

TRANSMISIÓN DE MODULACIÓN ANGULAR FM

Contenido

- 1.- FM en el dominio del tiempo.
- 2.- FM en el dominio de la frecuencia.
- 3.- Ancho de banda de la señal FM.
- 4.- Generador simple de FM.

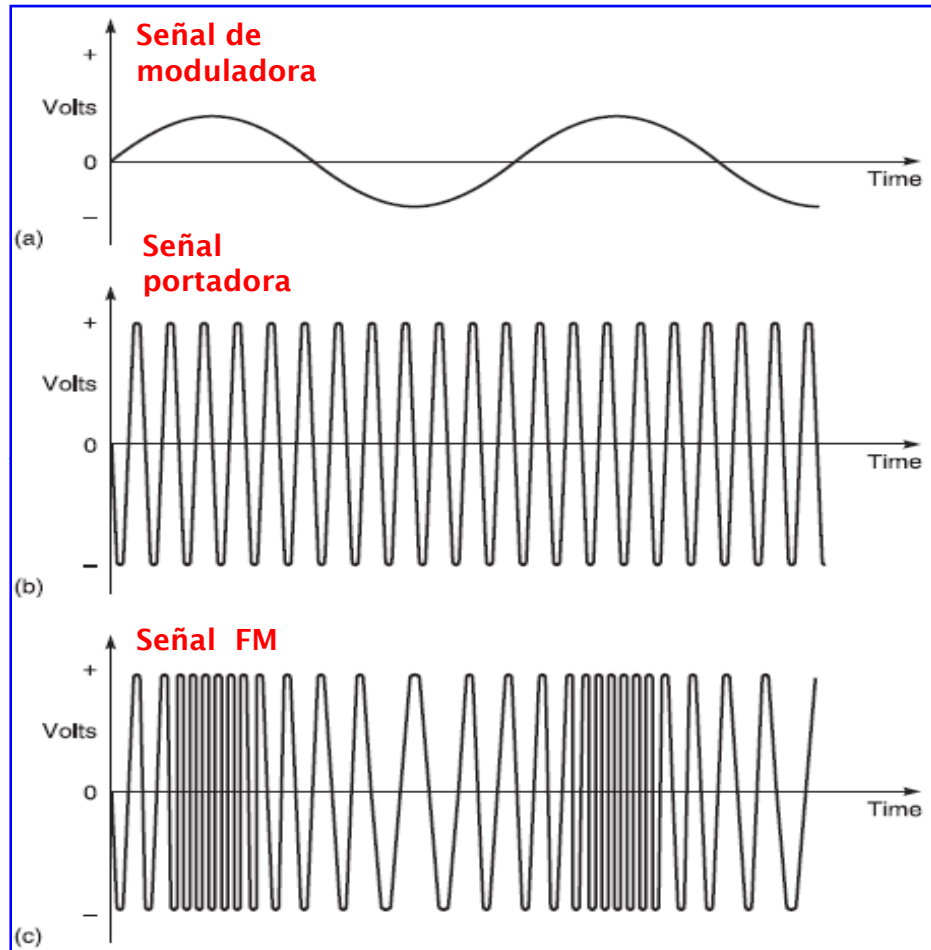


Objetivo.- Al finalizar, el estudiante será capaz de representar una señal FM en los dominios del tiempo y de la frecuencia, calcular su ancho de banda, las frecuencias laterales, los niveles de potencia y el índice de modulación para las señales moduladas.

Última modificación:
12 de agosto de 2010

Tema 4 de:
COMUNICACIONES ANALÓGICAS
Edison Coimbra G.

1.- FM en el dominio del tiempo



$$v_m = E_m \text{ sen } \omega_m t$$

$$v_c = E_c \text{ sen } \omega_c t$$

$$v_{FM} = E_c \text{ sen } (\omega_c t + m \text{ sen } \omega_m t)$$

Ecuación FM

Índice de modulación

$$m = \frac{\delta}{f_m}$$

m = índice de modulación
 δ = desviación de frecuencia pico, en **Hz**
 f_m = frecuencia moduladora, en **Hz**.

2.- FM en el dominio de la frecuencia

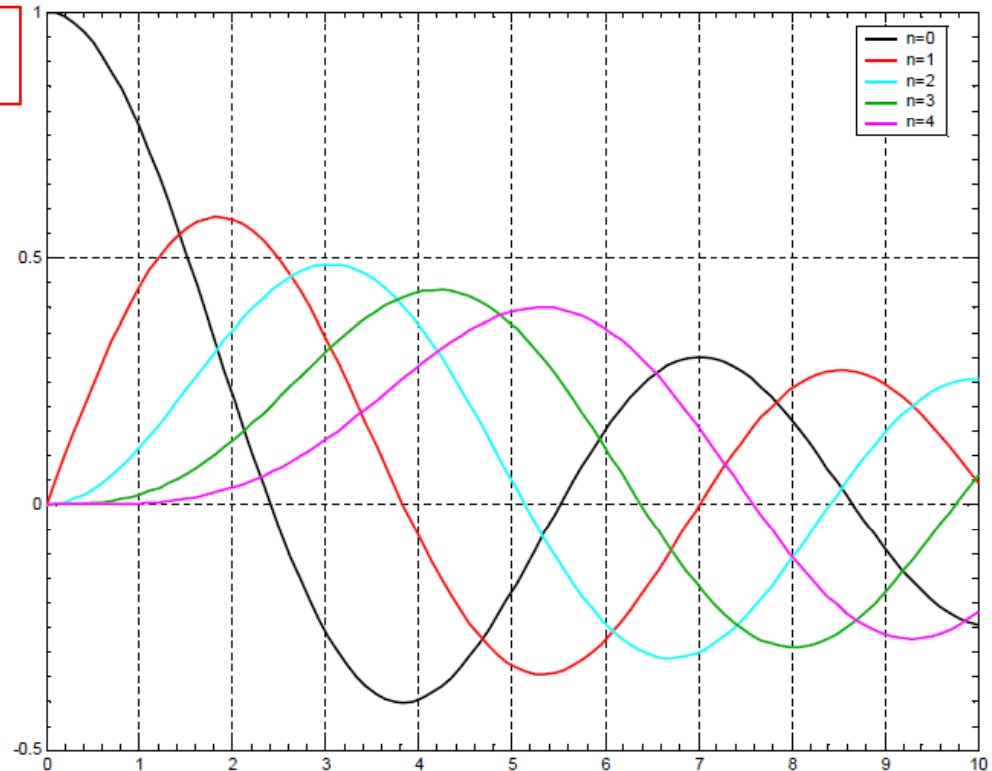
Es difícil resolver la ecuación FM con trigonometría. Se requiere de una herramienta matemática, las **Funciones Bessel**, para determinar el ancho de banda de una señal FM.

Mediante las funciones de Bessel, la ecuación FM se expresa como una **serie de sinusoides** ponderados por coeficientes J_n .



$$\begin{aligned}v_{FM} &= E_c \text{sen}(\omega_c t + m \text{sen} \omega_m t) \\ &= E_c \{ J_0 \text{sen} \omega_c t \\ &\quad - J_1 [\text{sen}(\omega_c - \omega_m)t - \text{sen}(\omega_c + \omega_m)t] \\ &\quad + J_2 [\text{sen}(\omega_c - 2\omega_m)t + \text{sen}(\omega_c + 2\omega_m)t] \\ &\quad - J_3 [\text{sen}(\omega_c - 3\omega_m)t + \text{sen}(\omega_c + 3\omega_m)t] \\ &\quad + \dots \}\end{aligned}$$

$J_n(m)$



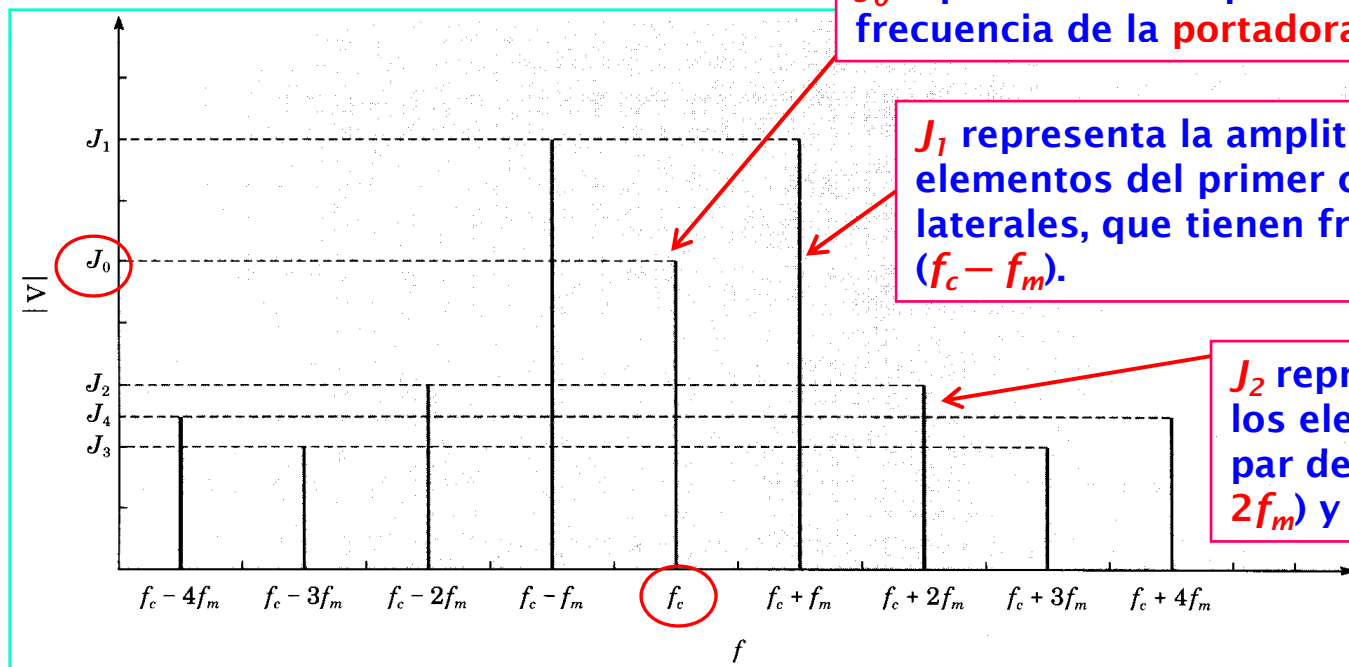
m

Los coeficiente J_n varían en función del índice de modulación m .

Espectro de frecuencias de la señal FM

$$\begin{aligned}
 v_{FM} &= E_c \text{sen}(\omega_c t + m \text{sen} \omega_m t) \\
 &= E_c \{ J_0 \text{sen} \omega_c t \\
 &\quad - J_1 [\text{sen}(\omega_c - \omega_m)t - \text{sen}(\omega_c + \omega_m)t] \\
 &\quad + J_2 [\text{sen}(\omega_c - 2\omega_m)t + \text{sen}(\omega_c + 2\omega_m)t] \\
 &\quad - J_3 [\text{sen}(\omega_c - 3\omega_m)t + \text{sen}(\omega_c + 3\omega_m)t] \\
 &\quad + \dots \}
 \end{aligned}$$

Los coeficientes J_n representan voltajes normalizados para los distintos componentes de frecuencia de una señal de FM.



J_0 representa la amplitud de la componente a la frecuencia de la **portadora**.

J_1 representa la amplitud de cada uno de los elementos del primer conjunto de bandas laterales, que tienen frecuencias de $(f_c + f_m)$ y $(f_c - f_m)$.

J_2 representa la amplitud de los elementos del segundo par de bandas laterales, a $(f_c + 2f_m)$ y $(f_c - 2f_m)$, etc.

Funciones de Bessel para diferentes m

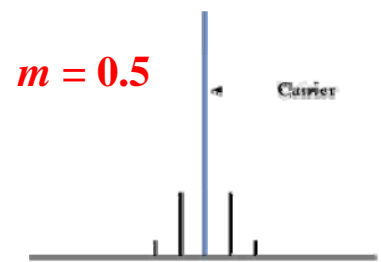
m	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}	J_{15}	J_{16}	J_{17}	J_{18}	J_{19}	J_{20}		
0	1.00																						
0.25	0.98	0.12																					
0.5	0.94	0.24	0.03																				
0.75	0.86	0.35	0.07	0.01																			
1	0.77	0.44	0.11	0.02																			
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		

$m = 0.5$

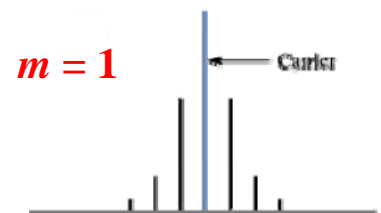
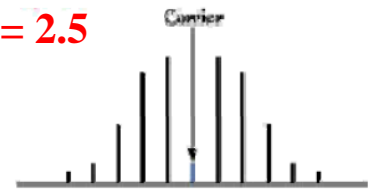
$m = 1$

$m = 2.5$

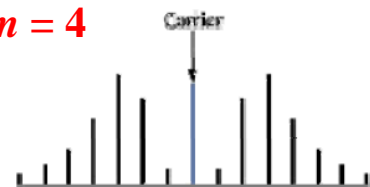
$m = 4$



$m = 2.5$



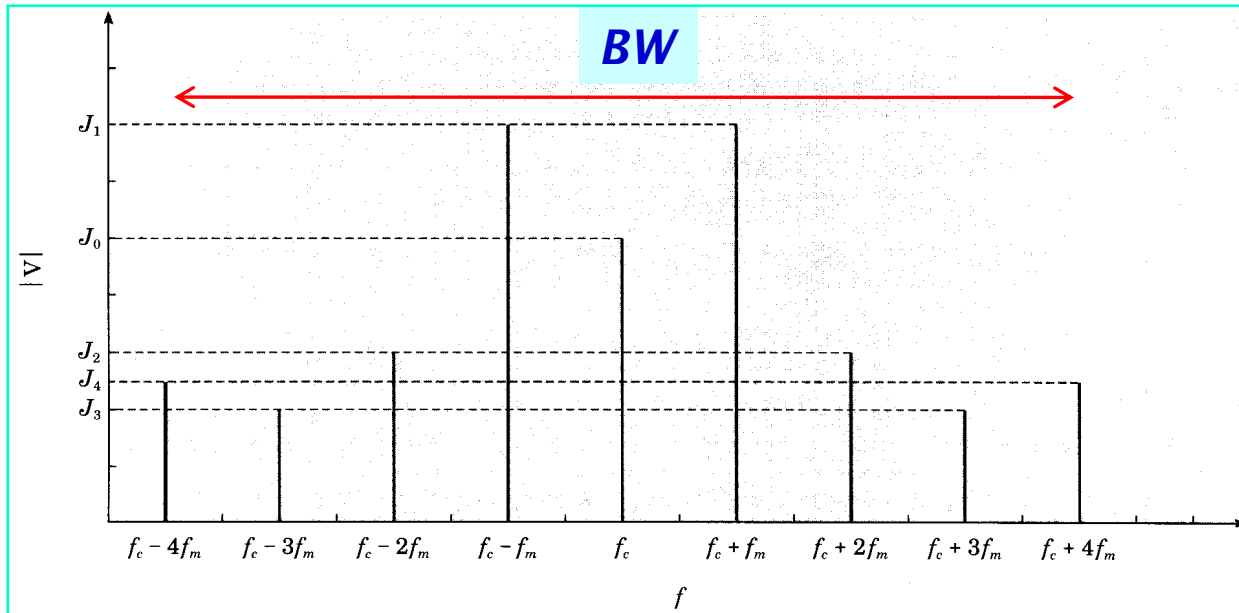
$m = 4$



3.- Ancho de banda de la señal FM

El ancho de banda de una señal es el rango de frecuencias contenido en ella.

Para una señal FM, se calcula en base al número de bandas laterales significativas que se transmitan.



$$BW = 2Nf_{mMax.}$$

BW = ancho de banda de la señal FM, en Hz.

N = número de bandas laterales significativas.

Regla de Carson

Usada para predecir el BW de una señal FM.

$$BW = 2(\delta + f_{mMax.})$$

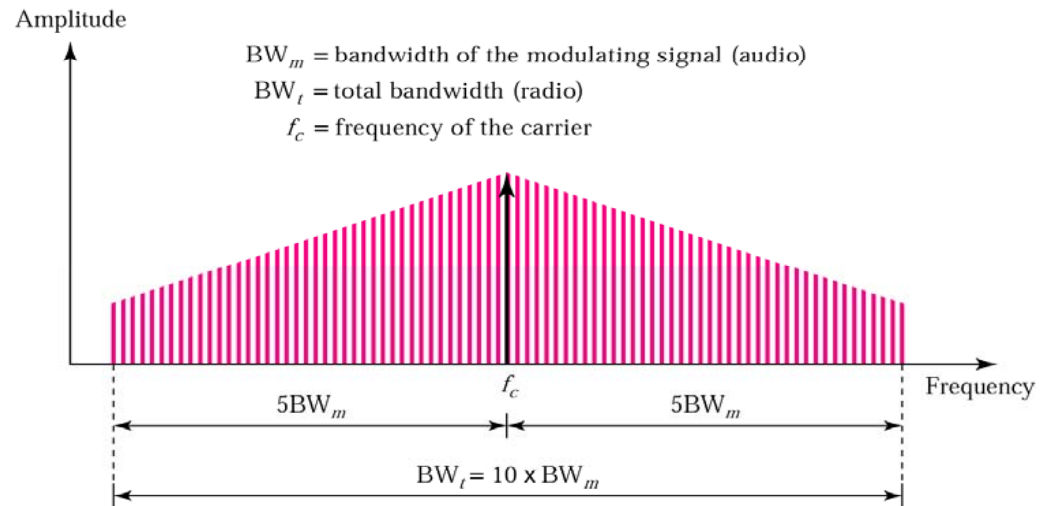
BW = ancho de banda de la señal FM, en Hz.

δ = desviación de frecuencia pico, en Hz.

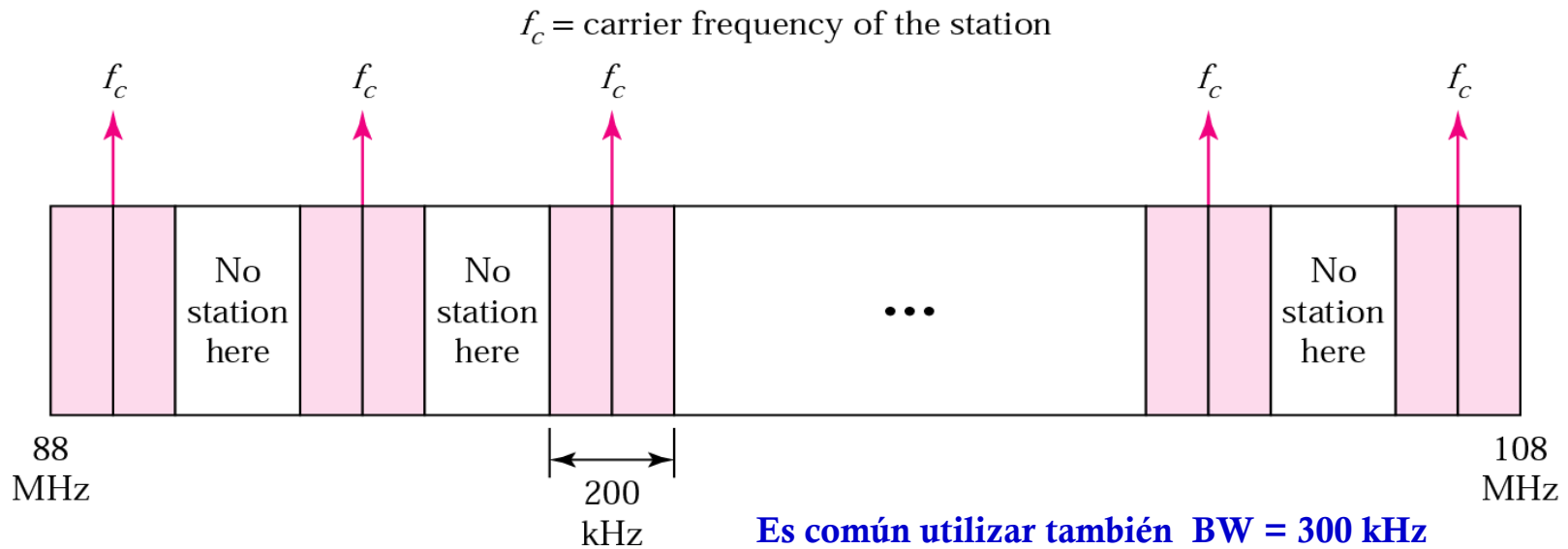
$f_{mMax.}$ = frecuencia moduladora más alta, en Hz.

Asignación de bandas en radiodifusión comercial FM

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.



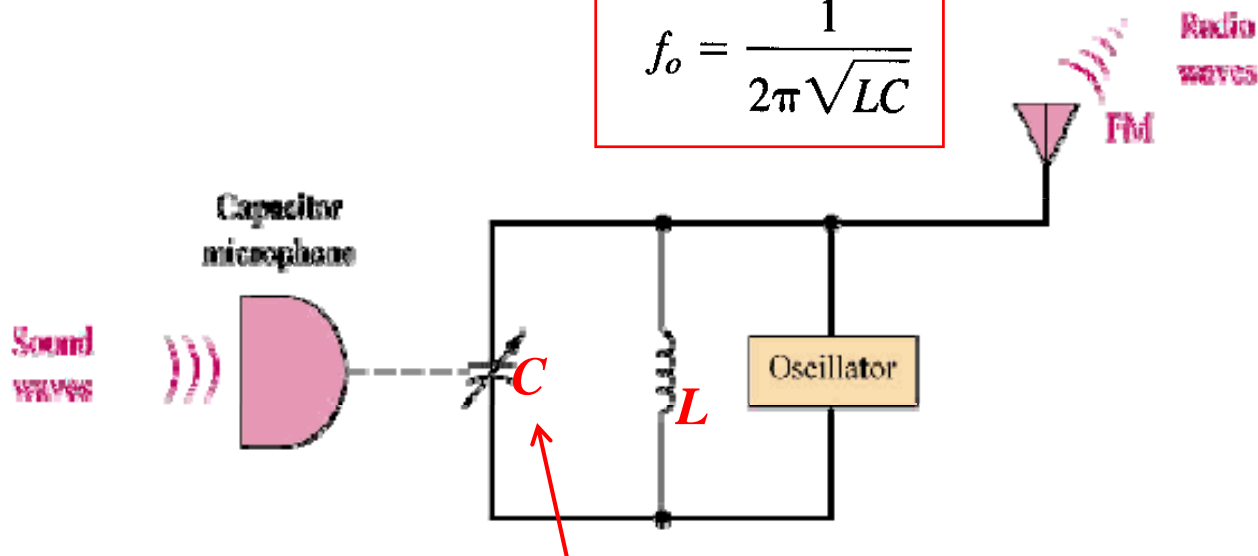
Por lo general, cada estación de radio FM tiene asignado un ancho de banda **BW de 200 kHz**. El BW total dedicado a estaciones AM va desde los 530 hasta los 1700 kHz.



4.- Generador simple de FM

Esta es la frecuencia de salida del generador formado por un **oscilador** y un **circuito tanque**

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



El valor del capacitor (**C**) varía al ritmo de la señal de voz; por tanto, varía o se modula la frecuencia.

Modulación PM

Al variar la **fase** de una portadora, también se produce FM y, por tanto, **FM** y **PM** están relacionadas. En conjunto se les conoce como **modulación angular**.

FIN