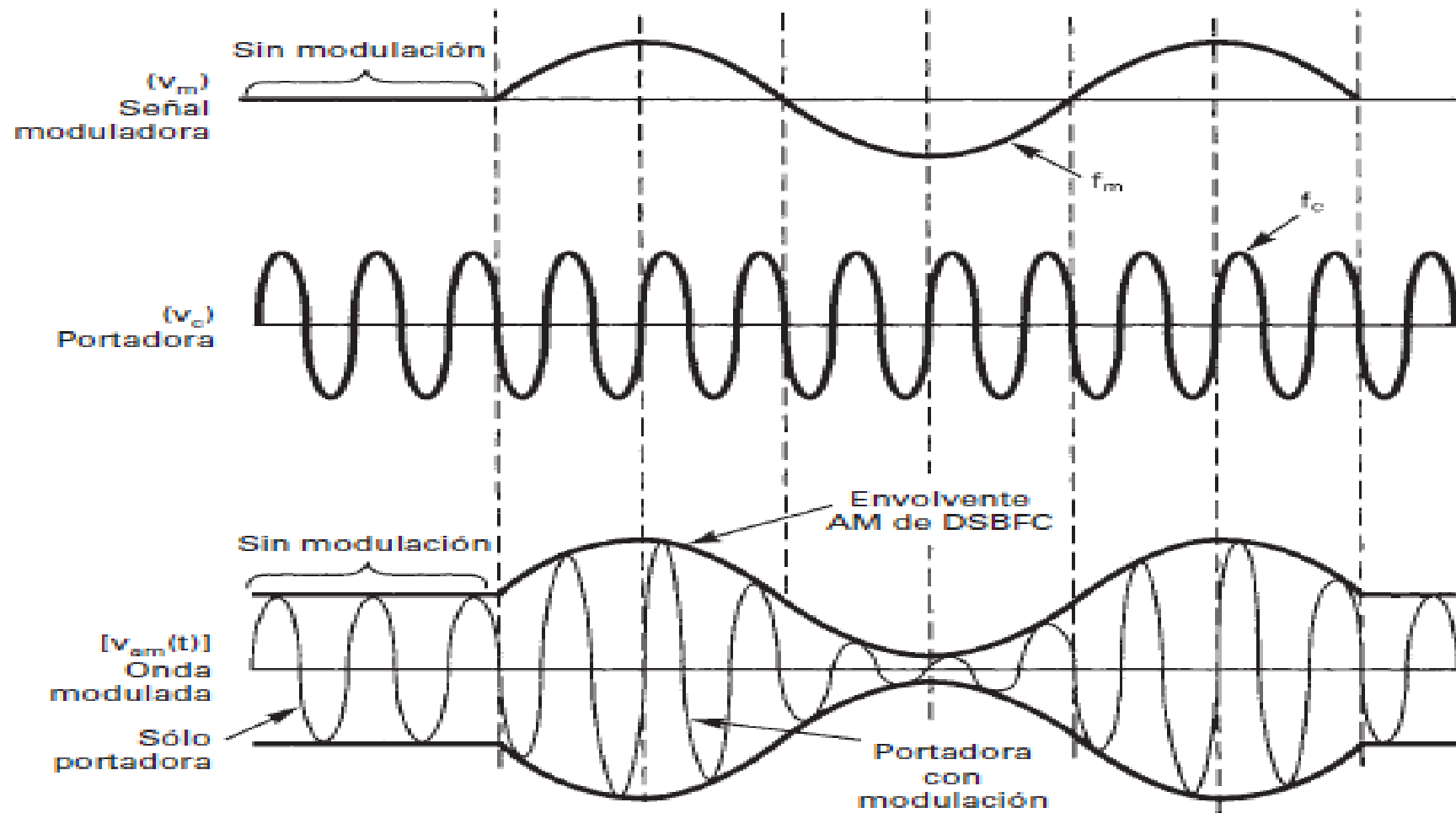


MODULACION AM

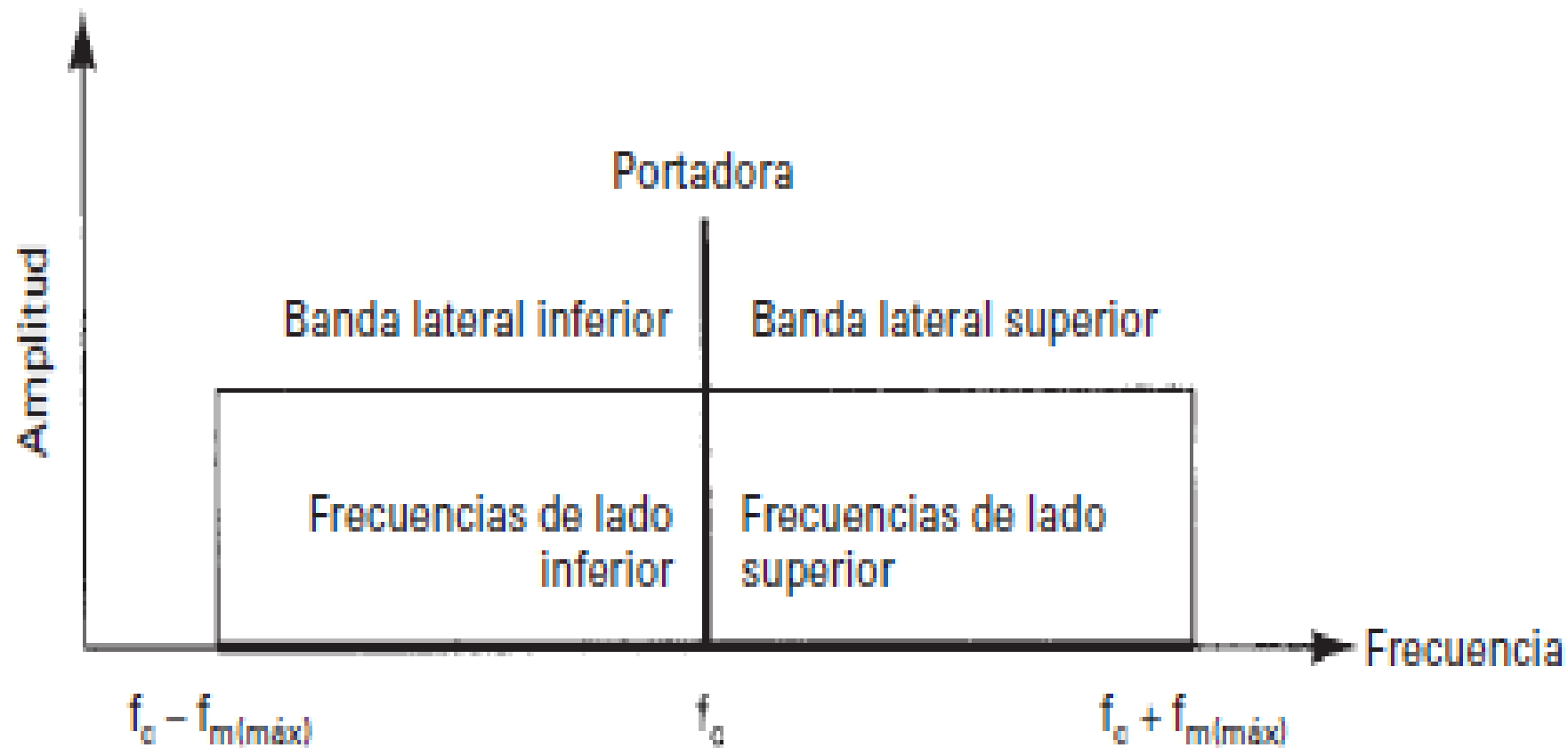
MODULADOR

- ▶ Por que es necesario modular?
- ▶ Que es una portadora?
- ▶ Que es una moduladora?

ENVOLVENTE



ESPECTRO AM



COEFICIENTE DE MODULACION Y PORCENTAJE DE MODULACION

$$m = \frac{E_m}{E_c} \quad (3-1)$$

m = coeficiente de modulación (adimensional)

E_m = cambio máximo de amplitud de la forma de onda de voltaje de salida (volts)

E_c = amplitud máxima del voltaje de la portadora no modulada (volts)

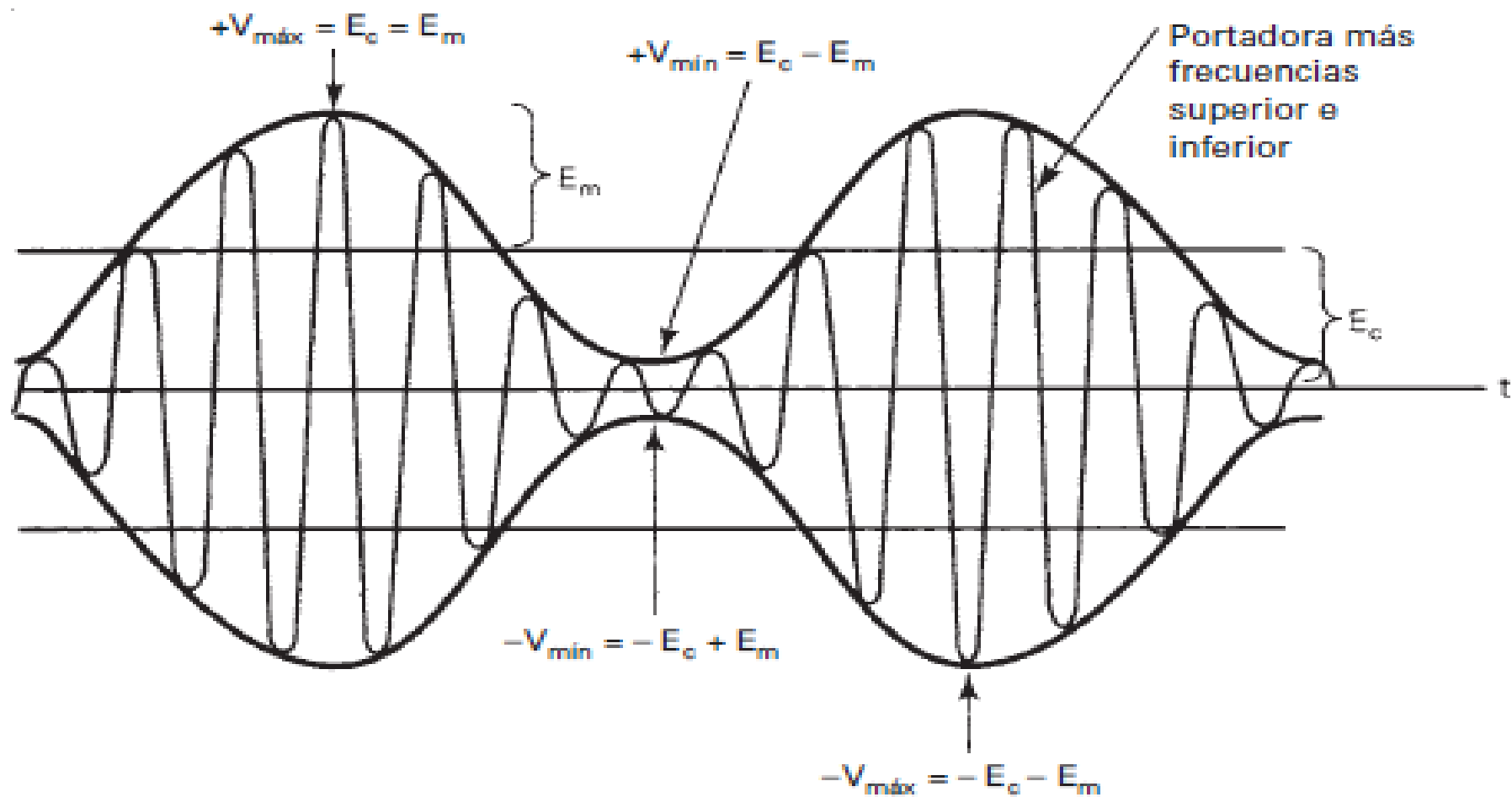
$$E_m = mE_c$$

y

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

y el porcentaje M de modulación es

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100 \text{ o simplemente } m \times 100$$



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

y

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

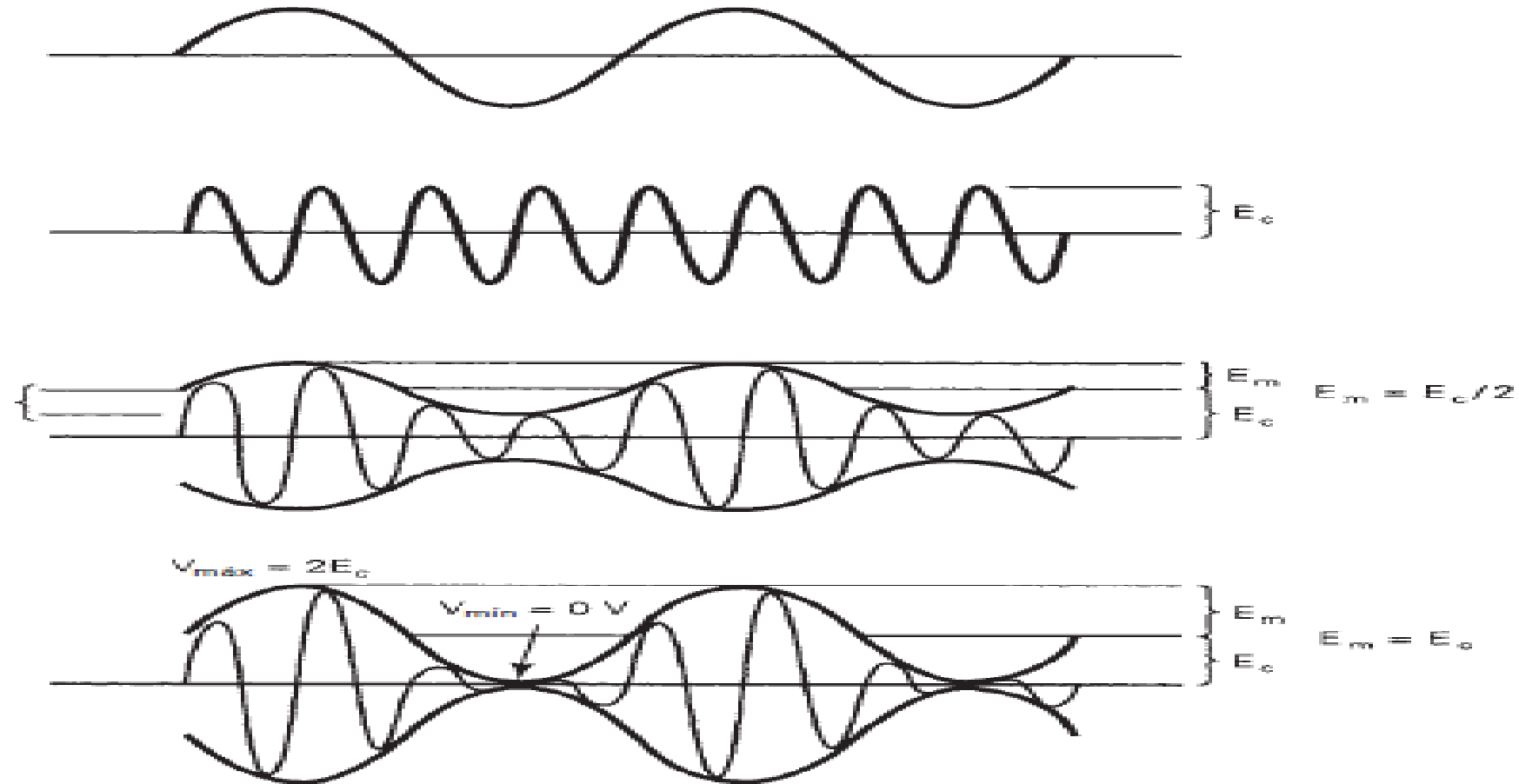
Por consiguiente,

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

en donde

$$\begin{aligned} V_{\text{máx}} &= E_c + E_m \\ V_{\text{mín}} &= E_c - E_m \end{aligned}$$

GRAFICAS DE PORCENTAJES DE MODULACION



DISTRIBUCION DE VOLTAJE AM

► PORTADORA

$$v_c(t) = E_c \text{sen}(2\pi f_c t)$$

en donde $v_c(t)$ = 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)

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

donde $[E_c + E_m \text{sen}(2\pi f_m t)]$ = 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 ,

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

siendo $[E_c + mE_c \text{sen}(2\pi f_m t)]$ la amplitud de la onda modulada.

Se saca a E_c como factor común y se reorganiza la ecuación 3-9b:

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

donde $[1 + m \text{sen}(2\pi f_m t)] = \text{voltaje constante} + \text{señal moduladora}$
 $[E_c \text{sen}(2\pi f_c t)] = \text{voltaje de portadora no modulada}$

La identidad trigonométrica para el producto de dos senos con diferentes frecuencias es

$$(\text{sen}A)(\text{sen}B) = -\frac{1}{2} \cos(A + B) + \frac{1}{2} \cos(A - B)$$

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

Por consiguiente,

$$v_{am}(t) = E_c \sin(2\pi f_c t) - \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c - f_m)t] \quad (3-10)$$

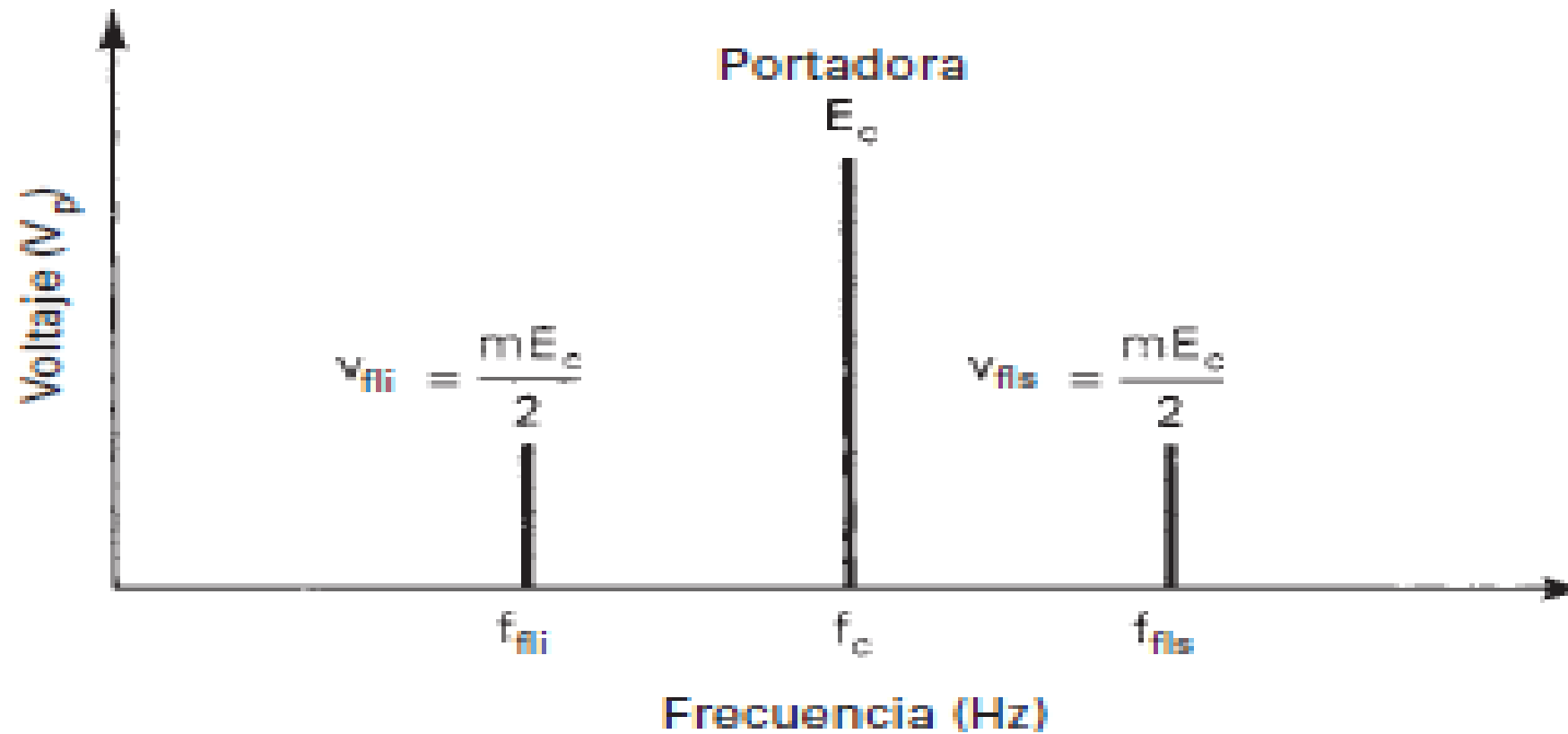
en donde

$E_c \sin(2\pi f_c t)$ = señal portadora (volts)

$-(mE_c/2) \cos[2\pi(f_c + f_m)t]$ = señal de la frecuencia de lado superior (volts)

$+(mE_c/2) \cos[2\pi(f_c - f_m)t]$ = señal de la frecuencia de lado inferior (volts)

ESPECTRO AM GENERAL



EJEMPLO

Una entrada a un modulador convencional de AM es una portadora de 500 kHz, con amplitud de $20 V_p$ de amplitud. La segunda entrada es una señal moduladora de 10 kHz, de amplitud suficiente para causar un cambio de $\pm 7.5 V_p$ en la onda de salida. Determinar:

- (a) Las frecuencias de lado superior e inferior.
- (b) El coeficiente de modulación y el porcentaje de modulación.
- (c) La amplitud máxima de la portadora modulada, y los voltajes de frecuencias laterales superior e inferior.
- (d) Amplitudes máxima y mínima de la envolvente.
- (e) La ecuación de la onda modulada.

Solución (a) Las frecuencias laterales superior e inferior no son más que las frecuencias de suma y de diferencia, respectivamente

$$f_{\text{fs}} = 500 + 10 \text{ kHz} = 510 \text{ kHz}$$

$$f_{\text{fi}} = 500 - 10 \text{ kHz} = 490 \text{ kHz}$$

(b) El coeficiente de modulación se calcula con la ecuación 3-1

$$m = \frac{7.5}{20} = 0.375$$

El porcentaje de modulación se calcula con la ecuación 3-4

$$M = 100 \times 0.375 = 37.5\%$$

(c) La amplitud máxima de la portadora modulada y las frecuencias laterales superior e inferior son

$$E_c (\text{modulada}) = E_c (\text{no modulada}) = 20 \text{ V}_p$$

$$E_{\text{fs}} = E_{\text{fi}} = \frac{mE_c}{2} = \frac{(0.375)(20)}{2} = 3.75 \text{ V}_p$$

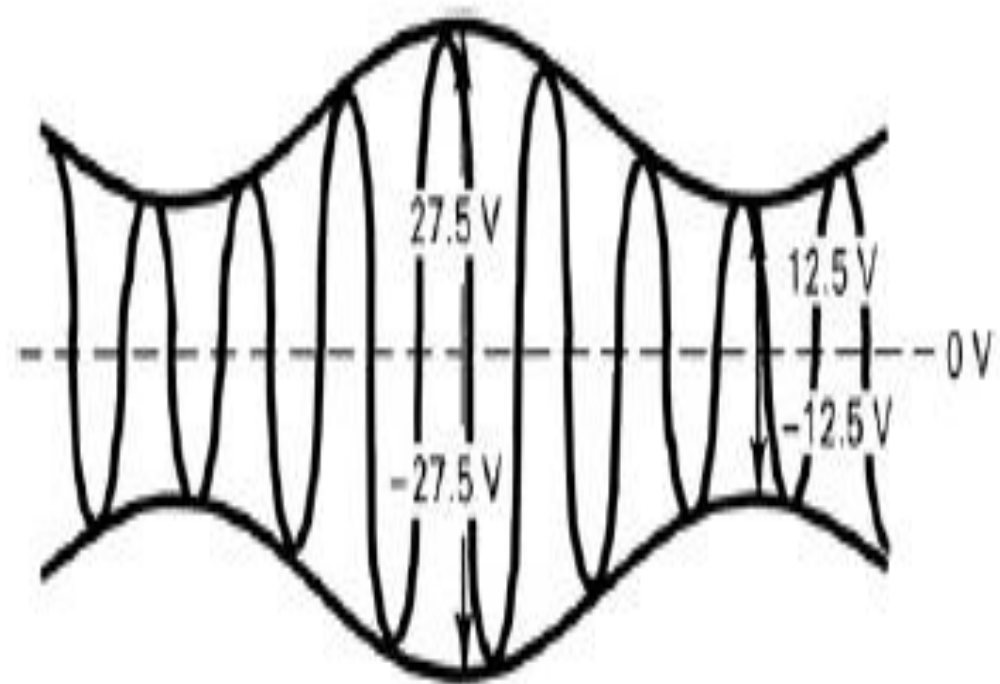
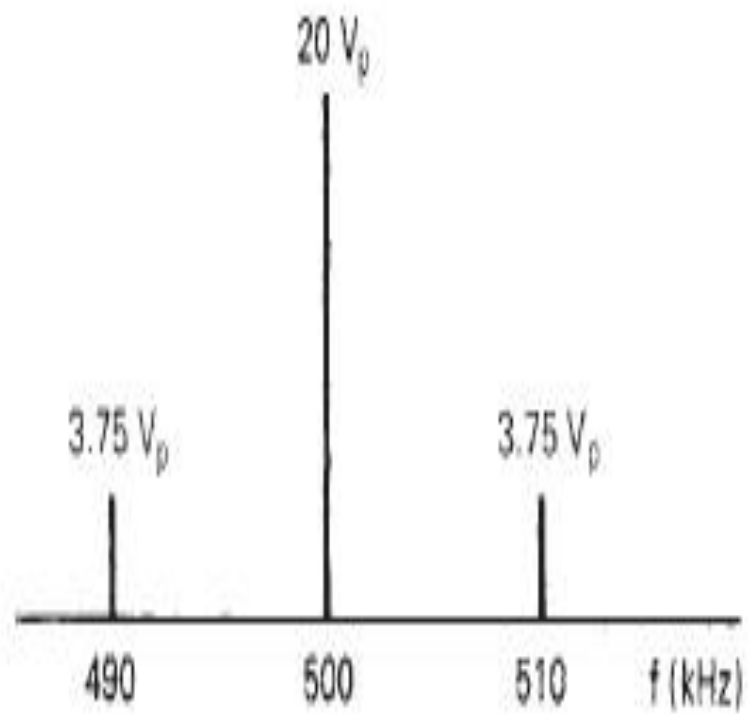
(d) Las amplitudes máxima y mínima de la envolvente se calculan como sigue

$$V_{(\text{máx})} = E_c + E_m = 20 + 7.5 = 27.5 \text{ V}_p$$

$$V_{(\text{mín})} = E_c - E_m = 20 - 7.5 = 12.5 \text{ V}_p$$

(e) La ecuación de la onda modulada se apega al formato de la ecuación 3-10

$$v_{\text{am}}(t) = 20 \sin(2\pi 600kt) - 3.75 \cos(2\pi 510kt) + 3.75 \cos(2\pi 490kt)$$



QUIZ

Una entrada a un modulador de AM de DSBFC es una portadora de 600 Khz. Con amplitud de 20 Vp. La segunda entrada es una señal moduladora de 75 Khz., cuya amplitud es suficiente para producir un cambio de + 5 V en la amplitud de la envolvente. Determine:

- a) Frecuencias laterales superior e inferior.
- b) Coeficiente de modulación y porcentaje de modulación.
- c) Amplitudes pico positivas máximas y mínima de la envolvente.
- d) Dibuje el espectro de salida
- e) Trace la envolvente. Identifique todos los voltajes pertinentes.
- d) HAGA LA SIMULACION EN MATLAB ESPECTRO Y TIEMPO

Distribución de potencia en AM

$$P_{\text{bls}} = P_{\text{bli}} = \frac{(mE_c/2)^2}{2R}$$

$$P_{\text{bls}} = P_{\text{bli}} = \frac{m^2 E_c^2}{8R}$$

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

$$P_{\text{bls}} = P_{\text{bli}} = \frac{m^2}{4} \left(\frac{E_c^2}{2R} \right)$$

$$P_{\text{bls}} = P_{\text{bli}} = \frac{m^2 P_c}{4}$$

$$P_t = P_c + P_{bls} + P_{bli}$$

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

P_c = potencia de la portadora (watts)

P_{bls} = potencia de la banda lateral superior (watts)

P_{bli} = potencia de la banda lateral inferior (watts)

Al sustituir la ecuación 3-16 en la 3-17 se obtiene

$$P_t = P_c + \frac{m^2 P_c}{4} + \frac{m^2 P_c}{4}$$

es decir,

$$P_t = P_c + \frac{m^2 P_c}{2}$$

en donde $(m^2 P_c)/2$ es la potencia total de las bandas laterales.

Se saca P_c como factor común

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

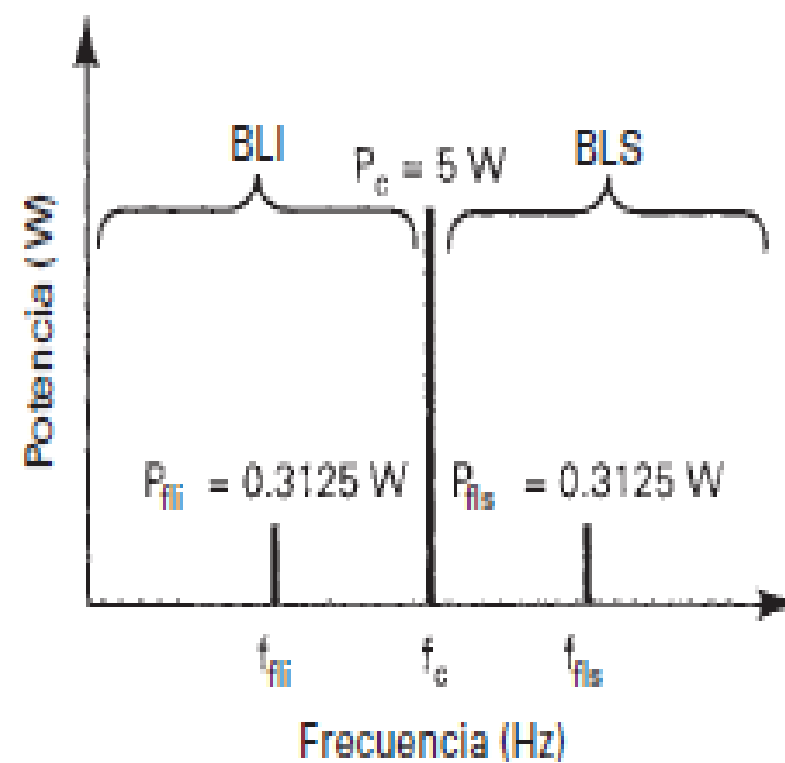
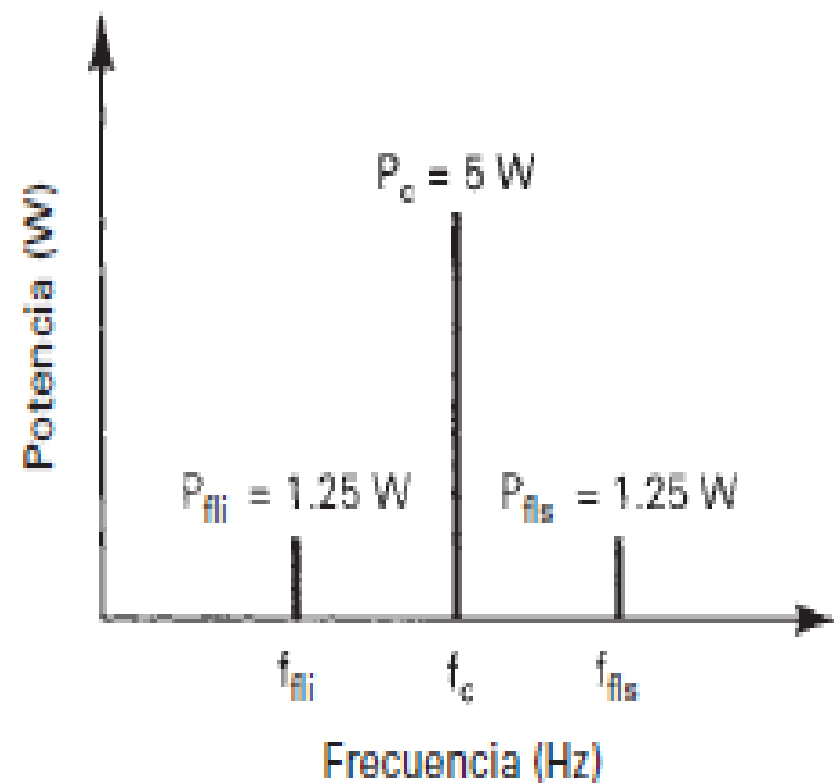
EJEMPLO 2

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

- (a) Las potencias de la portadora y de las bandas laterales superior e inferior.
- (b) La potencia total de las bandas laterales.
- (c) La potencia total de la onda modulada.

A continuación

- (d) Trazar el espectro de potencias.
- (e) Repetir los pasos a) a d) con un índice de modulación $m = 0.5$.



Modulación con una señal compleja de información

$$v_{am}(t) = \sin(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} \cos[2\pi(f_c - f_{m1})t] - \frac{1}{2} \cos[2\pi(f_c + f_{m1})t] \\ + \frac{1}{2} \cos[2\pi(f_c - f_{m2})t] - \frac{1}{2} \cos[2\pi(f_c + f_{m2})t]$$

$$m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_n^2}$$

en la que

m_t = coeficiente total de modulación

m_1, m_2, m_3 , y m_n = coeficientes de modulación para las señales de entrada 1, 2, 3 y n

$$P_{\text{tbls}} = P_{\text{tbli}} = \frac{P_c m_t^2}{2}$$

y

$$P_{\text{tbl}} \frac{P_c m_t^2}{2}$$

Por lo que

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

en la que P_{tbls} = potencia total de la banda lateral superior (watts)

P_{tbli} = potencia total de la banda lateral inferior (watts)

P_{tbl} = potencia total de las bandas laterales (watts)

P_t = potencia total transmitida (watts)

EJEMPLO3

Un transmisor DSBFC de AM tiene potencia de portadora no modulada $P_c = 100$ W, que se modula en forma simultánea por tres señales cuyos coeficientes de modulación son $m_1 = 0.2$, $m_2 = 0.4$, y $m_3 = 0.5$, determinar:

- (a) El coeficiente total de modulación.
- (b) La potencia de las bandas laterales superior e inferior.
- (c) La potencia total transmitida.

Solución (a) El coeficiente total de modulación se calcula sustituyendo en la ecuación 3-22.

$$\begin{aligned} m_t &= \sqrt{0.2^2 + 0.4^2 + 0.5^2} \\ &= \sqrt{0.04 + 0.16 + 0.25} = 0.67 \end{aligned}$$

(b) La potencia total de las bandas laterales se calcula sustituyendo el resultado del paso a) en la ecuación 3-24.

$$P_{\text{tbi}} = \frac{(0.67^2)100}{2} = 22.445 \text{ W}$$

(c) La potencia total transmitida se calcula sustituyendo en la ecuación 3-25.

$$P_t = 100 \left(1 + \frac{0.67^2}{2} \right) = 122.445 \text{ W}$$