

Introducción al análisis y transmisión de señales

La transmisión de información

- La información se puede transmitir por medio físico al variar alguna de sus propiedades, como el voltaje o la corriente.
- Este valor se puede representar como una función simple del tiempo $s(t)$, en forma de señales.
- Esto nos permite modelar y analizar el comportamiento de las señales.

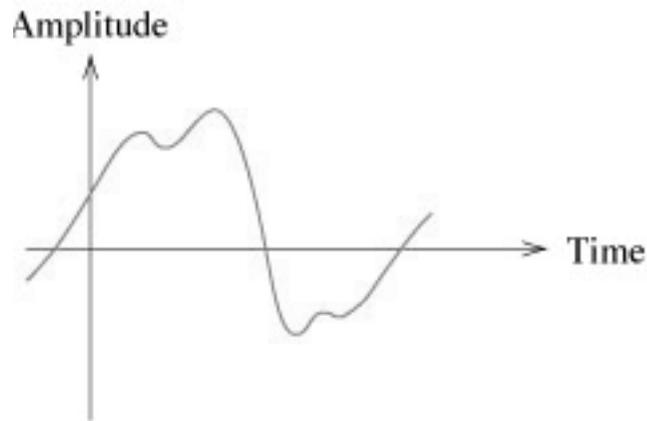
Datos analógicos y digitales

- Datos analógicos: información continua
- Datos digitales: información discreta
- Almacenamiento y transmisión

Señales analógicas y digitales

Señal analógica:

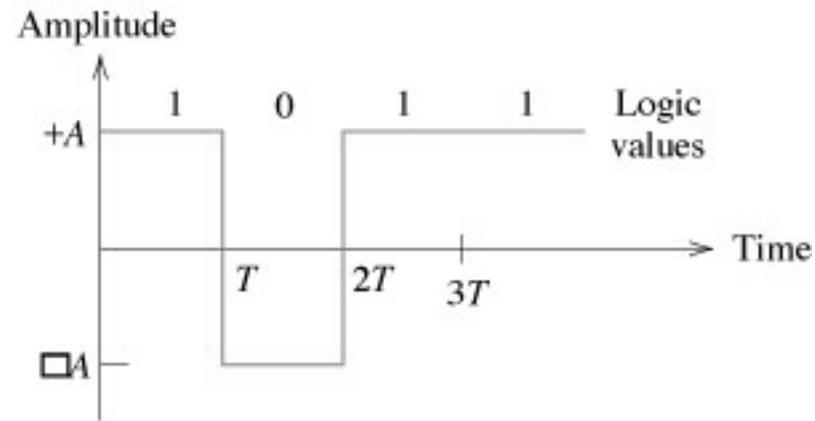
- Puede tomar cualquier valor de amplitud.
- Variación continua de amplitud en el tiempo



(a) Analog signal

Señal digital:

- Solo toma un número finito de amplitudes (en lógica binaria, dos)
- Usualmente cambia la amplitud en instantes espaciados uniformemente



(b) Digital signal

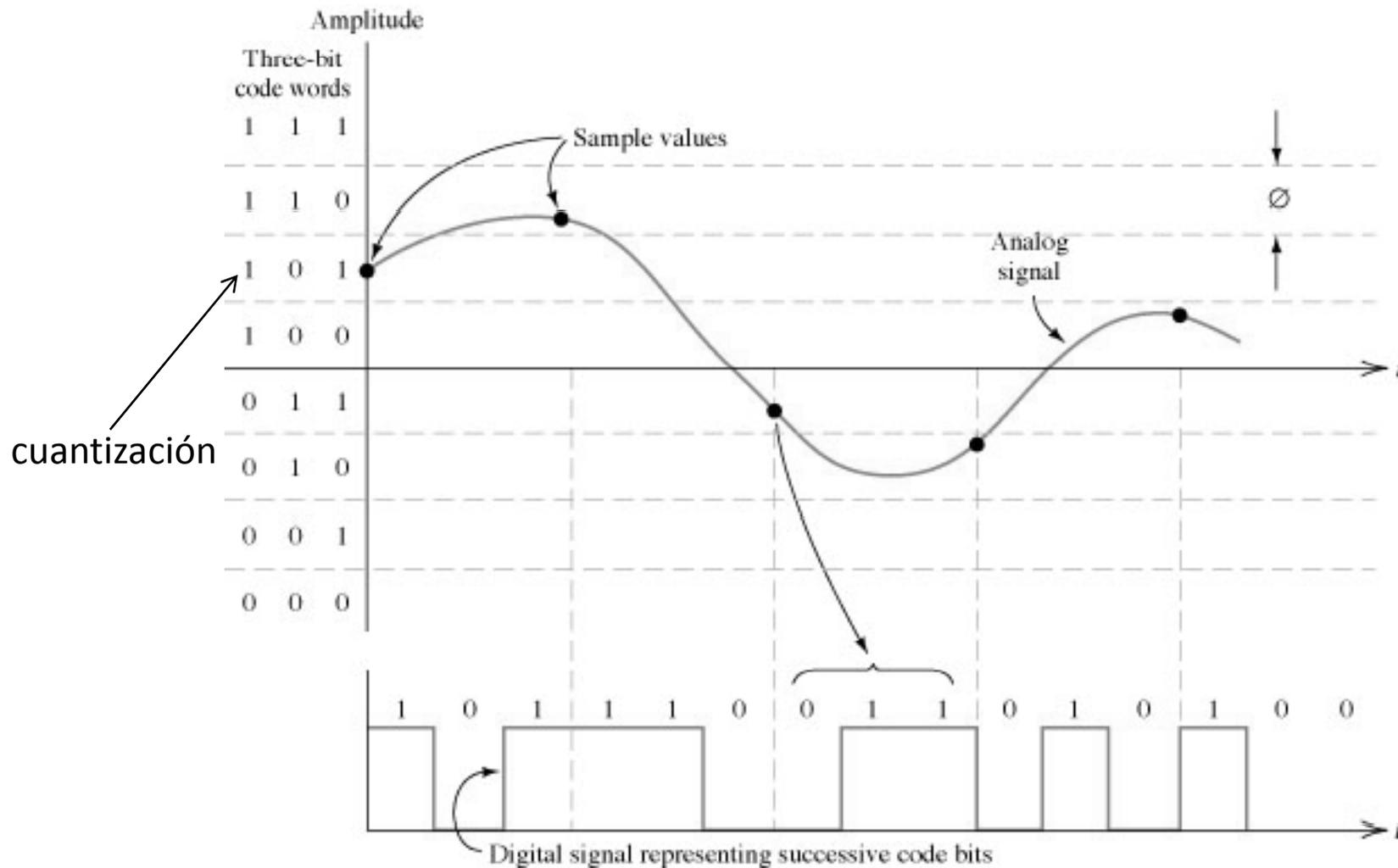
Conversión de señales: analógica-digital y digital-analógica

- Se puede pasar de una señal analógica a una digital y viceversa
- La información digital se representa con palabras con un número de bits determinado
- Cuando se recupera la señal analógica en el proceso de conversión A/D, la señal recuperada tendrá un cierto error: error de cuantización, que dependerá del número de bits de la palabra digital.

nº bits x palabra $\uparrow \Rightarrow$ error \downarrow

Frecuencia de muestreo $\geq 2 \cdot$ frecuencia máx. de la señal muestreada

Conversión analógica-digital



Conversión analógica-digital

Muestreo

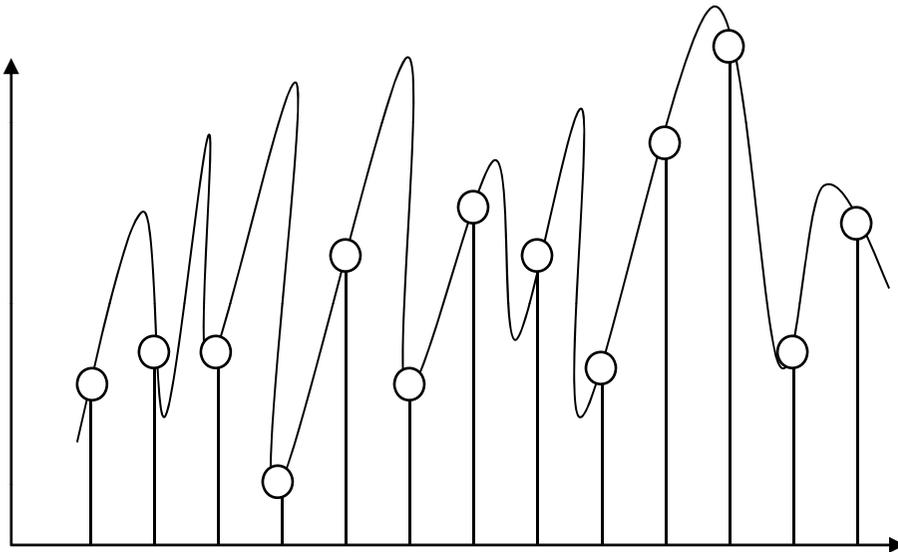
- Consiste en capturar información de una señal continua en periodos de muy corta duración a intervalos de tiempo regulares
- Señal muestreada: señal formada por una serie de muestras o pulsos igualmente espaciados y que representan la señal original de información en el instante de muestreo

Conversión analógica-digital

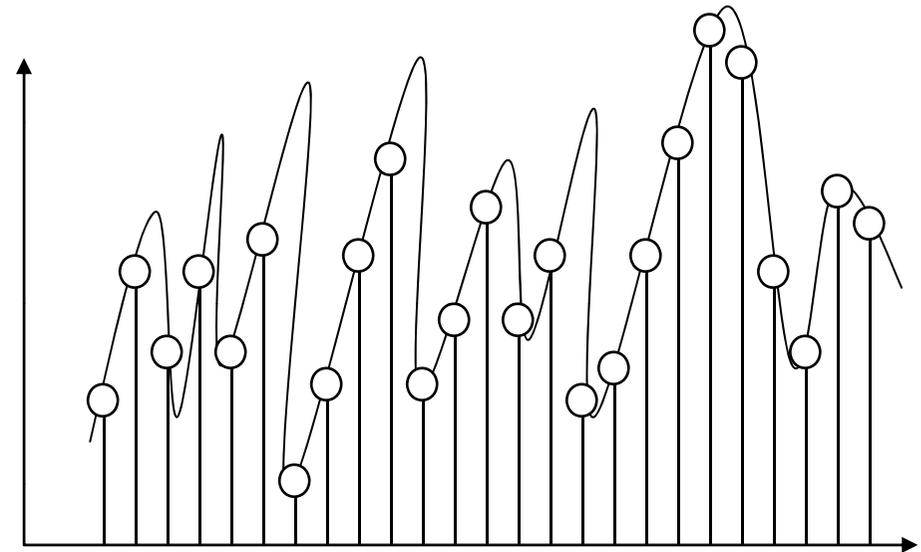
Teorema del muestreo

- ¿Qué tan seguido hay que tomar muestras?
- Cantidad mínima de muestras que se necesitan para representar con toda exactitud la señal original
- Velocidad de muestreo: cantidad de muestras por segundo
 - p.e. canal telefónico, espectro conversación: 0-4Khz
 - frecuencia de muestreo: 8000 muestras/seg

Conversión analógica-digital

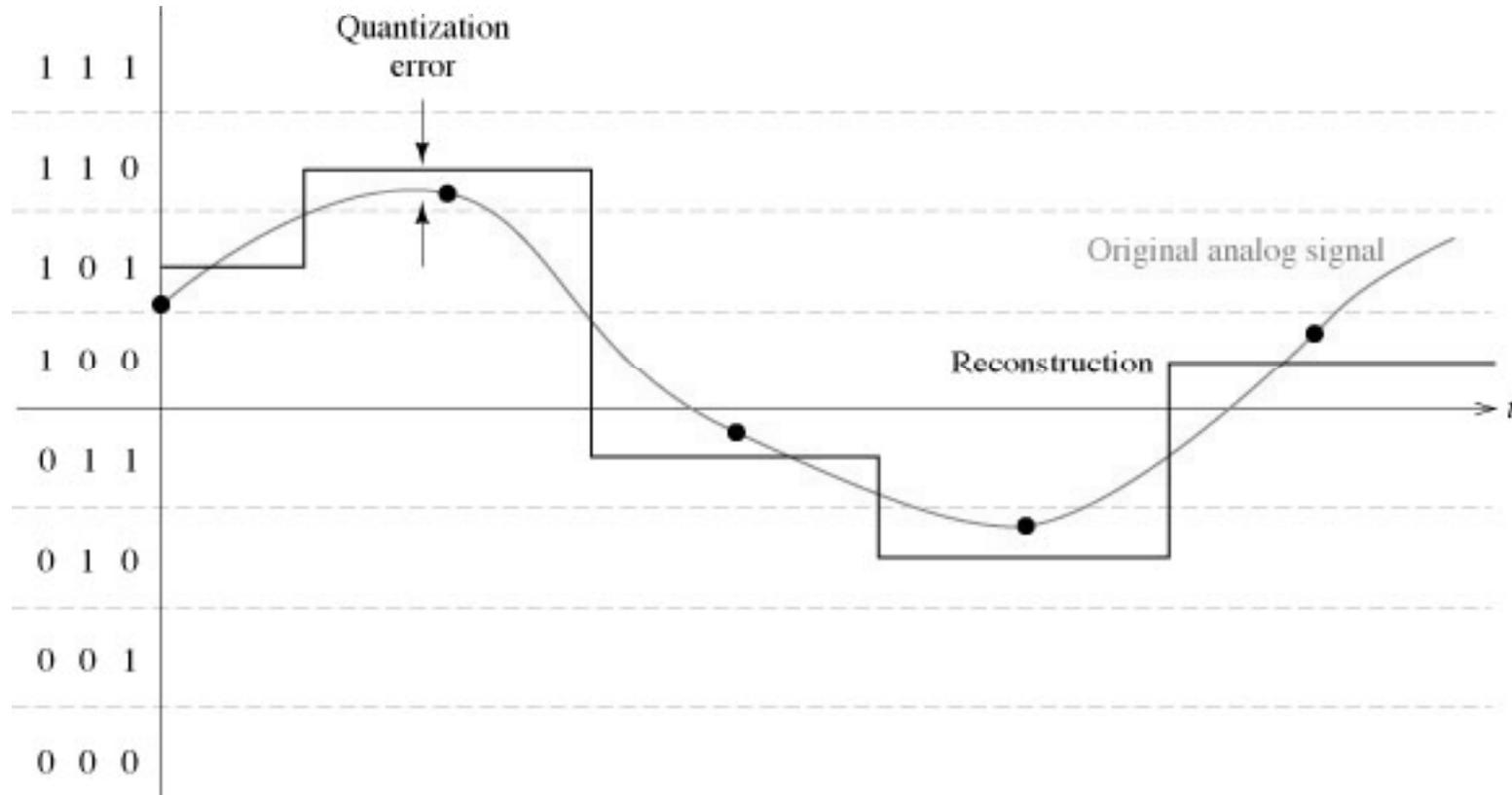


muestreo con 13 puntos



muestreo con 26 puntos

Conversión digital-analógica



Se puede suavizar la señal escalón mediante un filtro paso baja y acercarnos a la señal original

Señales periódicas y aperiódicas

- Una señal es periódica si completa un patrón en un tiempo medible denominado periodo. Es decir, si y sólo si:

$$s(t + T) = s(t)$$

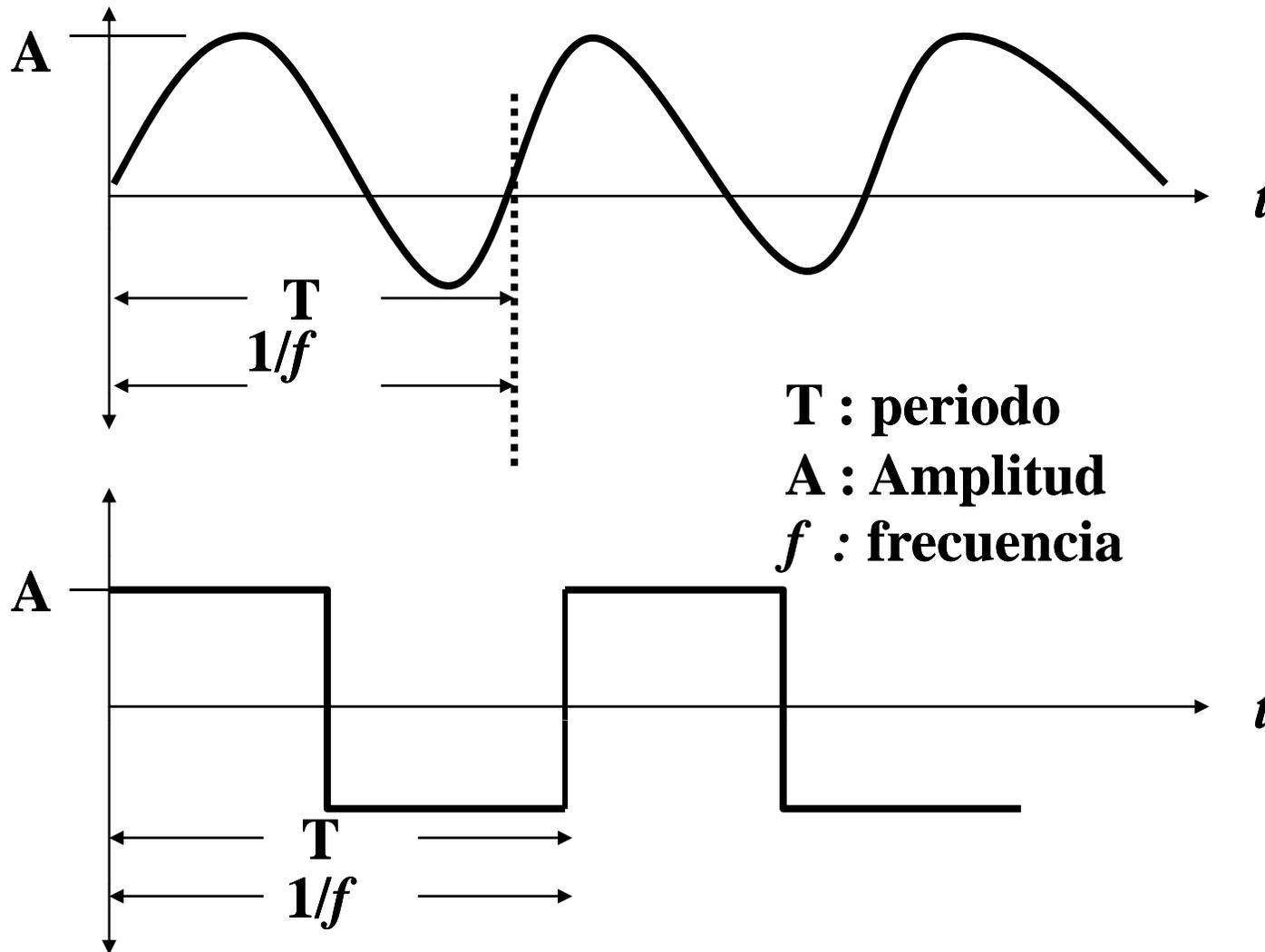
$$-\infty < t < +\infty$$

donde T es el periodo de la señal

Señales periódicas

- Las 3 características más importantes de una señal periódica son
 - Amplitud
 - Frecuencia
 - Fase

Amplitud, periodo y frecuencia

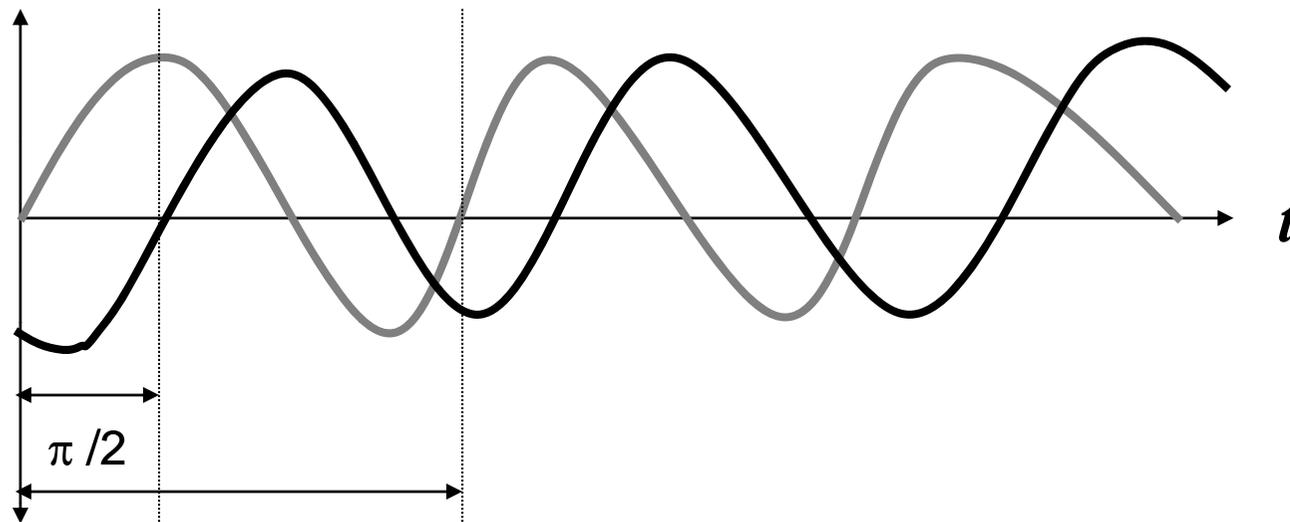


La frecuencia

- Es el inverso del periodo ($1/T$)
- Representa el número de repeticiones de un periodo por segundo.
- Expresado en ciclos por segundo, o hertz (Hz).

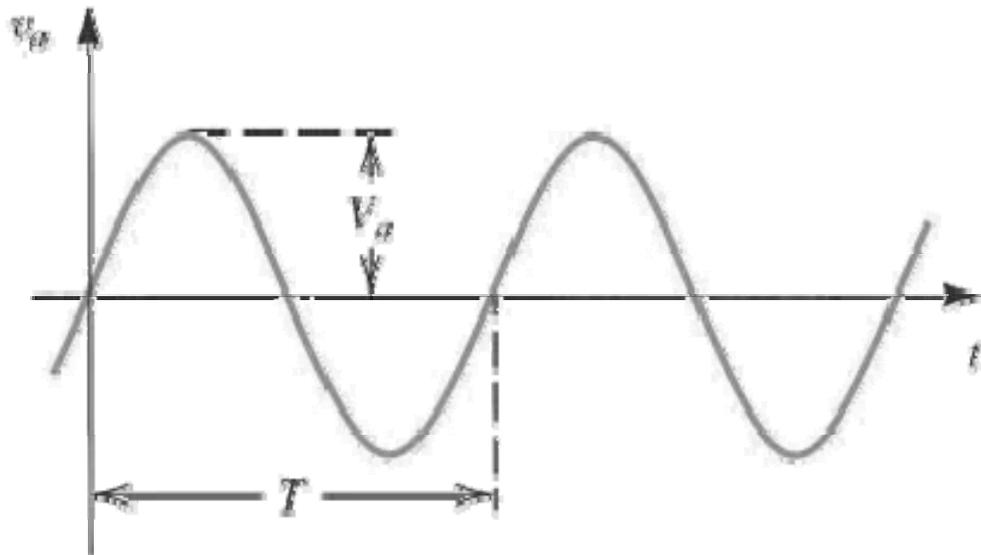
La fase

- Es una medida de la posición relativa en el tiempo del periodo de una señal.



Señal sinusoidal

Es la función fundamental de una señal analógica periódica



$$s(t) = A \cdot \text{sen}(\omega t + \Theta)$$

A: amplitud de la señal

ω : frecuencia angular $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$
(rad/seg)

f: frecuencia lineal $f = 1/T$

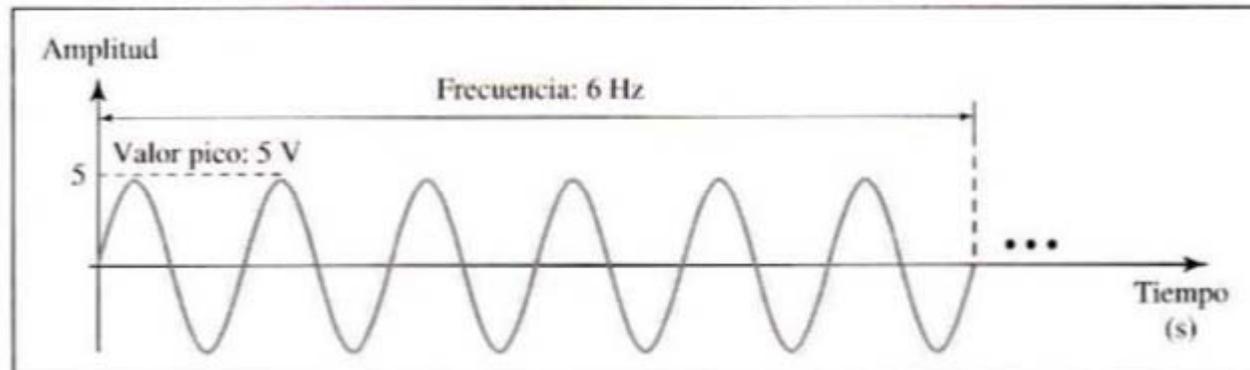
Θ : ángulo de fase de la señal en el origen

Representación en frecuencia

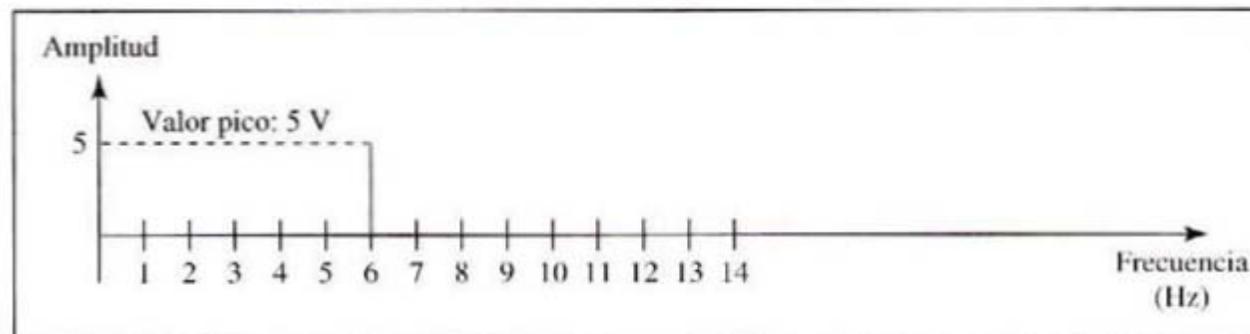
- Una señal se puede representar en función del tiempo (representación en el dominio del tiempo) o en términos de su espectro de frecuencias (representación en el dominio de la frecuencia)
- Cualquier señal se puede considerar como una suma de componentes sinusoidales de distintas frecuencias, amplitudes y fases
- El análisis de Fourier es una técnica matemática que permite determinar los espectros de cualquier señal.

Representación en frecuencia

Una señal sinusoidal se puede representar en el dominio de la frecuencia como una función impulso de amplitud A

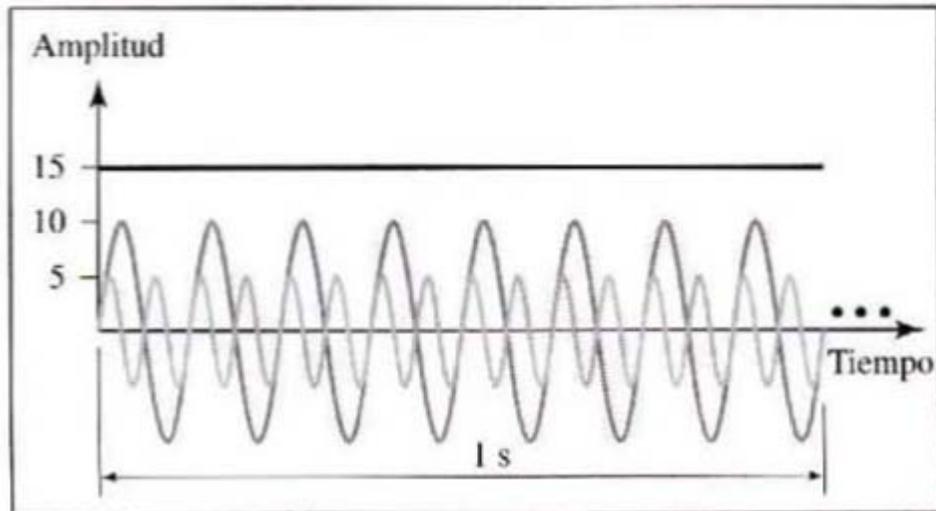


a. Una onda seno en el dominio del tiempo (valor pico: 5 V, frecuencia: 6 Hz)

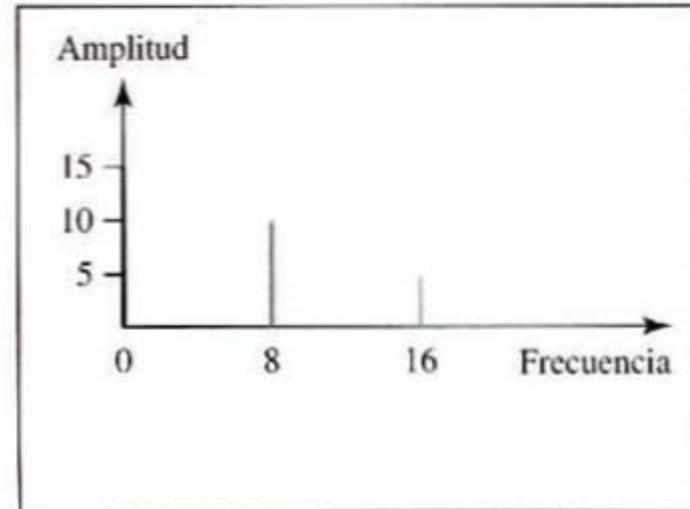


b. La misma onda seno en el dominio de frecuencia (valor pico: 5 V, frecuencia: 6 Hz)

Representación en frecuencia



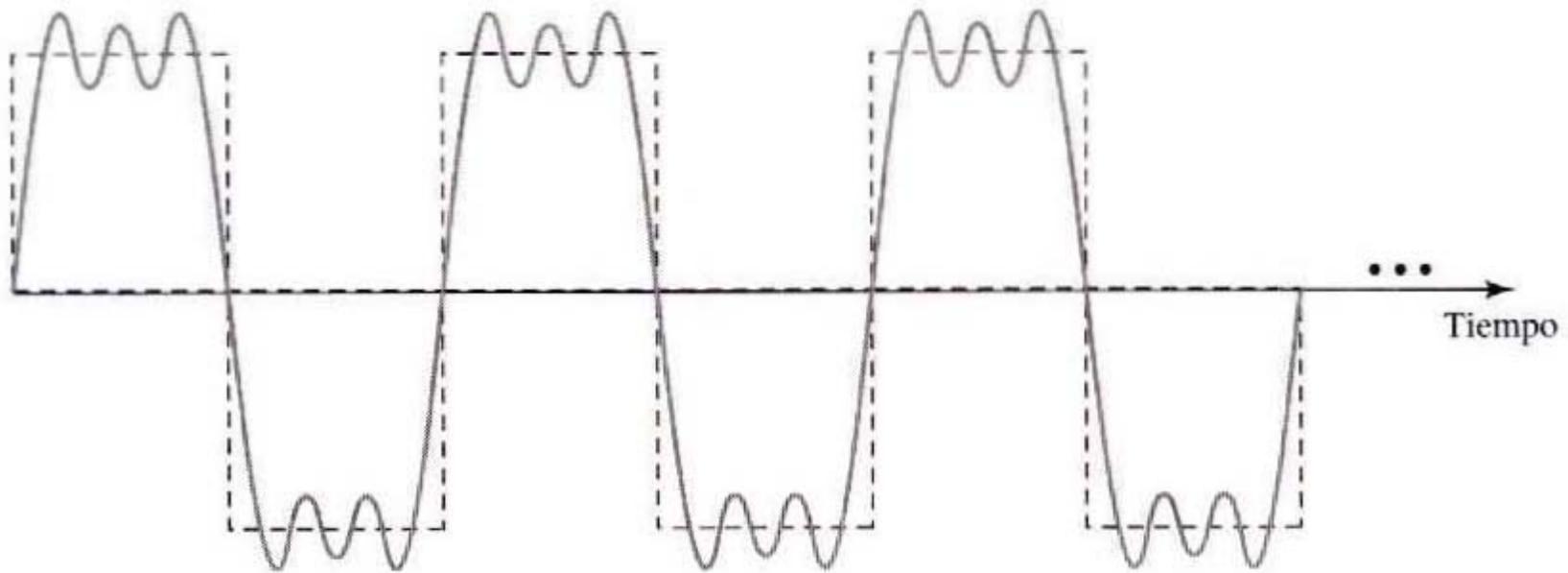
a. Representación en dominio del tiempo de tres ondas seno con frecuencias 0, 8 y 16



b. Representación en dominio de frecuencia de las mismas tres señales

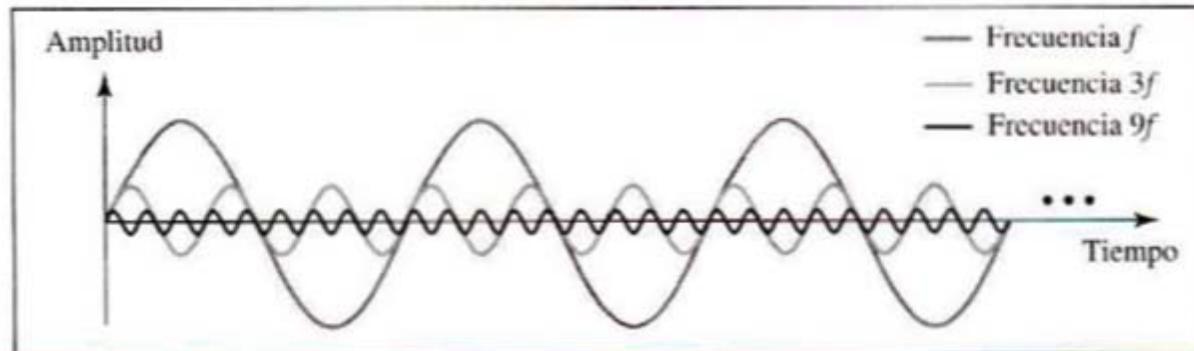
Representación en frecuencia

Una señal sinusoidal compuesta se representa en el dominio de la frecuencia como una varios impulsos

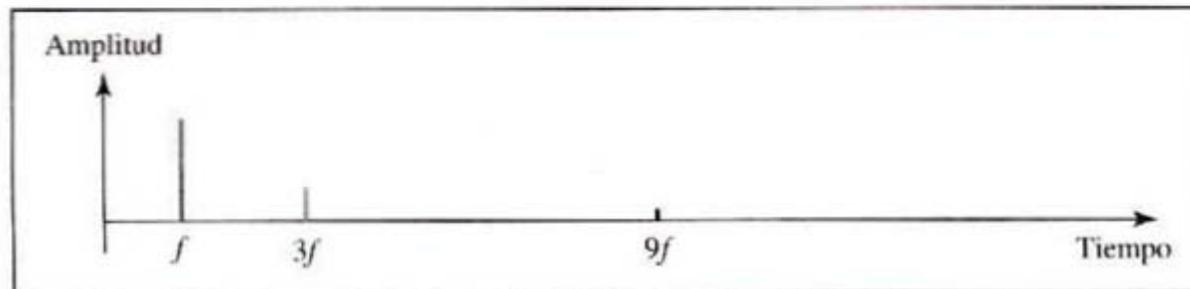


Representación en frecuencia

La señal compuesta es una suma de sinusoidal en el dominio temporal y una suma de impulsos en el dominio frecuencial.



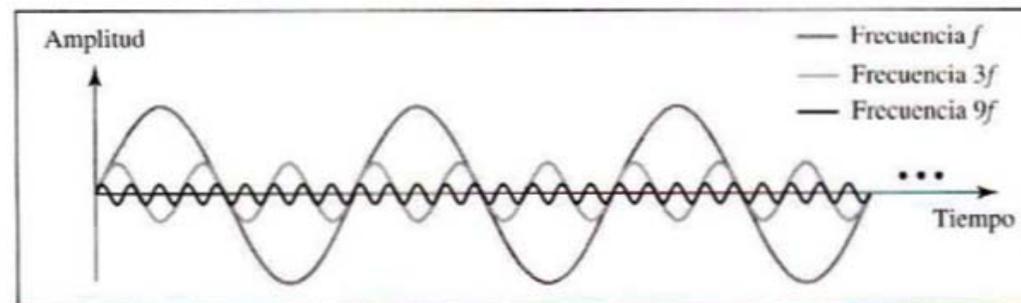
a. Descomposición en dominio del tiempo de una señal compuesta



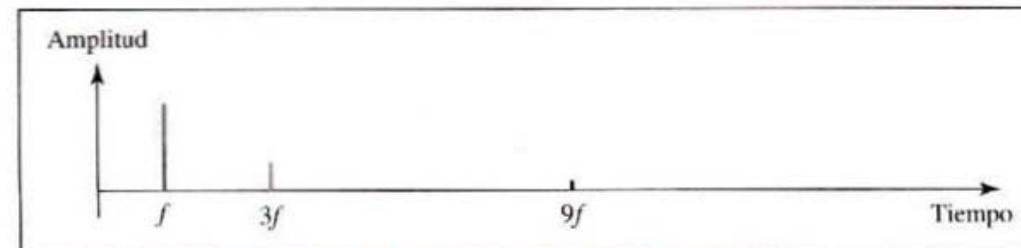
b. Descomposición en dominio de frecuencia de la señal compuesta

Representación en frecuencia

Una señal periódica contiene un número finito de componentes de frecuencia. Por lo tanto su representación en frecuencia es discreta



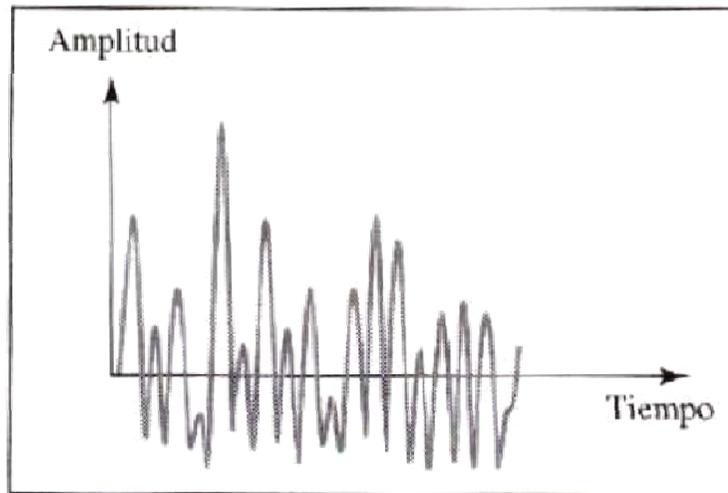
a. Descomposición en dominio del tiempo de una señal compuesta



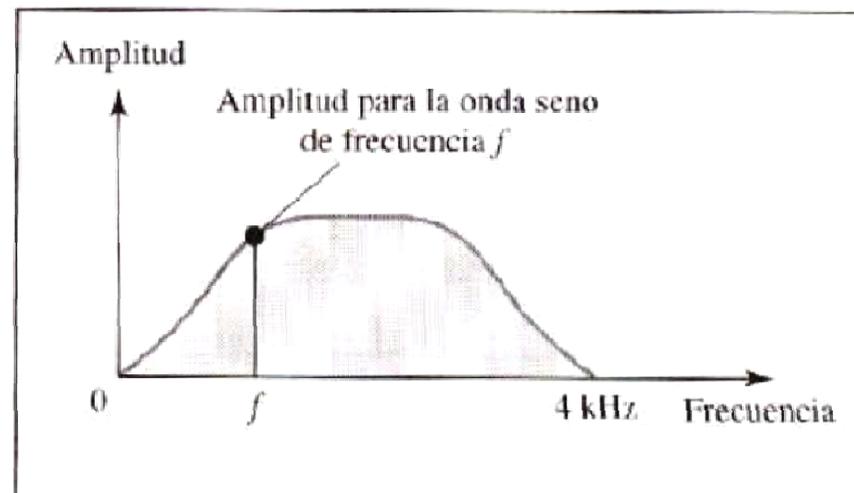
b. Descomposición en dominio de frecuencia de la señal compuesta

Representación en frecuencia

Una señal aperiódica se modela como una combinación de señales sinusoidales con frecuencias continuas. Por lo tanto su representación en frecuencia es continua.



a. Dominio del tiempo

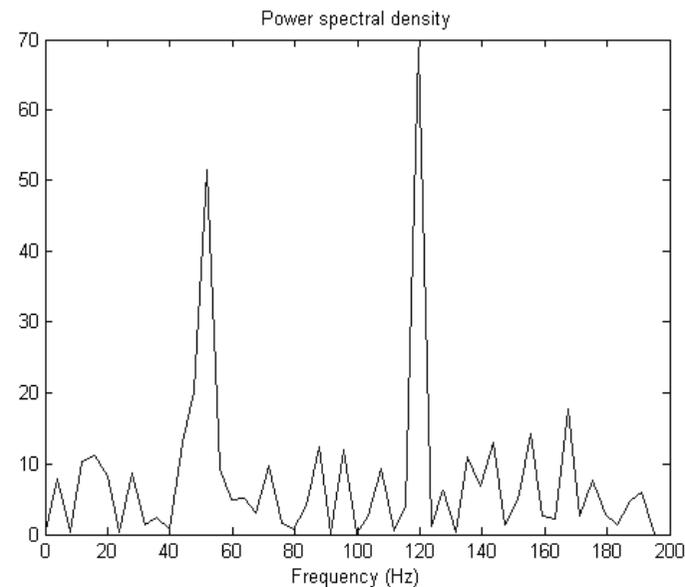
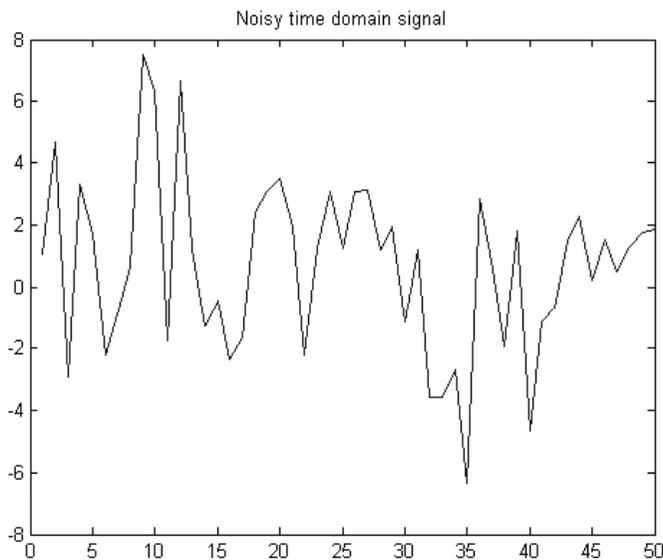


b. Dominio de frecuencia

Densidad espectral de potencia

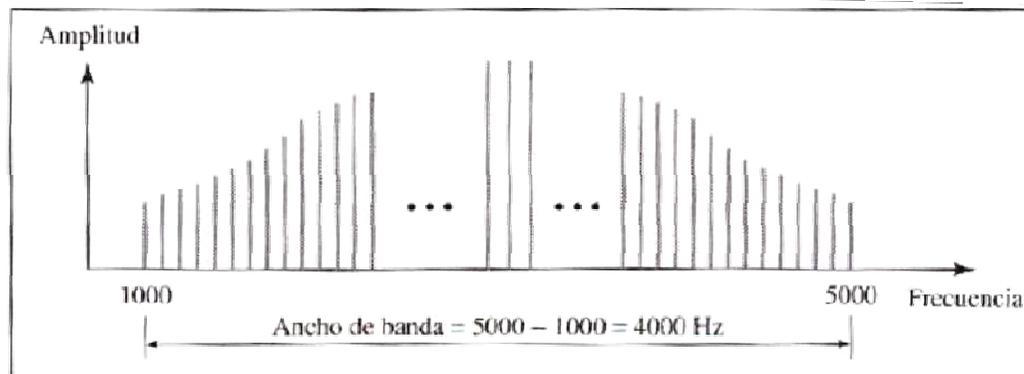
Es la potencia de cada componente de frecuencia de una señal

Muestra como esta distribuida la potencia de la señal en cada frecuencia

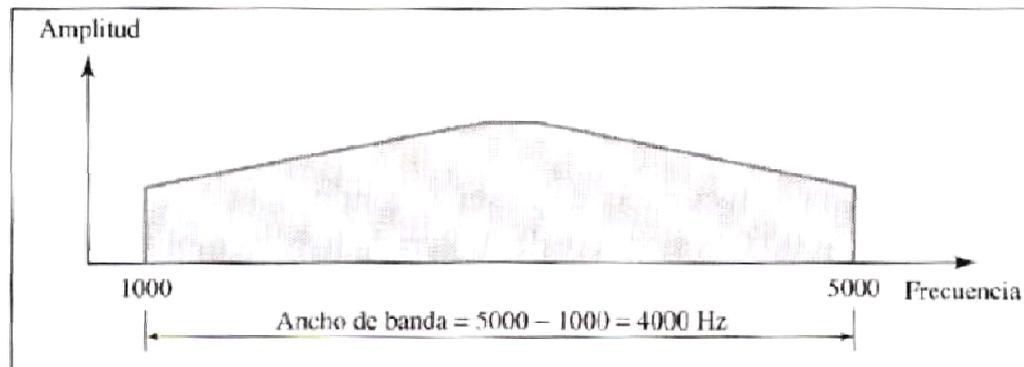


Ancho de banda

Es el rango de frecuencias de una señal, es decir, la diferencia entre la frecuencia mas alta y la mas baja contenidas en ésta.



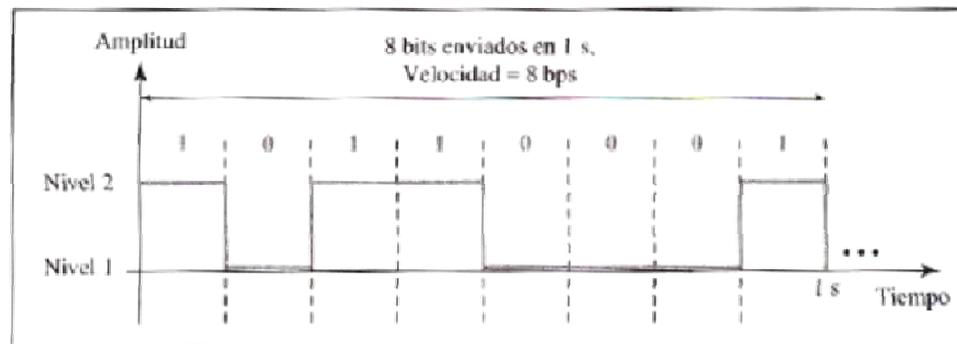
a. Ancho de banda de una señal periódica



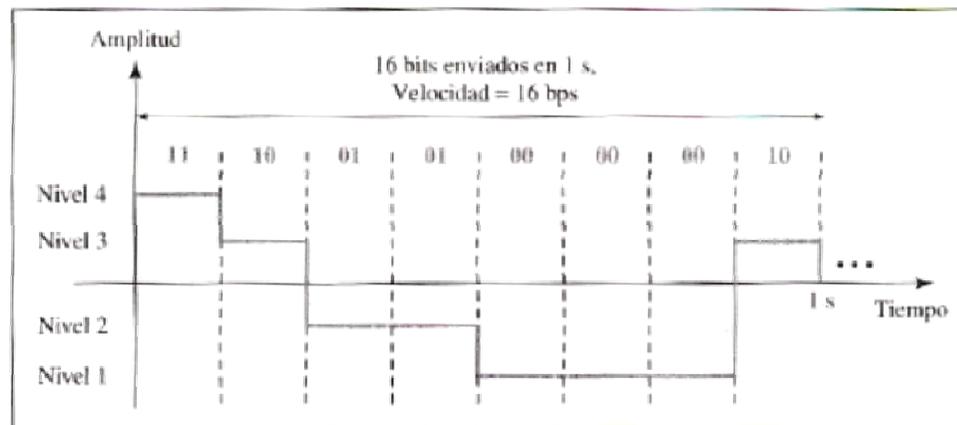
b. Ancho de banda de una señal no periódica

Señales digitales

Representan información cuantizada. La que se puede codificar utilizando un número variable de niveles



a. Una señal digital con dos niveles



b. Una señal digital con cuatro niveles

Si la señal tiene L niveles se necesitan:

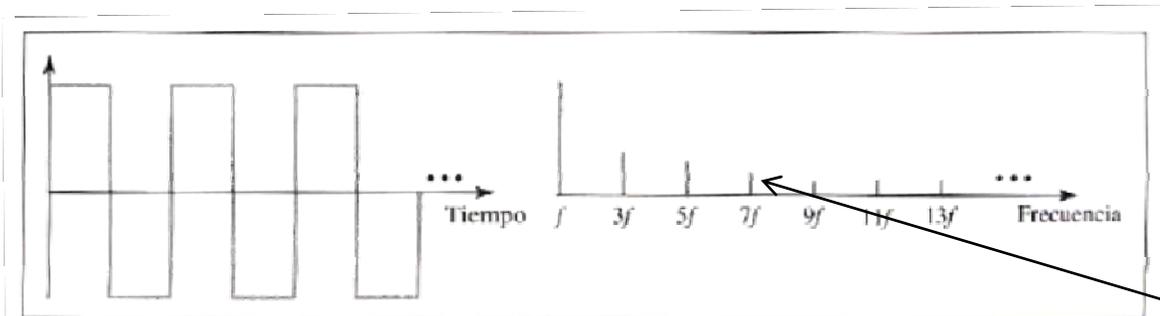
$\log_2(L)$ bits

para su representación

Señales digitales

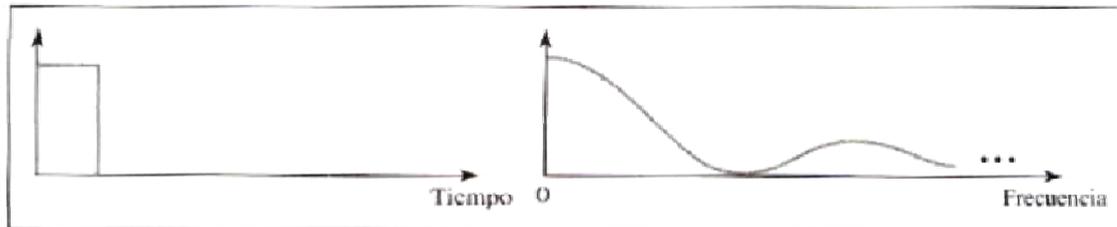
Dominios del tiempo y la frecuencia de señales digitales periódicas y aperiódicas

- Un pulso aislado es una señal aperiódica → su espectro es continuo
- El espectro del pulso aperiódico es la envolvente del espectro del pulso periódico
- Pulso digital es una señal de tipo escalón → ancho de banda entre $f=0$ a $f=\infty$



a. Dominio de tiempo y frecuencia de una señal digital periódica

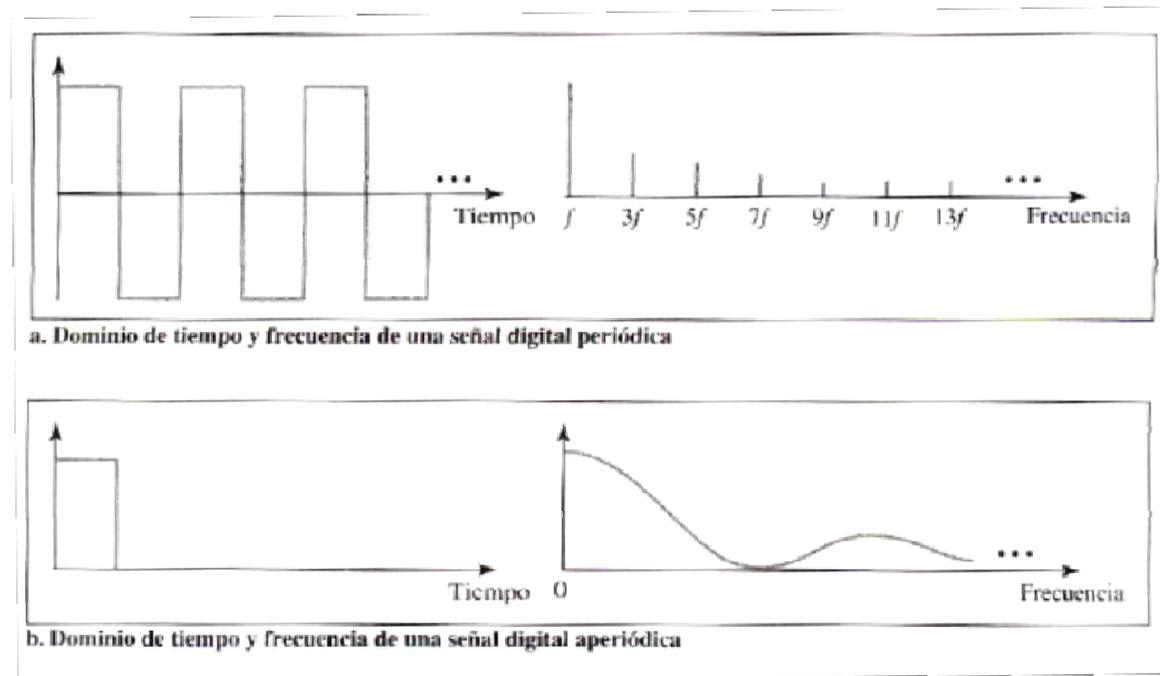
armónicos



b. Dominio de tiempo y frecuencia de una señal digital aperiódica

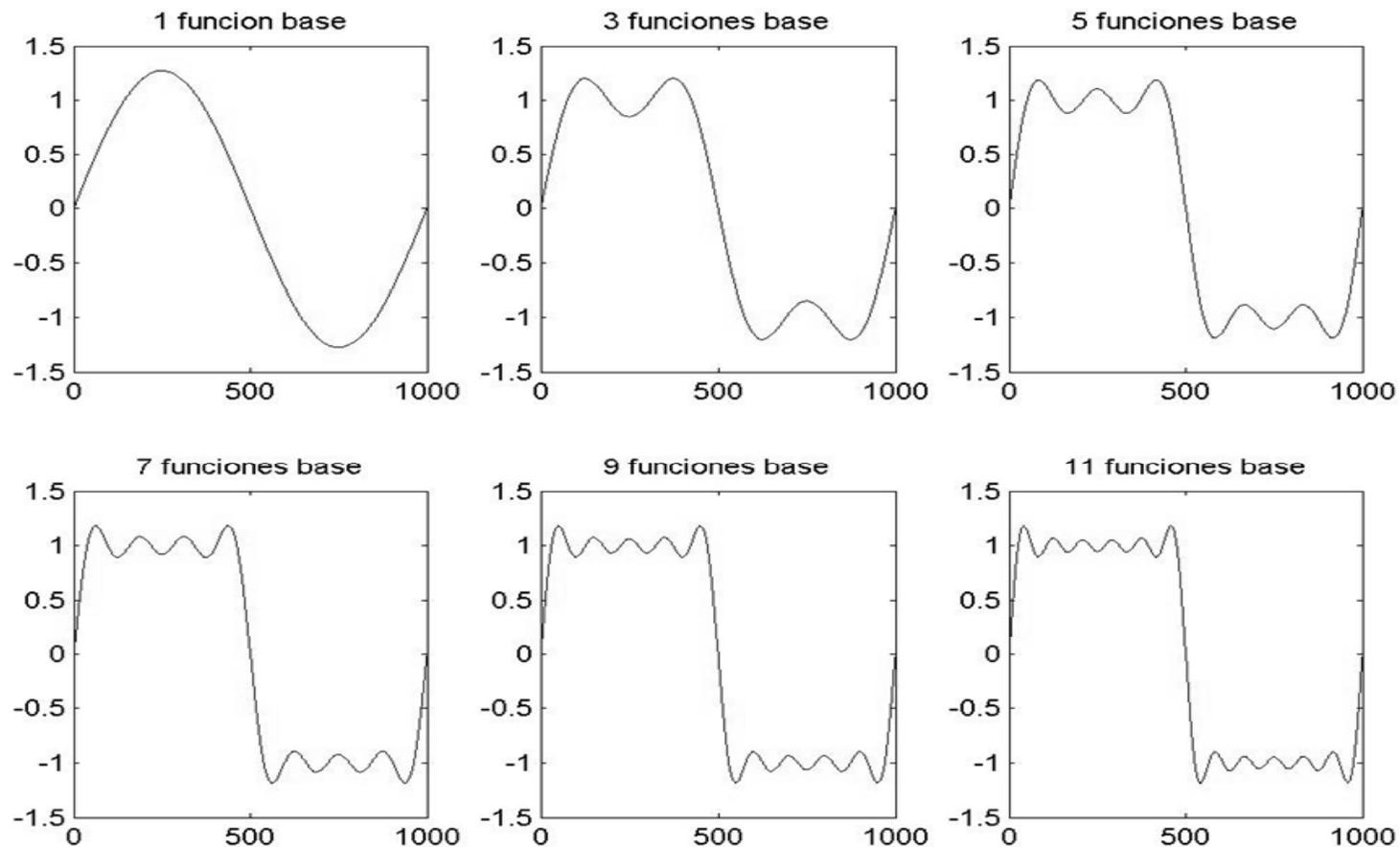
La señal digital como señal analógica

Una señal digital puede ser representada como una señal analógica compuesta de sinusoides de frecuencias entre cero e infinito.



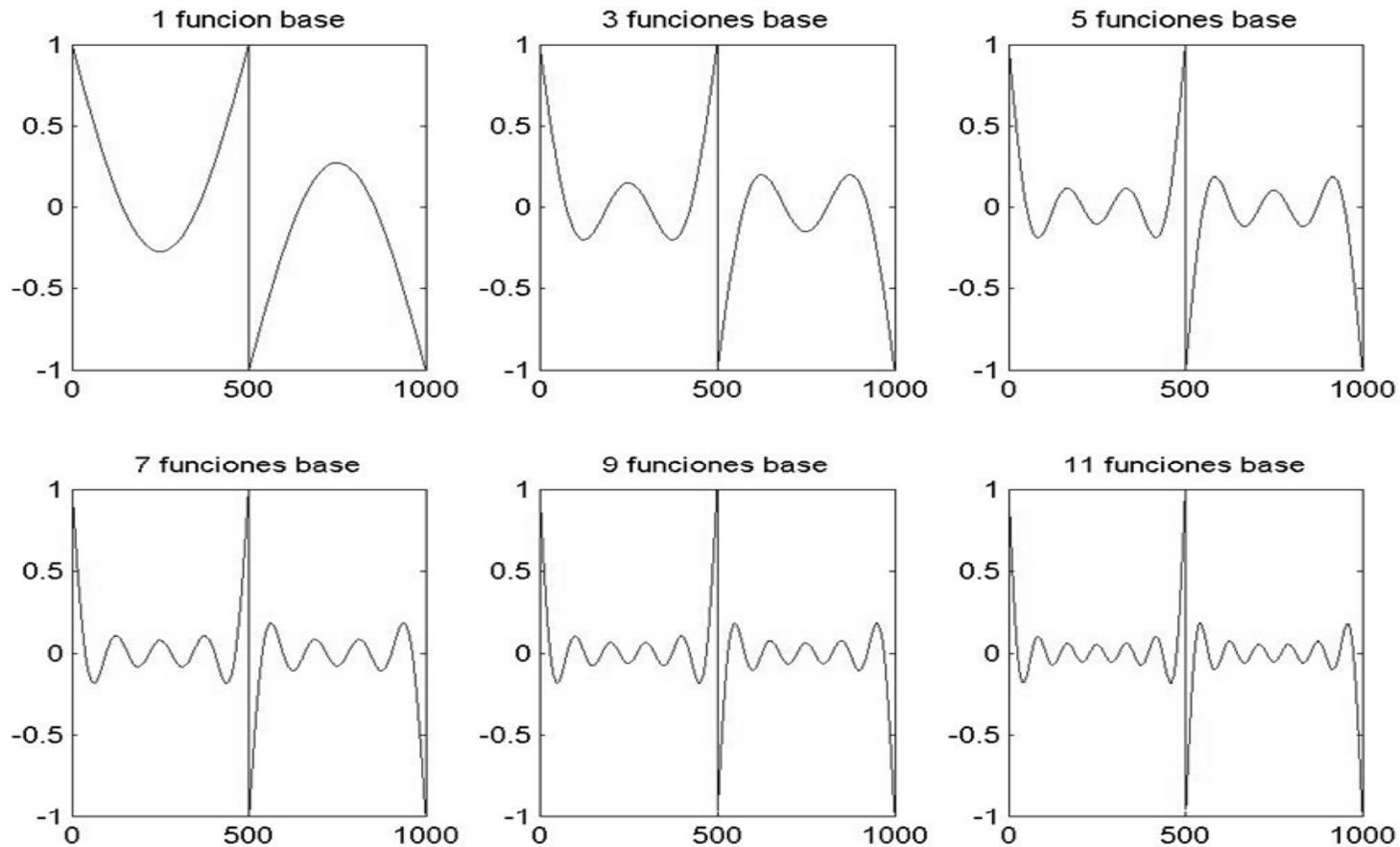
La señal digital como señal analógica

Aproximación de una señal digital utilizando hasta los 11 primeros armónicos



La señal digital como señal analógica

Errores de aproximación armónicos



Transmisión de señales digitales

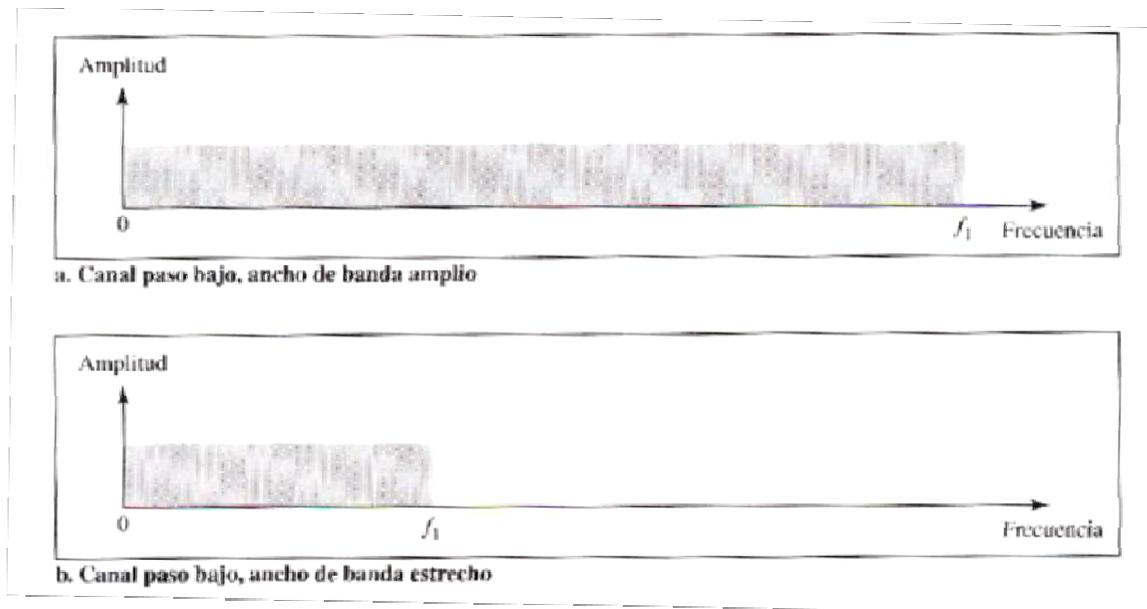
Transmisión banda base

Transmisión de la señal digital como tal. Sin hacer una conversión digital-analógica

Las señales digitales tienen un ancho de banda infinito pero los canales de transmisión físicos tienen un ancho de banda limitado → se genera distorsión → pérdida de datos

Transmisión de señales digitales

En general los canales de transmisión físicos tienen un comportamiento pasa-bajos



La señal digital de salida no se distorsionará (se preserva la forma de onda) sólo si el canal tiene un ancho de banda muy grande (o infinito)

Transmisión de señales digitales

Canal con ancho de banda limitado

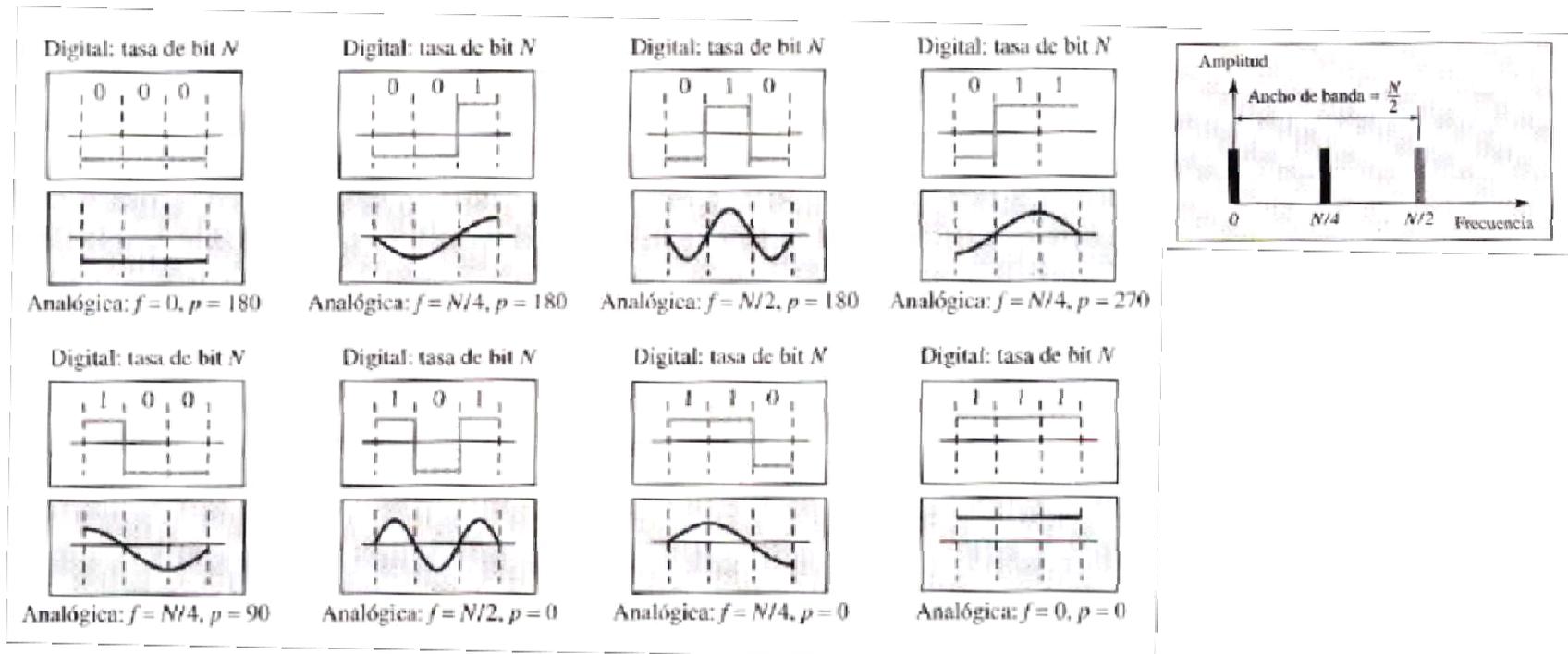
- En este caso se debe aproximar la señal digital con una señal analógica
- Para hacer que la señal analógica sea lo más similar posible a la digital, se debe utilizar muchos armónicos
- Sin embargo, esto incrementa el ancho de banda requerido por la señal

Transmisión de señales digitales

Aproximación de una señal digital utilizando solo el primer armónico

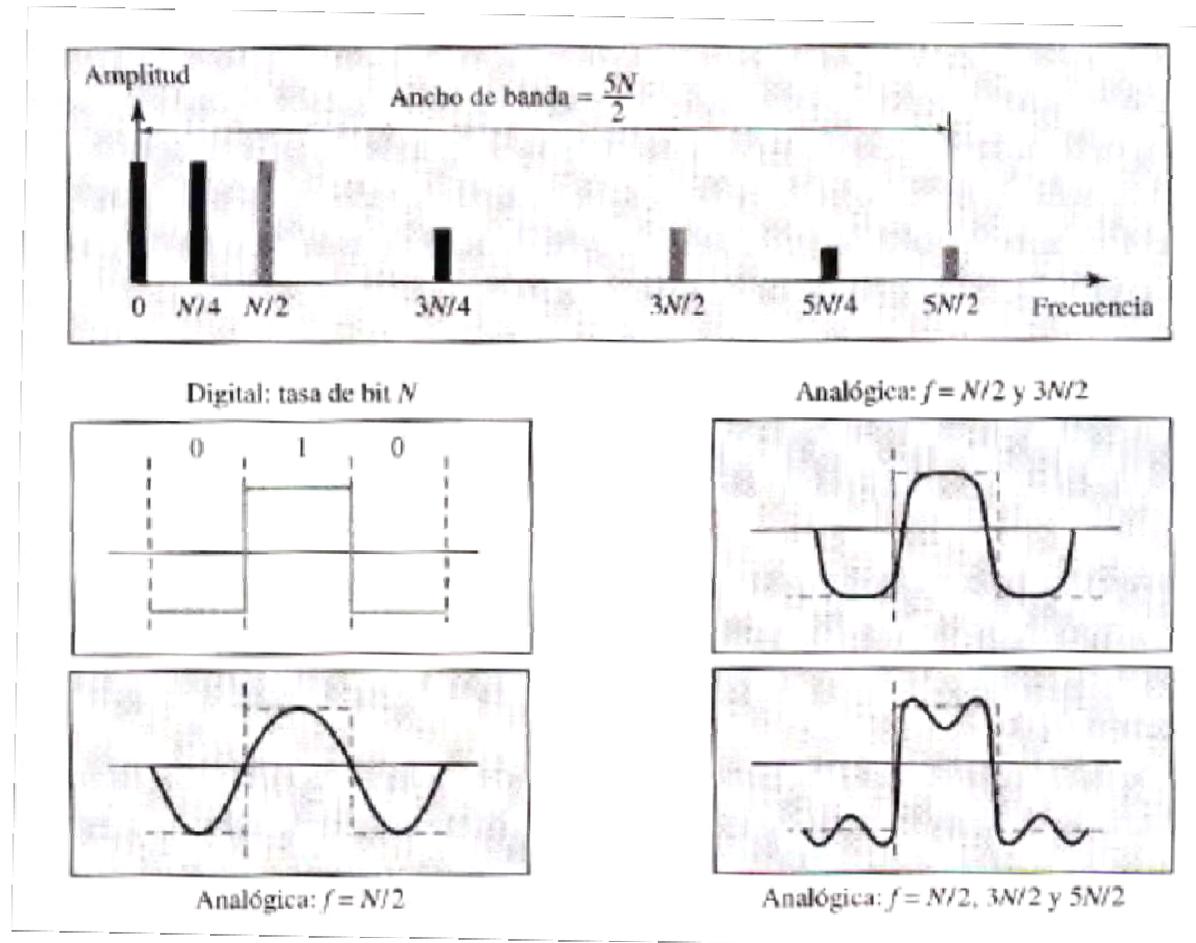
Suponiendo una tasa de N bits por segundo y envío de 2 bits por ciclo

$$\rightarrow f = N/2$$



Transmisión de señales digitales

Aproximación de una señal digital utilizando los tres primeros armónicos



Transmisión de señales digitales

Requerimientos de ancho de banda

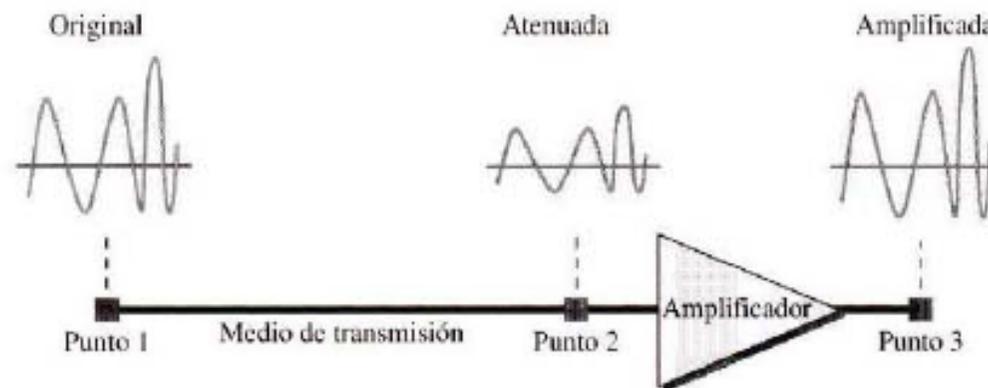
<i>Tasa de bit</i>	<i>Armónico 1</i>	<i>Armónico 1, 3</i>	<i>Armónico 1, 3, 5</i>
$n = 1$ kbps	$B = 500$ Hz	$B = 1,5$ kHz	$B = 2,5$ kHz
$n = 10$ kbps	$B = 5$ kHz	$B = 15$ kHz	$B = 25$ kHz
$n = 100$ kbps	$B = 50$ kHz	$B = 150$ kHz	$B = 250$ kHz

Deterioro de la transmisión

- El canal físico, o medio de transmisión, NO es perfecto.
- Las imperfecciones del canal de transmisión causan deterioro en las señales
- Las señales de entrada y salida presentan diferencias
- 3 tipos de deterioro
 - Atenuación
 - Ruido aditivo
 - Ruido convolucional (distorsión)

Atenuación

- Pérdida de energía de la señal, la que se disipa mientras viaja por el medio de transmisión.
- Para compensar esta pérdida se utilizan amplificadores



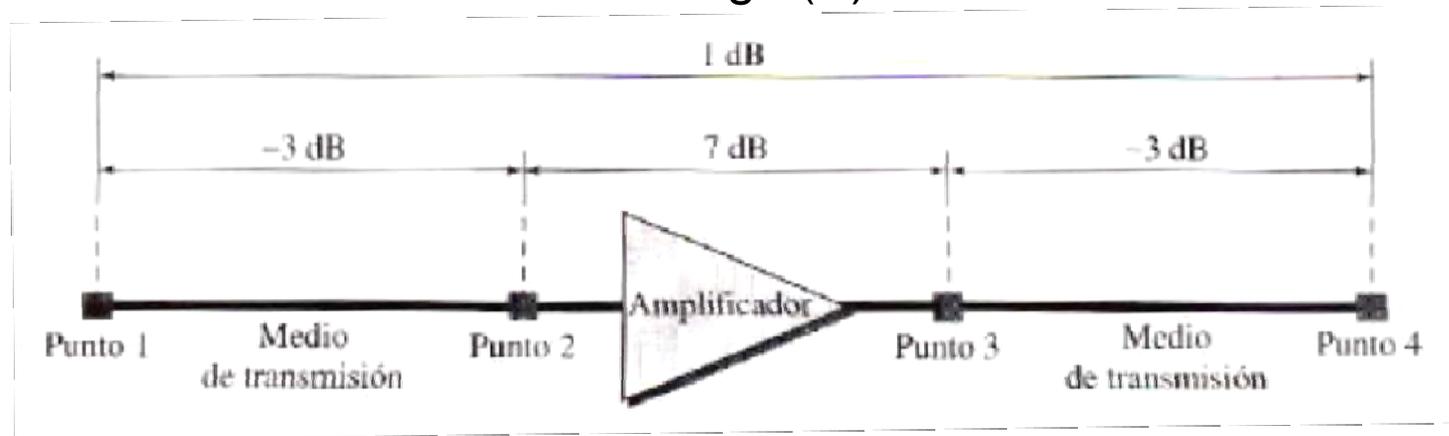
Atenuación

- Decibel: unidad relativa empleada para expresar la relación entre dos magnitudes, la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia.

$$\text{dB} = 10 \log_{10}(P_1/P_2)$$

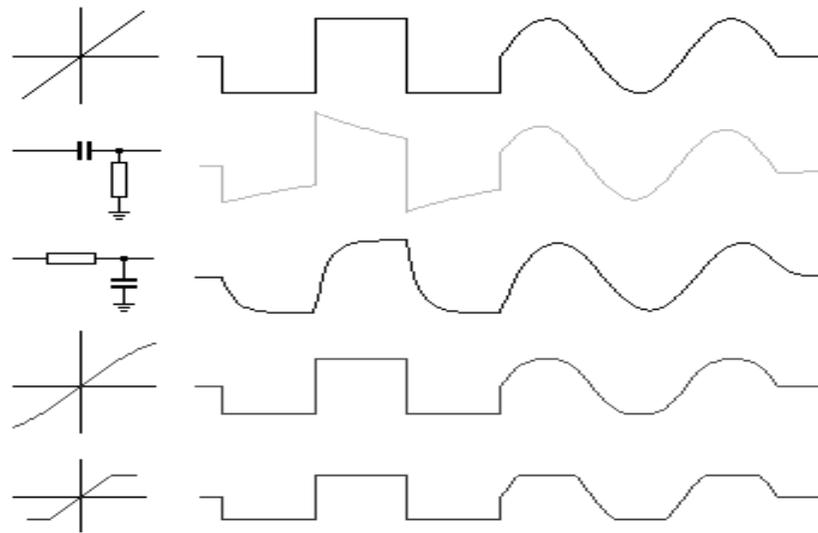
- También se puede medir la intensidad (potencia) de una señal

$$\text{dB} = 10 \log_{10}(P)$$



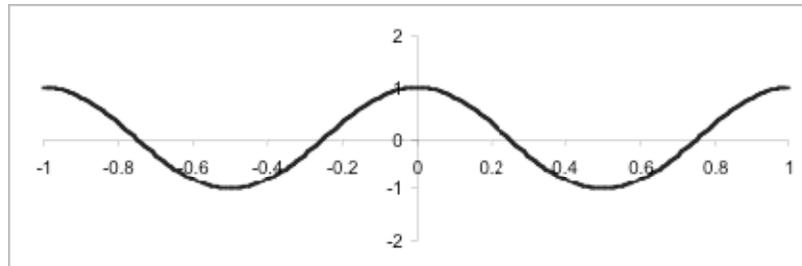
Distorsión

- Cambio en la forma de onda de la señal
- La respuesta en frecuencia del canal puede ser no uniforme lo que genera distorsión en las señales de salida
- Los cambios de velocidad (diferencias en los retrasos) en el canal de transmisión también generan distorsión

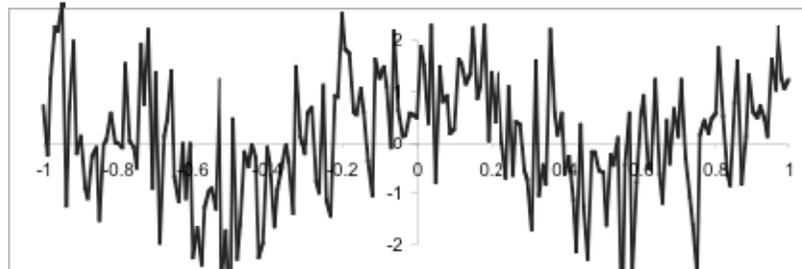


Ruido

- El ruido es una señal aleatoria que no contiene información.
- En general el ruido tiene muy baja correlación con la señal de interés.
- Existen varios tipos: ruido térmico, generado por fuentes EM externas, etc.



(a)



(b)

Razón señal a ruido

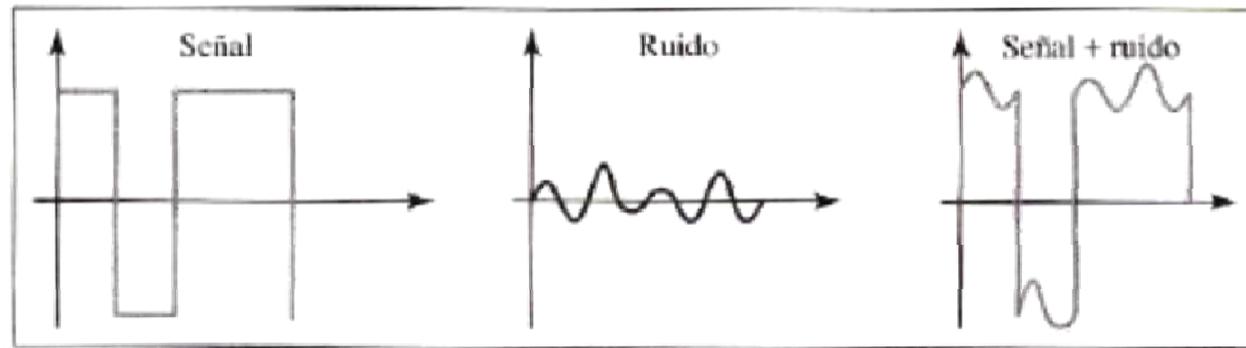
- Es el margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe.
- Es una medida de calidad de la señal transmitida
- Se mide en decibelios

P_S = potencia media de la señal

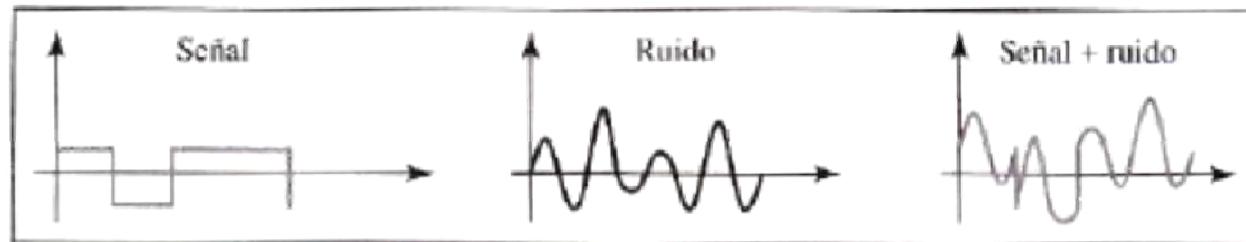
P_R = potencia media del ruido

$$SNR_{dB} = 10\log_{10}(P_S/P_R)$$

Razón señal a ruido



a. SNR grande



b. SNR pequeña