

Sistemas de Comunicación

- Comunicaciones Digitales -
- Modulación -

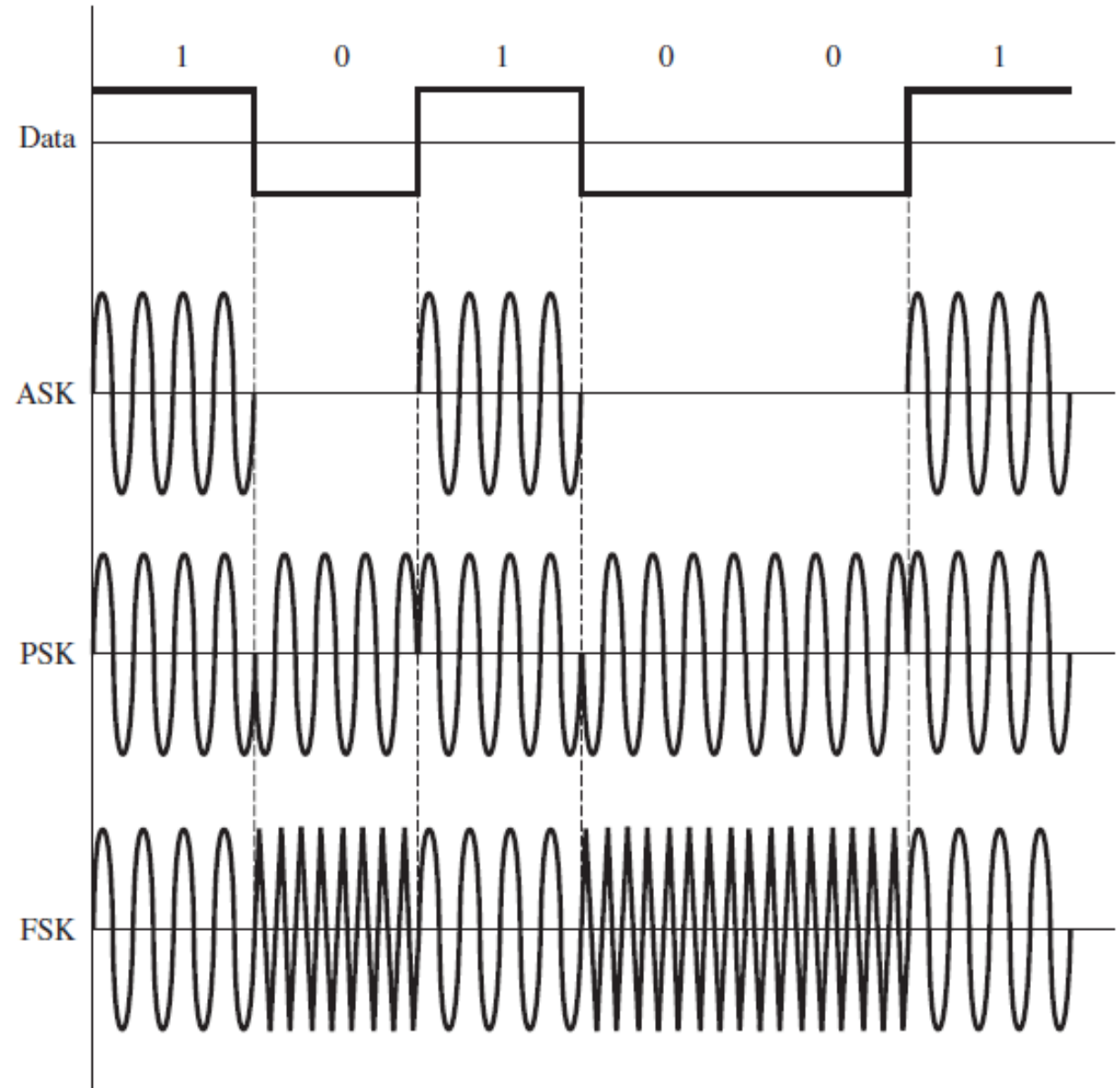
Ph.D. Cristian Guarnizo Lemus

cristianguarnizo@itm.edu.co

Contenido – Comunicaciones Digitales

1. ASK – Desplazamiento de Amplitud
2. FSK – Desplazamiento de Frecuencia
CPFSK, MSK, GMSK
3. PSK – Desplazamiento de Fase

Modulación Digital



1. ASK – Amplitude-Shift Keying

La técnica de modulación más sencilla es la modulación digital de amplitud, que corresponde a AM-DSB.

$$v_{\text{ask}}(t) = [1 + v_m(t)] \left[\frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right]$$

$v_{\text{ask}}(t)$ = voltaje de la onda de amplitud modulada

$\frac{A}{2}$ = amplitud de la portadora no modulada (volts)

$v_m(t)$ = señal binaria moduladora (volts)

$\omega_c t$ = frecuencia de la portadora en radianes (rad por segundo)

1. ASK – On-Off Keying

$v_m(t)$ es un código de línea NRZ. Entonces

Cuando $v_m(t) = 1$

$$v_{\text{ask}}(t) = [1 + 1] \left[\frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] = A \cos(\omega_c t)$$

Cuando $v_m(t) = -1$

$$v_{\text{ask}}(t) = [1 - 1] \left[\frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] = 0$$

1. ASK

Aplicaciones:

ASK se usa en fibra óptica, RFID, NFC.

OOK por su consumo menor, se emplea en controles remotos, y también en fibra óptica.

1. ASK – Baudios y Ancho de Banda

El ancho de banda depende del *bit rate* de los datos de entrada. Esta dado por

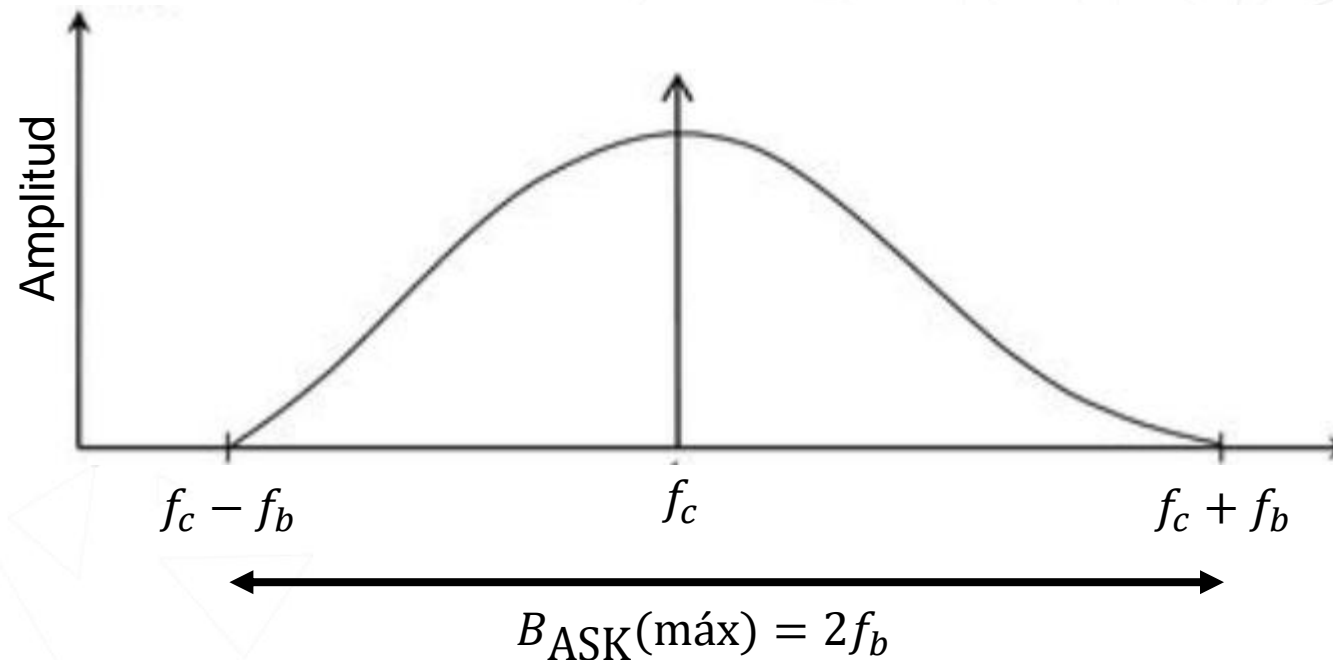
$$B_{ASK} = (1 + r)f_b$$

Donde r (entre 0 y 1) esta relacionada con el proceso de modulación; y f_b es el *bit rate*.

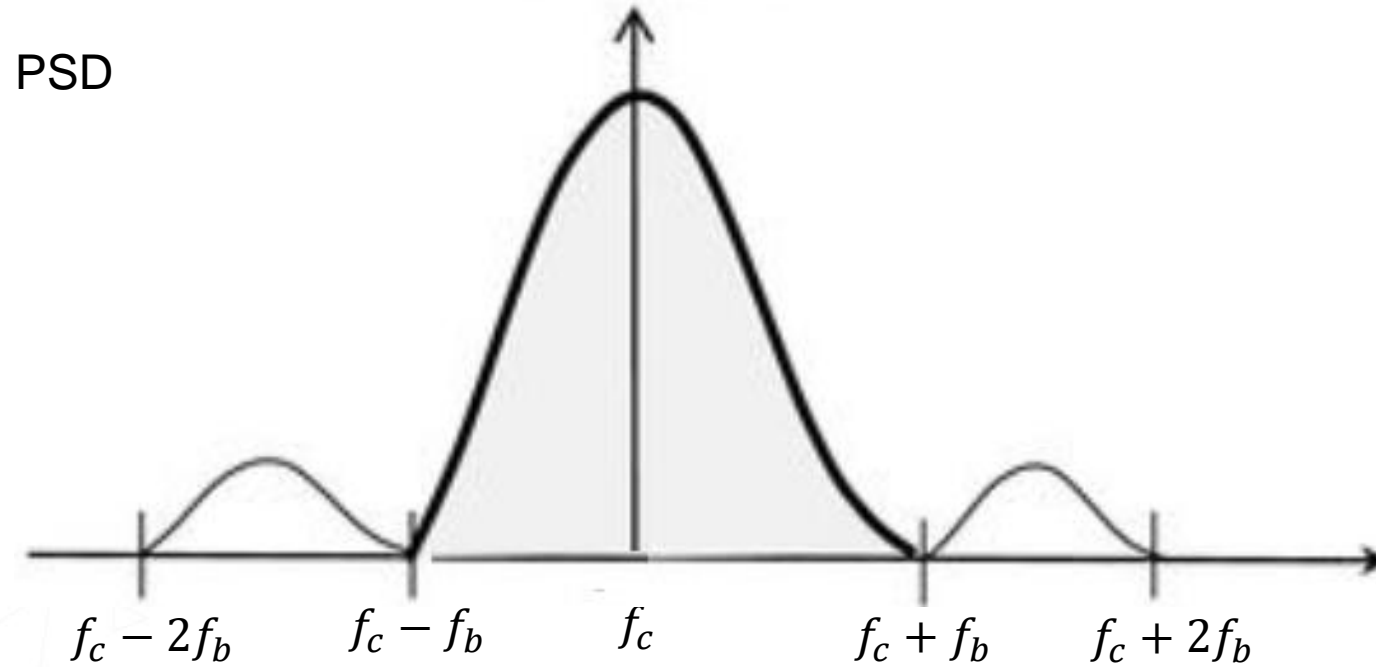
$$B_{ASK}(\text{min}) = f_b$$

$$B_{ASK}(\text{máx}) = 2f_b$$

1. ASK – Baudios y Ancho de Banda



1. ASK – Baudios y Ancho de Banda



1. ASK – Baudios y Ancho de Banda

Ejemplo:

Determine el ancho de banda mínimo y los baudios para transmitir una señal binaria 10 kbps utilizando ASK

Para ASK, $N=1$ (numero de bits), tenemos

$$B_{ASK}(\text{min}) = f_b = 10\text{kHz}$$

$$\text{baud} = f_b = 10\text{k symbol/s}$$

1. ASK – Demodulación

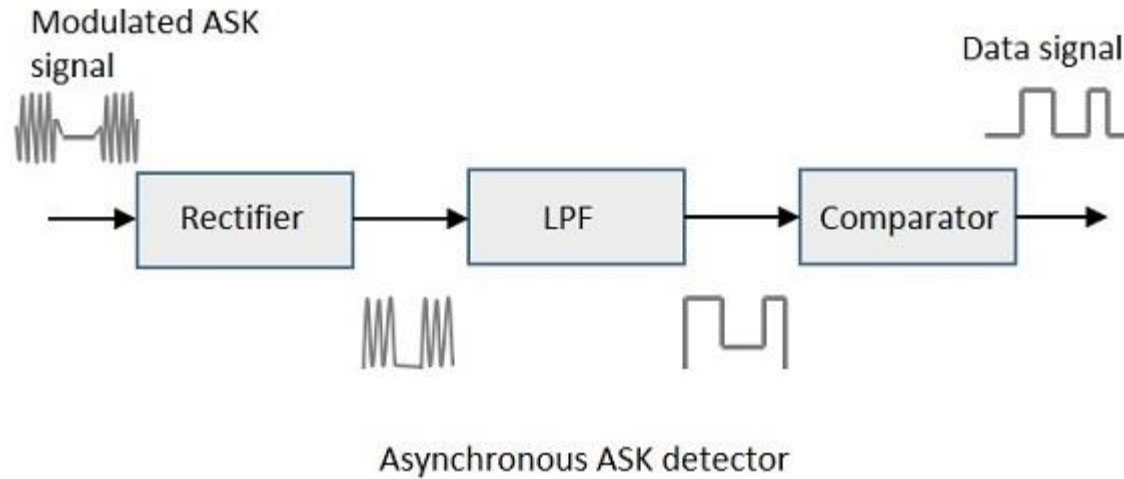
Existen 2 formas de realizar demodulación de señales ASK:

- Detección Síncrona.
- Detección Asíncrona.

Cuando la frecuencia de reloj del transmisor se ajusta al reloj del receptor, se conoce como método síncrono.

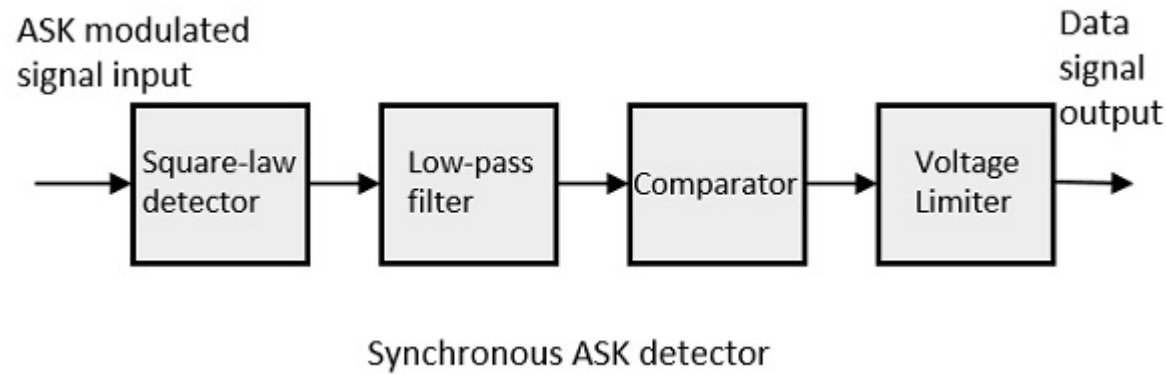
1. ASK – Demod. Asíncrona

Consiste en un rectificador de media onda, un filtro pasa-bajo, y un comparador.



1. ASK – Demod. Síncrona

Consiste en un detector cuadrático, un filtro pasa-bajo, un comparador y un limitador de voltaje.



2. FSK – Frequency-Shift Keying

Similar a su homologo análogo, se define la modulación digital en frecuencia, FSK como

$$v_{fsk}(t) = V_c \cos(2\pi(f_c + v_m(t)\Delta f)t)$$

$v_{fsk}(t)$ = voltaje de la onda modulada en frecuencia

Δf = desviación máxima de frecuencia (hertz)

$v_m(t)$ = señal binaria moduladora (volts)

2. FSK - Desarrollo

$v_m(t)$ es un código de línea NRZ. Entonces

Cuando $v_m(t) = 1$

$$v_{\text{fsk}}(t) = V_c \cos(2\pi(f_c + \Delta f)t)$$

Cuando $v_m(t) = -1$

$$v_{\text{fsk}}(t) = V_c \cos(2\pi(f_c - \Delta f)t)$$

2. FSK - VCO

La desviación de frecuencia se expresa como

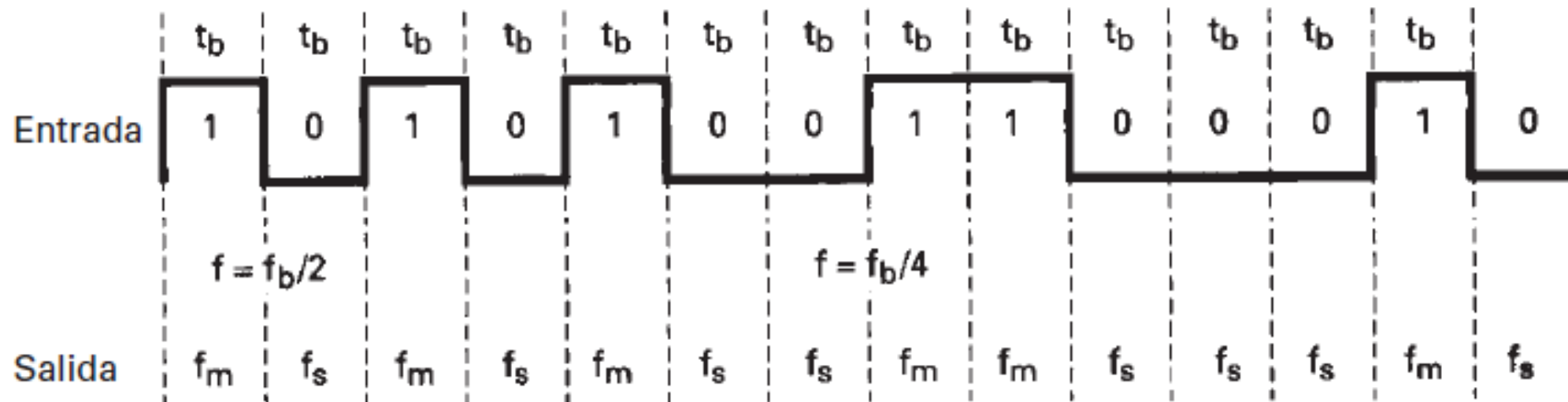
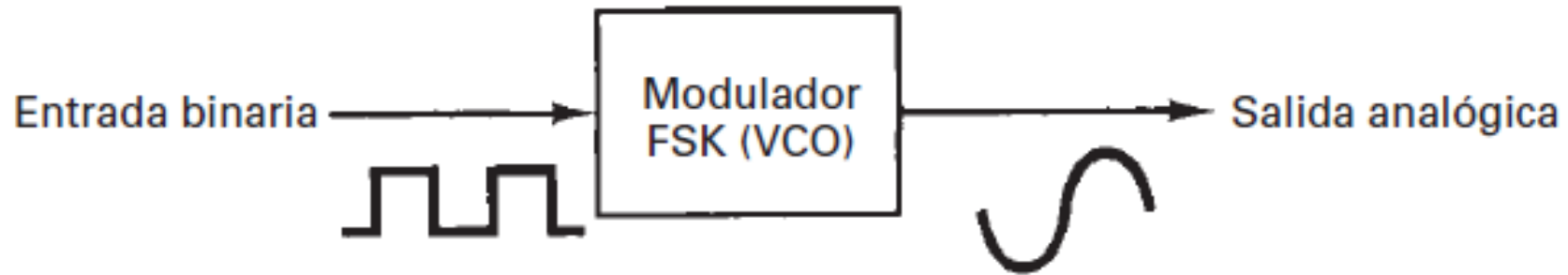
$$\Delta f = v_m(t)K_1$$

Δf = desviación máxima de frecuencia (hertz)

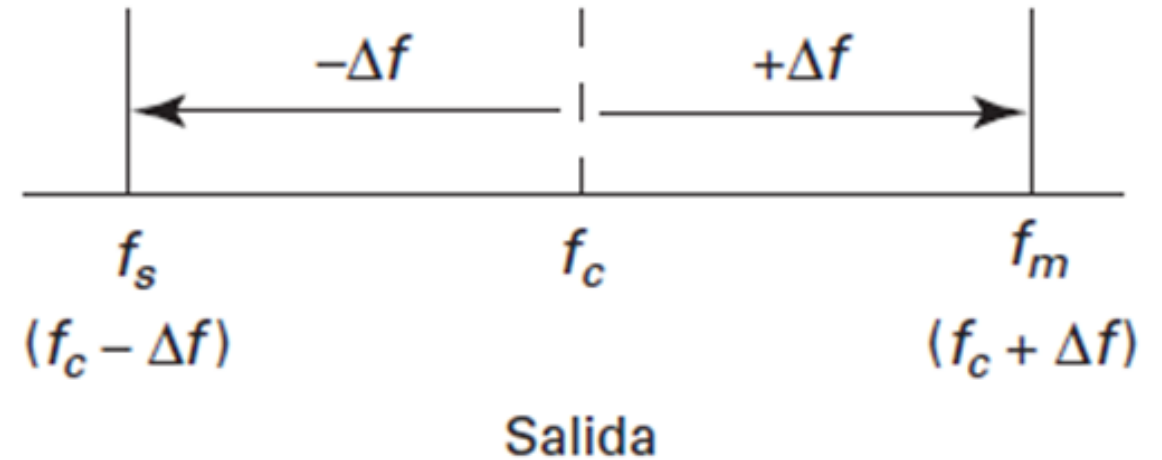
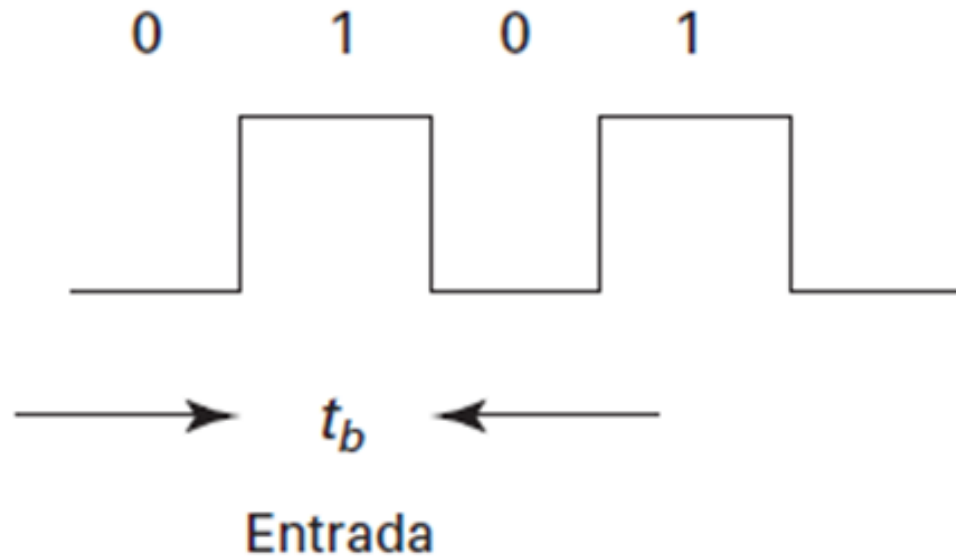
$v_m(t)$ = señal binaria moduladora (volts)

K_1 = sensibilidad a la desviación (Hertz por volt)

2. FSK – Basado en VCO



2. FSK – Espectro de Frecuencia



2. FSK - Ancho de Banda

En FSK, el índice de modulación es

$$\Delta f = \frac{|f_m - f_s|}{2}$$

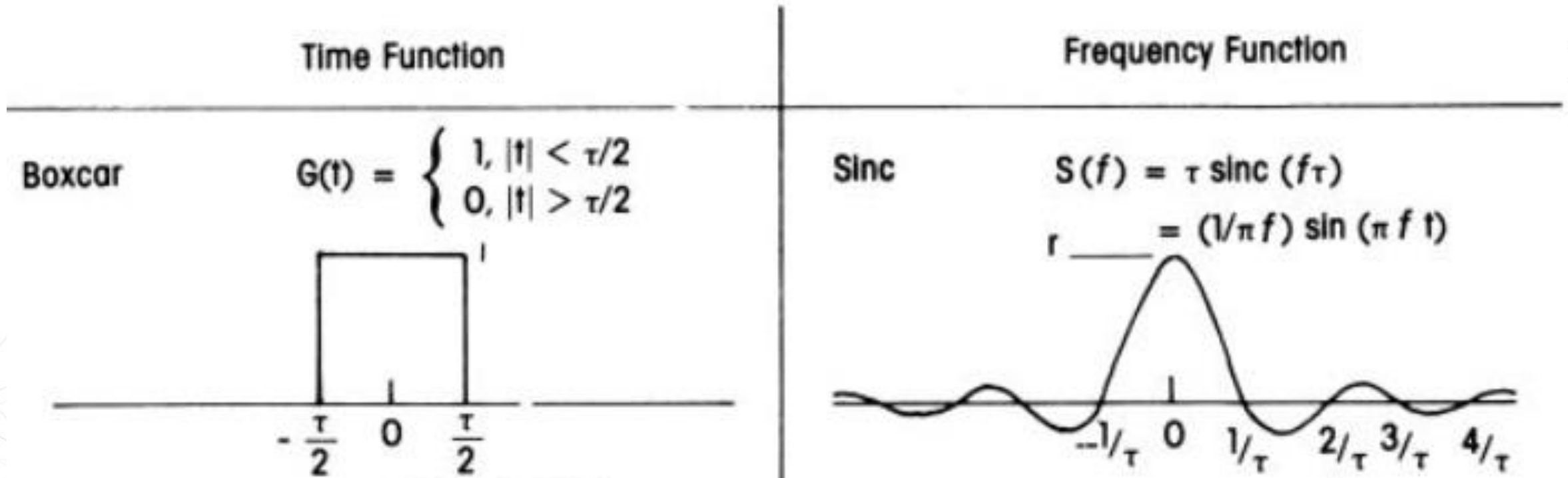
Δf = desviación máxima de frecuencia (hertz)

f_m = frecuencia de marca (hertz)

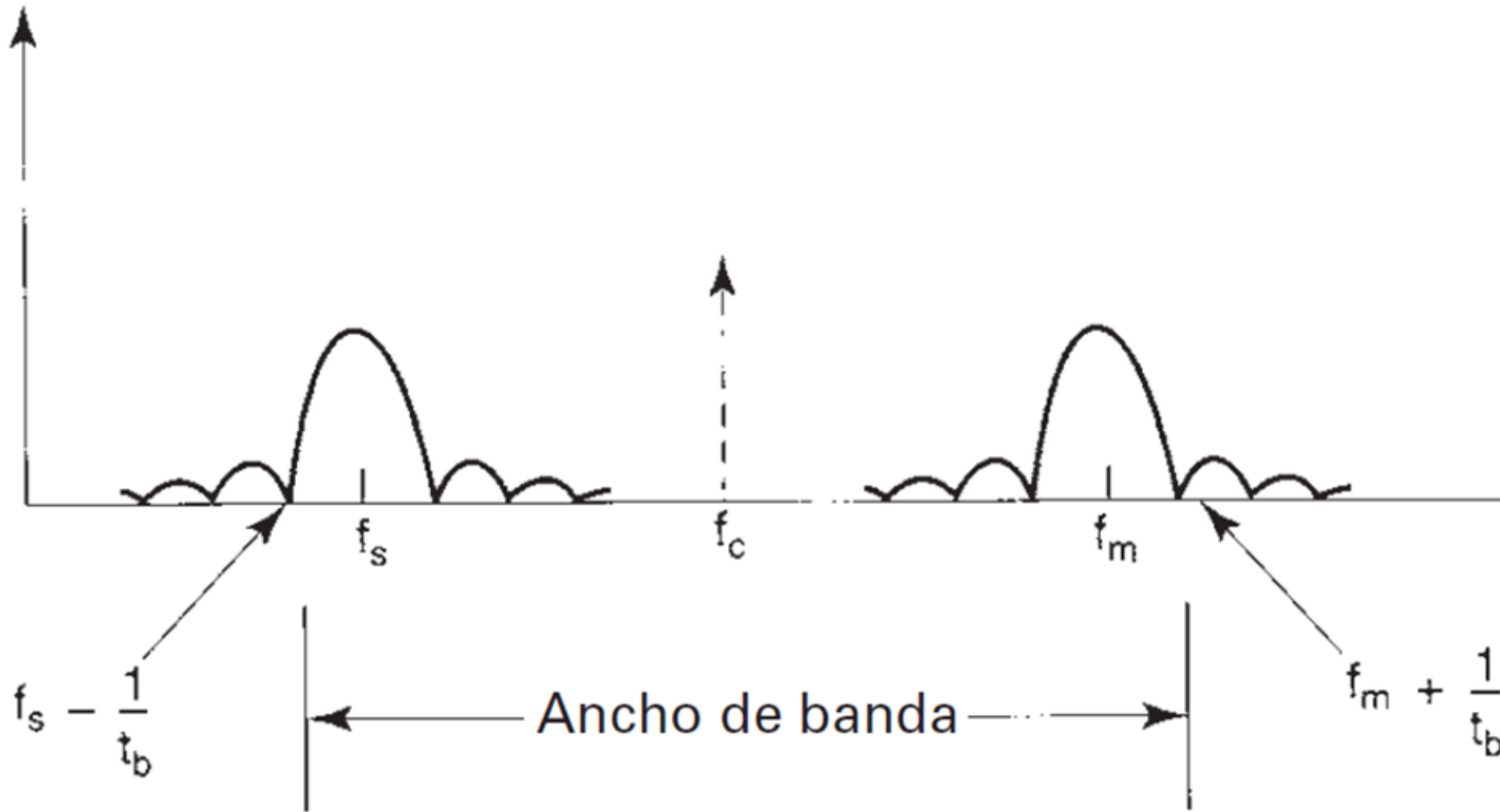
f_s = frecuencia de espacio (hertz)

2. FSK – Espectro de Frecuencia

Recordemos como es el espectro en frecuencia de un pulso



2. FSK – Espectro de Frecuencia



2. FSK - Ancho de Banda

Teniendo en cuenta lo anterior, el ancho de banda para FSK se puede aproximar como

$$B = |(f_m + f_b) - (f_s - f_b)| = 2|\Delta f| + 2f_b$$

B = Ancho de banda mínimo (hertz)

Δf = desviación máxima de frecuencia (hertz)

f_m = frecuencia de marca (hertz)

f_s = frecuencia de espacio (hertz)

2. FSK - Ancho de Banda

Ejemplo: (Tomasi 12-1)

Calcula a) la desviación máxima de frecuencia, b) el ancho de banda y c) los baudios para una señal FSK con frecuencia de marca de 49kHz, frecuencia de espacio de 51kHz y rapidez de bits de entrada de 2kbps. (R/ 1kHz, B=6kHz, 2000).

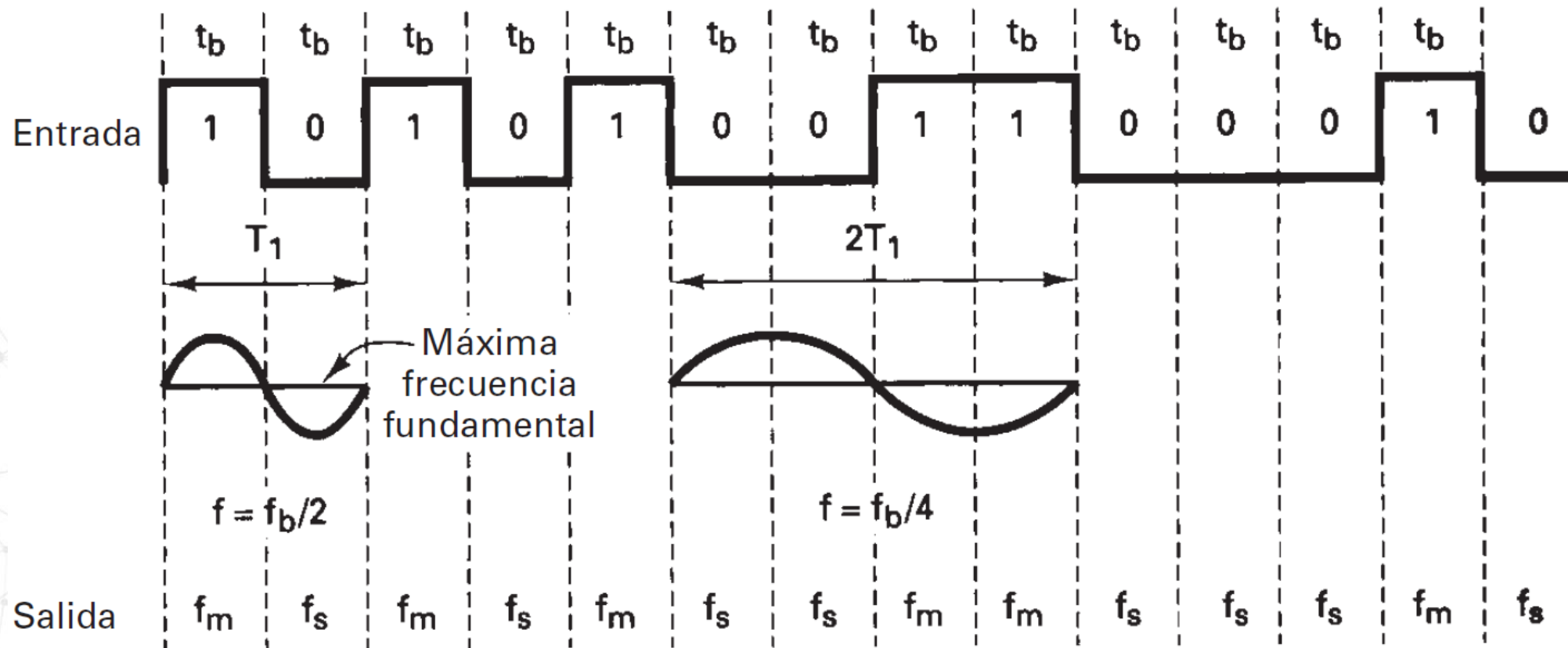
$$\Delta f = \frac{|f_m - f_s|}{2} = \frac{51k - 49k}{2} = \frac{2k}{2} = 1kHz$$

$$B = 2|\Delta f| + 2f_b = 2(1kHz) + 2(2kHz) = 6kHz$$

$$\text{baud} = \frac{f_b}{N} = 2k \text{ symbol/s}$$

2. FSK - Bessel

La frecuencia máxima se encuentra cuando hay un cambio del valor lógico de los bits.



2. FSK - Bessel

A partir de lo anterior, la frecuencia máxima de la señal moduladora es

$$f_a = \frac{f_b}{2}$$

f_a = máxima frecuencia fundamental de la señal moduladora binaria (hertz)

f_b = rata de bits de la entrada (bps)

2. FSK - Bessel

La ecuación del índice de modulación en FM también es válida en FSK, entonces

$$h = \frac{\Delta f}{f_a}$$

$$h = \frac{|f_m - f_s|}{f_b}$$

h = índice de modulación en FSK, conocido como h-factor.

2. FSK - Ancho de Banda

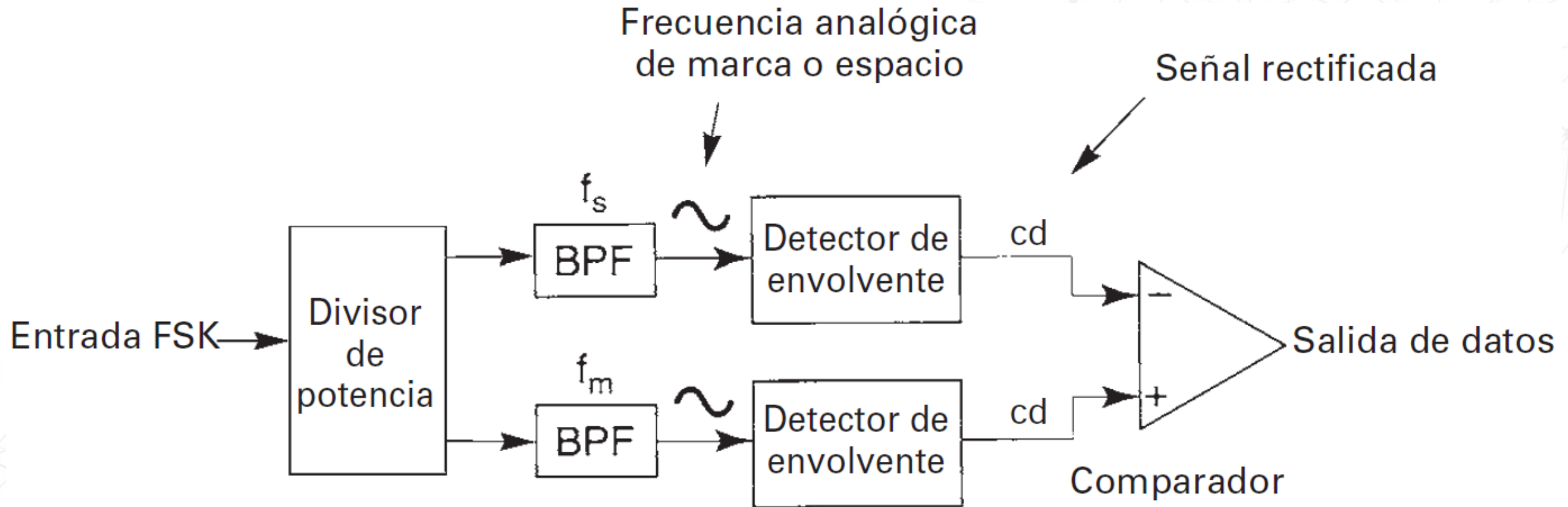
Ejemplo: (Tomasi 12-2)

Con la tabla de Bessel, determinar el ancho mínimo de banda para la señal FSK con frecuencia de marca de 49kHz, frecuencia de espacio de 51kHz y rapidez de bits de entrada de 2kbps.

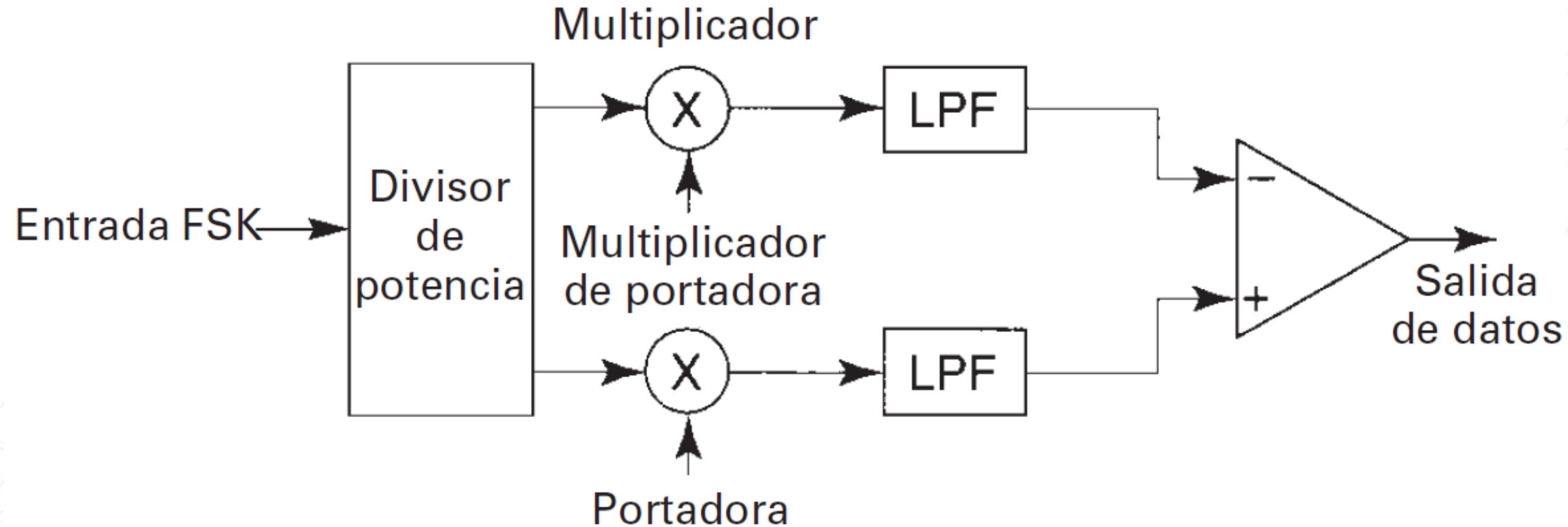
$$h = \frac{|f_m - f_s|}{f_b} = \frac{|51\text{kHz} - 49\text{kHz}|}{2\text{kbps}} = 1$$

$$B = 2(N_{\text{Bessel}} \times f_{\text{Mod}}) = 2(3 \times 1000)$$

2. FSK – Receptor no-coherente

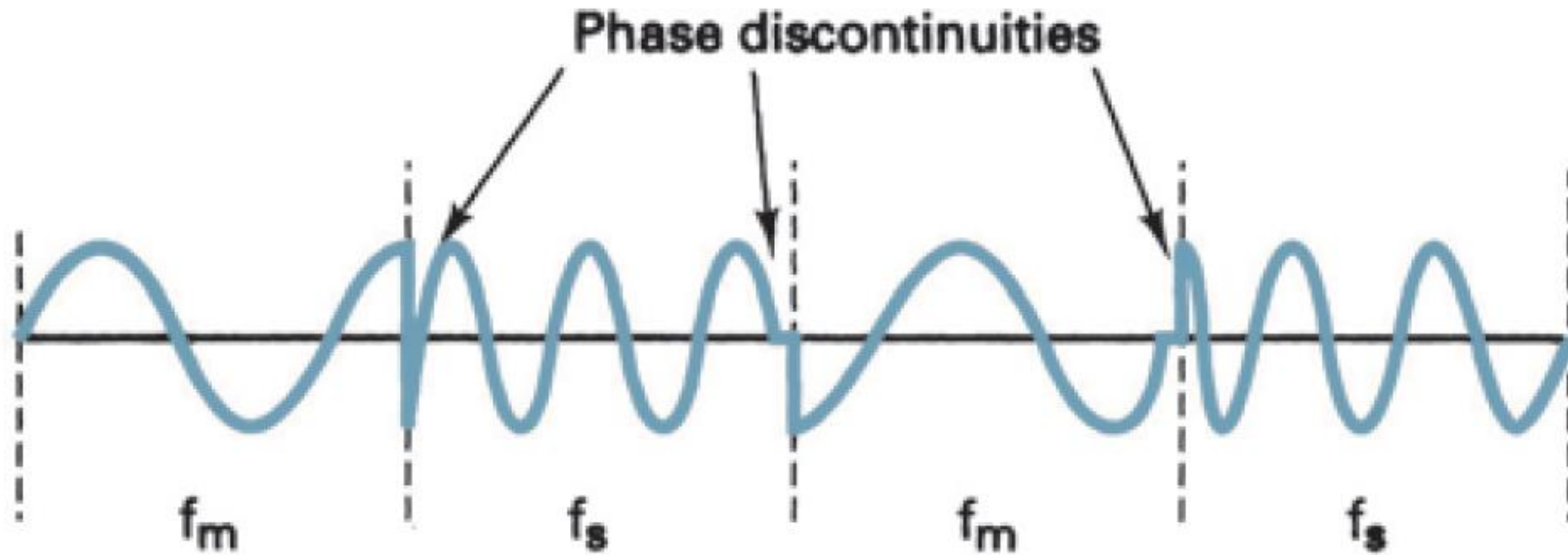


2. FSK – Receptor coherente



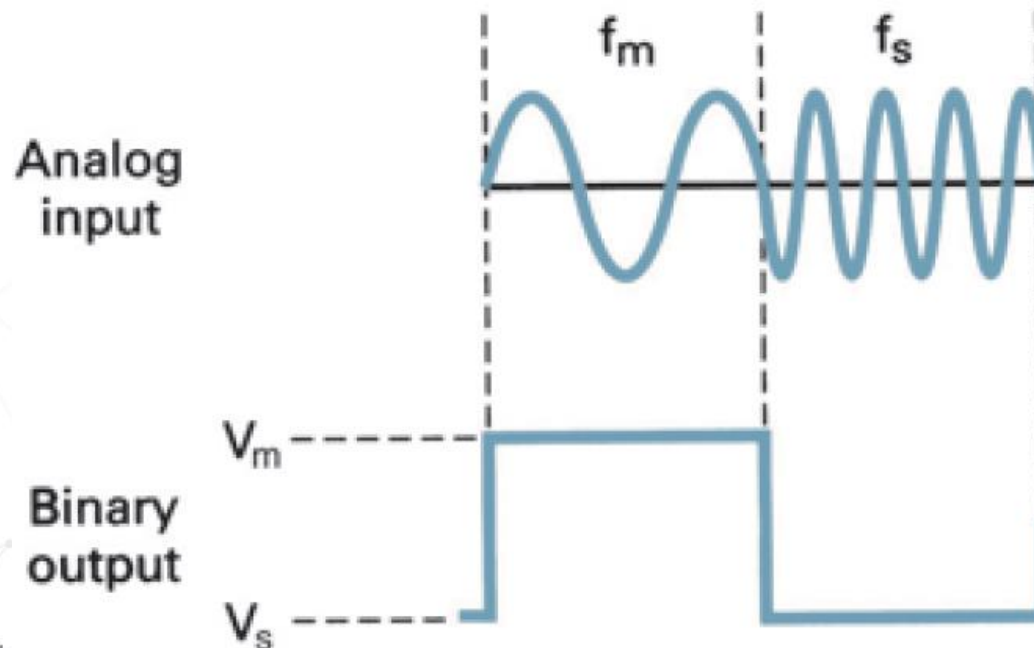
2. CPFSK – Fase Continua

Consiste en sincronizar las frecuencias de marca y espacio con la rapidez de bits de la entrada binaria.

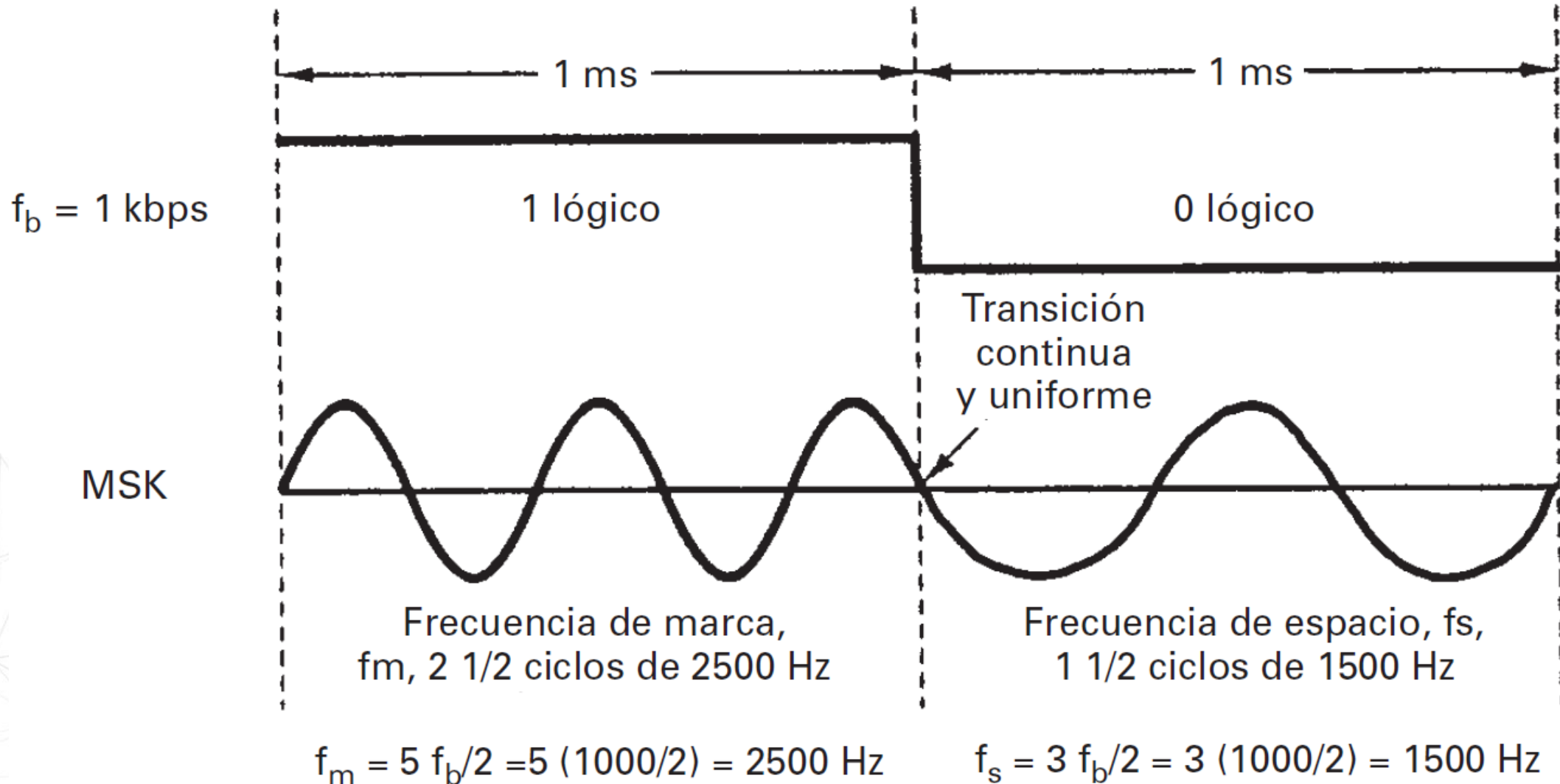


2. CPFSK – Fase Continua

La frecuencias de marca y espacio se seleccionan de tal manera que están separadas de la frecuencia central por un múltiplo exacto de la mitad del bit rate [f_m y $f_s = n(f_b/2)$, donde n es cualquier numero impar].



2. CPFSK – Fase Continua

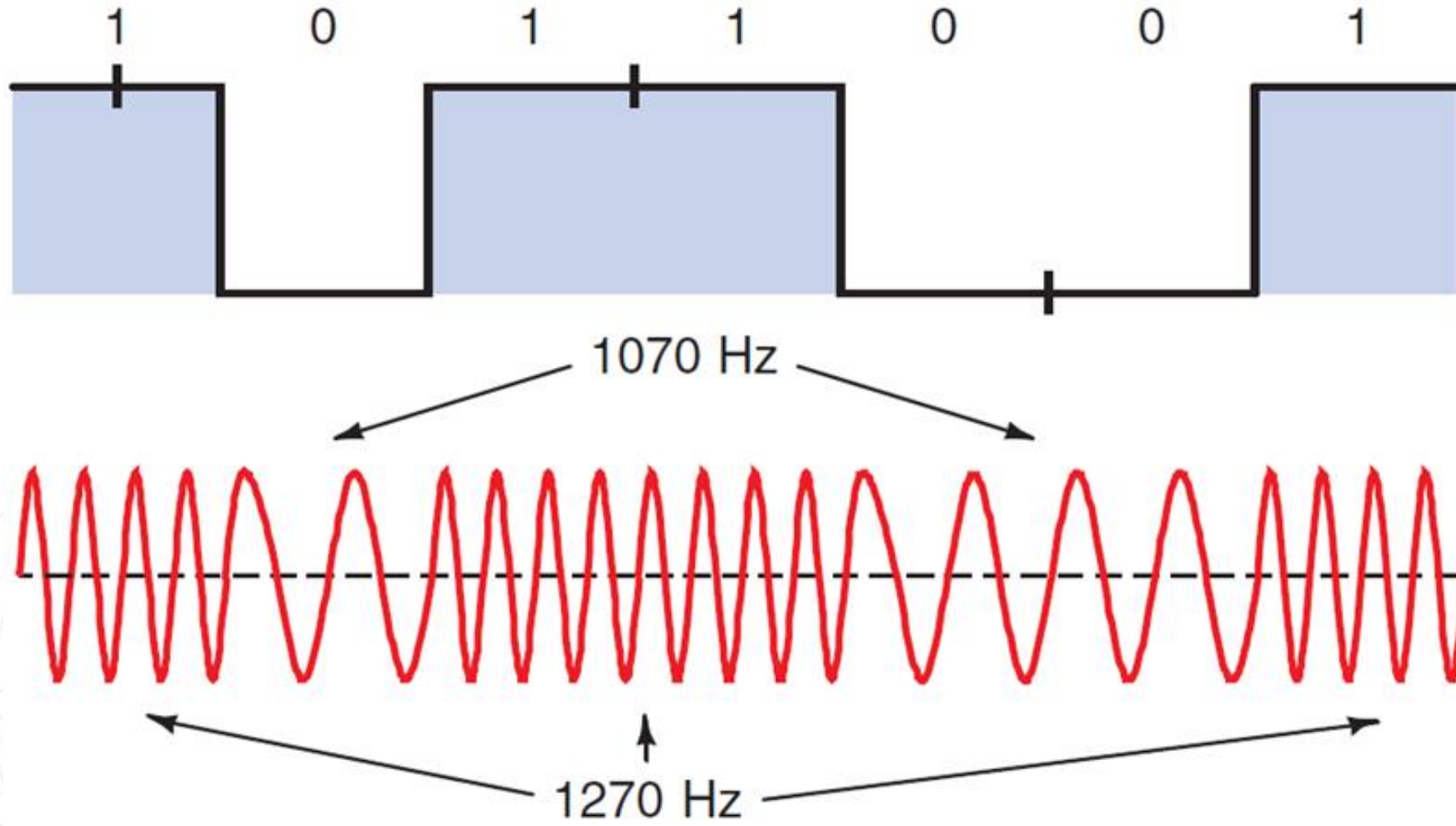


2. CPFSK – Minimum-Shift Keying

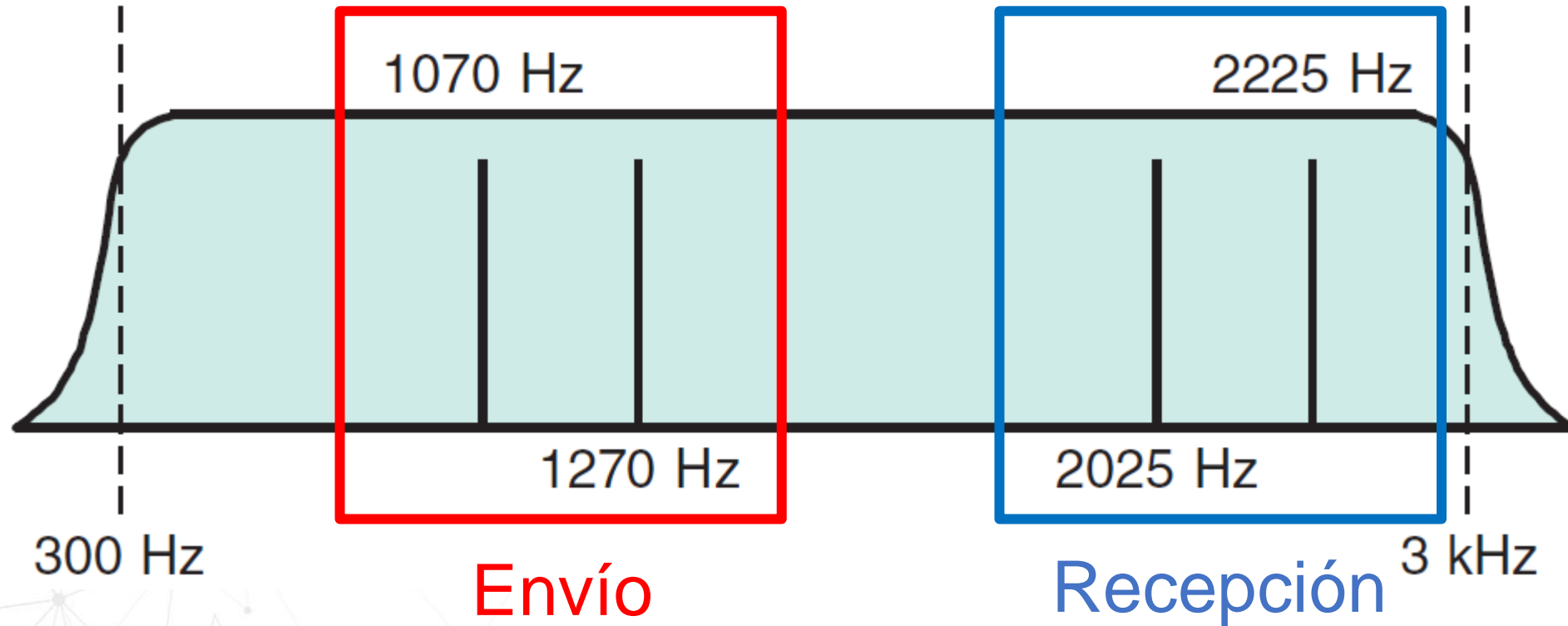
Si la diferencia entre las frecuencias de marca y de espacio es la mitad de la rapidez de bits ($f_m - f_s = 0.5f_b$), el índice de modulación $h = 0.5$.

Para este caso hay una diferencia mínima entre las frecuencias de marca y espacio.

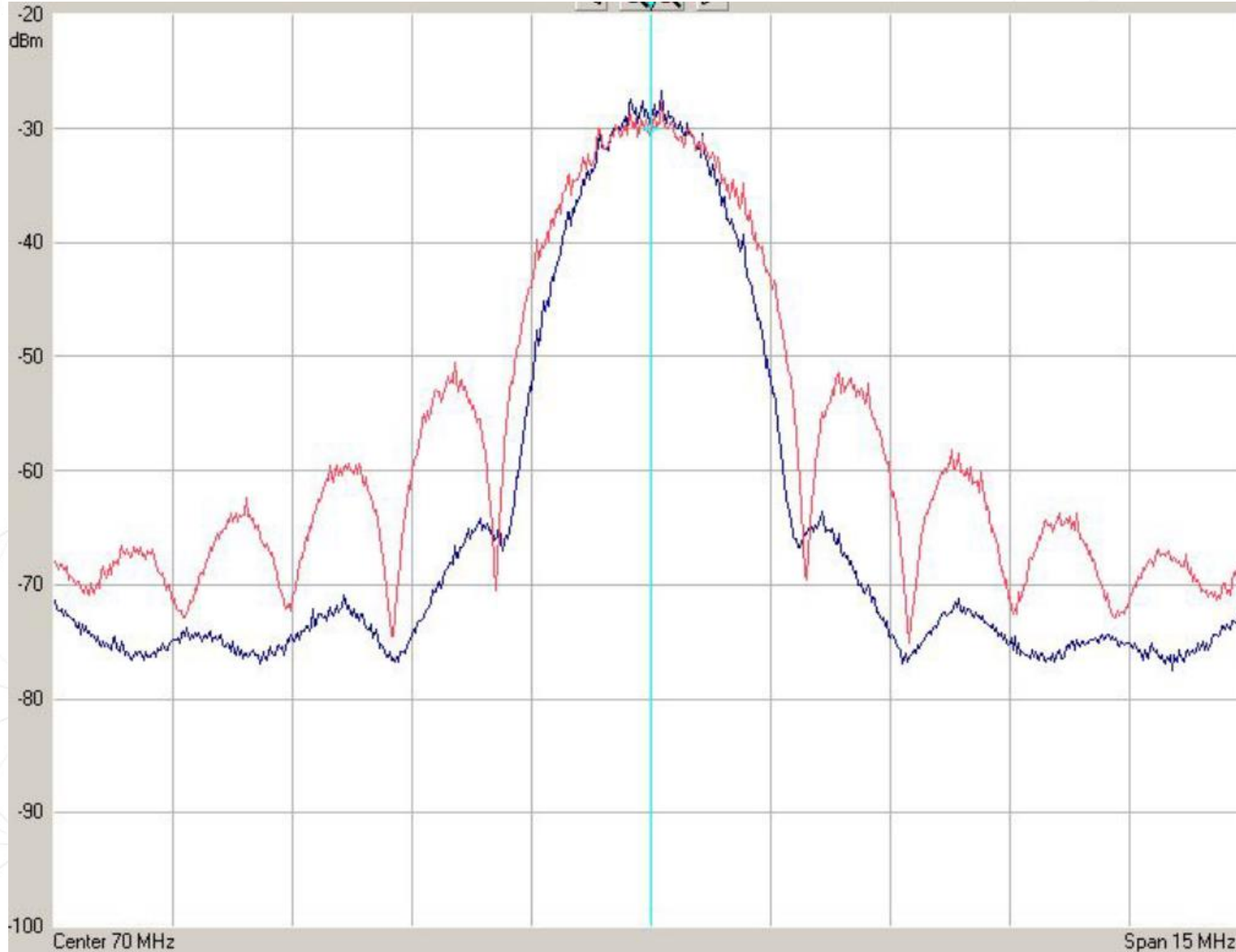
2. Audio FSK – Modem Telefónico



2. Audio FSK – Modem Telefónico



2. FSK – GMSK



— MSK
— GMSK

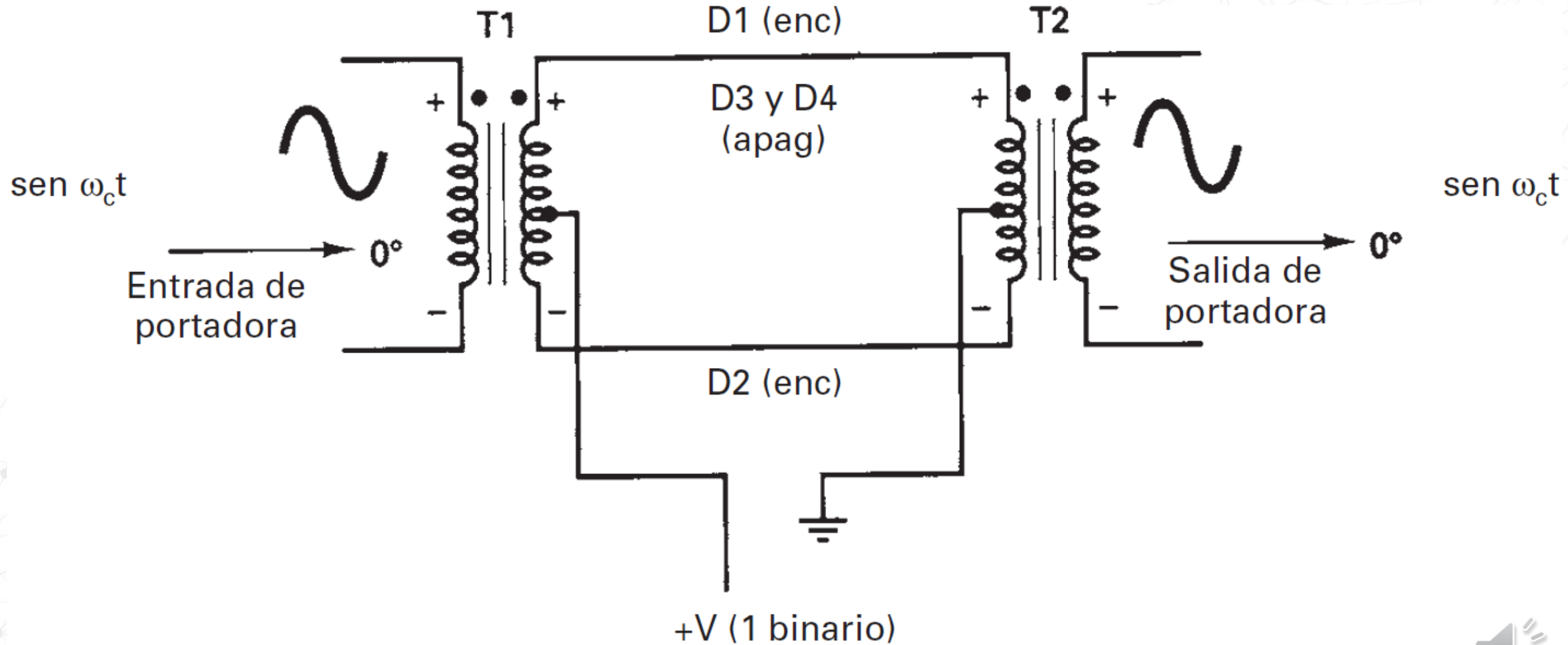
3. PSK – Phase-Shift Keying

Manipulación por desplazamiento de fase, similar a la modulación de fase convencional, pero en este caso la entrada es binaria (BPSK):

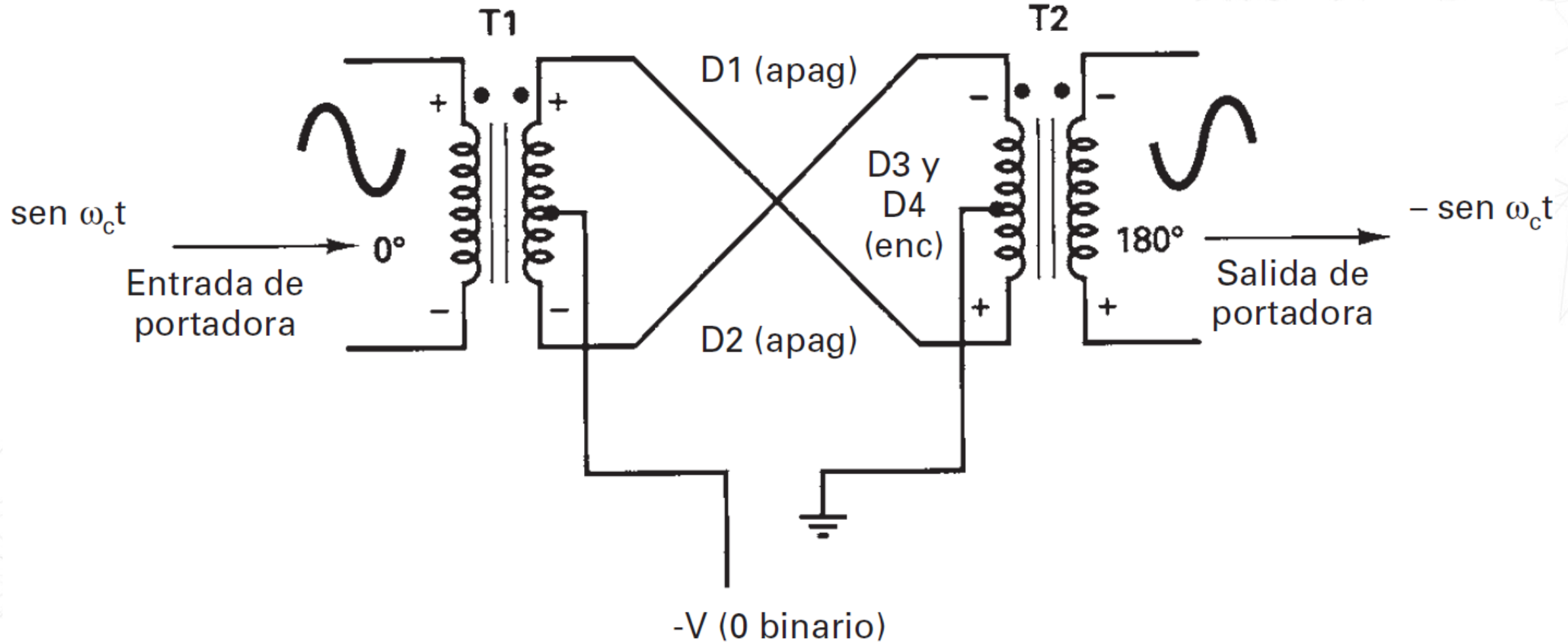
$$1 \leftrightarrow s_1(t) = A \cos(2\pi f_c t)$$

$$0 \leftrightarrow s_2(t) = A \cos(2\pi f_c t + \pi)$$

3. PSK – Modulador Balanceado

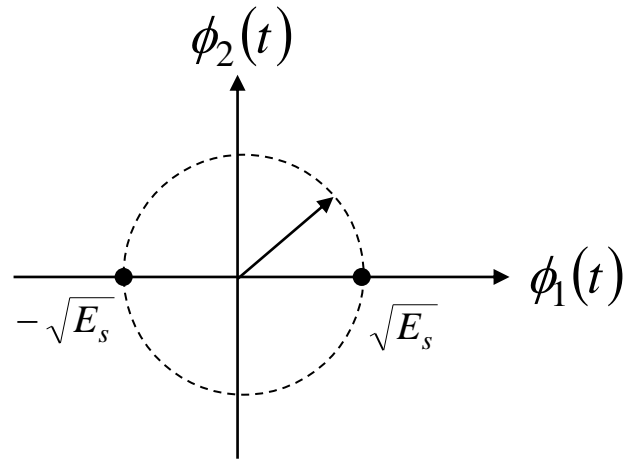


3. PSK – Mod. Balanceado



2. PSK – Representación

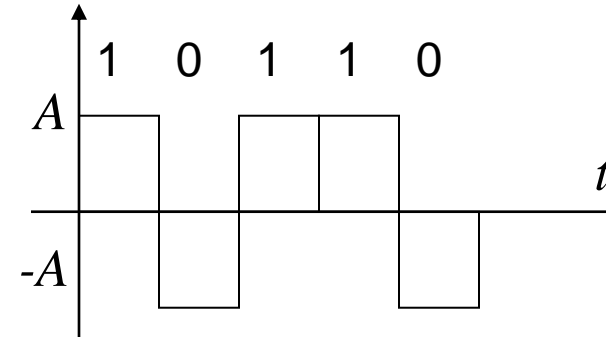
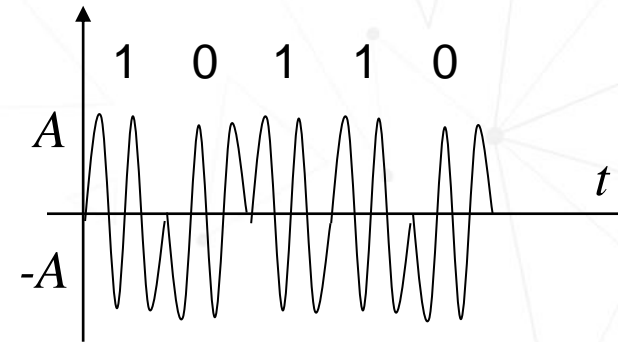
Representación Espacio-Señal



$$\mathbf{s}_1 = [\sqrt{E_s}, 0]$$

$$\mathbf{s}_2 = [-\sqrt{E_s}, 0]$$

Señal modulada en pasabanda



Bibliografía

- FRENZEL, Louis. (2016) Principles of Electronic Communication Systems. 4th Edition.
- WAYNE, Tomásí. (2003) Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4^a ed. Prentice Hall.