
Arquitectura de comunicaciones Móviles

Señales analógicas y digitales

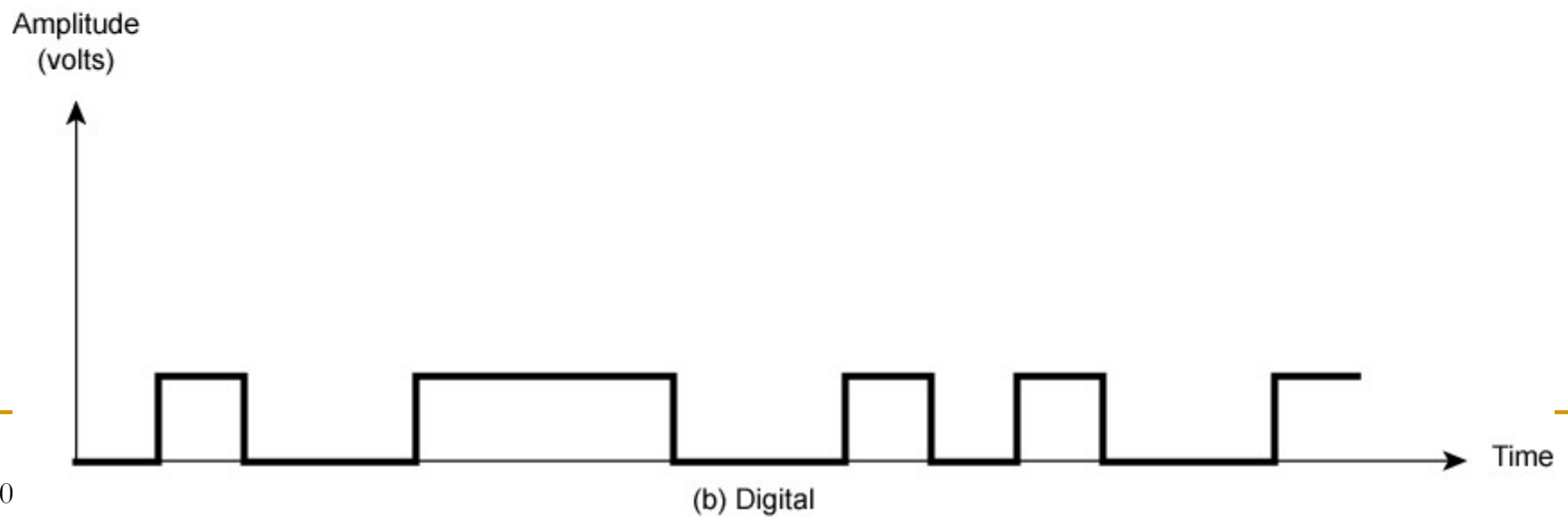
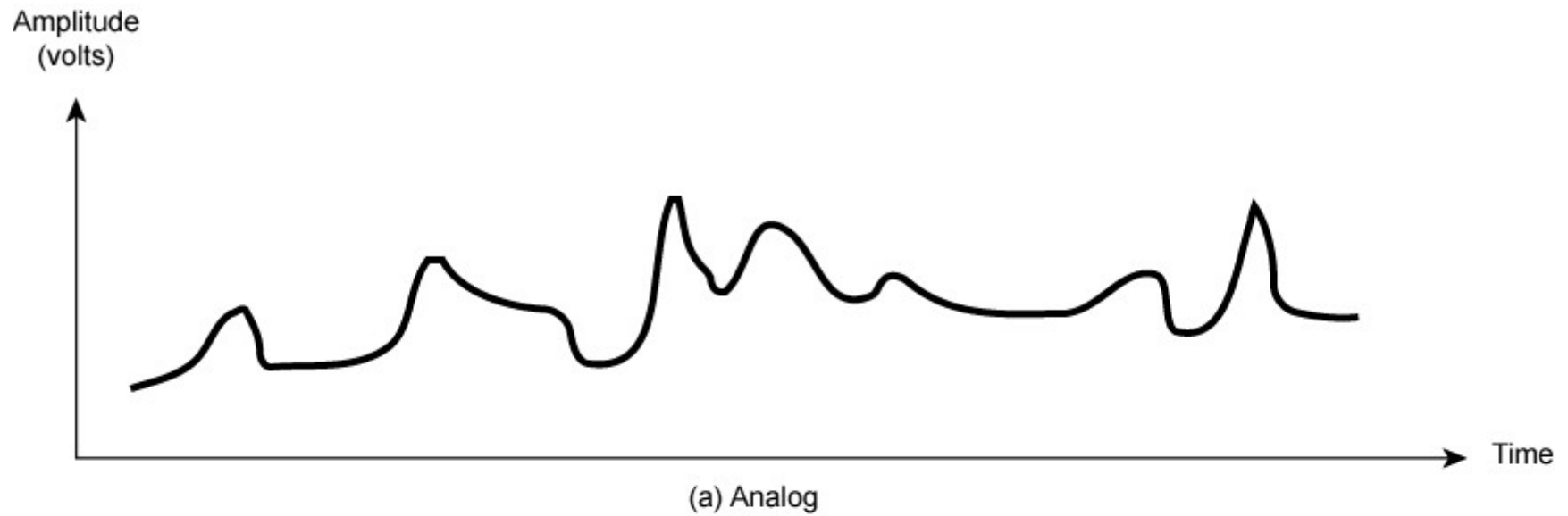
Ing. Anibal Pose

Analógico & Digital

- Una señal analógica es una señal que varía de forma continua a lo largo del tiempo.
- Una señal digital es aquella que presenta una variación discontinua con el tiempo y que sólo puede tomar ciertos valores discretos

Las señales analógicas pueden tomar todos los valores posibles de un intervalo; y las digitales solo pueden tomar dos valores posibles.

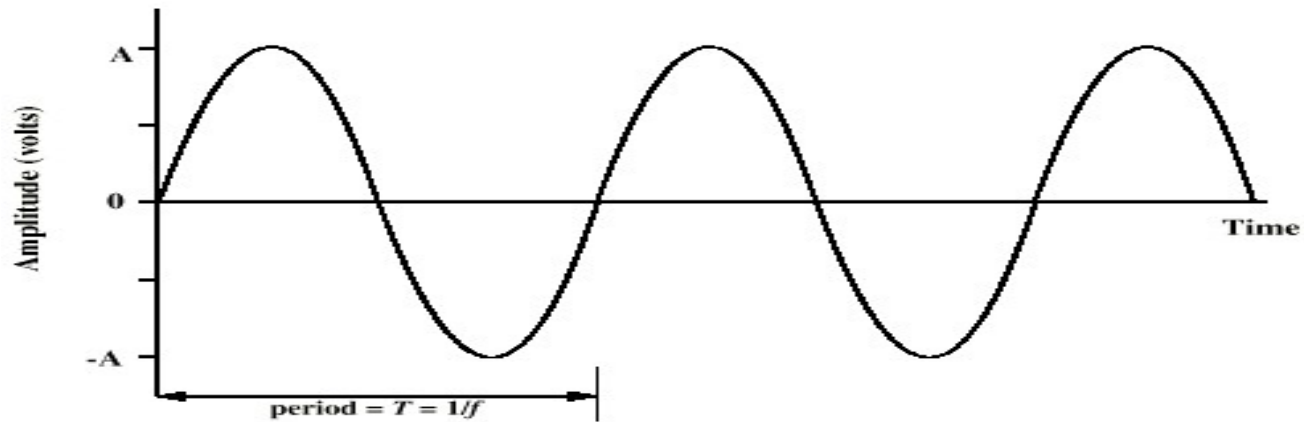
Analógico & Digital



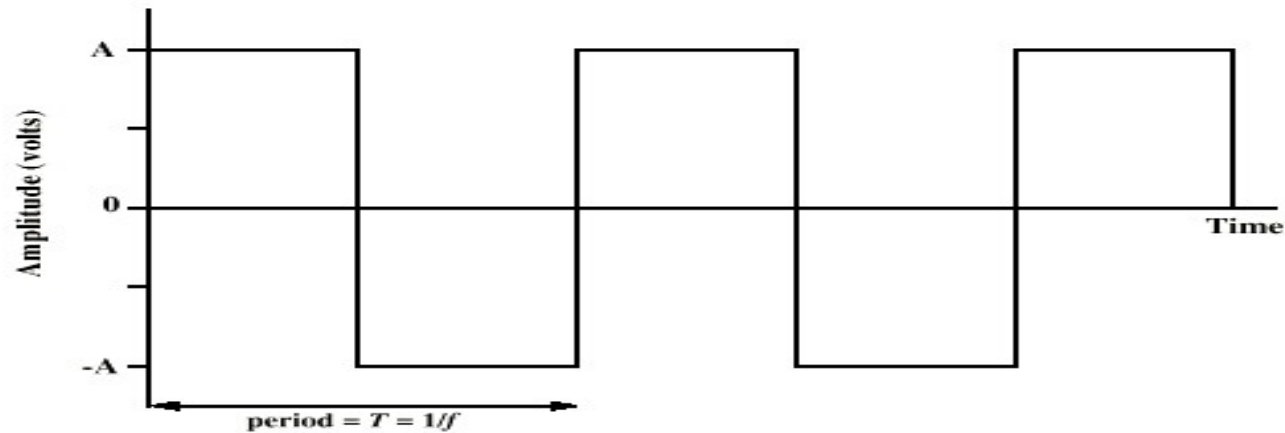
Señales Periódicas

- Las señales periódicas son aquellas a las cuales se les puede encontrar un patrón de repetitividad, es decir, que después de un determinado tiempo, vuelve a repetirse uno a uno los valores anteriores, una y otra vez. A este patrón se lo reconoce como ciclo de la onda. El tiempo que demora un ciclo en desarrollarse se denomina período, y por supuesto, se mide en segundos.

Señales Periódicas



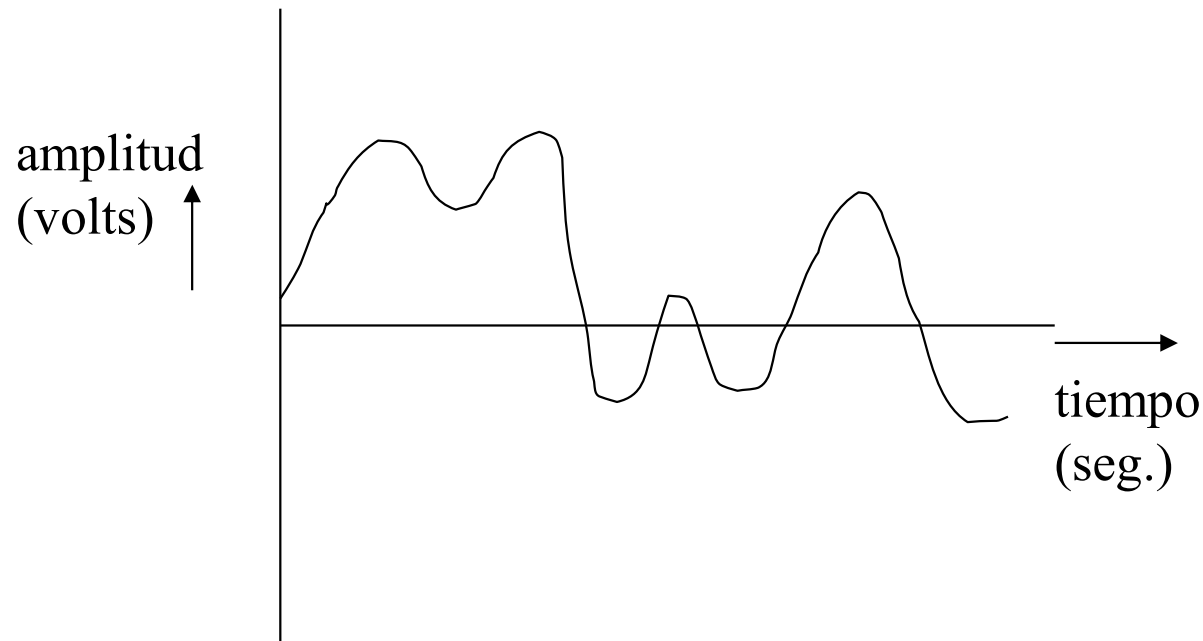
(a) Sine wave



(b) Square wave

Señal no periódica

- Una **señal aperiódica**, o no **aperiódica**, no tiene un patrón repetitivo



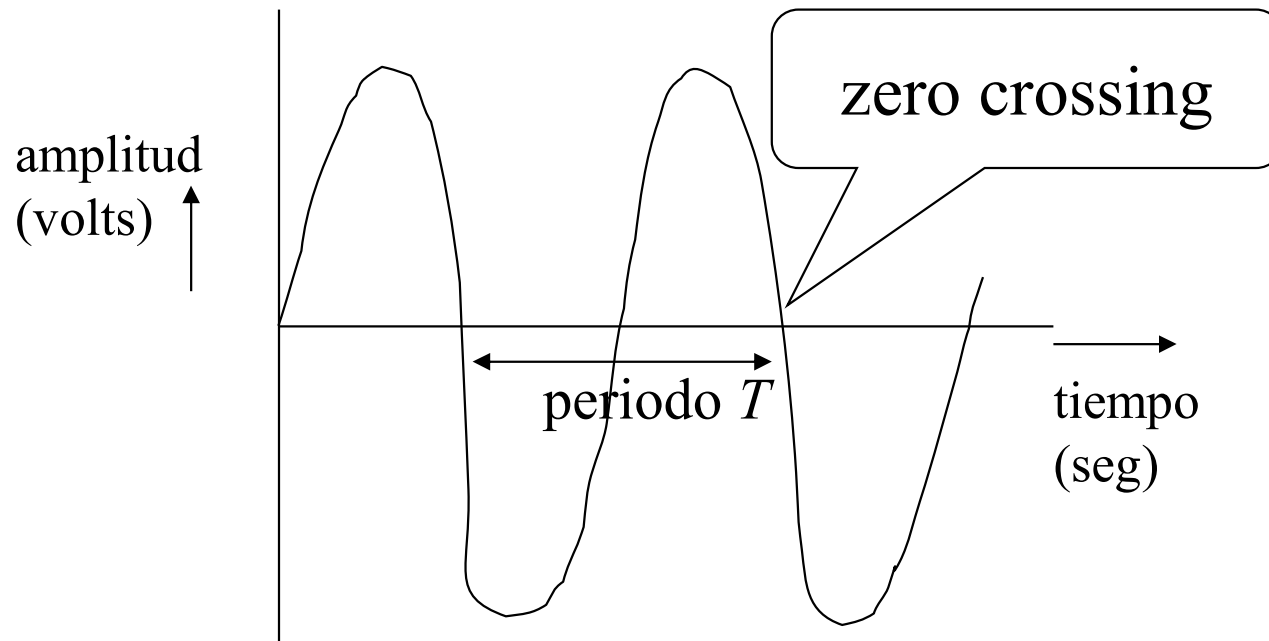
Examinando zero crossings sugiere que hay presentes mas de una frecuencia con diferentes amplitudes.

Onda Senoidal

$$s(t) = A \operatorname{sen}(2\pi ft + \Phi)$$

- **A (Amplitud Pico) : CA , 310 V valor eficaz = 220 Volt**
 - Amplitud
 - E.j. volts
- **Frecuencia Angular $\omega = 2\pi f$**
 - Frecuencia
 - Hertz (Hz) o ciclos por seg.
 - Periodo = tiempo en que se completa un conjunto de valores (T)
 - $T = 1/f$
- **Fase (ϕ)**
 - Posición relativa en el tiempo

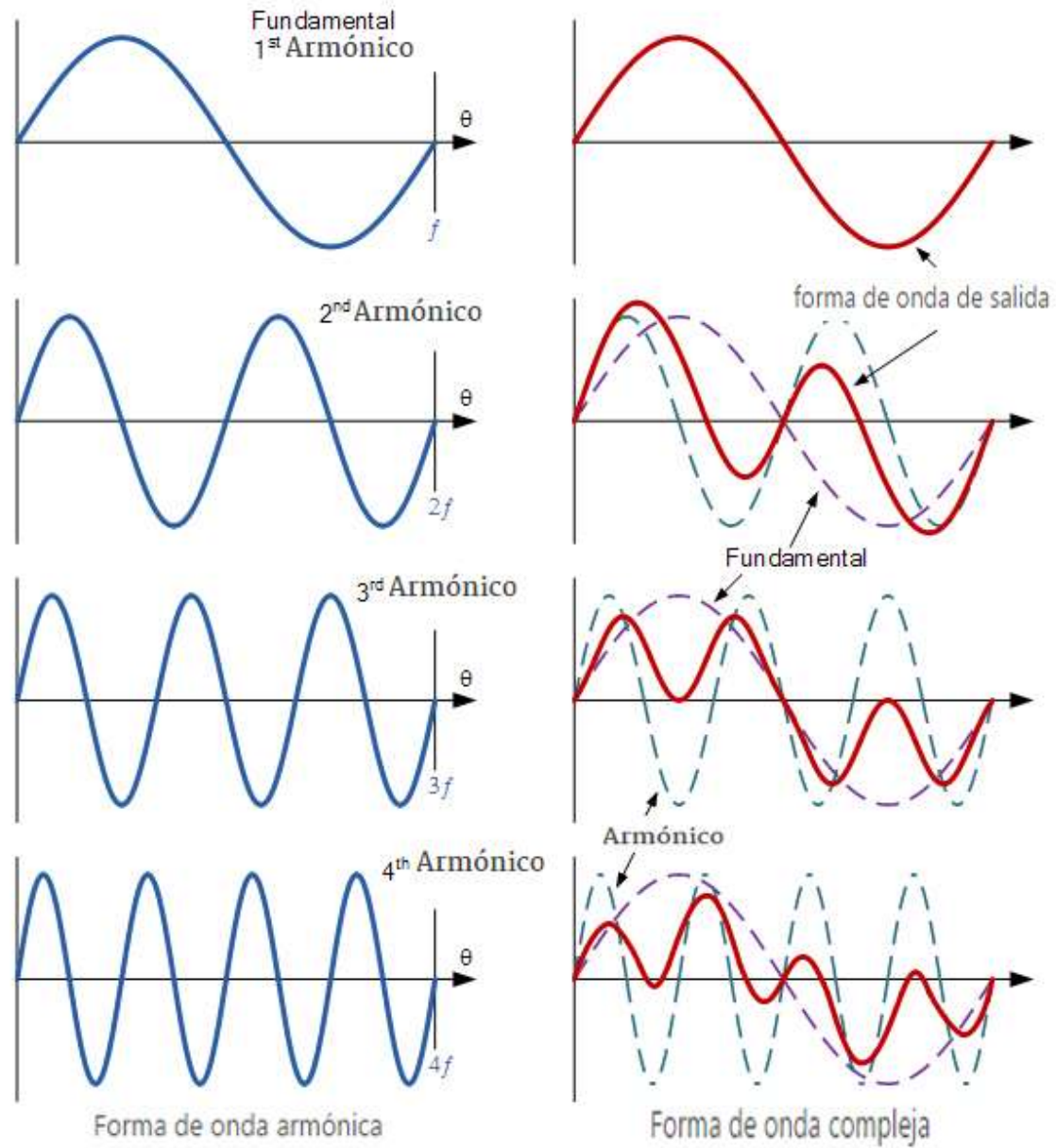
Dominio Temporal



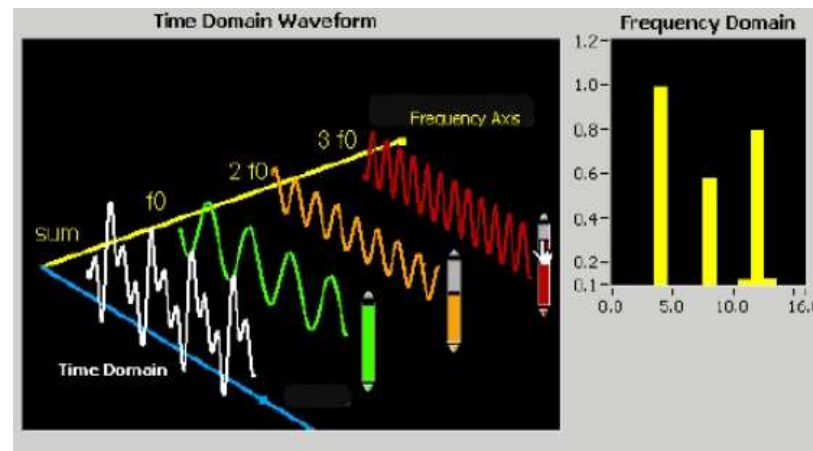
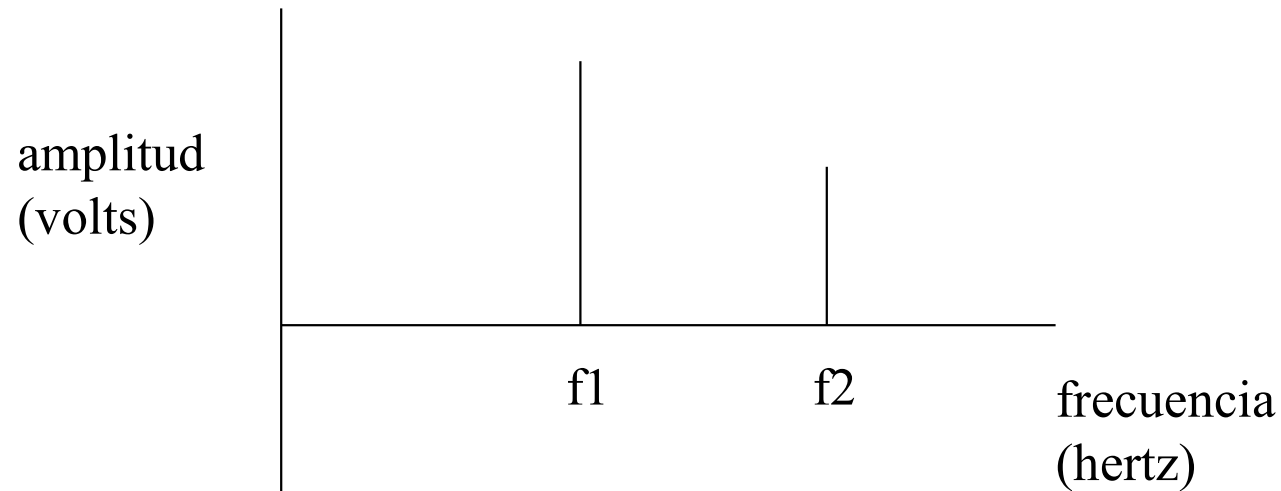
frecuencia = $1/T$
Si $T = 1 \text{ ms}$, $f = 1 \text{ kHz}$

Conceptos del dominio de la frecuencia

- Una señal puede estar compuesta de muchas frecuencia:
Ej.: $s(t) = (4/\pi) (\text{sen } (2\pi ft) + (1/3) \text{sen } (2\pi(3f)t))$.
- Cuando todas las componentes tienen frecuencias múltiplo de una dada, esta se denomina frecuencia fundamental.
- El período de la señal suma de componentes es el período correspondiente a la frecuencia fundamental.



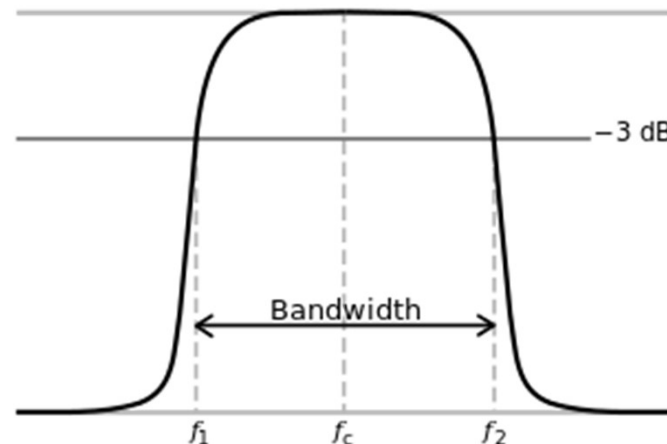
Dominio de la Frecuencia



Ancho de banda para señales analógicas

Para señales analógicas, el **ancho de banda** es la longitud, medida en hercios (Hz), de la extensión de frecuencias en la que se concentra la mayor potencia de la señal. Se puede calcular a partir de una señal temporal mediante el análisis de Fourier. Las frecuencias que se encuentran entre esos límites se denominan también frecuencias efectivas.

Así, el ancho de banda de un filtro es la diferencia entre las frecuencias en las que su atenuación al pasar a través de filtro se mantiene igual o inferior a 3 dB comparada con la frecuencia central de pico (f_c) en la Figura 1.



Ancho de banda para señales digitales

Se conoce como ancho de banda a la **cantidad de datos que pueden enviarse y recibirse en el marco de una comunicación**. Dicho ancho de banda suele expresarse en **bits por segundo** o en múltiplos de esta unidad.

Por lo general, se entiende al ancho de banda como un **rango para transferir datos**. La noción suele usarse con referencia a la **tasa de transferencia de datos** que se logra en una vía comunicativa.

De la misma manera, no podemos pasar por alto que también se le da en llamar ancho de banda de red o ancho de banda digital.

El ancho de banda en una conexión de Internet puede vincularse a la velocidad de la misma. Supongamos que una compañía ofrece un ancho de banda de **100 Mbit/s**. Esto quiere decir que su red permite transferir (enviar/recibir) hasta 100 Mbit por segundo. Dicho de otro modo, en un segundo, es posible lograr la transferencia de 100 Mbit.

Espectro y Ancho de Banda

- Espectro
 - Margen de frecuencias contenidas en la señal
- Ancho de Banda absoluto
 - Anchura del espectro
- Ancho de Banda efectivo
 - A menudo es el mismo que el Ancho de Banda
 - Banda de frecuencias que contienen la mayor parte de la energía
- Componente continua (DC)
 - Componente de frecuencia cero

Ancho de banda de Nyquist

H. Nyquist (1924) probó que si una señal arbitraria ha sido pasada a través de un filtro pasabajo de ancho de banda BW , la señal puede ser completamente reconstruida tomando solamente $2BW$ muestras por segundo

$$\text{Frecuencia Muestreo} = 2 * BW$$

- Para señales binarias (dos niveles de voltage)
 - $C = 2BW$
- Con señales multinivel
 - $C = 2B \log_2 M$
 - M = Número de señales discretas o niveles de voltage

Serie de Fourier

Con el análisis de Fourier se puede demostrar que cualquier señal está constituida por componentes senoidales de distintas frecuencias

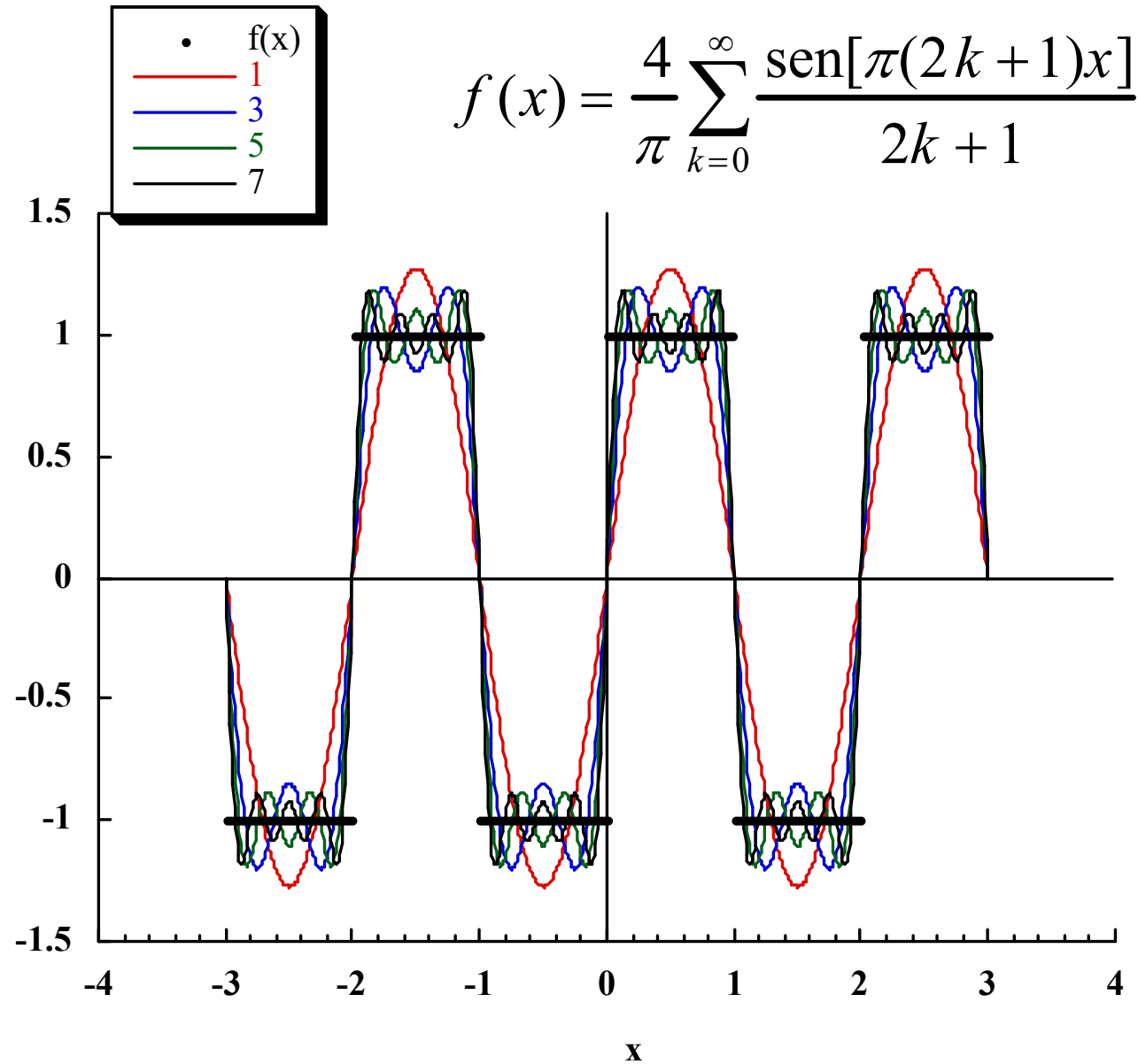
Cualquier señal periódica se puede expresar como una suma de funciones sinusoidales, denominada serie de Fourier.

$$x(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(2\pi n f_0 t) + B_n \sin(2\pi n f_0 t)]$$

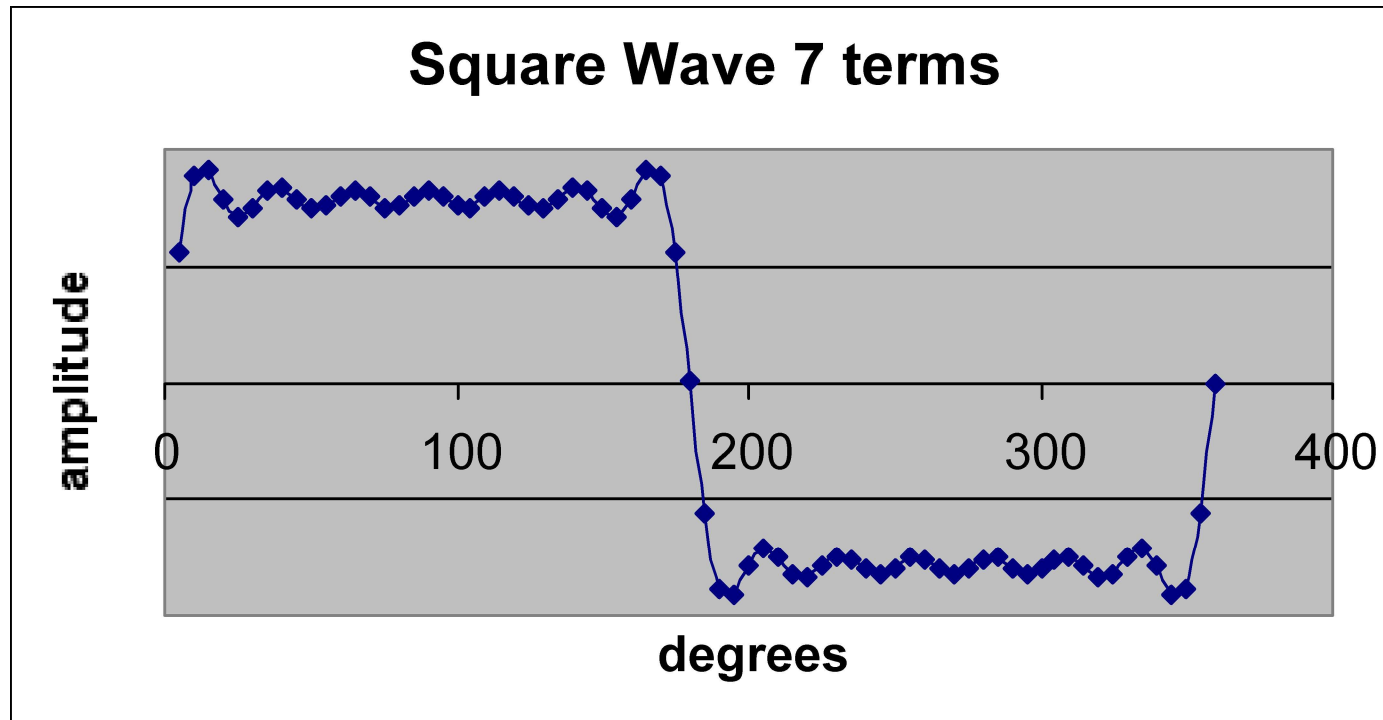
- Para cada señal hay:
 - Una función en el dominio del tiempo $s(t)$ que determina la amplitud de la señal en cada instante de tiempo.
 - Una función en el dominio de la frecuencia $s(f)$ que especifica las frecuencias constituidas de la señal; podrá ser discreta o continua.
- El espectro de una señal es el conjunto de frecuencias que la constituyen.
- El ancho de banda absoluto de una señal es la ancho del espectro; frecuentemente es infinito :
 - Si la mayor parte de la energía de la señal se concentra en una banda de frecuencias relativamente estrecha, se la denomina ancho de banda efectivo o ancho de banda.

La onda Cuadrada

- Se puede representar como una serie de senoides armónicamente relacionadas
 - ❑ fundamental
 - ❑ $1/3$ tercera armónica
 - ❑ $1/5$ quinta armónica
 - ❑ $1/7$ séptima armónica
 - ❑ $1/9$ novena armónica
 - ❑ etc....



Onda Cuadrada



$$y = \sin(x) + \frac{1}{3} \sin(3x) + \frac{1}{5} \sin(5x) + \frac{1}{7} \sin(7x) + \frac{1}{9} \sin(9x) \\ + \frac{1}{11} \sin(11x) + \frac{1}{13} \sin(13x)$$

Concepto de ruido

Se llama ruido a toda señal no deseada, con carácter aleatorio, que se superpone a la señal transmitida.

Conceptos:

Potencia de ruido

Temperatura equivalente de ruido

Factor de ruido

Fuentes de ruido radioléctrico

Ruido artificial:

- Sistemas de ignición de vehículos
- Líneas y sub-estaciones de alta tensión
- Maquinaria eléctrica y equipos médicos

Ruido natural

- Atmosférico
- Extraterrestre (Solar, Cósmico, Galáctico)
- Térmico

Interferencia radiolétrica

La interferencia radioelétrica es la degradación producida en la recepción de una señal útil provocada por una perturbación radioelétrica.

- Interferencia **cocanal**
- Interferencia **de canal adyacente**
- Interferencia **fuera de banda**

Desvanecimientos

Se denomina **desvanecimiento** a la disminución del nivel de la señal recibida.

- *Profundidad del desvanecimiento*: Diferencia en dB entre el nivel mediano y el nivel recibido.
- *Duración del desvanecimiento*: intervalo de tiempo que media entre la disminución y la recuperación del nivel normal, pudiendo clasificarse en función de su duración en lentos y rápidos.

Origen de los desvanecimientos

- Ocultamiento (por cambios atmosféricos)
- Multitrayectorias (p.ej., en zonas urbanas)
- Formación de ductos atmosféricos
- Absorción y dispersión (p.ej., lluvia)
- Reflexión (en terreno y capas atmosféricas)

Variabilidad de los desvanecimientos

La **variabilidad** de los desvanecimientos en el tiempo y en el espacio puede representarse mediante **distribuciones estadísticas**:

- Distribución normal o Gaussiana
- Distribución log-normal
- Distribución de Rayleigh
- Distribución combinada log-normal y Rayleigh
- Distribución de Rice
- Distribución de Nakagami-m

Relación señal ruido

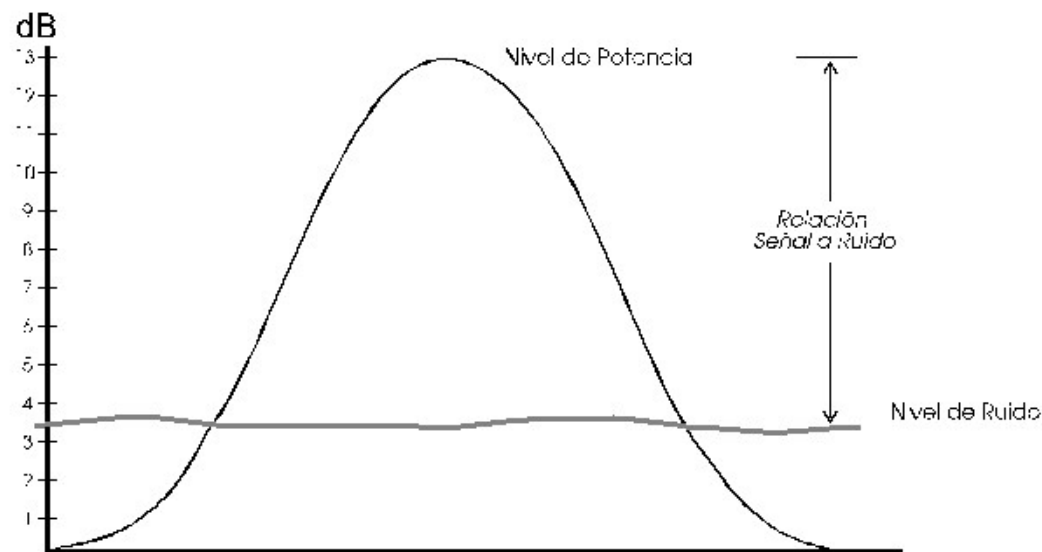
La **relación señal/ruido** o **S/R** (en ingles *Signal to noise ratio*, abreviado SNR o S/N) se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe.

Al incrementarse S, la potencia de la señal, se reduce el efecto del ruido de canal, y la información se recibe con mayor exactitud, o con menos incertidumbre. Una mayor relación de señal a ruido S/N permite también la transmisión a través de una distancia mayor.

Relación Señal ruido

- La relación señal/ruido, también SR o S/N (Signal to Noise Ratio) se mide normalmente en decibelios (dB):

$$S/N \text{ (en dB)} = 10 * \log_{10} (S/N) = S(\text{db}) - N(\text{db})$$



Teorema (a.k.a Ley) de Shannon-Hartley (1948)

La cantidad de información digital (*límite y teórica*) que puede transferirse por un canal analógico está limitada por su ancho de banda (BW) y su relación señal/ruido lineal (S/N), según la expresión:

$$\begin{aligned}\text{Capacidad [bits por segundo]} &= \text{BW [Hz]} * \log_2 (1 + \text{S/N}) \\ &= \text{BW} * \log_{10}(1+\text{S/N}) / \log_{10}(2)\end{aligned}$$

Que es la máxima capacidad teórica según Shannon que puede transmitirse en bps en un canal analógico, donde la S/N del canal, queda fijada por el proceso de cuantificación A/D de los conversores en la entrada a las centrales.

Técnicas de diversidad

La base de las técnicas de **diversidad** para protección frente a desvanecimientos, se encuentra en que el receptor disponga de **más de una versión** de la señal transmitida, donde cada versión se recibe por un canal independiente del resto.

- Diversidad de espacio
- Diversidad de frecuencia
- Diversidad cuádruple
- Diversidad angular
- Diversidad temporal
- Diversidad de polarización

Bandas licenciadas y no licenciadas

Las bandas no licenciadas o de uso libre son aquellas que **no requieren permiso especial de las autoridades** o el regulador de telecomunicaciones para poder usarse. A nivel mundial, 900 Mhz, 2,4 GHz y 5 GHz son bandas de libre utilización, con variaciones y restricciones en algunos países. Como ya todos saben estas frecuencias son utilizadas por WiFi, el estándar 802.11, y por ser libres es que podemos tener puntos de acceso transmitiendo en nuestras casas, oficinas, negocios, etc.

Características de las bandas no licenciadas

- **900 MHz vs 2.4 GHz vs 5 GHz Frecuencias Inalámbricas de Licencia Libre**

| | 900 MHz | 2.4 GHz | 5 GHz |
|-------------|---|--------------------|--------------------------------|
| Popularidad | No usadas ampliamente en redes WISP | Ampliamente Usadas | Volviéndose ampliamente usadas |
| Velocidad | Bajo Throughput | Alto Throughput | Alto Throughput |
| Costo | No caro | No caro | No caro |
| Frecuencia | Abarrotado, Buen Uso Nlos | Abarrotado | No abarrotado |
| Alcance | Alcance débil | Alcance promedio | Alcance promedio |
| Aplicación | Mesh, ptmp cortos con muchos obstáculos | Mesh, ptp, ptmp | Backhaul, ptp, ptmp |

Características de las bandas no licenciadas

900 MHz

- Limited maximum data rates
- Able to penetrate obstructions in the Line-of-Sight, i.e.. trees and leaves
- Used for connecting long distance, remote monitoring or process facilities

2.4 GHz

- Used for Wi-Fi, Bluetooth, printers, keyboards and security systems
- Voice, video and data communications typically use 2.4 GHz systems with higher data rates
- Wireless speeds of 54 Mbps to 300 Mbps with 802.11g or 802.11n systems

5 GHz

- Shortest range but highest potential data rates
- Also used as a backhaul link to connect two 2.4 GHz systems because it is a less crowded frequency
- Supports 802.11n standard and 802.11ac standard, which provides up to 1.3 Gbps of wireless data throughput

Bandas no licenciadas en Argentina

La **Resolución del Ministerio de Modernización N° 581/18** establece que las bandas de frecuencias radioeléctricas detalladas a continuación, se declaran de uso compartido en el ámbito del territorio nacional y no requieren de autorización para su uso, debiendo respetarse las condiciones y parámetros técnicos de emisión establecidas por el Ente Nacional de Comunicaciones en la **Resolución N° 4653/19**:

- 915 – 928 MHz
- 2400 – 2483.5 MHz
- 5150 – 5250 MHz
- 5250 – 5350 MHz
- 5470 – 5600 MHz
- 5650 – 5725 MHz
- 5725 – 5850 MHz
- 57000 – 71000 MHz