

Sistemas de Comunicación

- Modulación AM-

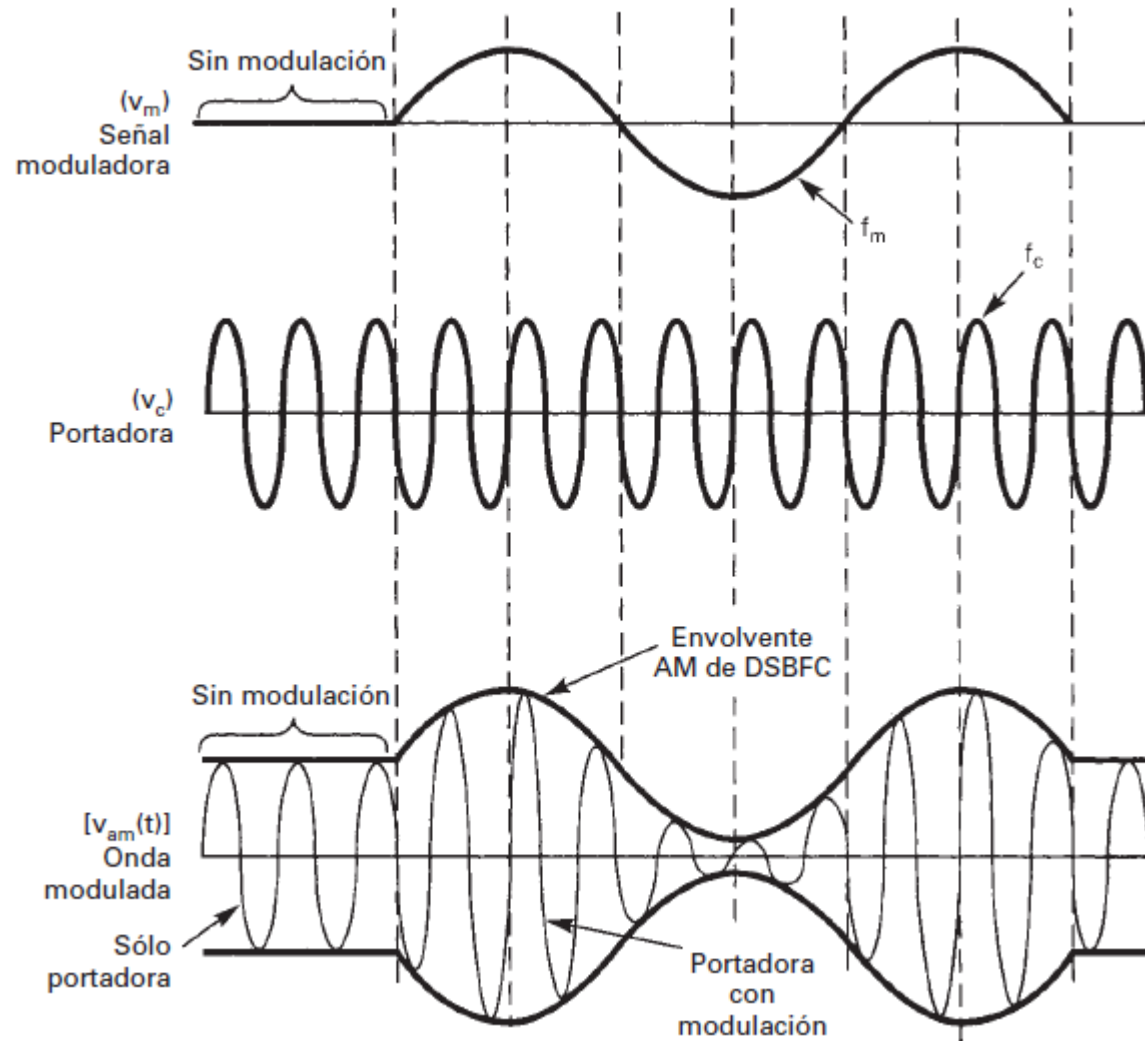
Ph.D. Cristian Guarnizo Lemus

cristianguarnizo@itm.edu.co

Contenido

1. Espectro en AM.
2. Representación Fasorial.
3. Coeficiente de modulación.
4. Análisis temporal, en potencia.

AM-DSBFC (double-sideband full carrier)

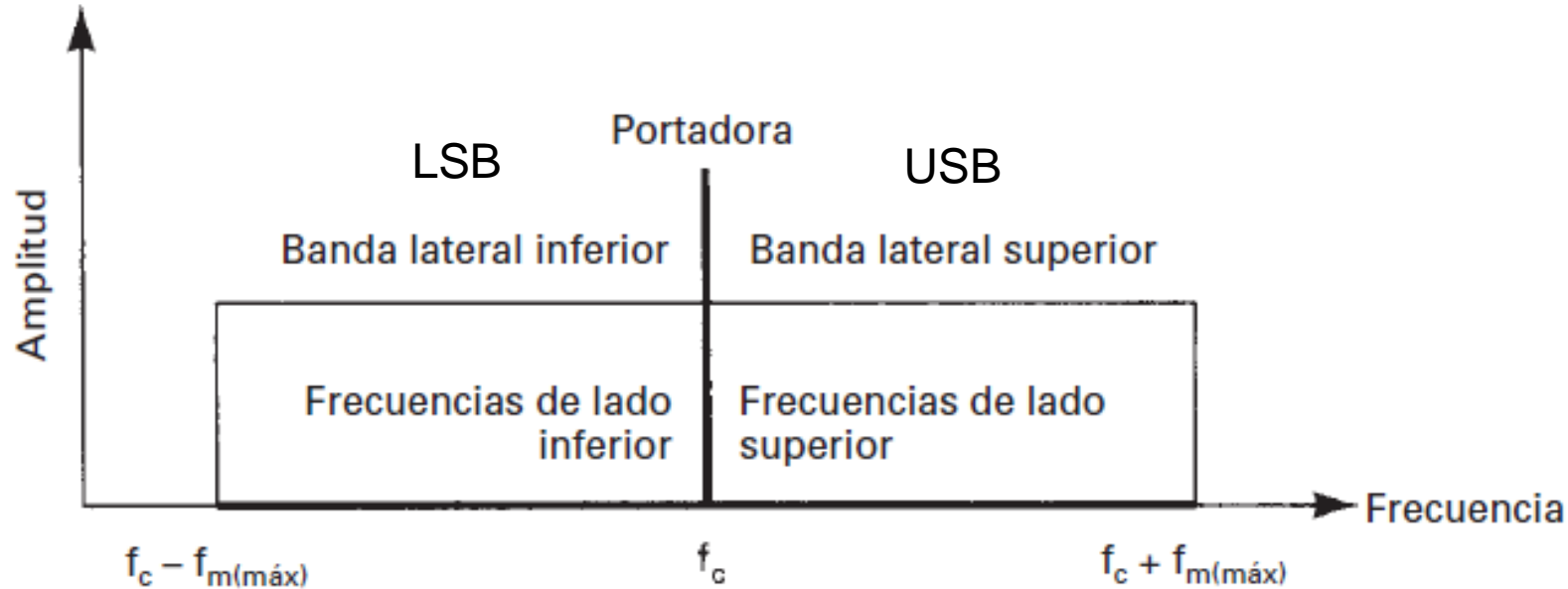


$$V_m \sin(2\pi f_m t)$$

$$V_c \sin(2\pi f_c t)$$

$$V_{AM}(t)$$

Espectro de frecuencias y ancho de banda de AM



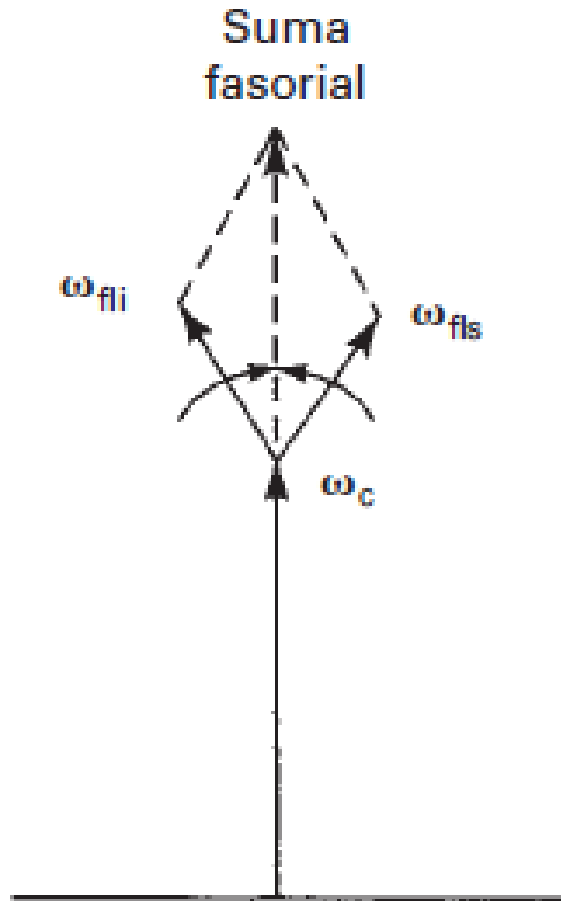
$$B = 2f_{m(\text{máx})}$$

Ejemplo 3-1

Para un modulador DSBFC de AM con frecuencia de portadora $f_c = 100\text{kHz}$ y una señal moduladora de frecuencia máxima $f_{m(max)} = 5\text{kHz}$ determinar:

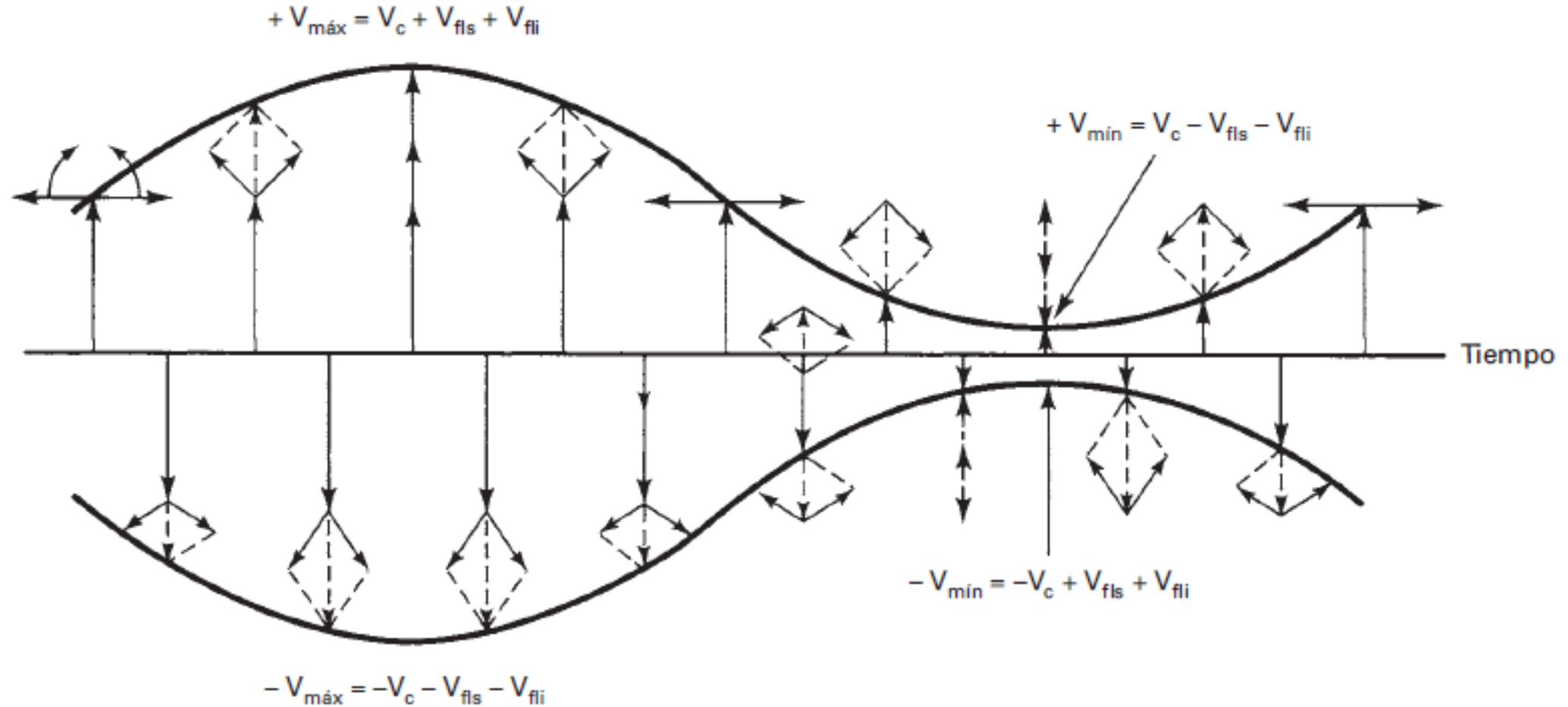
- (a) Límites de frecuencia de las bandas laterales superior e inferior.
- (b) Ancho de banda.
- (c) Frecuencias de lado superior e inferior, que se producen cuando la señal moduladora es un tono de frecuencia única de 3kHz.
- (d) Trazar el espectro de frecuencias de salida.

Representación fasorial



fls = Frecuencia lateral superior
fli = Frecuencia lateral inferior
c = Portadora (Carrier)

Representación fasorial



El **coeficiente de modulación** describe la cantidad de cambio de amplitud (modulación) en una señal AM.

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

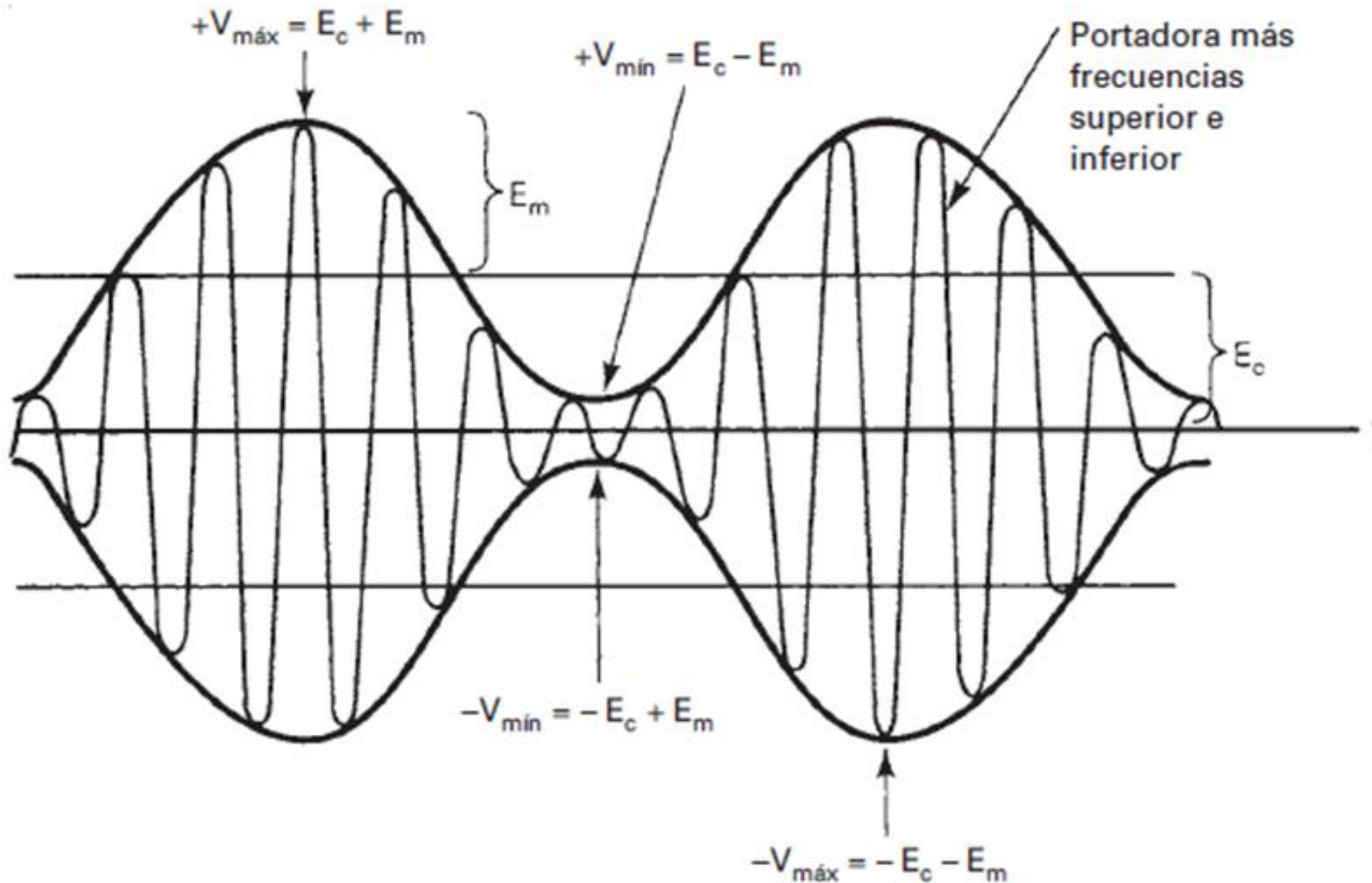
$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100$$

m = coeficiente de modulación.

E_m = cambio máximo de amplitud de voltaje de salida.

E_c = amplitud máxima del voltaje de la portadora (sin modular).

Coeficiente y porcentaje de modulación



Coeficiente y porcentaje de modulación

Si la señal moduladora es una senoidal pura de una sola frecuencia, y la modulación es simétrica (las diferencias positiva y negativa son iguales), entonces

$$E_m = \frac{1}{2}(V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}})$$

$$E_c = \frac{1}{2}(V_{\text{máx}} + V_{\text{mín}})$$

$$M = \frac{1/2(V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}})}{1/2(V_{\text{máx}} + V_{\text{mín}})} \times 100 = \frac{V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}}{V_{\text{máx}} + V_{\text{mín}}} \times 100$$

$$V_{\text{máx}} = E_c + E_m$$

$$V_{\text{mín}} = E_c - E_m$$

Recordar que $E_m = E_{fls} + E_{fli}$ y $E_{fls} = E_{fli}$

$$E_{fls} = E_{fli} = \frac{E_m}{2} = \frac{1/2(V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}})}{2} = \frac{1}{4}(V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}})$$

E_{fls} = amplitud máxima de la frecuencia de lado superior (volts)

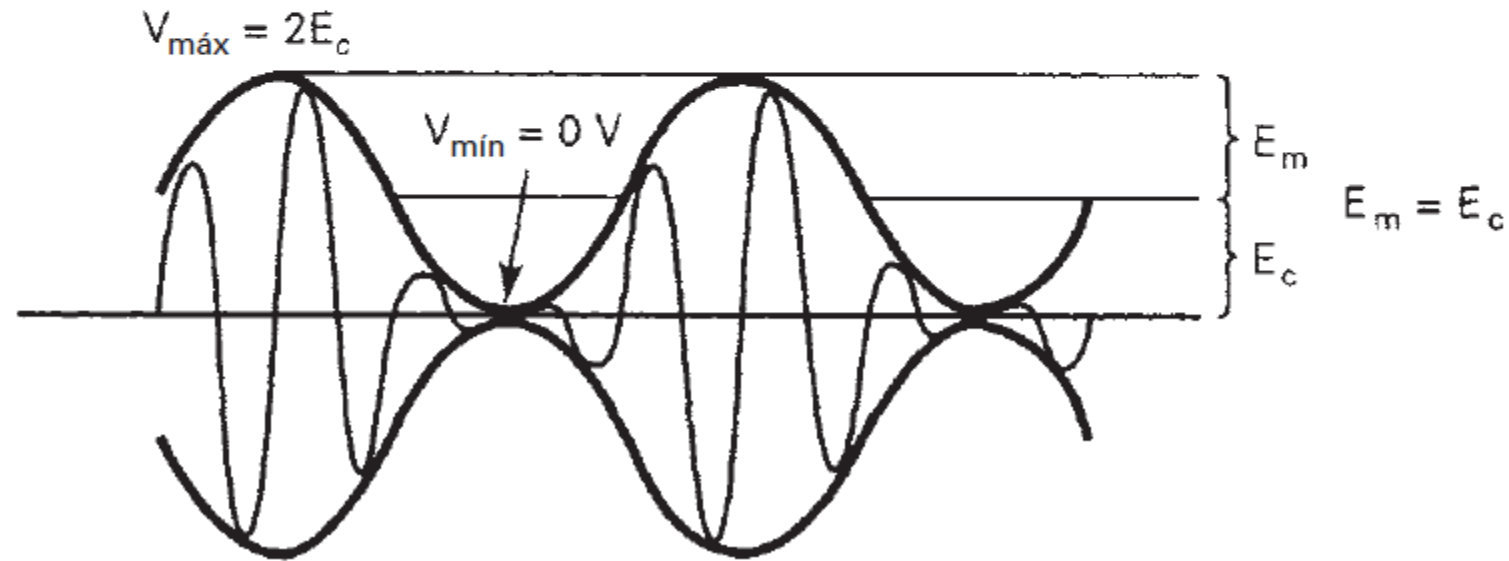
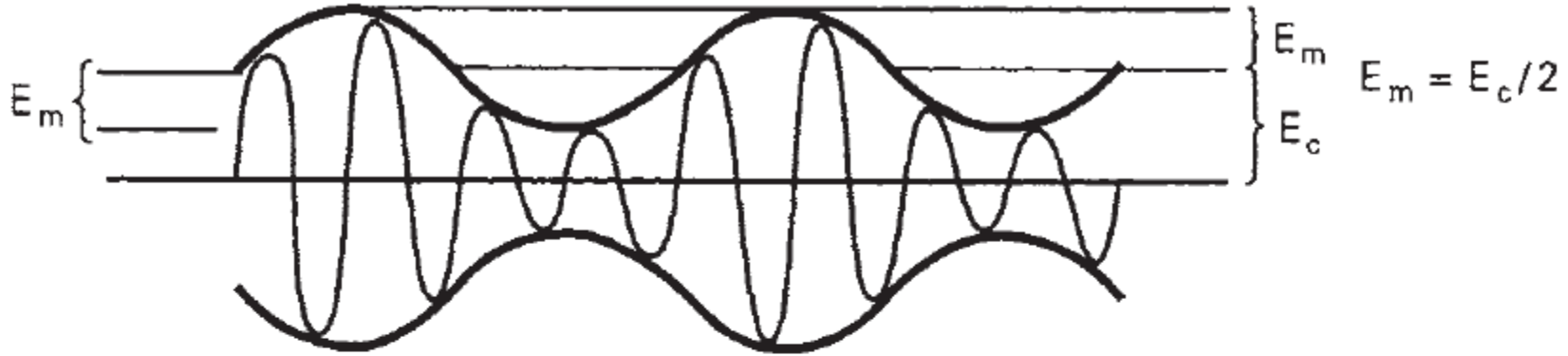
E_{fli} = amplitud máxima de la frecuencia de lado inferior (volts)

Preguntas

Cuando se obtiene un porcentaje de modulación del 100%? Del 50%?

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100$$

Ejemplos Modulación

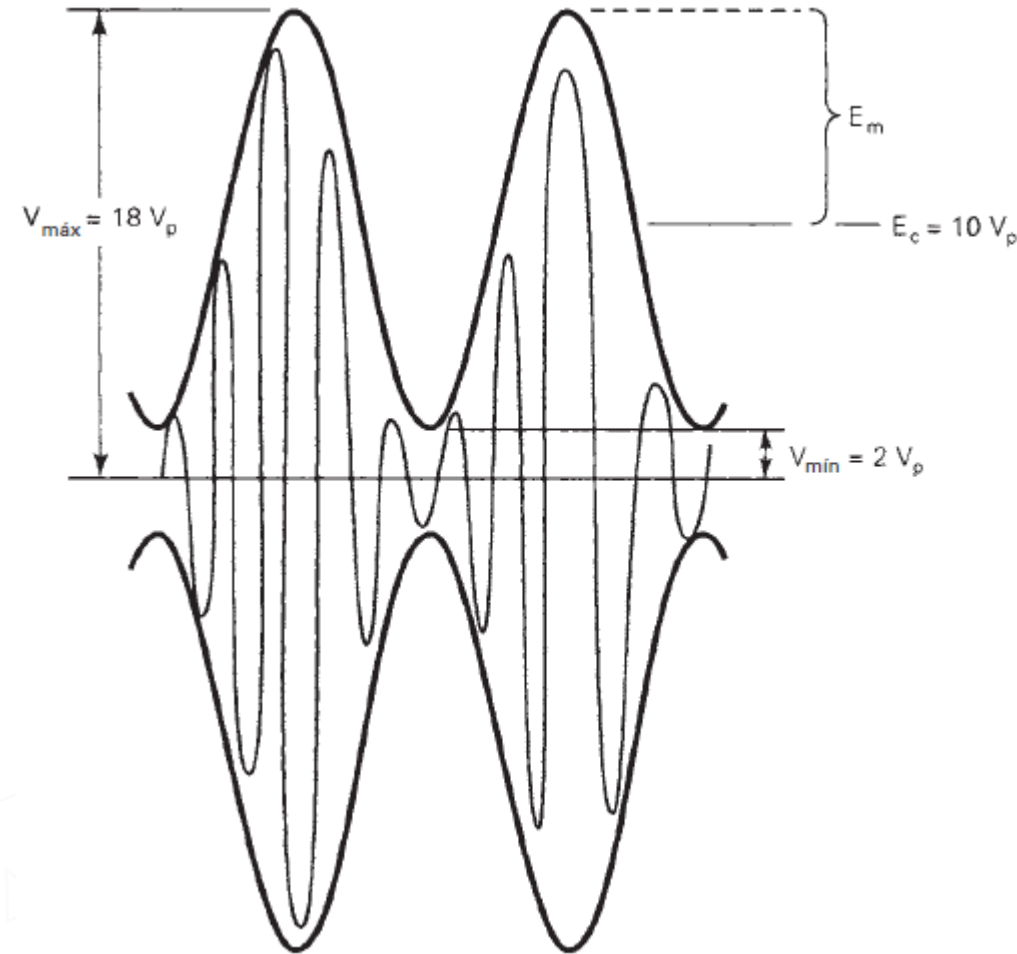


Ejemplos Modulación

Ejemplo 3-2

Determinar, para la forma de onda de AM:

- a) Amplitud máxima de fls y fli.
- b) Amplitud máxima de la portadora E_c .
- c) Cambio máximo de la envolvente E_m .
- d) Coeficiente de modulación.
- e) Porcentaje de modulación.



Distribución de voltaje de AM

La portadora no modulada se describe

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

$v_c(t)$ = forma de onda de voltaje de la portadora, variable en el tiempo

E_c = amplitud máxima de la portadora (volts)

f_c = frecuencia de la portadora (Hertz)

Distribución de voltaje de AM

Entonces la amplitud instantánea de la onda modulada es

$$v_{am}(t) = [E_c + E_m \sen(2\pi f_m t)] [\sen(2\pi f_c t)]$$

$[E_c + E_m \sen(2\pi f_m t)]$ = amplitud de la onda modulada

E_m = cambio máximo de amplitud de la envolvente (volts)

f_m = frecuencia de la señal moduladora (hertz)

Si se sustituye E_m por mE_c ,

$$v_{am}(t) = [(E_c + \underline{mE_c} \sen(2\pi f_m t))] [\sen(2\pi f_c t)] \quad \text{ó,}$$

$$v_{am}(t) = [1 + m \sen(2\pi f_m t)] [E_c \sen(2\pi f_c t)]$$

Distribución de voltaje de AM

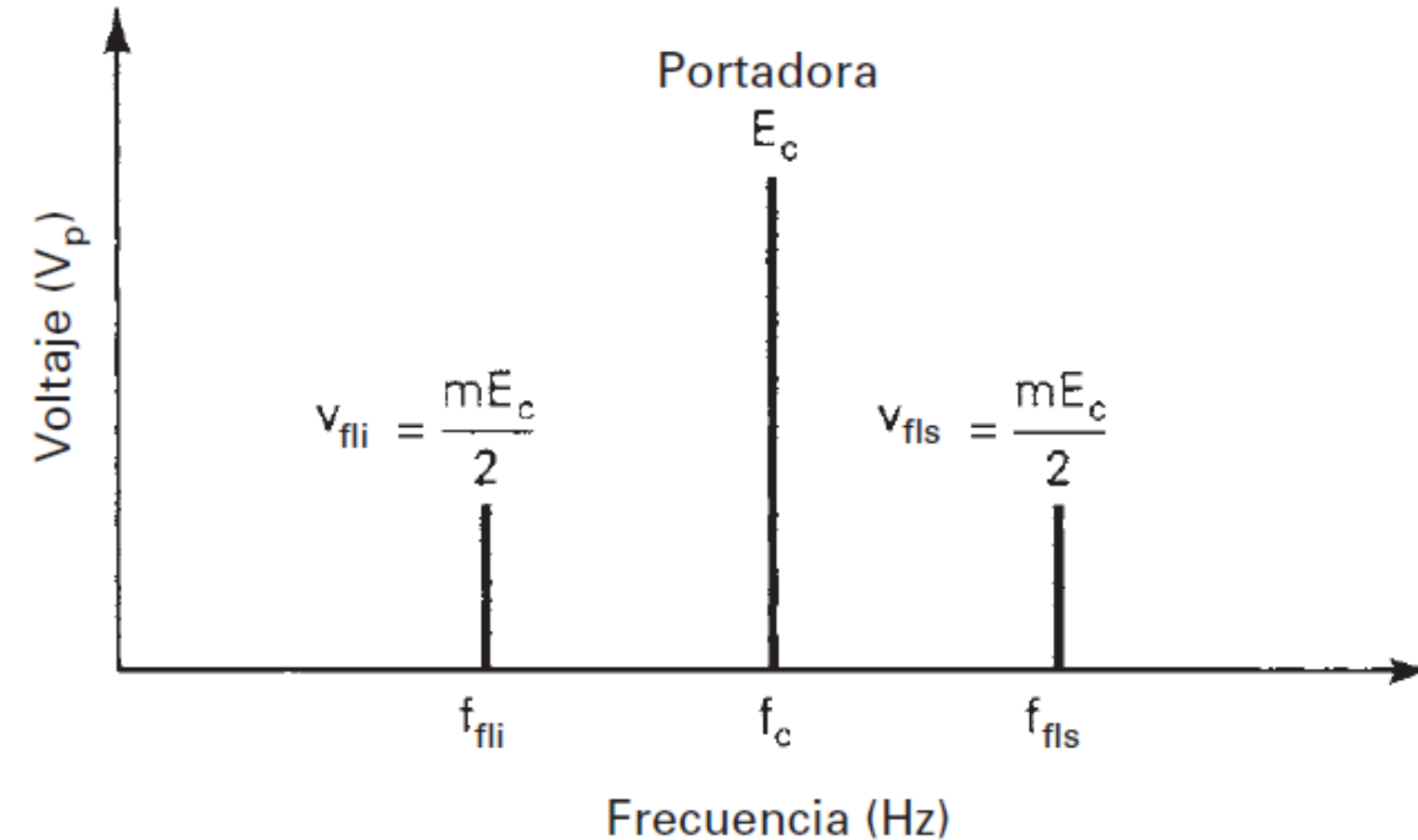
Ejercicio:

Demostrar que este espectro corresponde a la ecuación:

$$v_{am}(t) = [1 + m \sen(2\pi f_m t)][E_c \sen(2\pi f_c t)]$$

Pista:

$$\sin a \sin b = \frac{\cos(a - b) - \cos(a + b)}{2}$$



Análisis de AM en el dominio del tiempo

A partir de las siguiente portadora y moduladora

$$\text{portadora} = v_c(t) = E_c \sin(2\pi 25t)$$

$$\text{señal moduladora} = v_m(t) = E_m \sin(2\pi 5t)$$

Se obtiene la siguiente señal AM:

$$v_{am}(t) = E_c \sin(2\pi 25t) - \frac{mE_c}{2} \cos(2\pi 30t) + \frac{mE_c}{2} \cos(2\pi 20t)$$

Distribución de potencia en AM

La potencia disipada es igual al cuadrado del voltaje dividido entre la resistencia. El promedio de la potencia disipada se puede calcular usando el voltaje rms (efectivo, raíz cuadrática media) de la **portadora**.

$$P_c = \frac{(0.707 E_c)^2}{R} = \frac{E_c^2}{2R}$$

Distribución de potencia en AM

La potencia en las bandas laterales superior e inferior se calculan:

$$P_{bls} = P_{bli} = \frac{(m E_c / 2)^2}{2R} = \frac{m^2 E_c^2}{8R} = \frac{m^2 P_c}{4}$$

Distribución de potencia en AM

La potencia total en AM es igual a las sumas de las potencias:

$$P_t = P_c + P_{b\text{ls}} + P_{b\text{li}}$$

P_t = potencia total de una envolvente DSBFC de AM (watts)

P_c = potencia de la portadora (watts)

$P_{b\text{ls}}$ = potencia de la banda lateral superior (watts)

$P_{b\text{li}}$ = potencia de la banda lateral inferior (watts)

Distribución de potencia en AM

$$P_t = P_c + P_{b\text{ls}} + P_{b\text{li}}$$

$$P_t = P_c + \frac{m^2 P_c}{4} + \frac{m^2 P_c}{4} = P_c + \frac{m^2 P_c}{2} = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2} \right)$$

Para una onda DSBFC de AM con voltaje máximo de portadora no modulada $V_c = 10 \text{ Vp}$, una resistencia de carga $R_L = 10 \text{ Ohmios}$ y un coeficiente de modulación $m=1$, determinar:

- a) Las potencias de la portadora y de las bandas.
- b) La potencia total de la onda modulada.

Cálculos de corriente en AM

En AM es necesario medir la corriente de la portadora y la moduladora, para calcular el índice de modulación. Se mide la corriente de la antena transmisora. Se calculan las siguientes relaciones:

$$\frac{P_t}{P_c} = \frac{I_t^2 R}{I_c^2 R} = \frac{I_t^2}{I_c^2} = 1 + \frac{m^2}{2}$$

$$\frac{I_t}{I_c} = \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}} \quad I_t = I_c \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}}$$

Lecturas recomendadas

1. Tarea: Leer Ejemplo 3-3 [Tomasi, pag. 109] y resolverlo en Matlab/Octave/Python.

Preguntas

Que representa el índice de modulación?

Describa el funcionamiento básico de un modulador AM.

Cuántas entradas hay en un modulador de amplitud?

Que significa señal moduladora, portadora, onda modulada y envolvente?

Para una modulación de 100%, ¿cuál es la relación entre las amplitudes de voltaje de las frecuencias laterales y de la portadora?

Bibliografía

- WAYNE, Tomasi. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4ª ed. Prentice Hall.