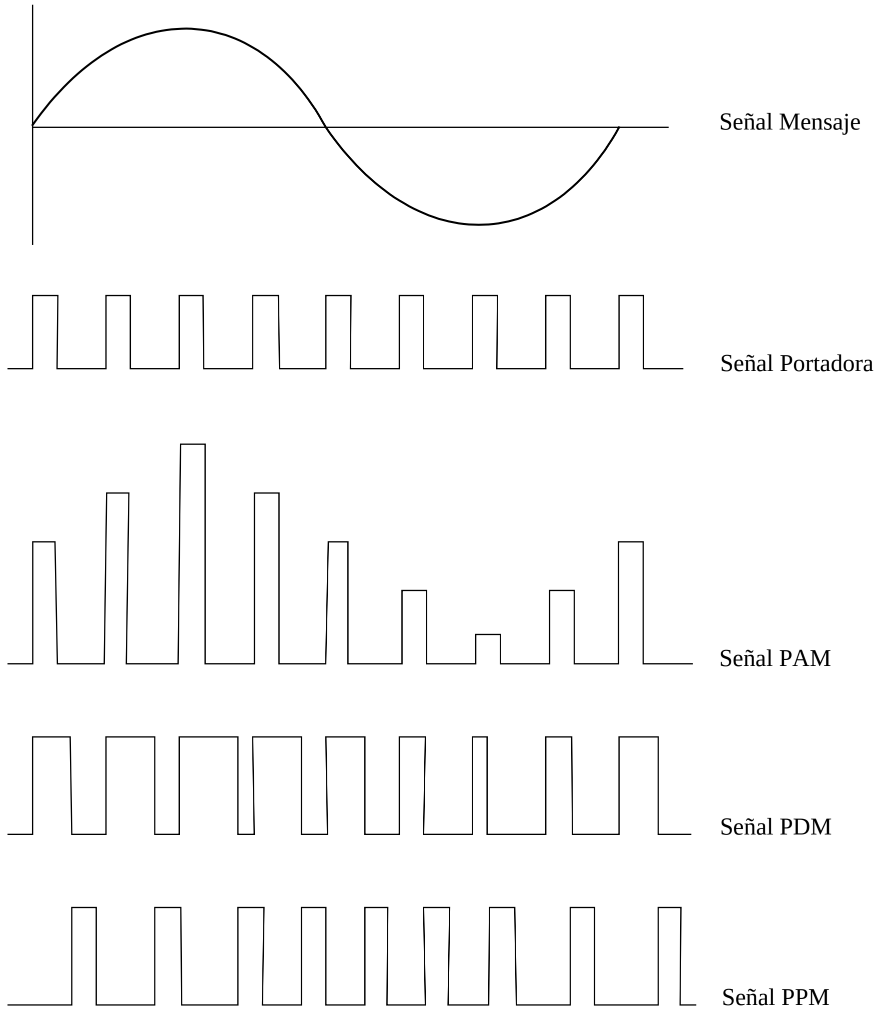
SISTEMAS DE MODULACIÓN NO CONTINUOS

MODULACIÓN POR PULSOS



1.- MODULACIÓN POR PULSOS ANALÓGICOS

1.1.- Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM)

1.2.- Modulación por Duración de Pulsos (PDM)

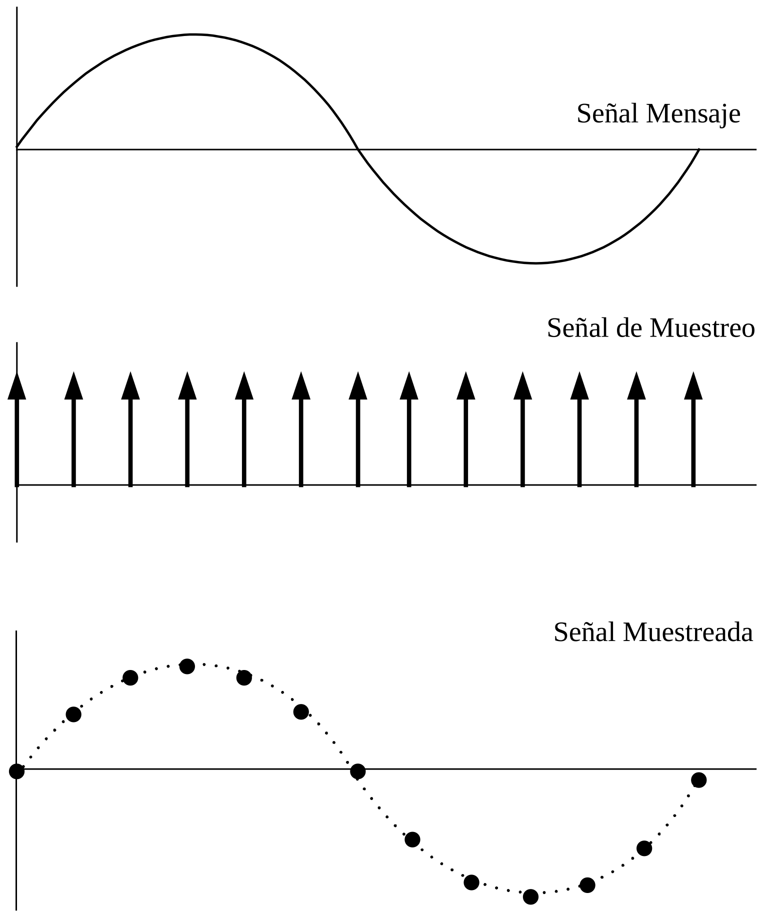
1.3.- Modulación por Posición de Pulsos (PPM)

2.- MODULACIÓN POR CODIFICACIÓN DE PULSOS (PCM)

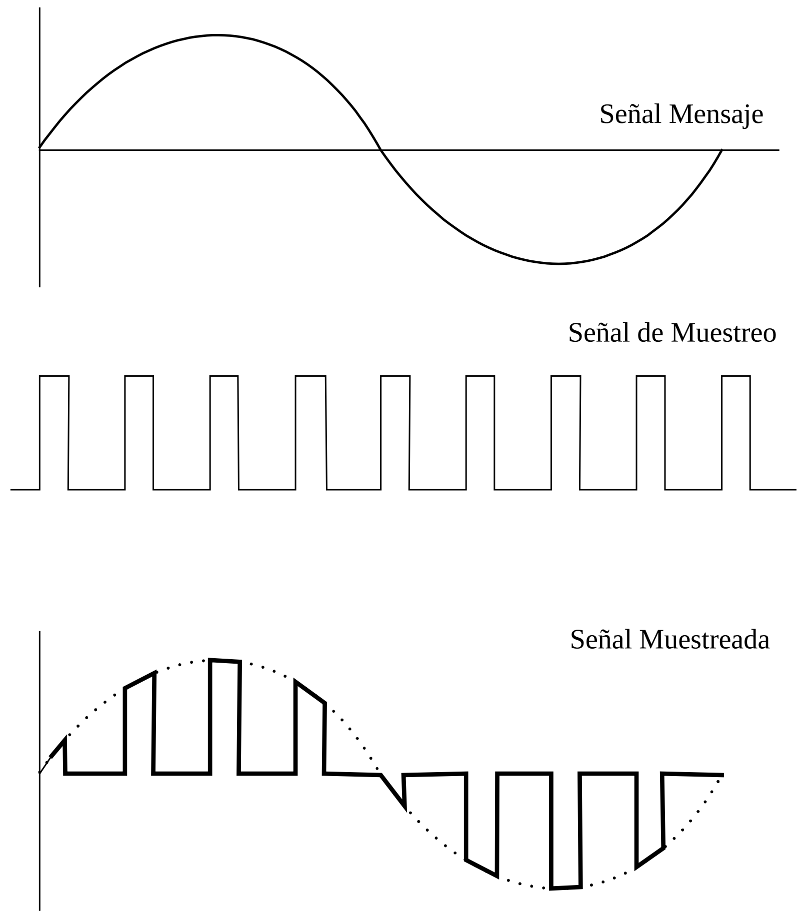
MUESTREO DE UNA SEÑAL

⇒ Una señal analógica se convierte en una señal discreta en el tiempo

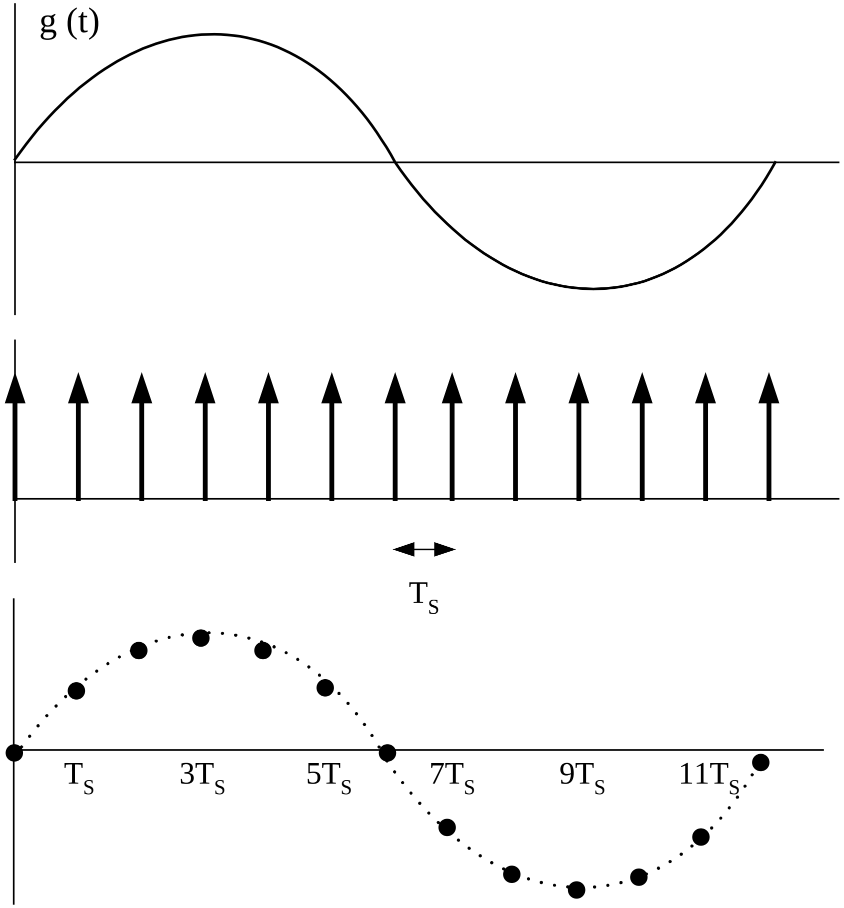
MUESTREO IDEAL O INSTANTÁNEO



MUESTREO NATURAL



MUESTREO INSTANTÁNEO DE UNA SEÑAL



Función de Muestreo Ideal o Peine de Dirac

$$\delta_{T_S}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_S)$$

$T_S \equiv$ Periodo de Muestreo

$f_S = \dfrac{1}{T_S} \equiv$ Frecuencia o Razón de Muestreo $\left(\omega_S = 2\,\pi\, f_S \right)$

Señal Muestreada Ideal

$$g_\delta(t) = g(t)\,\delta_{T_S}(t) = \left\{\, g\left(nT_S\right) \right\}$$

TEOREMA DE MUESTREO (I)

"Una señal de energía finita y limitada en banda, con componentes de frecuencia no mayores a ω_m, queda completamente descrita por una sucesión de valores tomados con una frecuencia superior a $2\omega_m$ ($f_s > 2\omega_m$), es decir, en intervalos de tiempo NO mayores a $2\ T_m$ ($T_S < 2\ T_m$)"

$$\Downarrow$$

Una señal puede recuperarse completamente si se muestrea con una frecuencia f_s mayor a $2f_m$

Def.: **FRECUENCIA DE NYQUIST = $2f_m$ ($2\omega_m$)**

Dem.:

$$g_\delta(t) = g(t) \times \delta_{T_S}(t) \xleftrightarrow{F} G_\delta(\omega) = \frac{1}{2\pi} G(\omega) * F\left[\delta_{T_S}(t)\right]$$

$$\left\{ \quad F\left[\delta_{T_S}(t)\right] = \frac{2\pi}{T_S} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_S) \quad ; \quad G(\omega) * \delta(\omega - n\omega_S) = \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega')\, \delta[\omega' - (\omega - n\omega_S)]\, d\omega' = G(\omega - n\omega_S) \quad \right\}$$

$$\Downarrow$$

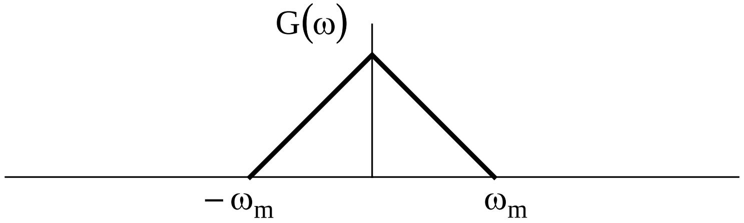
$$G_\delta(\omega) = \frac{1}{2\pi} G(\omega) * \frac{2\pi}{T_S} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_S) = \frac{1}{T_S} G(\omega) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_S) = \frac{1}{T_S} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(\omega - n\omega_S)$$

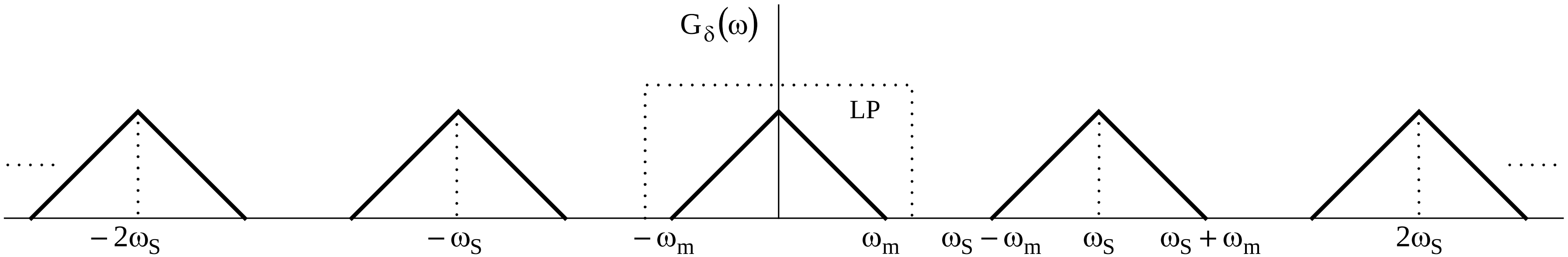
TEOREMA DE MUESTREO (II)

$$g_\delta(t) = g(t) \times \delta_{T_S}(t) \stackrel{F}{\longleftrightarrow} G_\delta(\omega) = \frac{1}{T_S} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(\omega - n\omega_S)$$

$$\Downarrow$$

El proceso de muestrear uniformemente una señal en el dominio del tiempo con un periodo T_S (ó con una frec. ω_S) produce en el dominio de la frecuencia un espectro periódico de periodo igual a la razón o frecuencia de muestreo ω_S



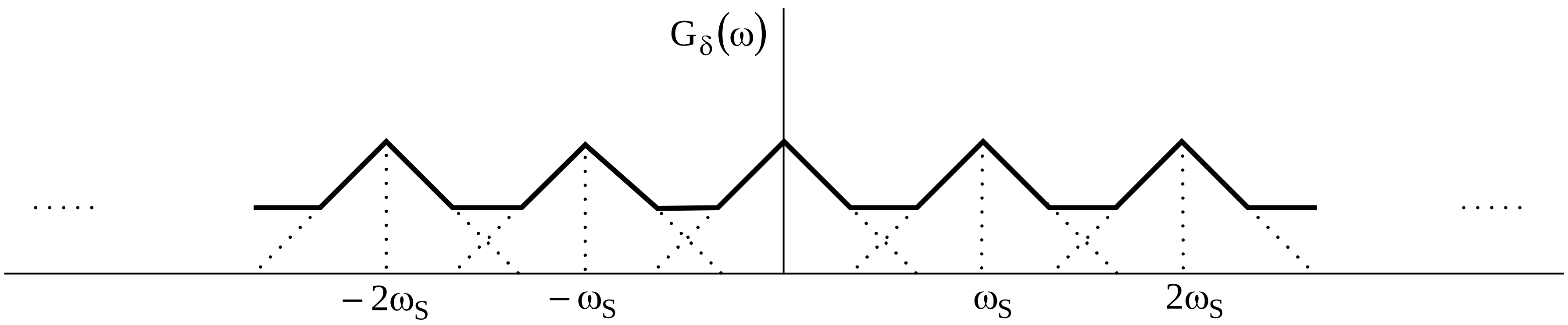


Con un FILTRO LP de BW al menos $\omega_m \Rightarrow \propto G(\omega)$ si: $\omega_S - \omega_m \geq \omega_m \Rightarrow \omega_S \geq 2\omega_m$

TEOREMA DE MUESTREO: CASO I

⇒ **Frecuencia de Muestreo menor que la Frecuencia de Nyquist: $\omega_S < 2\omega_m$:**

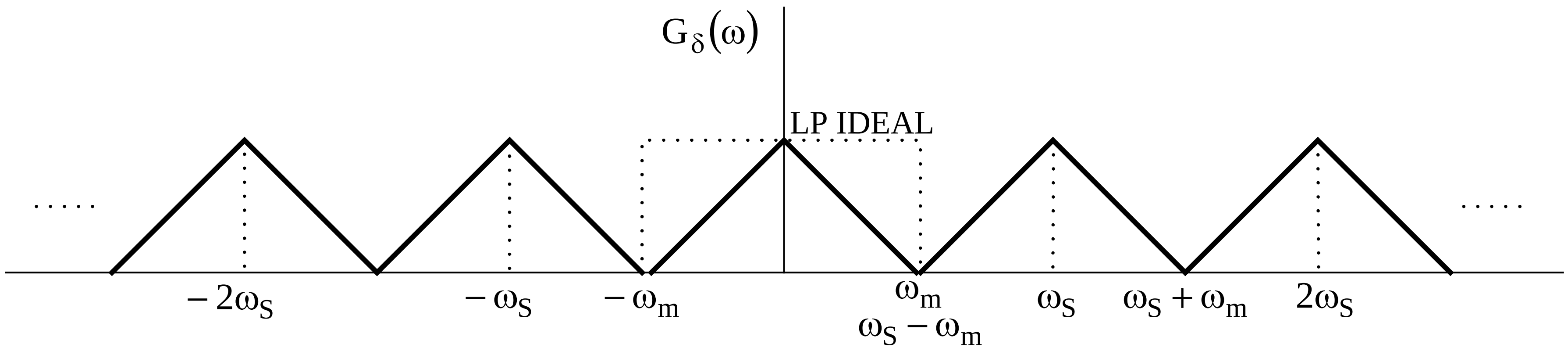
El espectro de la señal muestreada presenta réplicas desplazadas del espectro original G(ω) que se solapan, por lo que la señal original no puede ser recuperada exactamente de su versión muestreada (se pierde información en el proceso de muestreo) ⇒ EFECTO ALIASING O PSEUDOINTERFERENCIA.



TEOREMA DE MUESTREO: CASO II

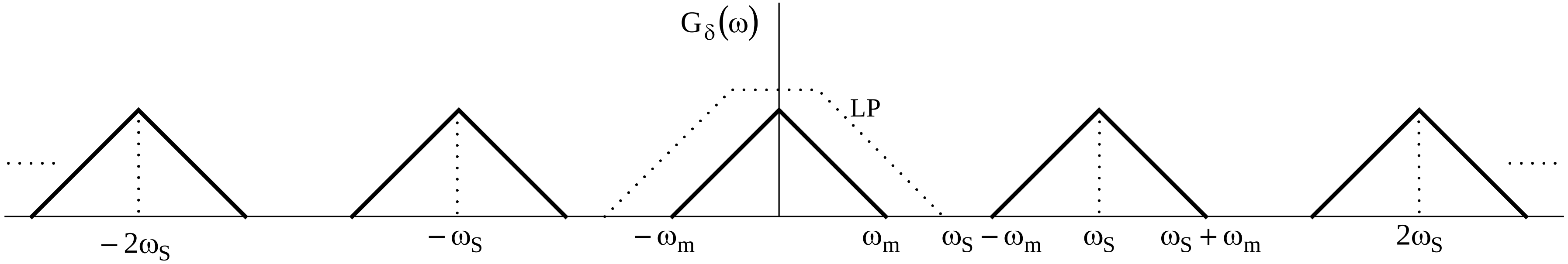
⇒ Frecuencia de Muestreo igual que la Frecuencia de Nyquist: $\omega_S = 2\omega_m$:

El espectro de la señal muestreada presenta réplicas desplazadas del espectro original G(ω) sin ninguna separación entre ellas ⇒ la señal original podría ser recuperada con un filtro LP ideal (diseños imposibles de conseguir)



TEOREMA DE MUESTREO: CASO III

⇒ **Frecuencia de Muestreo mayor que la Frecuencia de Nyquist:** $\omega_S > 2\omega_m$ **:** El espectro de la señal muestreada presenta réplicas desplazadas del espectro original de G(ω) que se mantienen separadas.



Ventaja: Diseño Filtro LP para la recuperación de la señal a partir de su versión muestreada.

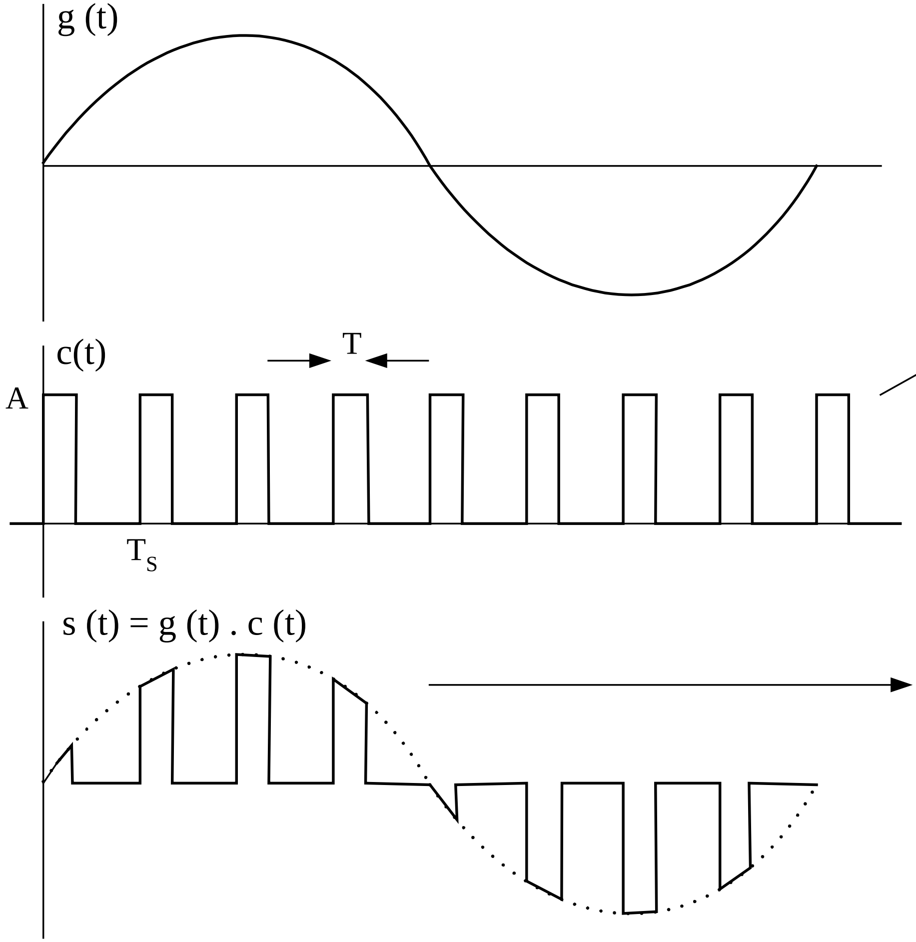
Inconveniente: SOBREMUESTREO DE LA SEÑAL (se toman más muestras de las estrictamente necesarias para representar la señal) ⇒ diseños más complejos de los circuitos muestreadores, que deben trabajar más rápido.

En la práctica:

1.- Antes del muestreo, se filtra la señal con un filtro LP para eliminar aquellas componentes de alta frecuencia que están fuera de la banda de interés y que repercuten en la reconstrucción de la señal.

2.- La señal filtrada se muestrea a una frecuencia ω_S ligeramente superior a la frecuencia de Nyquist $2\omega_m$.

MUESTREO NATURAL DE UNA SEÑAL (I)



Función de Muestreo: Tren de pulsos rectangulares de periodo T_s, amplitud A y duración T

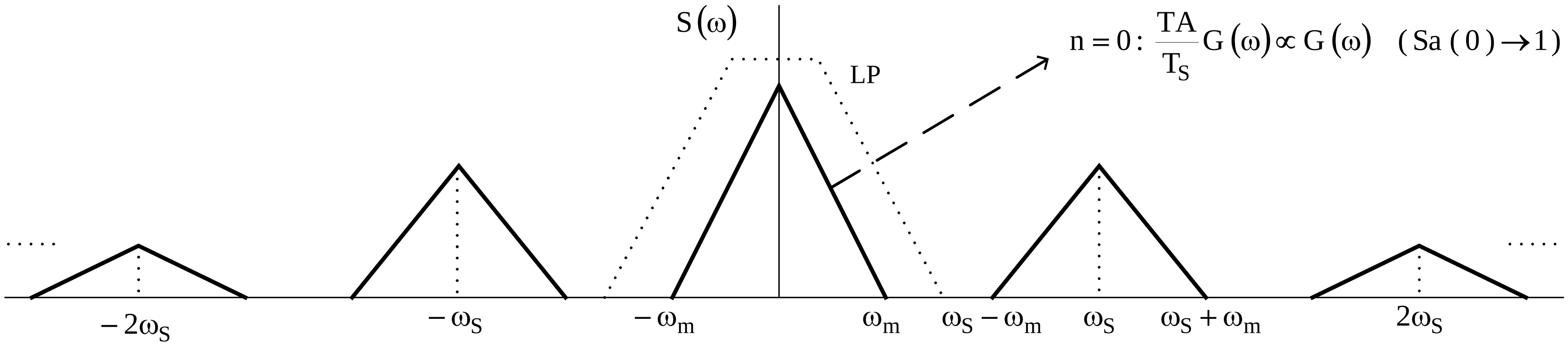
$$c(t) = \frac{TA}{T_S}\sum_{n=-\infty}^{\infty} Sa\left(\frac{n\pi T}{T_S}\right) e^{j\frac{2\pi}{T_S}nt} = \frac{TA}{T_S}\sum_{n=-\infty}^{\infty} Sa\left(\frac{n\pi T}{T_S}\right) e^{j\omega_S nt}$$

Porciones sucesivas de la señal analógica de duración T y tomadas regularmente con una frecuencia $f_S = 1/T_S$

$$s(t) = \frac{TA}{T_S}\sum_{n=-\infty}^{\infty} Sa\left(\frac{n\pi T}{T_S}\right) g(t)\ e^{j\frac{2\pi}{T_S}nt}$$

MUESTREO NATURAL DE UNA SEÑAL (II)

$$s(t) = \frac{TA}{T_S} \sum_{n=-\infty}^{\infty} Sa\left(\frac{n\pi T}{T_S}\right) g(t)\, e^{j\frac{2\pi}{T_S}nt} \quad \stackrel{F}{\longleftrightarrow} \quad S(\omega) = \frac{TA}{T_S} \sum_{n=-\infty}^{\infty} Sa\left(\frac{n\pi T}{T_S}\right) G(\omega - \omega_S)$$



$\Downarrow$

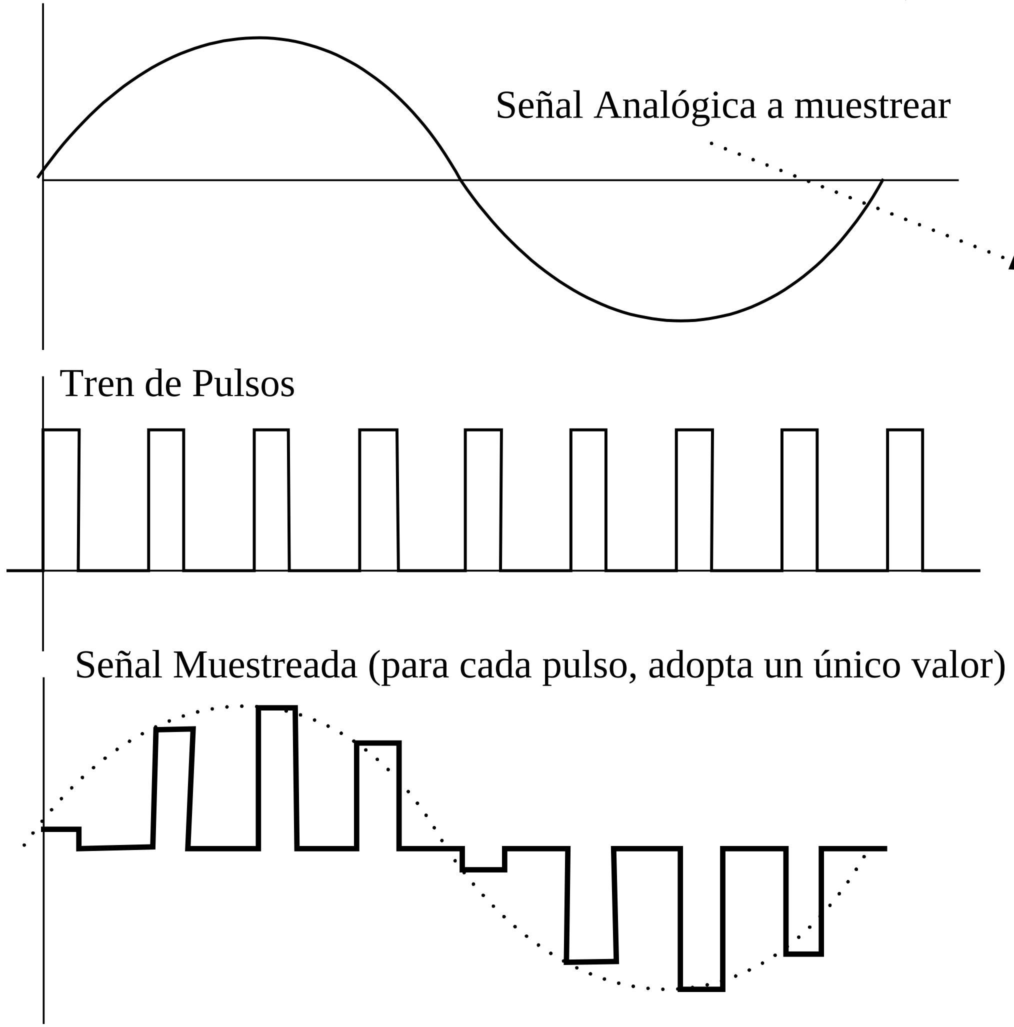
Espectro formado por infinitas réplicas de G(ω) desplazadas en frecuencia múltiplos de ω_S, que se van atenuando por la acción de la función Sampling.

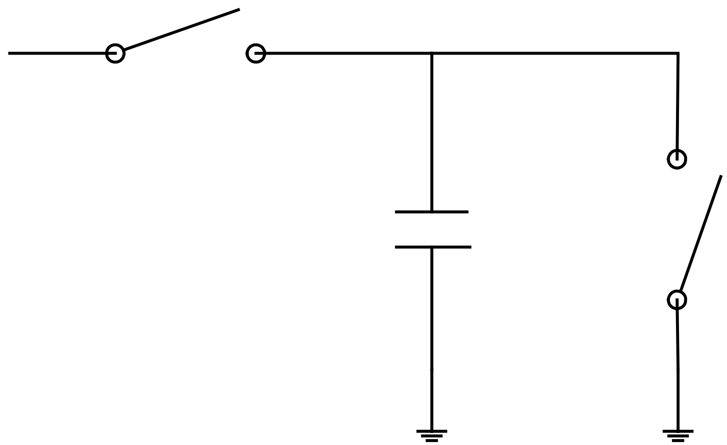
$\Downarrow$

Si la frecuencia de muestreo es mayor que la Frecuencia de Nyquist ($\omega_S > 2\omega_m$): la señal original puede ser recuperada sin distorsión a partir de la señal muestreada con un filtro LP.

Inconveniente Muestreo Natural: problemas en convertidores Analógico / Digital de sistemas PCM.

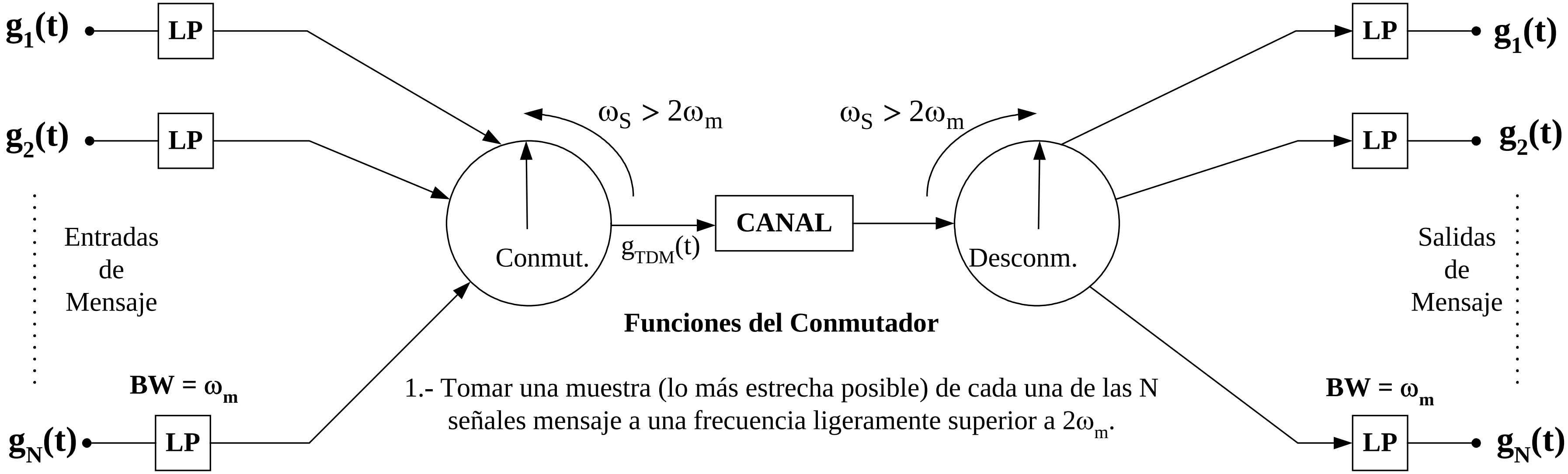
<u>MUESTREO FLAT-TOP (Muestreo de Cresta-Plana)</u>





(Dispositivos Sample and Hold)

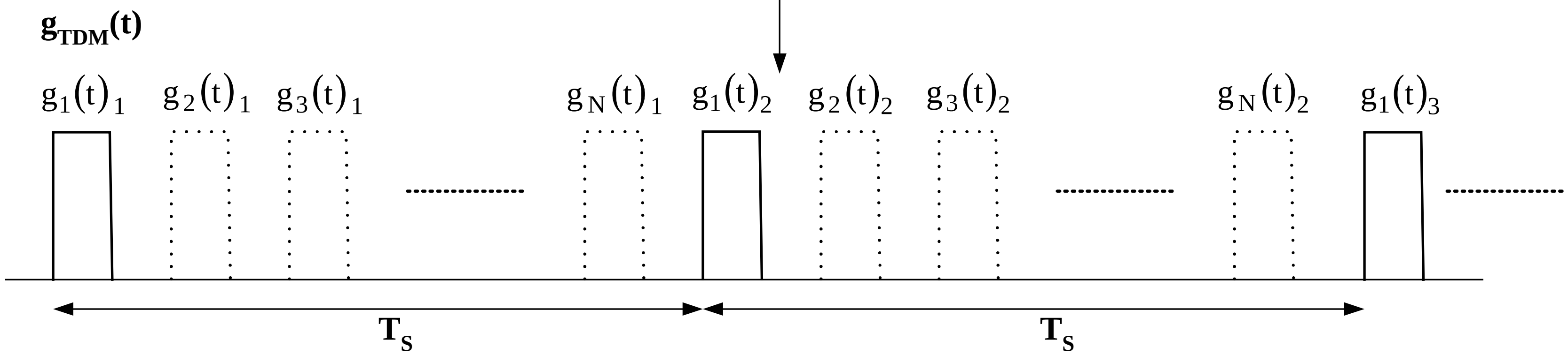
MULTIPLEXIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDM)



Funciones del Conmutador

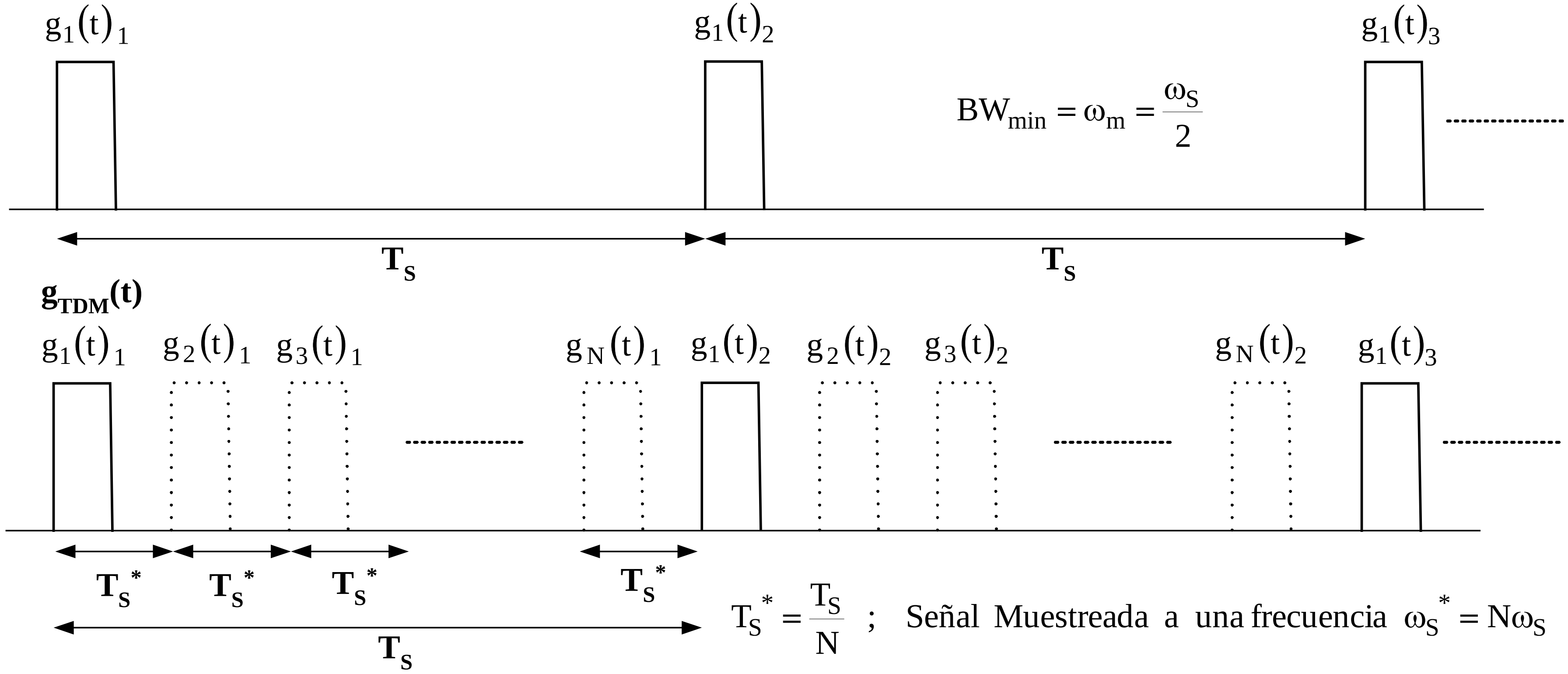
1.- Tomar una muestra (lo más estrecha posible) de cada una de las N señales mensaje a una frecuencia ligeramente superior a $2\omega_m$.

2.- Intercalar secuencialemente las N muestras en el periodo de muestreo T_S



MULTIPLEXIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDM): OBSERVACIONES

1.- ANCHO DE BANDA DE UNA SEÑAL $g_{TDM}(t)$:

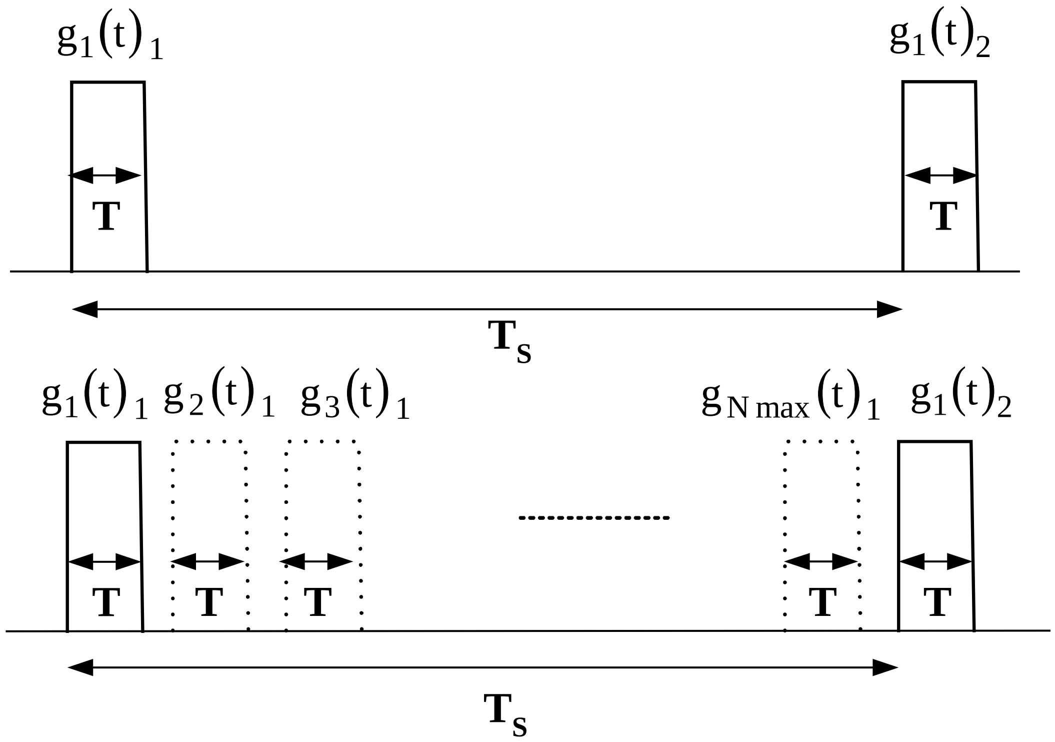


$$\Downarrow$$

$$BW_{CANAL\ MÍNIMO} = \omega_m^* = \frac{\omega_S^*}{2} = \frac{N\omega_S}{2} = \frac{N2\omega_m}{2} = N\omega_m \quad \Rightarrow \quad BW_{CANAL} \geq N\omega_m$$

MULTIPLEXIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDM): OBSERVACIONES

2.- NÚMERO RESTRINGIDO DE SEÑALES A TRANSMITIR POR UN CANAL COMÚN.



Si T = Duración del Pulso de Muestreo

$\Downarrow$

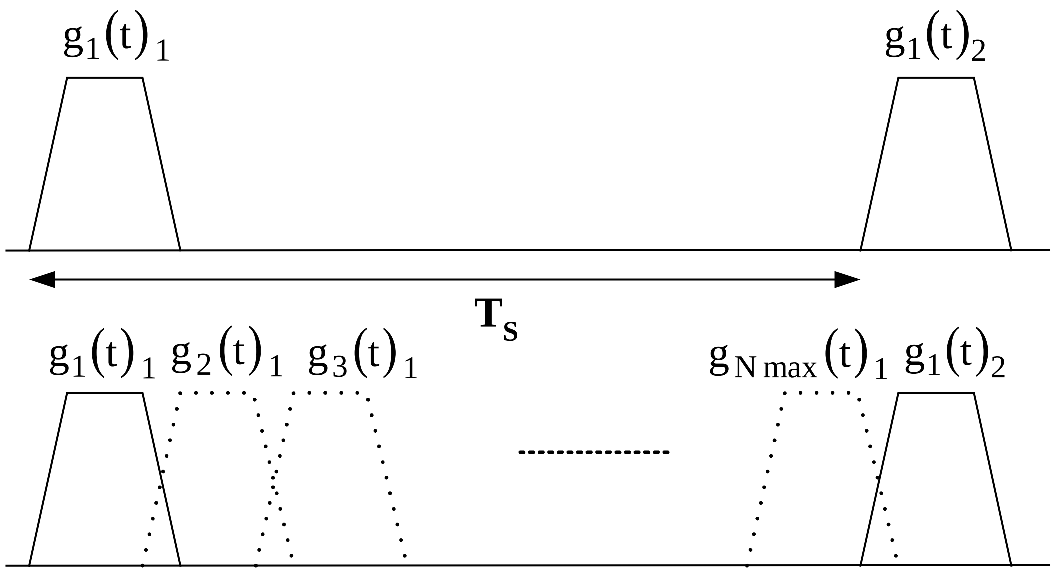
Número Máximo de Muestras de diferentes señales en T_S

$$N_{max} = \frac{T_S}{T}$$

Número Máximo de Señales

MULTIPLEXIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDM): OBSERVACIONES

3.- EFECTO CROSSTALK (Conversaciones Cruzadas)



Si transmitimos por un mismo canal un nº de señales cercano al máximo permitido

$$N_{max} = \frac{T_S}{T}$$

$$\Downarrow$$

Solapamiento entre los pulsos de las distintas muestras (pulsos no ideales).

Solución: separar más los pulsos de las muestras y enviar menos señales que las que idealmente son permitidas.

4.- VENTAJAS FRENTE A SISTEMA DE MULTIPLEXIÓN EN FRECUENCIA

- **Circuitos de emisión y recepción iguales y menos complejos.**
- **Requerimiento menor en el ancho de banda del canal.**
- **Modularidad del esquema:** se pueden enviar más señales ampliando el periodo de muestreo (siempre cumpliendo que la frecuencia de muestreo sea mayor a la de Nyquist).