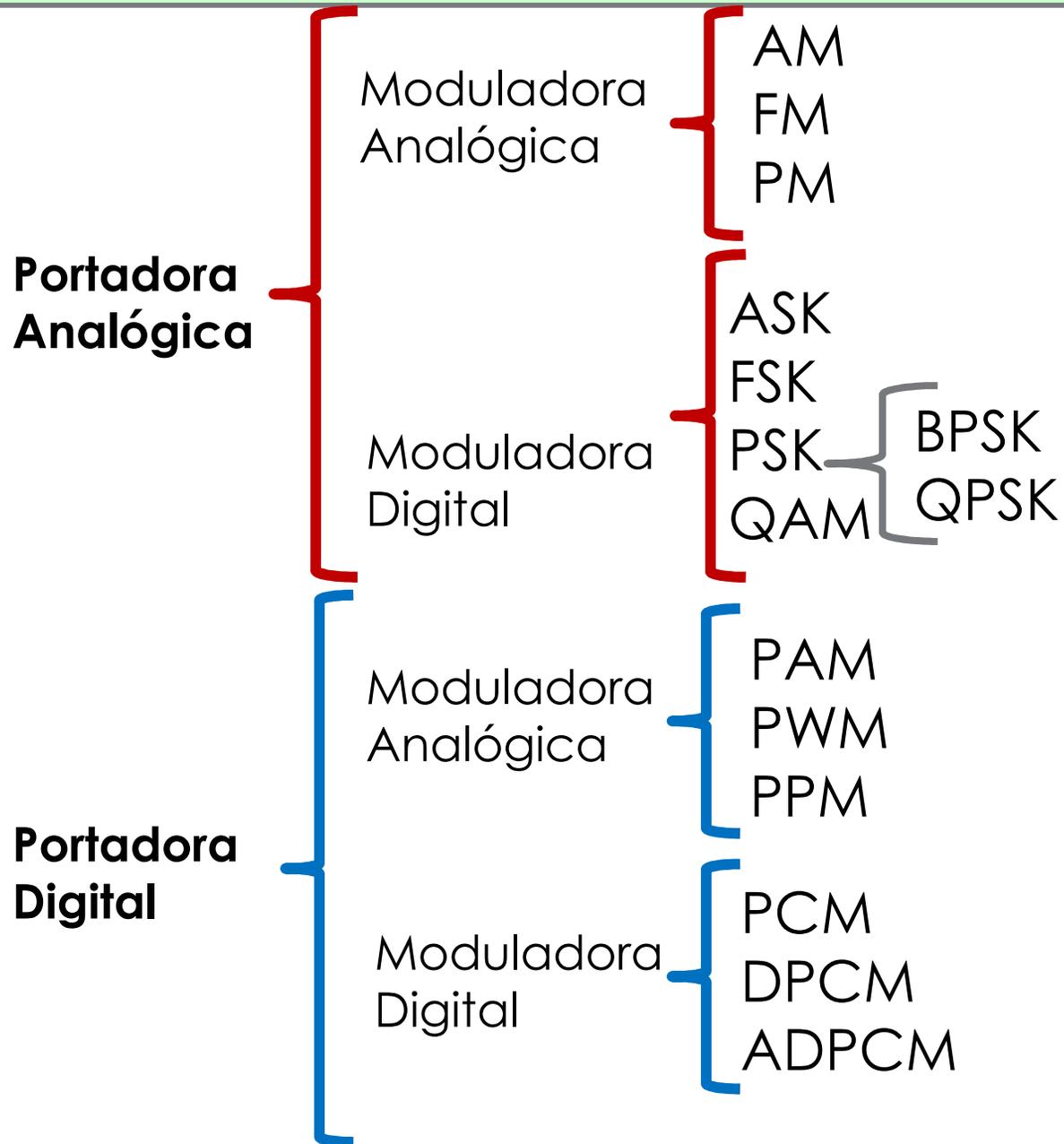


**Tema 13**

**Comunicaciones**

**Digitales**

# TIPOS DE MODULACIONES



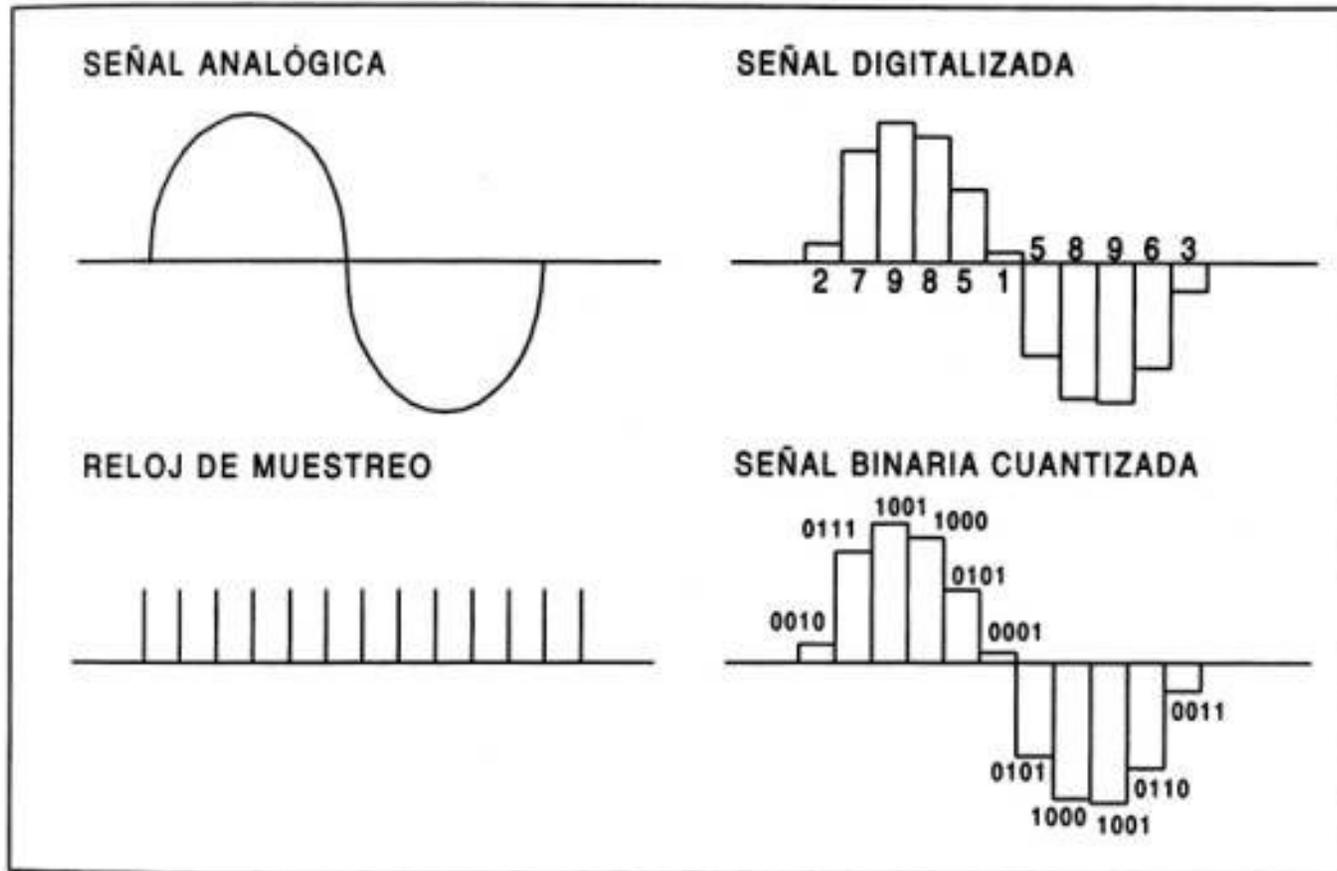
Un sistema de comunicación DIGITAL puede ser representado:



En los sistemas de comunicaciones digitales, la naturaleza de la información a transmitir es digital.

Un sistema de comunicación digital puede ser utilizado para transmitir información en formato analógico, siempre que la información previamente sea convertida de un formato al otro, tanto en el Tx como en el Rx.

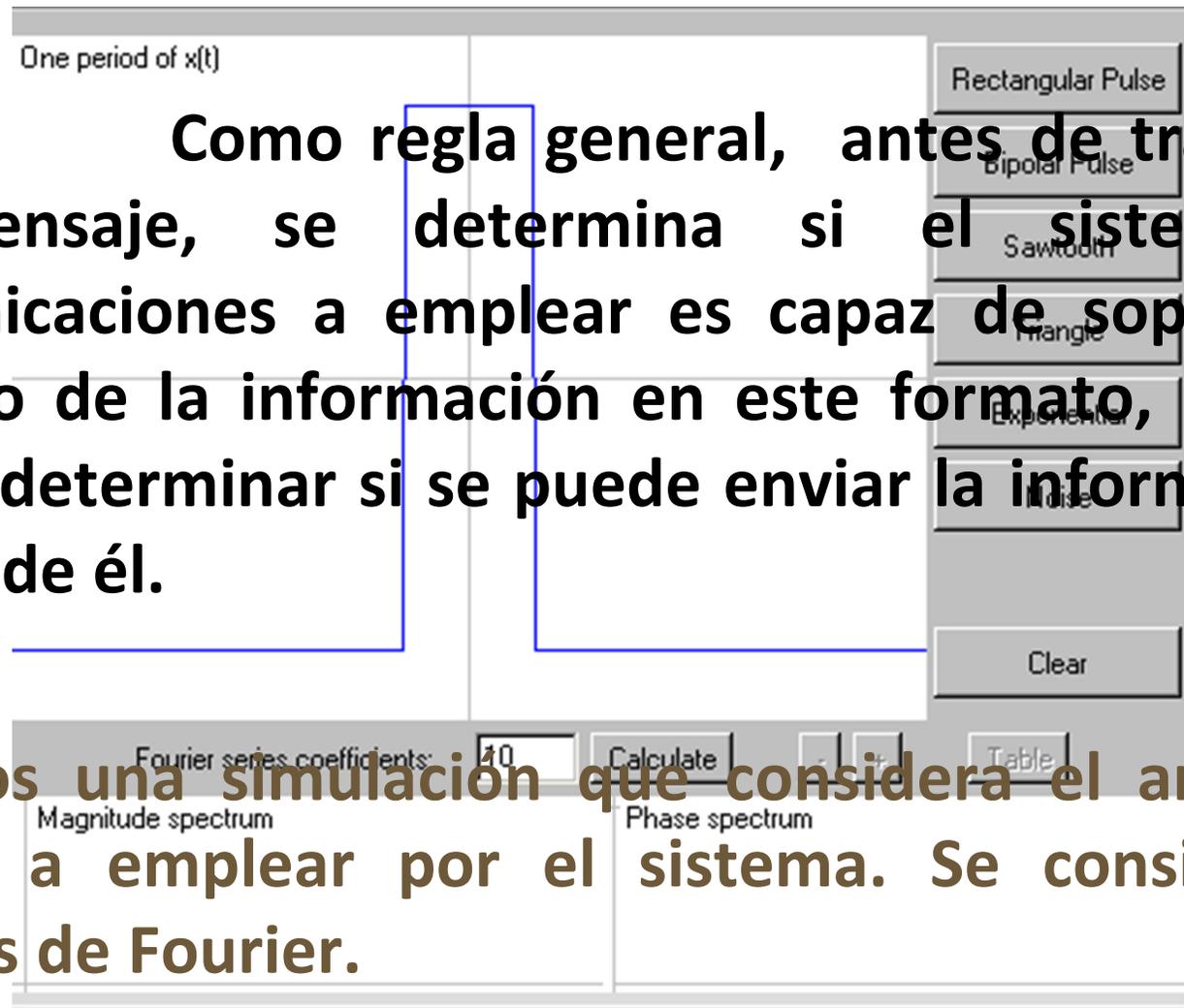
En la actualidad, resulta más conveniente el trabajo con las señales analógicas, una vez que éstas están en formato digital.



En formato digital, la información puede ser guardada, modificada, regenerada, es menos susceptible a la interferencia del canal, entre otras cualidades que la hacen mucho más atractiva que en formato analógico.

Como regla general, antes de transmitir el mensaje, se determina si el sistema de comunicaciones a emplear es capaz de soportar el manejo de la información en este formato, para así poder determinar si se puede enviar la información a través de él.

Veamos una simulación que considera el ancho de banda a emplear por el sistema. Se considera el análisis de Fourier.



- **Razón de Bits:** es la razón de cambio en la entrada del modulador y tiene como unidades bits por segundos (bps)
- **Razón de Baudio:** es la razón de cambio en la salida del modulador y es igual al recíproco del tiempo de un elemento de señalización de salida.

**La capacidad de información de un Sistema de comunicación es una medida del número de símbolos independientes que pueden enviarse por un sistema de comunicaciones por unidad de tiempo.**

*Relaciona la capacidad de información de un canal de comunicaciones al ancho de banda y a la relación señal – ruido que el mismo posee.*

**Esto es, en forma de ecuación:**

$$I = B \log_2 (1 + S / N)$$

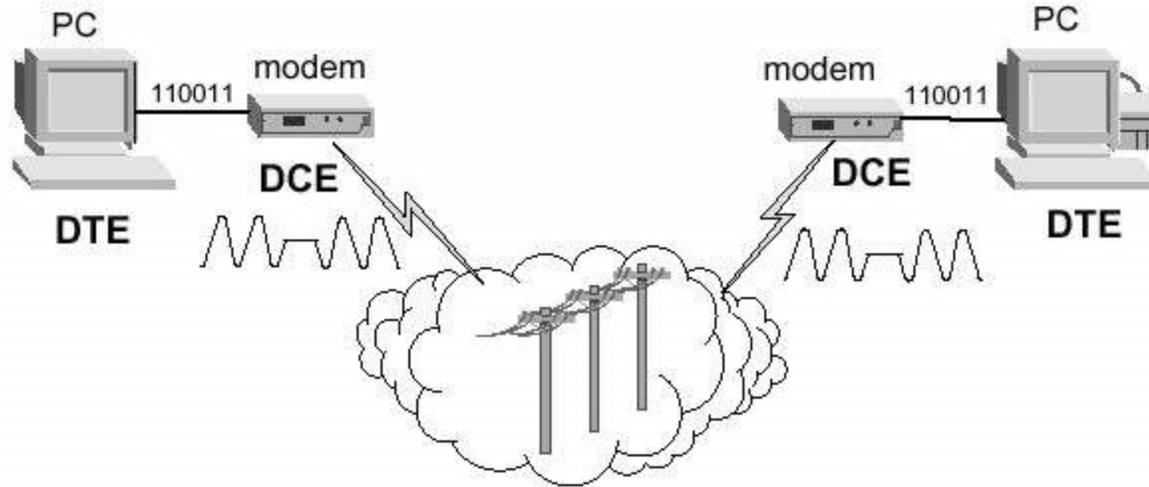
$$I = 3,32 B \log_{10} (1 + S / N)$$

**donde:**

***I: capacidad de información (bps).***

***B: ancho de banda (Hz).***

***S/N: relación señal a ruido (sin unidades).***



- **ASK: Amplitude Shift Keying**
- **FSK: Frequency Shift Keying**
- **PSK: Phase Shift Keying**

## Ventajas

- Mayor Inmunidad al ruido
- Estructura básica única (distintos tipos de señales, algoritmo)
- Único circuito de procesamiento (memorias)
- Posibilidad de evaluación de los circuitos de procesamiento

- La modulación por desplazamiento de amplitud, Amplitude-shift keying (ASK), es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora.
- La amplitud de una señal portadora análoga varía conforme a la corriente de bit (modulando la señal), manteniendo la frecuencia y la fase constante.
- La amplitud de una señal portadora de alta frecuencia se conmuta entre dos valores en respuesta a un código binario.
- Si en la señal modulada, el valor lógico 0 es representado por la ausencia de una portadora, así que da ON/OFF la operación de pulsación y de ahí el nombre dado.

- La Señal modulada puede escribirse:

$$v_{ASK}(t) = \frac{A}{2} [1 + v_m(t)] \text{Sen}(\omega_c t)$$

- Para una entrada binaria igual a UNO lógico, la salida modulada será:

$$v_{ASK}(t) = \frac{A}{2} [1 + 1] \text{Sen}(\omega_c t) = A \text{Sen}(\omega_c t)$$

La señal modulada tiene la misma amplitud de la portadora

- Para una entrada binaria igual a CERO lógico, la salida modulada será:

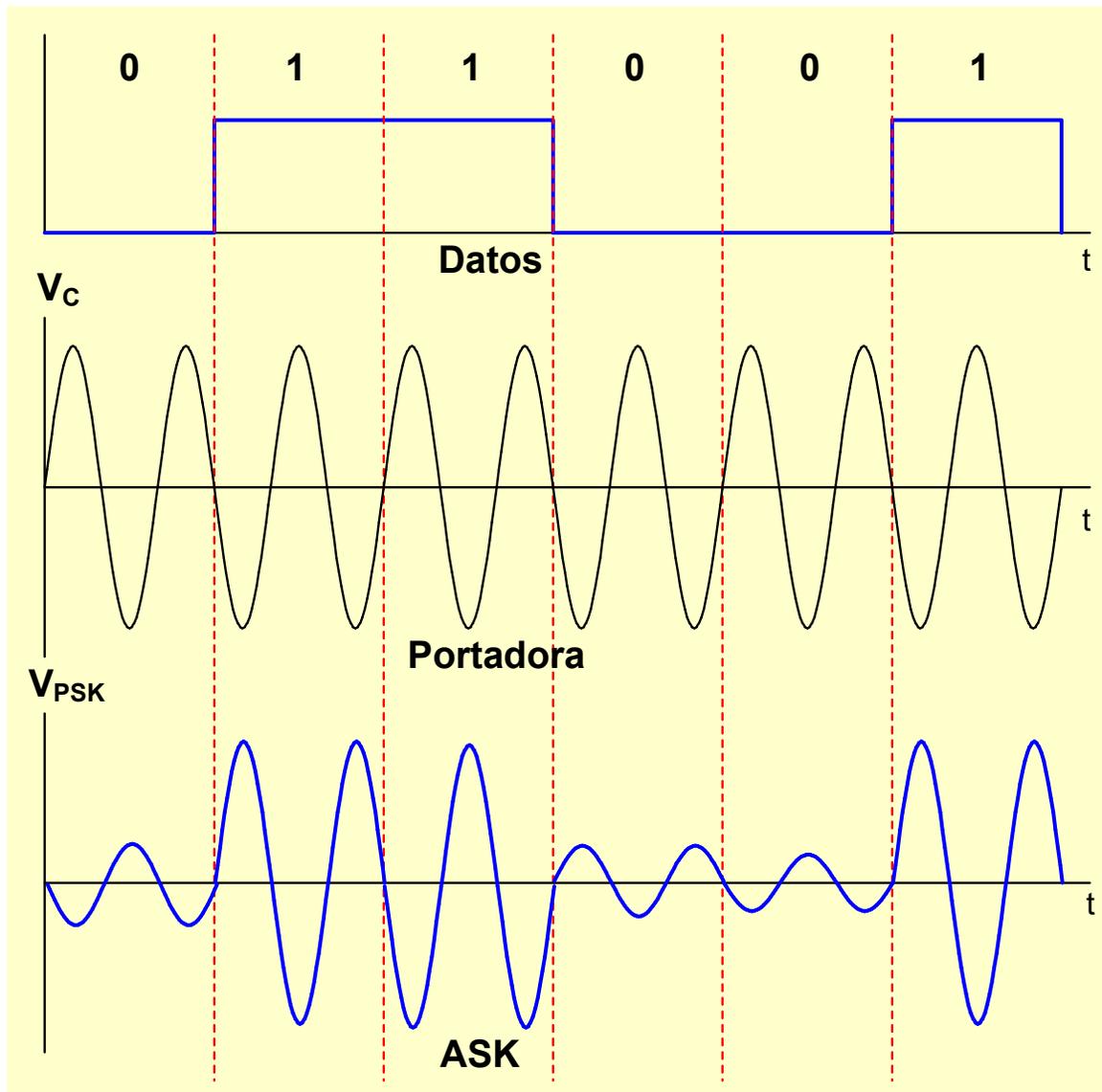
$$v_{ASK}(t) = \frac{A}{2} [1 - 1] \text{Sen}(\omega_c t) = 0$$

La señal modulada tiene amplitud de la portadora igual a cero

La técnica ASK se utiliza para la transmisión de datos digitales en fibras ópticas, en los transmisores con LED. Es decir, un elemento de señal se representa mediante un pulso de luz, mientras que el otro se representa mediante la ausencia de luz.

# Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK

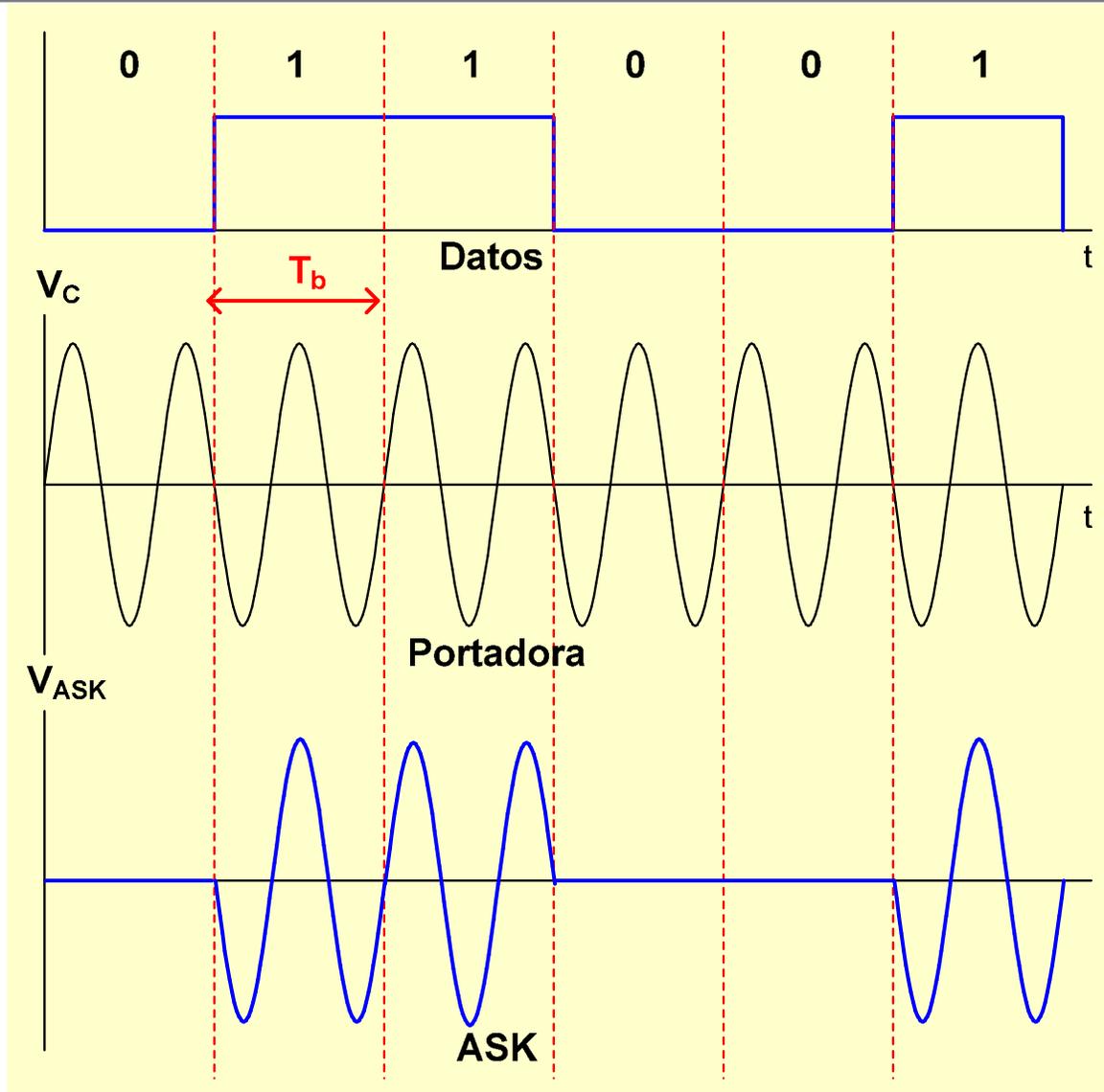
11



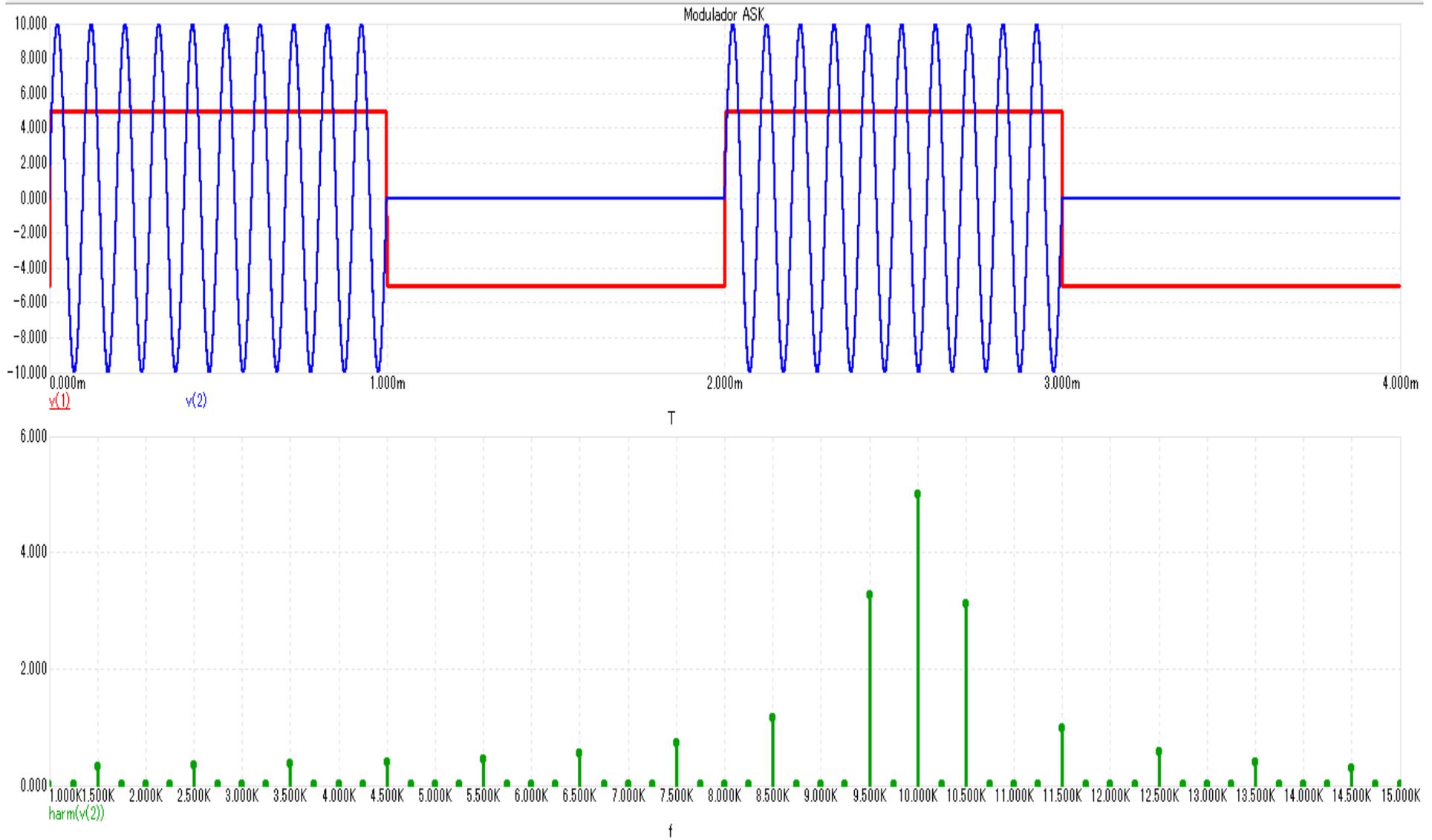
- Cuando se detecta la presencia de un '1' lógico, la portadora tiene un valor de amplitud máximo.
- Cuando el valor detectado es un '0' lógico la amplitud de la portadora es mínimo.

# Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK- OOK

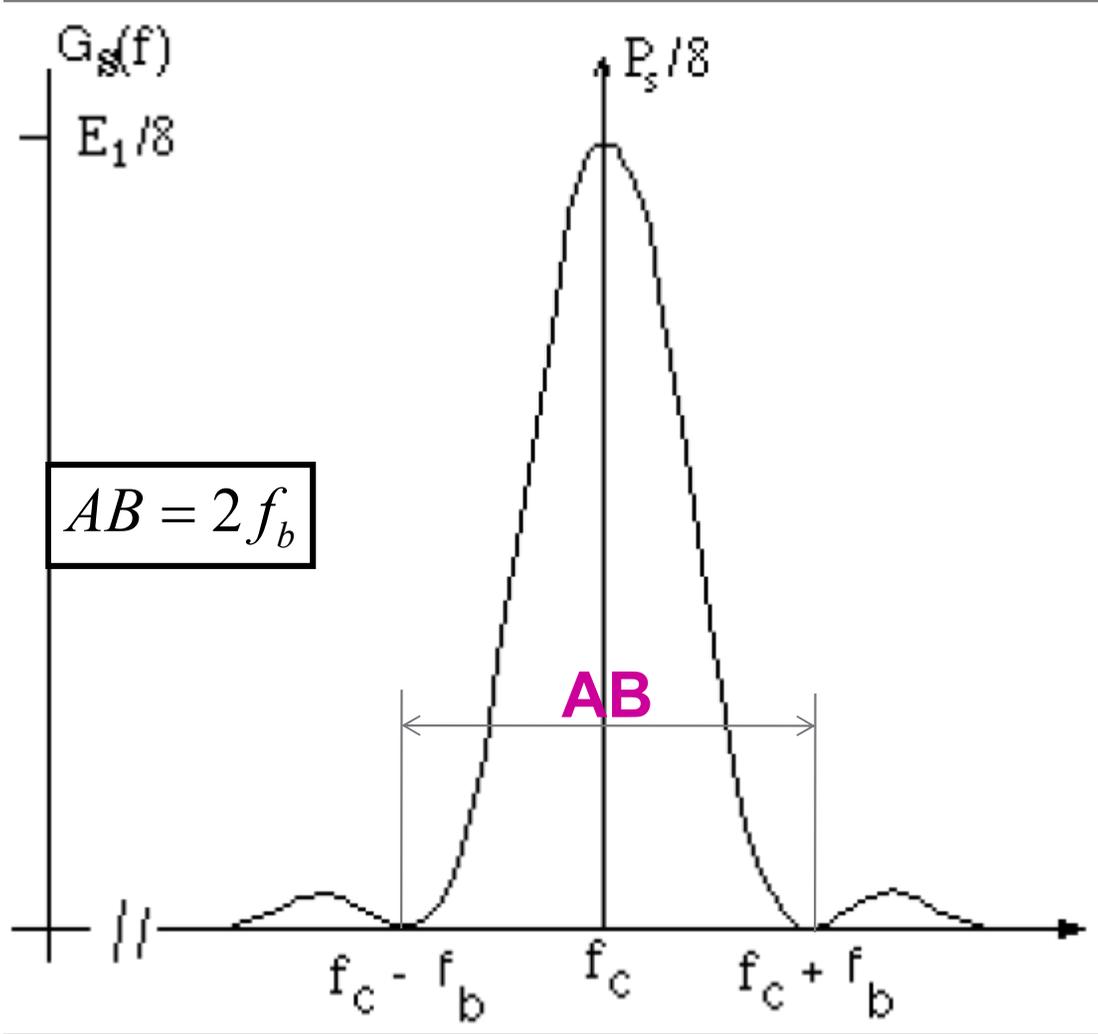
12



# Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK- OOK <sup>13</sup>



[Ver simulación](#)



## Espectro de una Señal ASK

El ancho de banda práctico es  $2f_b$ , el cual es el doble del requerido en transmisión banda base.

$$f_b = 1/t_b,$$

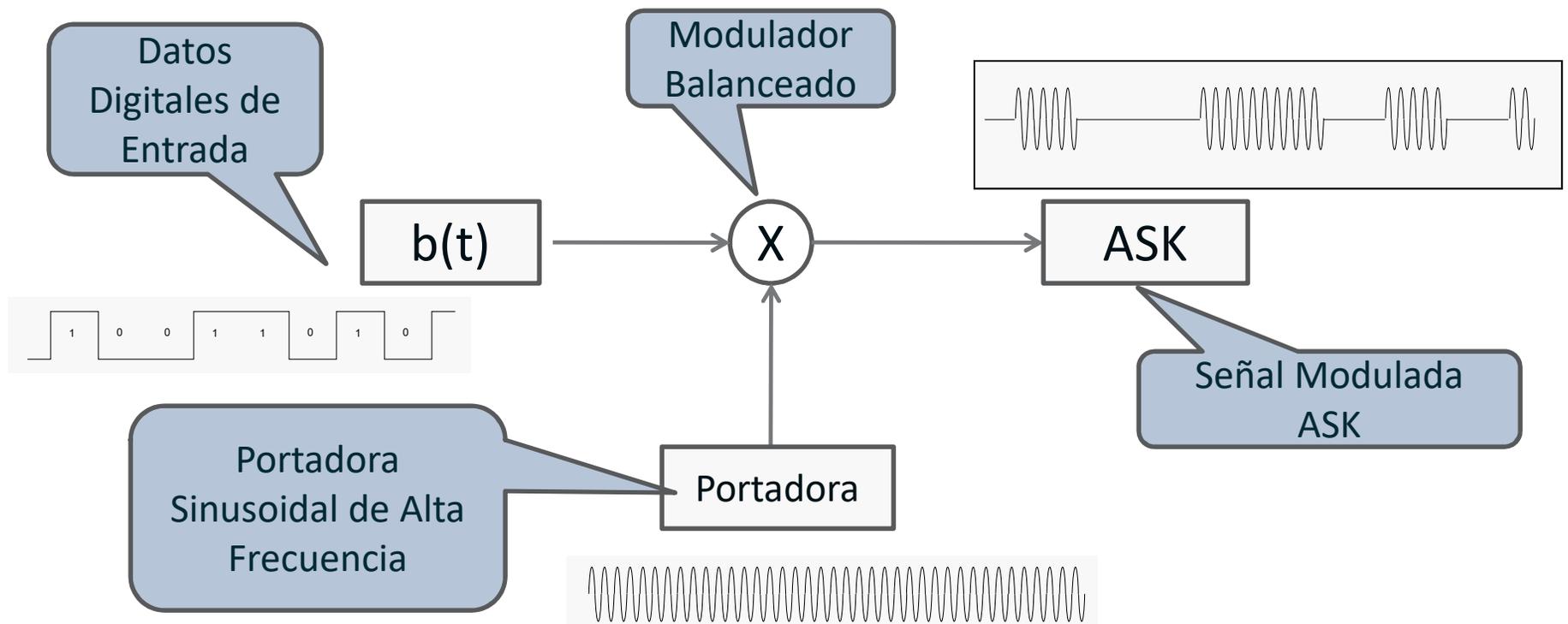
$t_b$  = tiempo de duración de un bit

**Se debe elegir  $f_c$  mucho mayor que  $f_b$**

En ASK la tasa de bits y de baudios es la misma y el Ancho de Banda mínimo es igual a la taza de baudios

# Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK- OOK

- Modulador ASK: Diagrama de Bloques**



- Demodulador ASK



Se detecta la presencia de una señal portadora de amplitud mayor a un determinado umbral, lo cual se puede realizar con un detector de envolverte, luego se amplifica la señal detectada para obtener el nivel adecuado.

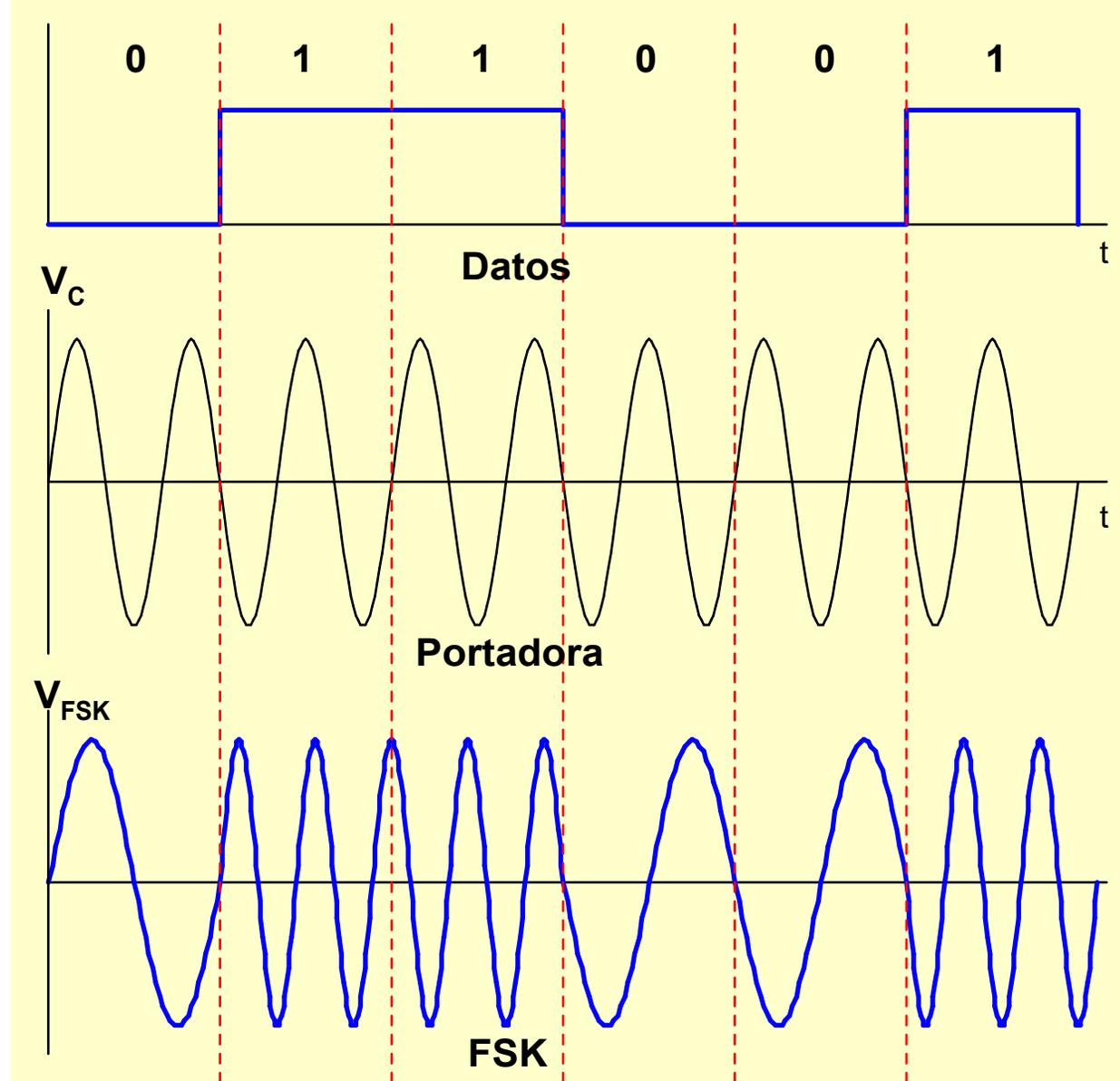
Pueden existir otras etapas para recomponer la señal (duración, amplitud, etc).

- Fácil de implementar
  - El ancho de banda necesario para esta transmisión es mayor que el requerido para AM.
  - Susceptible de repentinos cambios de ganancia.
  - Poco eficiente.
  - Muy sensible al ruido, por lo que la relación señal-ruido (S/N) a la entrada del receptor puede ser muy baja. No se utiliza ASK para transmitir datos a alta velocidad a menos que el medio de transmisión garantice una adecuada S/N, como en el caso de la fibra óptica.
  - Hasta 1200 bps en líneas de calidad telefónica
- 
- Hoy en día el uso de ASK es muy limitado.
  - Donde ha encontrado aplicaciones interesantes es, entre otros, en las alarmas de automóvil, *tags* o membretes electrónicos usados en plazas de peaje de pago automático y cierres electrónicos telecomandados.
  - En este caso usan receptores superregenerativos de unos pocos transistores, y por ello, de muy bajo consumo y muy alta ganancia que son capaces de demodular las señales ASK.
  - Esto permite encapsular al Tx/Rx en espacios muy reducidos como

## Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

- Consiste en variar la frecuencia de la portadora de acuerdo a los datos. Para “1” lógico le corresponde una frecuencia  $f_A$  y para un “0” lógico, emplea una frecuencia  $f_B$ .
- **La señal será una senoide de frecuencia  $f_A$  si se transmite un UNO y una senoide de frecuencia  $f_B$  cuando se transmita un CERO. La frecuencia de portadora sin modular se puede tomar como:  $(f_A+f_B)/2 = f_c$  .**
- Si la fase de la señal FSK es continua, es decir entre un bit y el siguiente la fase de la senoide no presenta discontinuidades, a la modulación se le da el nombre de CPFSK (del inglés Continuous Phase FSK, FSK de Fase Continua).
- En la modulación digital, a la relación de cambio a la entrada del modulador se le llama bit-rate (tasa de bit de entrada) y tiene como unidad el bit por segundo (bps) y se la denomina  $f_b$ .

# Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK



**Observe la continuidad de fase en la onda modulada.**

## Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

La señal de FSK, es una senoide de frecuencia  $f_m$  (marca) si se transmite un UNO y un senoide de frecuencia  $f_s$  (espacio) cuando se transmita un CERO.

La frecuencia de portadora sin modular se puede tomar como:

$$f_c = \frac{f_m + f_s}{2}$$

La expresión matemática para una señal CPFSK, se puede escribir como:

$$v_{FSK}(t) = A \cos(\omega_c t + b(t)\Delta)$$

La continuidad de la fase se logra cuando

$$(\omega_c + \Delta)t_b = n\pi \quad n \text{ par}$$

$$(\omega_c - \Delta)t_b = m\pi \quad m \text{ par}$$

donde:  $\Delta$  es la desviación de frecuencia

## Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

La desviación máxima de la frecuencia viene dada por la ecuación:

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

El ancho de banda de una señal FSK será calculado como:

$$AB = 2(\Delta f + f_b)$$

$f_b$  es la velocidad de transmisión de los bits

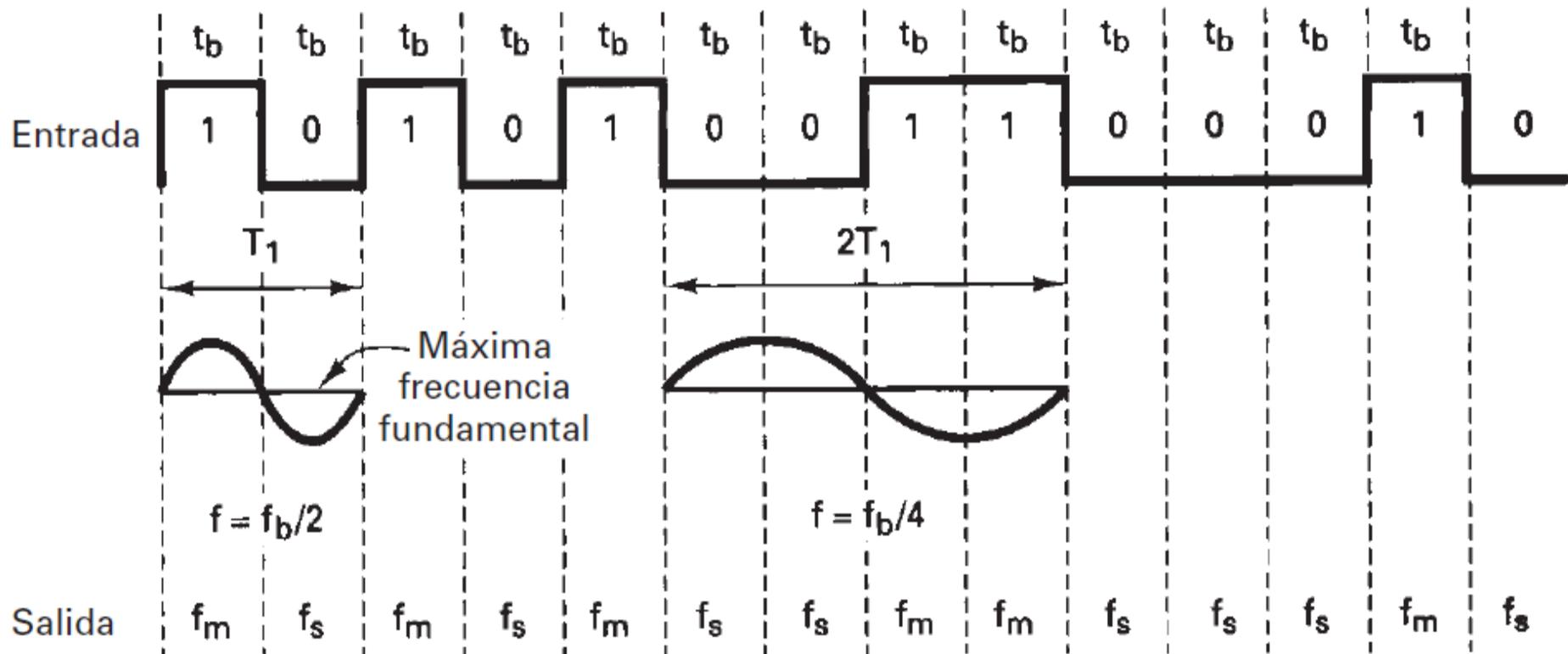
El índice de modulación MI para la modulación FSK se obtiene a través de la ecuación

$$MI = \frac{\Delta f}{f_b/2} = \frac{f_m - f_s}{f_b}$$

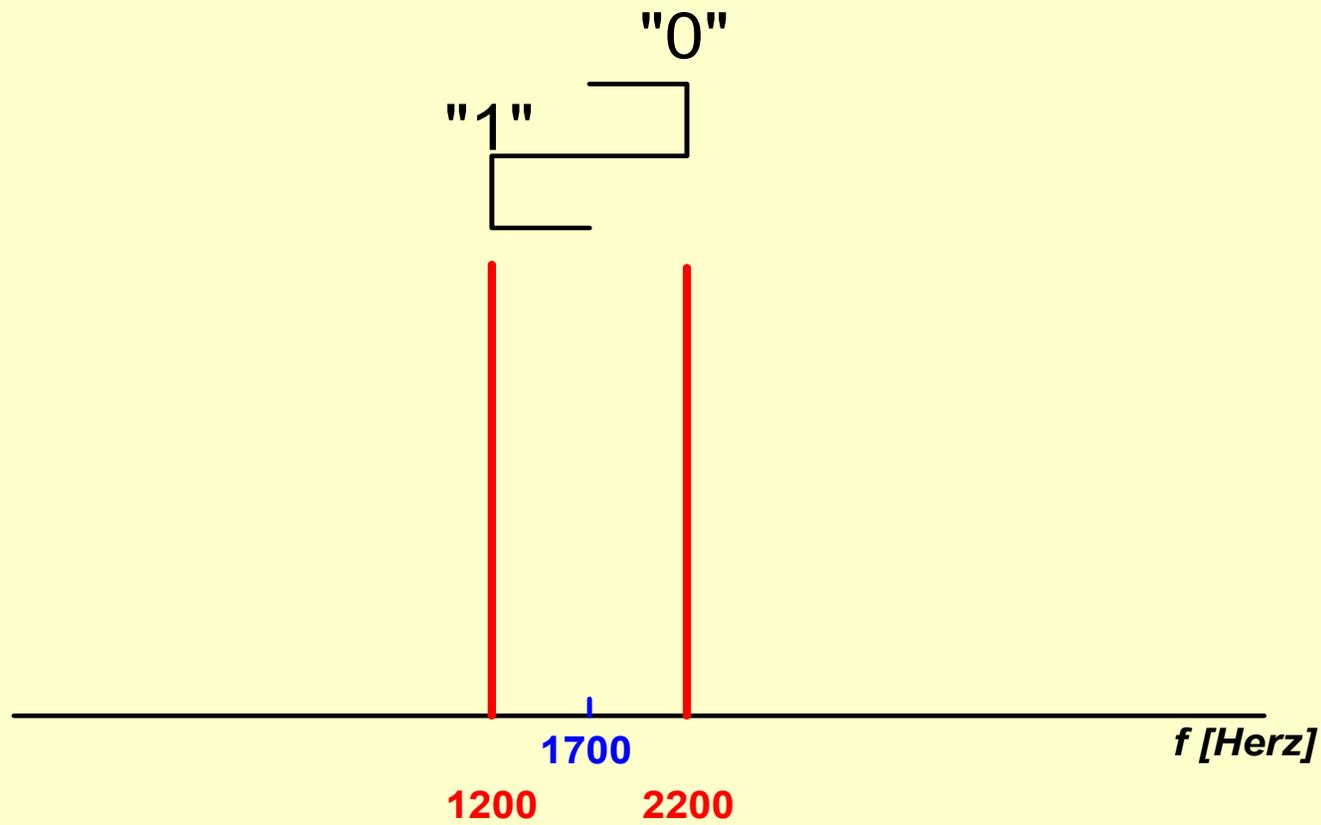
# Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

Se ha considerado que la frecuencia portadora está en el punto medio de la desviación de frecuencia

$$f_c = \frac{f_m + f_s}{2}$$



# Desviación de frecuencia en modulación FSK<sup>23</sup>



BELL 202

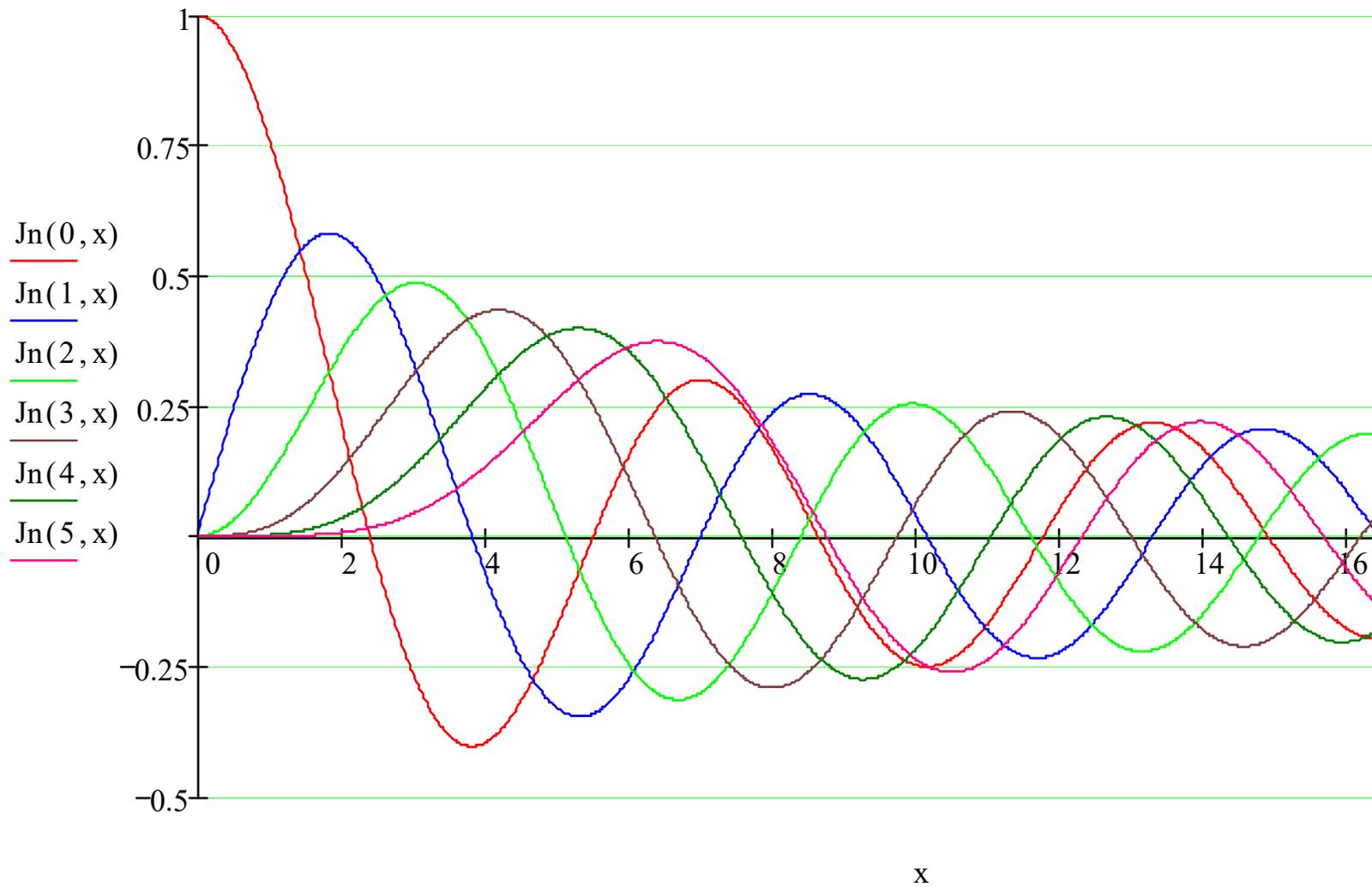
1 binario

$$s(t) = A \cos(2\pi f_1 t)$$

0 binario

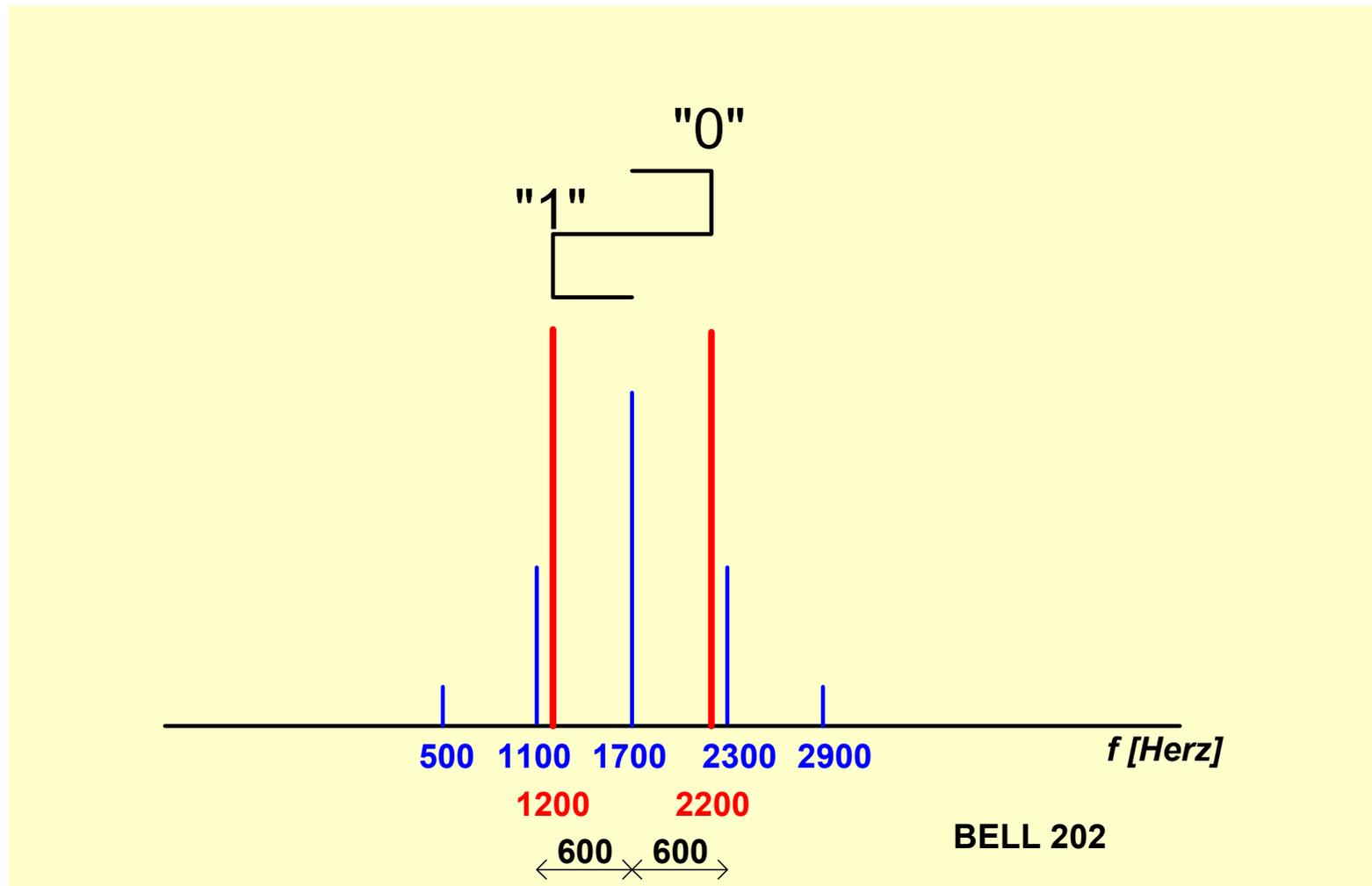
$$s(t) = A \cos(2\pi f_2 t)$$

# Funciones de Bessel



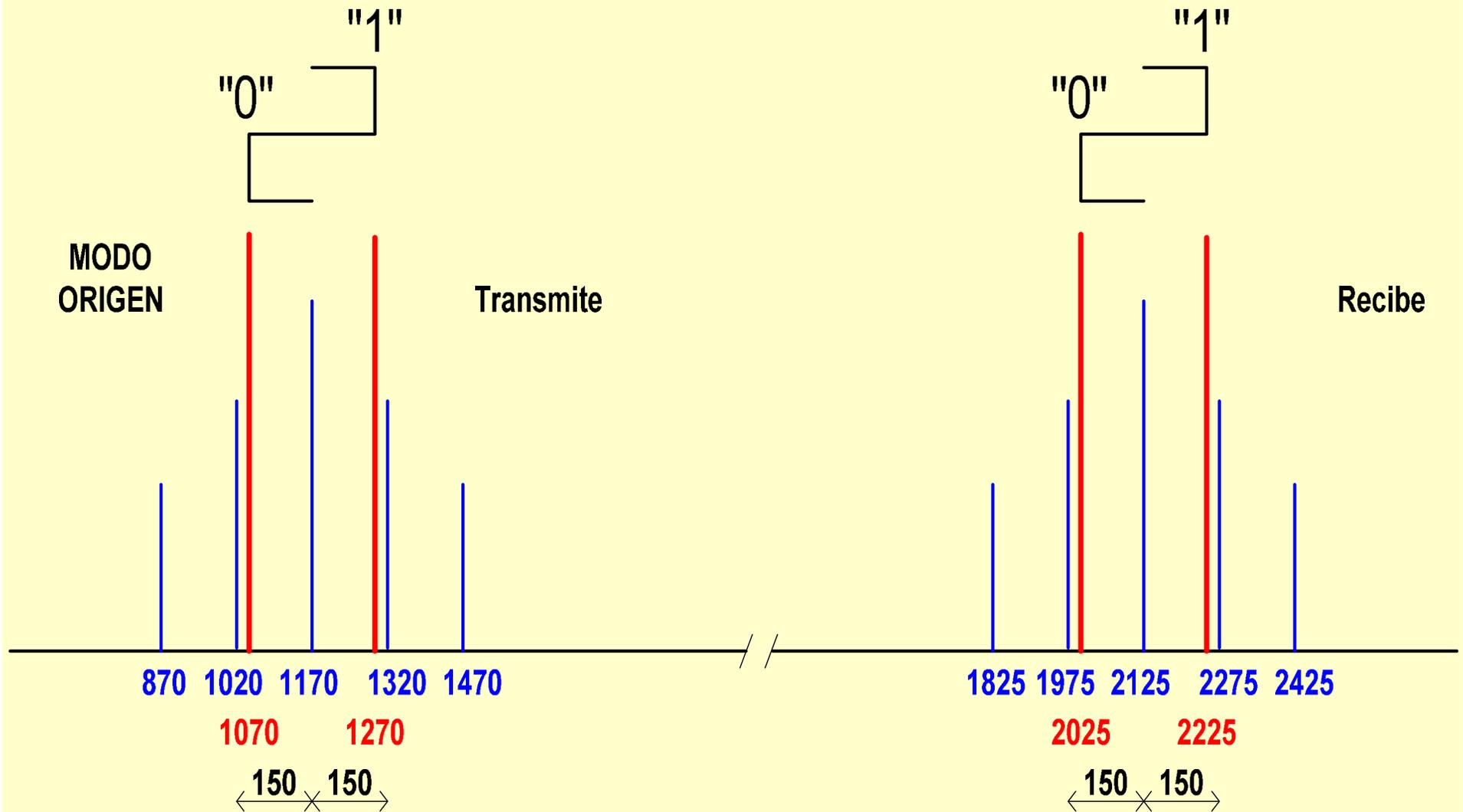
# Espectro de Modulación FSK

25



# Espectro de Modulación FSK

## NORMA BELL 103



# Límites para la modulación FSK en un canal telefónico

$$AB = 2f_b$$

$$f_b = AB/2$$

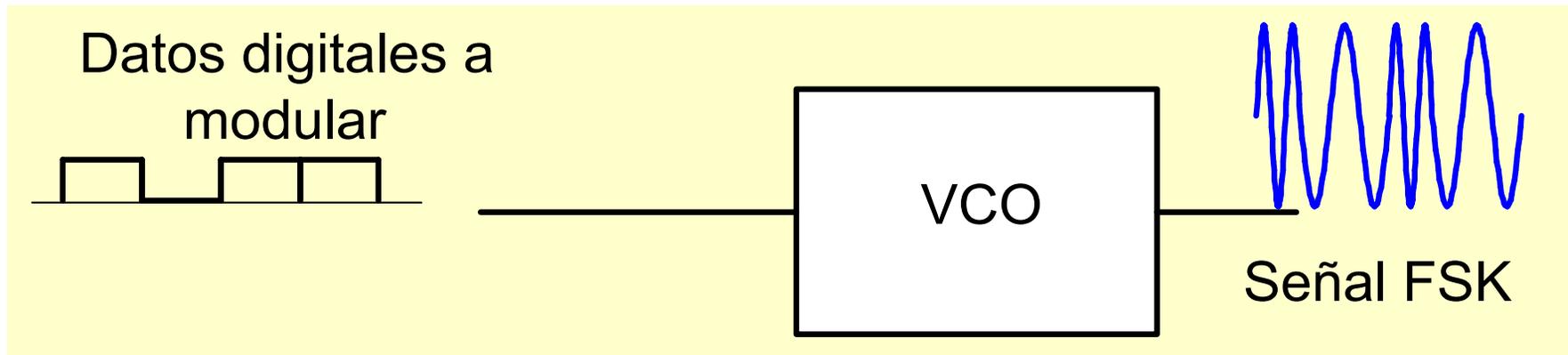
$$R = f_{b \text{ máx}} = 1200 \text{ bps (normalizado)}$$

$$R = D$$

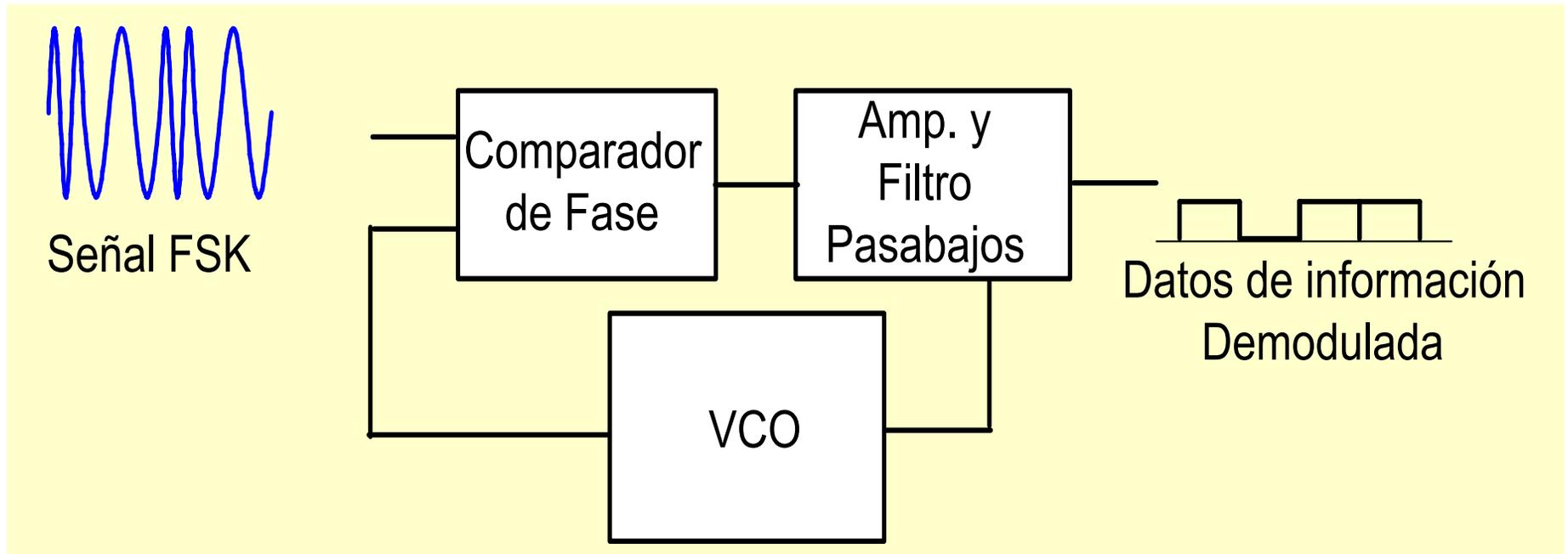
Modo: Half Duplex 2H

# Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

## Modulador de FSK



## Demodulación de una Señal FSK



# Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

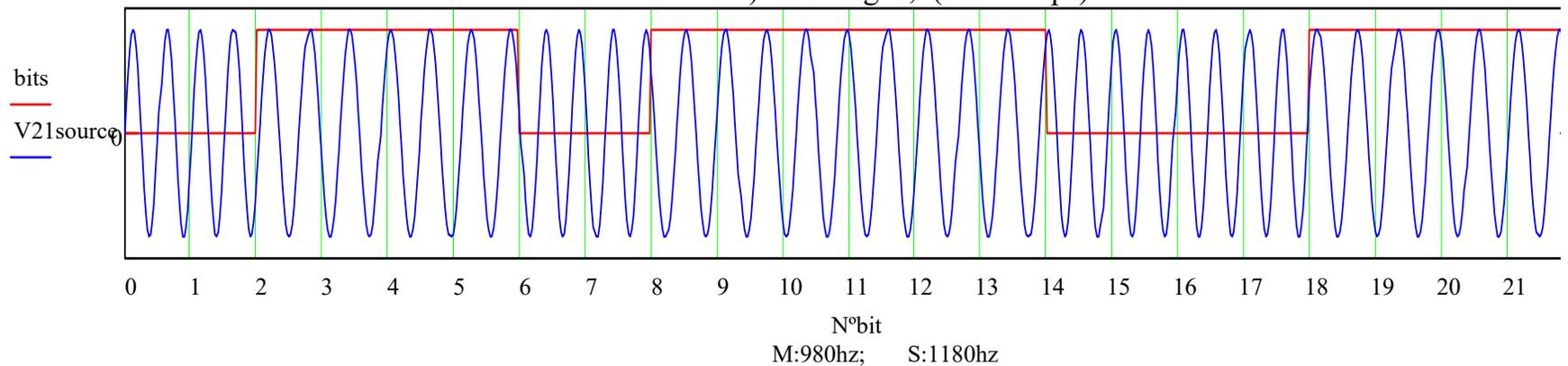
## Funcionamiento del demodulador

- A la entrada del PLL se tienen una señal de FSK.
- El PLL posee una frecuencia de oscilación propia o natural, establecida cuando se realiza el diseño.
- Cuando la frecuencia de entrada no coincide con la del PLL, se produce una diferencia de fase a la salida del comparador de fase. Esta diferencia de fase es convertida en una tensión de CD proporcional por el amplificador, el cual es ingresado al VCO.
- Al variar la tensión de entrada al VCO varía también su frecuencia hasta que la diferencia de frecuencia es cero y entonces se dice que el sistema se encuentra en fase cerrada o “enganchado”.
- La tensión de salida es la tensión necesaria para producir una señal oscilante por el VCO igual a la frecuencia de la señal de entrada.
- Como la señal de entrada posee dos únicas frecuencias, la salida del PLL serán dos niveles únicos de tensión, los cuales representan los valores lógicos binarios

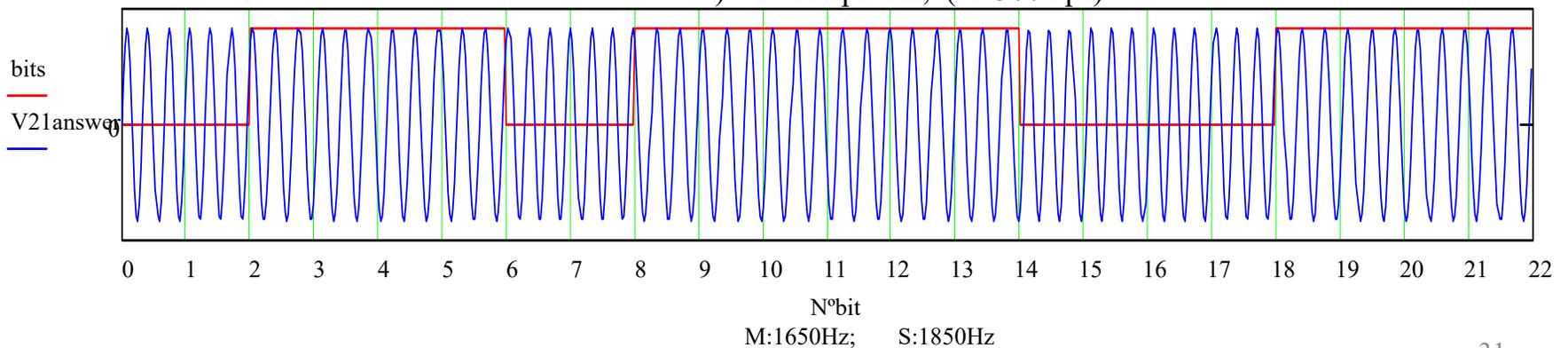
# Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

## Señal FSK norma V.21

a) V21 origen, (R=300 bps)



b) V21 Respuesta, (R=300 bps)



# FSK- Ventajas y desventajas

## VENTAJAS

- Inmunidad al ruido
- Almacenamiento y procesamiento
- Señales sencillas de medir y evaluar.
- Consume poca potencia
- Buena detección y corrección de errores.

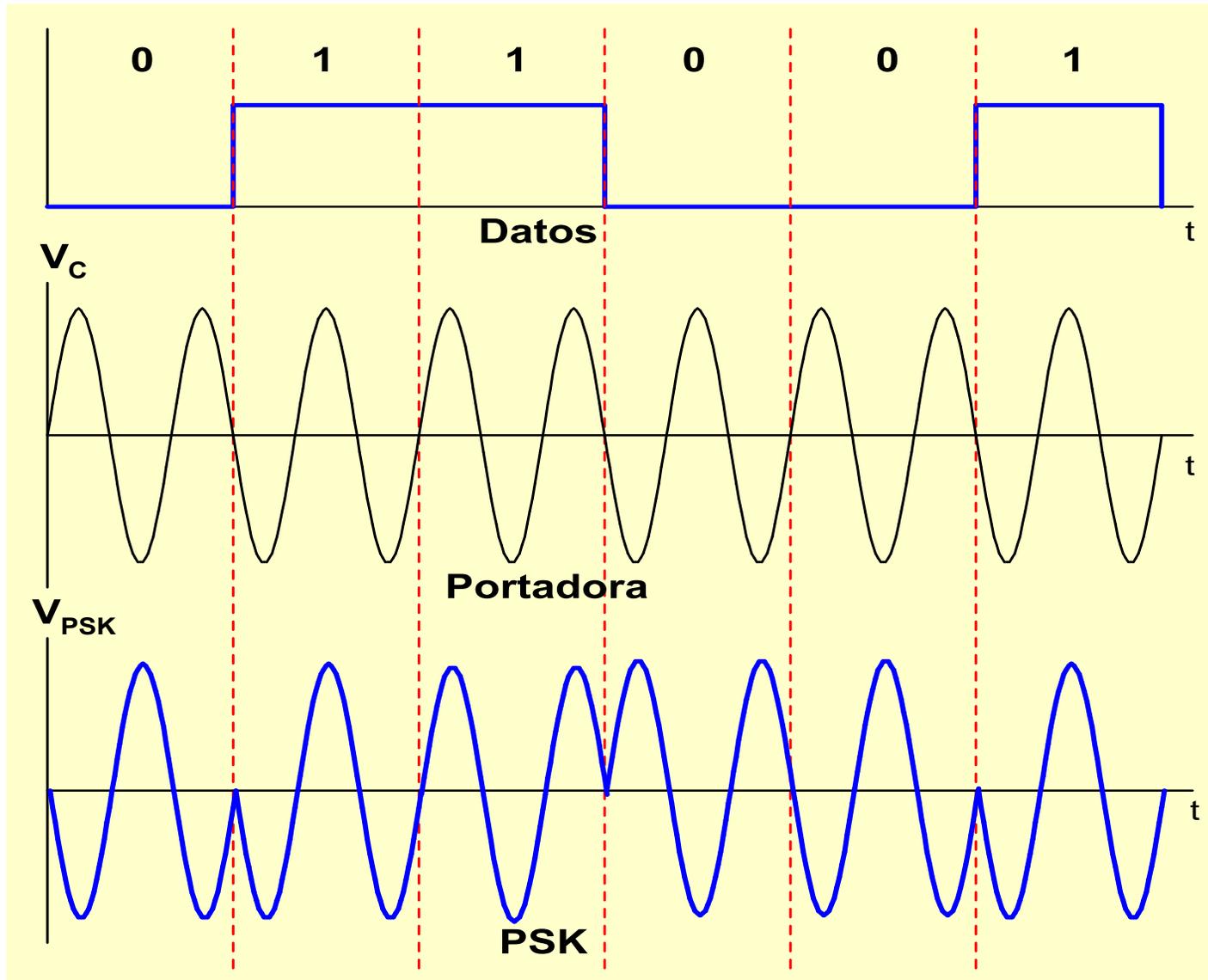
## DESVENTAJAS

- Requiere mas ancho de banda
- Necesita sincronización precisa
- Incompatible con instalaciones analógicas existentes

## Modulación por desplazamiento de Fase- PSK

- La modulación por desplazamiento de fase o PSK (Phase Shift Keying) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos.
- Dependiendo del número de posibles fases a tomar, recibe diferentes denominaciones.
- Dado que lo más común es codificar un número entero de bits por cada símbolo, el número de fases a tomar es una potencia de dos.
- Para el caso binario, las fases que se seleccionan son 0 y  $\pi$ , dos únicas fases, una para cada bit.
- PSK es una modulación ampliamente extendida.
- La modulación BPSK es utilizada para transmisores de bajo costo y que no requieran altas velocidades.

# Modulación por desplazamiento de Fase- PSK



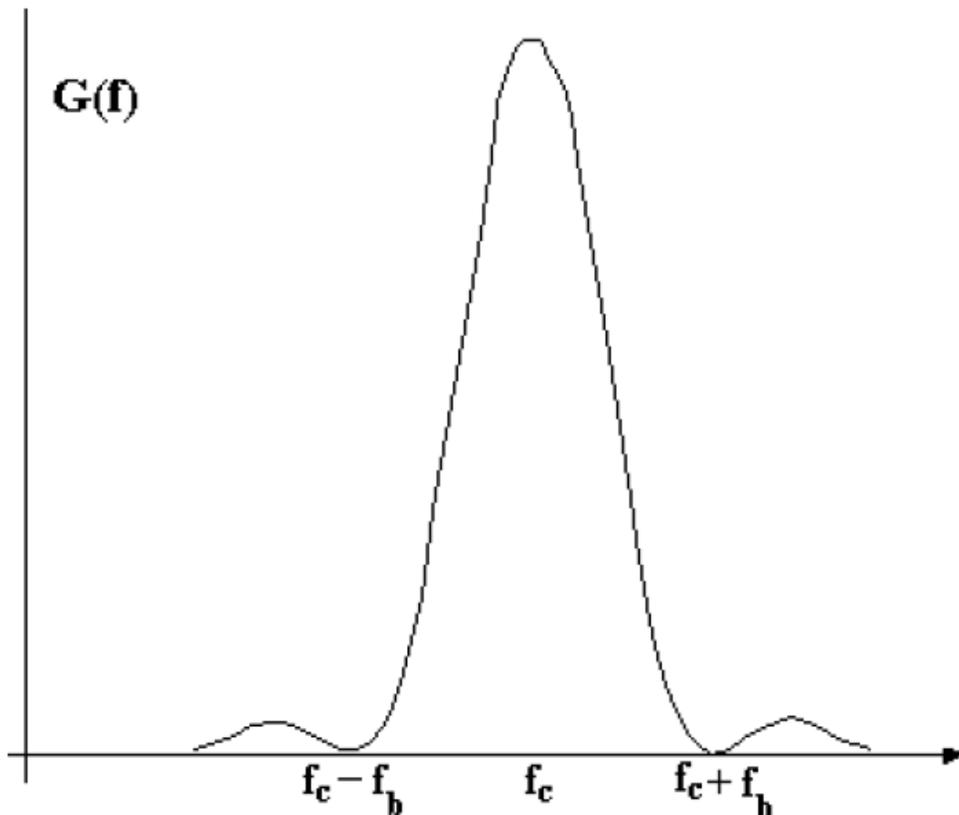
**Observar el cambio de fase justo cuando concluye el bit**

## Modulación por desplazamiento de Fase- PSK

La ecuación que describe su comportamiento, en el dominio del tiempo es:

$$S_{PSK}(t) = ACos(\omega_c t + b(t))$$

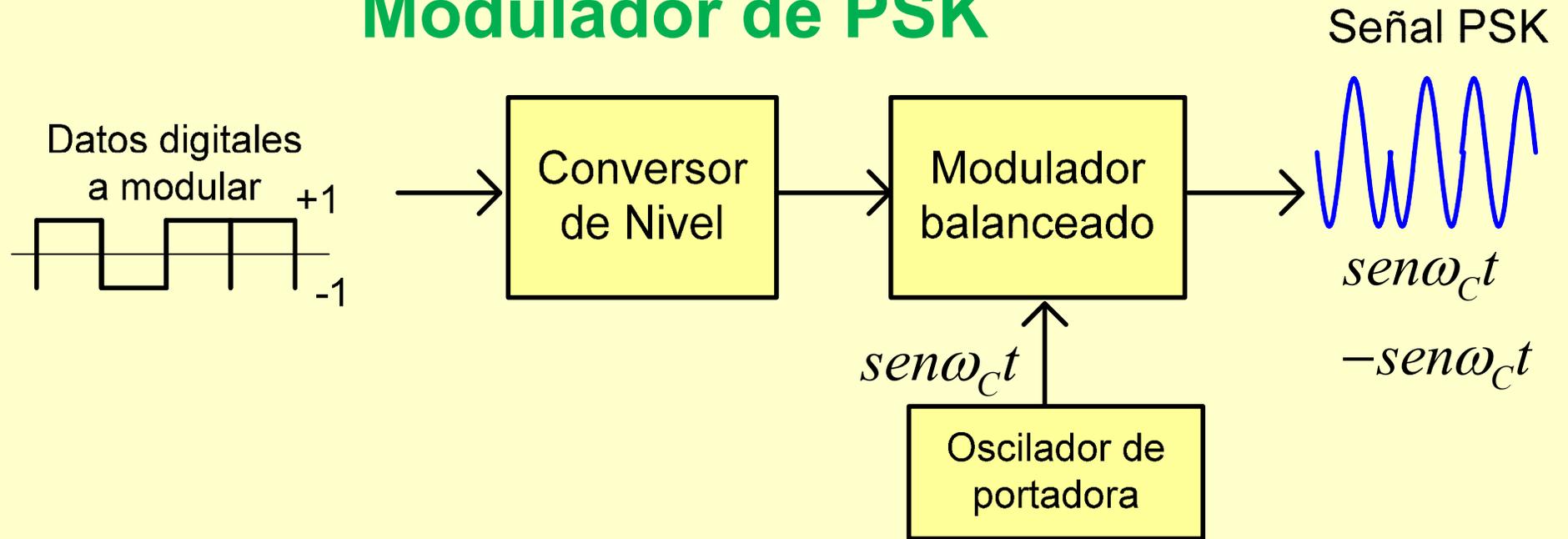
Donde  $b(t)$  tomará valores de 0 cuando el valor sea un CERO lógico y  $\pi$  cuando su valor sea UNO lógico.



$$AB = f + f_b - f + f_b = 2f_b$$

# Modulador por desplazamiento de Fase- PSK

## Modulador de PSK



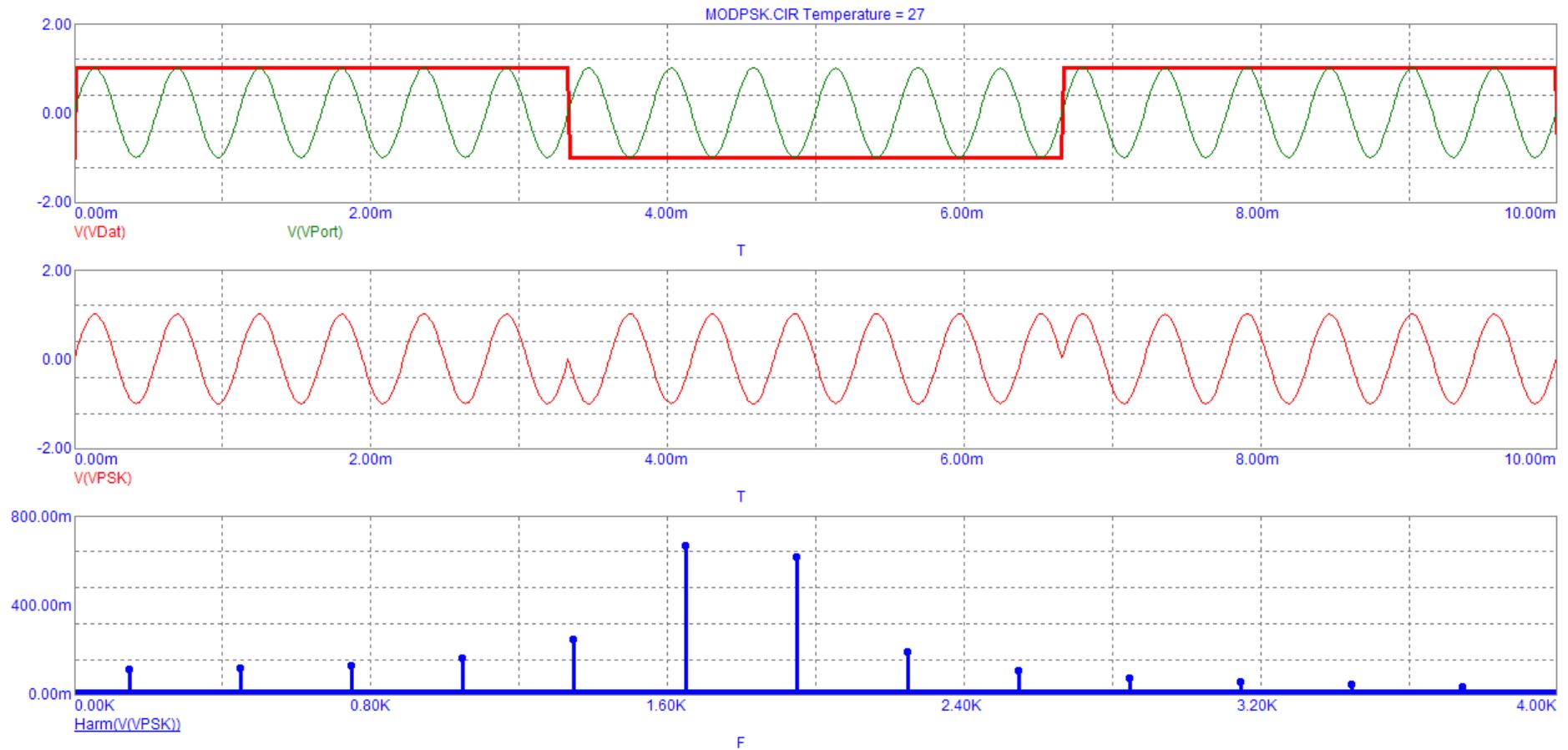
1 binario

$$s(t) = A sen(2\pi f_c t + \pi)$$

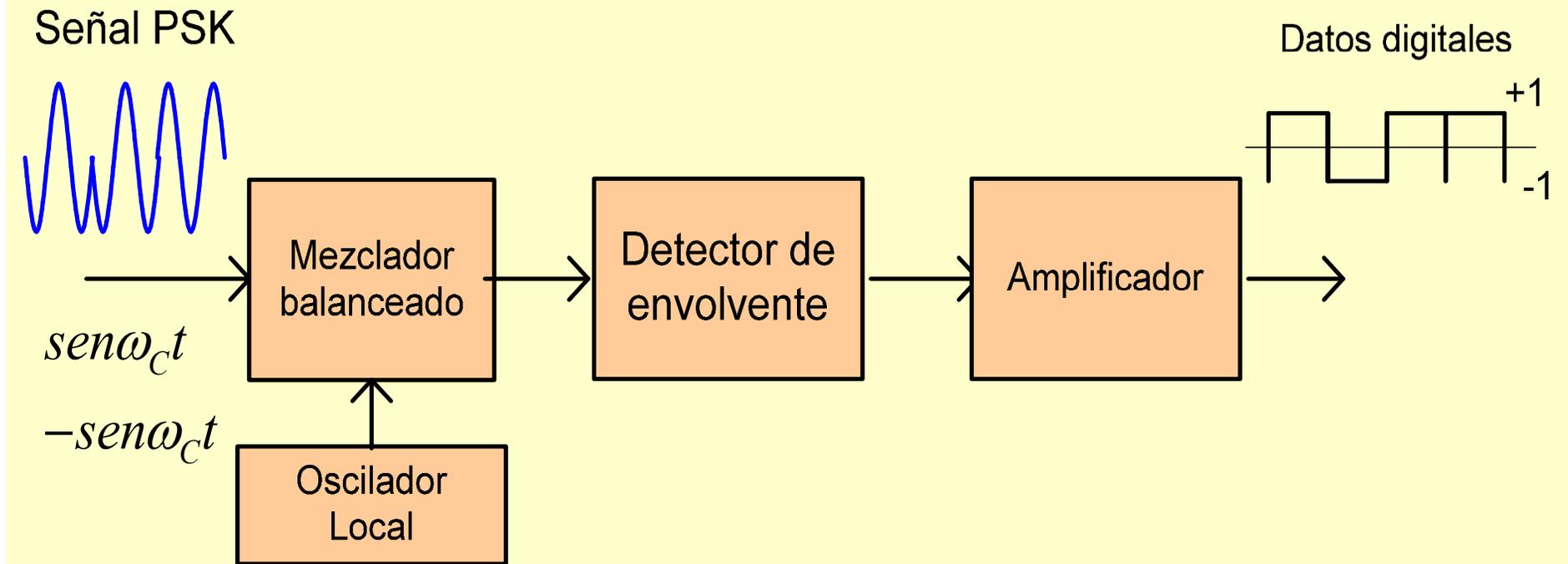
0 binario

$$s(t) = A sen(2\pi f_c t)$$

# Espectro de señal PSK en un canal telefónico



# Demodulador BPSK



## Modulación por desplazamiento de Fase- PSK

### Límites para la modulación PSK en un canal telefónico

$$AB = 2f_b$$

$$R = f_{b \text{ máx}} = 2400 \text{ bps (normalizado)}$$

$$R = D$$

Modo: Half Duplex 2H

# Modulación por desplazamiento de Fase- PSK

## VENTAJAS DE PSK

- La potencia de todos los simbolos es siempre la misma.
- Se simplifica el diseño de receptores y amplificadores
- Se puede emplear para transmisiones a distancias grandes

## Desventajas PSK

- Probabilidad de error elevada (menor que FSK)
- Ocupa un Ancho de banda igual de ASK

## USOS DEL PSK

- LAN inalámbrica.
- RFID(Transmisores pasivos).
- Bluetooth 2.0
- HDTV

En la modulación de pulsos, lo que se varía es alguno de los parámetros de un tren de pulsos uniformes, ya sea su amplitud, duración o posición.

En este tipo de modulación se distinguen dos clases:

- **Modulación analógica de pulsos:** la información se transmite en forma analógica, pero la transmisión tiene lugar a intervalos discretos de tiempo. En la modulación analógica de pulsos, la señal no necesariamente es de dos niveles, sino que el nivel de la señal puede tener cualquier valor real, si bien la señal es discreta, en el sentido de que se presenta a intervalos definidos de tiempo, con amplitudes, frecuencias, o anchos de pulso variables
- **Modulación digital de pulsos:** la señal de información es discreta, tanto en amplitud como en tiempo, permitiendo la transmisión digital como una secuencia de pulsos codificados, todos de la misma amplitud. Este tipo de transmisión no tiene contraparte en los sistemas de onda continua. En la modulación digital, la señal de información es un flujo binario compuesto por señales binarias, es decir cuyos niveles de tensión sólo son dos y corresponden a ceros y unos.

- Las modulaciones analógicas solo permiten ser multiplexadas en FDM (Frequency Division Multiplex)
- Las modulaciones por pulsos pueden ser multiplexadas en TDM (Time Division Multiplex)

## Ventajas de la transmisión digital

1. La ventaja principal de la transmisión digital respecto a la analógica es su inmunidad al ruido. En la transmisión digital no es necesario evaluar las características de amplitud, frecuencia y fase con tanta precisión como en la transmisión analógica, si no se hace una determinación simple para ver si el pulso está arriba o abajo de un nivel de umbral.
2. Las señales digitales se prestan mejor a su procesamiento y multiplexado que las señales analógicas. Los pulsos digitales se pueden guardar con más facilidad que las señales analógicas.
3. Los sistemas digitales de transmisión son más resistentes al ruido. Los sistemas digitales usan regeneración de señal, y no usan amplificación de señal. El ruido producido en los circuitos de amplificadores electrónicos es aditivo y, en consecuencia, la relación de señal a ruido se deteriora cada vez que se amplifica una señal analógica.

# MODULACION POR PULSOS

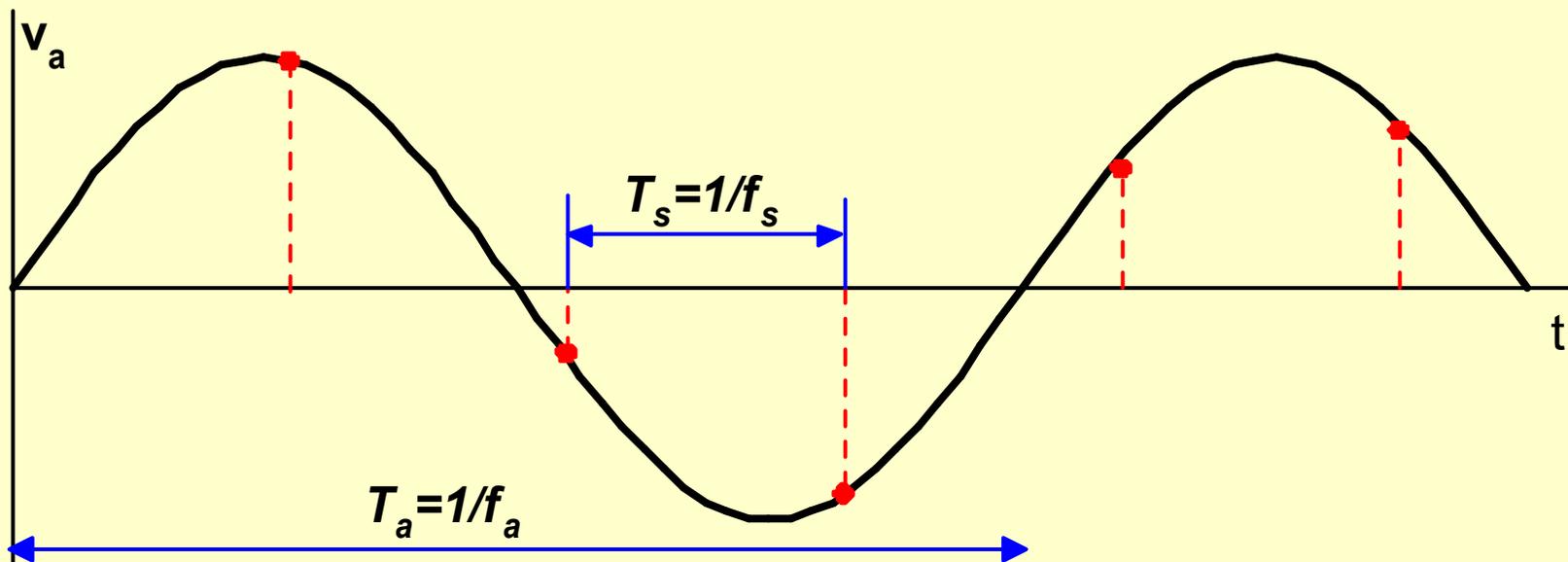
4. Es más fácil medir y evaluar las señales digitales.
5. Se pueden detectar y corregir los errores de transmisión en señales digitales, con más facilidad y más exactitud que las que son posibles en los sistemas analógicos.

## Desventajas de la transmisión digital

1. La transmisión de señales analógicas codificadas digitalmente requiere un ancho de banda bastante mayor que la simple transmisión de la señal analógica original.
2. Las señales analógicas se deben convertir en códigos digitales antes de su transmisión, y reconvertirse a la forma analógica en el receptor, necesitando, por consiguiente, circuitos adicionales de codificación y decodificación.
3. La transmisión digital requiere una sincronización precisa, respecto al tiempo, entre los relojes del transmisor y del receptor. Por consiguiente, los sistemas digitales requieren costosos circuitos de recuperación de reloj en todos los receptores.
4. Los sistemas de transmisión digital son incompatibles con las instalaciones anteriores, de transmisión analógica.

La modulación por pulsos incluye muchos métodos distintos para convertir la información a forma de pulso, para luego transferir éste de una fuente a un destino. Los cuatro métodos mas importantes son: PAM (modulación por amplitud de pulso), PWM (modulación por ancho de pulso), PPM (modulación por posición de pulso), y PCM (modulación por pulsos codificados).

**Para obtener los distintos tipos de modulación por pulsos, la señal analógica debe ser muestreada.**



Mediante el muestreo, una señal analógica continua en el tiempo, se convierte en una secuencia de muestras discretas de la señal, a intervalos regulares.

El teorema de muestreo establece que: Una señal continua, de energía finita y limitada en banda, sin componentes espectrales por encima de una frecuencia  $f_{\max}$ , queda descrita completamente especificando los valores de la señal a intervalos de  $\frac{1}{2} f_{\max}$  segundos.

• **Teorema de Nyquis: la frecuencia mínima de muestreo es:**

$$f_s \geq 2 f_{a \max}$$

$f_{a \max}$  : es la máxima frecuencia de la señal moduladora.

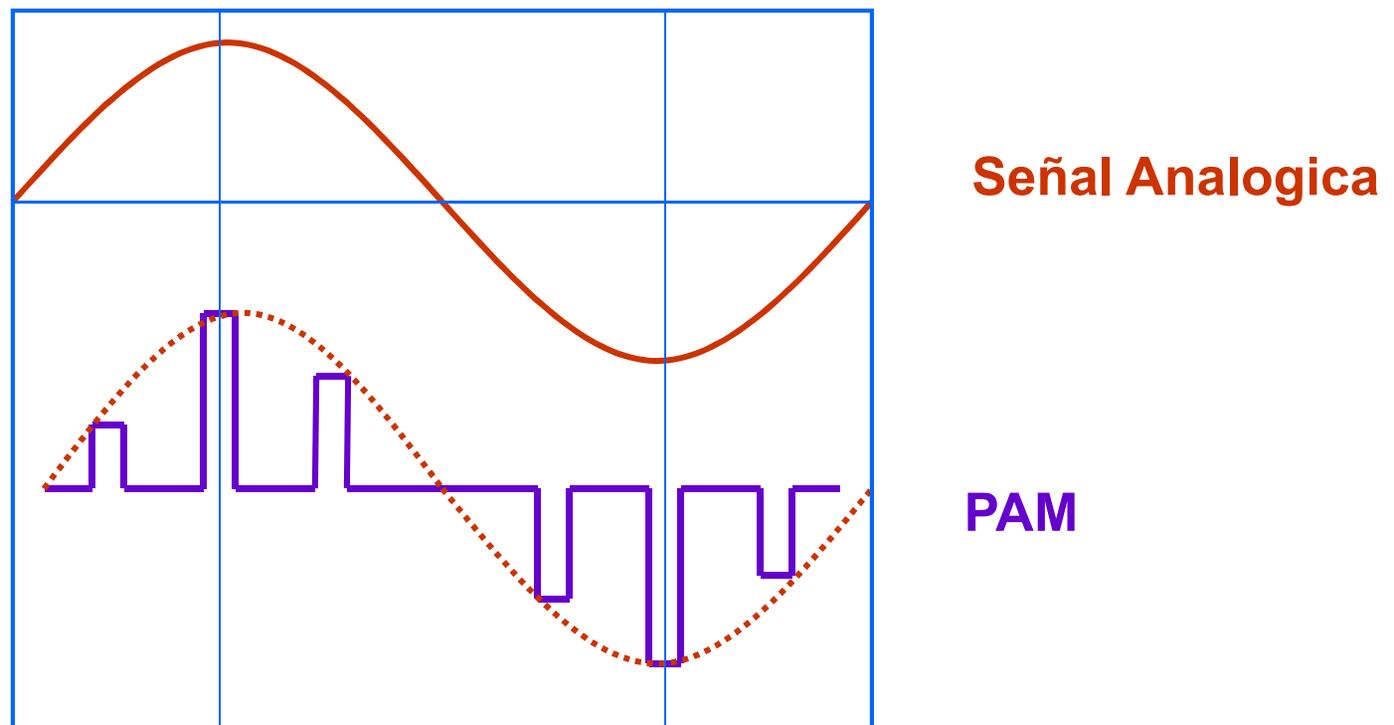
Si  $f_s$  es menor que  $f_a$ , se producirá distorsión. A esta distorsión se le llama “aliasing” o distorsión por superposición (fold over)

# MODULACION PAM

46

La señal es muestreada a intervalos regulares, tales que cada muestra es proporcional a la amplitud de la señal en el instante de muestreo. Esta técnica se llama "muestreo".

\* Para una distorsión mínima, la frecuencia de muestreo debe cumplir con el teorema de Nyquist



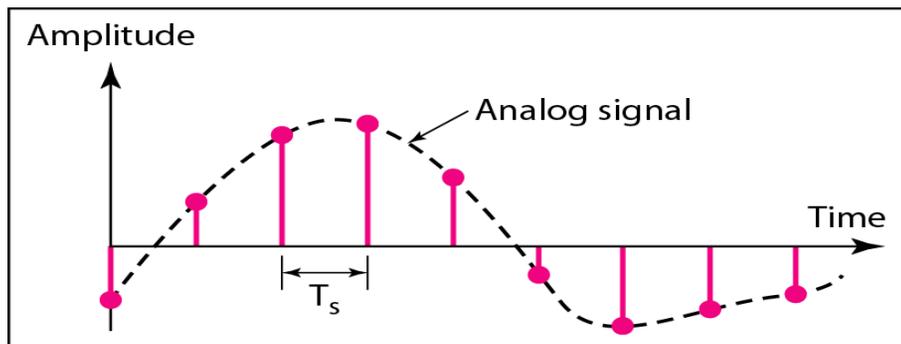
## Hay tres métodos de muestreo:

**Ideal** - un impulso en cada instante de muestreo

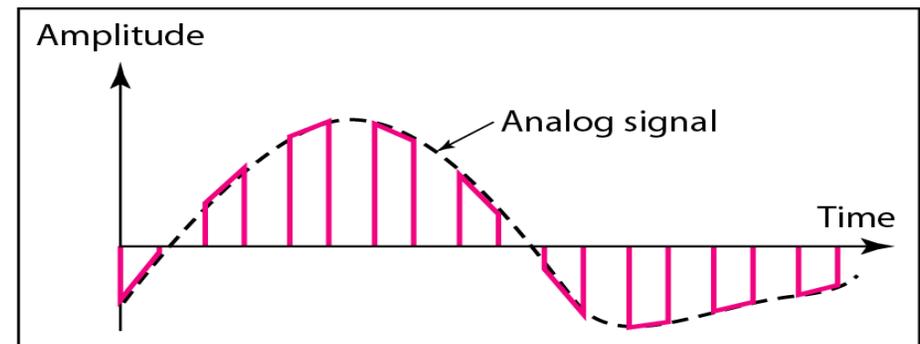
**Natural** - un pulso de ancho corto con amplitud variable

**De techo plano** - muestreo y retención, como natural, pero con el valor de amplitud

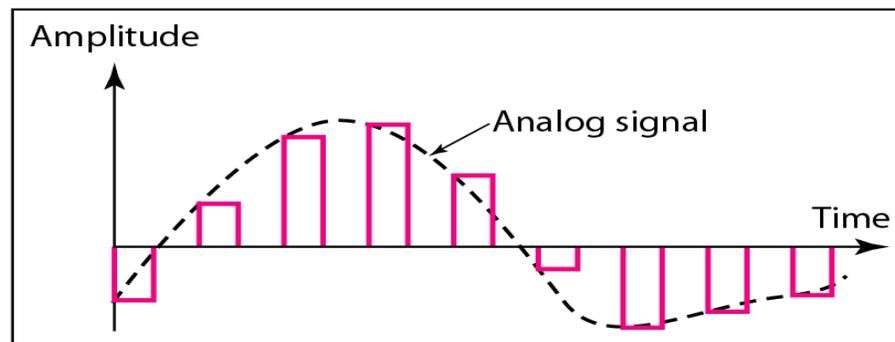
El proceso se refiere a la modulación PAM amplitud del pulso y el resultado es una señal con valores analógicos (no enteros)



a. Ideal sampling

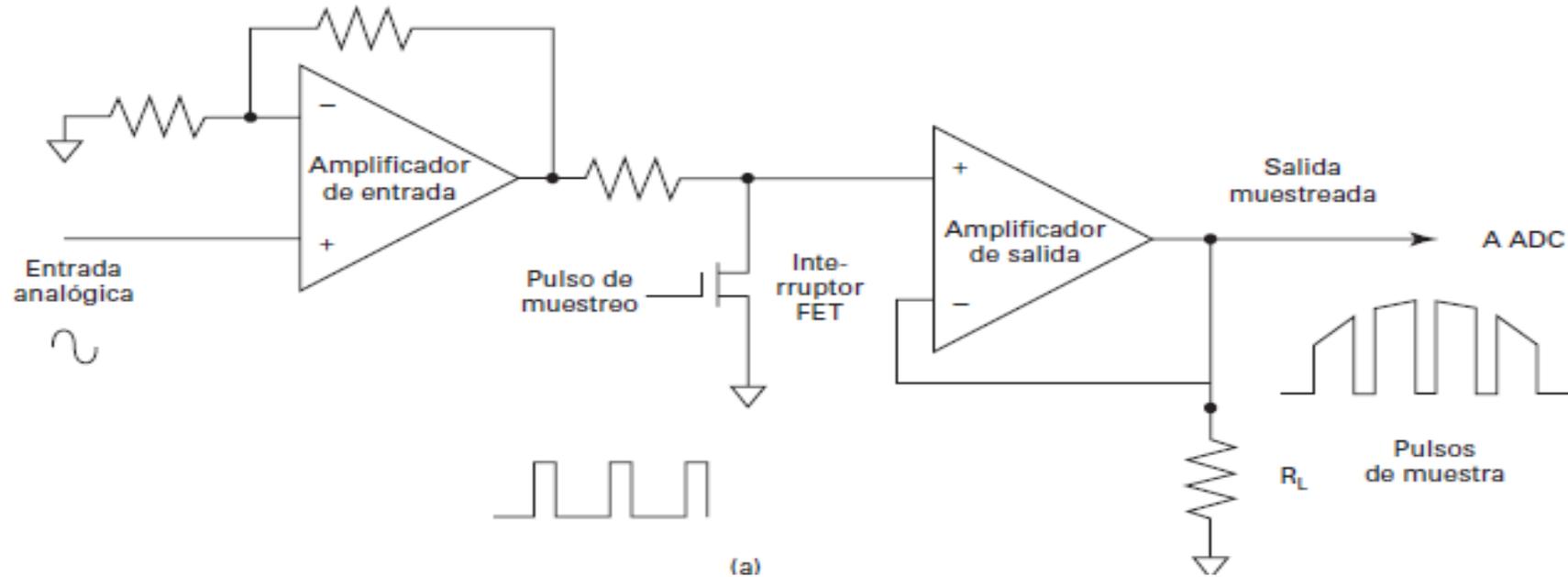


b. Natural sampling



c. Flat-top sampling

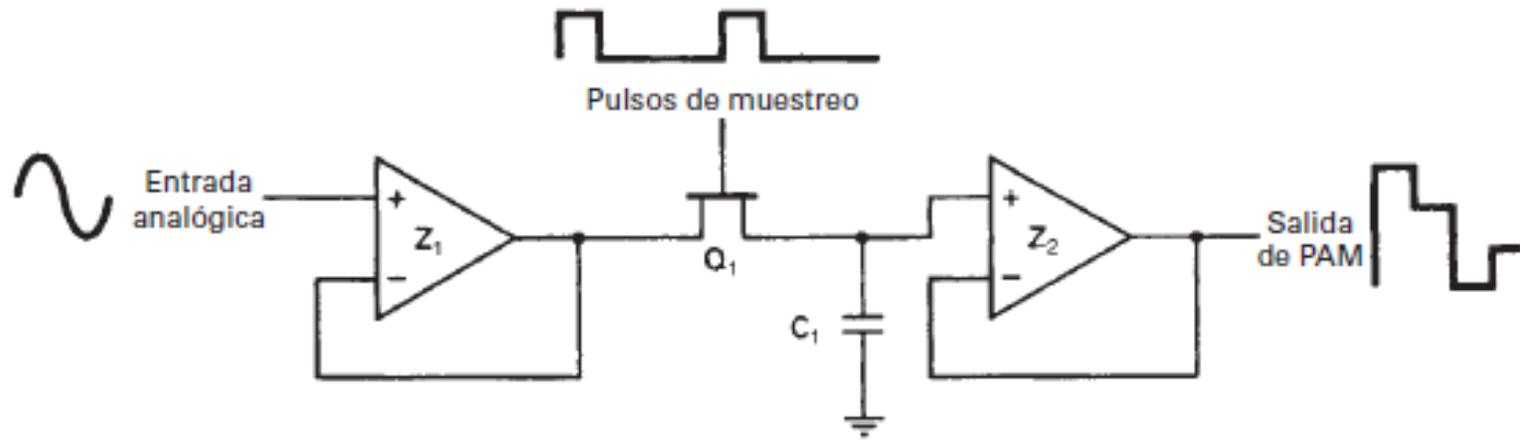
## Muestreo Natural



El interruptor se abre cuando el pulso tiene valor alto, lo que permite que la señal de entrada llegue a la salida durante ese intervalo de tiempo.

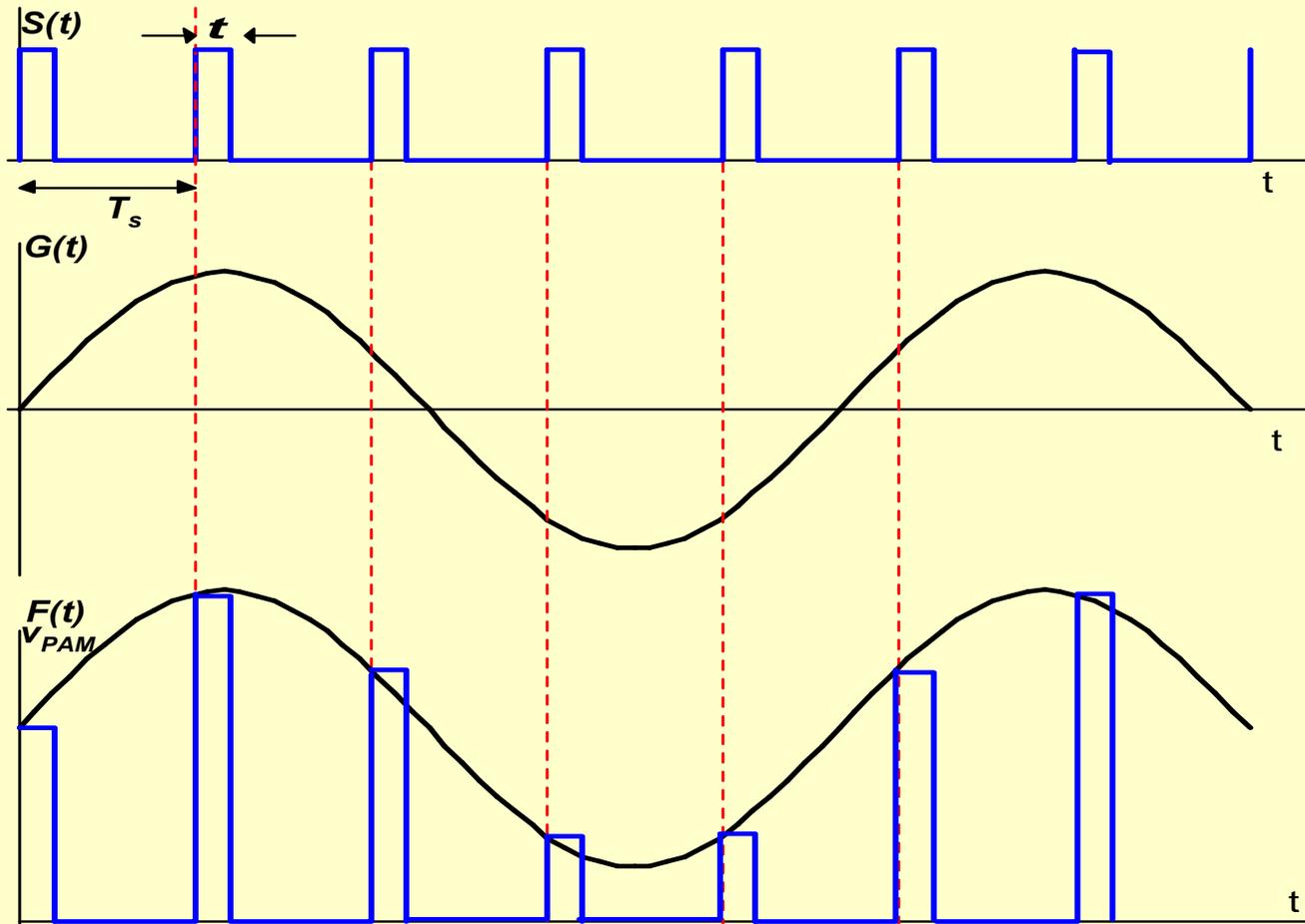
El interruptor está cerrado para el resto de cada período de muestreo, hace que la salida sea cero.

## Muestreo de Techo Plano



Para el muestreo plano superior, se utiliza un circuito de muestreo y retención. Cuando la llave de muestreo se cierra capacitor  $C_1$  se carga al valor de la muestra. Cuando la llave se abre queda aislado de variaciones de la señal de entrada. Como el seguidor de tensión AOp posee alta  $Z_{in}$ , la descarga sea muy lenta y la caída de tensión de salida también

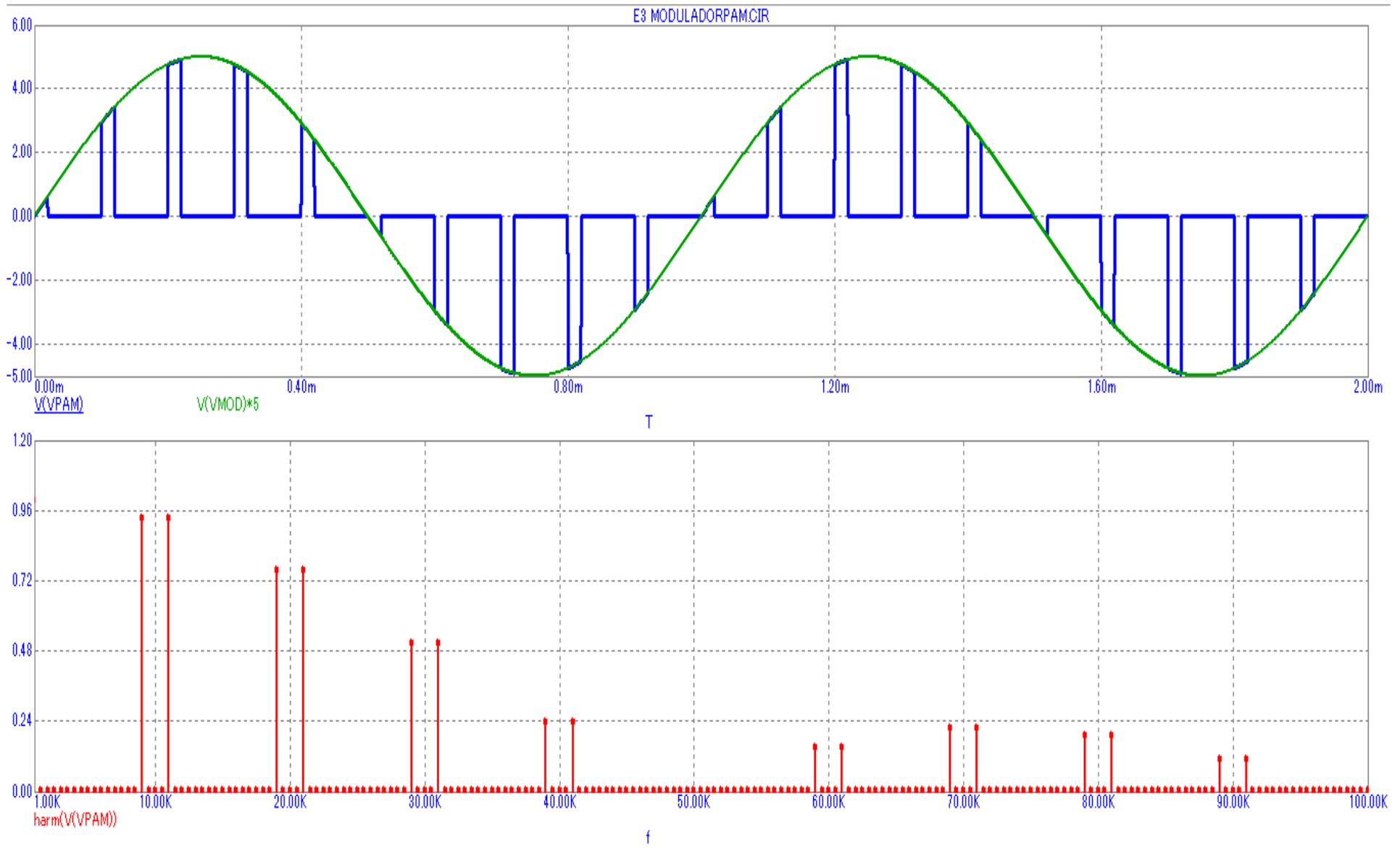
# MODULACION PAM



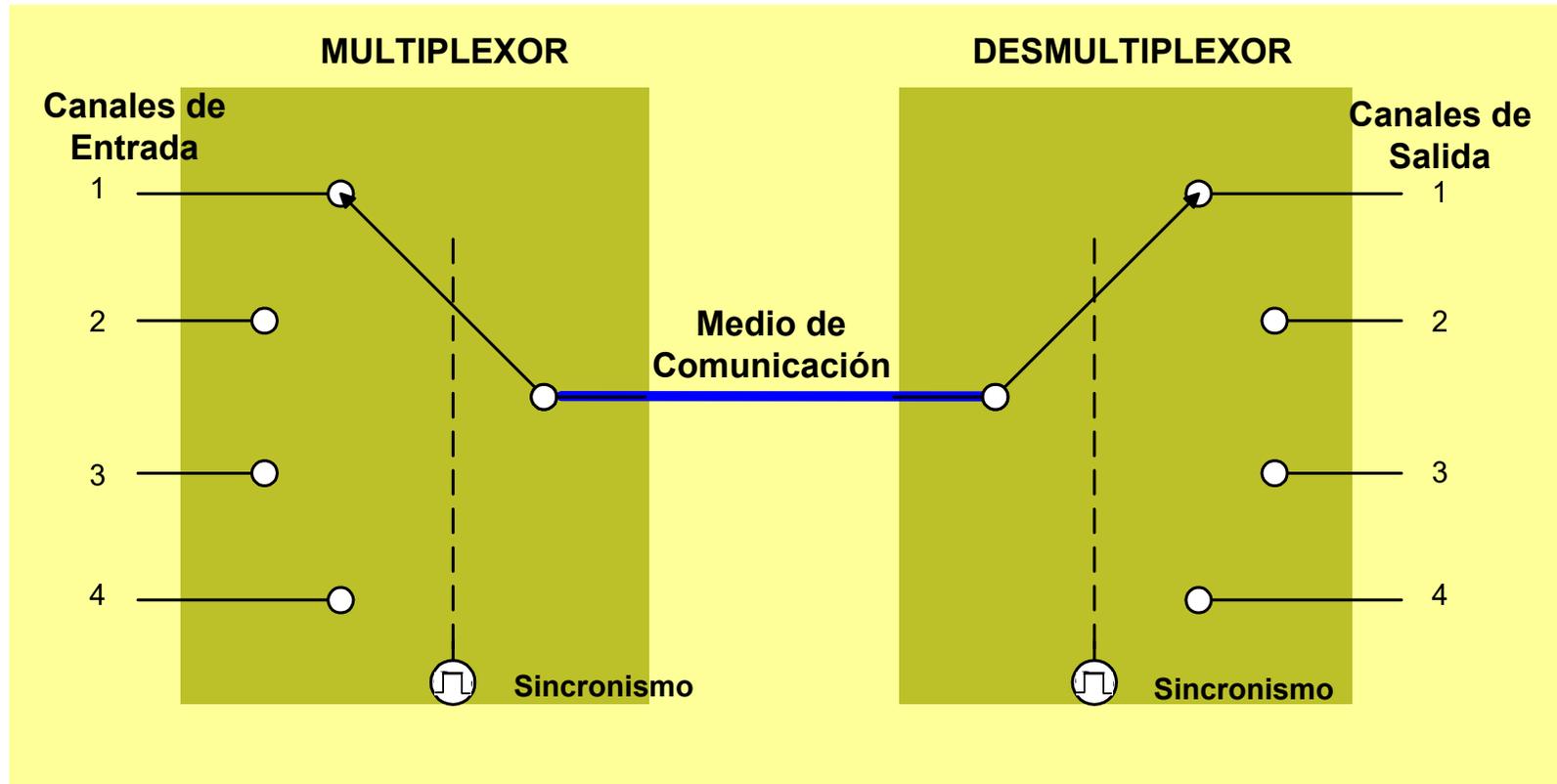
La señal analógica se muestrea cada  $T_s$  segundos.  
Referido a las  $T_s$  es el intervalo de muestreo.  
 $f_s = 1 / T_s$  se llama la frecuencia de muestreo

# MODULACION PAM

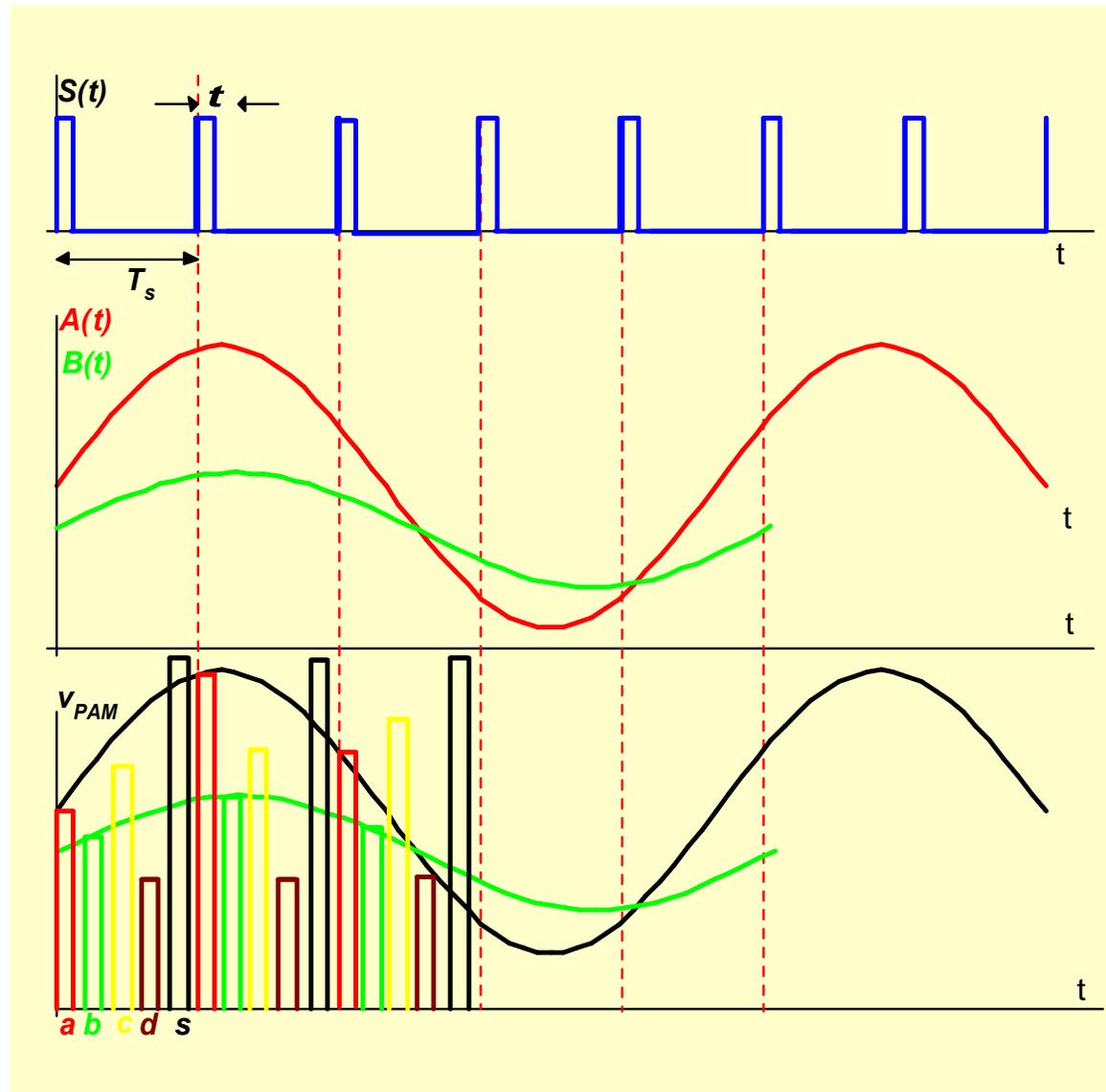
51



# TDM



# TDM - MODULACION PAM



# MODULACION PAM

## Ventajas de la modulación PAM

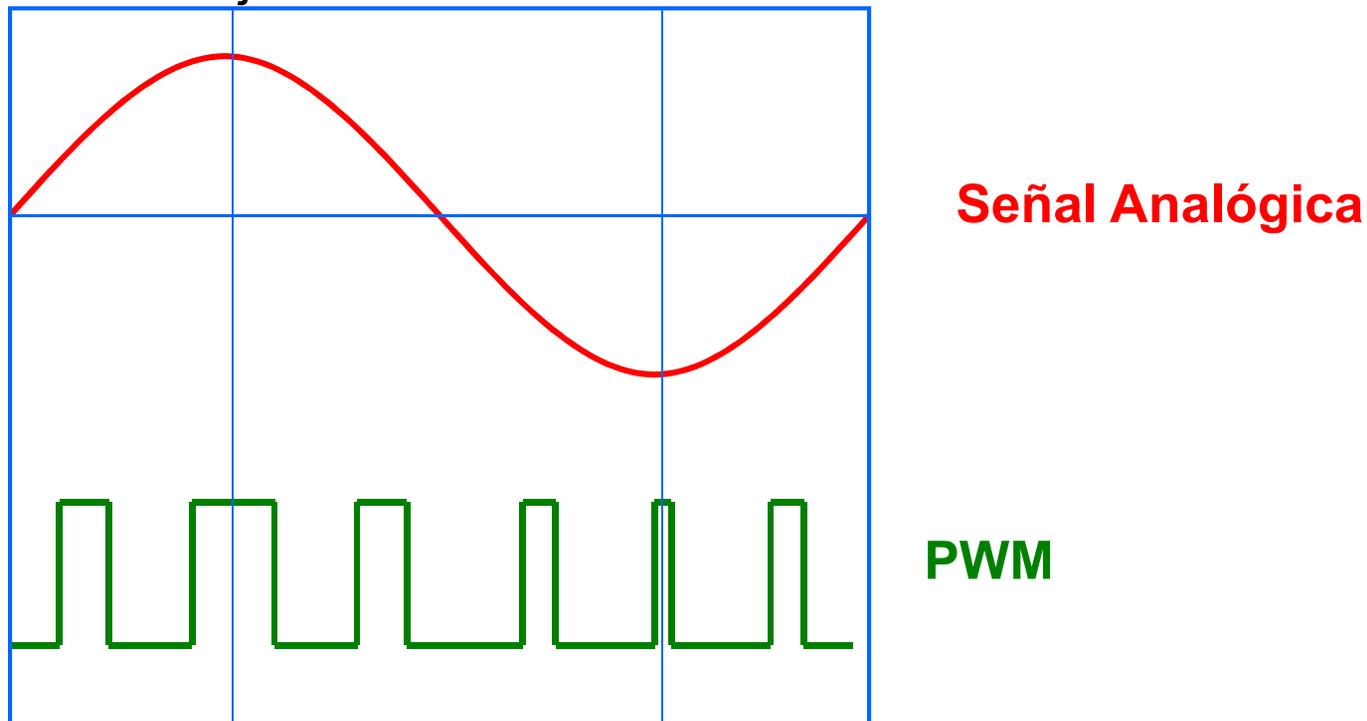
- Permite enviar más de un canal usando TDM

## Desventajas de la modulación PAM

- Mayor ancho de banda que la señal analógica.
- Sensible al ruido en forma similar a las señales de AM

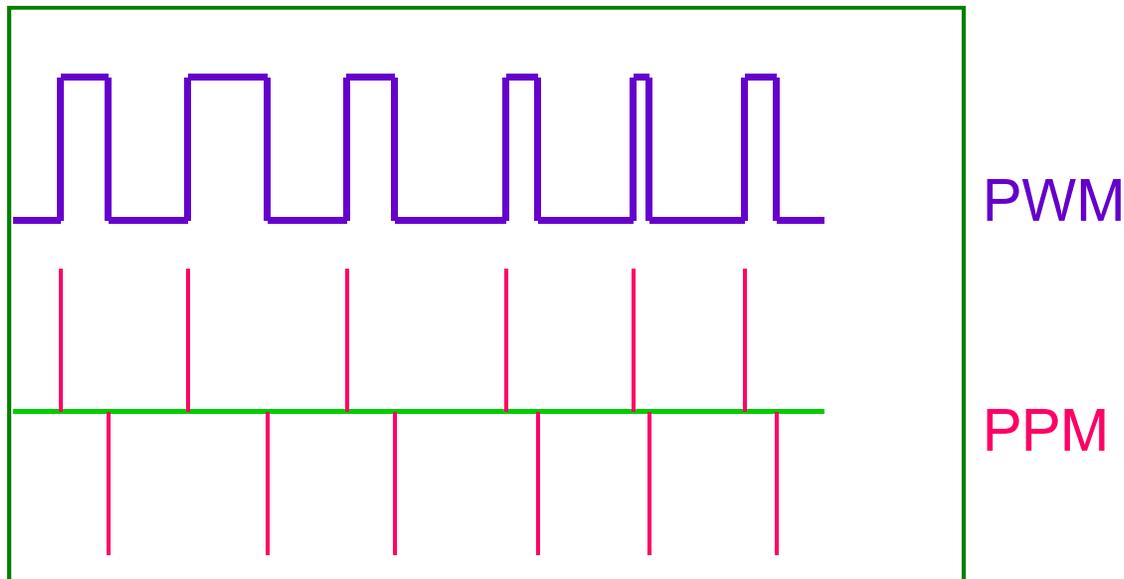
# MODULACION PWM

- En La modulación PWM, la amplitud se mantiene constante, pero el ancho de cada pulso es modulados de acuerdo con valor instantáneo de la señal analógica.
- Los pulsos inician siempre en un valor de referencia y terminan según los valores de amplitud de una señal de entrada  $f(t)$  en los instantes de muestreo.
- La parte negativa de la señal es expresado al lado positivo añadiendo una tensión de dc fija



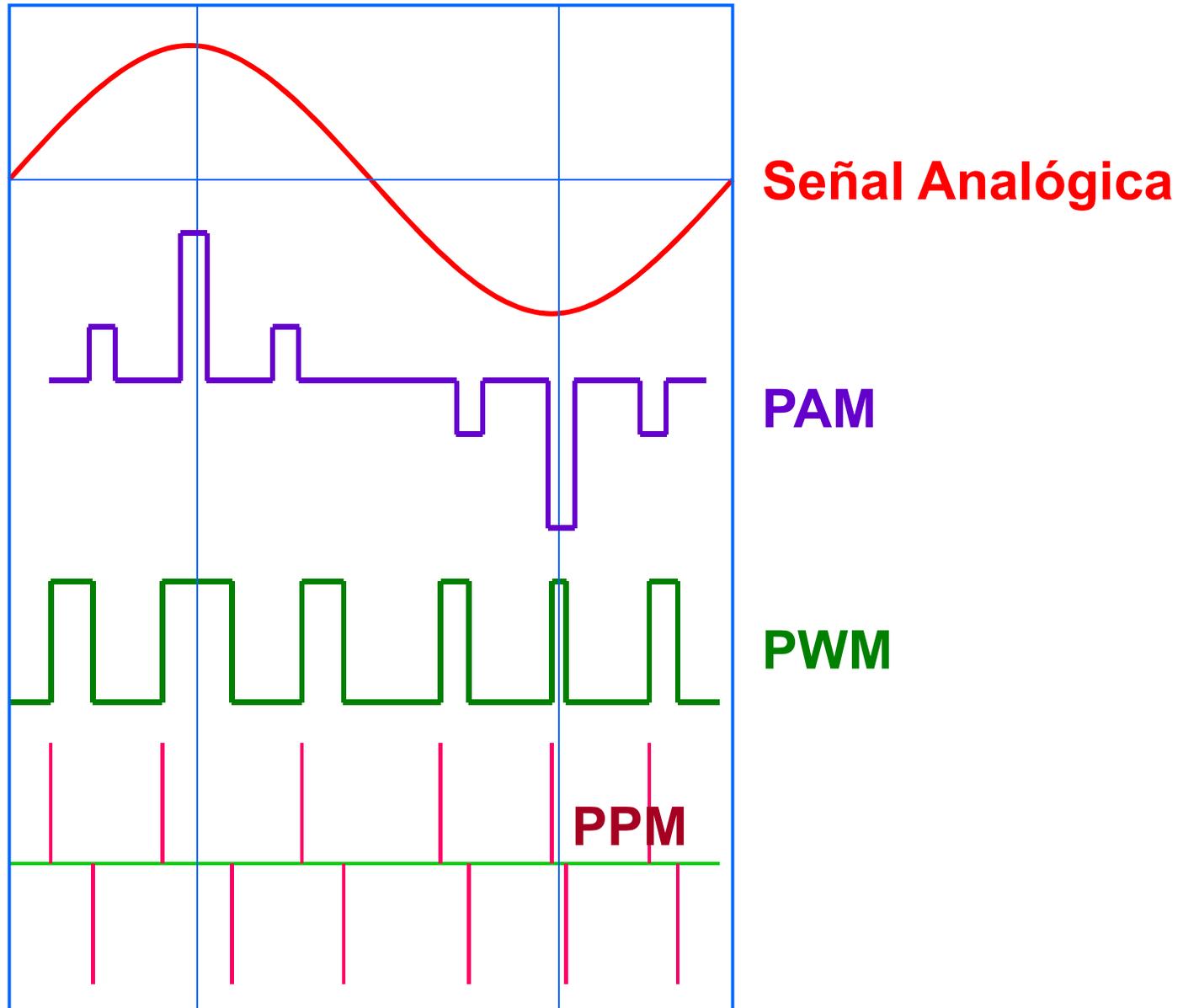
## MODULACION PPM

- La señal modulada mantiene la amplitud y el ancho de pulso constante a y varía su posición en proporción a los valores de amplitud de  $f(t)$  en los instantes de muestreo.
- Señal PPM es una nueva modificación de la señal PWM. Tiene delgadas pulsos positivos (equipo cero o anchura) correspondiente al borde a partir del pulso PWM y los pulsos negativos delgadas correspondiente al borde final de la pulso.



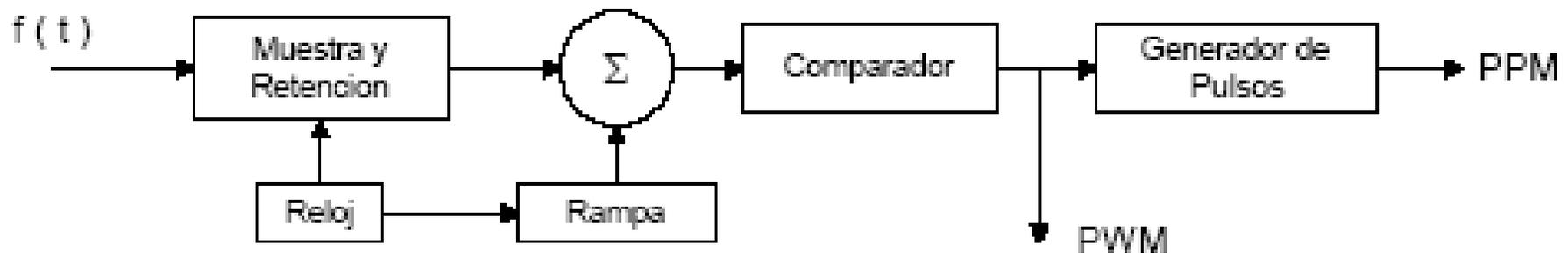
Esta onda puede modificarse adicionalmente por eliminación de todo los pulsos negativos. El resultado se llama PPM recortado.

# PAM – PWM - PPM



## Modulador de PPM

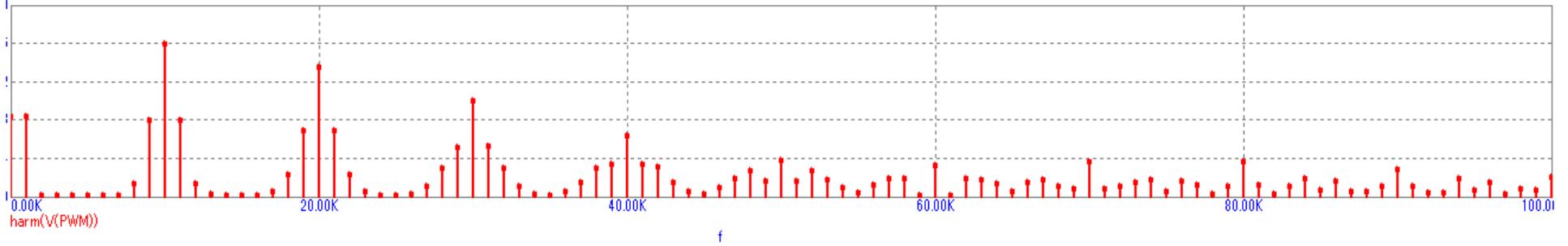
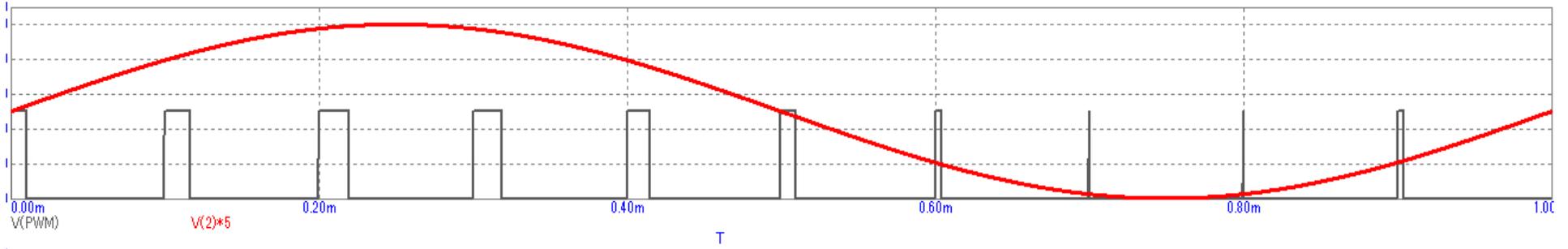
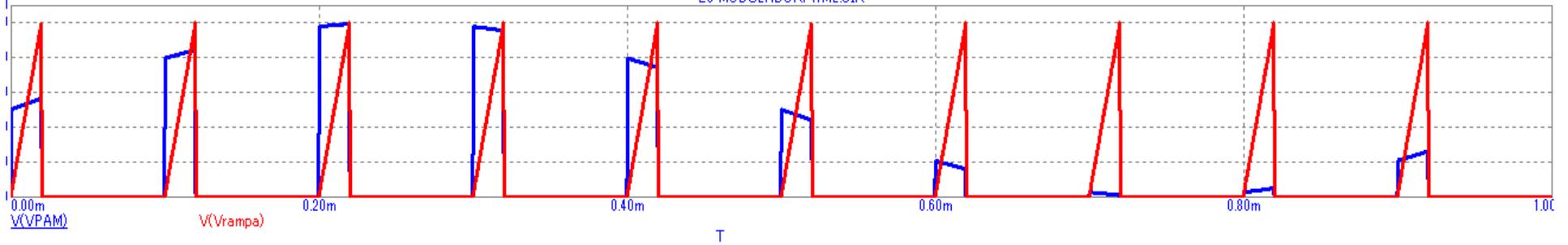
Para generar modulación de pulso tanto en ancho como en posición, pueden emplearse diversas combinaciones de un circuito de muestra y retención, un generador de rampa de precisión y un comparador; como se muestra en la figura



Las modulaciones (PAM, PPM, PWM) utilizan muestras discretas en el tiempo de señales analógicas. En estos casos, la transmisión está compuesta de información analógica enviada en tiempos discretos. Un refinamiento adicional es cuantificar la señal analógica muestreada en cierto número de niveles discretos. La modulación de código de pulsos PCM (pulse code modulation), no sólo cuantifica la señal, sino que utiliza un código para designar cada nivel en cada tiempo de muestra

# MODULACION PWM

E3 MODULADORPWM2.CIR



## MODULACION PCM

En este tipo de modulación primero se muestrea la señal usando PAM, luego se cuantifica. Posteriormente, la señal cuantificada, es codificada mediante un código para designar cada nivel en cada tiempo de muestreo, por lo cual recibe el nombre de Modulación de Código de Pulsos y se denota como PCM (Pulse Code Modulation).

Este tipo de modulación, sin duda la más utilizada de todas las modulaciones de pulsos es, básicamente, el método de conversión de señales analógicas a digitales (CAD).

Una señal analógica se caracteriza por el hecho de que su amplitud puede tomar cualquier valor entre un mínimo y un máximo, de forma continua.

Una señal PAM también puede tener cualquier valor, pero en intervalos discretos. Esto significa que el posible número de valores de amplitud es infinito.

La amplitud de una señal digital sólo puede tener un número finito de valores, por lo general dos (cero y uno).

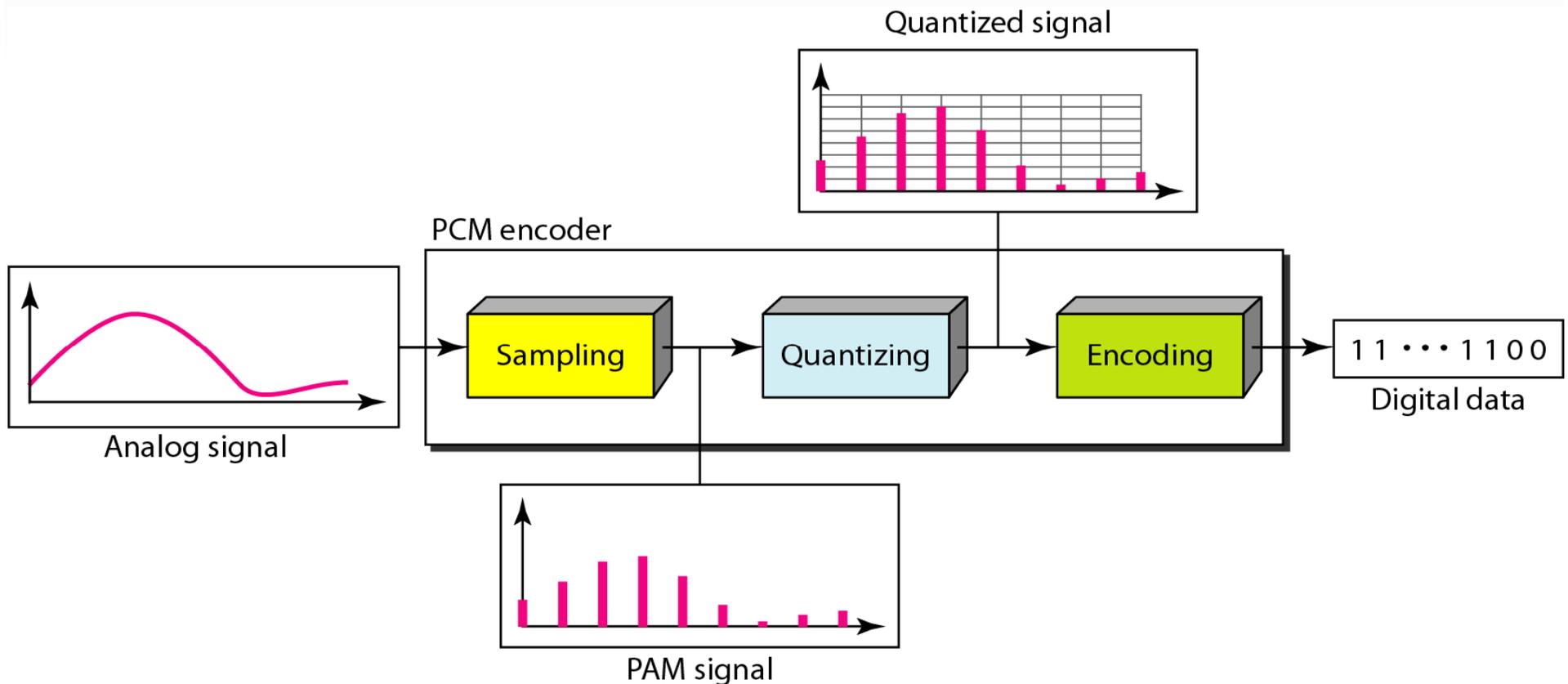
Una señal analógica puede convertirse a digital mediante un proceso de *muestreo y cuantificación*. El muestreo la convierte en una señal PAM, la cuantificación redondea el valor de la amplitud al número permisible más cercano, generalmente en el intervalo  $(0, 2^n)$  y lo codifica en un cierto número de bits.

Desde un punto de vista práctico, es deseable una señal binaria, que puede tomar sólo dos valores, por su simplicidad. Para ello, la señal cuantificada a niveles discretos entre 0 y  $2^n$  valores, puede codificarse mediante un símbolo de  $n$  bits, por lo que generalmente la cuantificación va seguida de un proceso de *codificación*.

El PCM consta de tres procesos :

- *Muestrear la señal de información (PAM)*
- *Cuantificar*
- *Codificar*

Antes del Muestreo se debe filtrar la señal para limitar la frecuencia



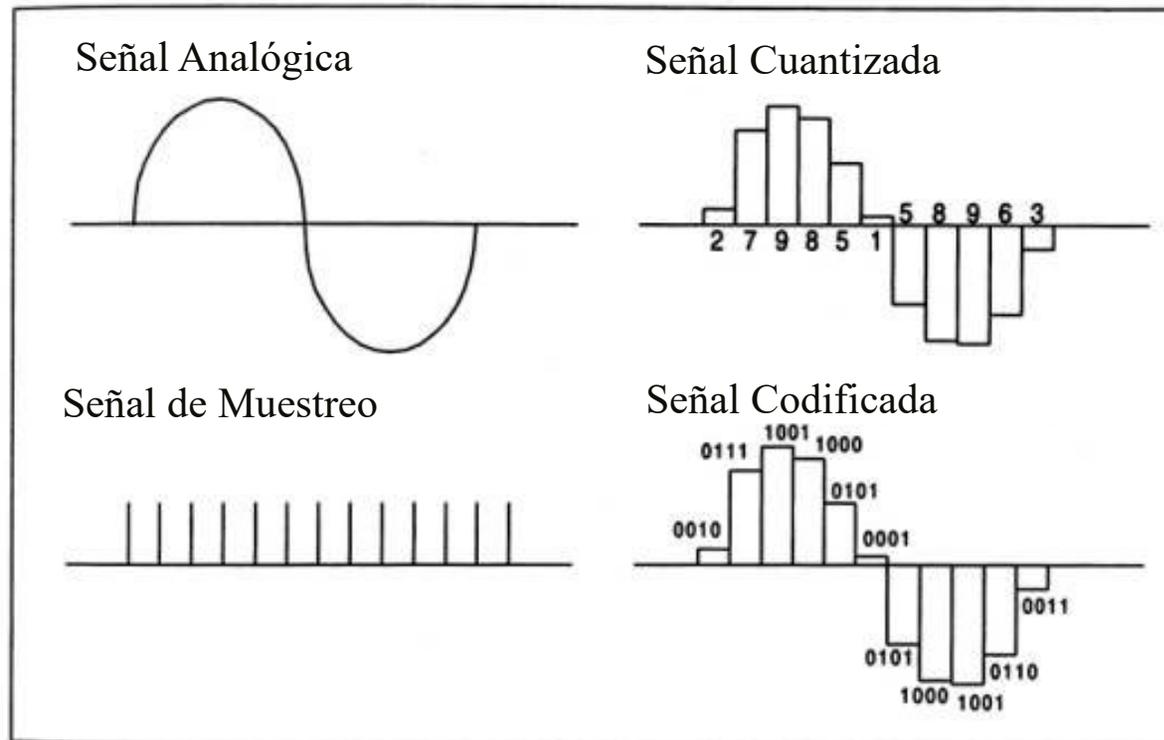
# MODULACION PCM

## Cuantificar:

En este proceso la señal analógica se divide en un determinado número de niveles.

Valores típicos: 8 bits señales de voz / 16 bits música de alta fidelidad.

El número de niveles resultantes es:  $N = 2^m$



## MODULACION PCM

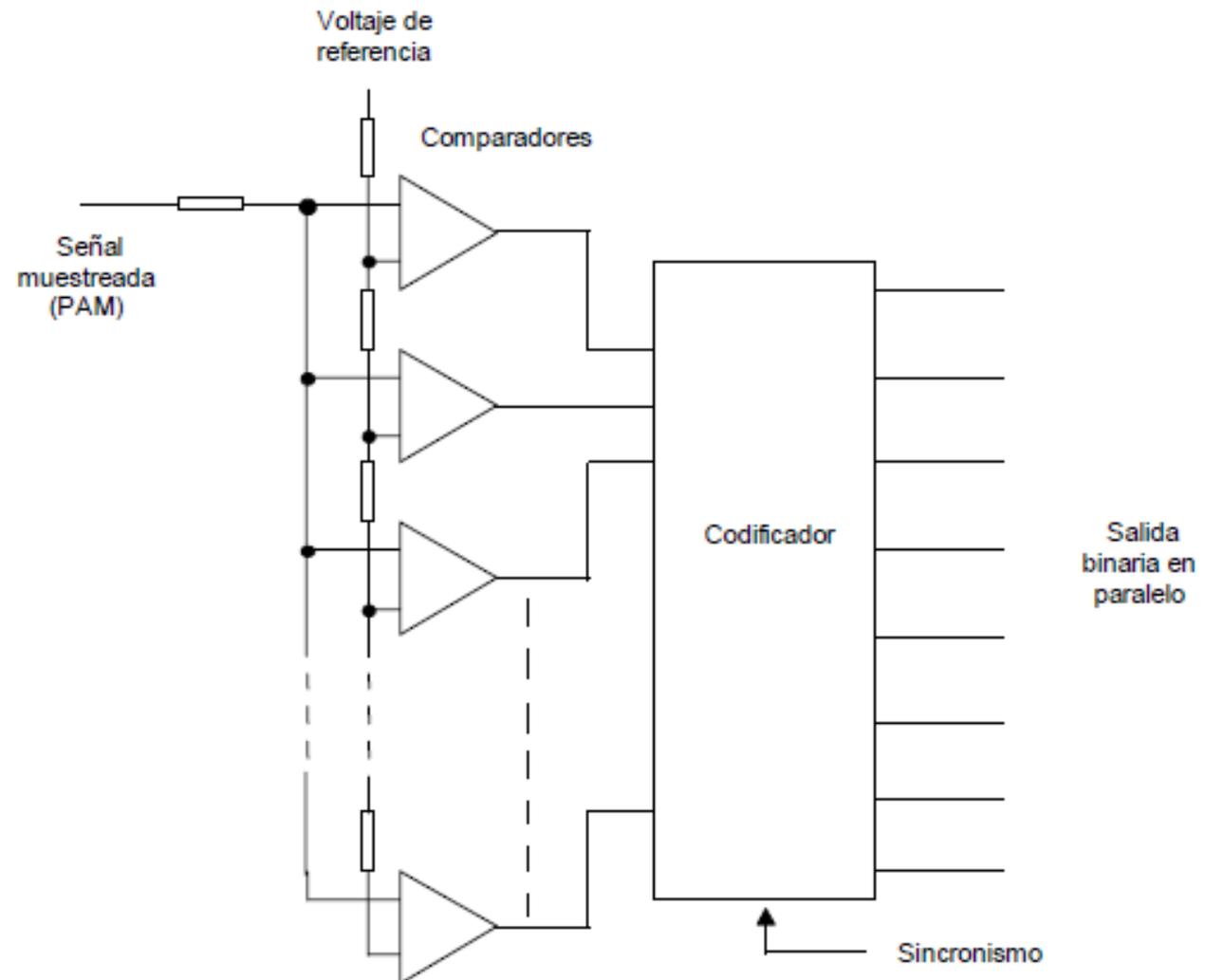
Si se hace corresponder un dígito a cada nivel de manera que exista correspondencia uno a uno entre los niveles y el conjunto de los enteros reales, se puede construir una tabla de valores para representar binariamente cada valor de la señal en cada uno de los intervalos de muestreo.

De esta manera se logra digitalizar una señal analógica

La señal original se compone de un grupo de valores continuos en el tiempo, para discretizarla se divide en un grupo finito de magnitudes discretas entre un límite superior y un límite inferior.

En consecuencia, una señal cuantizada es una aproximación de la señal analógica

## Cuantificación y codificación



Para cuantificar, la señal PAM se aplica a través de una cadena de divisores de tensión, a una serie de comparadores, cuyo número es igual al de niveles de cuantificación y que compara contra una tensión de referencia, aplicada a un divisor de tensión, con tantas resistencias como niveles de cuantificación haya. Así por ejemplo, para codificación a 8 bits se requieren  $2^8 = 256$  niveles de cuantificación y, por tanto 256 comparadores.

Debido a los divisores de tensión, tanto para la señal como para la tensión de referencia, las tensiones serán coincidentes a la entrada de uno solo de los comparadores de la cadena, el cual producirá una salida "1", en tanto que todos los restantes tendrán salida "0", y corresponderá al nivel de cuantificación de la señal de entrada.

Las salidas de los comparadores se aplican a un conversor de código con 256 entradas y 8 salidas, de modo que a la salida del codificador se tendrá una palabra o símbolo de 8 bits *en paralelo*, correspondiente al nivel de cuantificación en el punto de muestreo de la señal de entrada. Mediante un registro de desplazamiento de entrada en paralelo y salida en serie, se convierte a una secuencia de bits en serie.

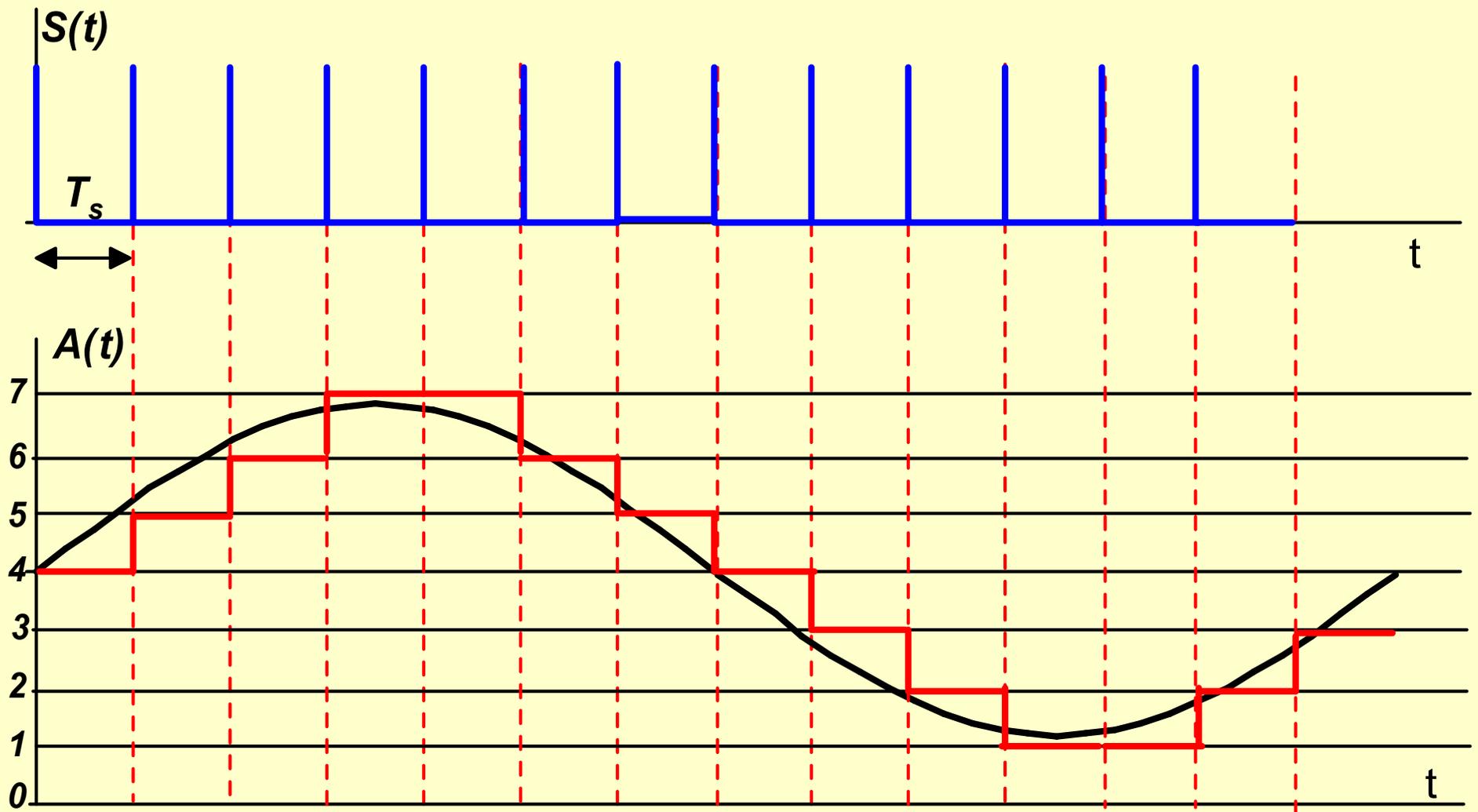
Todo el proceso anterior requiere de sincronismo preciso que debe ser proporcionado por un reloj maestro, de modo que la señal de salida del codificador sea perfectamente identificable en el tiempo.

Las señales que resultan se denominan cuantizadas. El proceso de cuantificación introduce algunos errores durante la reproducción final de la señal, ya que la señal demodulada diferirá algo de la señal original. Las diferencias entre los niveles de las señales analógicas y cuantificadas conducen a una incertidumbre que se conoce como RUIDO DE CUANTIFICACION.

El efecto total es como si se hubiera agregado un ruido adicional al sistema.

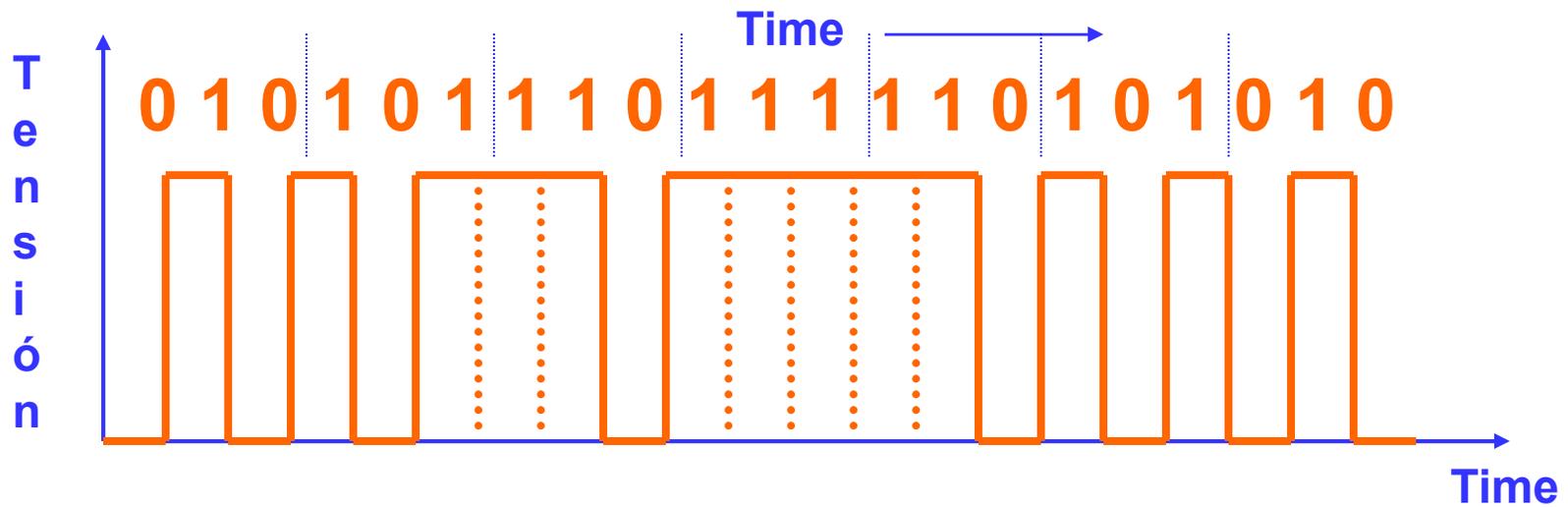
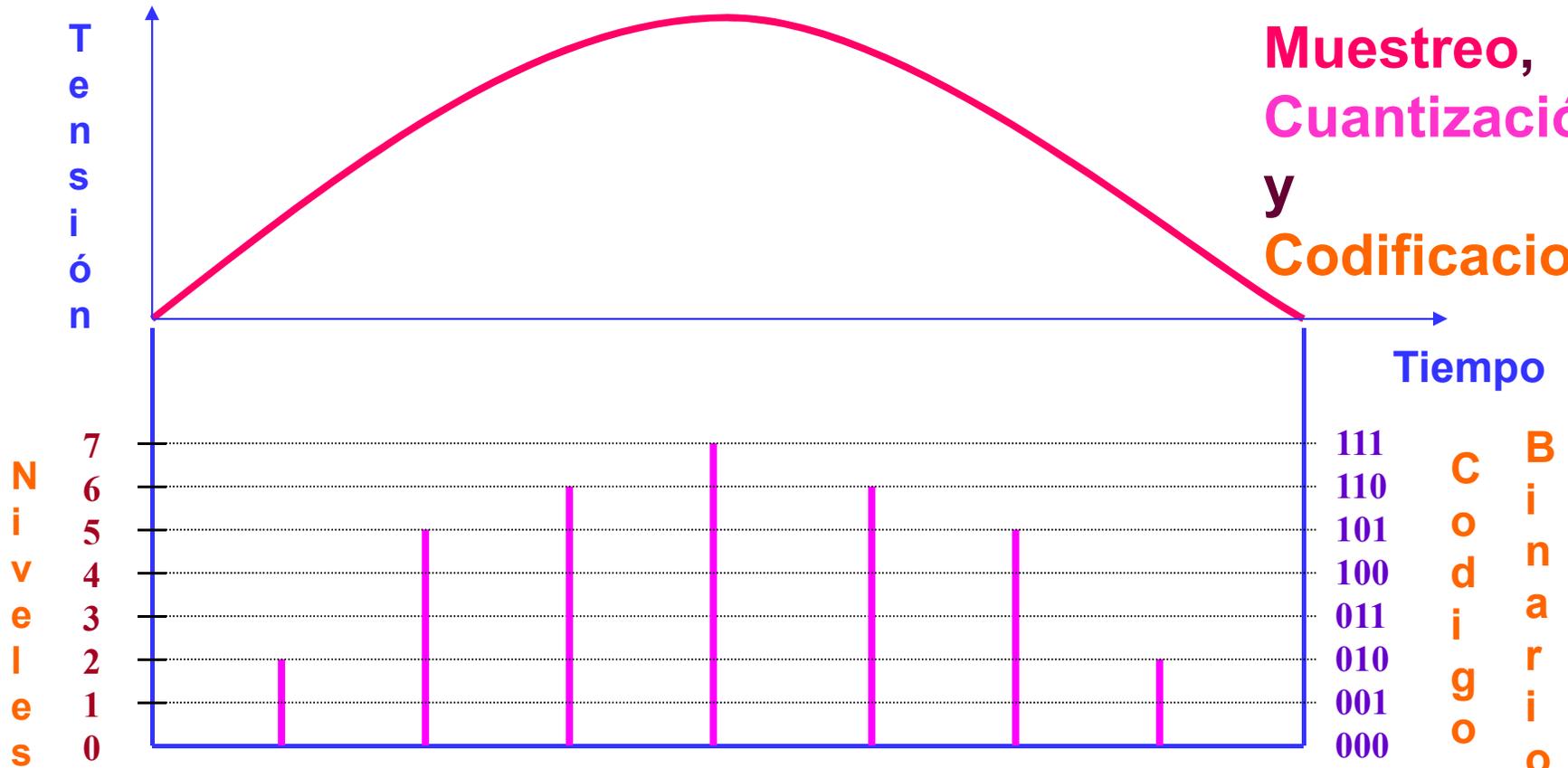
El ruido de cuantificación se reduce, disminuyendo la separación de niveles o sea aumentando el número de niveles  $M$  empleados

# CUANTIFICAR



$$N = 2^3 = 8$$

# Muestreo, Cuantización y Codificación



## ***Velocidad de PCM de la línea***

La velocidad de la línea es la frecuencia con que los bits PCM serie salen o son entregados sincrónicamente por el transmisor a la línea de transmisión.

También la frecuencia con la que los bits PCM se sacan sincronizados de la línea de transmisión y son entregados al receptor.

En forma matemática:

$$\text{velocidad de la línea} = \frac{\text{muestras}}{\text{segundo}} \times \frac{\text{bits}}{\text{muestra}}$$

## Ancho de banda de PCM

Cada nivel de PAM puede ser representado por un código de  $n$  bits, dando como resultado  $M$  niveles diferentes, con  $M=2^n$  según el teorema de muestreo y se pueden representar cada  $T_s$ . La frecuencia de muestreo  $f_s$  se determina por:

$$f_s = \frac{1}{T_s} \quad f_s \geq 2B$$

La tasa de bits se puede determinar por:

$$R = nf_s$$

Para condiciones de transmisión sin aliasing, el ancho de banda se puede estimar por:

$$AB_{PCM} \geq \frac{1}{2}R$$

Finalmente:

$$AB_{PCM} \geq \frac{1}{2}nf_s$$

El ancho de Banda es directamente proporcional al número de bits

# Modulador de PCM

72

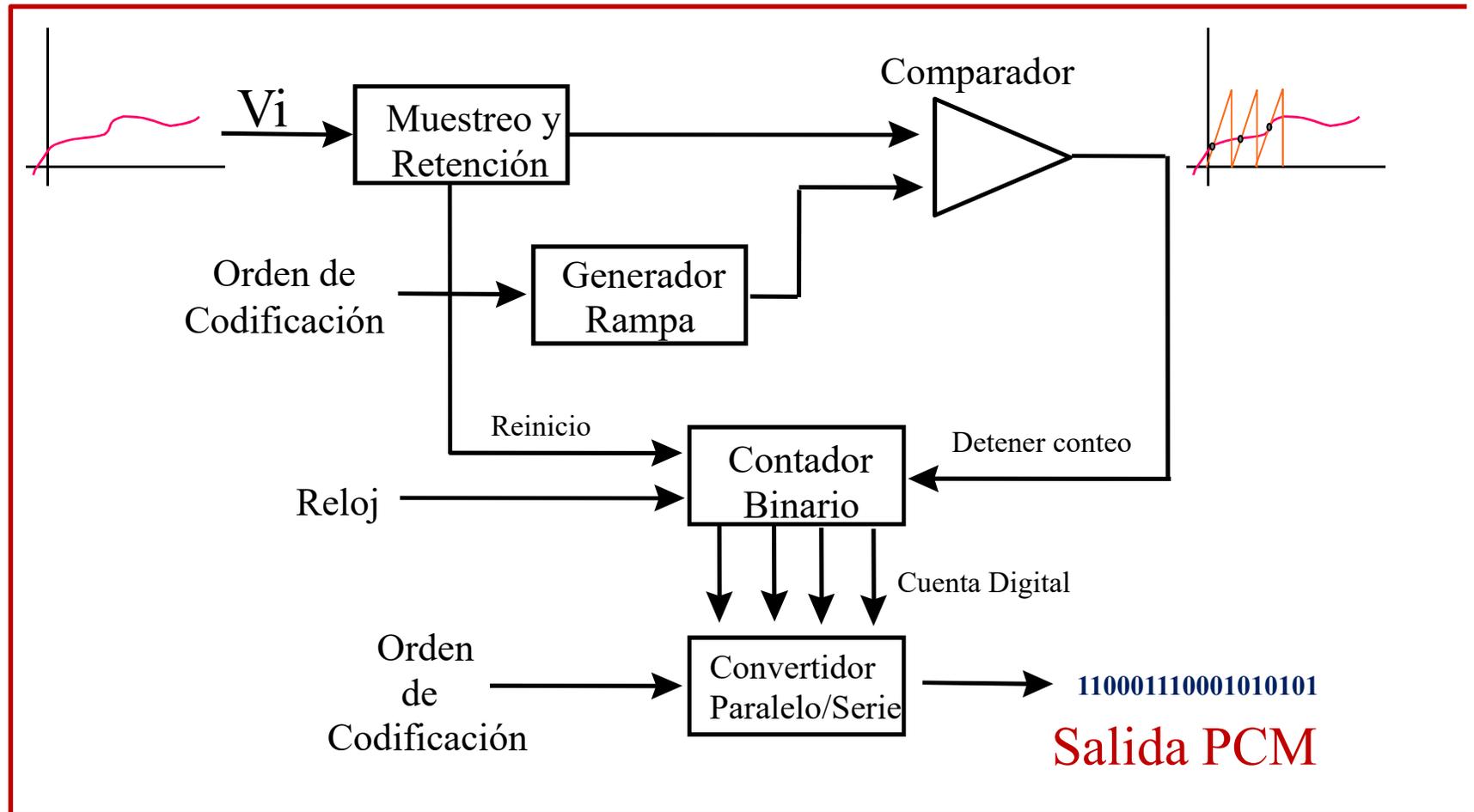


Diagrama de bloques de un generador de PCM utilizando el codificador de rampa

# Decodificador de PCM

73

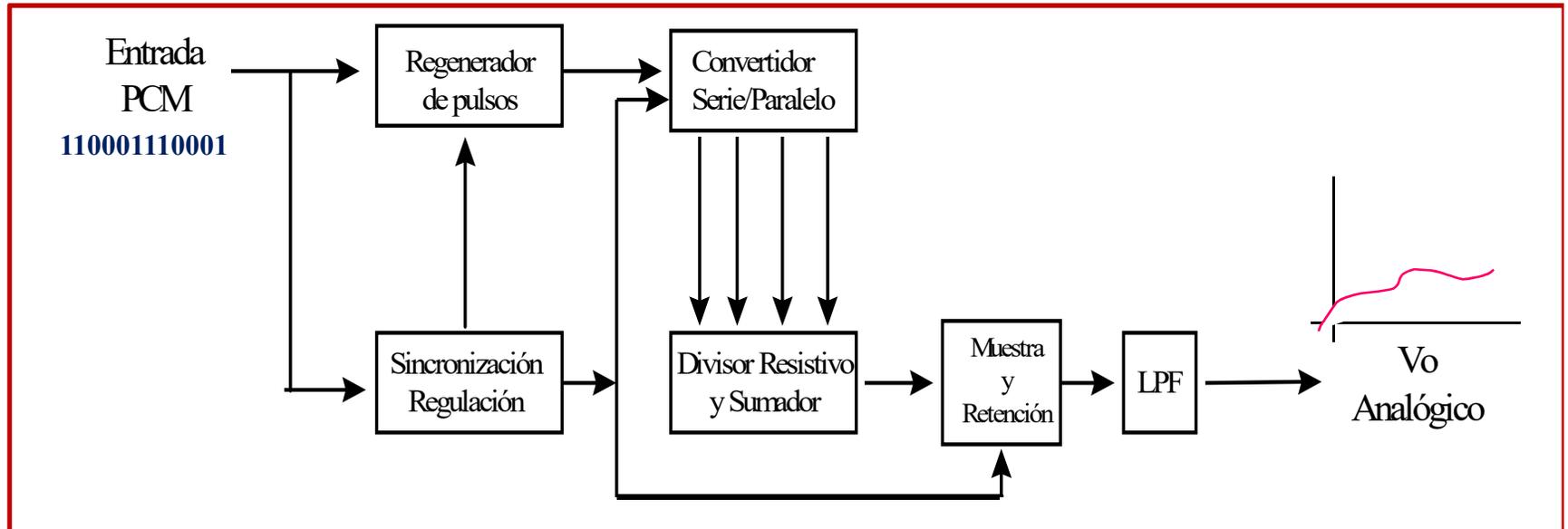


Diagrama de bloques de un receptor de PCM

# Ventajas de los sistemas PCM

Algunas de sus ventajas más importantes son:

- Robustez ante el ruido e interferencia en el canal de comunicaciones.
- Regeneración eficiente de la señal codificada a lo largo de la trayectoria de transmisión.
- Formato uniforme de transmisión para diferentes clases de señales en banda base, lo que permite integrarlas con otras formas de datos digitales en un canal común mediante el multiplexado en tiempo.
- Facilidad de encriptar la información para su transmisión segura.

El precio a pagar por las ventajas anteriores es:

- Mayor costo y complejidad del sistema
- Mayor ancho de banda necesario.

Respecto a la complejidad, la tecnología actual de circuitos integrados en gran escala (VLSI) ha permitido la implementación de sistemas a, relativamente bajo costo y facilitado el crecimiento de este método o de sus variantes.