

INTRODUCCIÓN A LAS SEÑALES

Módulo 3

Temas a tratar

1. **Introducción**
2. **Análisis de Señales**
3. **Espectro de Frecuencias y Ancho de Banda**
4. **Velocidad de Datos**
5. **Relación entre la Velocidad de Datos y el Ancho de Banda**

Objetivos del Módulo

Al finalizar el presente módulo, el alumno debe:

- 1. Interpretar el significado de los componentes de una señal**
- 2. Entender qué es el ancho de banda y cuál es su relación con el espectro de frecuencias de una señal**
- 3. Conocer como modelar una señal en base a las necesidades de velocidad de transmisión de datos**

Transmisión de datos: Introducción

Para que los **datos** transmitidos desde un **dispositivo fuente** a un **dispositivo destino**, a través de un medio directo, es necesario que:

- Un **transmisor** genere una **señal electromagnética** con capacidad de atravesar el **medio de transmisión** y llegar hasta un **receptor** en el otro extremo. (Temas a tratar en los Módulos 3, 4 y 5).



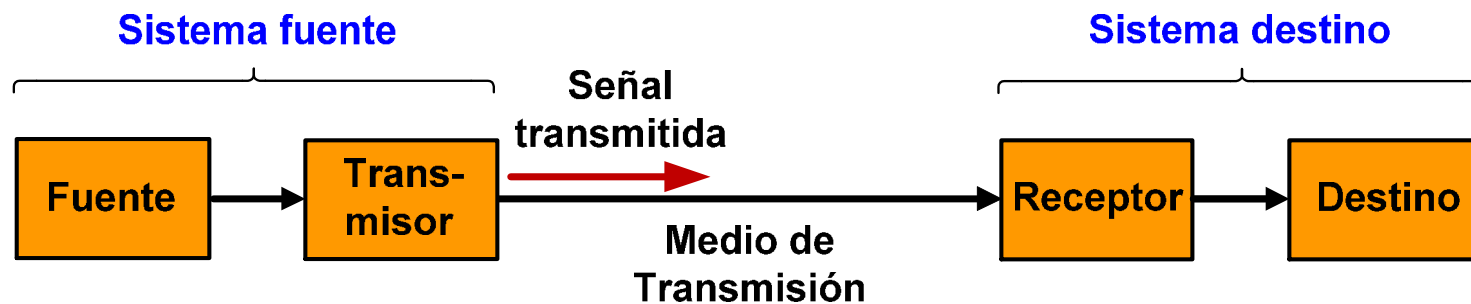
Transmisión de datos: Introducción

El éxito en la transmisión de datos por medio de una señal a través del medio de transmisión depende de:

1. La calidad de la señal que se transmite
2. Las características del medio de transmisión

Estos dos factores definen la **calidad de la transmisión**. ¿Por qué se necesita tener **buena calidad de transmisión**?

Porque el **receptor** necesita recibir el **dato sin errores** de la señal recibida. Con esto evita la solicitud de re-transmisiones

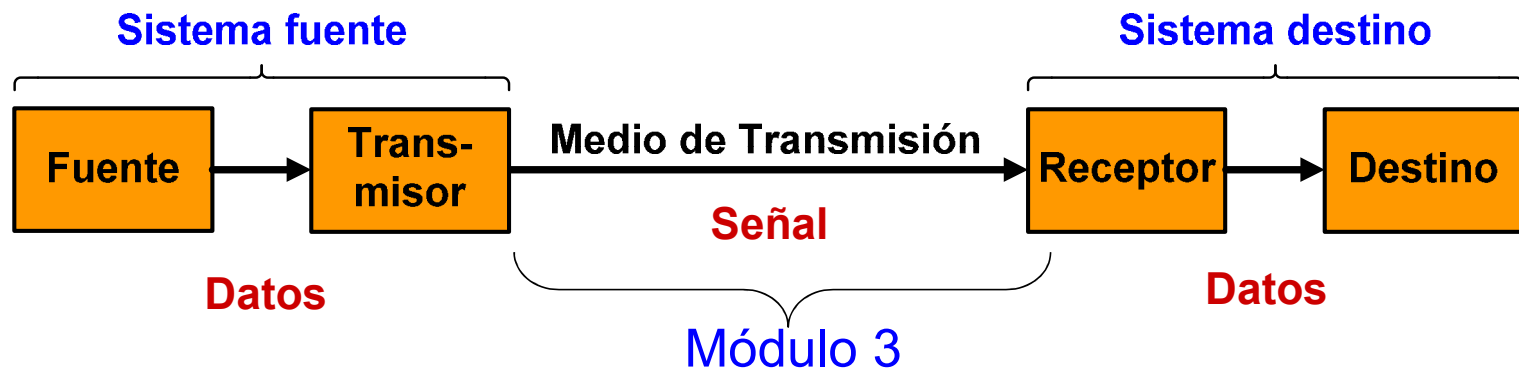


Transmisión de datos: Introducción

Transporte de los datos

Los distintos tipos de **datos** que intercambian los dispositivos extremos (voz, datos, video, etc.) son transportados a través de la distancia por **señales** que son **ondas electromagnéticas**

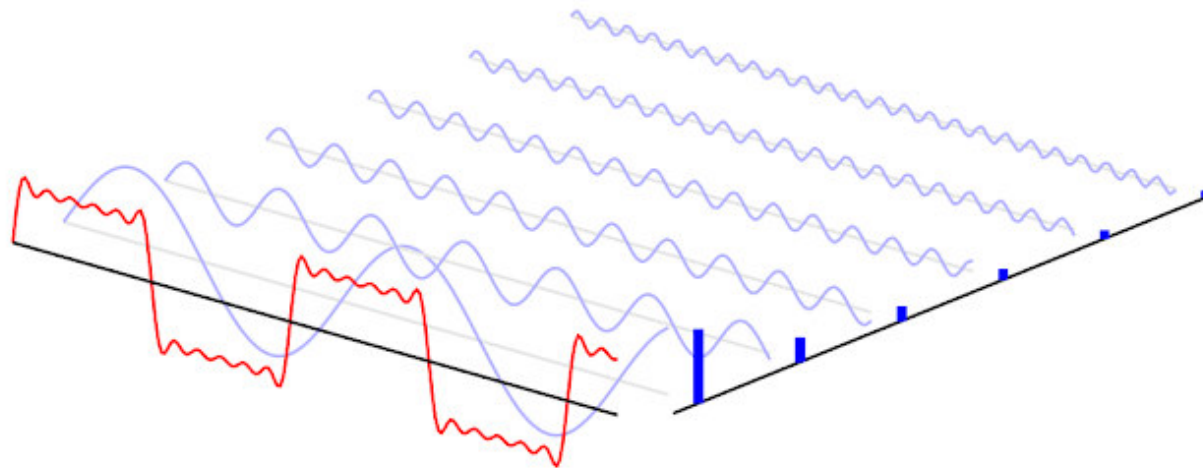
- **Señal:** es una **onda electromagnética** que lleva información
- **Onda electromagnética:** es una onda que se crea como resultado de las vibraciones entre un campo eléctrico y un campo magnético. Se desplaza por el vacío, aire, agua o sólido a velocidades cercanas a la de la luz.



Señal

El estudio de la señal se puede realizar desde 2 enfoques:

- a) Como una **variación en función del tiempo**. Se denomina: Estudio de la señal en el **dominio del tiempo**
- b) Considerando sus **componentes de frecuencia**. Se denomina: Estudio de la señal en el **dominio de la frecuencia**

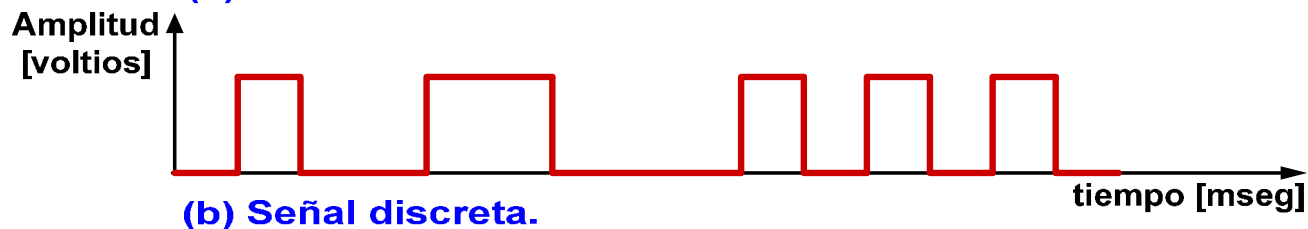
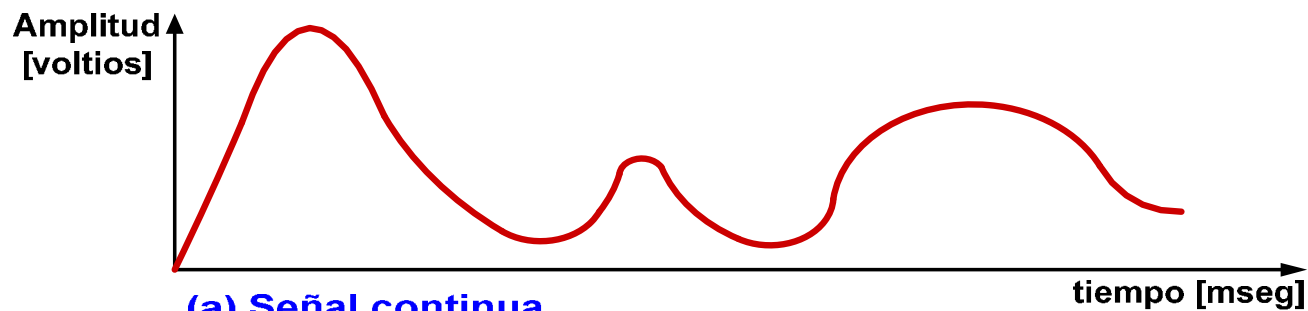


Señal: Dominio del tiempo

Tipos de señales

Señal continua (analógica): varía suavemente a través del tiempo.

Señal discreta (digital): mantiene un nivel constante durante un tiempo dado y luego cambia bruscamente a otro nivel constante.

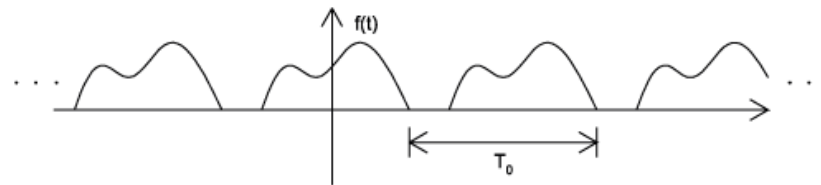


Señal: Dominio del tiempo

Señal periódica: un mismo patrón de señal se repite sucesivamente en el tiempo. Puede ser continua o discreta. Desde el punto de vista matemático una señal $s(t)$ se define como periódica sí y solo sí:

$$s(t + T) = s(t), \text{ para } -\infty < t < \infty$$

T es el **período** de la señal y es el **menor valor** que satisface la ecuación anterior.



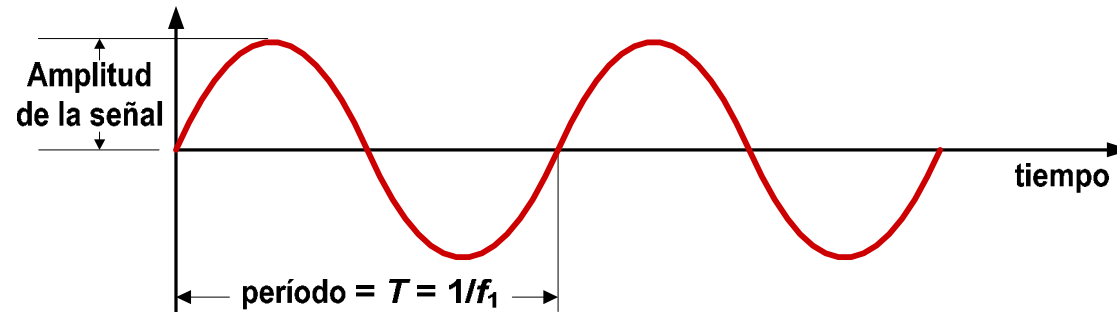
(a) Una señal periódica con periodo T_0



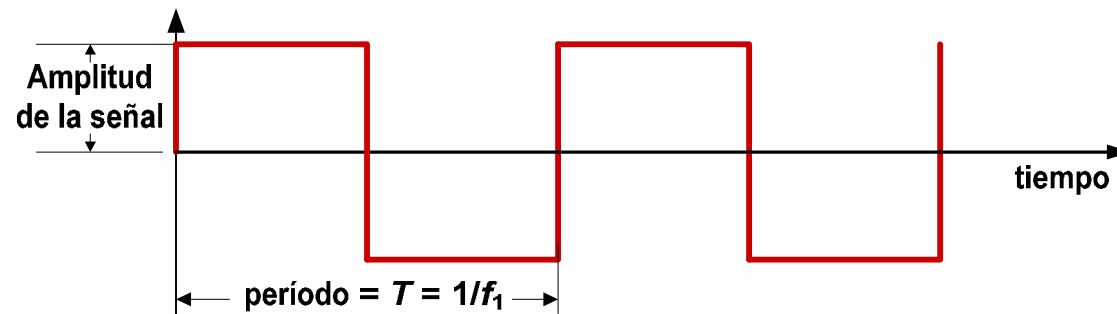
(b) Una señal Aperiódica

Señal: Dominio del tiempo

Señal Periódica



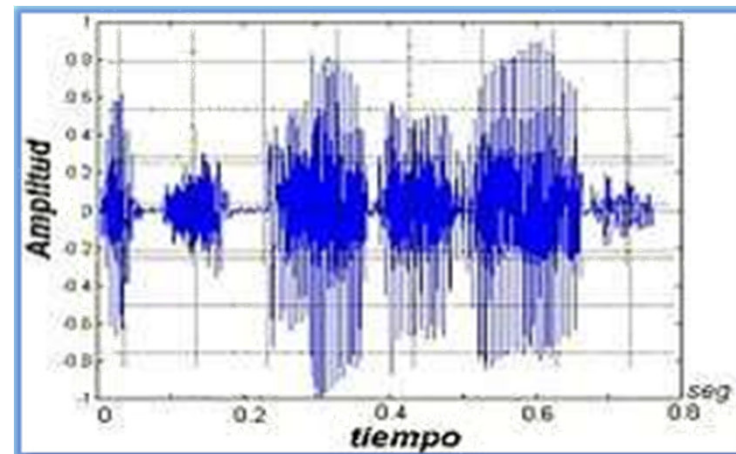
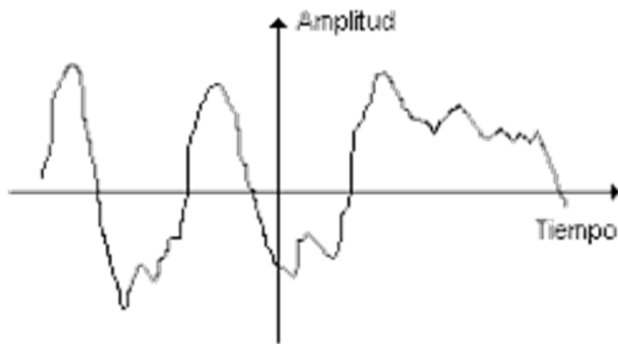
(a) Onda seno.



(b) Onda cuadrada.

Señal: Dominio del tiempo

Señal aperiódica: cuando no se cumple la condición de señal periódica para **ningún T finito**. cambia sin exhibir ningún patrón que se repita en el tiempo. La mayoría de las ondas del mundo real son aperiódicas.



Señal: Dominio del tiempo

Onda Seno  Ejemplo simple de señal periódica.

Parámetros de la onda seno

Amplitud: Es el máximo valor de la onda en el tiempo.

Período: es el tiempo de una repetición de una onda. Se lo indica con T (T : un período). En un período se cumple un **ciclo**.

Frecuencia: Es la velocidad con que se repite el período T en una unidad de tiempo. Se indica con f y se expresa **en ciclos/segundo** o **Hertz**. Múltiplos de Hz: KHz, MHz, GigaHz, etc. Por lo tanto la relación que existe entre T y f es $T = 1/f$.

Fase: Es una medida de la posición relativa de la onda con respecto a una referencia temporal (p/ ejemplo: eje de las ordenadas). Se indica la **fase** con la letra griega: ϕ .

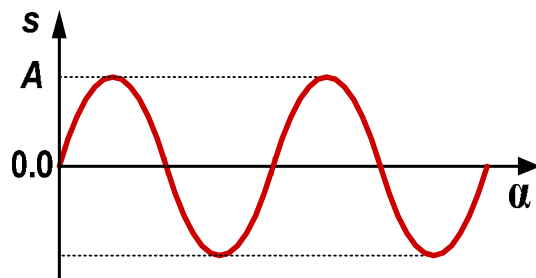
Señal: Dominio del tiempo

Representación matemática de la onda seno

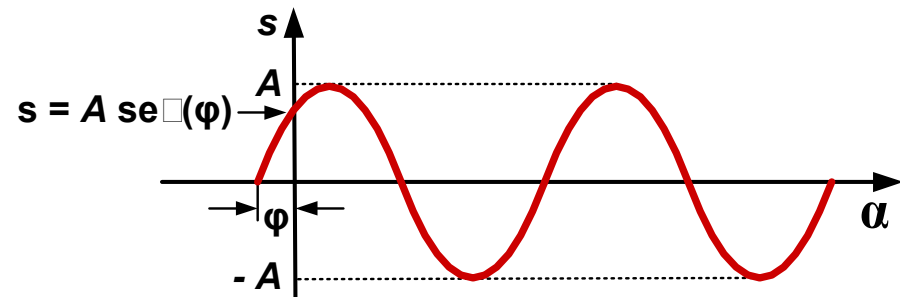
La onda seno puede representarse por la función:

$$s = A \operatorname{sen}(\alpha + \phi)$$

donde A es la amplitud de la onda y $(\alpha + \phi)$ es el argumento de la función. α es la variable independiente y ϕ es una constante. α y ϕ tienen dimensión de radianes o grados.



Función seno con $\phi = 0$



Función seno con $\phi \neq 0$

Señal: Dominio del tiempo

Análisis de la onda seno

Para que el argumento de la función seno contenga la variable tiempo t en forma explícita se necesita hacer un cambio de variables en el argumento:

Cuando en la función seno, α varía entre 0 y 2π radianes, en la onda seno como función del tiempo, t lo hace entre 0 y T seg.

Haciendo la relación $\alpha/2\pi = t/T$ y despejando α se tiene que:

$\alpha = 2\pi t/T = 2\pi ft$. Reemplazando este valor de α en la función original, se obtiene:

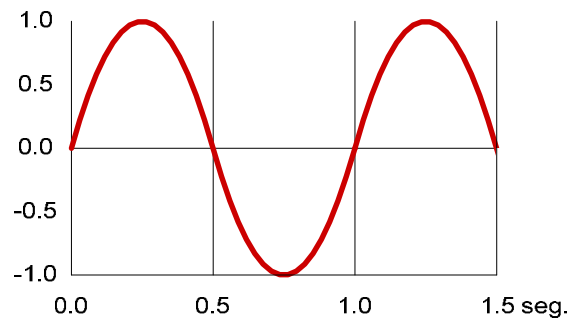
$$s(t) = A \sin (2\pi ft + \phi)$$

En esta expresión la variable independiente es t .

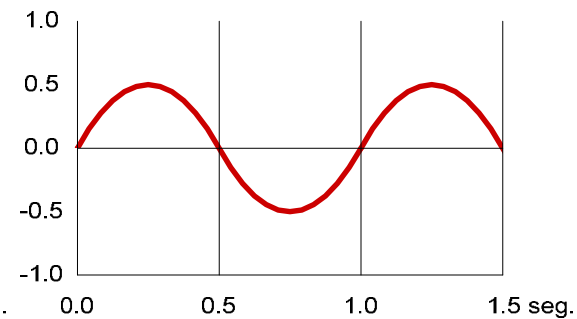
También están presentes los parámetros A , f y ϕ que son constantes. (nótese que $2\pi ft$ y ϕ tienen dimensiones de grados o radianes).

Señal: Dominio del tiempo

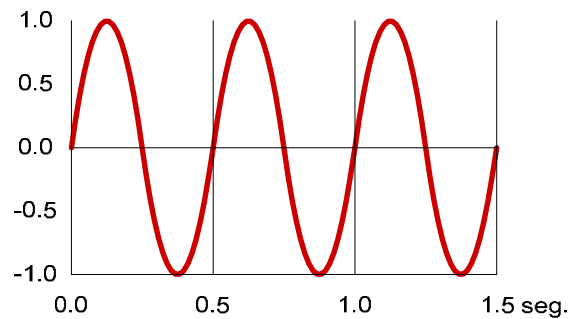
Análisis de la onda seno



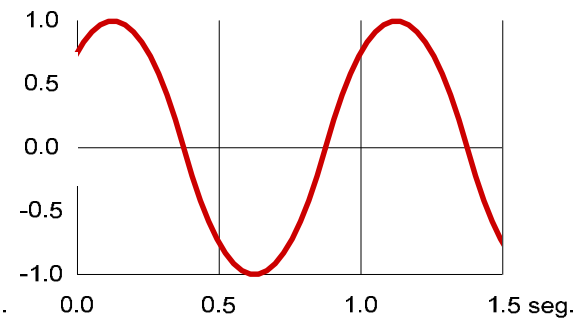
(a) $A = 1, f = 1, \varphi = 0$



(b) $A = 0.5, f = 1, \varphi = 0$



(c) $A = 1, f = 2, \varphi = 0$



(d) $A = 1, f = 1, \varphi = 45^\circ$

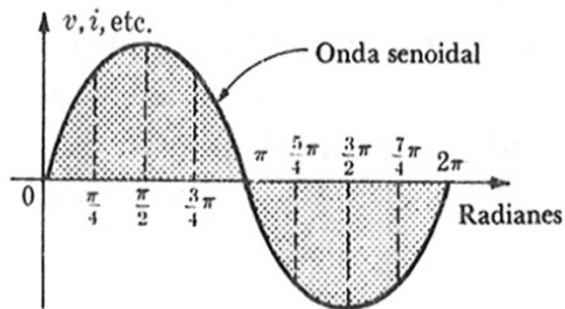
Señal: Dominio del tiempo

Análisis de la onda seno: valores que pueden tomar "T" y "f"

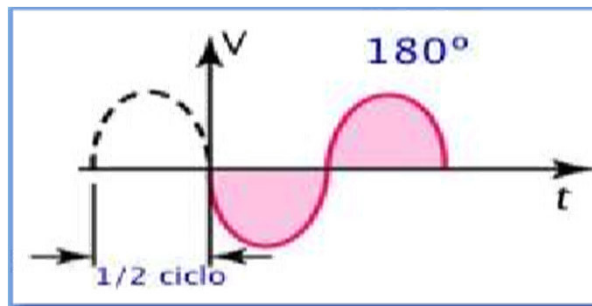
Unidades del periodo y de la frecuencia			
Unidad	Equivalente	Unidad	Equivalente
Segundo (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milisegundo (ms)	10^{-3} s	Kilohertz (kHz)	10^3 Hz
Microsegundo (μ s)	10^{-6} s	Megahertz (MHz)	10^6 Hz
Nanosegundo (ns)	10^{-9} s	Gigahertz (GHz)	10^9 Hz
Picosegundo (ps)	10^{-12} s	Terahertz (THz)	10^{12} Hz
Femtosegundo (fs)	10^{-15} s	Petahertz (PHz)	10^{15} Hz
Attosegundo (as)	10^{-18} s	Exahertz (EHz)	10^{18} Hz

Señal: Dominio del tiempo

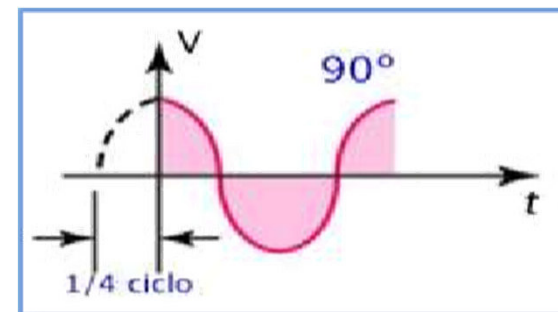
Análisis de la onda seno: valores que pueden tomar la Fase (ϕ)



La fase se expresa en grados o radianes (360° son 2π radianes). Una onda seno con una fase de 0° no tiene desfase. Un desfase de 360° corresponde al desfase de un periodo T completo



Onda desfasada 90°



Onda desfasada 45°

Señal: Dominio del tiempo

Análisis de la onda seno: interpretación en espacio y tiempo

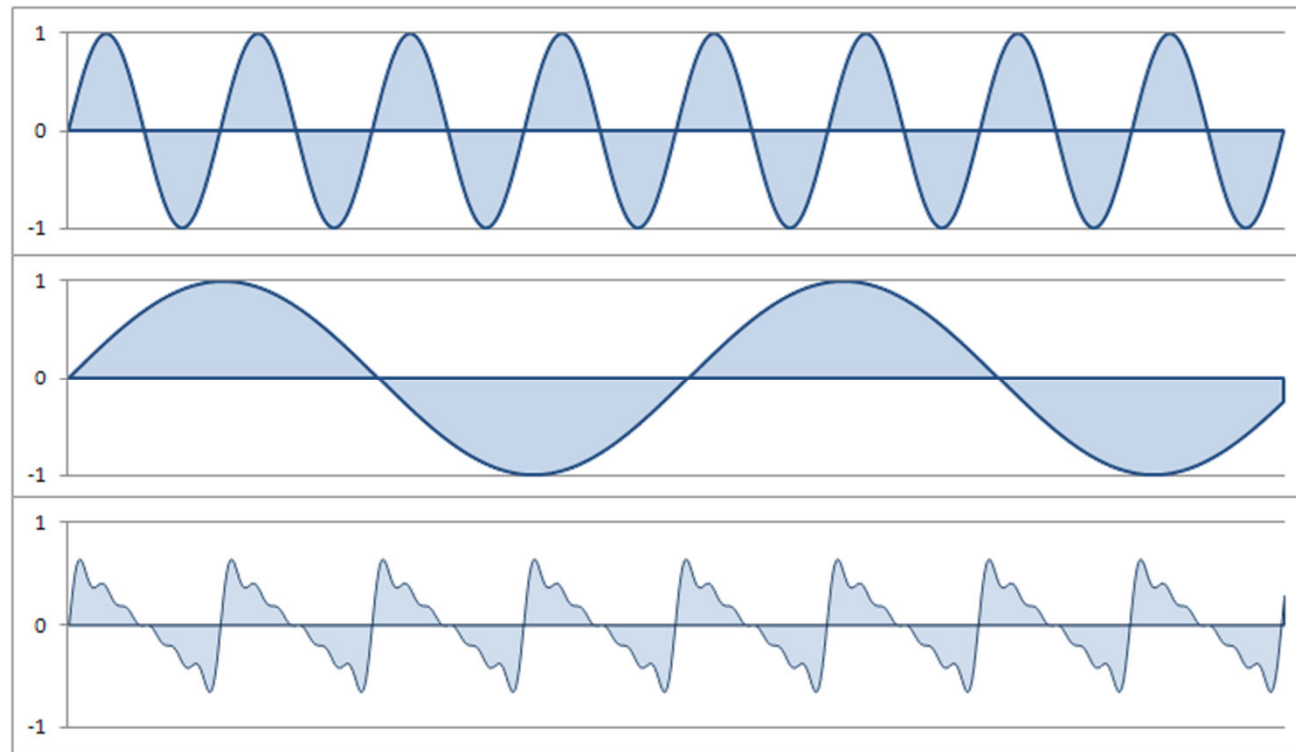
Los gráficos de la figuras anteriores muestran la variación de una onda seno en función del tiempo.

- **Visualización en función del tiempo:** Es la variación de tensión en un punto dado del medio de transmisión.
- **Visualización en función de la distancia:** La variación de la señal a lo largo de un medio de transmisión en un instante dado es como sacarle una fotografía a la señal (tiempo detenido) .

Si se hace un gráfico utilizando un par de ejes coordenados de **amplitud vs. distancia**, se obtiene una onda seno que muestra el valor de la señal en cada punto del medio de transmisión en un instante dado. Gráfico siguiente:

Señal: Dominio del tiempo

Análisis de la onda seno: interpretación en espacio y tiempo



Señal: Dominio del tiempo

Relaciones entre parámetros de tiempo y espacio

Cuando se analiza el desplazamiento de una onda por un medio, es decir, a través de la **distancia**, intervienen los parámetros **velocidad "v"** y **longitud de onda "λ."**

Longitud de onda (λ) de una señal es la **distancia ocupada por un ciclo**. **λ** y **v** están relacionadas con el período **T** de la siguiente forma:

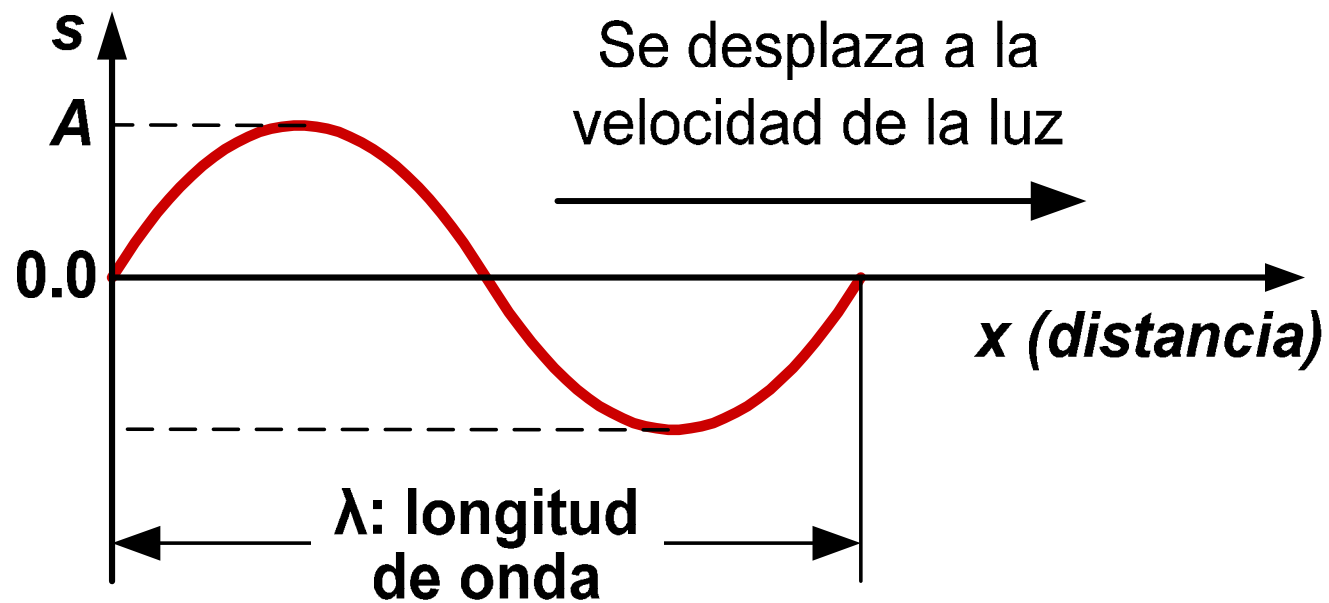
$$v = \lambda / T; \text{ es decir } \lambda = vT \text{ o lo mismo } \lambda = v/f \text{ o } \lambda f = v$$

La **velocidad de propagación** de la onda depende del medio por donde se desplaza (elasticidad, inercia), por ejemplo cuando **v = c**, donde **c** es la **velocidad de la luz en el espacio libre (aire y vacío)**:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/seg.}$$

Curiosidad: La **velocidad de una ola** es aproximadamente 4 Km/h

Señal: Dominio del tiempo



Señal: Dominio del tiempo

Longitud de onda (λ): Ondas cortas, Ondas Largas, Microondas

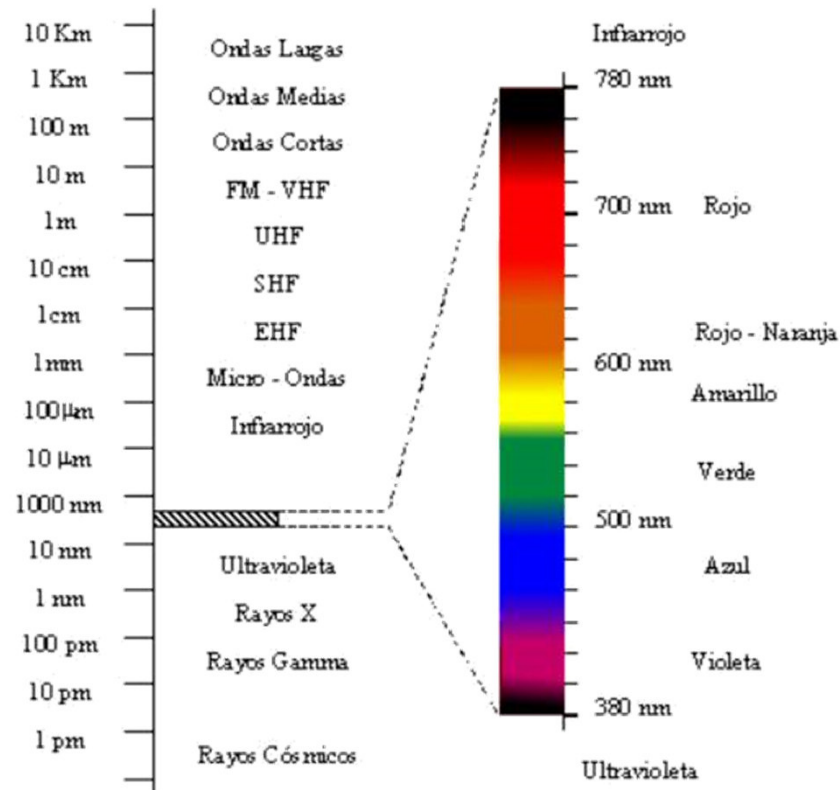
Las ondas de baja frecuencia se denominan ondas largas y las de frecuencias altas, ondas cortas. El término microondas se utiliza para describir a las ondas con frecuencias superiores a 1 GHz.

Una radioemisora FM emite ondas de radio que tienen una longitud de entre 2 a 4 m para completar un ciclo. Por ejemplo, Radio Mitre en Tucumán, transmite en el 95,5 MHz, la longitud de onda es: 3,141361 metros.

En Argentina, la telefonía móvil 4G utiliza frecuencias entre 1700 y 2100 MHz, lo que implica una longitud de onda de entre 0,1464 m y 0,1764 m.

Señal: Dominio del tiempo

Taxonomía de longitudes de onda



Señal: Dominio de la frecuencia

La Onda Cuadrada (Señal analógica compuesta)

Una señal electromagnética está compuesta normalmente por muchas frecuencias. El caso más típico es el de la señal digital cuya forma se aproxima a la de una onda cuadrada.

Importancia de la onda cuadrada en el envío de datos:

Con la onda cuadrada se puede representar el envío de una secuencia alternada de unos y ceros (1's y 0's).

Se analizará la relación que existe entre una onda cuadrada periódica y sus componentes de frecuencia.

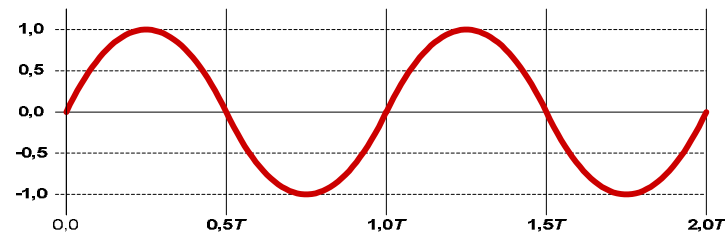
Por ejemplo, la señal cuya función es:

$$s(t) = \text{sen}[2\pi ft] + (1/3)\text{sen}[2\pi(3f)t]$$

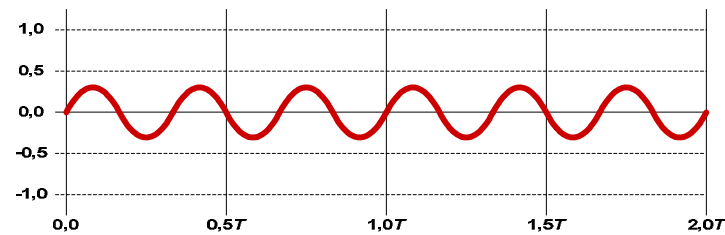
Está formada por 2 ondas seno que se suman, diferenciándose entre sí por la amplitud y por la frecuencia; ambos parámetros en un factor de 3. (Ver figura siguiente).

Señal: Dominio de la frecuencia

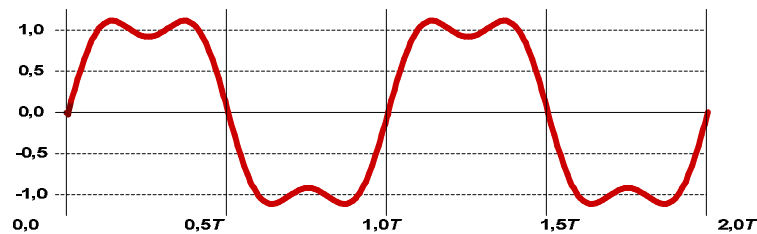
Aproximación a la onda cuadrada por la suma de ondas senos



(a) $\sin(2\pi ft)$



(b) $(1/3)\sin[2\pi(3f)t]$



(c) $(4/\pi) [\sin(2\pi ft) + (1/3)\sin[2\pi(3f)t]]$

Señal: Dominio de la frecuencia

La onda cuadrada

Considérense ahora las siguientes funciones $s_2(t)$ y $s_3(t)$:

$$s_2(t) = \text{sen}[2\pi ft] + (1/3)\text{sen}[2\pi(3f)t] + (1/5)\text{sen}[2\pi(5f)t]$$

$$s_3(t) = \text{sen}[2\pi ft] + (1/3)\text{sen}[2\pi(3f)t] + (1/5)\text{sen}[2\pi(5f)t] + (1/7)\text{sen}[2\pi(7f)t]$$

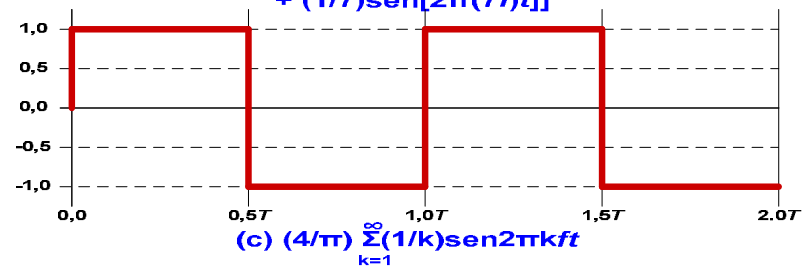
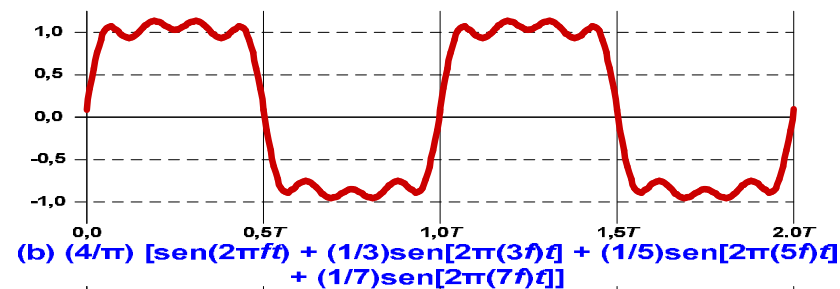
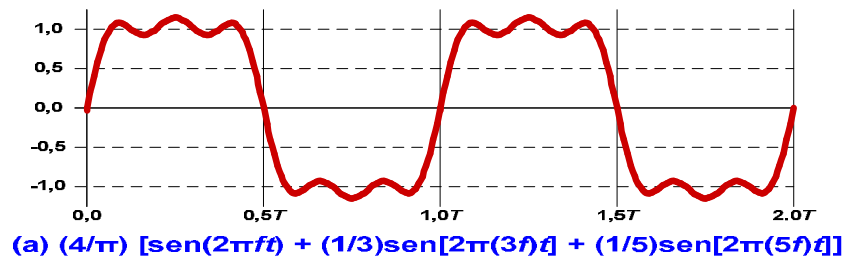
$s_2(t)$ representa una onda que resulta de sumar 3 ondas seno de frecuencias f , $3f$ y $5f$.

$s_3(t)$ es el resultado de sumar a $s_2(t)$ una cuarta onda seno de frecuencia $7f$.

Obsérvese que decrece la amplitud de las ondas que se suman cuando más alta es su frecuencia.

Señal: Dominio de la frecuencia

Aproximación a la onda cuadrada por la suma de ondas senos



Señal: Dominio de la frecuencia

Consideraciones sobre las funciones $s_1(t)$, $s_2(t)$ y $s_3(t)$

Las frecuencias de las componentes en $s_1(t)$, $s_2(t)$ y $s_3(t)$ son múltiplos enteros de la primera frecuencia f .

f se denomina frecuencia fundamental.

En las Figuras 3.5 y 3.6 del apunte puede observarse que el período de las señales resultantes $s_1(t)$, $s_2(t)$ y $s_3(t)$, es igual al período de la frecuencia fundamental.

Es decir, el período de la componente $\sin [2\pi ft]$ es $T = 1/f$.

El período de $s_1(t)$, $s_2(t)$ y $s_3(t)$ es también T .

Del mismo modo, en las ondas en la diapositiva anterior el período es T .

Señal: Dominio de la frecuencia

Consideraciones sobre las funciones $s_1(t)$, $s_2(t)$ y $s_3(t)$

A medida que se agregan más términos de la forma $(1/k)\text{sen}[2\pi(kf)t]$, con k impar, a la función $s(t) = \text{sen}[2\pi ft]$, la onda suma resultante se acerca cada vez más a la forma de la onda cuadrada, cuya función es:

$$s(t) = A (4/\pi) \sum_{k=1, k \text{ impar}}^{\infty} (1/k) \text{sen} (2\pi kft)$$

De acuerdo a esta expresión se puede deducir que la onda cuadrada tiene infinitas frecuencias.

Señal: Dominio de la frecuencia

Consideraciones sobre las funciones $s_1(t)$, $s_2(t)$ y $s_3(t)$

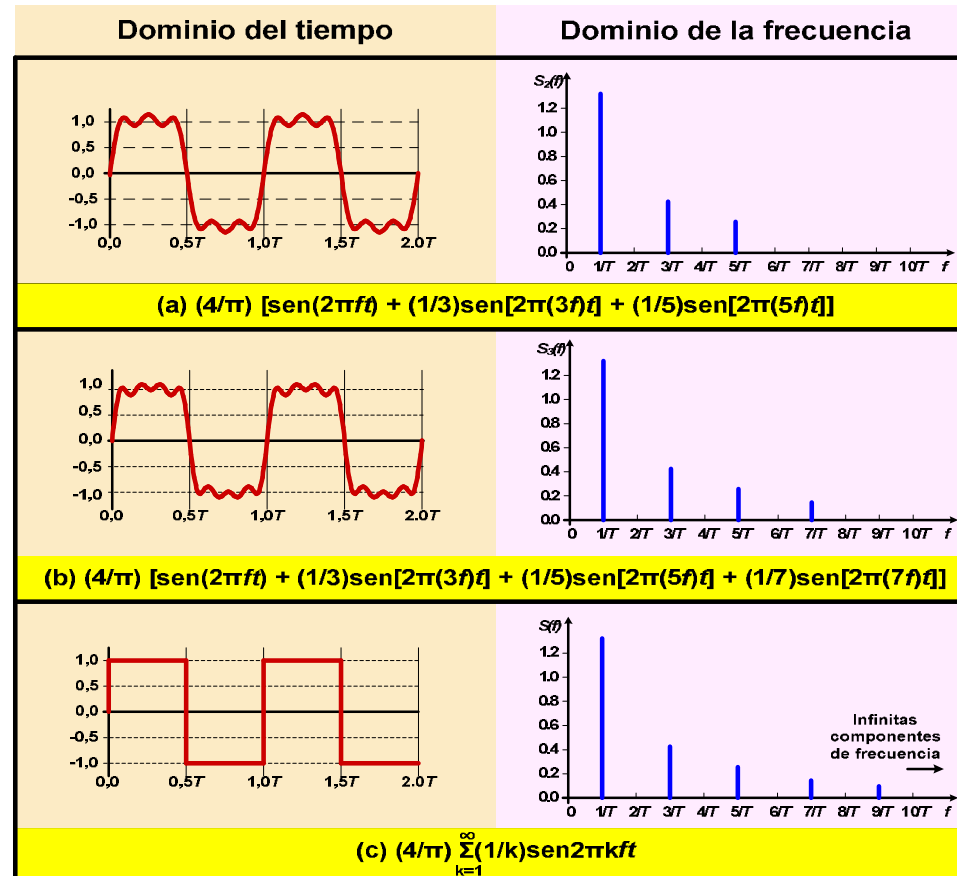
Para una señal, cuya función $s(t)$ expresa la amplitud de la señal en cada *instante de tiempo*, existe una función $S(f)$ en el dominio de la frecuencia que expresa las *frecuencias componentes* de esa señal.

En la figura siguiente se muestran, las ondas correspondientes a las funciones $s_2(t)$, $s_3(t)$ y $s(t)$, y a la derecha las respectivas funciones $S_1(f)$, $S_2(f)$ y $S(f)$.

Cada par de funciones ($s(t)$ y $S(f)$), representan la misma señal en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia, respectivamente.

El *Análisis de Fourier* demuestra que $S(f)$ es siempre *discreta* cuando el rango en el tiempo de $s(t)$ va de $-\infty$ a $+\infty$. También se cumple que $S(f)$ es *continua* cuando la duración de $s(t)$ es *finita* en el tiempo.

Señal: Dominio del tiempo y la frecuencia



Señal: Dominio del tiempo y la frecuencia

Implicancias del Análisis de Fourier

Demuestra que cualquier señal en función del tiempo, periódica o no periódica, está formada por componentes de distinta frecuencia y donde cada componente es una onda seno.

Vincula así el tiempo con la frecuencia proveyendo dos visiones de una misma señal.

Permite visualizar la señal en el Dominio de la Frecuencia

Ayuda a comprender el efecto que produce el medio de transmisión sobre la señal. Esto implica entender cuales serán las frecuencias que podrán viajar a través del enlace y así calcular velocidad transmisión, eficiencia, etc.

Señal: Dominio del tiempo y la frecuencia

Resumen

- **Dominio del Tiempo:** para cada **señal** existe una **función $s(t)$** que expresa la amplitud de la señal en cada instante de tiempo.
- **Dominio de la Frecuencia:** de acuerdo a Fourier, existe una **función $S(f)$** en el dominio de la frecuencia que expresa las **frecuencias componentes** de la señal $s(t)$.

Además, el análisis de Fourier determina que:

- Cuando $s(t)$ está presente entre $-\infty < t < \infty$, $S(f)$ es discreta.
- Cuando $s(t)$ dura un tiempo finito, $S(f)$ es una función continua.

B R E A K

Espectro de frecuencias y ancho de banda

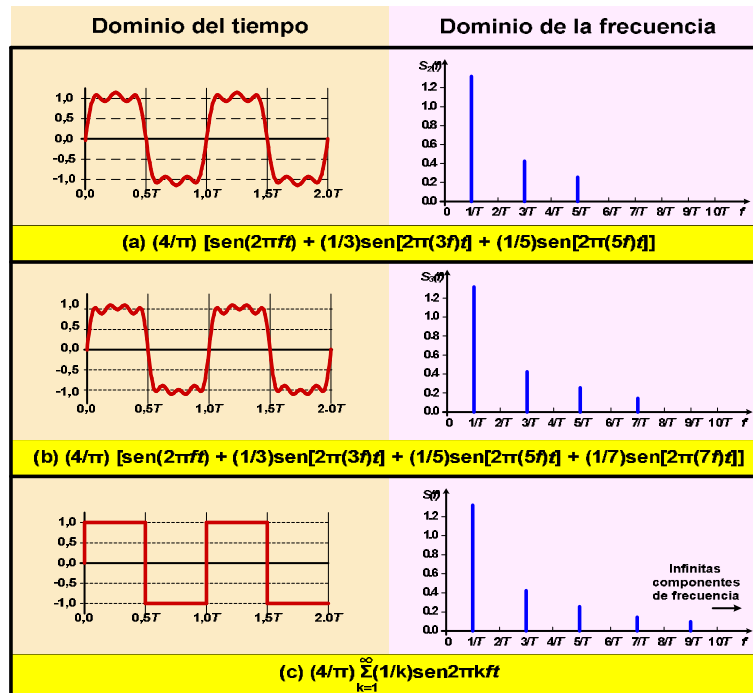
- **Espectro de Frecuencia de una Señal:** Es el rango de frecuencias que ella contiene. (Ver figura siguiente).
- **Ancho de Banda de una Señal:** Es la longitud del espectro de frecuencia de la misma.

Ancho de Banda Absoluto: Es el ancho de banda total de la señal. Cuando una señal tiene infinitas frecuencias, el ancho de banda absoluto tiene un tamaño infinito.

Ancho de Banda Efectivo: o simplemente Ancho de Banda es el que realmente se considera en los sistemas de comunicación. Siempre es finito porque se obtiene de limitar el ancho de banda absoluto que es infinito.

- **Ancho de Banda de un Medio de Transmisión:** Es el límite máximo que puede ocupar el espectro de frecuencia de una señal

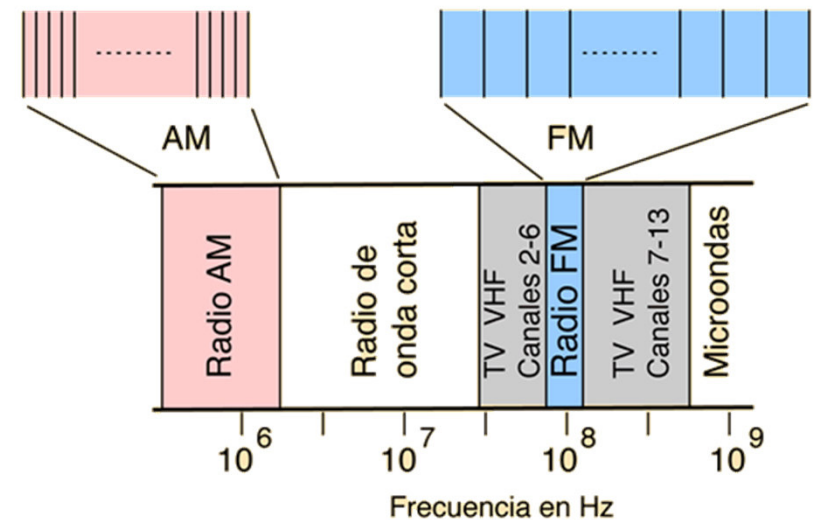
Espectro de frecuencias y ancho de banda



Espectro de Frecuencia: se puede observar en la parte de la derecha el conjunto de frecuencias que forma parte de la señal.

106 bandas posibles de 10 kHz de ancho entre los 540-1600 kHz.

Ancho de banda de 200 kHz entre 88,1-108,1 MHz, para 100 bandas posibles.



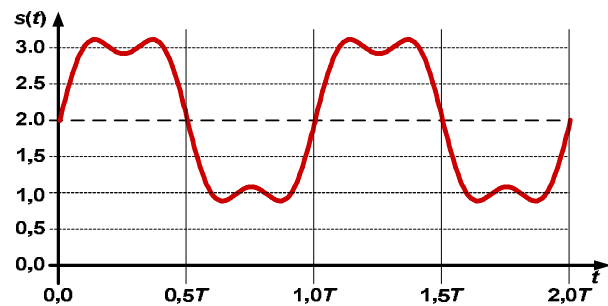
Ancho de banda: es el conjunto de frecuencias que caben en el medio de transmisión.

Espectro de frecuencias y ancho de banda

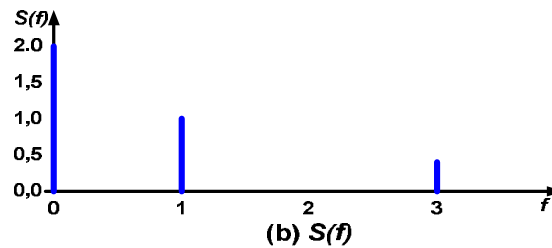
Componente de continua de una señal

Es el equivalente al **valor medio** de la función.

En una señal, el valor medio se interpreta físicamente como una **componente de continua** que tiene **frecuencia cero**.



(a) $s(t) = 2 + (4/\pi) [\text{sen}(2\pi ft) + (1/3)\text{sen}[2\pi(3f)t]]$



Velocidad de los datos

Cuando un dispositivo envía datos a otro, es importante tener una idea de **cuán rápido viajan los mismos: velocidad de transmisión.**

Velocidad de Transmisión de los Datos: es la cantidad de datos por unidad de tiempo que un dispositivo envía a otro.

Se expresa en bits por seg. (bps), kilobits por seg. (Kbps), megabits por seg. (Mbps) o gigabits por seg. (Gbps).

También se usan otras medidas como Bytes por segundo (Bytes/seg), Kilobytes/seg. (KBytes/seg), etc.

Ejemplo: Un computador envía datos a otro a razón de 300 mil bytes por cada 20 segundos. ¿Cuál es la velocidad de transmisión?

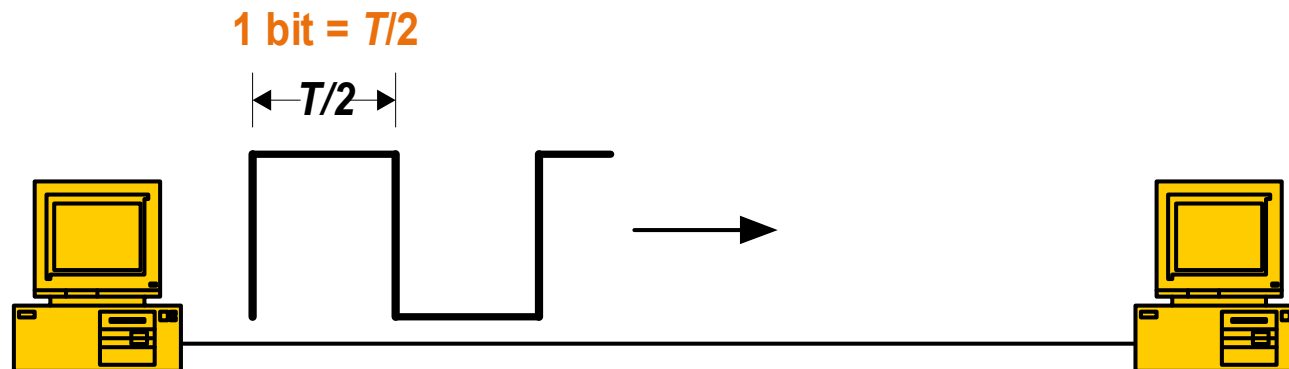
La velocidad en bytes p/seg. es: $300 \times 10^3 / 20 = 15.000$ bytes/seg.

La velocidad en bits p/seg. es: $300 \times 10^3 \times 8 / 20 = 120.000$ bps.

Velocidad de los datos

Velocidad de los Datos usando una Onda Cuadrada

- La señal que transporta un dato digital puede tener distintas formas. Una de las más comunes es aquella que representa un 1 con un valor alto y un 0 con un valor bajo.
- Por ejemplo: Un dispositivo que transmite a otro una señal que tiene la forma de una onda cuadrada. En este caso se interpreta que está enviando una secuencia alternada de 1's y 0's



Velocidad de los datos

Considérese el caso anterior en que se envían bits usando una señal con forma de onda cuadrada cuyo período es T :

¿Cuál es la velocidad de los datos?

En la figura anterior se observa que un bit dura la mitad del período, es decir, $T/2$. Por definición, la velocidad v (cantidad de bits por unidad de tiempo) es:

$$v = \frac{\text{cant. de bits}}{\text{interv. tiempo}} [\text{bits/seg}]$$

$$V = 2/T = 2f_1$$

donde f_1 es la frecuencia de la componente fundamental de la onda cuadrada.

Observación: La expresión anterior ($v = 2f_1$) es válida solo cuando un bit es representado por un único pulso.

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

El objetivo principal en el diseño de los sistemas de comunicaciones es enviar los datos a la **mayor velocidad posible** usando el **menor ancho de banda**, de forma tal de poder establecer una gran cantidad de comunicaciones por un único medio de transmisión.

Se necesita determinar el “**ancho de banda efectivo**” para cada tipo de transmisión. El ancho de banda efectivo se puede expresar como aquel que contiene la **mayor parte de la energía de la señal**.

Este es un problema que enfrenta las necesidades de **reducir costos** con las exigencias del **mínimo retardo**, como así también la **menor cantidad de errores**.

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

Análisis del ancho de banda de una señal

Se tomará en consideración nuevamente la onda cuadrada que transporta una secuencia alternada de 1's y 0's, cuya función es:

$$s(t) = A(4\pi) \sum_{k=1, \text{ impar}}^{\infty} (1/k) \text{sen}(2\pi kft)$$

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

- La expresión anterior indica que la **señal** con forma de onda cuadrada tiene **infinitas** componentes de frecuencia y, por consiguiente, su **ancho de banda absoluto es infinito**.
- Para **transportar esa señal**, resulta **imposible** disponer de un medio de transmisión con un ancho de banda infinito.
- Se puede observar que la **k -ésima componente** tiene una amplitud **k veces menor que A** y será tanto más pequeña cuanto más alta sea la frecuencia de la componente.
- Debido a que la **energía es proporcional al cuadrado de la amplitud de la señal**, el valor de la **energía de las componentes superiores disminuye en una progresión geométrica**; por lo que puede observar que:

En una onda que contiene **varias componentes**, la **mayor parte de la energía** de está concentrada en las **primeras armónicas**.
- El Ancho de Banda de una señal es igual a la resta de: la frecuencia límite superior y la frecuencia límite inferior.

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

Ancho de Banda de una Señal Cuadrada

- El **espectro** de una señal es el conjunto de todas las frecuencias que la componen.
- El **ancho de banda absoluto** de una señal es la anchura del espectro, frecuentemente infinito.
- El **ancho de banda efectivo** de una señal, es el ancho de la banda de las frecuencias que concentra la mayor parte de la señal.

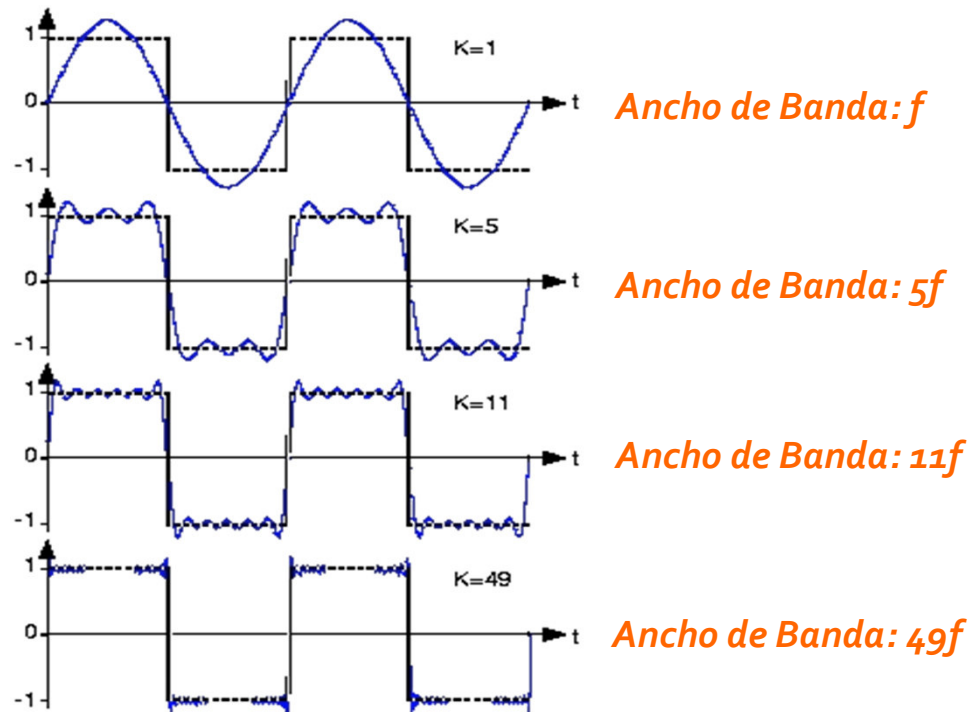
Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

Ancho de Banda de una Señal Cuadrada

- Las **componentes de frecuencias** de una onda cuadrada son infinitas, por lo tanto del ancho de banda de la onda cuadrada es **infinito**.
- La mayor parte de la energía está concentrada en las **primeras componentes**.
- Si por ejemplo se limita el ancho de banda a las **3 primeras componentes**, el ancho de banda de la señal es: **$5f - f$** (dónde f es la frecuencia fundamental).
- Para el mismo ejemplo, si la señal tuviese una componente **continua**, el ancho de banda efectivo de la señal es **$5f - 0 = 5f$**

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

Ancho de Banda de una Señal Cuadrada



Velocidad de los datos: relación con el ancho de banda

De acuerdo a lo deducido, caben las siguientes preguntas:

1. ¿Qué sucede si a la onda cuadrada se le reduce el ancho de banda a sólo las primeras componentes?
2. ¿Qué relación tiene el ancho de banda con la velocidad de los datos en estas condiciones?

Para responder estas preguntas se analizan los siguientes casos:

Caso I: señal con 3 componentes y $f = 1$ MHz

Se dispone de un sistema de transmisión digital por el que se intenta transmitir una secuencia alternada de 1's y 0's empleando una onda cuadrada.

El sistema de comunicación tiene capacidad de transmitir señales y su medio de transmisión tiene un ancho de banda que es de 4 MHz.

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

Si se aproxima la onda cuadrada a la de la Figura (a) del slide "27"(3 componentes), se nota que, si bien, está distorsionada respecto de una onda cuadrada pura, es algo parecida como para que un receptor pueda discriminar entre un 1 binario y un 0 binario.

Entonces, si $f = 10^6$ ciclos/seg = 1 MHz, la función de la señal es:

$$s(t) = \text{sen}[(2\pi 10^6)t] + (1/3)\text{sen}[(2\pi 3 \times 10^6)t] + (1/5)\text{sen}[(2\pi 5 \times 10^6)t]$$

Según los parámetros dados, se tiene:

Ancho de banda: $5 \times 10^6 - 10^6 = 4$ MHz

Velocidad de los datos: Para $f = 1$ MHz, $T = 1/10^6$ seg = $1 \mu\text{s}$.

Es decir, 1 bit dura $T/2 = 0,5 \mu\text{s}$.

Por lo tanto, la velocidad es $v = 2/T$; $v = 2$ Mbps

Resumen Caso I: Ancho de banda de la señal = 4 MHz; Velocidad = 2 Mbps

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

Caso II: señal con 3 componentes y $f = 2$ MHz

Se supone en este caso que se toma una fundamental con $f = 2$ MHz y 3 componentes.

Para la señal indicada, la función es:

$$s(t) = \text{sen}[(2\pi 2 \times 10^6)t] + (1/3)\text{sen}[(2\pi 3 \times 2 \times 10^6)t] + (1/5)\text{sen}[(2\pi 5 \times 2 \times 10^6)t]$$

Según los parámetros dados, se tiene:

Ancho de banda: $5 \times 2 \times 10^6 - 2 \times 10^6 = 8$ MHz

Velocidad de datos: $f = 2$ MHz; $T = 0,5 \mu\text{s}$; 1 bit cada $0,25 \mu\text{s}$.

Es decir, 1 bit dura $T/4 = 0,25 \mu\text{s}$.

Por lo tanto la velocidad es $4/T$; $v = 4$ Mbps.

Resumen Caso II: Ancho de Banda de la señal = 8 MHz; Velocidad = 4 Mbps.

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

Caso III: señal con 2 componentes y $f = 2$ MHz

En ésta tercer instancia se toma una señal con sólo dos componentes (Figura del slide 27) y la fundamental tiene $f = 2$ MHz.

Se tiene la señal:

$$s(t) = \text{sen}[2\pi(2 \times 10^6)t] + (1/3)\text{sen}[2\pi(3 \times 2 \times 10^6)t]$$

Según los parámetros dados se tiene:

Ancho de banda: $3 \times 2 \times 10^6 - 2 \times 10^6 = 4$ MHz

Velocidad de datos: $f = 2$ MHz; $T = 0,5 \mu\text{s}$; 1 bit cada $0,25 \mu\text{s}$.

Es decir, 1 bit dura $T/4 = 0,25 \mu\text{s}$.

Por lo tanto la velocidad es $4/T$; $v = 4$ Mbps.

Resumen Caso III: Ancho de banda de la señal = 4 MHz; Velocidad = 4 Mbps.

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

	Ancho de Banda	Velocidad de los datos	Nº componentes
Caso I	4 MHz	2 Mbps	3
Caso II	8 MHz	4 Mbps	3
Caso III	4 MHz	4 Mbps	2

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

Conclusiones

- ✓ Caso I y II. Señal con un número dado de componentes: para lograr una velocidad mayor debe incrementarse el Ancho de Banda en la misma proporción
- ✓ Caso I y III. Se dispone de un dado Ancho de Banda: se puede obtener mayor velocidad si se reduce el número de componentes de la señal
- ✓ Cuando se necesita enviar datos a la mayor velocidad posible, mayor es el ancho de banda efectivo requerido.
- ✓ Cuánto mayor es el ancho de banda de un sistema de transmisión, mayor es la velocidad de los datos que se pueden transmitir.
- ✓ Cuánto más armónicas se transmiten, la señal es más cercana a la onda cuadrada, y se necesita un mayor ancho de banda para poder transmitirlos

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

Conclusiones

- ✓ Una señal digital pura tiene un ancho de banda infinito. Si se intentara transmitir esta señal a través de un medio real, la naturaleza física del medio limitará el ancho de banda. Las frecuencias altas no pasarán porque el ancho de banda de un medio real es finito y recortará (filtrará) las componentes que queden fuera de él
- ✓ Siempre se transmitirá una señal con un ancho de banda finito.
- ✓ El recorte de frecuencias produce una distorsión en la señal de llegada respecto de la original de entrada al medio

Velocidad de los datos: relación con al ancho de banda

Conclusiones

- ✓ Mayor es el ancho de banda de la señal transmitida, mayor es el ancho de banda requerido del medio, y mayor es el costo de la transmisión. Entonces, costo y diseño de los sistemas de comunicación exigen que la información a transmitir deba aproximarse a una señal con mínimo ancho de banda.
- ✓ Limitar el ancho de banda produce distorsiones en la señal, lo que hace dificultosa la tarea de interpretación de la información recibida por parte del receptor. Entonces a mayor limitación del ancho de banda, mayor es la distorsión producida en la señal y mayor es la posibilidad de errores en la transmisión.

Para pensar . . .

- a. ¿Cuáles deben ser los valores de frecuencia de la fundamental y 2 armónicas de una señal si se desea enviar datos a máxima velocidad por un medio cuyo ancho de banda es de 0 a 200 KHz? Calcule la velocidad de transmisión de los datos.
- b. ¿Qué haría usted si se le pide que debe enviar datos por ese mismo medio a mayor velocidad que la calculada en a)? ¿Cuál es el nuevo valor de la velocidad de transmisión de los datos en este caso?
- c. Dibuje las señales utilizadas en a) y en b) incluyendo todos los parámetros, tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia.

Temas a tratados

1. **Introducción**
2. **Análisis de Señales**
3. **Espectro de Frecuencias y Ancho de Banda**
4. **Velocidad de Datos**
5. **Relación entre la Velocidad de Datos y el Ancho de Banda**

Fin Módulo 3