Módulo 2 — Amplitud modulada

Cápsula 2.1 — Amplitud modulada (AM)

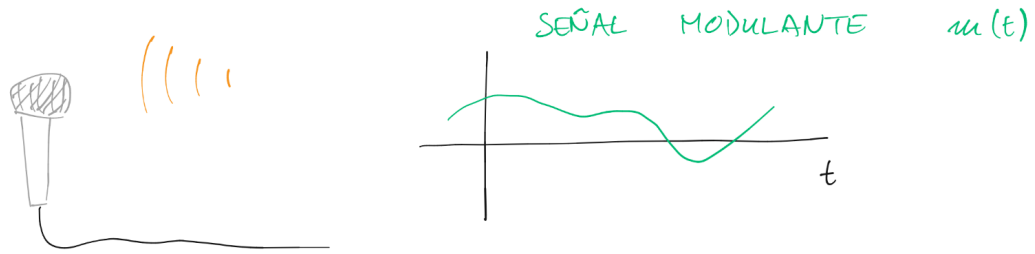


Figura 2.1.1: Ejemplo de señal modulante (señal de audio).

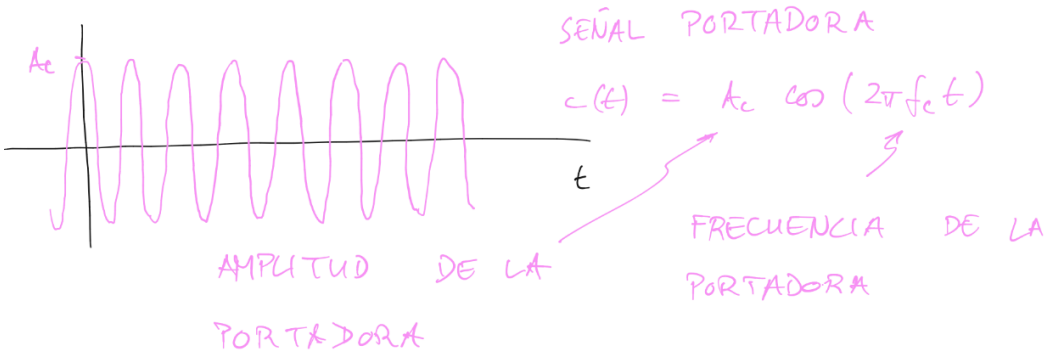


Figura 2.1.2: Señal portadora $c(t)$ para modulación AM.

La modulación AM consiste en generar una señal $s(t)$ de la siguiente forma:

$$s(t) = [1 + k_a m(t)]c(t) \tag{2.1.1}$$
$$= [1 + k_a m(t)]A_c \cos(2\pi f_c t) \tag{2.1.2}$$

Sensibilidad de amplitud

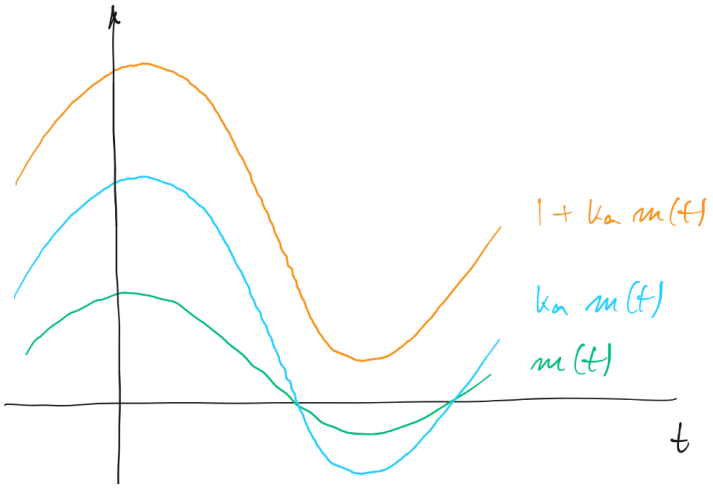


Figura 2.1.3: Señal modulante $m(t)$ con distintas amplitudes.

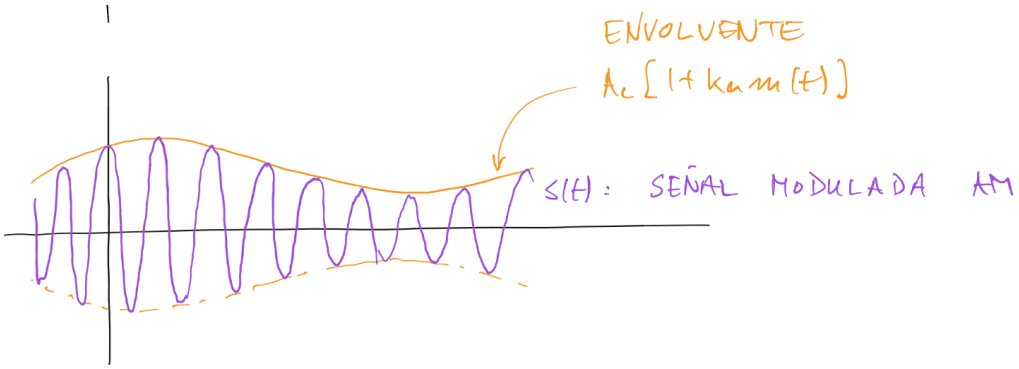


Figura 2.1.4: Envolvente junto a la señal modulada AM.

Cápsula 2.2 Señales de banda base y de pasabanda

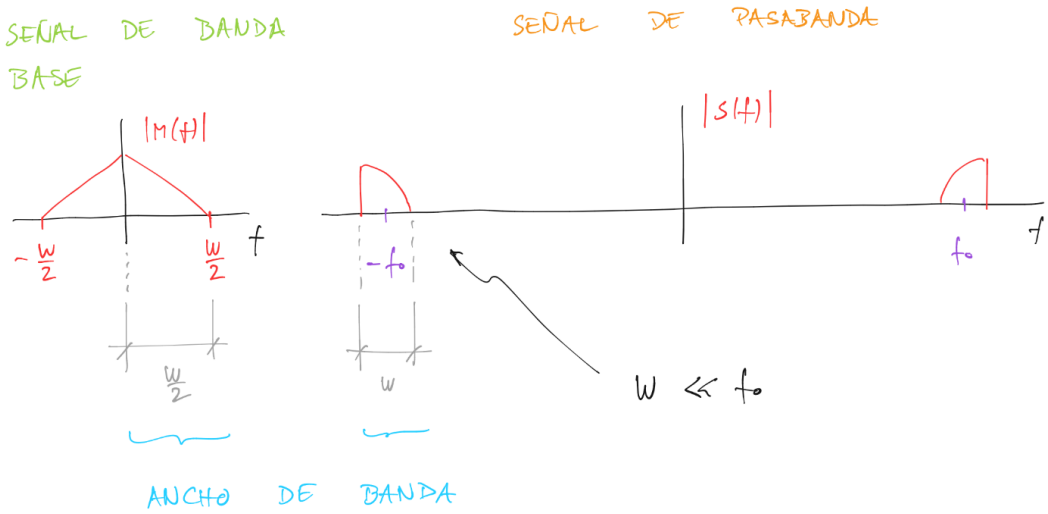


Figura 2.2.1: Espectro para señal de banda base y pasabanda.

En AM se asume que $m(t)$ es una señal de banda base y $c(t)$ es de pasabanda en el sentido que su frecuencia portadora $f_c \gg W$, el ancho de banda de $m(t)$.

Cápsula 2.3 — Espectro de frecuencia de una señal AM

$$s(t) = [1 + k_a m(t)] A_c \cos(2\pi f_c t) \tag{2.3.1}$$

$$\downarrow \mathcal{F}\{.\}$$

$$S(f) = \mathcal{F}\{A_c \cos(2\pi f_c t)\} + \mathcal{F}\{k_a A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)\} \tag{2.3.2}$$

$$= \frac{A_c}{2}[\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + k_a M(f) * \frac{A_c}{2}[\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] \tag{2.3.3}$$

$$= \frac{A_c}{2}[\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + \frac{1}{2} k_a A_c [M(f - f_c) + M(f + f_c)] \tag{2.3.4}$$

Entonces, el espectro de una modulación AM es:

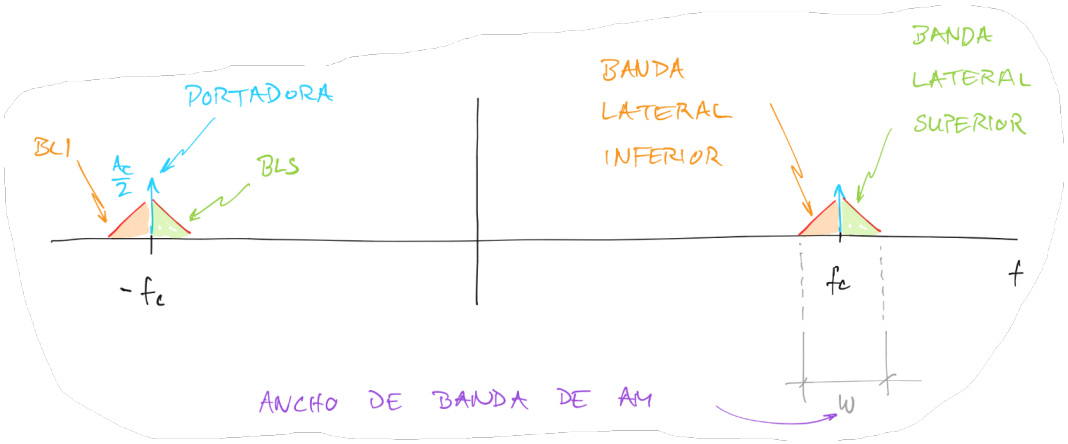


Figura 2.3.1: Espectro de modulación AM.

El proceso de modulación AM genera una TRASLACION ESPECTRAL de la señal modulante.

$\Longrightarrow$ $s(t)$ es una señal de pasabanda! (Sup. $f_c \gg W$).

¿Cuáles son las ventajas de usar traslación espectral?

1. Varias señales modulantes ocupan el mismo espectro de frecuencia (banda base) y no pueden convivir en un mismo medio sin interferirse.

   La traslación espectral permite usar frecuencias portadoras distintas y evitar la interferencia.

   Ej. Dial AM permite seleccionar distintos f_c.

2. Altas frecuencias portadoras permiten antenas de tamaños realizables (tamaño antena es proporcional a la longitud de onda de la portadora).

Cápsula 2.4 — Demodulación de AM

$\Longrightarrow$ DETECTOR DE ENVOLVENTE

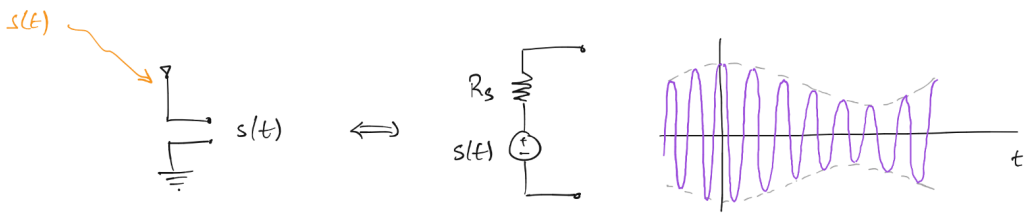


Figura 2.4.1: Modelo del detector de envolvente con fuente ideal y resistencia interna.

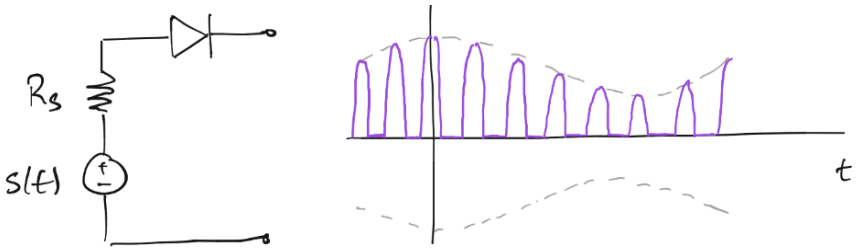


Figura 2.4.2: Modelo del detector de envolvente con fuente ideal, resistencia interna y diodo.

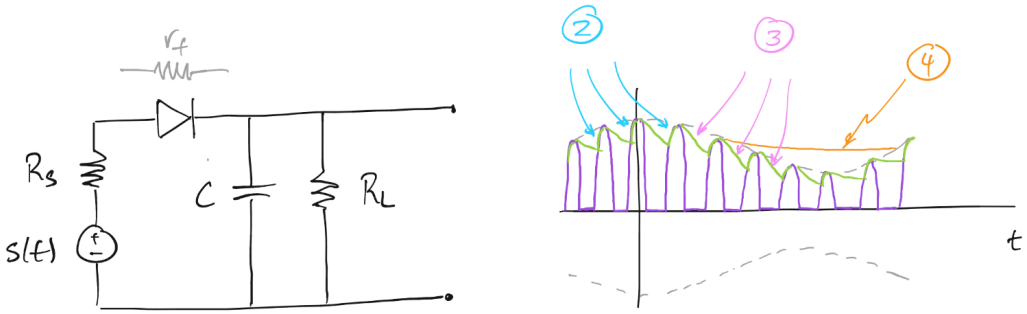


Figura 2.4.3: Modelo completo del detector de envolvente.

(1) Si $R_L >> R_s + r_f \implies C$ se carga cuando el diodo conduce

$$\underbrace{(R_s + r_f)C}_{\text{(2) Diodo conduce}} << \overbrace{\frac{1}{f_c}}^{\text{(3) Diodo en corte}} << \underbrace{R_L C}_{\text{(4) Diodo en corte (No deseado)}} << \frac{1}{W} \tag{2.4.1}$$

Obs: La portadora tiene una tasa de cambio f_c y la envolvente W.

¿Por qué un detector de envolvente?

$\implies$ Su implementación es muy simple y de bajo costo. Ello lo hace (hizo) ideal para comunicaciones "uno a muchos" (radiodifusión, BROADCASTING, POINT-TO-MULTIPOINT como en los inicios de la radiodifusión.

$\implies$ No requiere generar una portadora local en el RX para sintonizar la estación deseada. Basta con un filtro pasabanda en la entrada del detector de envolvente.

Cápsula 2.5 — Distorsión de envolvente

INVERSION DE FASE: la envolvente toma valores negativos $\Leftrightarrow 1 + k_a m(t) < 0$ para algún t.

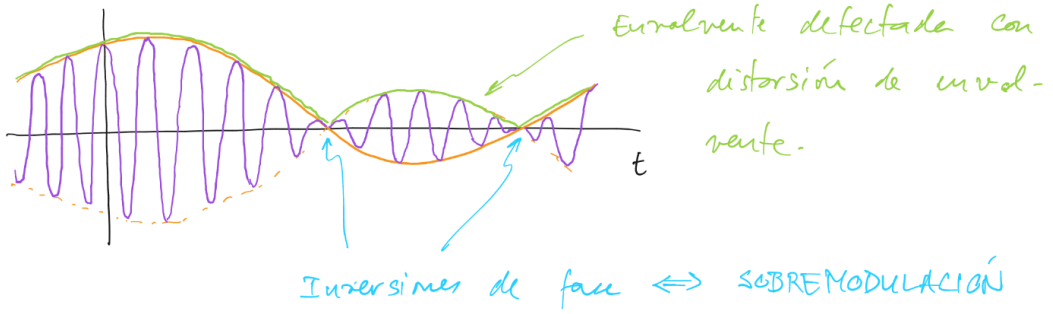


Figura 2.5.1: Modulación AM con distorsión de fase.

$\Longrightarrow$ k_a debe ser ajustada de tal forma que se evite la sobremodulación para los valores de amplitud esperados de $m(t)$.

Cápsula 2.6 — Índice de modulación

Consideremos la modulación AM de un TONO PURO.

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t), \quad f_m \ll f_c \tag{2.6.1}$$

Entonces, la señal AM es:

$$s(t) = [1 + \underbrace{k_a A_m}_{\triangleq \mu} \cos(2\pi f_m t)]\, A_c \cos(2\pi f_c t) \tag{2.6.2}$$

μ : Constante adimensional conocida como ÍNDICE DE MODULACIÓN.

Observación clave: $\mu > 1 \iff$ sobremodulación

© 2010–2025 Christian Oberli

Sean A_{MAX} y A_{MIN} los valores máximo y mínimo de la envolvente positiva:

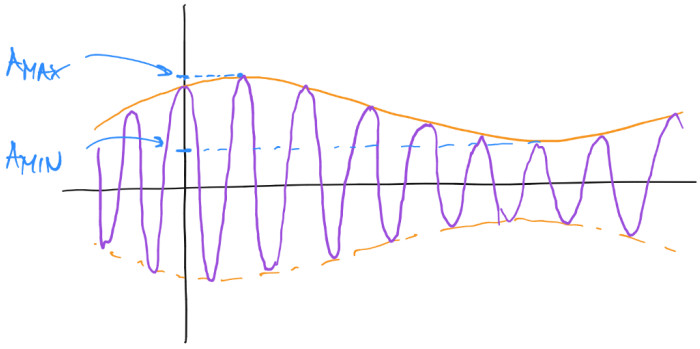


Figura 2.6.1: Valores máximos y mínimos de la envolvente positiva para modulación AM.

Es inmediato que:

$$\frac{A_{\text{MAX}}}{A_{\text{MIN}}} = \frac{A_c(1+\mu)}{A_c(1-\mu)} \tag{2.6.3}$$

$$\mu = \frac{A_{\text{MAX}} - A_{\text{MIN}}}{A_{\text{MAX}} + A_{\text{MIN}}} \tag{2.6.4}$$

Cápsula 2.7 — Eficiencia energética de AM

Modulación AM de un tono puro:

$$s(t) = [1 + \mu\cos(2\pi f_m t)]\, A_c \cos(2\pi f_c t) \tag{2.7.1}$$

Usando trigonometría muy simple:

$$s(t) = A_c\cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2}\mu A_c \cos\left[2\pi(f_c + f_m)t\right] + \frac{1}{2}\mu A_c \cos\left[2\pi(f_c - f_m)t\right] \tag{2.7.2}$$

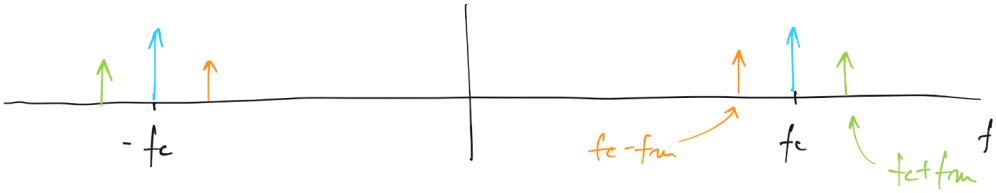


Figura 2.7.1: Espectro modulación AM de un tono puro.

¿Qué fracción de la potencia total transmitida porta información ($\Longleftrightarrow$ potencia en bandas laterales vs. potencia total)?

$$\text{Pot. portadora: } \frac{1}{2}A_c^2 \tag{2.7.3}$$

$$\text{Pot. una BL: } \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}\mu A_c\right)^2 \tag{2.7.4}$$

$$= \frac{1}{8}\mu^2 A_c^2 \tag{2.7.5}$$

$$\eta_E \triangleq \frac{\text{Pot. en BL}}{\text{Pot. Total}} \tag{2.7.6}$$

$$= \frac{2 \cdot \frac{1}{8}\mu^2 A_c^2}{\frac{1}{2}A_c^2 + 2 \cdot \frac{1}{8}\mu^2 A_c^2} \tag{2.7.7}$$

$$= \frac{\mu^2}{\mu^2 + 2} \tag{2.7.8}$$

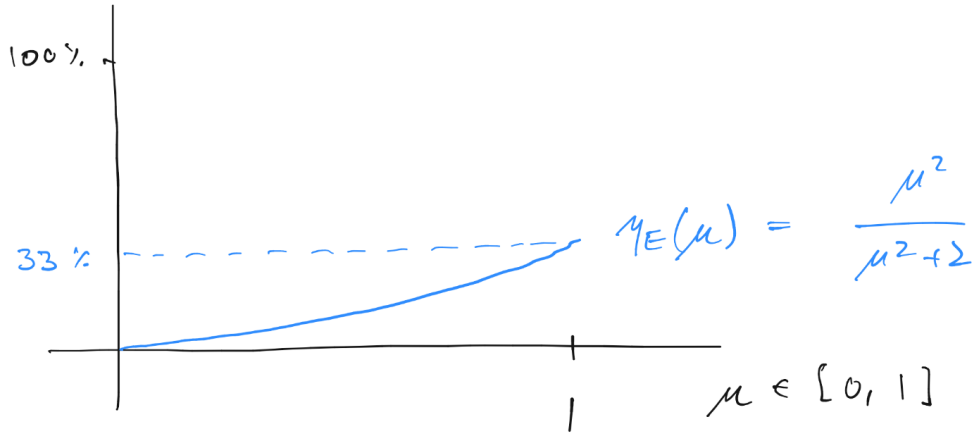


Figura 2.7.2: Eficiencia energética η en función del indice de modulación μ.