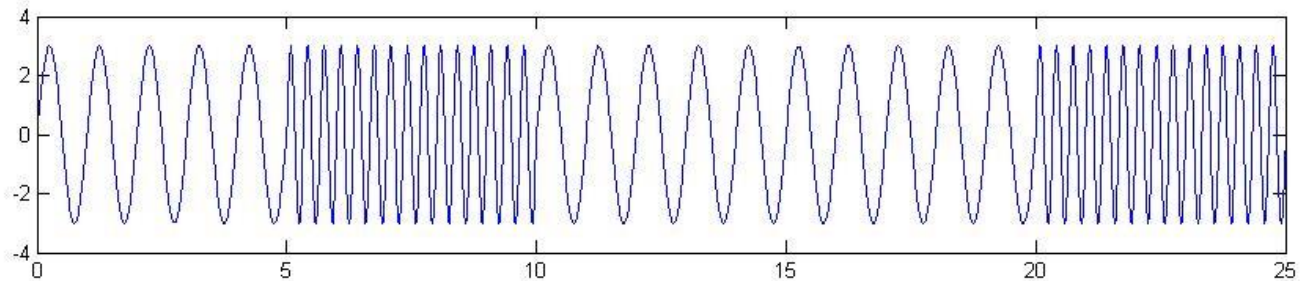
# Tipos de Modulaciones de onda continua

Cuando una señal digital aplicada modula una portadora, el resultado se denomina “Modulación Digital”. Estas técnicas se utilizan comúnmente en las transmisiones de voz y video digitalizados y datos de computador.

- ASK



- FSK



- PSK

