



Comunicaciones

Castro-Fusario

Capítulo 2:

Transmisión de señales

Colaboración Ing Alejandro Echazu



Temas:

- **2.1 Señales analógicas y señales digitales**
- **2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales**
- **2.3 Características de la transmisión de señales**
- **2.4 Características de las señales utilizadas para la transmisión de señales**
- **2.5 Unidades de medida usadas en las telecomunicaciones**
- **2.6 La transmisión de señales**
- **2.7 Ancho de banda**
- **2.8 Señales en banda base**
- **2.9 Filtros**



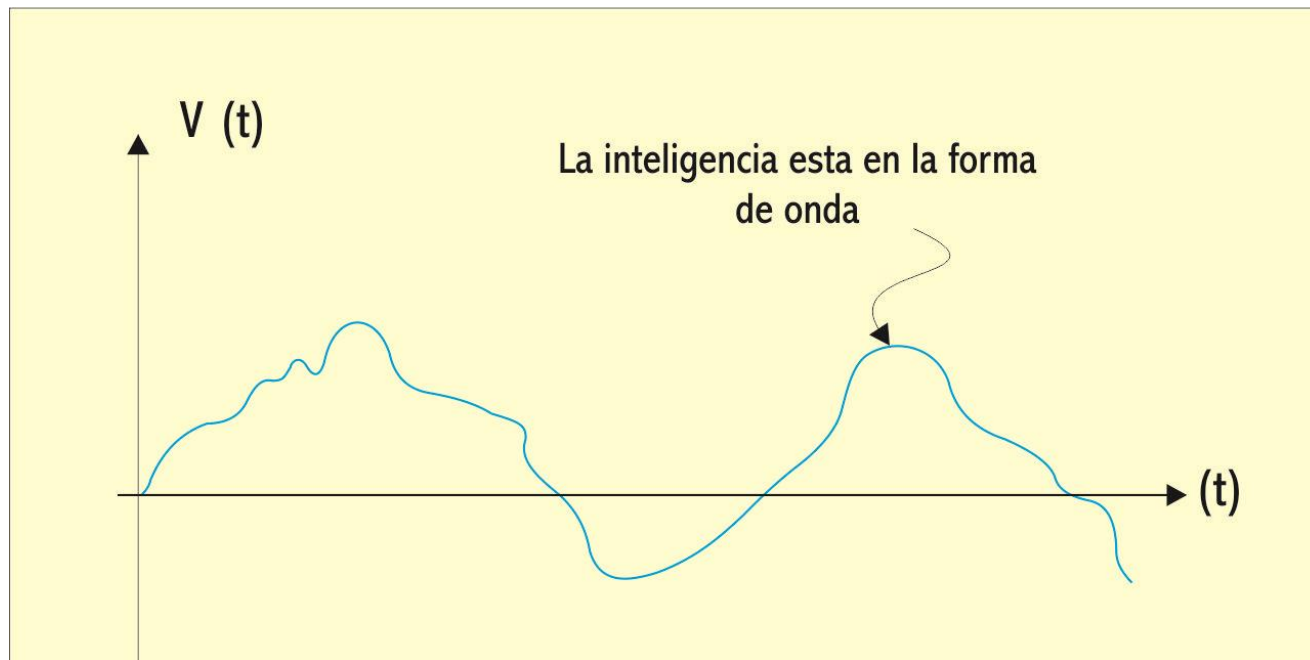
2.1 Señales analógicas y señales digitales

2.1.1 Introducción

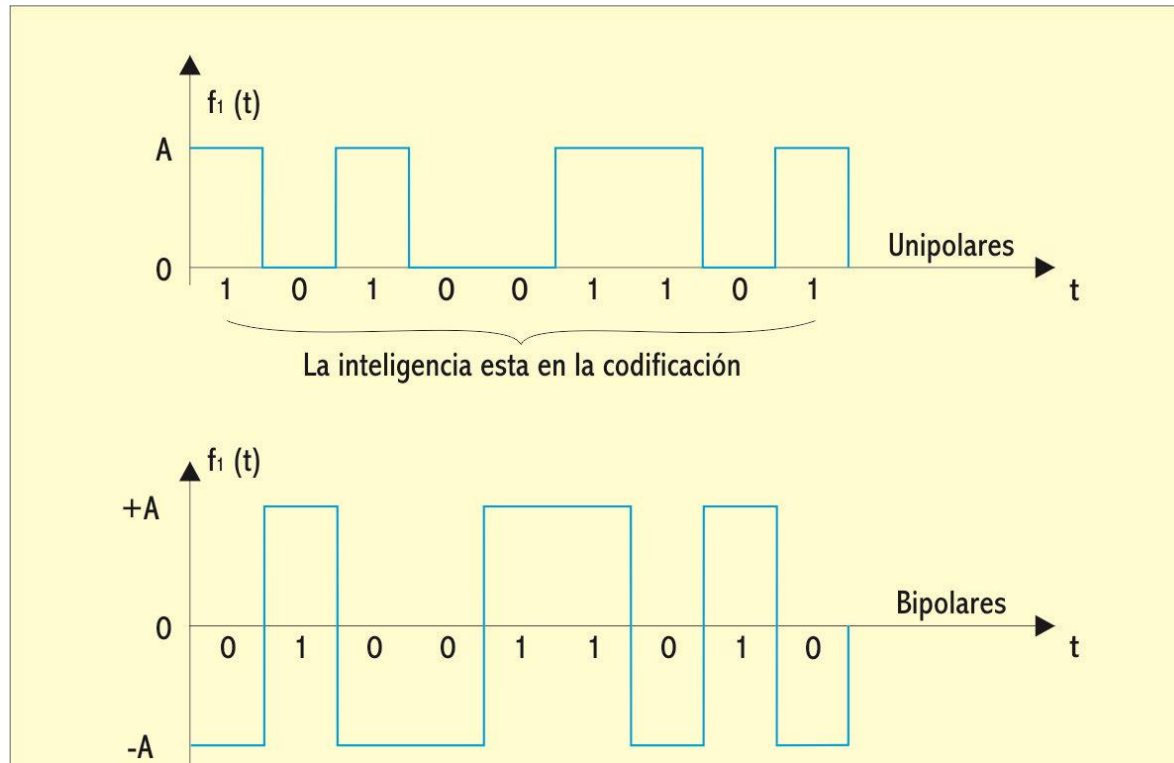
- Las redes de telecomunicaciones deben transmitir todo tipo de informaciones inteligentes, como voz, audio, datos, textos, imágenes y video.
- Las informaciones se codifican en la fuente y se transforman en señales analógicas o digitales que puedan ser transmitidas por las redes.
- Según el codificador que se utilice, las señales pueden ser de tipo eléctrico, óptico o electromagnético.

2.1.2 Definiciones

Señales analógicas: pueden ser representadas por funciones que toman un número infinito de valores en cualquier intervalo de la variable considerada



Señales digitales: pueden ser representadas por funciones que toman un número finito de valores en cualquier intervalo de la variable considerada





2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales

Las señales analógicas se transmiten por redes analógicas.

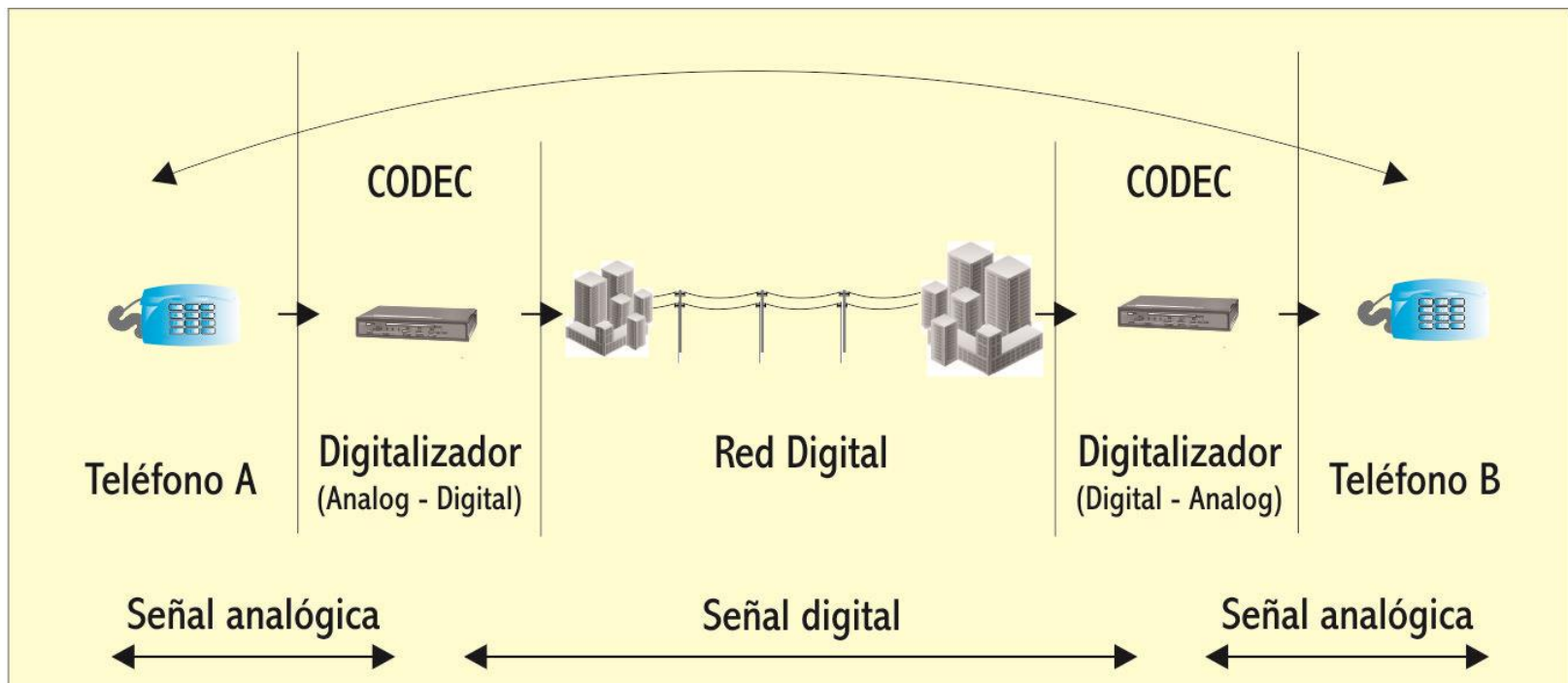
Si la red es digital, las señales típicamente analógicas, como la voz, deben ser previamente digitalizadas para su transmisión.

El equipo para efectuar esta transformación se denomina en forma genérica digitalizador o también equipo codec (codificador y decodificador).

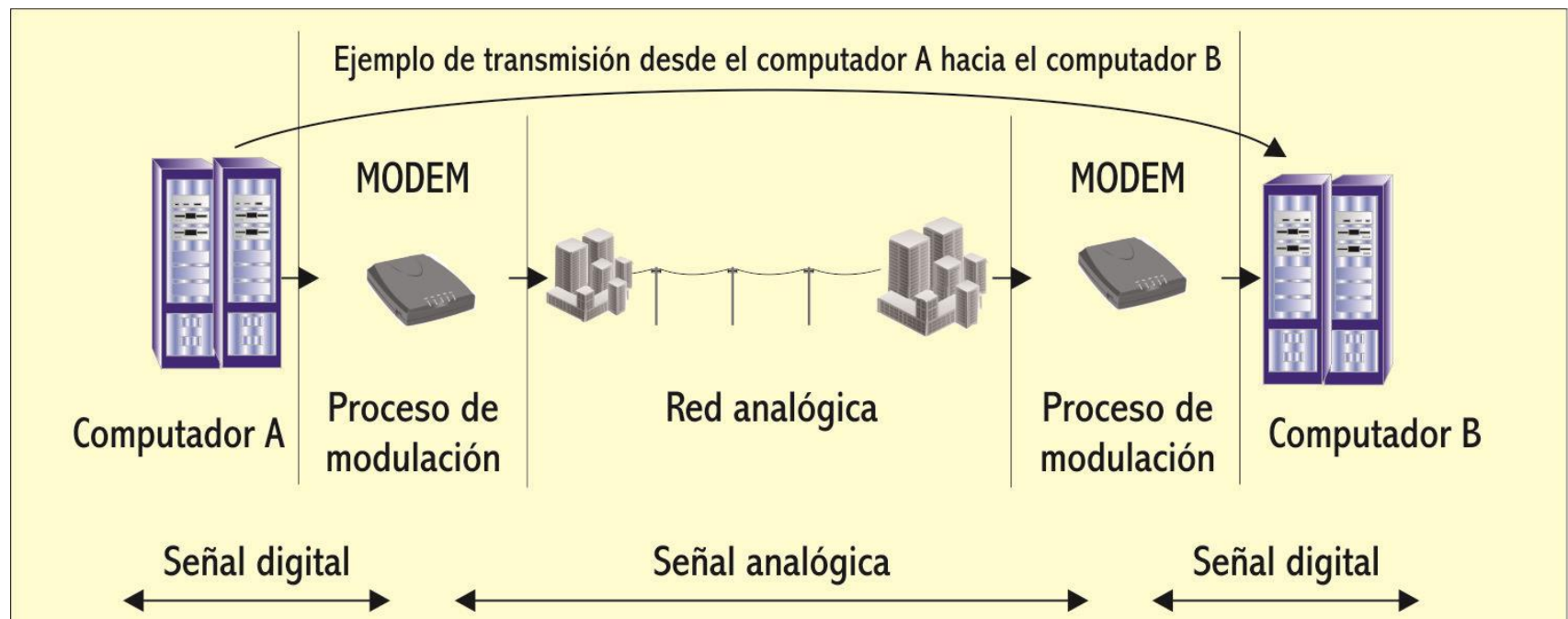
Las señales digitales se transmiten por redes digitales.

En una red digital que se utiliza para la transmisión de la voz, el equipo terminal telefónico debe estar conectado a un digitalizador antes de que las señales pasen a la red digital.

Esquema de conexión de un equipo terminal analógico a una red digital.



Para transmitir señales digitales por redes analógicas se usan módems (moduladores/demoduladores) de diferentes tipos. Los módem ADSL –*Asynchronous Digital Subscriber Line*– permite el acceso a la red telefónica analógica con velocidades típicas de banda ancha para conectarse a Internet.





2.3 Características de la transmisión de señales

Las telecomunicaciones, o simplemente comunicaciones están constituidas por el conjunto de tecnologías que permiten la transmisión a distancia de señales de información.

El medio de comunicaciones, o canal de comunicaciones, es el que permite que las señales generadas en el transductor de la fuente lleguen al transductor del sumidero.

En resumen, un sistema de comunicaciones está compuesto por los elementos siguientes:

- Una fuente y un sumidero o colector.
- Un transductor en la fuente y otro en el sumidero.
- Un medio o un canal de comunicaciones.



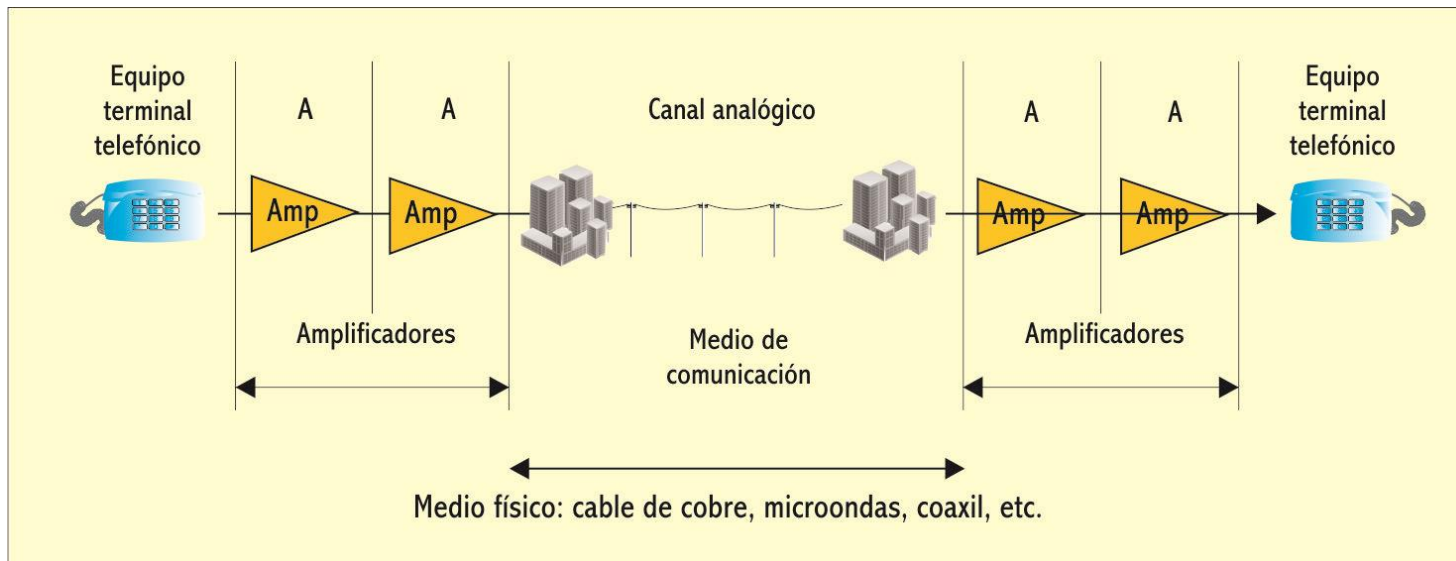
El medio de comunicación debe transmitir la información con la mayor fidelidad posible.

Hay fenómenos indeseables tales como:

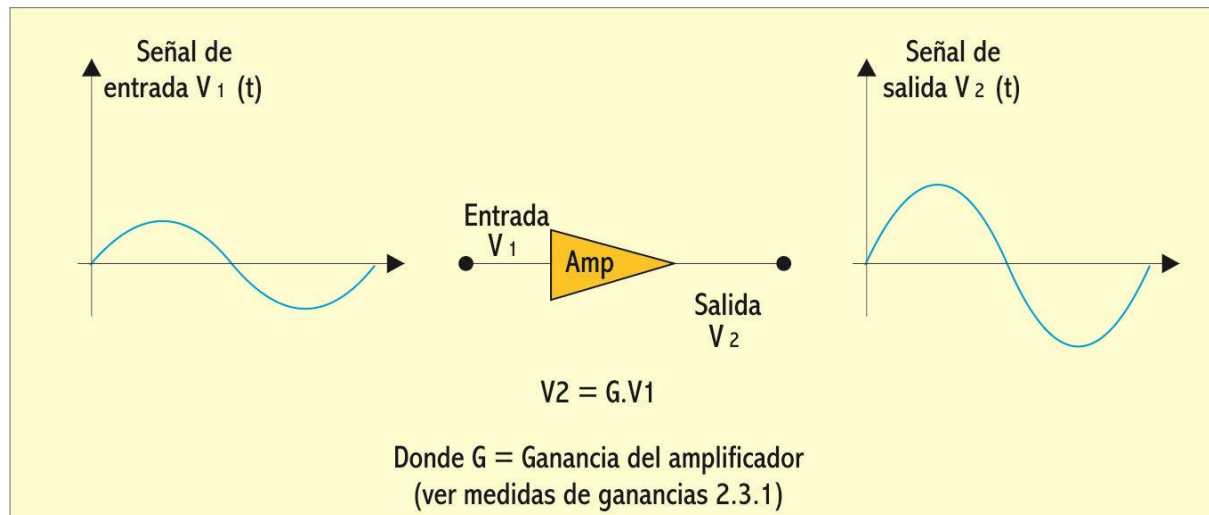
- Atenuación.
- Distorsión.
- Ruido.
- Retardos de transmisión –*delay*–.

Hay canales analógicos y digitales.

En los analógicos el transductor de la fuente es el micrófono del teléfono, mientras que el del sumidero es el altavoz.

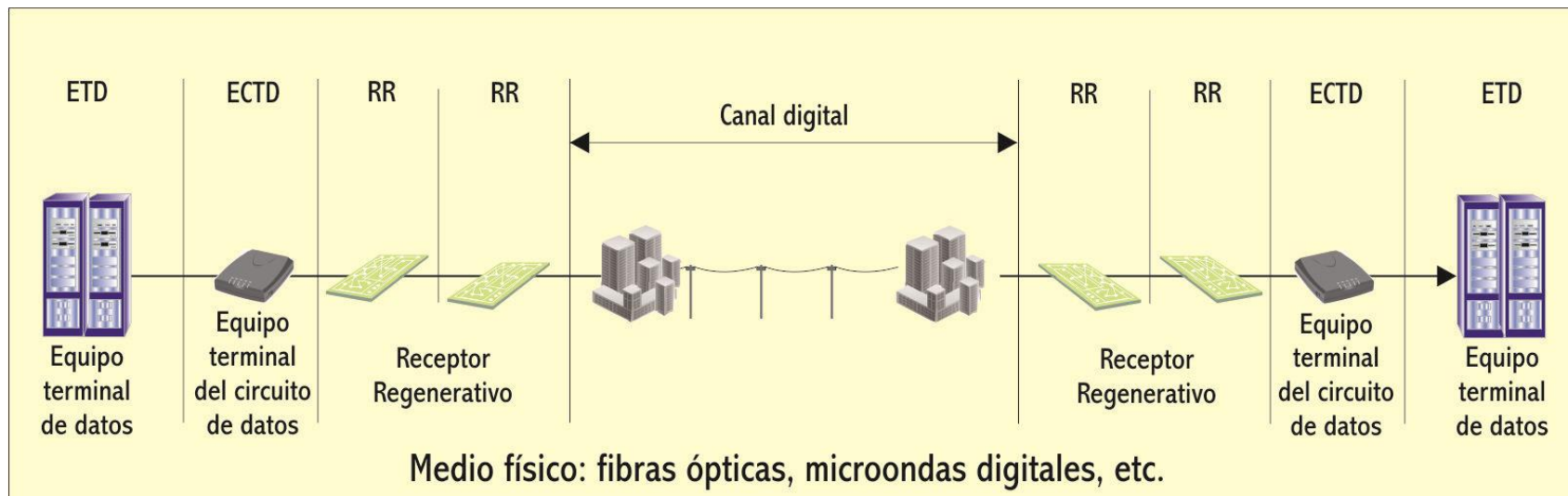


Amplificadores: Las señales que llegan al amplificador están atenuadas respecto de su amplitud original, y las que salen de él tienen un nivel conveniente para que puedan ser detectadas e interpretadas correctamente en el extremo receptor.

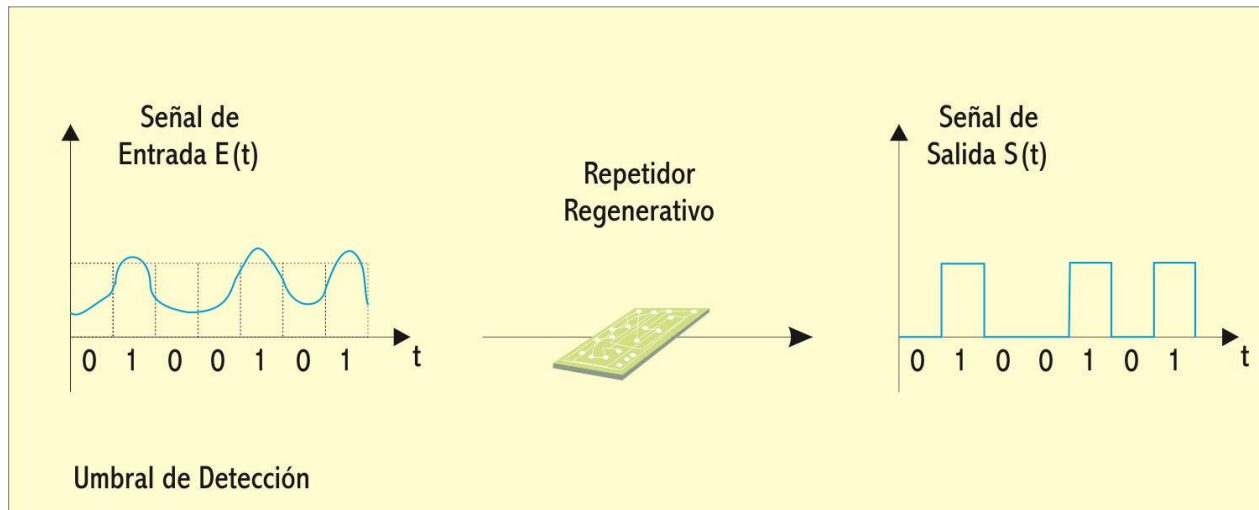


Repetidores regenerativos: para aumentar el alcance cuando se utilicen cables de cobre se deben situar en distancias intermedias.

En el caso de las fibras ópticas monomodo se colocan a distancias importantes, del orden de varios kilómetros.



Las señales que arriban al repetidor se observan distorsionadas y las que salen tienen su forma original, y ninguna señal de ruido.





2.4 Características de las señales utilizadas para la transmisión de señales

2.4.1 Aspectos generales

Las señales inteligentes tiene forma variable, pero sus características pueden estudiarse tomando como referencia:

- la función senoidal armónica simple como ejemplo de una señal típica analógica
- la onda cuadrada como ejemplo de una señal digital.

En ambos casos estas funciones son periódicas.



2.4.1 Aspectos generales

Se dice que una función $f(t)$ es *periódica* cuando se verifica que,

$$f(t) = f(t + T)$$

y

$$\frac{\partial f(t)}{\partial t} = \frac{\partial f(t + T)}{\partial t}$$

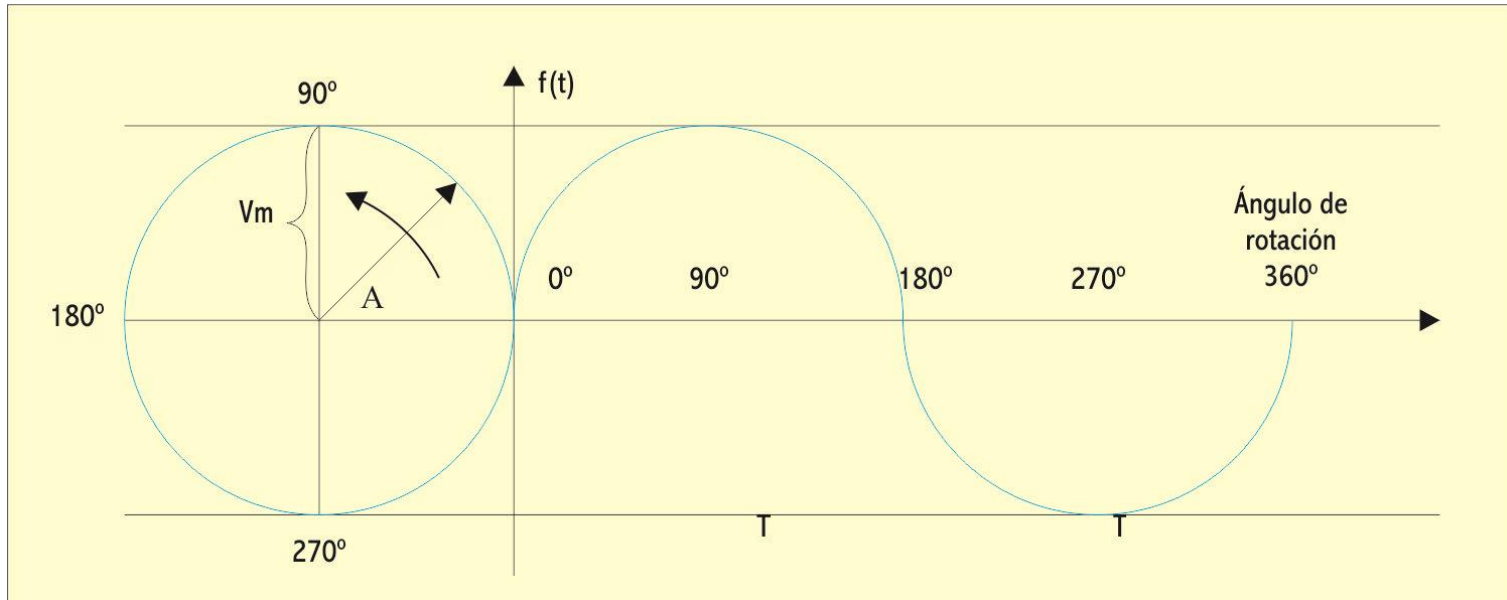
Donde:

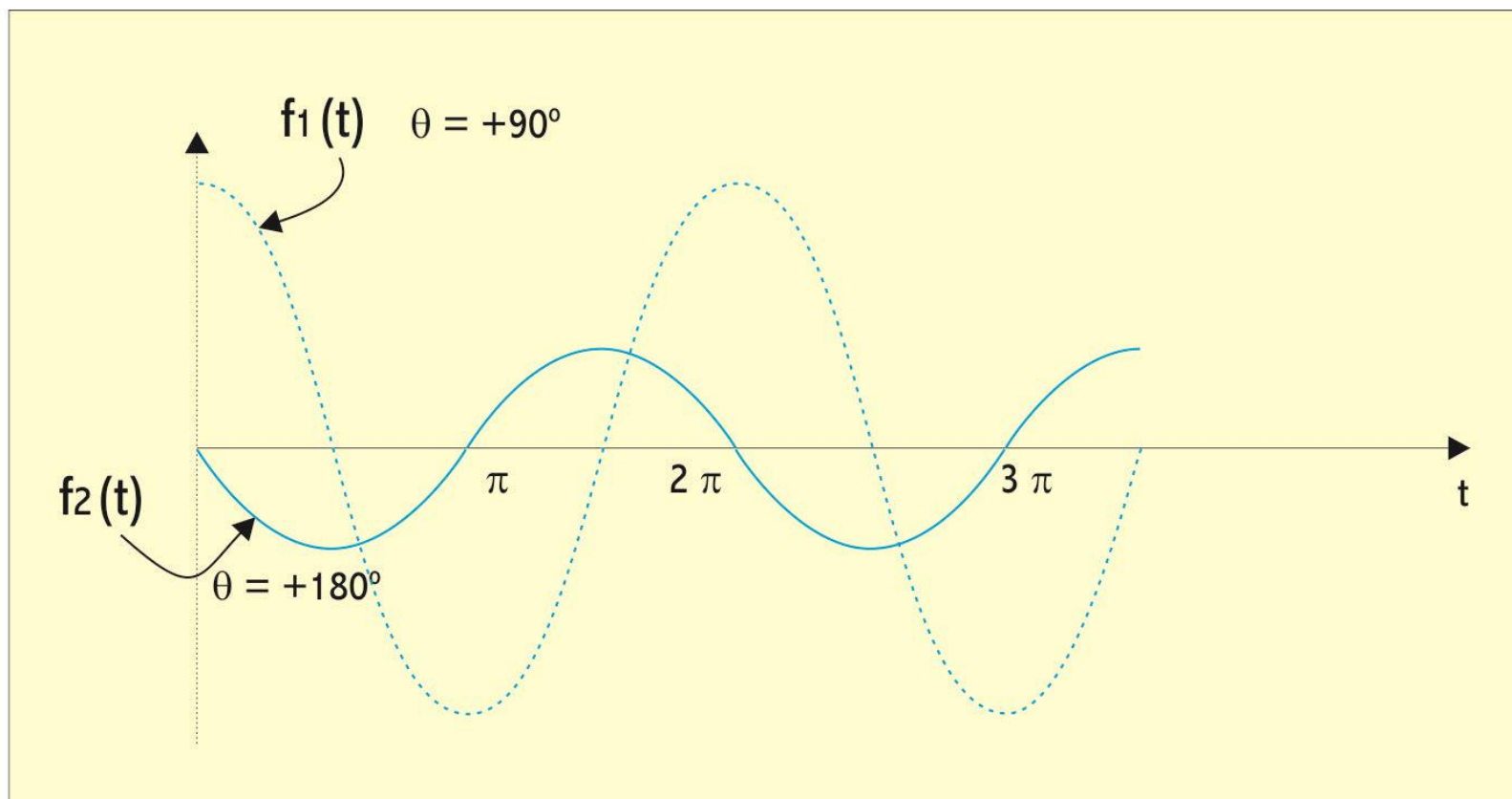
T = *período de la función*.

2.4.2 Función senoidal armónica simple

Expresión general de la forma:

$$f(t) = A \operatorname{sen} (\omega t + \Phi)$$







La velocidad angular del vector ω , se puede definir como:

$$\omega = \frac{\text{ángulo recorrido}}{\text{tiempo}}$$

Para un ángulo recorrido de 2π radianes, se habrá tardado en recorrerlo un tiempo igual al período T.

Entonces:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Luego:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$



Frecuencia: es el número de ciclos completos por segundo.

Es la inversa del período T .

$$T = \frac{1}{f} \text{ (seg)}$$

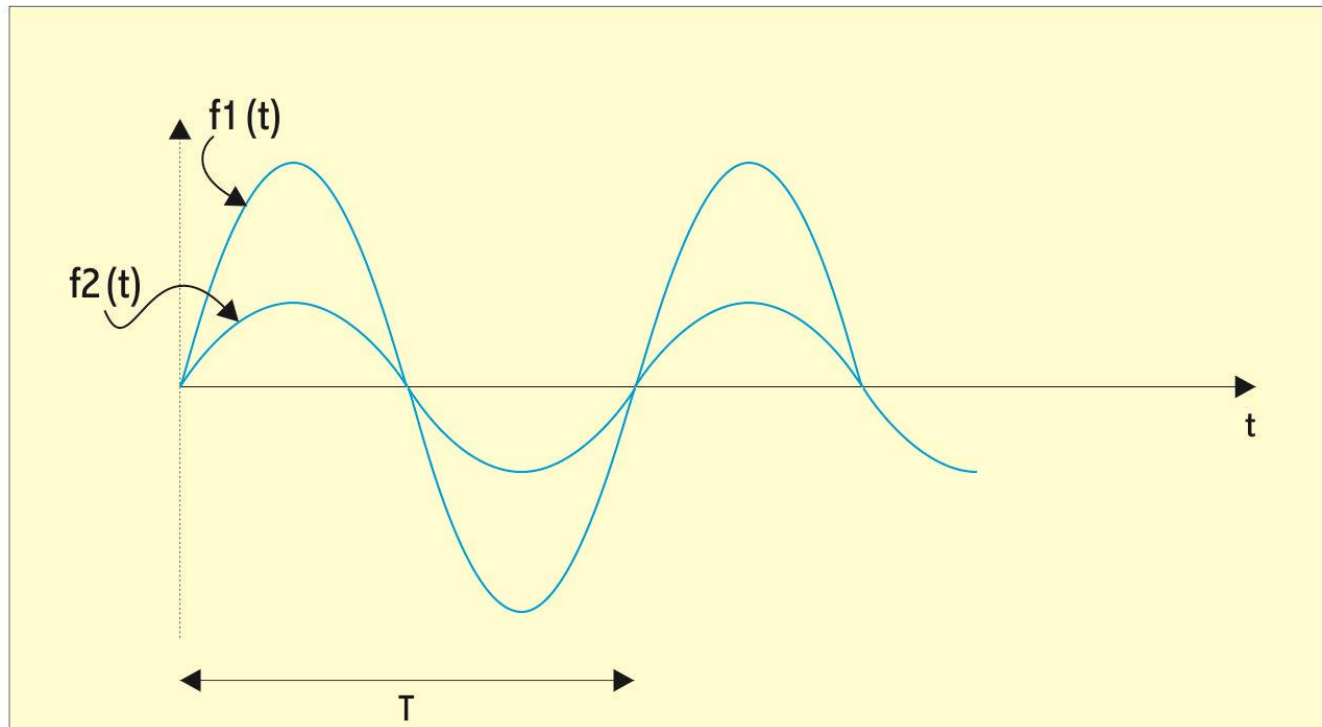
Resultará, operando convenientemente;

$$\omega = 2\pi f$$

El tiempo T se mide en segundos y la frecuencia en Hertz.

$$[\text{Hertz}] = \frac{1}{\text{seg}}$$

Representamos dos funciones de igual frecuencia y fase, pero distintos valores de amplitud, $A1$ y $A2$;





Veamos dos señales sinusoidales de distintas frecuencias pero de igual amplitud y ángulo de fase inicial.

$f_1 = 4 \text{ Hz}$ y una segunda $f_2 = 8 \text{ Hz}$.

Calculemos el período de ambas funciones T_1 y T_2 .

$$T [\text{seg}] = \frac{1}{4\text{Hz}} = 0,25 \text{ seg}$$

$$T [\text{seg}] = \frac{1}{8\text{Hz}} = 0,125 \text{ seg}$$

Observemos el ángulo de la fase inicial en una función senoidal.

En la representación de la función armónica:

$$f(t) = A \text{ sen } (\omega t + \Phi)$$



Dicha función para el instante $t = 0$, resultará $\omega t = 0$,

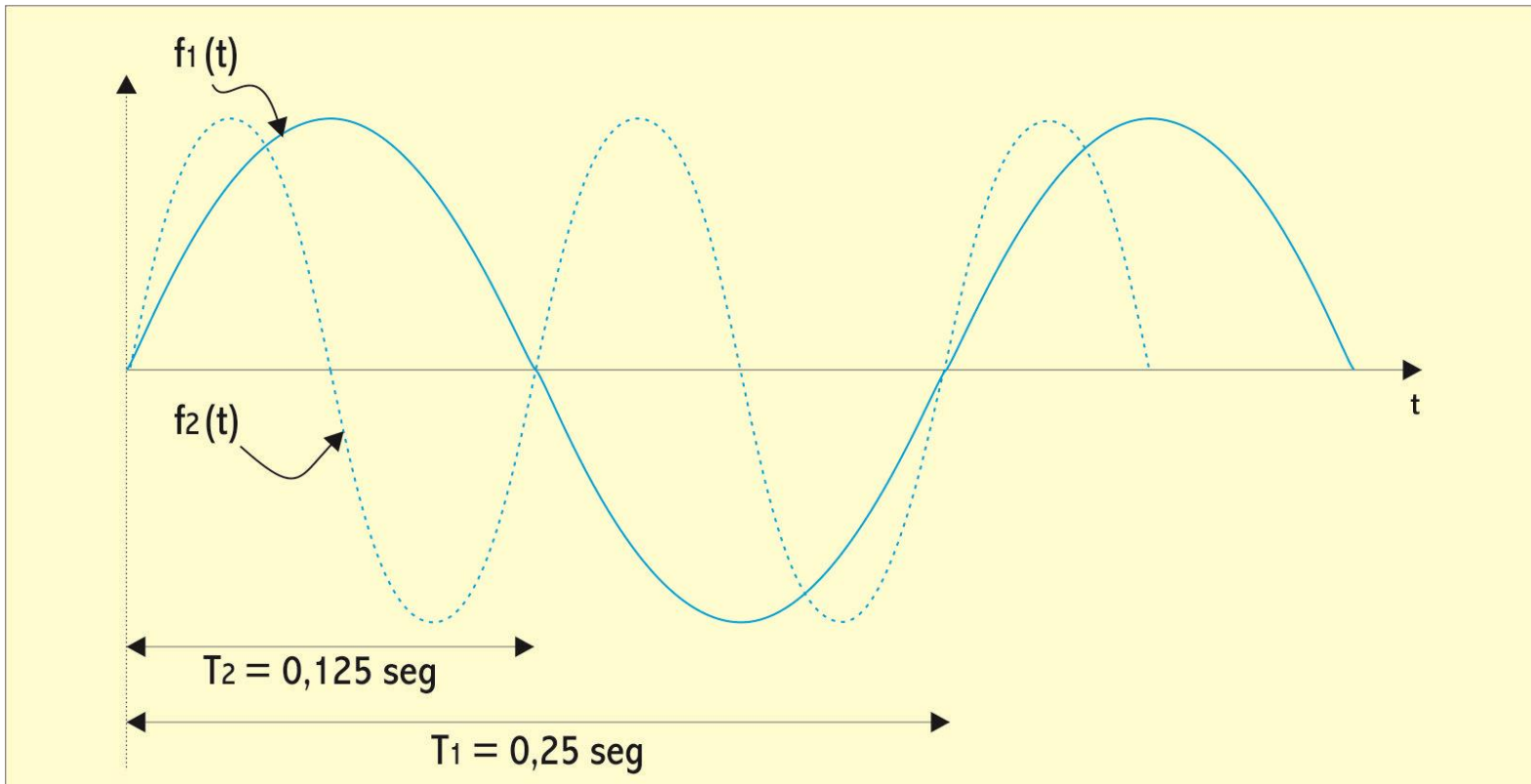
El valor de la función en el instante $t = 0$ dependerá del valor del seno del ángulo ϕ .

si $\phi = 0$ resultará $\sin \phi = 0$, y por lo tanto $f(0) = 0$; y

$$f(0) = A \sin \phi$$

$$\text{Si } \phi = \frac{\pi}{2} \text{ resultará } \sin \frac{\pi}{2} = 1, \text{ y por lo tanto } f \frac{\pi}{2} = A \sin \frac{\pi}{2} = A$$

Funciones senoidales de distinta frecuencia con ángulo de fase igual a cero.





Se representan dos funciones de igual amplitud y frecuencia, pero una con $\varphi = 0$, y otra con $\phi = \frac{\pi}{2}$

Las expresiones de una y otra serán por lo tanto;

$$f(t) = A \operatorname{sen}(\omega t)$$

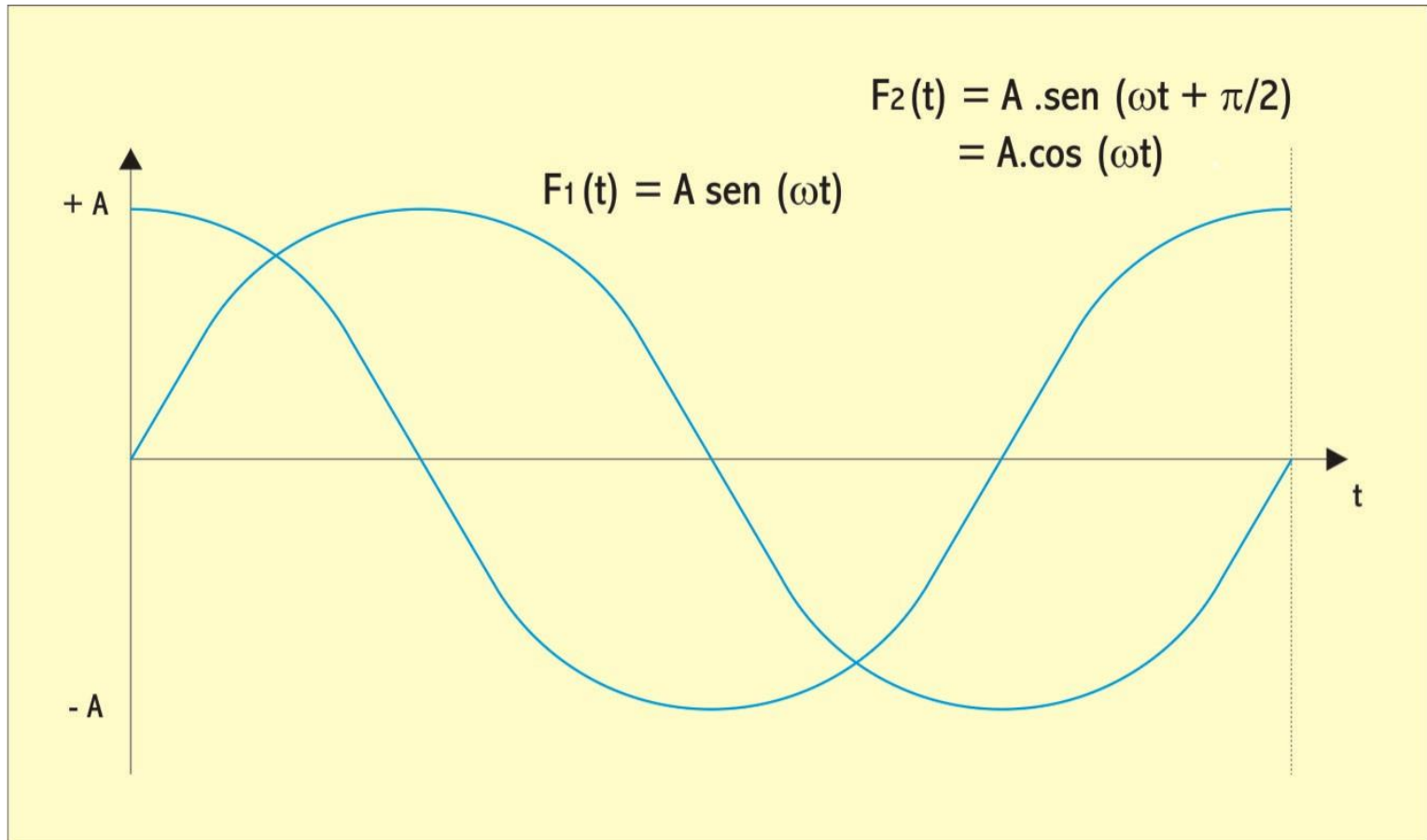
$$f(t) = 1, \text{ para } 0 < t < T/2$$

$$f(t) = A \operatorname{sen} \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Podría también expresarse de la siguiente manera;

$$f(t) = A \cos(\omega t)$$

Funciones senoidales de ángulos de fase igual a cero e igual a $\pi/2$





2.4.3 Función onda cuadrada

Generada por equipos generadores de pulsos, que se basan en las técnicas de la electrónica digital.

Se representa gráficamente una señal periódica onda cuadrada o rectangular.

Se define matemáticamente a través de las siguientes expresiones:

$$f(t) = A, \text{ para } 0 < t < \frac{T}{2}$$

y,

$$f(t) = -A, \text{ para } \frac{T}{2} < t < T$$

y,

$$f(t) = 0, \text{ para } t = n\frac{T}{2}; \text{ donde } n = 1, 2, \dots, n$$



Los conceptos de amplitud, frecuencia y período tienen el mismo significado que en la función senoidal armónica simple.

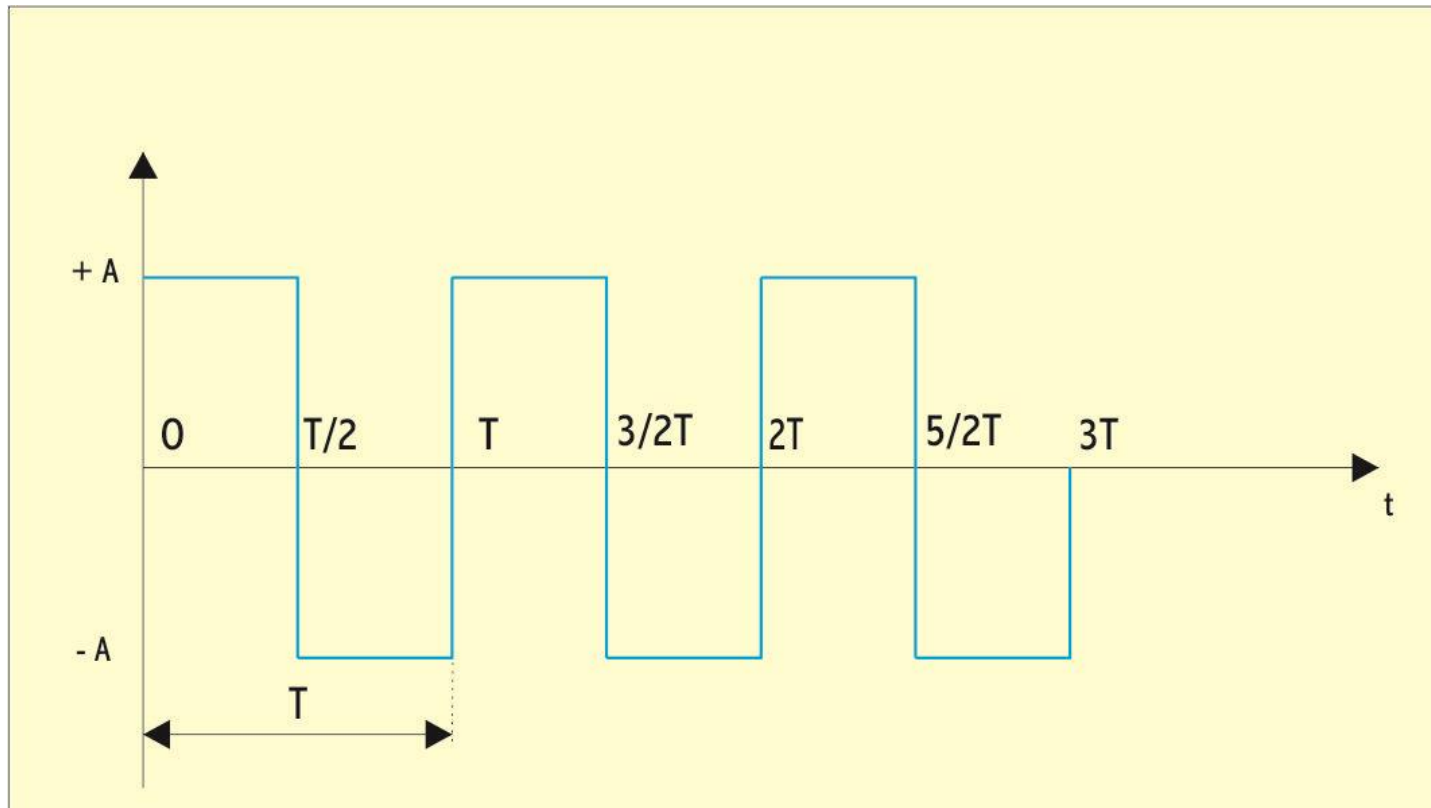
La frecuencia también se denomina frecuencia de repetición de pulsos (FRP):

$$FRP = \frac{1}{T} \text{ (PPS)}$$

donde: PPS es pulsos por segundo.

En el estudio de las señales digitales aparece un parámetro, muy importante, denominado ancho de pulso (τ).

Función onda cuadrada de amplitud A .





2.4.4 Valor eficaz y valor medio de una señal senoidal: factor de forma

Para analizar la tensión o corriente en un circuito eléctrico es importante conocer el valor eficaz de las mismas, a efectos de poder calcular, por ejemplo, la potencia eléctrica y otros parámetros del circuito.

Se define como valor eficaz de la función $f(t)$:

$$Y_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt}$$



Se define como valor medio de la función $f(t)$:

$$Y_m = \int f(t) dt / T$$

El factor de forma es la relación entre valores eficaz y medio:

$$FF = Y_e / Y_m$$



2.4.5 Representación de señales armónicas mediante la serie de Fourier

2.4.5.1 *Conceptos generales*

La relación entre las distintas funciones periódicas es mucho más amplia que la que existe con el factor de forma de la función onda cuadrada.

La serie de Fourier permite llevar a cabo este análisis.

Toda función periódica que cumpla con las denominadas condiciones de **Dirichlet** admite su desarrollo en **serie de Fourier**.



2.4.5.2 *Condiciones de Dirichlet*

Son necesarias y suficientes para que una función $f(t)$ pueda ser desarrollada en serie de Fourier:

- La función $f(t)$ debe ser periódica, de período T .
- La función $f(t)$ debe ser definida y univalente, salvo un número finito de puntos, en el intervalo de integración.
- La función $f(t)$ y su derivada $f'(t)$ deben ser seccionalmente continuas en el intervalo de integración (o continuas por secciones).



2.4.5.3 Desarrollo de la serie y cálculo de los coeficientes.

Toda función que cumpla con las condiciones de Dirichlet admite ser re presentada por una serie de la forma:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \cos(n\omega t) + b_n \text{sen}(n\omega t)$$

Donde: $\omega = \frac{2\pi}{T}$ siendo T el período de la función f(t).



Los coeficientes de la serie se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \cos(n\omega t) dt ; \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots, n, \dots$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \text{sen}(n\omega t) dt ; \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots, n, \dots$$



2.4.5.4 *Expresión compleja de la serie de Fourier*

Para analizar una señal en el dominio de la frecuencia es conveniente recurrir a la llamada expresión compleja del desarrollo en serie de Fourier.

En efecto, es posible desarrollar una función que cumple las condiciones de Dirichlet mediante una expresión del siguiente tipo:

$$f(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} C_n e^{in\omega t}$$

$$C_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} f(t) e^{-in\omega t} dt$$



2.4.5.5 Espectro de amplitud y de fase de una función periódica

En los sistemas de comunicaciones es necesario conocer el comportamiento de las funciones periódicas, no como funciones del tiempo sino de la frecuencia.

Para ello, definiremos como amplitud del espectro a la expresión

$$|C_n| = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

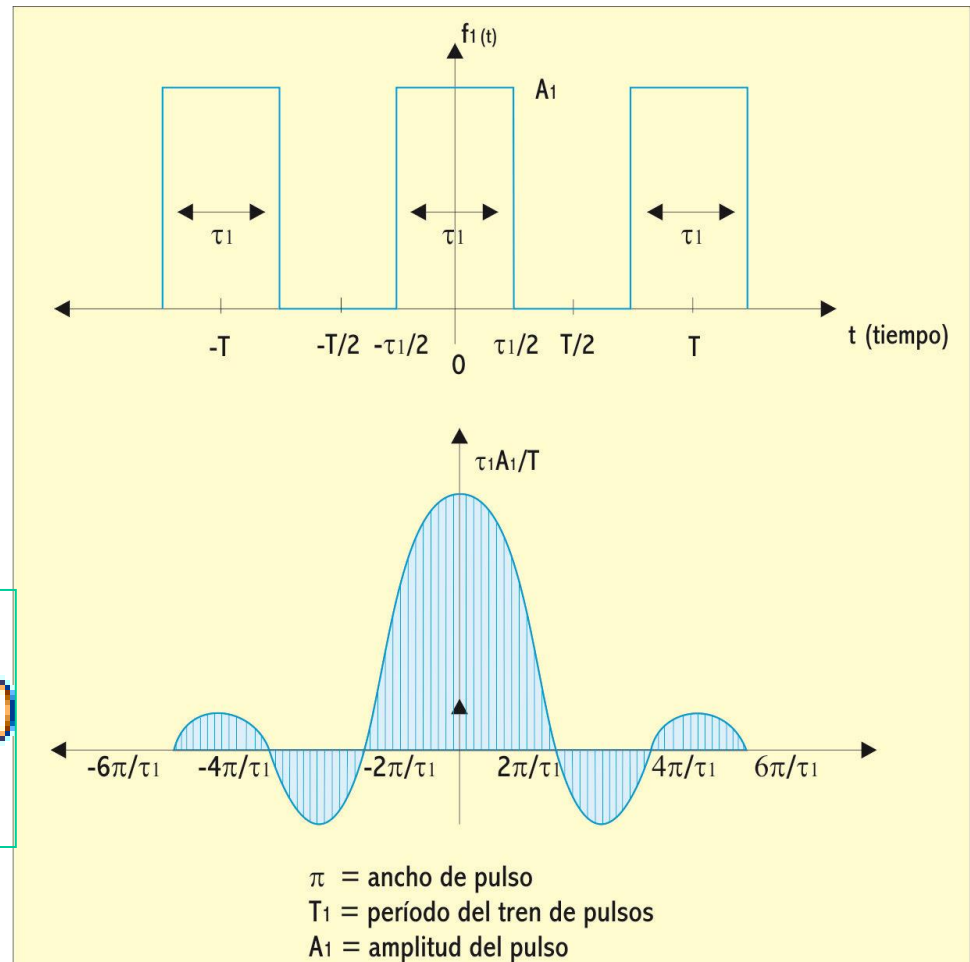
y fase del espectro a la expresión.

$$\Phi_n = \arctan \frac{b_n}{a_n}$$

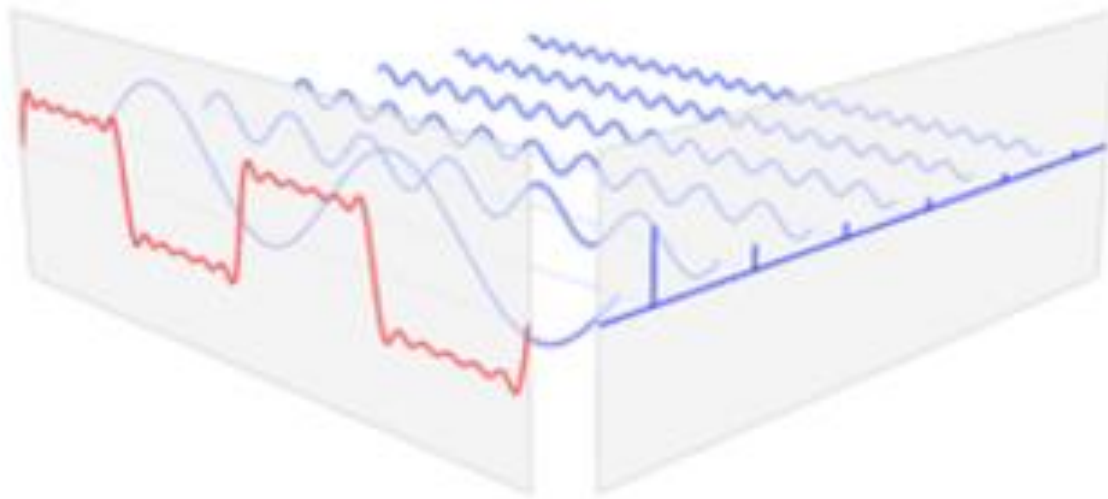
$$C_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} f(t) e^{-in\omega t} dt$$



$$[C_n] = A * \frac{\tau}{T} * \left(\sin \left(\frac{n\omega\tau}{2} \right) \right)$$



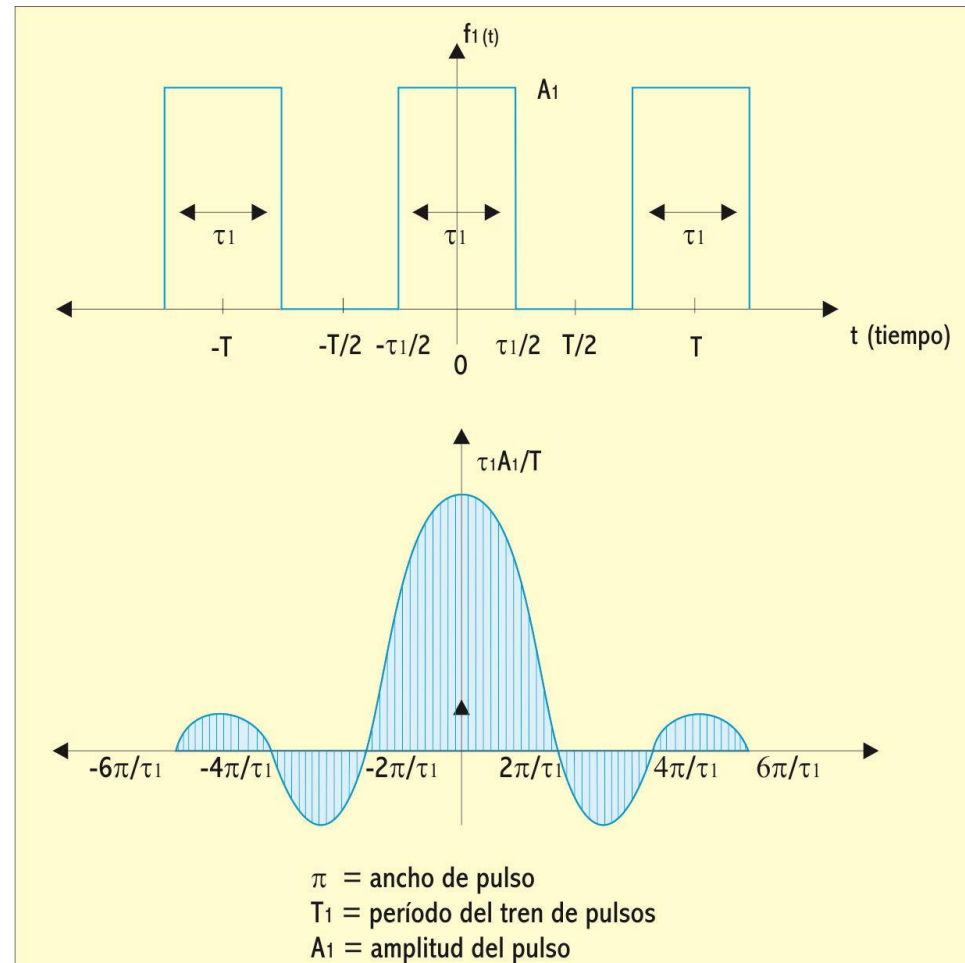
Fourier Signal Series



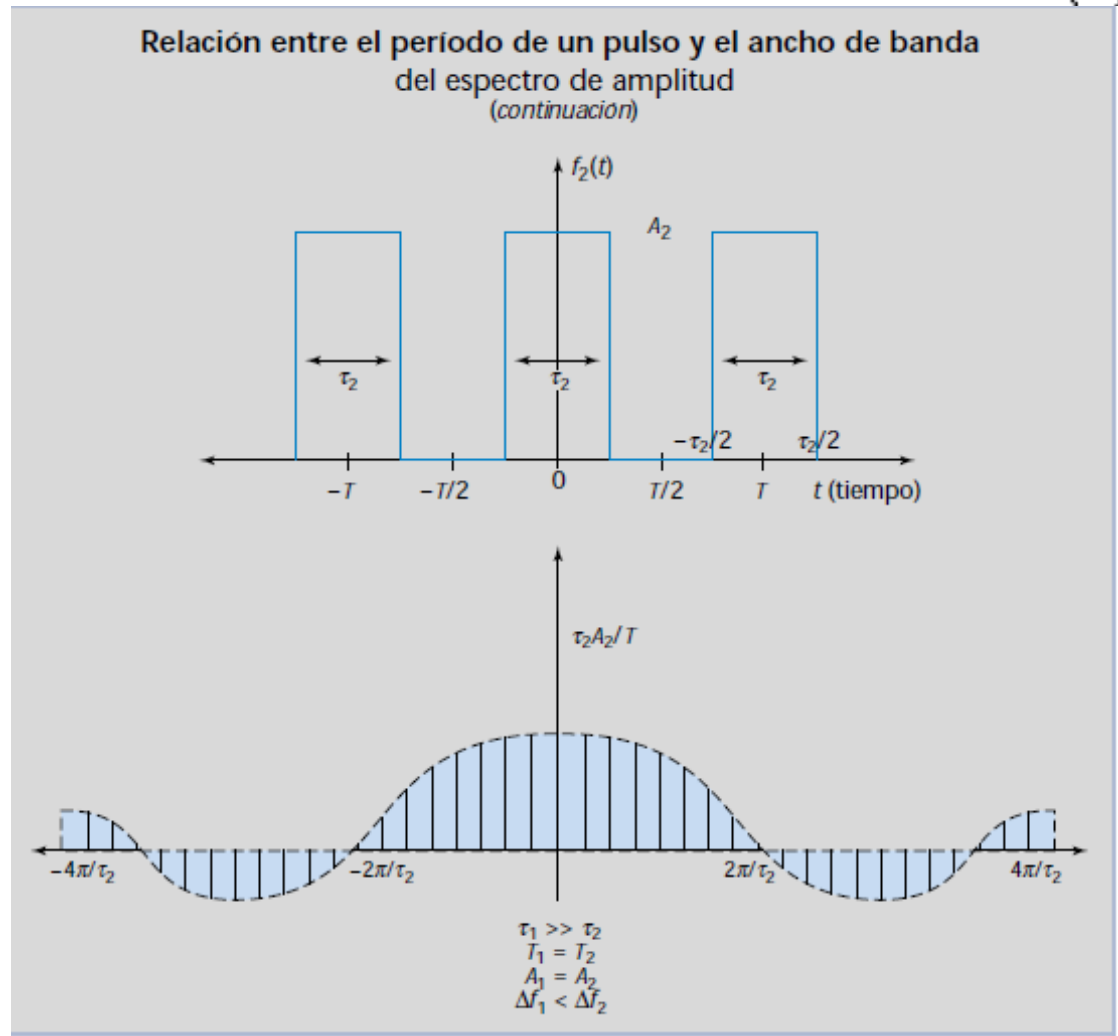
2.4.5.6 Análisis del espectro de amplitud de la señal

Separación entre componentes discretas del espectro: $2\pi/T$

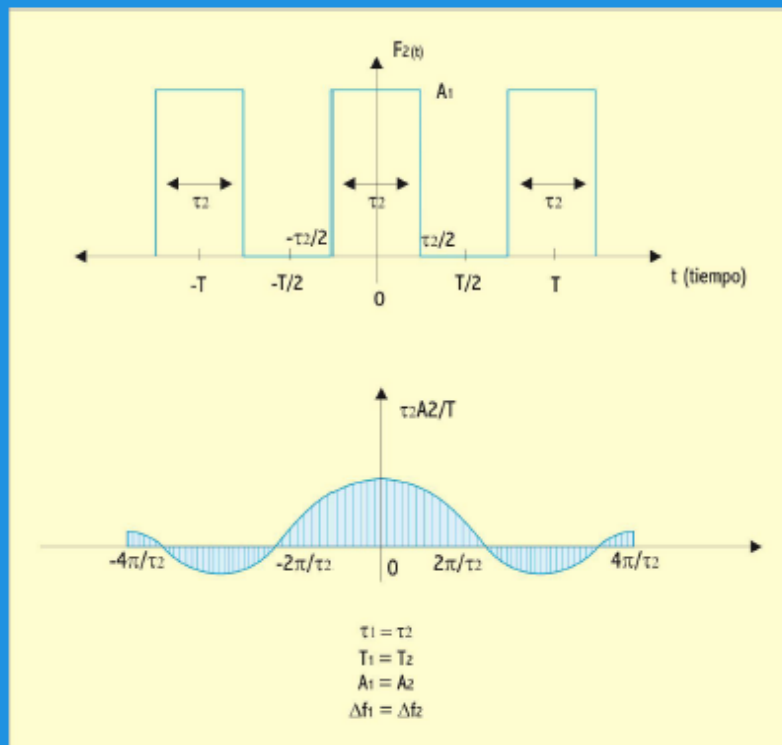
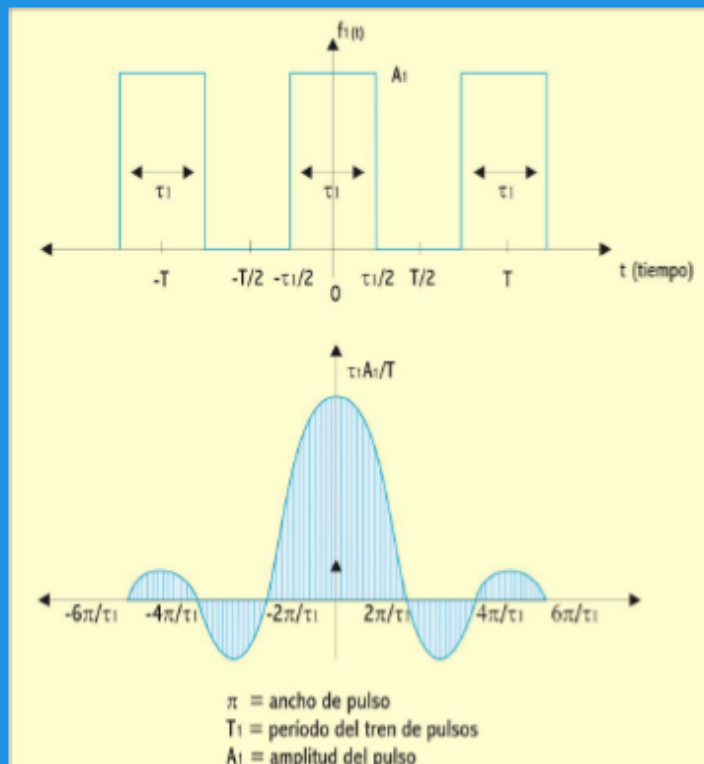
Envolvente de máximos es del tipo $\text{sen}(x)/x$, donde $x = n\omega\tau/2$



Relación entre el período de pulso y el espectro de amplitud.



TREN DE PULSOS RECTANGULARES



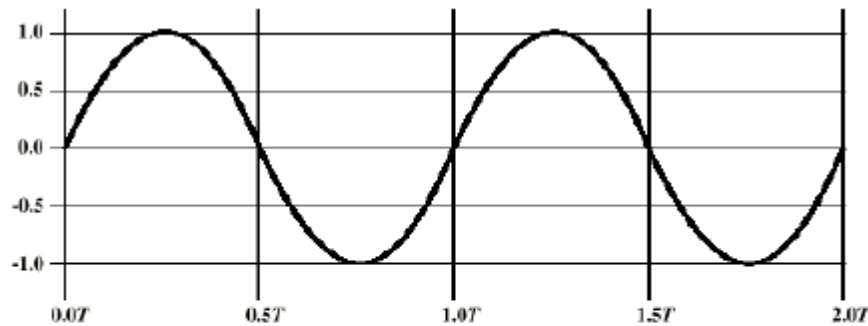
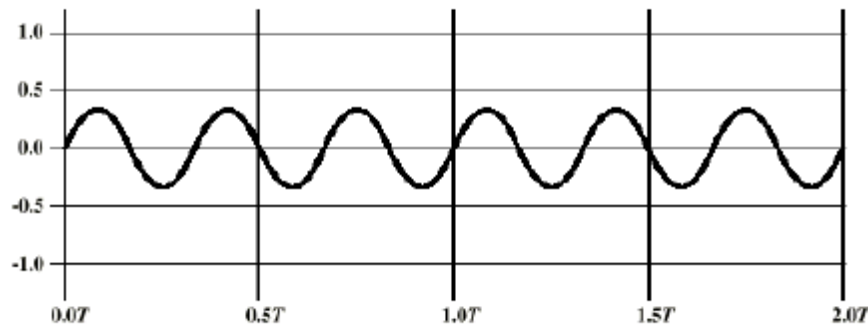
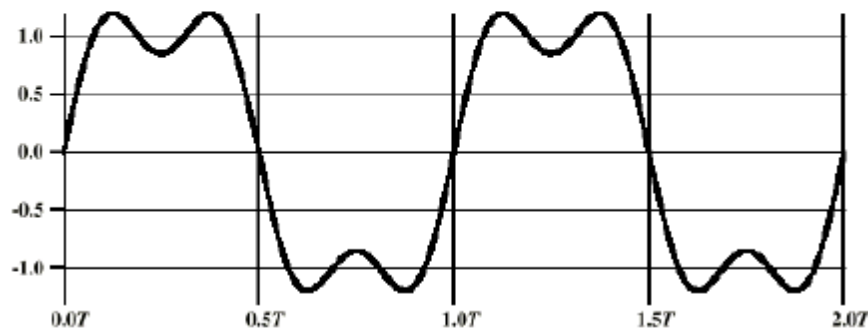
**RELACIÓN ENTRE ANCHO DE PULSO
Y ESPECTRO DE AMPLITUD**

LÍNEAS ESPECTRALES SEGÚN PERÍODO (T)

PUNTOS DE CORTE (AMPLITUD "0") SEGÚN ANCHO DE PULSO

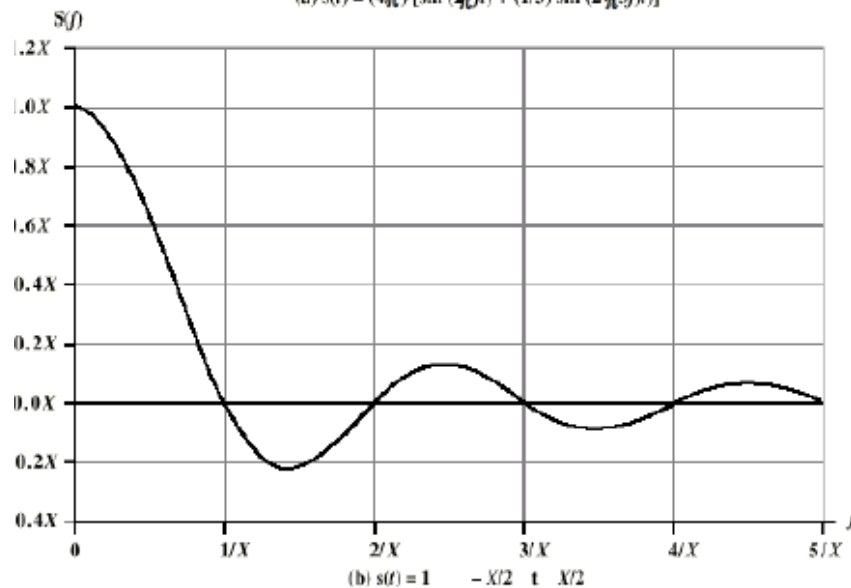
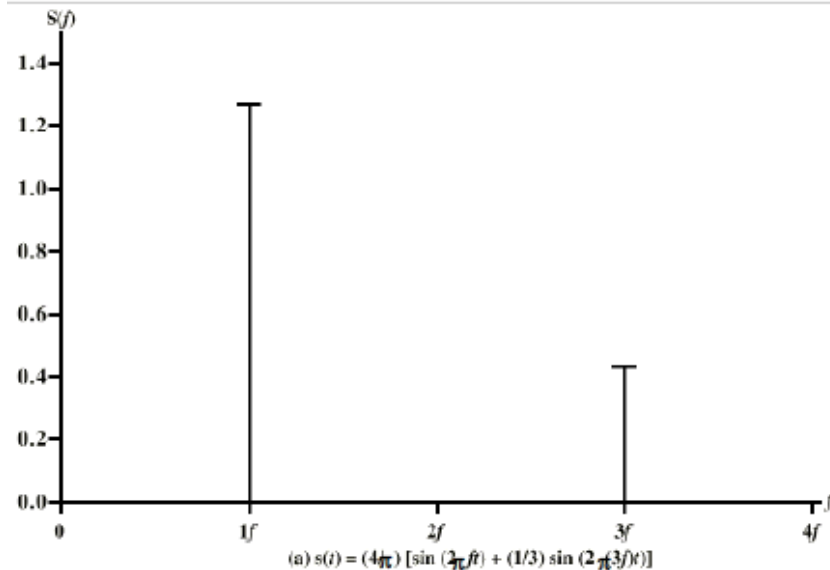
$$(A \tau / T) * (\text{sen } x / x)$$

$$x = (n \omega \tau) / 2$$

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

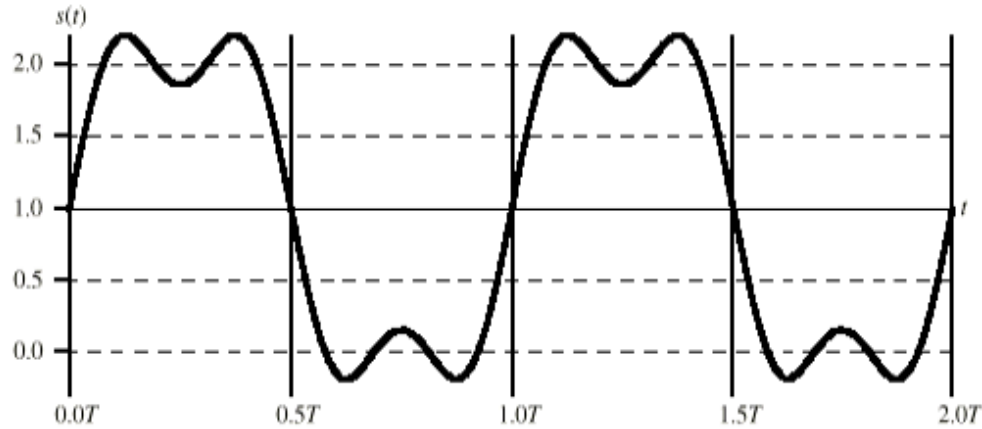
ONDA CUADRADA

SUMA DE DOS COMPONENTES EN FRECUENCIA

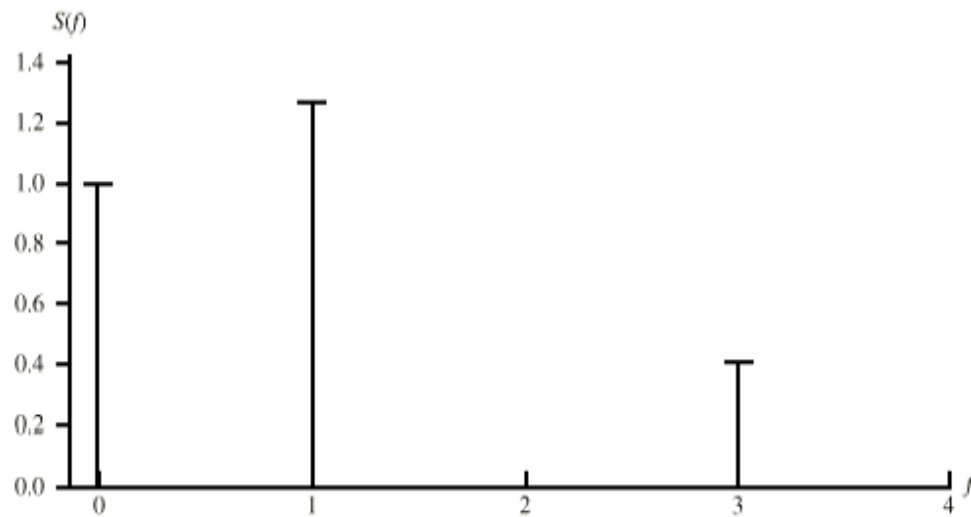


- ONDA CUADRADA
APROXIMADA CON
DOS COMPONENTES
DE FRECUENCIA
- PERIÓDICA
- ESPECTRO DISCRETO

- UN PULSO CUADRADO
- NO PERIÓDICA
- ESPECTRO CONTINUO



$$(a) s(t) = 1 + (4/\pi) [\sin(2\pi f t) + (1/3) \sin(2\pi (3f) t)]$$

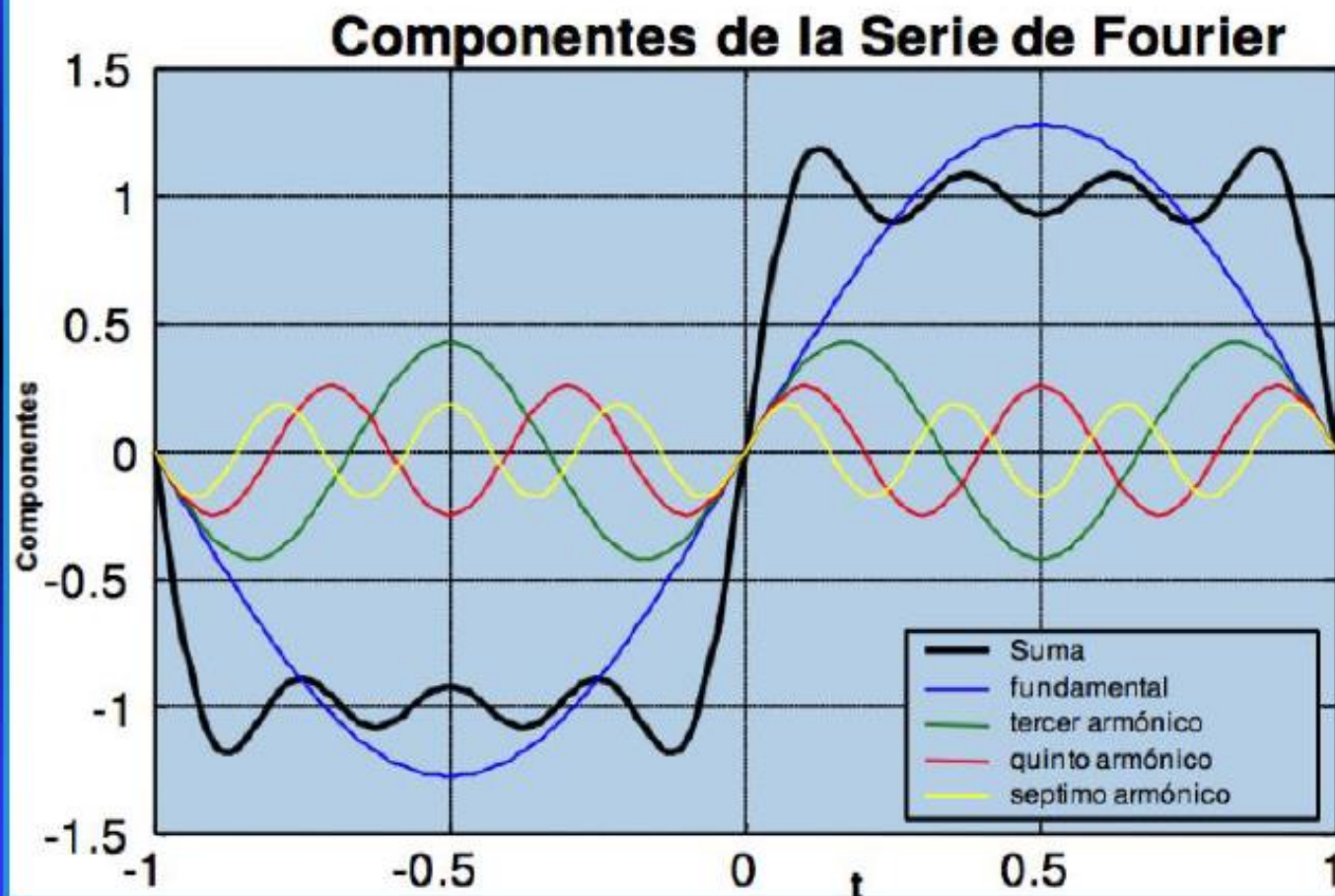


(b) $S(f)$

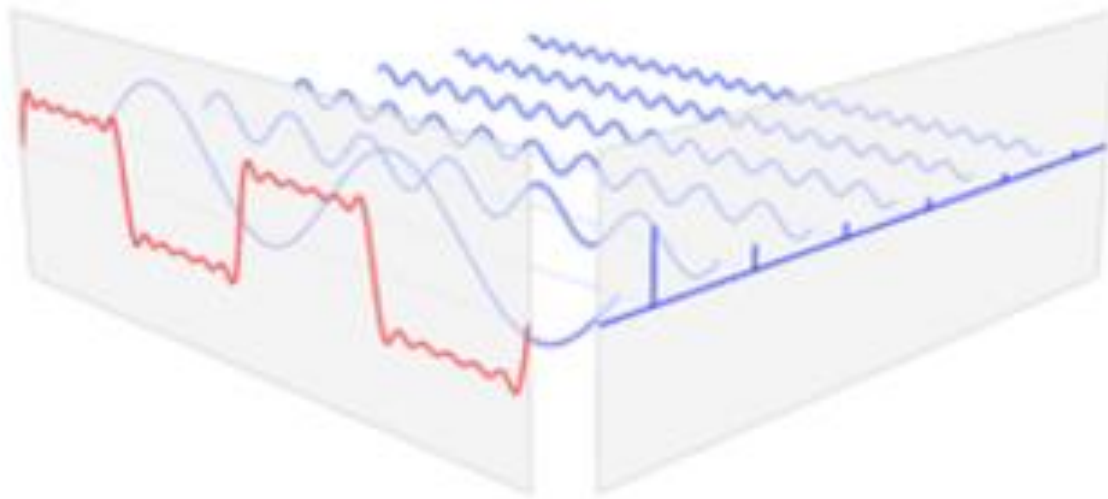
ONDA CUADRADA

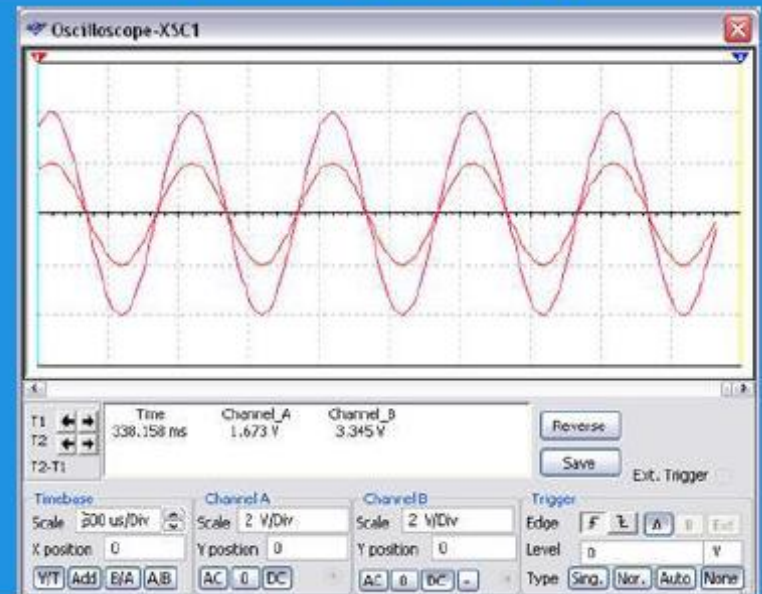
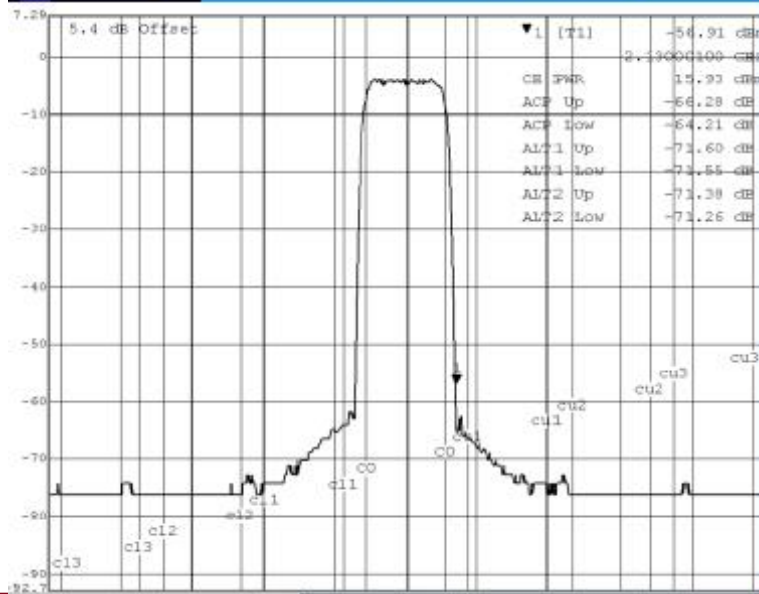
AGREGANDO
COMPONENTE
CONTINUA

ONDA CUADRADA



Fourier Signal Series







2.4.5.7 Concepto inicial de ancho de banda

Es el intervalo de frecuencias $\Delta f = f_2 - f_1$, en el cual se concentra la mayor parte de su energía.

Existe una relación inversa entre el ancho de un pulso τ y el ancho de banda Δf cubierto por el espectro de frecuencia.

La mayor parte de la energía estará concentrada entre las frecuencias tal que,

$$0 < f < \frac{1}{\tau}$$



El primer valor para el cual C_n se anula puede considerarse como una medida aproximada del ancho de banda:

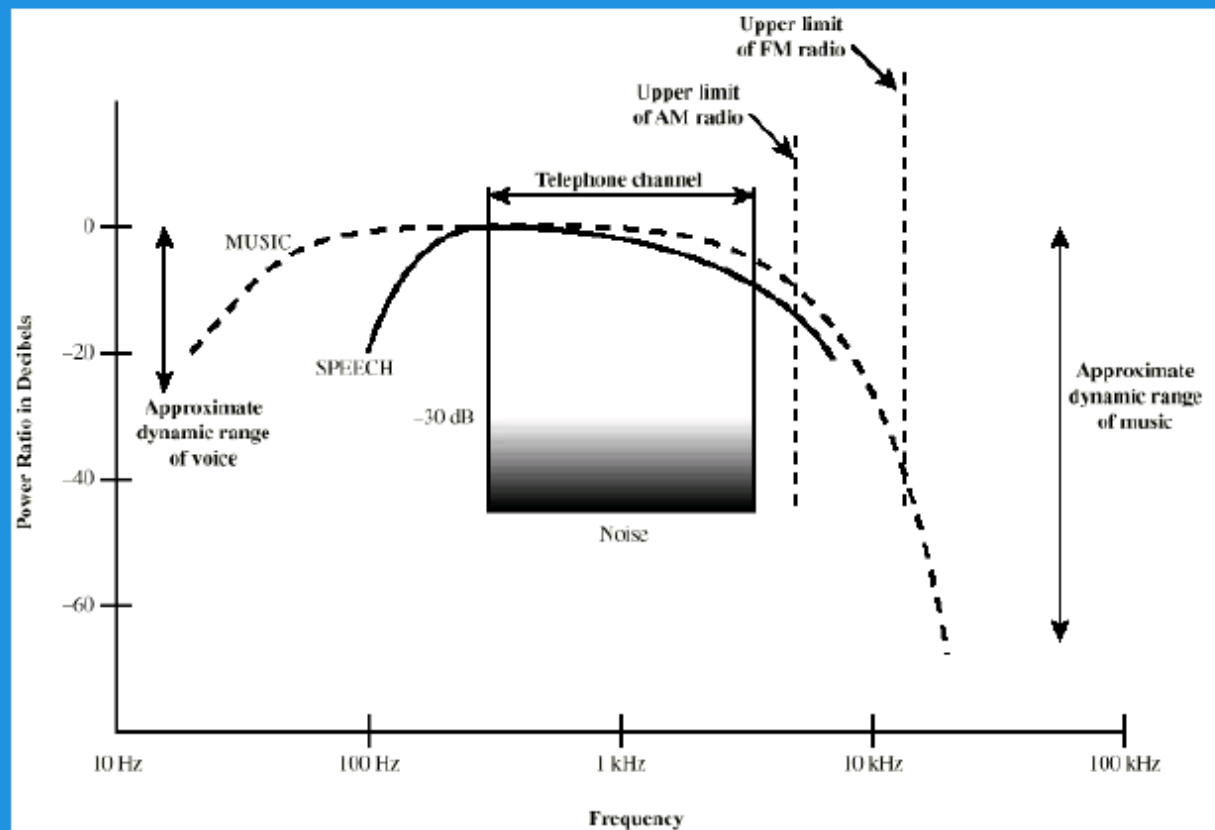
- es necesario para contener la mayor parte de la energía de la señal
- servirá para diseñar el sistema de comunicaciones

Este valor resulta igual a

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau}$$

ANCHO DE BANDA

ES LA PARTE DEL ESPECTRO (INTERVALO DE FRECUENCIAS) DONDE SE CONCENTRA LA MAYOR CANTIDAD DE ENERGÍA DE LA SEÑAL.



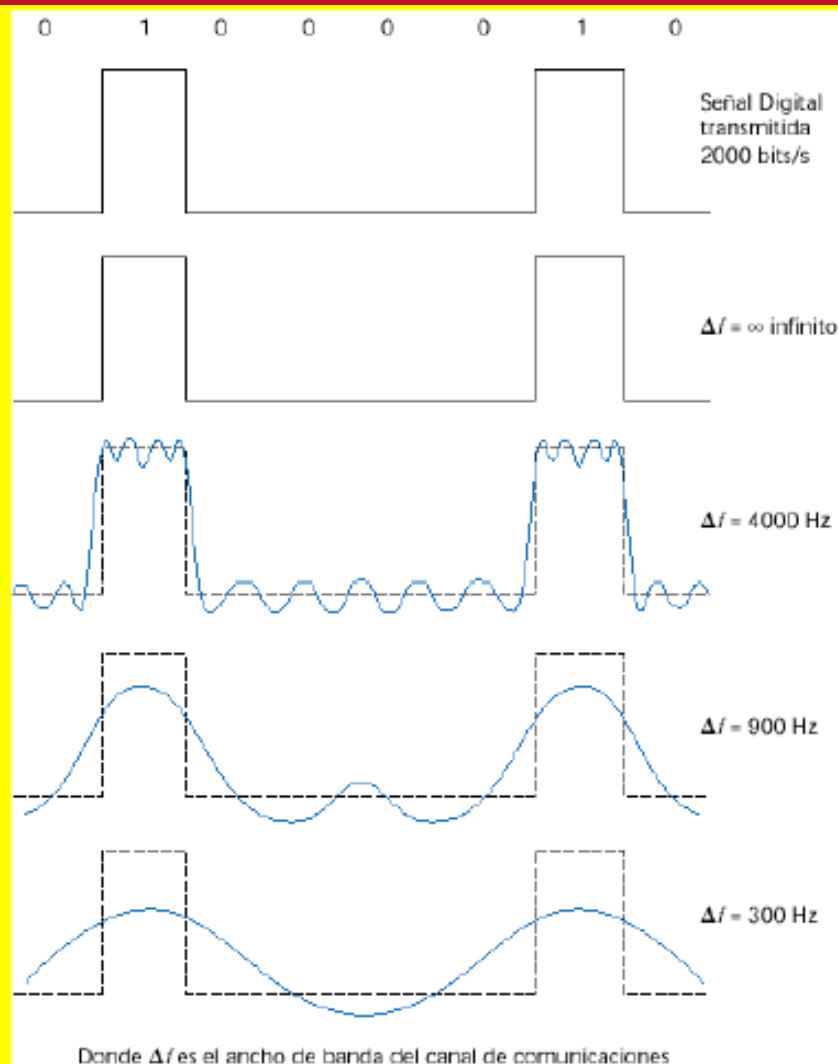


FIGURA 2.36 EFECTO DEL ANCHO DE BANDA EN UN CANAL DE COMUNICACIONES SOBRE UNA SEÑAL DIGITAL PERIÓDICA QUE SE TRANSMITE A TRAVÉS DEL MISMO.



MEDIDAS DE LA VELOCIDAD

VELOCIDAD DE MODULACIÓN Línea de Tx

$$V_m = 1 / \tau \quad \tau \text{ (menor duración del pulso)}$$

Se mide en **BAUDIO** (1/seg)

$$AB = 1 / \tau$$

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN (BINARIA) Circuito de datos CD

$$V_{tx} = \text{cant bits} / \text{unidad de tiempo}$$

Se mide en **bps** (bits/seg)

RELACIÓN ENTRE VELOCIDADES

$$V_{tx} = V_m \log_2 n \quad n \text{ es el número de estados}$$

Ej: Transmisión Multinivel



MEDIDAS DE LA VELOCIDAD

VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE DATOS (THROUGHPUT) Enlace de datos ED

$V_{td} = \text{cant bits con info} / \text{unidad de tiempo}$

Se mide en **bps** (bits/seg o Byte/seg)

VELOCIDAD REAL DE TRANSFERENCIA DE DATOS ED

$V_{rtd} = \text{cant bits con info sin errores} / \text{unidad de tiempo}$

Se mide en **bps** (bits/seg o Byte/seg)

RELACIÓN ENTRE VELOCIDADES

$V_{tx} > V_{td} > V_{rtd}$

Eficiencia de un sistema de comunicaciones

ANCHO DE BANDA

ES LA DIMENSIÓN DE LAS COMUNICACIONES

RELACIÓN ENTRE AB Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

$$AB \Rightarrow V_m \quad V_{tx} = V_m \log_2 n$$

n DEPENDE DE LA CODIFICACIÓN Y DE LA MODULACIÓN

MAYORES AB, MAYORES \$\$\$
MAYOR VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN