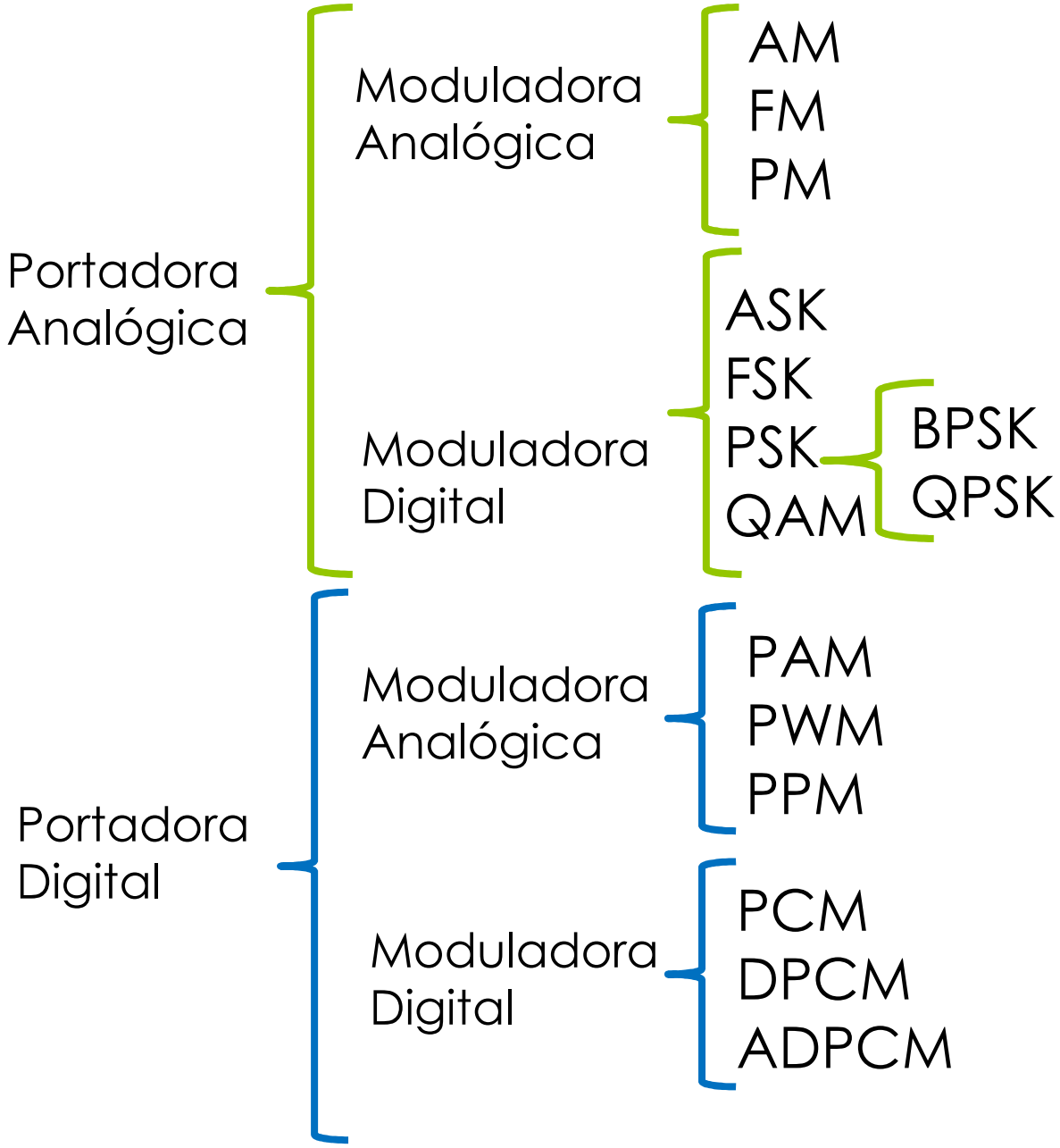
MODULACIONES ESPECIALES

TIPOS DE MODULACIONES

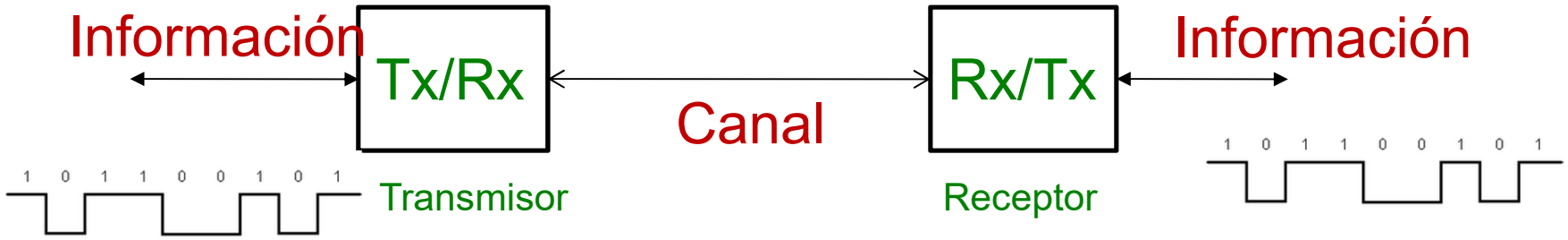


Ventajas – Sistemas Digitales

- 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

Modulación de señales digitales

Un sistema de comunicación DIGITAL puede ser representado:

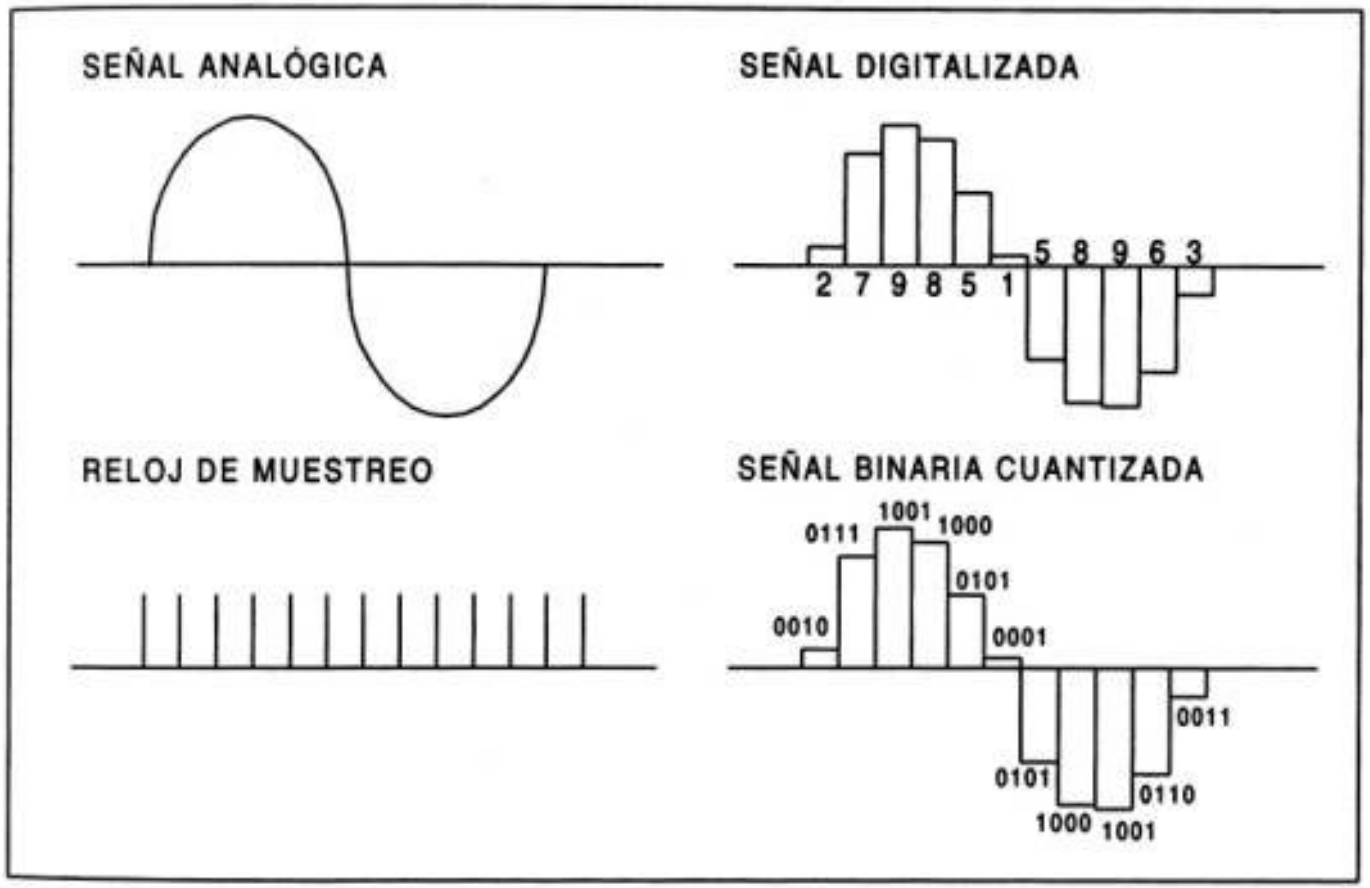


En los sistemas de comunicaciones digitales, la naturaleza de la información a transmitir es digital.

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.

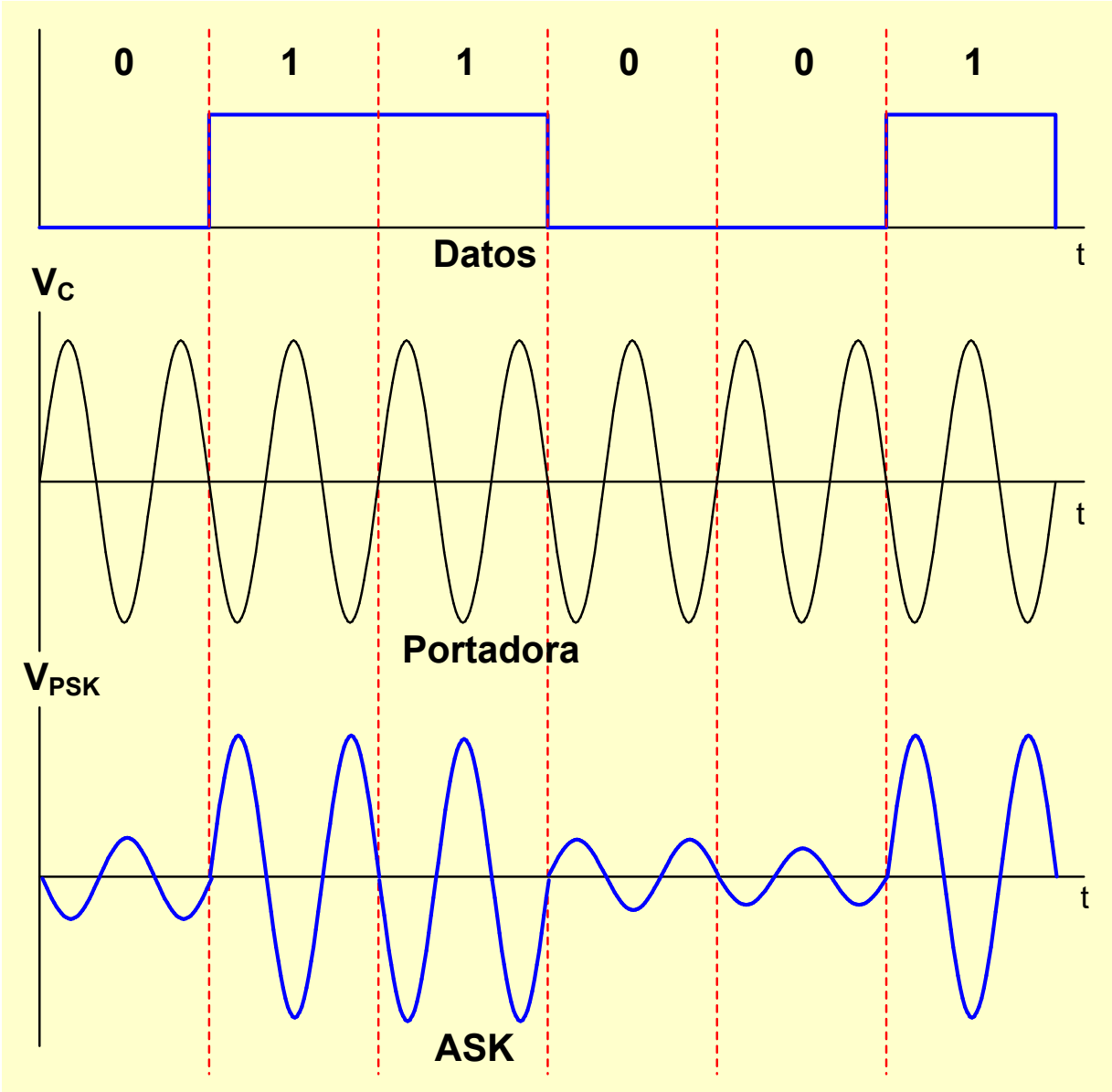
En la actualidad, resulta más conveniente el trabajo con las señales analógicas, una vez que éstas están en formato digital.

Modulación de señales digitales



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

Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK



Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK

- 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.
- El nivel de amplitud puede ser usado para representar los valores binarios 0 y 1.
- Se puede pensar en la señal portadora como un interruptor ON/OFF, también se la llama OOK (On-Off Keying).
- 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.

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

Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK- OOK

- La Señal modulada puede escribirse:

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

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

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

La señal modulada tiene la misma amplitud de la portadora

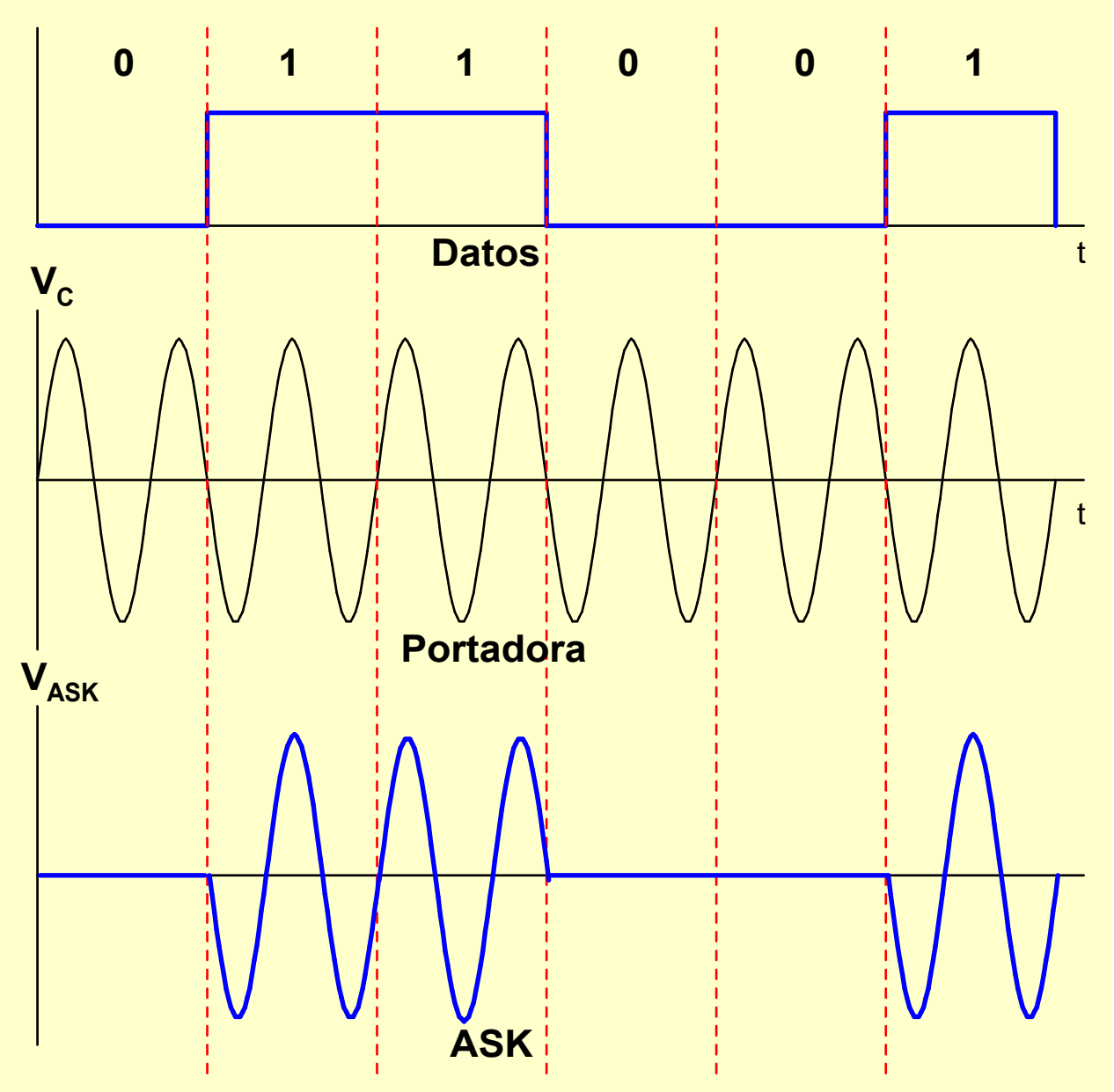
Para una entrada binaria igual a CERO lógico, la salida modulada será:

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

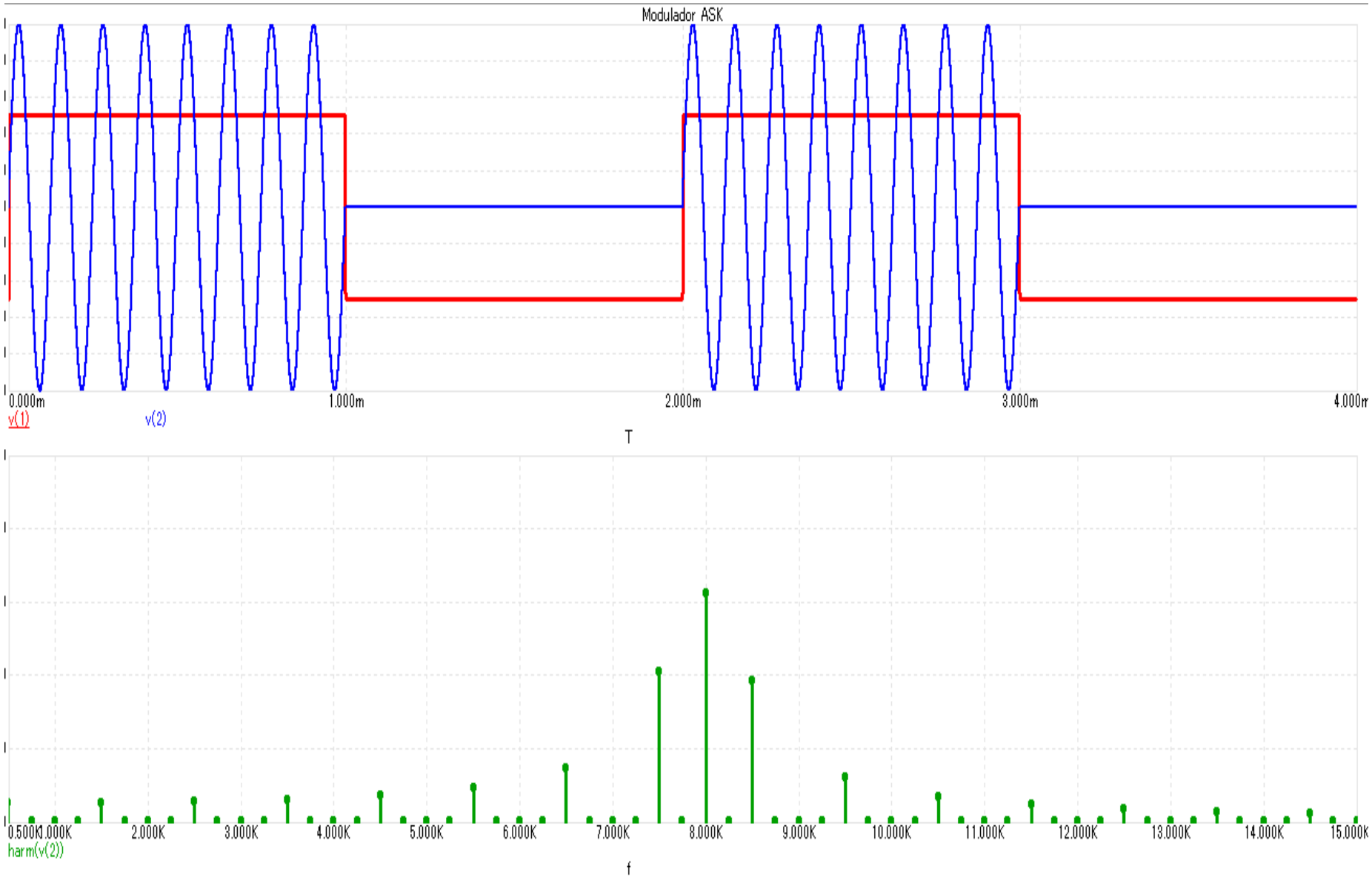
La señal modulada tiene amplitud de la portadora igual a cero

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.

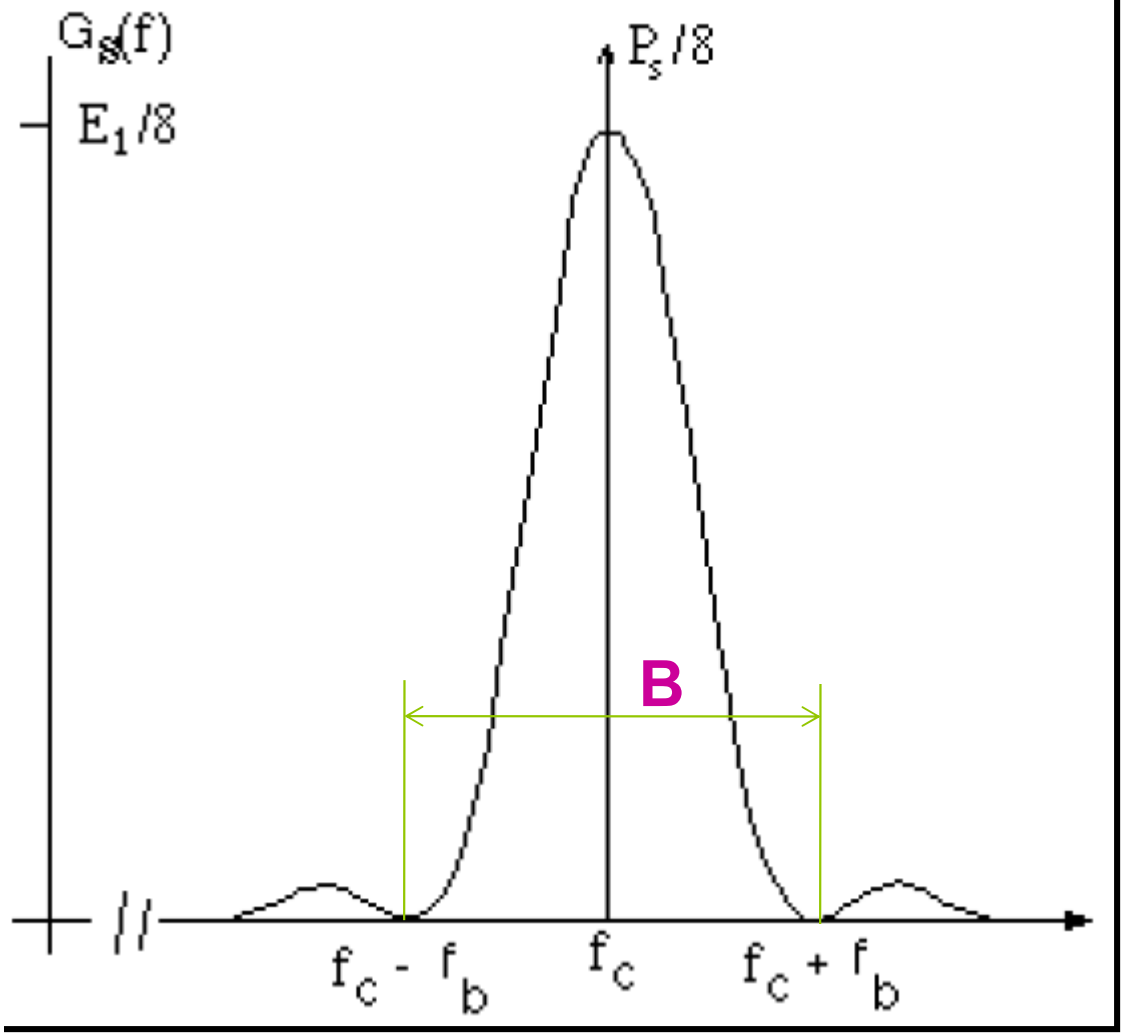
Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK- OOK



Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK- OOK



Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK- OOK



$$AB = (f + f_c) - (f - f_c)$$
$$AB = f + f_b - f + f_b = 2f_b$$

Espectro de una Señal ASK

El ancho de banda práctico es: $AB = 2f_b$

el cual es el doble del requerido en transmisión banda base. Con:

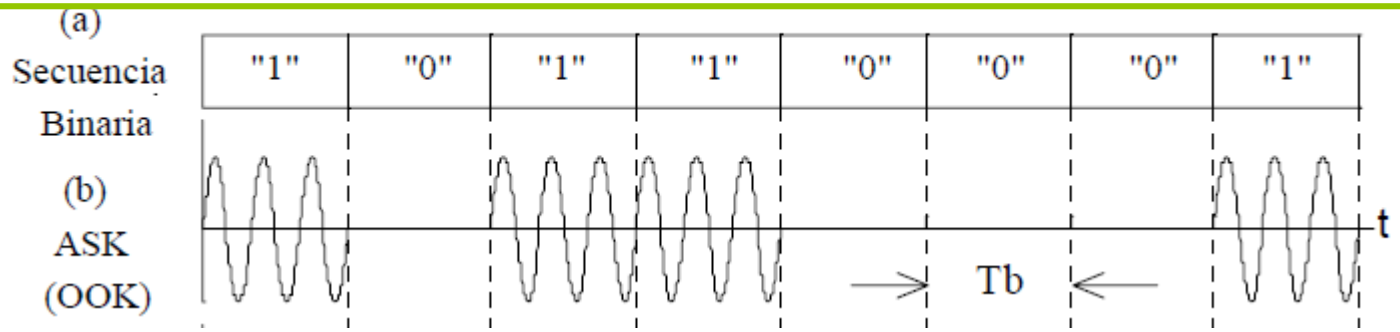
$$f_b = 1/t_b$$

se elige f_c mucho mayor que f_b,

$$f_C \gg f_b = \frac{1}{T_b}$$

t_b = tiempo de duración de un bit

Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK- OOK



$$AB = 2f_b$$

$$f_C \gg f_b = \frac{1}{T_b}$$

T_b es el intervalo de señalización

f_b es la frecuencia de señalización, la cual es igual numéricamente a la velocidad de modulación $V_b = 1/T_b$, expresada en baudios.

Este valor de AB será utilizado en:

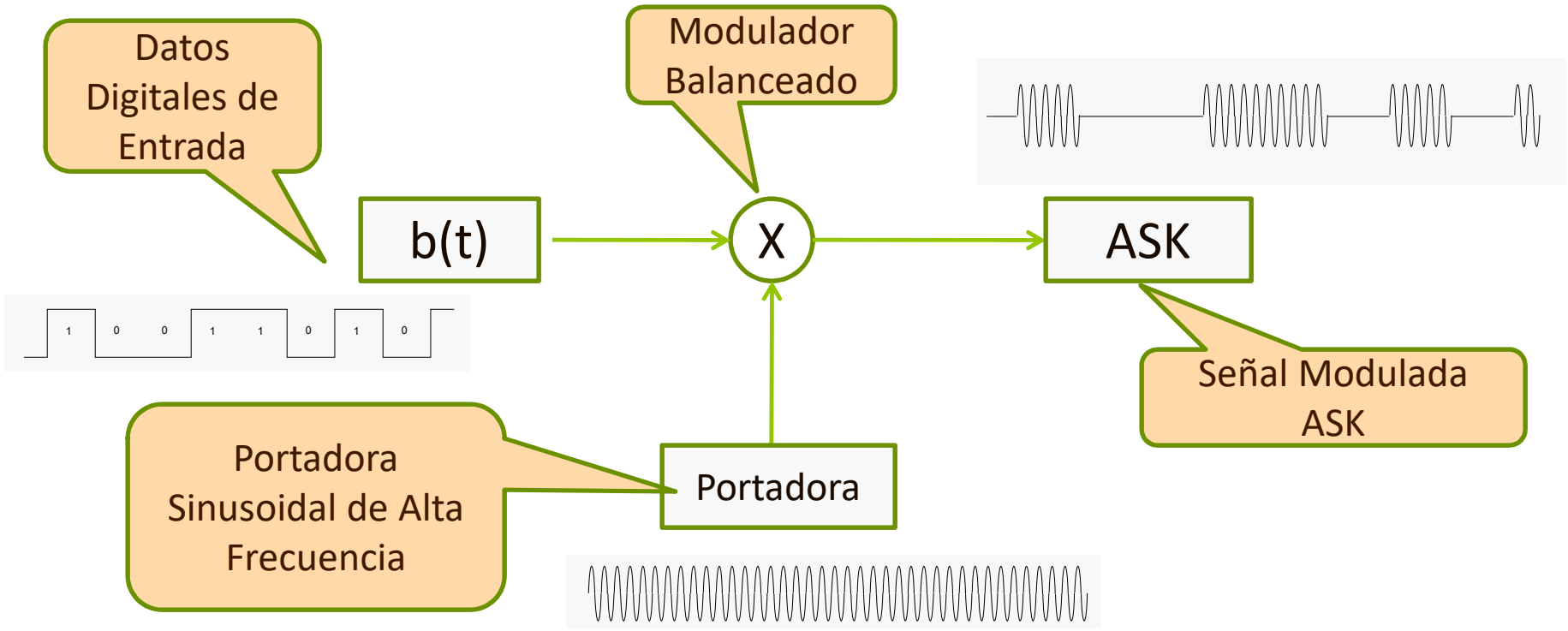
- El ancho de banda del filtro pasabanda de entrada al receptor
- El ancho de banda mínimo del canal de transmisión
- En los cálculos de la Relación Señal/Ruido (S/N).

Se puede demostrar que la potencia contenida dentro del ancho de banda AB es el 95% de la potencia total de la señal ASK, y que la mitad de esa potencia se consume en la transmisión de la portadora.

Los sistemas ASK son sistemas de doble banda lateral y por lo tanto no son muy eficientes en cuanto a ancho de banda y consumo de potencia.

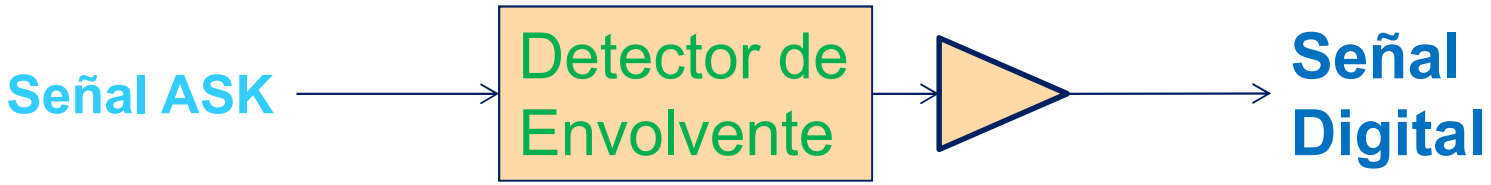
Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK- OOK

- **Modulador ASK: Diagrama de Bloques**



Modulación por desplazamiento de amplitud- ASK- OOK

- **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 envolvente, luego se amplifica la señal detectada para obtener el nivel adecuado.
Pueden existir otras etapas para recomponer la señal (duración, amplitud, etc).

Modulación por desplazamiento de amplitud- Usos del ASK

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 tele-comandados.

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 ser llaveros.

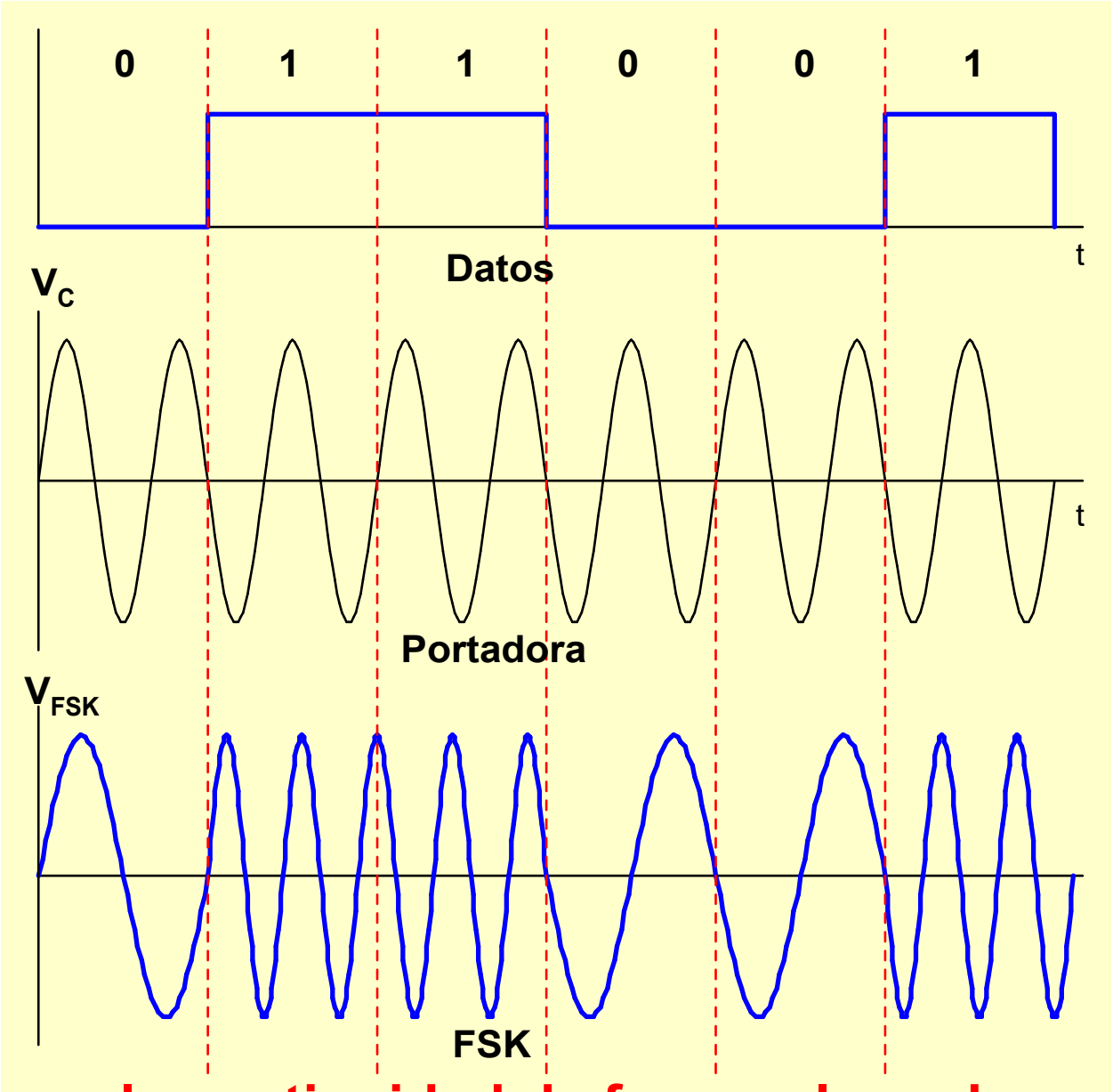
Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

- 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.

- Si la fase de la señal FSK es continua, es decir entre un bit y el siguiente la fase de la sinusoide 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 fb.

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 sinusoide de frecuencia f_m (marca) si se transmite un UNO y un sinusoide 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:

$$v_{FSK}(t) = ACos\left(\omega_c t + b(t)\Delta\right)$$

La continuidad de la fase se logra cuando

$$\left(\omega_c + \Delta\right)t_b = n\pi \quad n\ par$$

$$\left(\omega_c - \Delta\right)t_b = m\pi \quad m\ par$$

donde : Δ 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:

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

f_b es la velocidad de transmisión de los bits

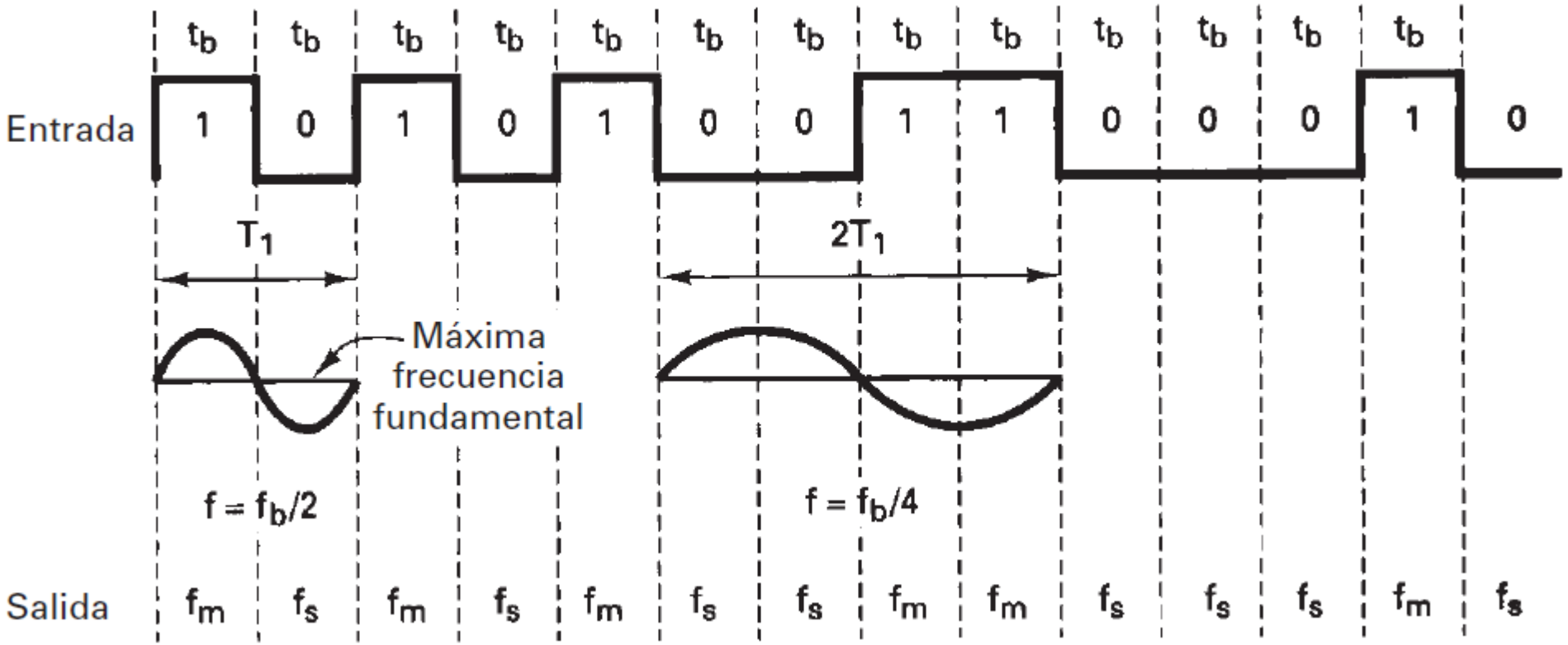
El índice de modulación MI para la modulación FSK se obtiene a través de la ecuación

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

Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

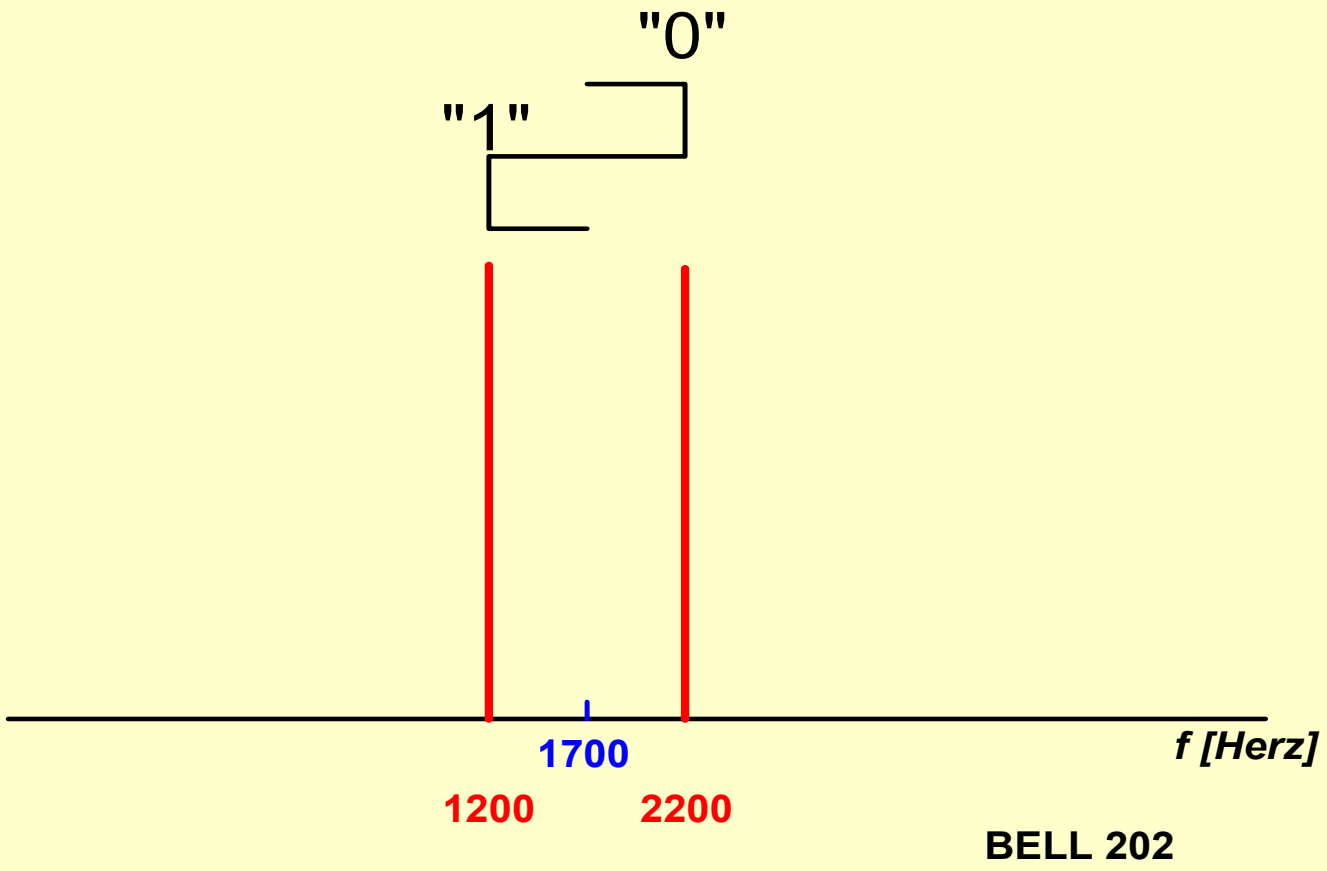
Se ha considerado que la frecuencia portadora está en el punto medio de la desviación de frecuencia y que la desviación de frecuencia pico está en radianes, es decir:

$$f_A + f_B = 2f_c \quad y \quad \Delta = \pi(f_A - f_B)$$



Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

Desviación de frecuencia en modulación FSK



1 binario

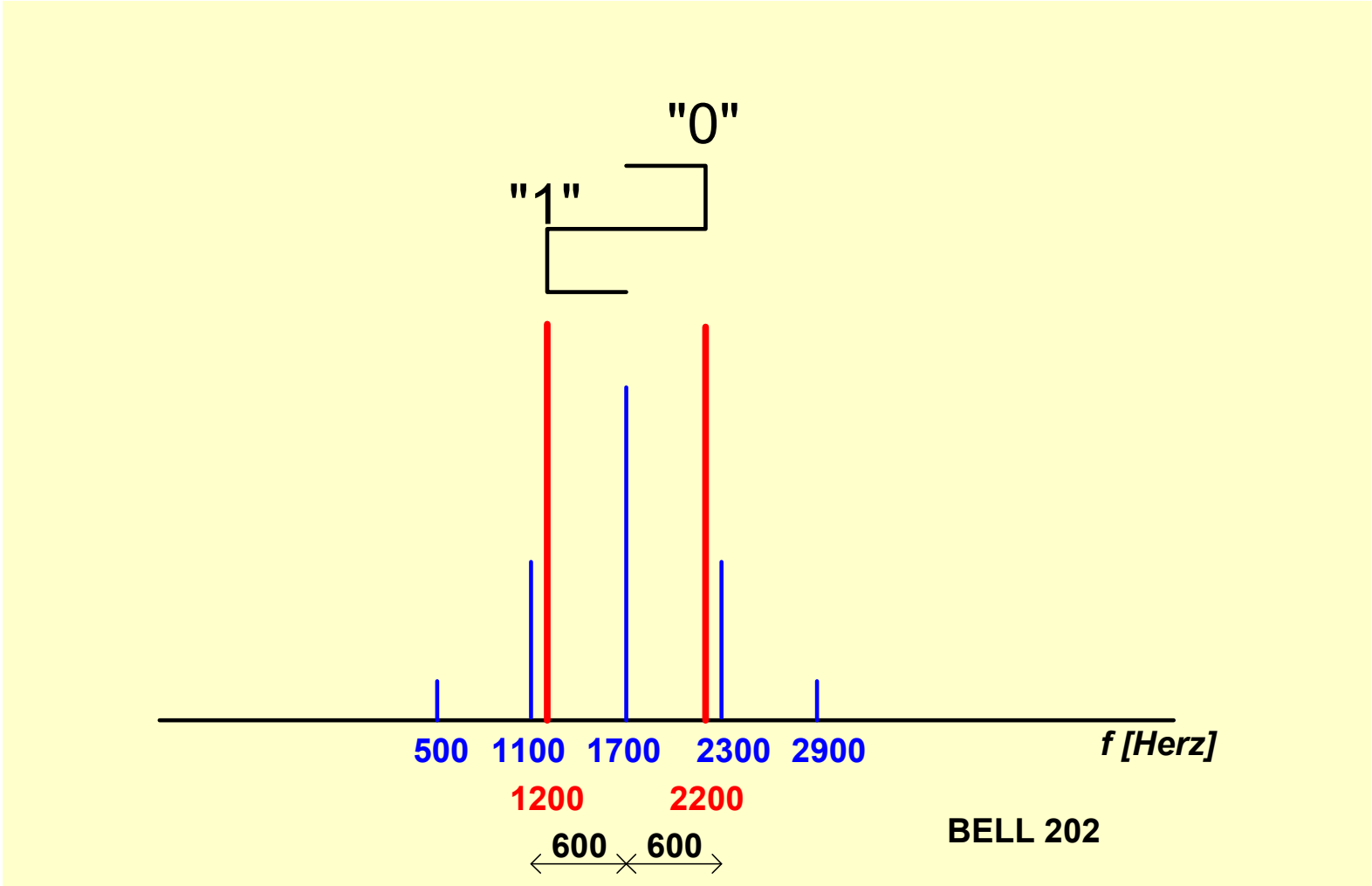
$$s(t) = A\cos(2\pi f_1 t)$$

0 binario

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

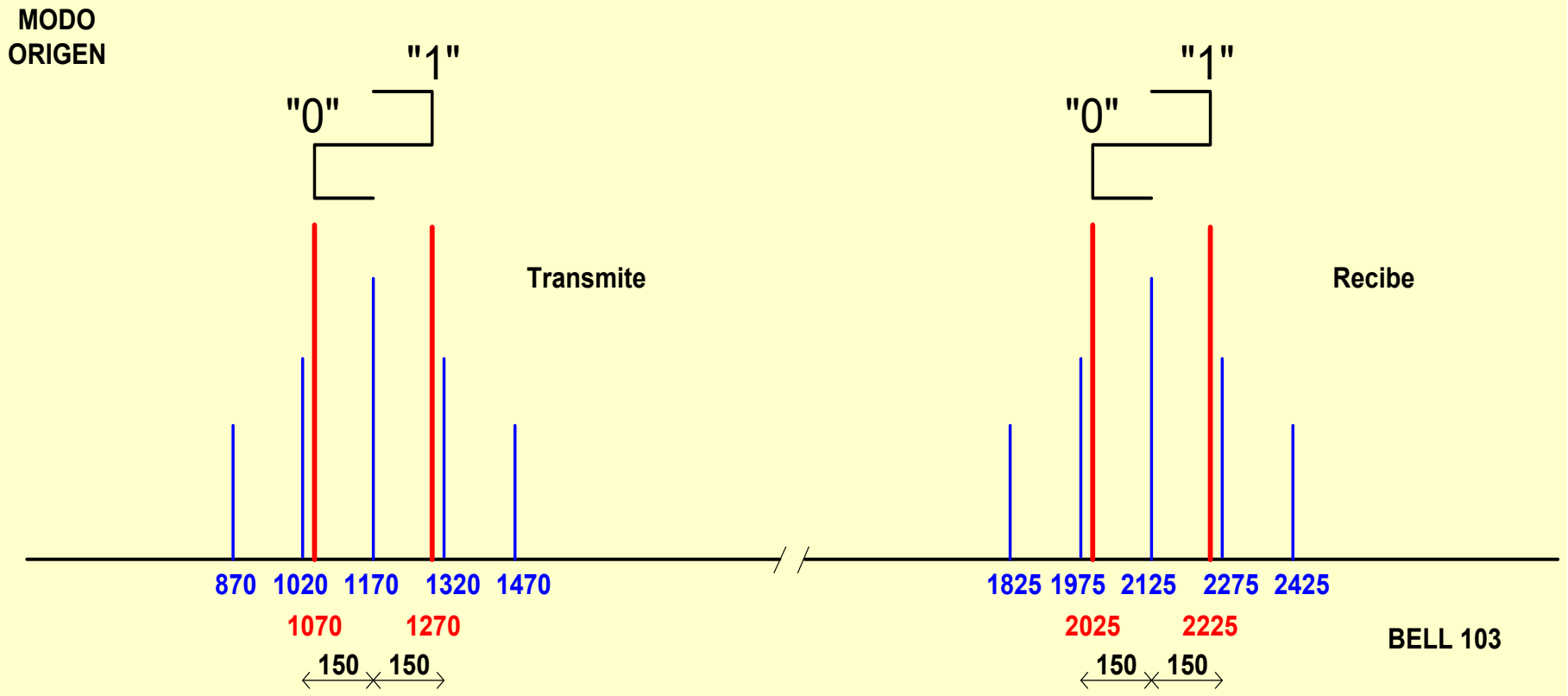
Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

Espectro de **Modulación** FSK



Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

Espectro de Modulación FSK



Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

Límites para la modulación FSK en un canal telefónico

$AB = 2f_b$ $\qquad\qquad$ $f_b = AB/2$

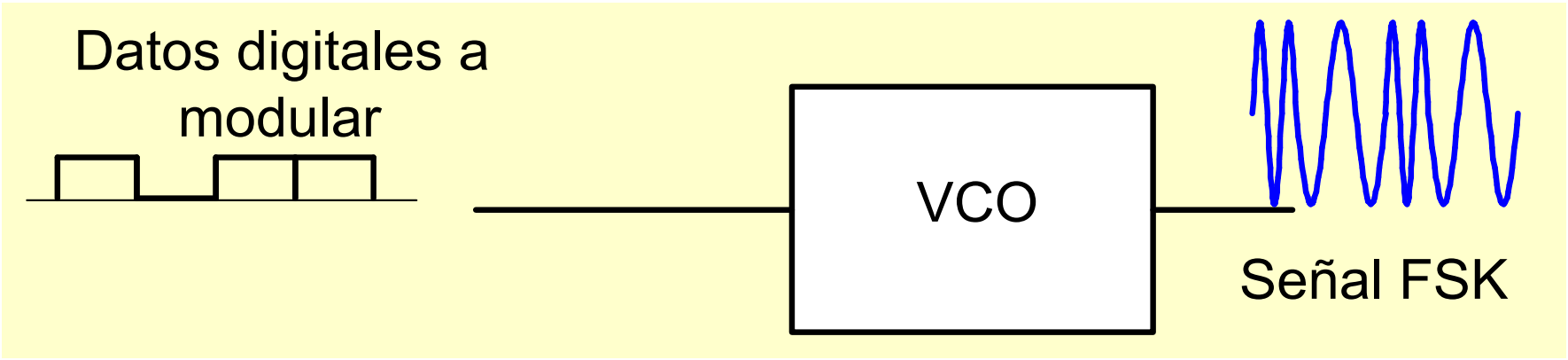
$R = f_{b\ máx} = 1200$ bps (normalizado)

$R = D$

Modo: Half Duplex 2H

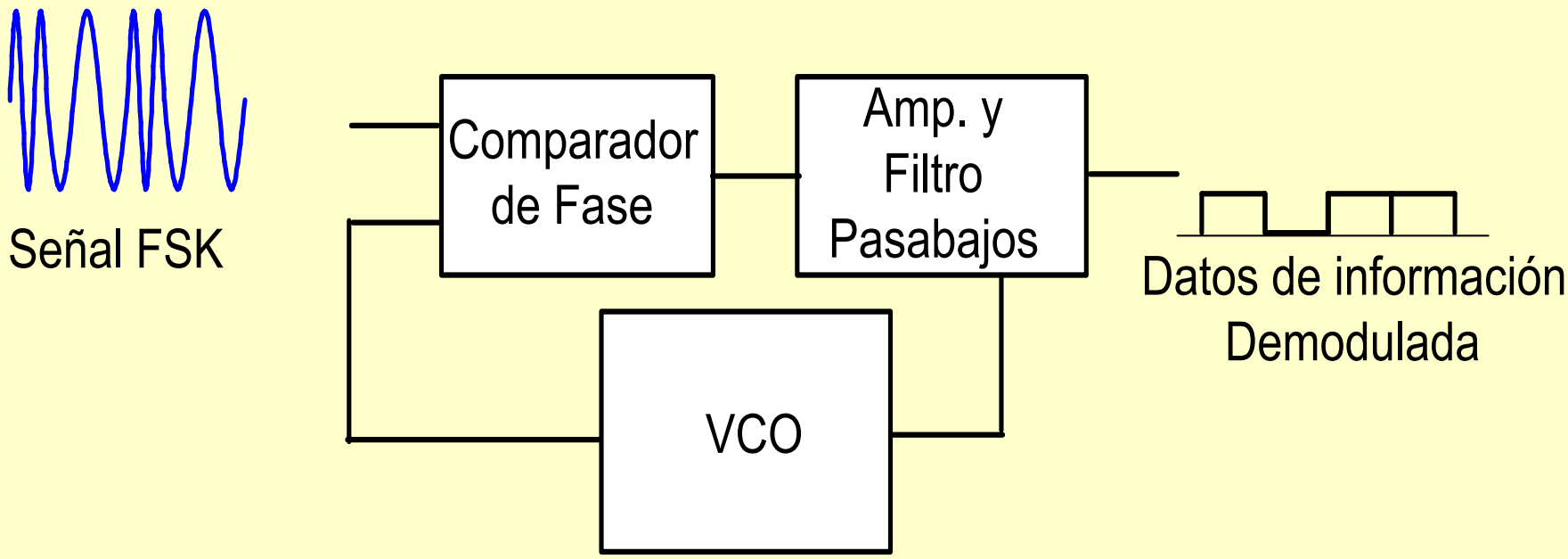
Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

Modulador de FSK



Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

Demodulación de una Señal FSK



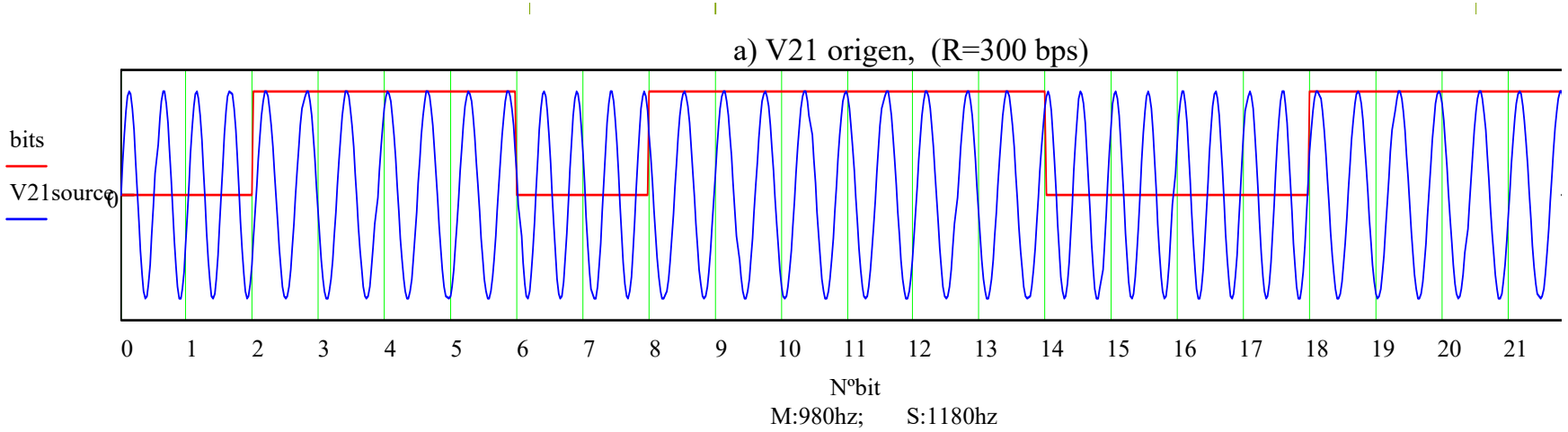
Modulación por desplazamiento de Frecuencia- FSK

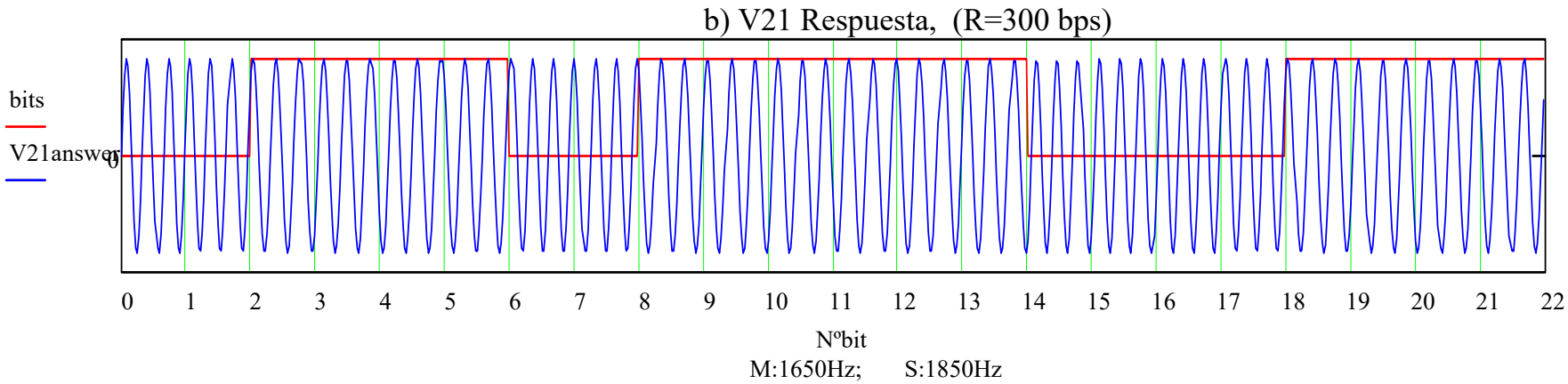
Funcionamiento del demodulador

- 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 estrada 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 varia 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





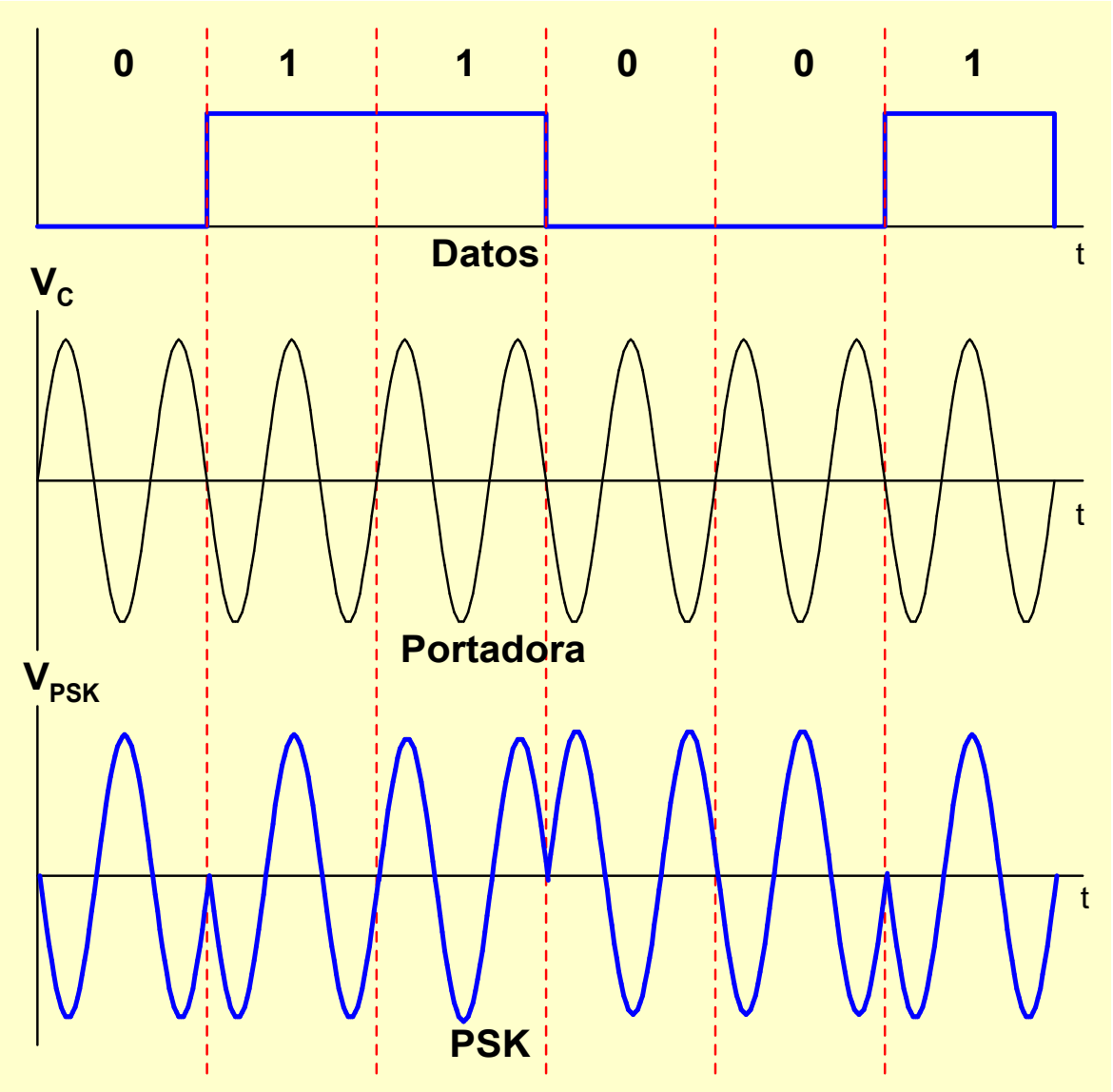
Modulación por desplazamiento de Fase- PSK

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.

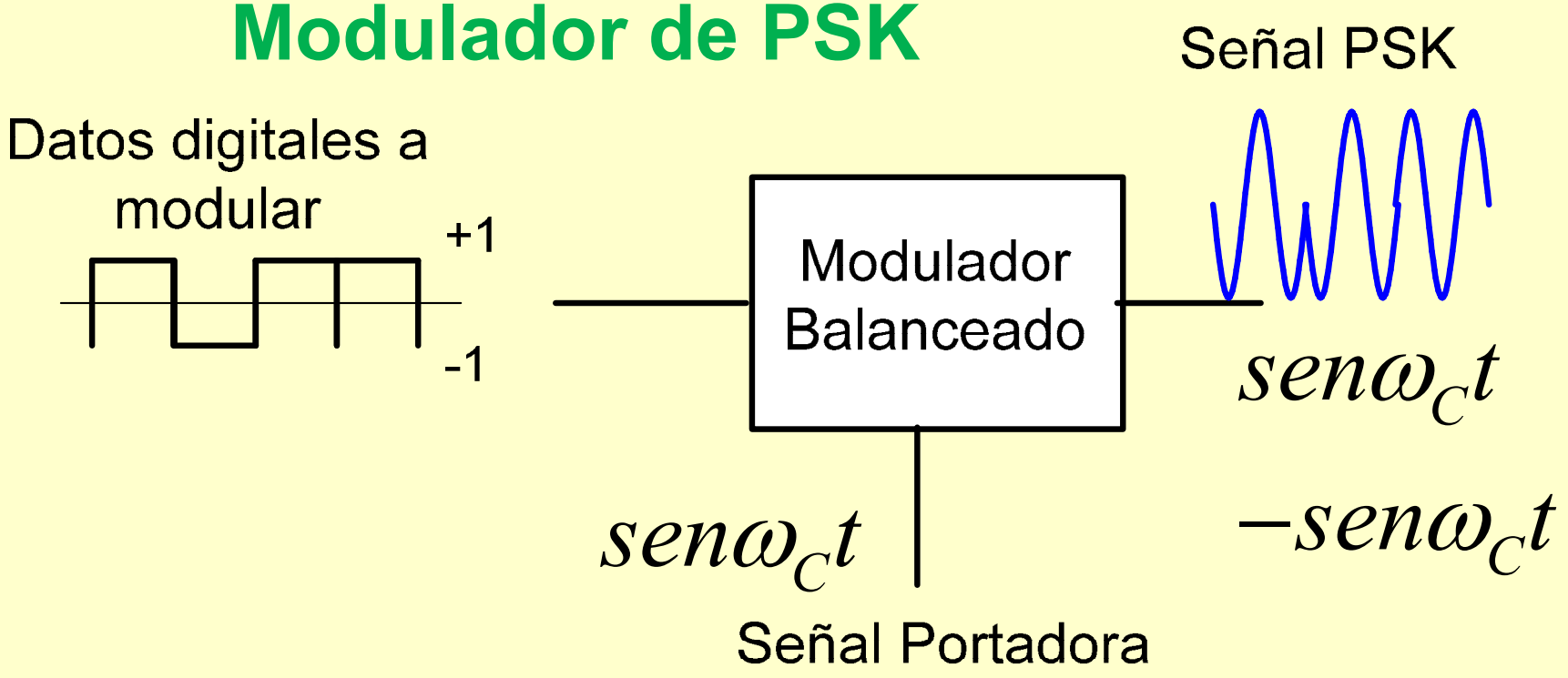
PSK es una modulación ampliamente extendida. La modulación BPSK es utilizada para transmisores de bajo costo y que no requieran altas velocidades.

Modulación por desplazamiento de Fase- PSK



Modulación por desplazamiento de Fase- PSK

Modulador de PSK



1 binario

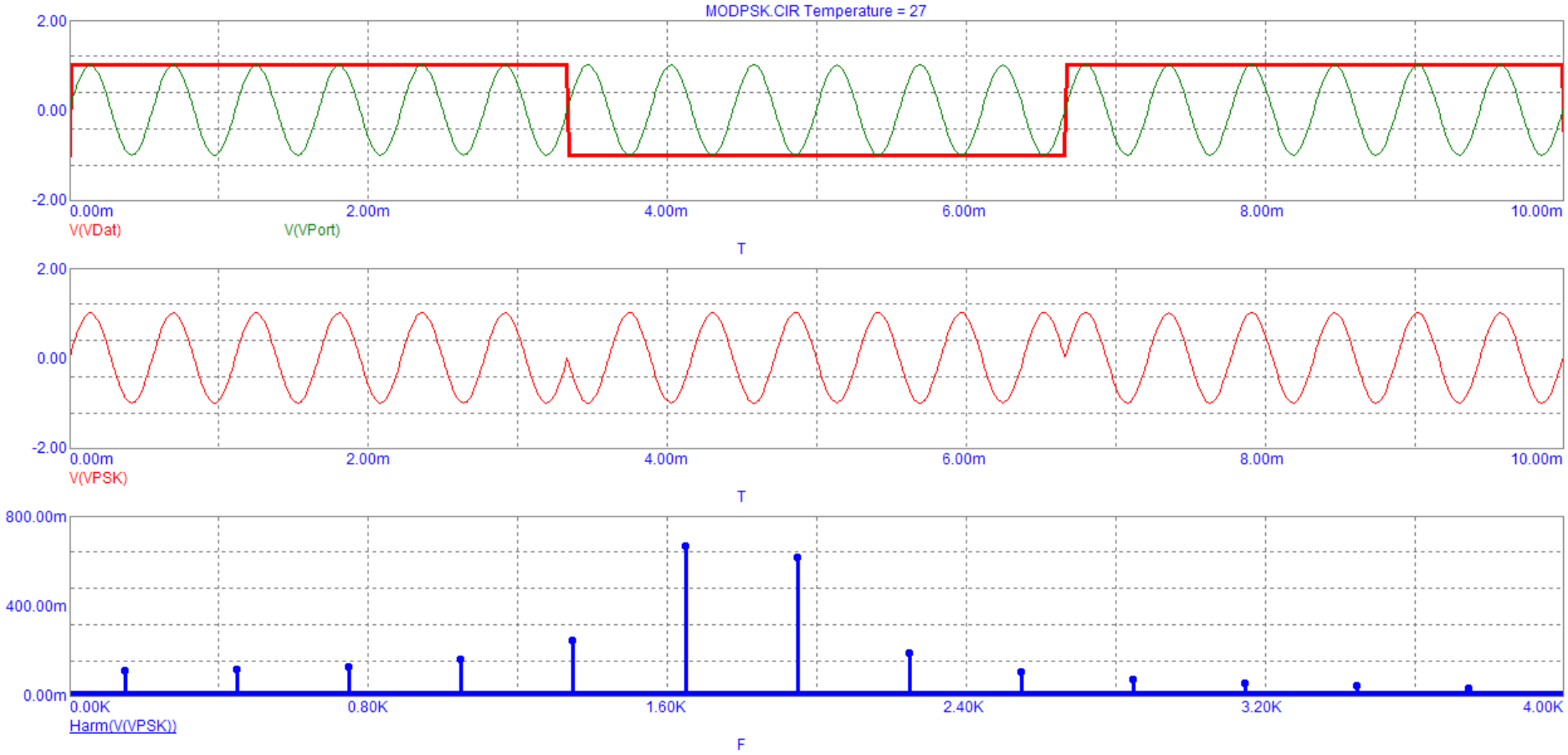
$$s(t) = A\cos(2\pi f_c t + \pi)$$

0 binario

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

Modulación por desplazamiento de Fase- PSK

Espectro de señal PSK en un canal telefónico



Modulación por desplazamiento de Fase- PSK

Límites para la modulación PSK en un canal telefónico

AB = f_b **f_b = AB**

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

R = D

Modo: Half Duplex 2H

MODULACION POR PULSOS

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

Otras 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.

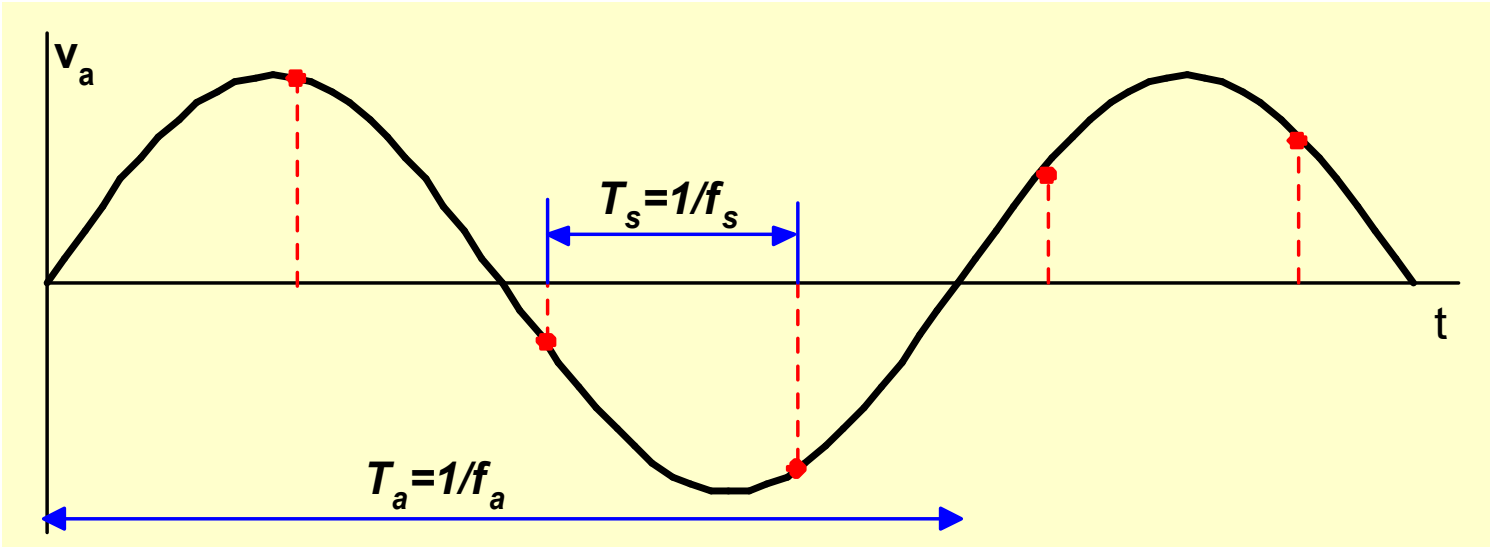
MODULACION POR PULSOS

Ventajas de la transmisión de señales en formato digital.

- La relativa simplicidad del diseño de los circuitos digitales y la facilidad con la que pueden emplearse técnicas de circuitos integrados a los circuitos digitales.
- La siempre creciente utilización y disponibilidad de las técnicas de procesamiento digital.
- El extendido uso de las computadoras en el manejo de toda clase de datos.
- La habilidad de las señales digitales de ser codificadas para minimizar los efectos del ruido y de la interferencia.

MODULACION POR PULSOS

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



MODULACION POR PULSOS

- **Para poder realizar un muestreo sin pérdida de información se necesita tomar muestras a una frecuencia $f_s >> f_a$.**
- **Nyquis demostró que la frecuencia mínima de muestreo es:**

$$f_s \geq 2 f_{a\ máx}$$

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

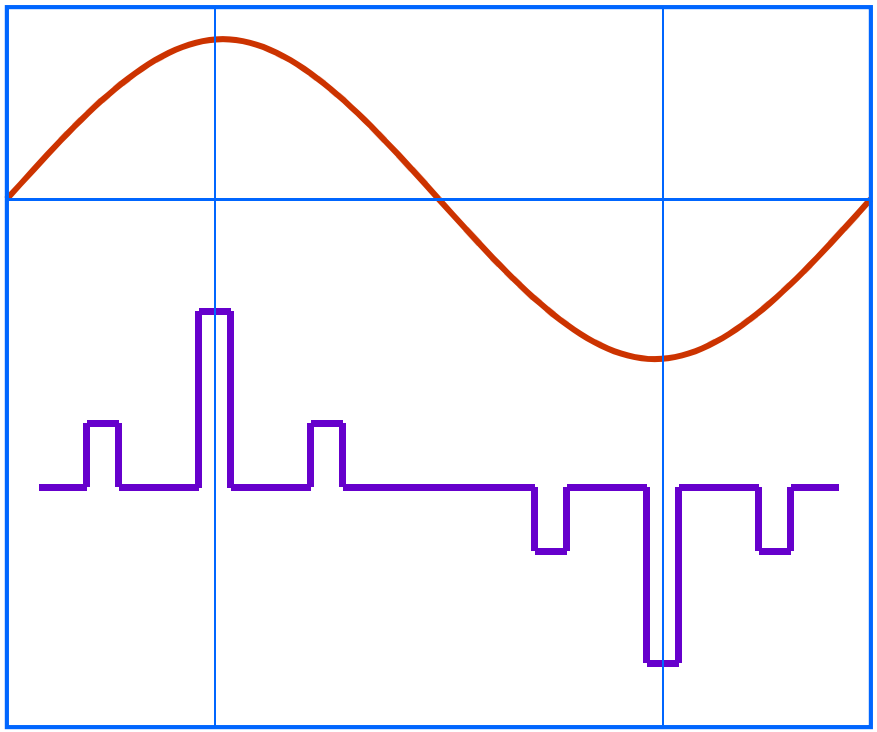
Si *fs* es menor que $f_{a\ máx}$, se producirá distorsión. A esta distorsión se le llama "aliassing" o distorsión por superposición

Para la voz se usa $f_{a\ máx}$ = *8 KHz*

MODULACION PAM

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



Señal Analogica

PAM

MODULACION PAM

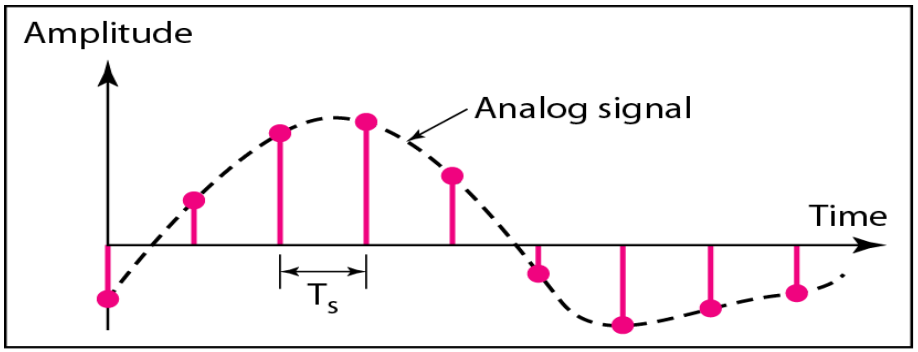
Hay tres métodos de muestreo:

Ideal - un impulso en cada instante de muestreo

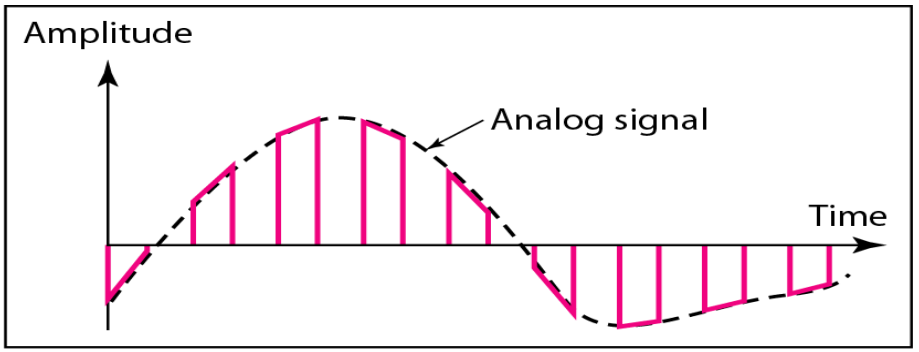
Natural - un pulso de ancho corto con amplitud variable

De techo plano - muestreo y retención, como natural, pero con un valor de amplitud constante.

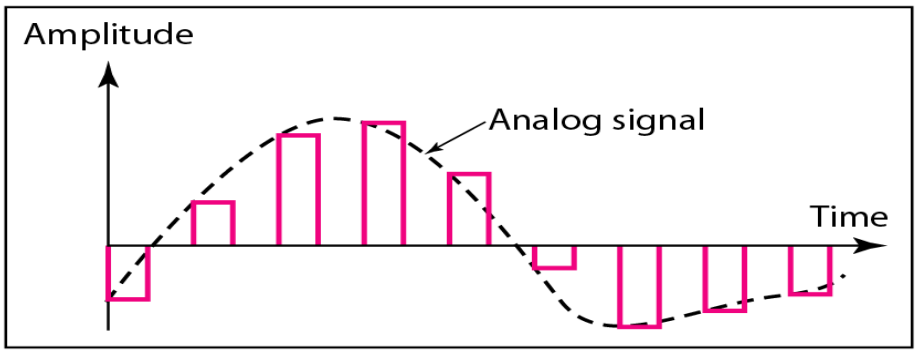
El proceso se refiere a la modulación PAM amplitud del pulso y el resultado es una señal con valores analógicos (no enteros)



a. Ideal sampling

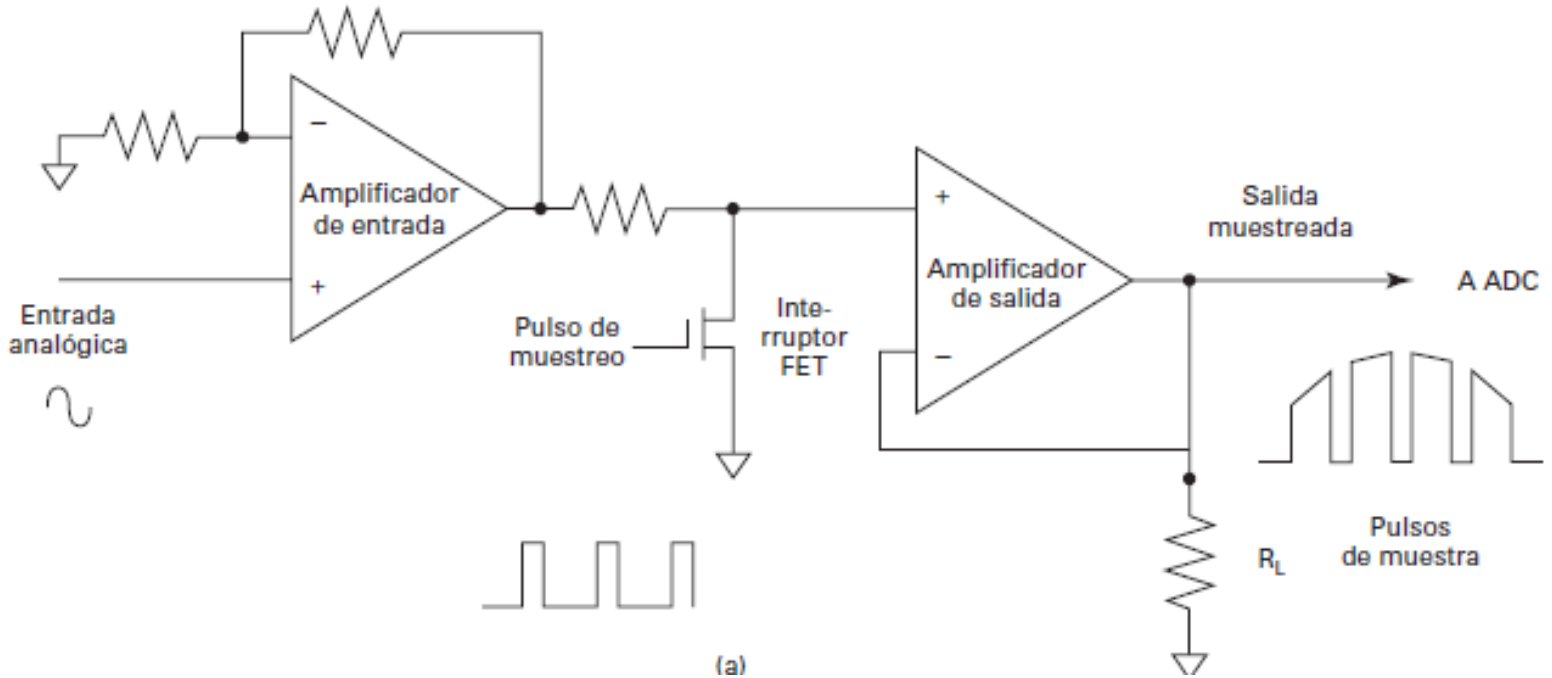


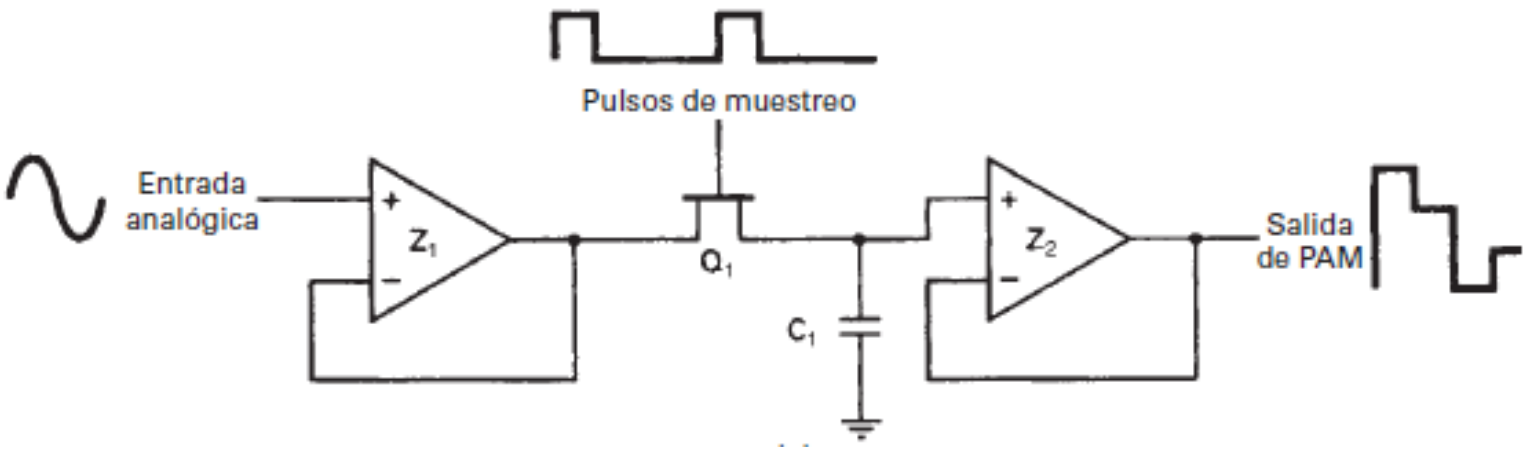
b. Natural sampling



c. Flat-top sampling

MODULACION PAM





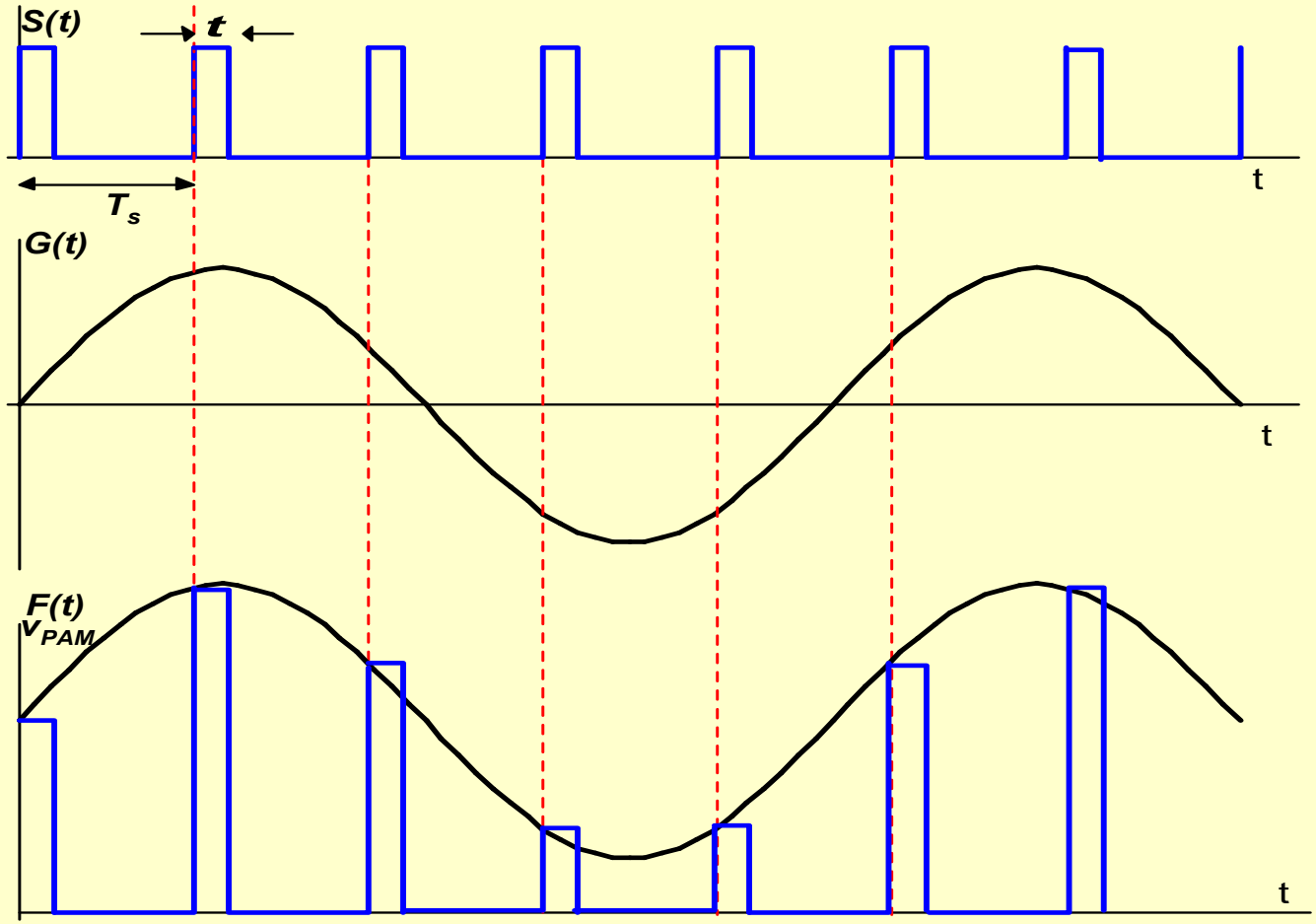
MODULACION PAM - MUESTREO

- La señal analógica se muestrea cada ts segundos.
- Referido a las Ts es el intervalo de muestreo.
- fs = 1 / Ts se llama la frecuencia de muestreo

Hay tres métodos de muestreo:

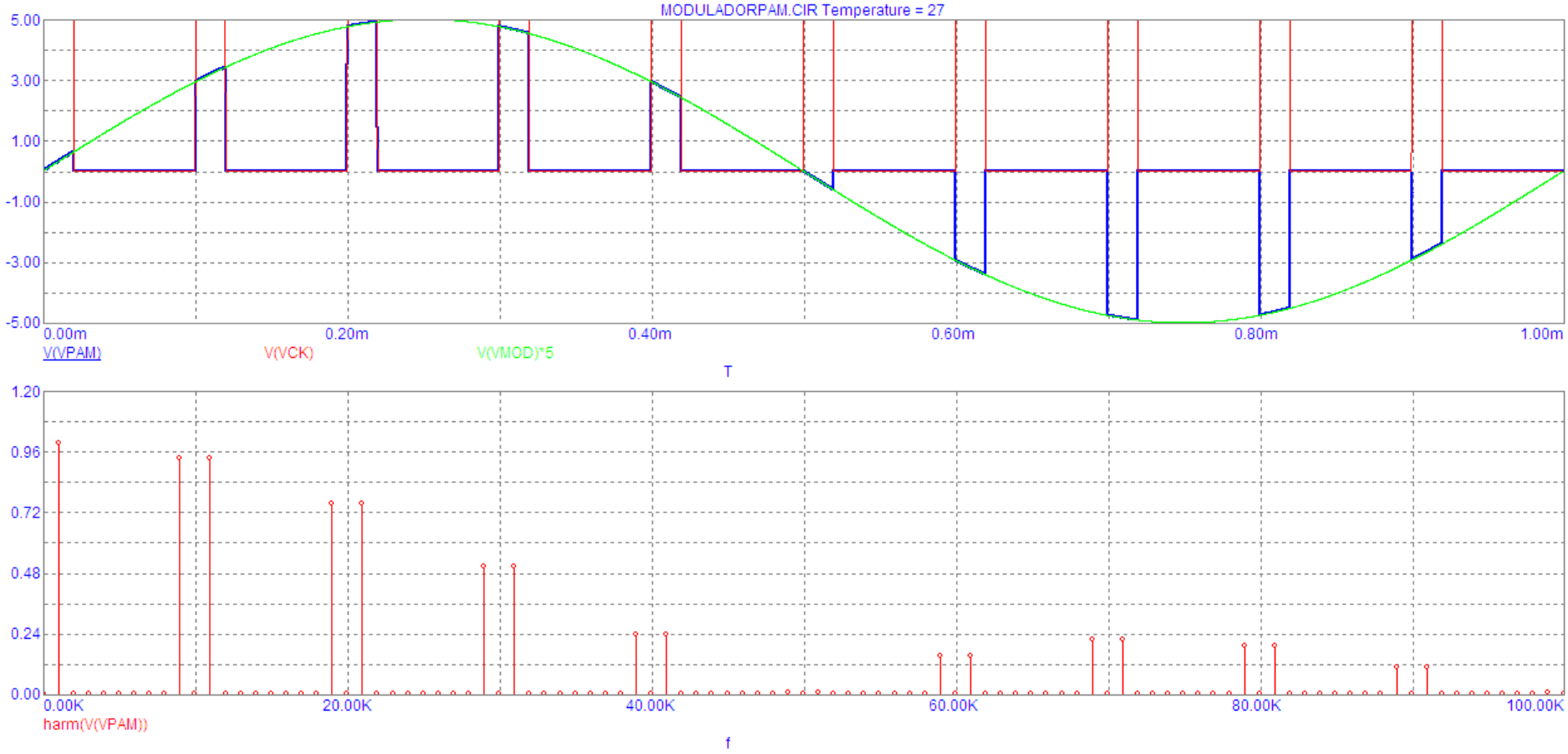
- Ideal - un impulso en cada instante de muestreo
- Natural - un pulso de ancho corto con amplitud variable
- De techo plano - muestreo y retención, como natural, pero con el valor de amplitud
- El proceso se refiere a la modulación PAM amplitud del pulso y el resultado es una señal con valores analógicos (no enteros)

MODULACION PAM

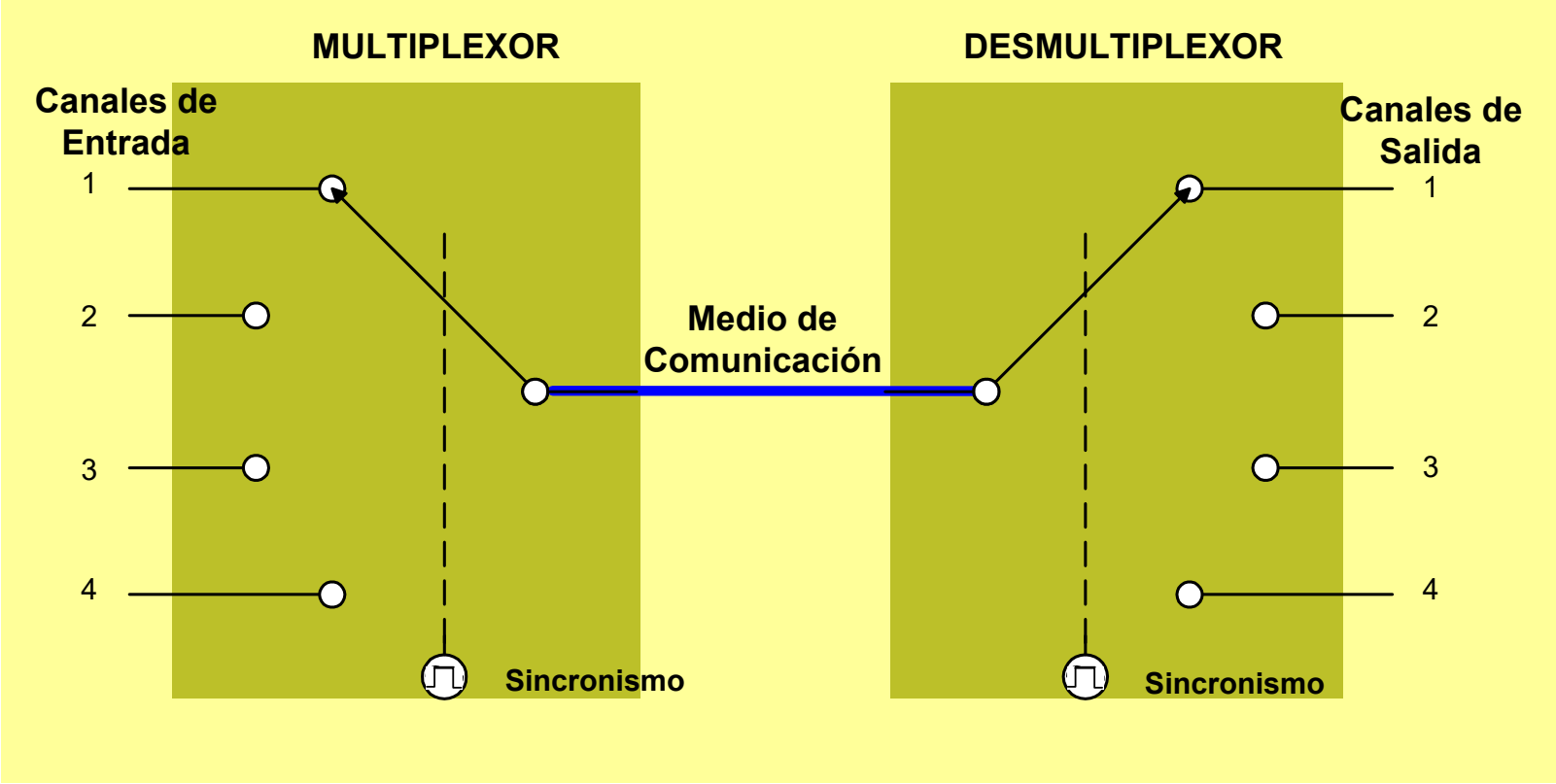


La señal analógica se muestrea cada Ts segundos.
Referido a las Ts es el intervalo de muestreo.
fs = 1 / Ts se llama la frecuencia de muestreo

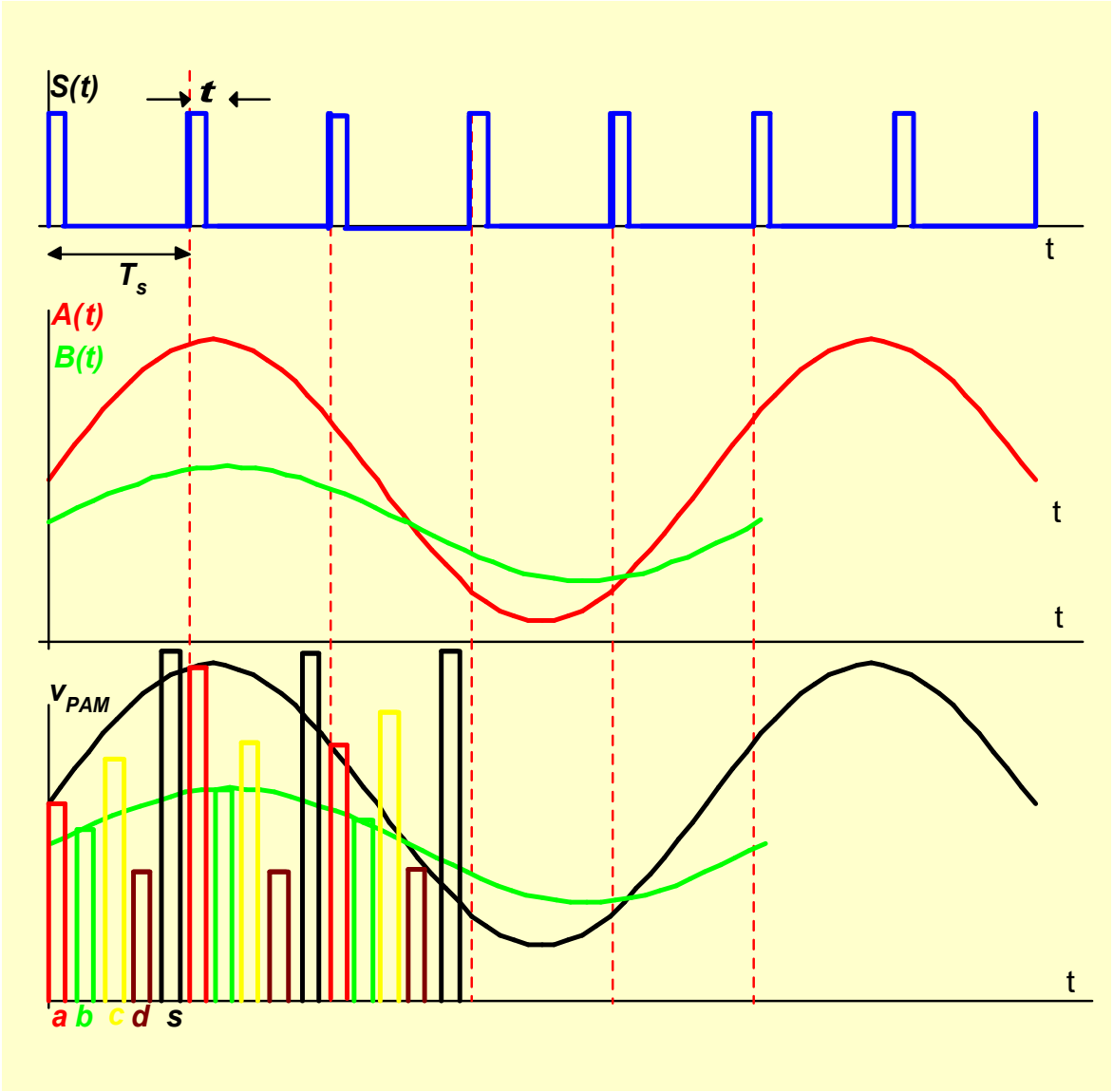
MODULACION PAM



TDM


MULTIPLEXOR
DESMULTIPLEXOR
Canales de Entrada
Canales de Salida
1
2
3
4
Medio de Comunicación
Sincronismo
Sincronismo

TDM - MODULACION PAM



MODULACION PAM

Ventajas de la modulación PAM

Permite enviar más de un canal usando TDM

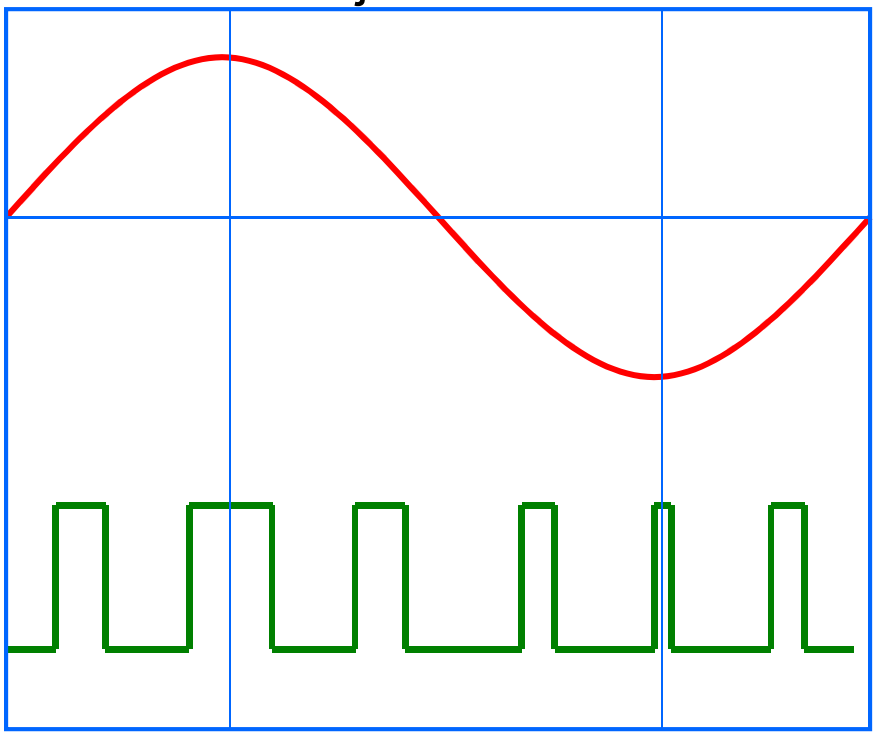
Desventajas de la modulación PAM

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

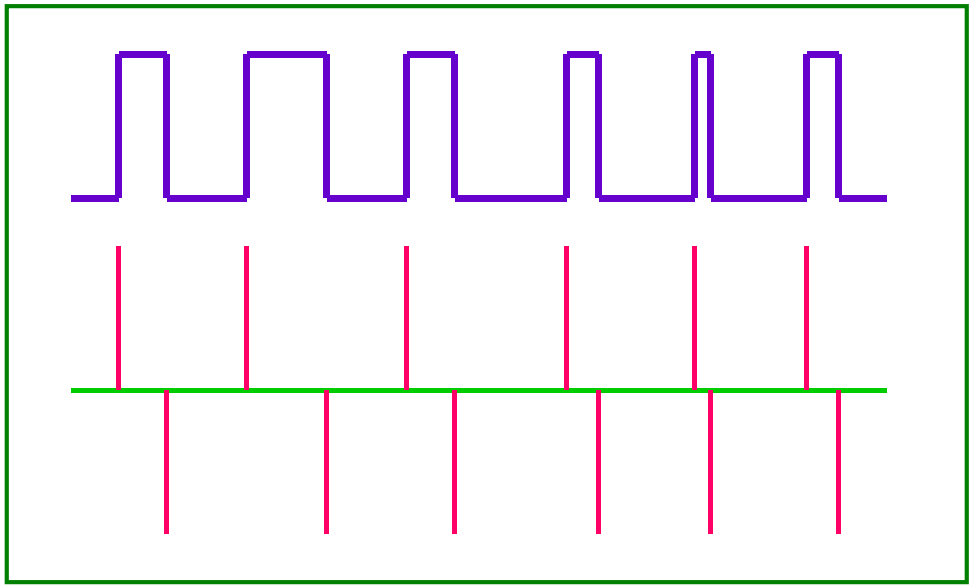


Señal Analógica

PWM

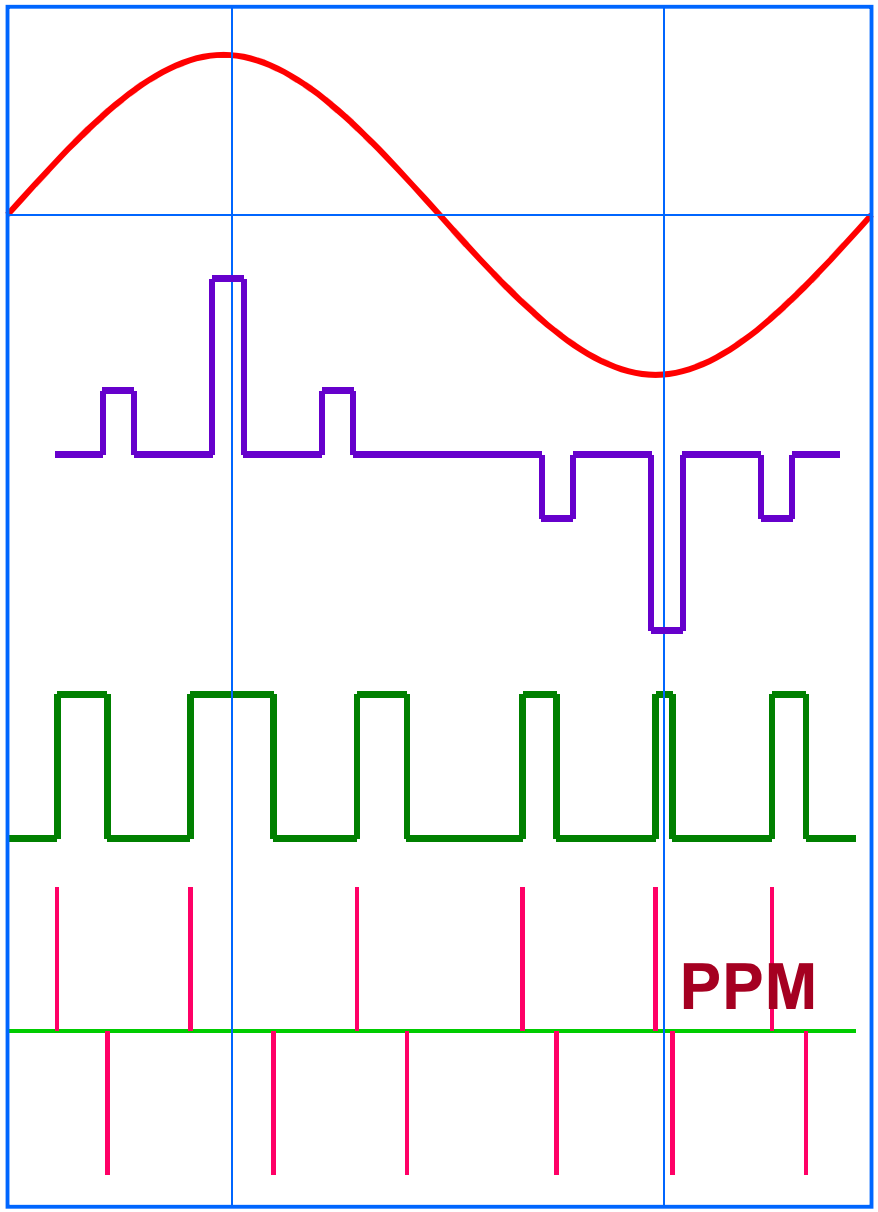
MODULACION PPM

- 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.

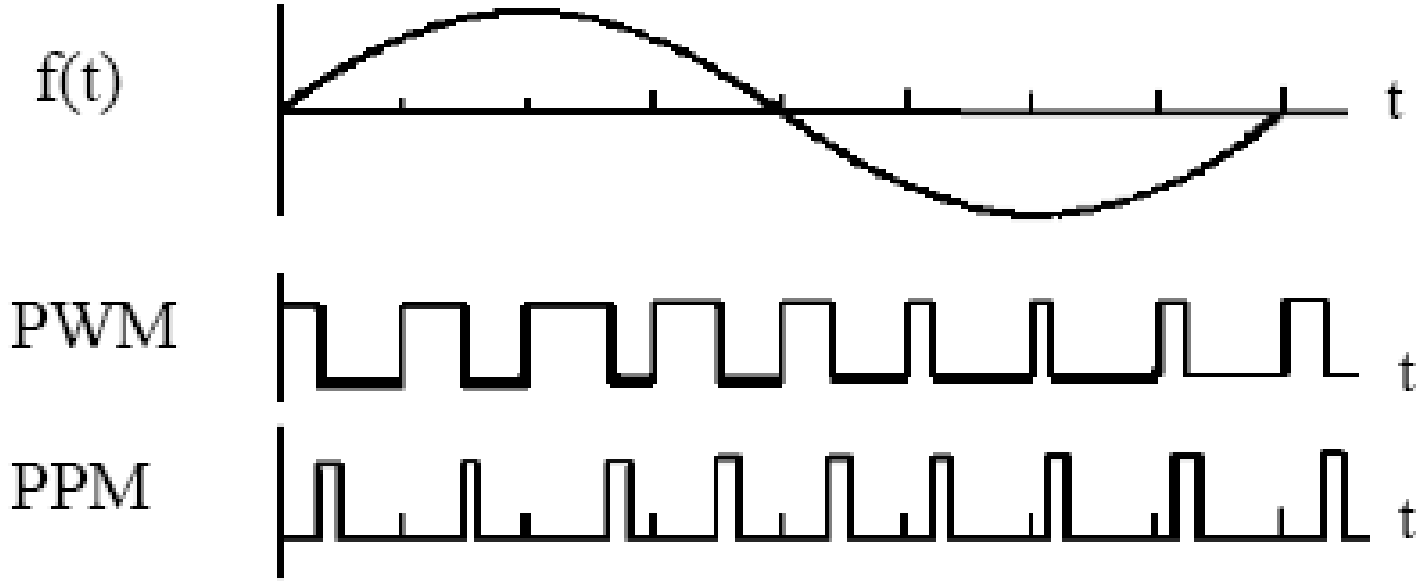


Esta onda puede modificarse adicionalmente por eliminación de todo los pulsos negativos
El resultado se llama PPM recortado.

PAM – PWM - PPM

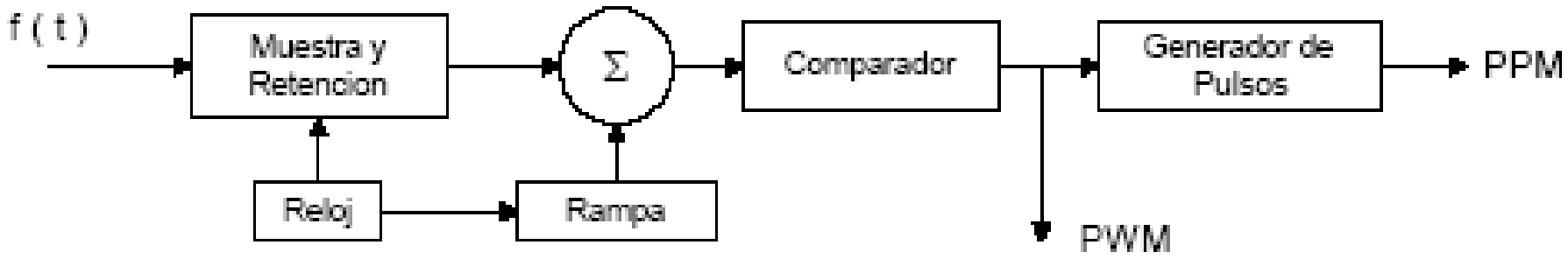


MODULACION PPM



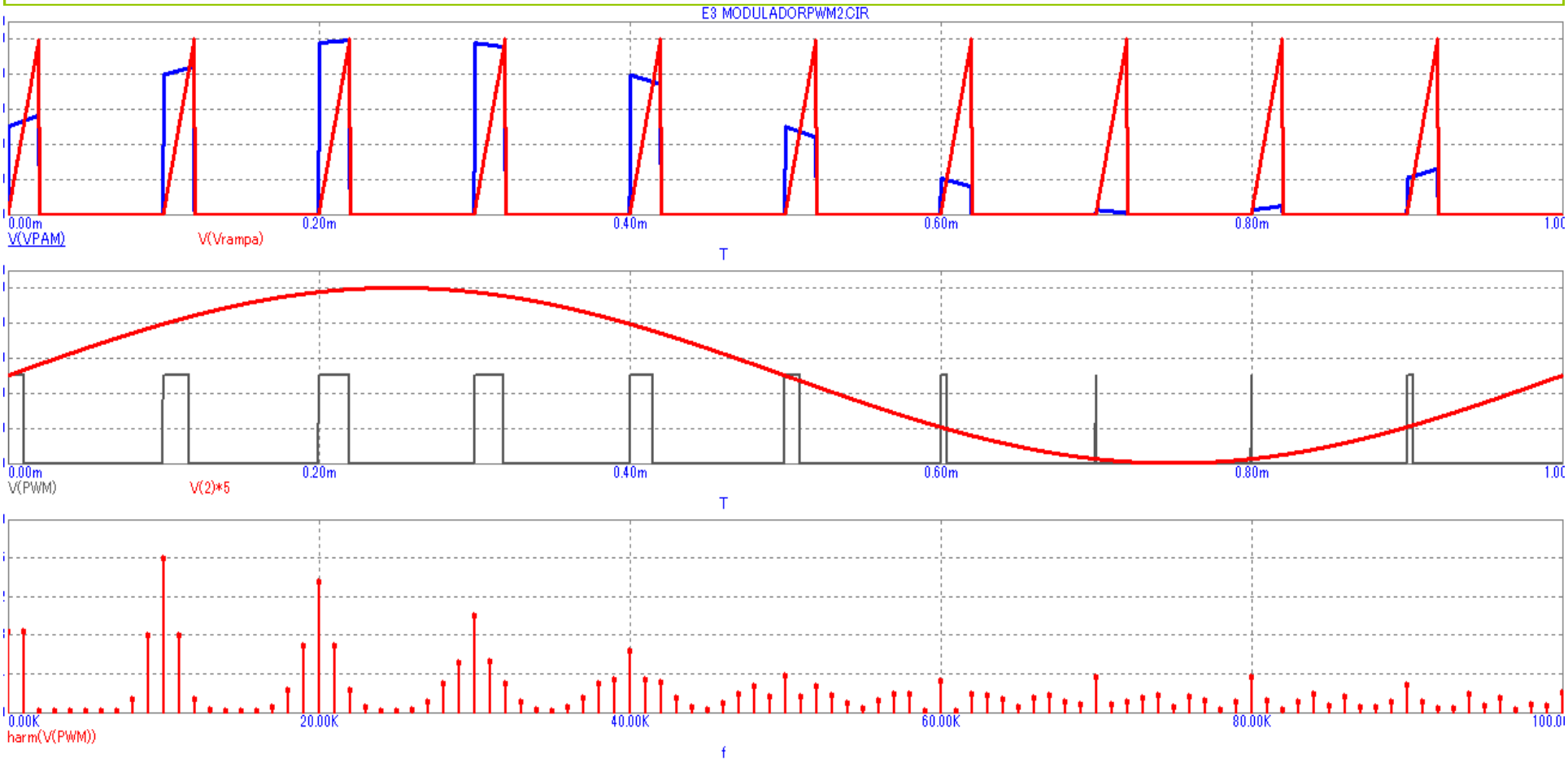
Modulador de PPM

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



MODULACION PCM

En este tipo de modulación primero se muestrea la señal usando PAM, luego se cuantifica.

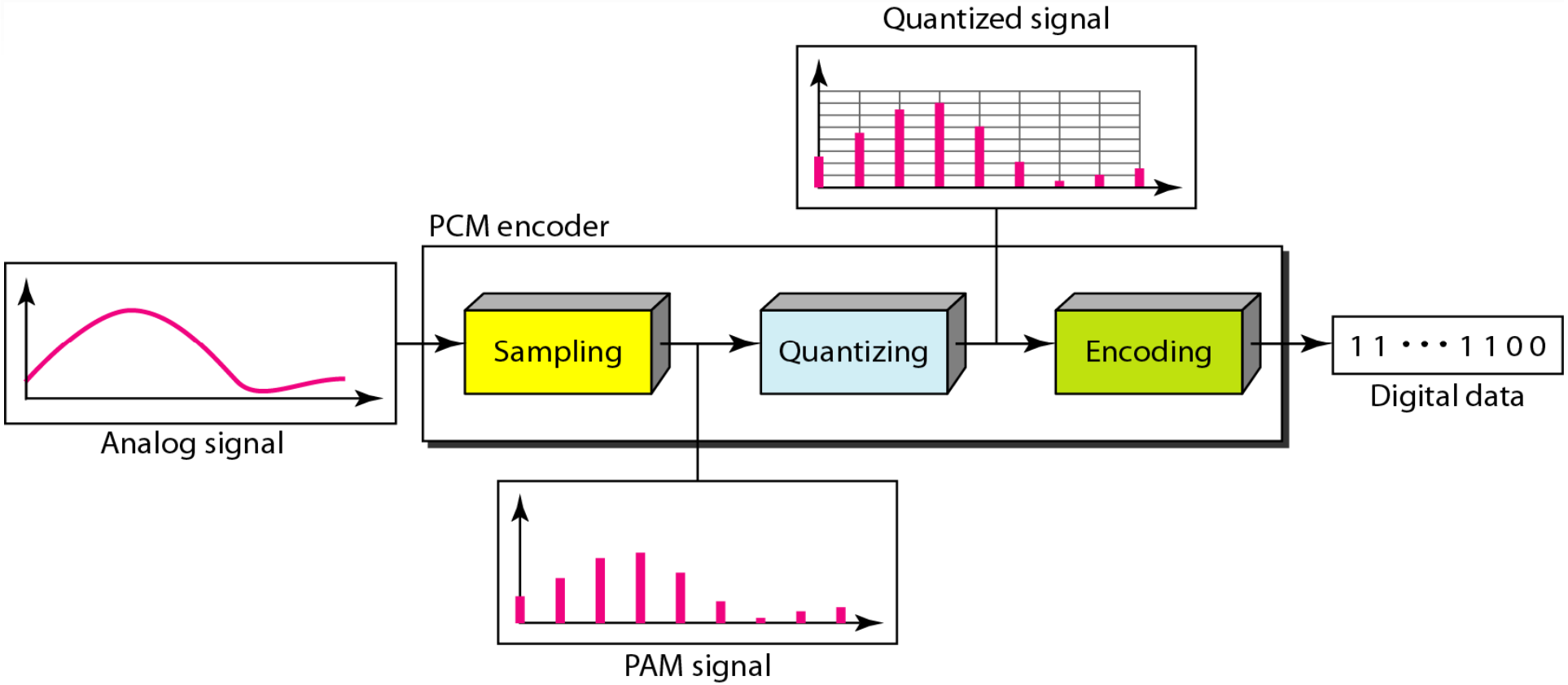
Posteriormente, la señal cuantifica, es codificada mediante un código para designar cada nivel en cada tiempo de muestreo, por lo cual recibe el nombre de Modulación de Código de Pulsos y se denota como PCM (Pulse Code Modulation).

MODULACION PCM

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



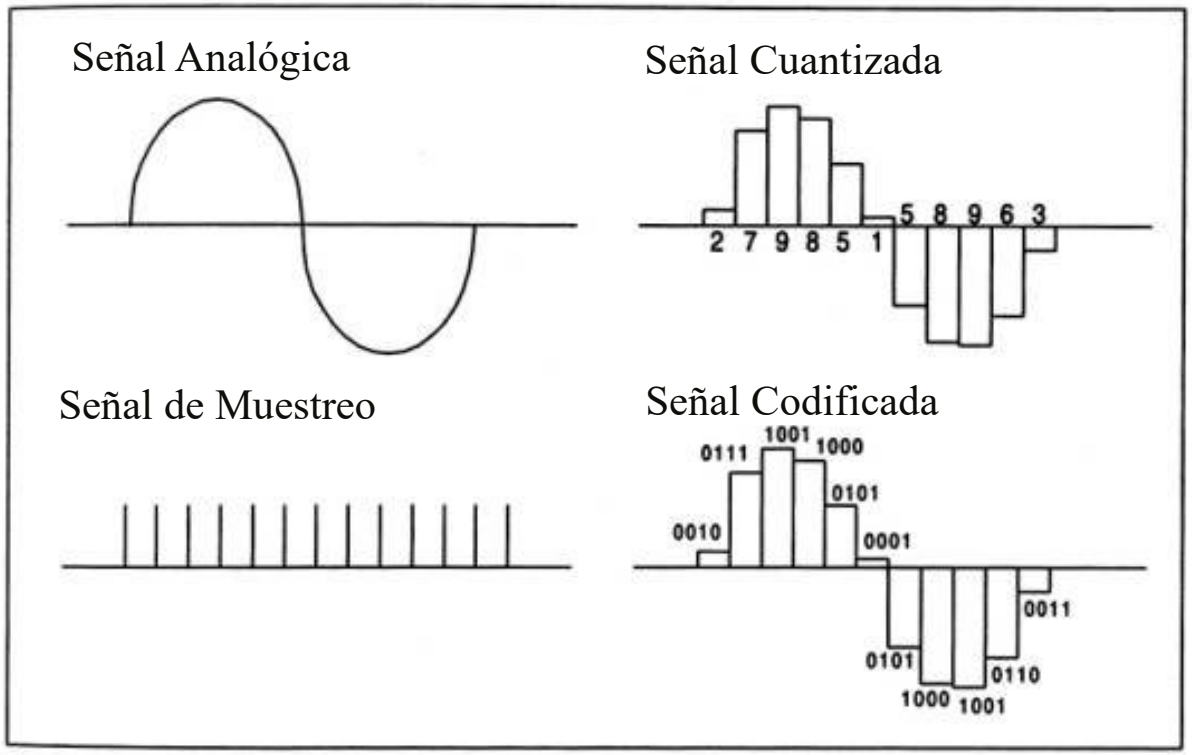
MODULACION PCM

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 contínuos en el tiempo, para discretizarla se divide en un grupo finito de magnitudes discretas entre un limite superior y un limite inferior.

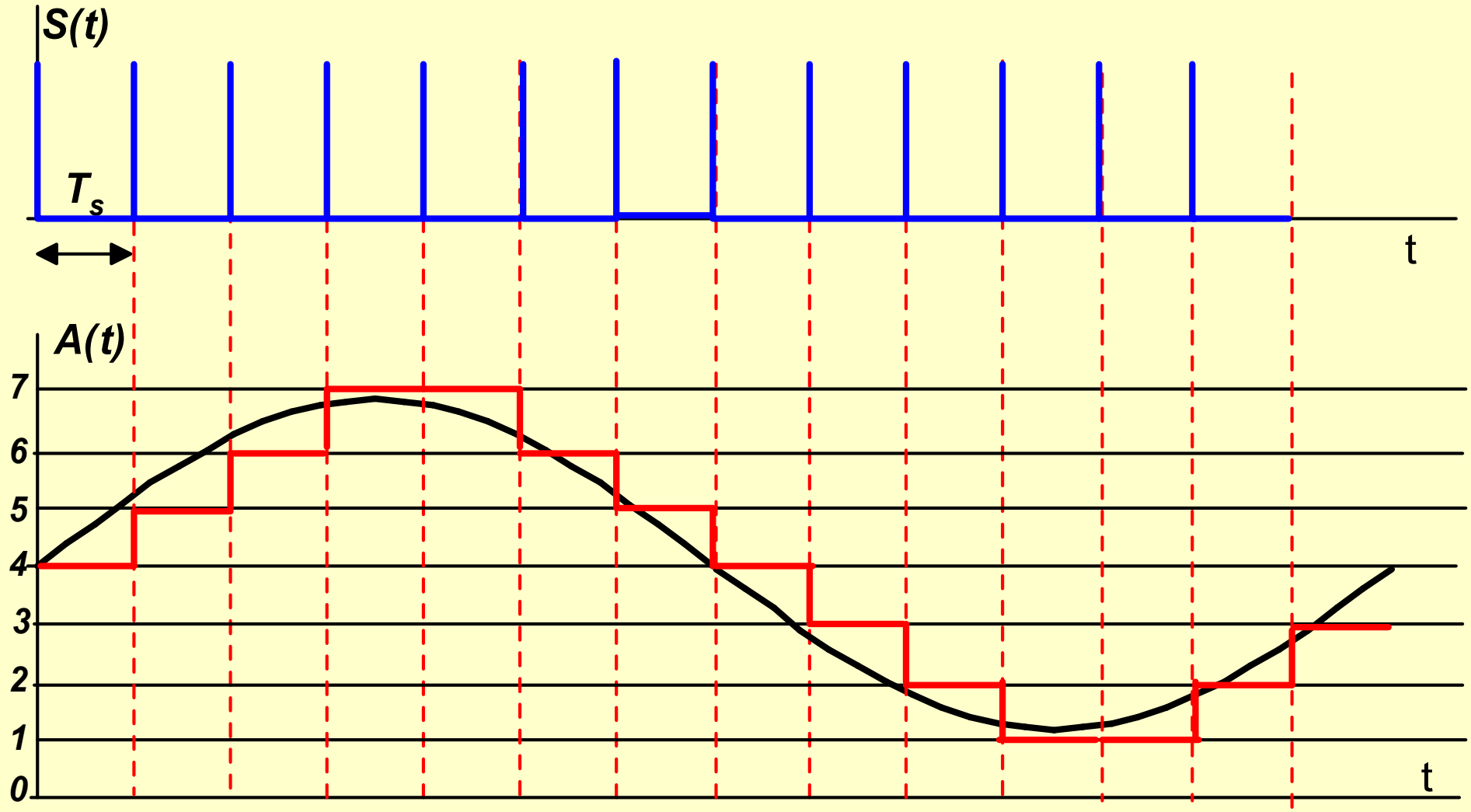
En consecuencia, una señal cuantizada es una aproximación de la señal analógica

MODULACION PCM

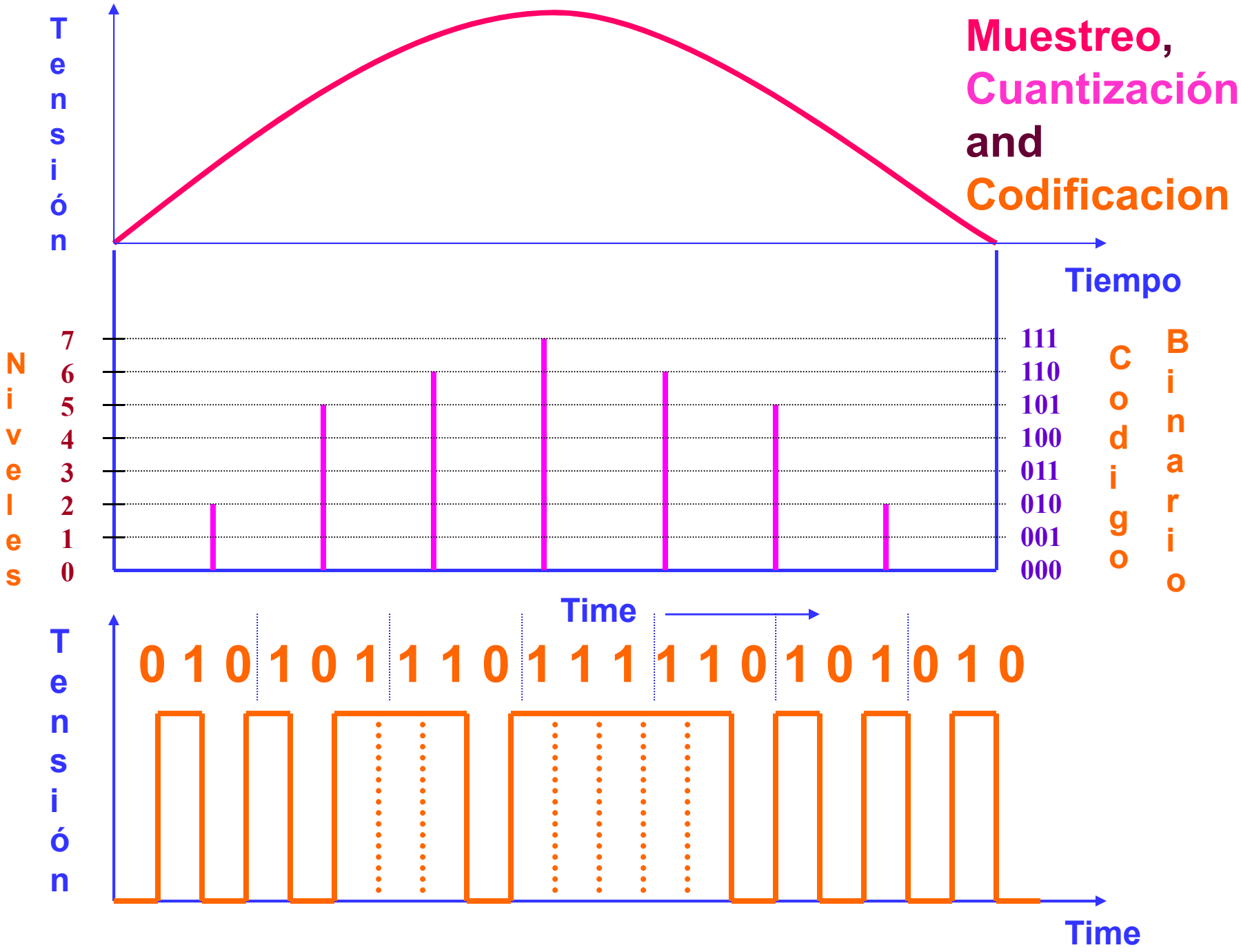
Las señales que resultan se denominan cuantizadas.
El proceso de cuantización introduce algunos errores durante la reproducción final de la señal, ya que la señal demodulada diferirá algo de la señal original.
Las diferencias entre los niveles de las señales analógicas y cuantizada conducen a una incertidumbre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

El efecto total es como si se hubiera agregado un ruido adicional al sistema.
El ruido de cuantización se reduce, disminuyendo la separación de niveles a o acrecentando el número de niveles M empleados

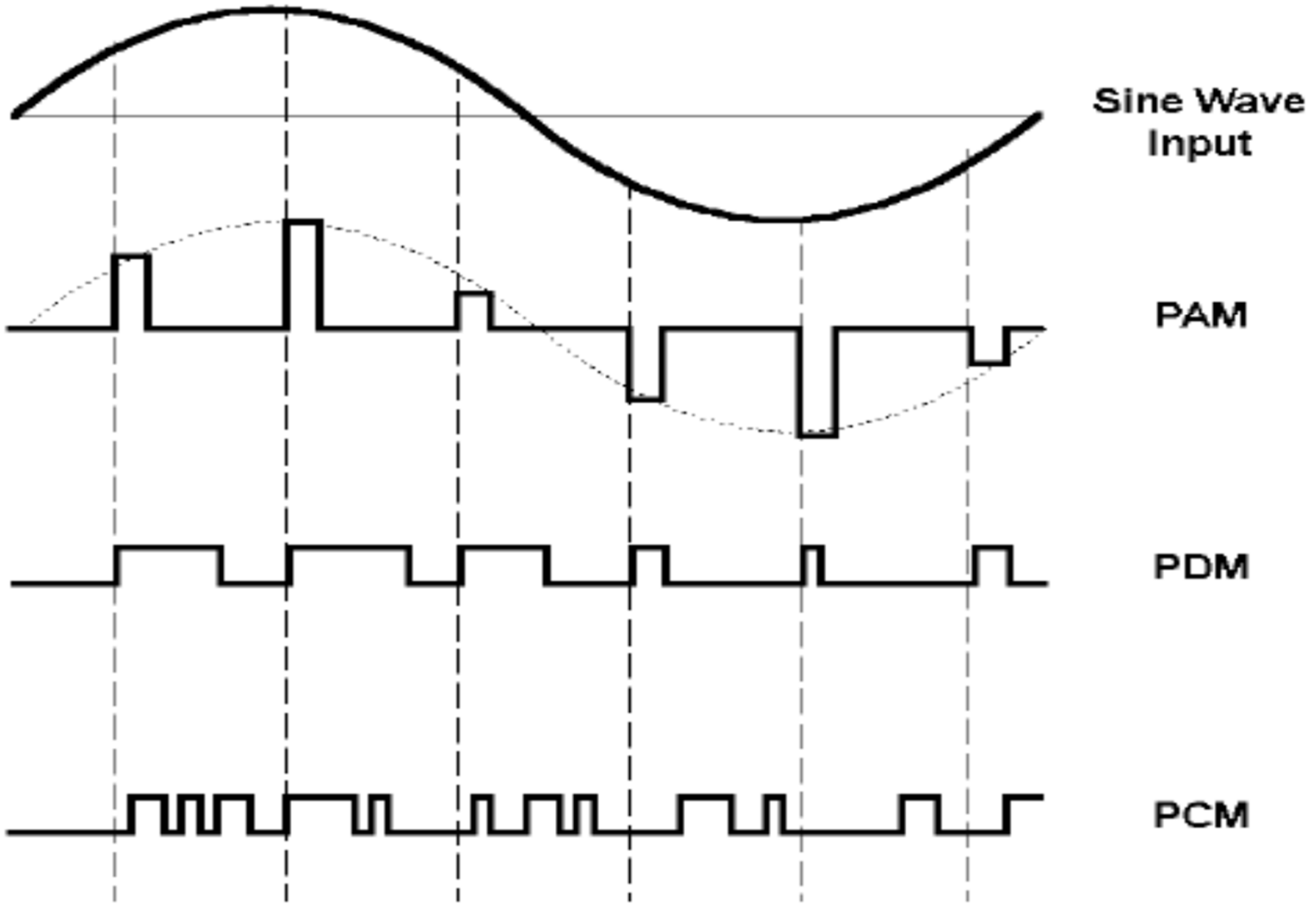
CUANTIFICAR



$N = 2^3 = 8$


Muestreo,
Cuantización
and
Codificacion
Tensión
Tiempo
Niveles
7
6
5
4
3
2
1
0
111
110
101
100
011
010
001
000
Codigo Binario
Time
0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0
Tensión
Time

MODULACION PCM



Pulse Modulation Techniques

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:

$$\text{velocidad de la linea} = \frac{muestras}{segundo} x \frac{bits}{muestra}$$

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 denotada como f_s se determina por:

$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

La tasa de bits se puede determinar por:

$$R = nf_s$$

Ancho de banda de PCM

Para condiciones de transmisión sin aliasing, $f_s \geq 2B$, el ancho de banda se puede estimar por:

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

Finalmente:

$$AB_{PCM} \geq \frac{1}{2} n f_s$$

El ancho de Banda es directamente proporcional al número de bits

Modulador de PCM

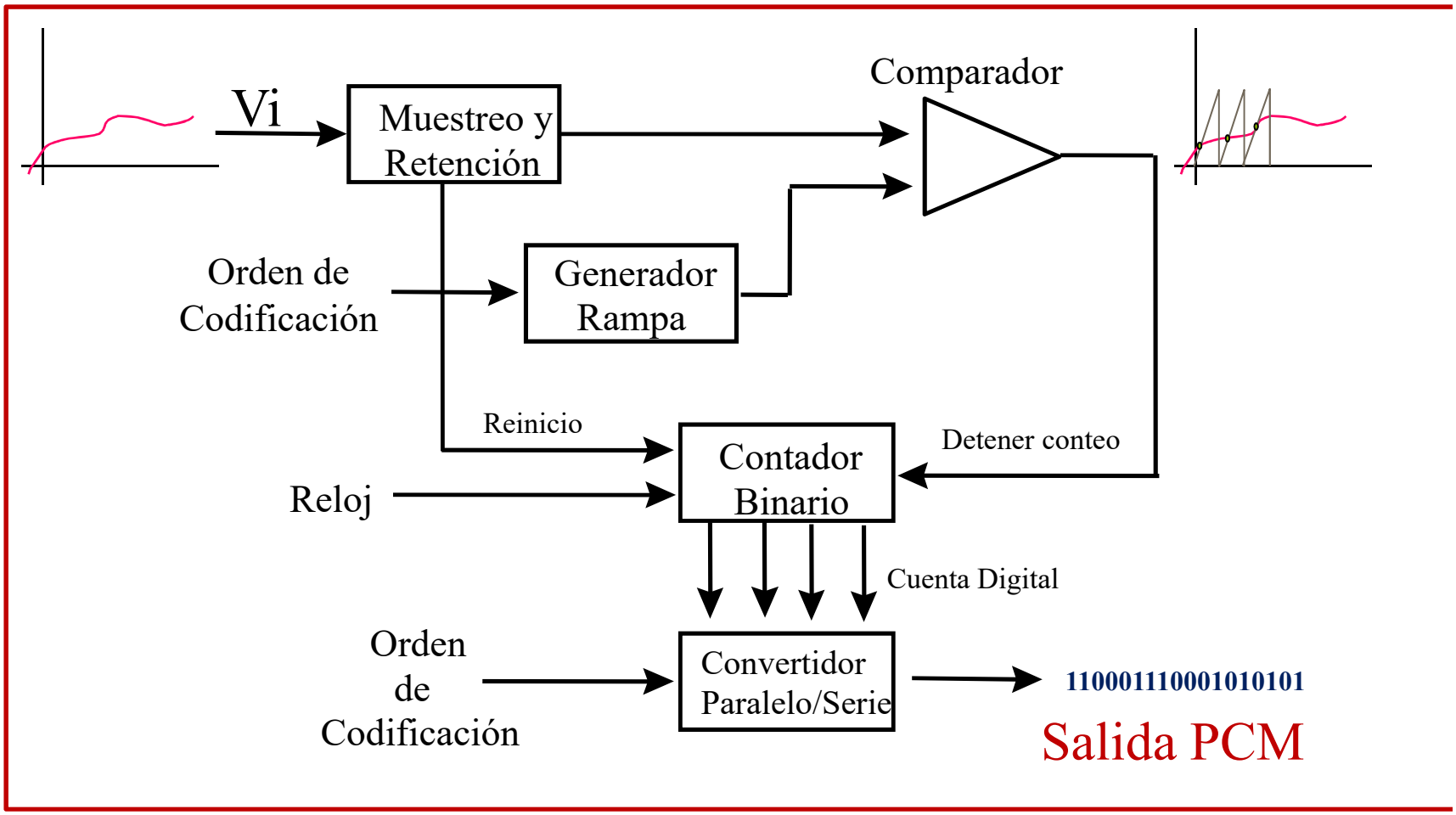


Diagrama de bloques de un generador de PCM utilizando el codificador de rampa

Decodificador de PCM

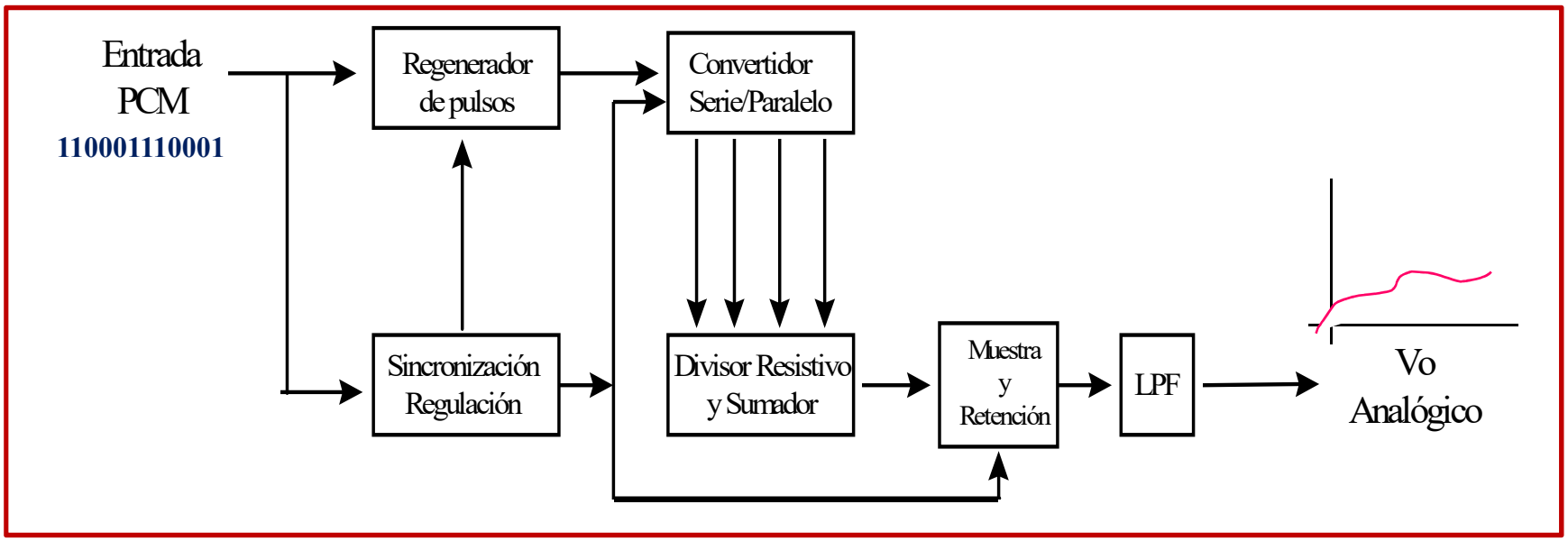


Diagrama de bloques de un receptor de PCM

Ventajas de los sistemas PCM

1. En comunicaciones a largas distancias, las señales PCM pueden regenerarse por completo en estaciones repetidoras intermedias porque toda la información está contenida en el código.
2. En cada repetidora se transmite una señal esencialmente libre de ruido. Los efectos del ruido no se acumulan y solo hay que preocuparse por el ruido de la transmisión entre repetidoras adyacentes.
3. Los circuitos para la modulación y demodulación son todos digitales, alcanzando por ello gran confiabilidad y estabilidad, y se adaptan con rapidez al diseño lógico de circuitos integrados.
4. Las señales pueden almacenarse y ponerse a escala en el tiempo de manera eficiente.
5. Puede usarse un código eficiente para reducir la repetición innecesaria de información binaria (la redundancia en los mensajes).
6. Una codificación adecuada puede reducir los efectos del ruido y la interferencia.