

# SEÑALES Y ESPECTROS

- INTRODUCCIÓN.
- TERMINOLOGÍA USADA EN TRANSMISIÓN DE DATOS.
- FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA.
- DESARROLLO EN SERIE DE FOURIER PARA SEÑALES PERIÓDICAS.
- TRANSFORMADA DE FOURIER PARA SEÑALES NO PERIÓDICAS.
- DENSIDAD DE POTENCIA ESPECTRAL Y ANCHO DE BANDA.

# INTRODUCCIÓN

# INTRODUCCIÓN

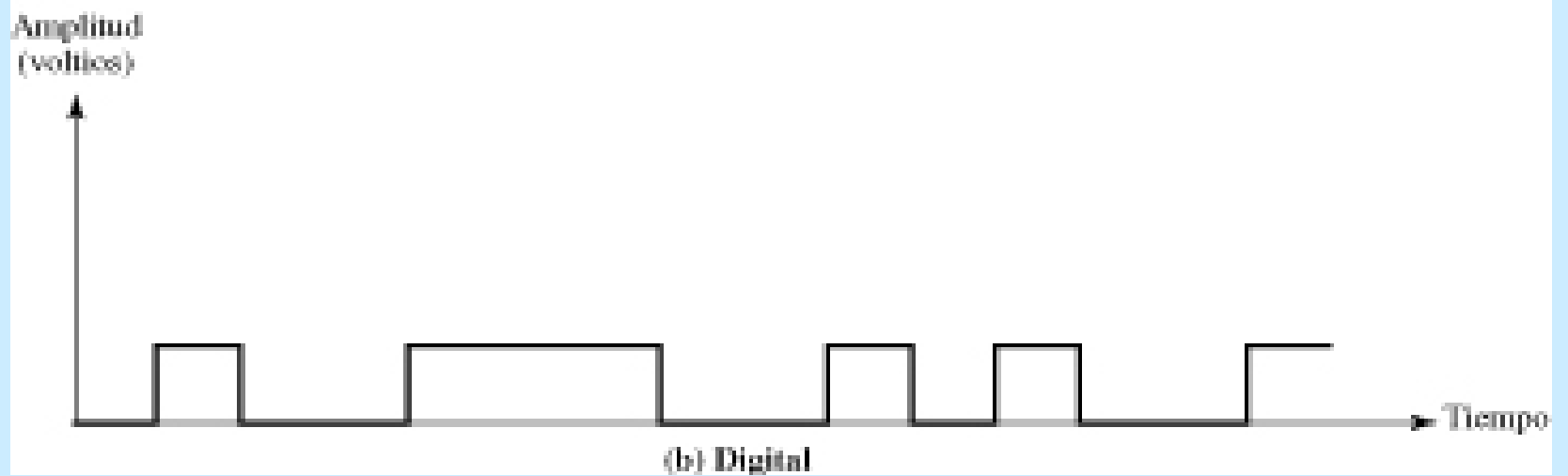
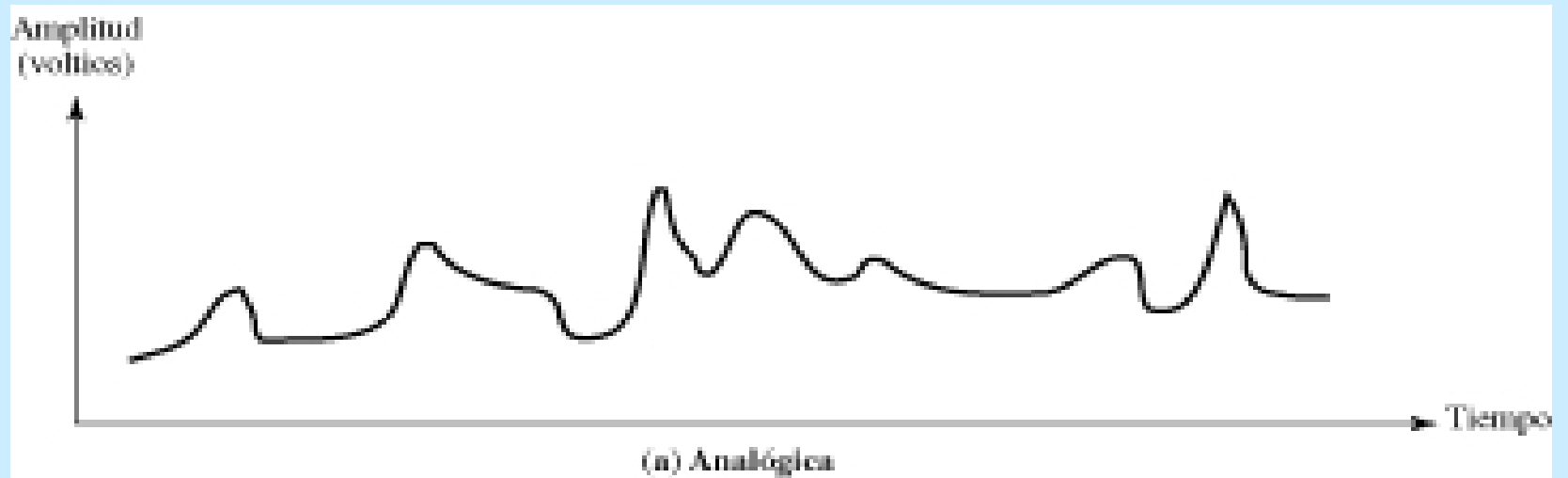
- LOS DIFERENTES TIPOS DE *INFORMACIÓN* (VOZ, DATOS, IMÁGENES, VIDEOS) SE PUEDEN *REPRESENTAR* MEDIANTE *SEÑALES ELECTROMAGNÉTICAS*.
- CUALQUIER *SEÑAL ELECTROMAGNÉTICA* (*ANALÓGICA* O *DIGITAL*) ESTÁ FORMADA POR UNA *SERIE DE FRECUENCIAS CONSTITUYENTES*.
- UN *PARÁMETRO* FUNDAMENTAL PARA *CARACTERIZAR UNA SEÑAL* ES EL *ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL*:
  - ◆ *RANGO DE FRECUENCIAS CONTENIDAS EN LA SEÑAL*.
  - ◆ GENERALMENTE: A *MAYOR ANCHO DE BANDA* *MAYOR CAPACIDAD* DE TRANSPORTAR INFORMACIÓN.
- LAS *LÍNEAS DE TRANSMISIÓN* PUEDEN TENER *DIFICULTADES O DEFECTOS* QUE AFECTAN A LAS *SEÑALES ANALÓGICAS O DIGITALES* USADAS EN LA TRANSMISIÓN.

# INTRODUCCIÓN

- EL ÉXITO DE LA *TRANSMISIÓN DE DATOS* DEPENDE FUNDAMENTALMENTE DE:
  - ◆ LA *CALIDAD DE LA SEÑAL* QUE SE TRANSMITE.
  - ◆ LAS *CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO* DE TRANSMISIÓN.

# INTRODUCCIÓN

## ■ *SEÑAL ANALÓGICA Y SEÑAL DIGITAL:*



# TERMINOLOGÍA USADA EN TRANSMISIÓN DE DATOS

# TERMINOLOGÍA USADA EN TRANSMISIÓN DE DATOS

- LA TRANSMISIÓN SIEMPRE SE EFECTÚA A TRAVÉS DE UN *MEDIO DE TRANSMISIÓN*.
- LA *COMUNICACIÓN* SE REALIZA CON *ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS*.
- LOS *MEDIOS* SE PUEDEN CLASIFICAR EN:
  - ◆ *MEDIOS GUIADOS*:
    - ☞ PARES TRENZADOS, CABLES COAXIALES, FIBRAS ÓPTICAS.
    - ☞ LAS ONDAS SE CONFINAN EN UN CAMINO FÍSICO.
  - ◆ *MEDIOS NO GUIADOS O INALÁMBRICOS*:
    - ☞ PROPAGACIÓN A TRAVÉS DEL AIRE, EL MAR O EL VACÍO.
    - ☞ LAS ONDAS NO SON ENCAUZADAS.
- *ENLACE DIRECTO*: CAMINO DE TRANSMISIÓN ENTRE DOS DISPOSITIVOS EN EL QUE LA SEÑAL SE PROPAGA DIRECTAMENTE DEL EMISOR AL RECEPTOR SIN DISPOSITIVOS INTERMEDIOS EXCEPTO UN AMPLIFICADOR O REPETIDOR.

# TERMINOLOGÍA USADA EN TRANSMISIÓN DE DATOS

- *MEDIO DE TRANSMISIÓN GUIADO PUNTO A PUNTO*: PROPORCIONA UN ENLACE DIRECTO ENTRE LOS DOS ÚNICOS DISPOSITIVOS QUE COMPARTEN EL MEDIO.
- *MEDIO GUIADO MULTIPUNTO*: EL MEDIO ES COMPARTIDO POR MÁS DE DOS DISPOSITIVOS.
- UN *MEDIO DE TRANSMISIÓN* PUEDE SER:
  - ◆ TERMINOLOGÍA *ANSI* (EE. UU.):
    - ☞ *SIMPLEX*: HAY UN EMISOR Y UN RECEPTOR.
    - ☞ *HALF-DUPLEX*: AMBAS ESTACIONES PUEDEN TRANSMITIR Y RECIBIR, PERO NO SIMULTÁNEAMENTE.
    - ☞ *FULL-DUPLEX*: AMBAS ESTACIONES PUEDEN TRANSMITIR Y RECIBIR, SIMULTÁNEAMENTE.
  - ◆ TERMINOLOGÍA *UIT-T* (EUROPA):
    - ☞ *SIMPLEX* CORRESPONDE A *HALF-DUPLEX* Y *DUPLEX* CORRESPONDE A *FULL-DUPLEX*.



# **FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA**

# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

- **CONCEPTOS EN EL DOMINIO TEMPORAL**
- EN *FUNCIÓN DEL TIEMPO*, LA *SEÑAL ELECTROMAGNÉTICA* PUEDE SER:
  - ◆ *CONTINUA O ANALÓGICA*: LA INTENSIDAD DE LA SEÑAL VARÍA SUAVEMENTE EN EL TIEMPO; NO HAY SALTOS O DISCONTINUIDADES.
  - ◆ *DISCRETA O DIGITAL*: LA INTENSIDAD SE MANTIENE CONSTANTE DURANTE UN DETERMINADO INTERVALO DE TIEMPO, TRAS EL CUAL LA SEÑAL CAMBIA A OTRO VALOR CONSTANTE.
- LAS SEÑALES *PERIÓDICAS* POSEEN UN PATRÓN QUE SE REPITE A LO LARGO DEL *TIEMPO*:
  - ◆ EJEMPLO DE PERIÓDICA CONTINUA: ONDA SINUSOIDAL.
  - ◆ EJEMPLO DE PERIÓDICA DISCRETA: ONDA CUADRADA.

# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

## ◆ MATEMÁTICAMENTE:

☞  $s(t + T) = s(t) \quad - \infty < t < + \infty.$

☞  $T$  ES EL *PERIODO DE LA SEÑAL* Y DEBE SER EL MENOR VALOR QUE CUMPLE LA ECUACIÓN.

☞  $T = 1 / f$  DONDE  $f$  ES LA *FRECUENCIA*.

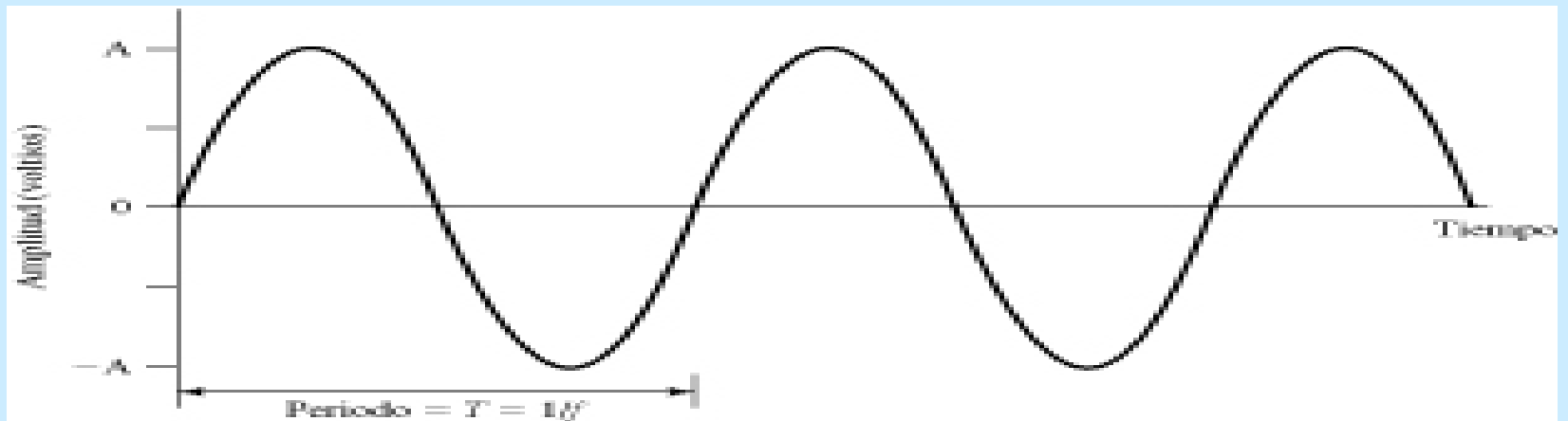
☞ LA EXPRESIÓN GENERAL PARA UNA ONDA SENOIDAL ES:

•  $s(t) = A \operatorname{sen}(2\pi ft + \Phi)$  DONDE  $\Phi$  ES LA *FASE*.

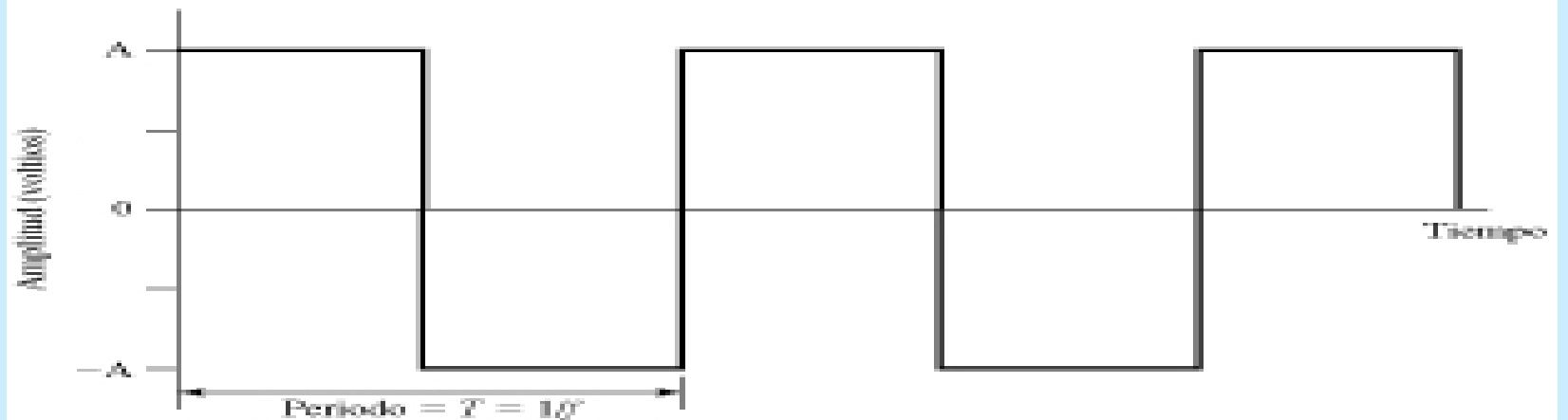
- LAS SEÑALES *NO PERIÓDICAS* SON LAS QUE *NO CUMPLEN* LOS REQUISITOS DE LAS SEÑALES PERIÓDICAS.
- LA *LONGITUD DE ONDA*  $\lambda$  ES LA DISTANCIA QUE OCUPA UN CICLO O DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS DE IGUAL FASE EN DOS CICLOS CONSECUTIVOS.
- SI LA *VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN* DE LA SEÑAL ES  $v$ :
  - ◆  $\lambda = vT$  ;  $v = \lambda f$  ; FRECUENTEMENTE  $v = c$  (VELOCIDAD DE LA LUZ).

# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

## ■ EJ. DE SEÑALES PERIÓDICAS:



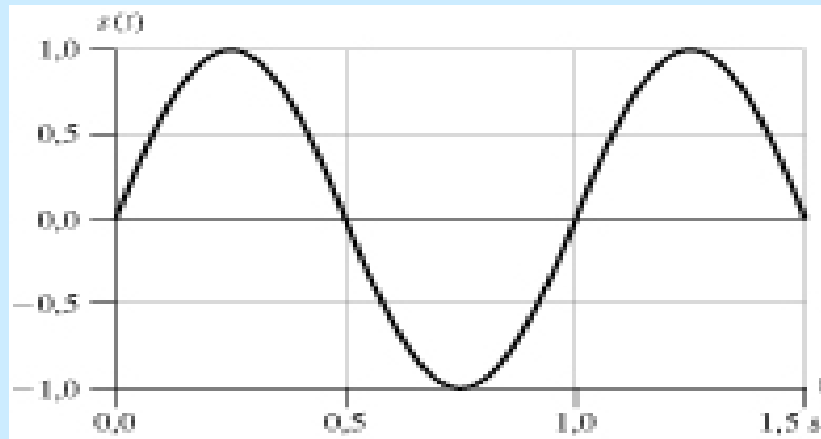
(a) Onda sinusoidal



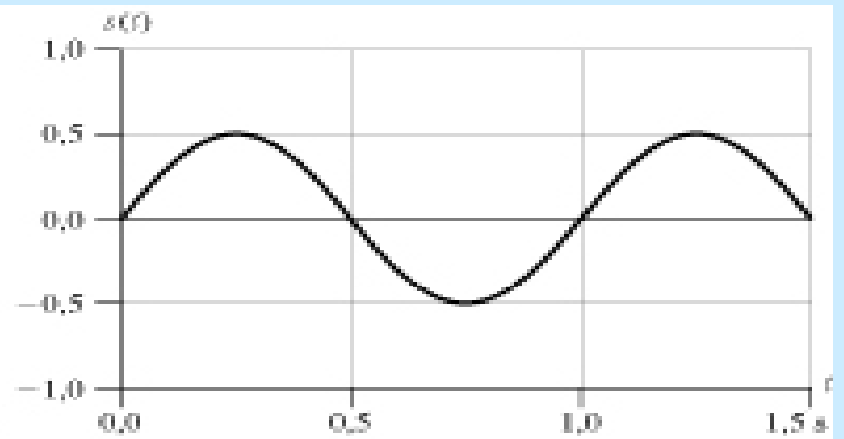
(b) Onda cuadrada

# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

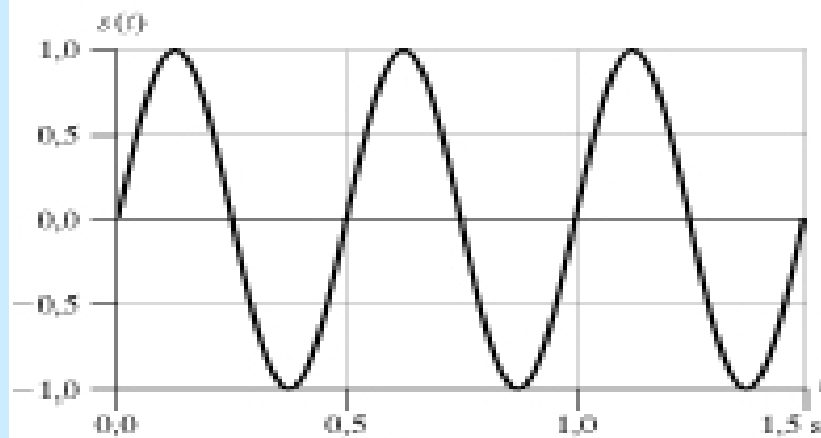
■  $s(t) = A \sin(2\pi ft + \Phi)$ :



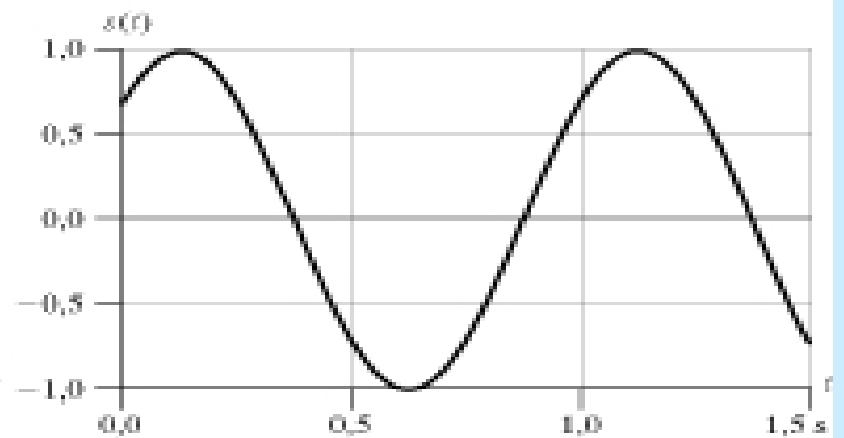
(a)  $A = 1, f = 1, \phi = 0$



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



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



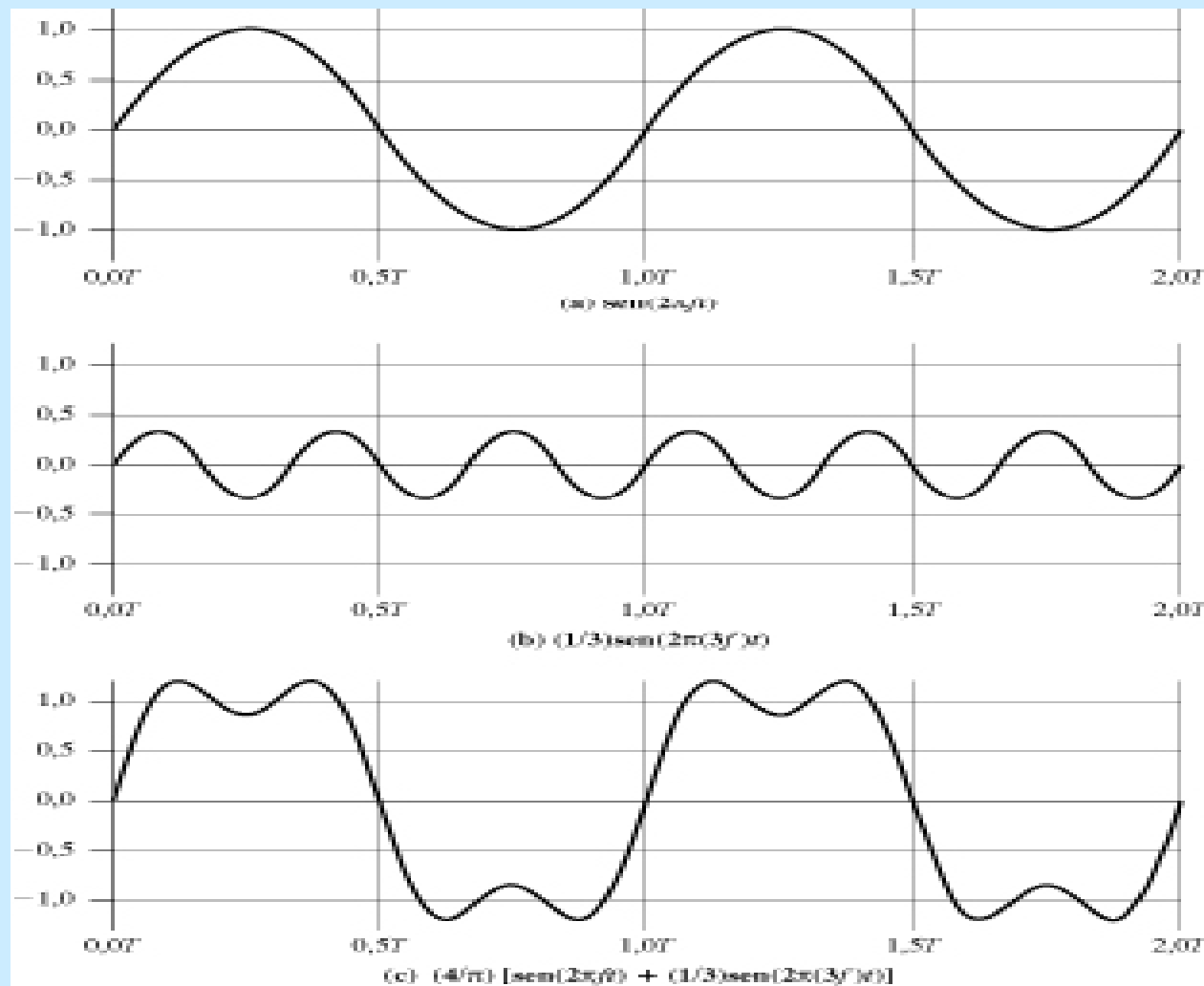
(d)  $A = 1, f = 1, \phi = \pi/4$

# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

- **CONCEPTOS DEL DOMINIO DE LA FRECUENCIA**
- UNA SEÑAL ELECTROMAGNÉTICA PUEDE ESTAR COMPUESTA DE MUCHAS FRECUENCIAS:
  - ◆ 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 *PERIODO DE LA SEÑAL SUMA* DE COMPONENTES ES EL PERIODO CORRESPONDIENTE A LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL.

# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

- *SUMA DE COMPONENTES EN FRECUENCIA ( $T = 1/f$ ):*



SEÑALES Y ESPECTROS

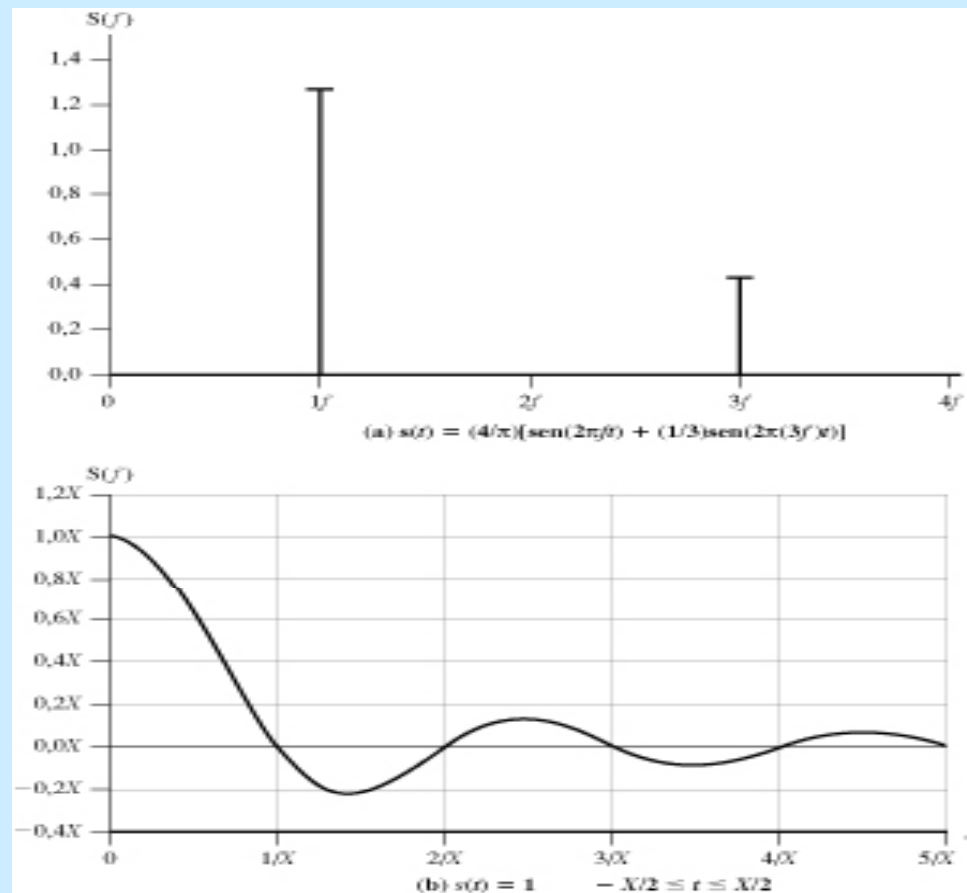
# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

- CON EL *ANÁLISIS DE FOURIER* SE PUEDE DEMOSTRAR QUE CUALQUIER SEÑAL ESTÁ CONSTITUIDA POR *COMPONENTES SENOIDALES DE DISTINTAS FRECUENCIAS*.
- 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 CONSTITUTIVAS* 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 ANCHURA 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*.



# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

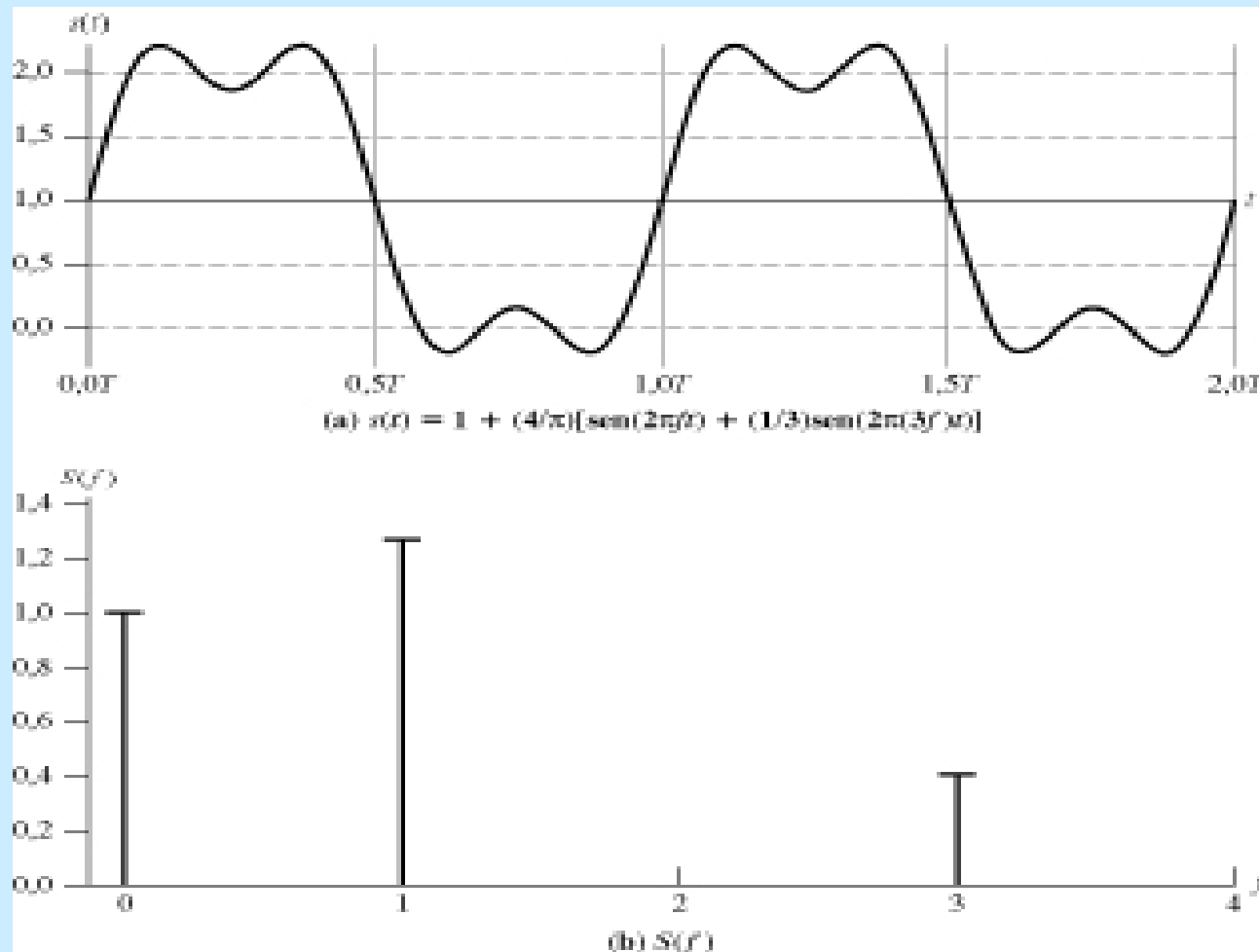
- SI UNA SEÑAL TIENE UNA *COMPONENTE DE FRECUENCIA 0* ESA COMPONENTE SE DENOMINA *CONTINUA*: DC: “DIRECT CURRENT”.
- *REPRESENTACIONES EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA:*



SEÑALES Y ESPECTROS

# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

## ■ SEÑALES CON COMPONENTE CONTINUA (DC):



# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

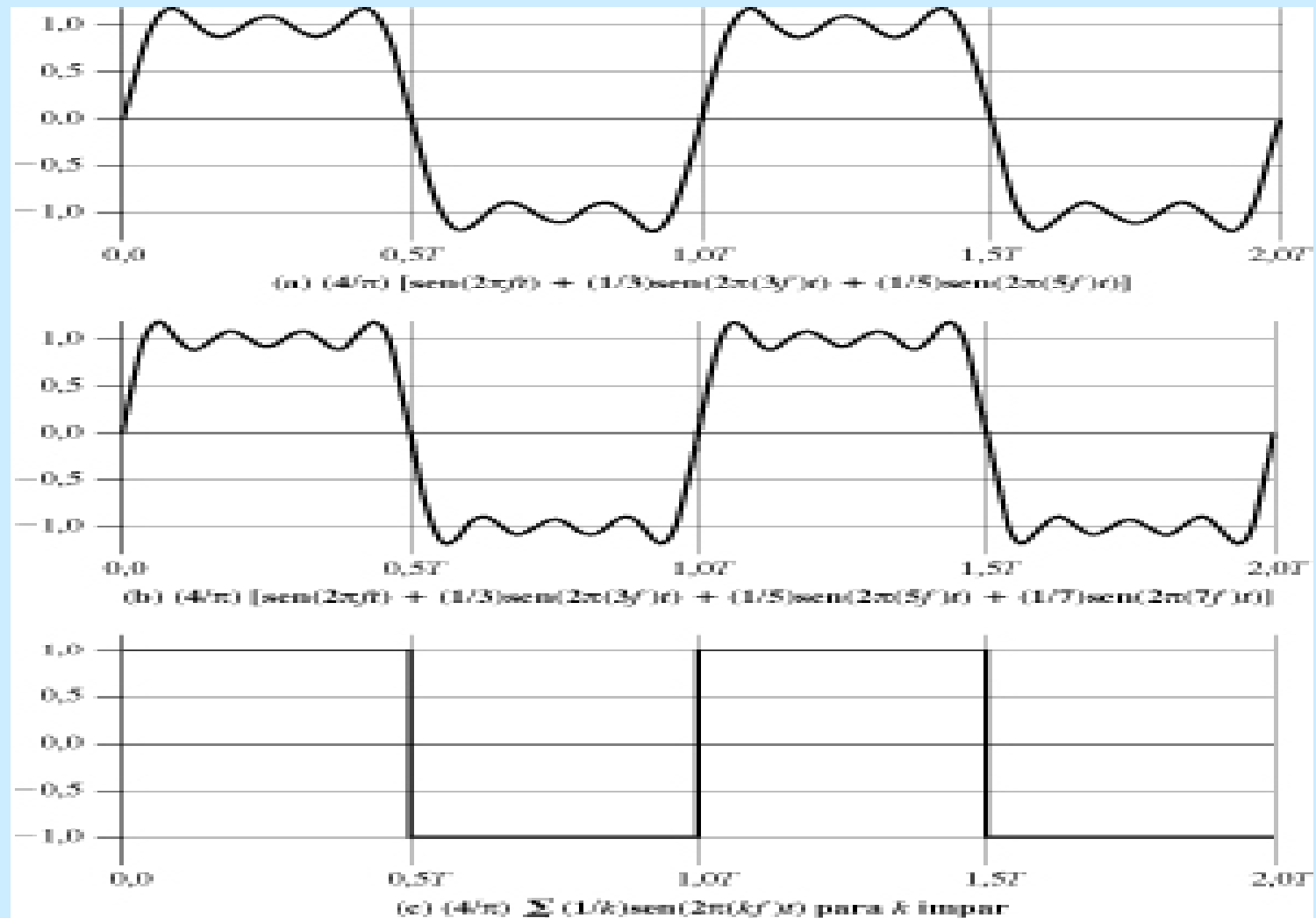
- ***RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN Y EL ANCHO DE BANDA***
- AUNQUE LA FORMA DE ONDA DADA CONTENGA FRECUENCIAS EN UN RANGO EXTENSO, POR CUESTIONES PRÁCTICAS, EL *MEDIO DE TRANSMISIÓN SOLO PODRÁ TRANSFERIR UNA BANDA LIMITADA DE FRECUENCIAS*:
  - ◆ *ESTO LIMITA LA VELOCIDAD MÁXIMA DE TRANSMISIÓN EN EL MEDIO.*
- LAS *COMPONENTES EN FRECUENCIA DE UNA ONDA CUADRADA* SE PUEDEN EXPRESAR COMO:
  - ◆  $s(t) = A (4/\pi) \sum (1/k) \text{sen}(2\pi kft)$  CON  $k$  IMPAR ENTRE 1 E  $\infty$ .
  - ◆ TIENE UN *Nº INFINITO DE COMPONENTES EN FRECUENCIA* Y POR LO TANTO UN *ANCHO DE BANDA INFINITO*.
  - ◆ LA *MAYOR PARTE DE LA ENERGÍA* ESTÁ CONCENTRADA EN LAS *PRIMERAS COMPONENTES* YA QUE LA AMPLITUD DE LA COMPONENTE  $k$ -ÉSIMA,  $kf$ , ES SOLO  $(1/k)$ .

# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

- SI SE *LIMITA EL ANCHO DE BANDA A LAS 3 PRIMERAS COMPONENTES*, LA FORMA DE LA ONDA RESULTANTE SE APROXIMA RAZONABLEMENTE A LA FORMA DE LA ONDA CUADRADA, UTILIZADA PARA TRANSMITIR 1 Y 0 BINARIOS.

# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

- *COMPONENTES EN FRECUENCIA DE UNA ONDA CUADRADA ( $T=1/f$ ):*



# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

- SI EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DIGITAL CAPAZ DE TRANSMITIR SEÑALES CON UN ANCHO DE BANDA DE 4 MHZ:
  - ◆ SI  $f = 1$  MHZ, EL ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL ES  $(5 \times 10^6) - (1 \times 10^6) = 4$  MHZ.
  - ◆  $s(t) = (4/\pi) [(1/1) \text{sen}((2\pi \times 1 \times 10^6)t) + (1/3) \text{sen}((2\pi \times 3 \times 10^6)t) + (1/5) \text{sen}((2\pi \times 5 \times 10^6)t)]$ .
  - ◆ EL PERIODO DE LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL  $f = 1$  MHZ ES:  
☞  $T = 1/10^6 = 10^{-6} = 1 \mu s$ .
  - ◆ PARA UNA VELOCIDAD DE  $2 \times 10^6 = 2$  Mbps UN BIT APARECERÁ CADA  $0,5 \mu s$ .
  - ◆ PARA UN ANCHO DE BANDA DE 4 MHZ SE CONSIGUE UNA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE 2 Mbps.
- SI EL ANCHO DE BANDA ES DE 8 MHZ:
  - ◆  $f = 2$  MHZ;  $T = 0,5 \mu s$ .
  - ◆ PARA UNA VELOCIDAD DE 4 Mbps UN BIT APARECERÁ CADA  $0,25 \mu s$ .
  - ◆ CONCLUSIÓN: AL DUPLICAR EL ANCHO DE BANDA SE DUPLICA LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN POTENCIAL.

# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

- SI FUERA  $f = 2 \text{ MHz}$ ; EL ANCHO DE BANDA  $4 \text{ MHz}$ ;  $T = 1/f = 0,5 \mu s$  RESULTA QUE APARECE UN BIT CADA  $0,25 \mu s$  SIENDO LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE  $4 \text{ Mbps}$ :
  - ◆ *CONCLUSIÓN: UN ANCHO DE BANDA DADO PUEDE SOPORTAR VARIAS VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN.*
- *CONCLUSIONES GENERALES:*
  - ◆ CUALQUIER ONDA DIGITAL TENDRÁ UN ANCHO DE BANDA INFINITO, PERO LA NATURALEZA DEL MEDIO Y EL COSTO LIMITARÁN EL ANCHO DE BANDA.
  - ◆ A MAYOR LIMITACIÓN EN EL ANCHO DE BANDA:
    - ☞ MAYOR DISTORSIÓN.
    - ☞ MAYOR POSIBILIDAD DE ERRORES EN EL RECEPTOR.
  - ◆ SI LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL DIGITAL ES  $W \text{ bps}$  SE PUEDE OBTENER UNA REPRESENTACIÓN MUY BUENA CON UN ANCHO DE BANDA DE  $2W \text{ Hz}$ .
  - ◆ A MAYOR VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL MAYOR ES EL ANCHO DE BANDA EFECTIVO NECESARIO.

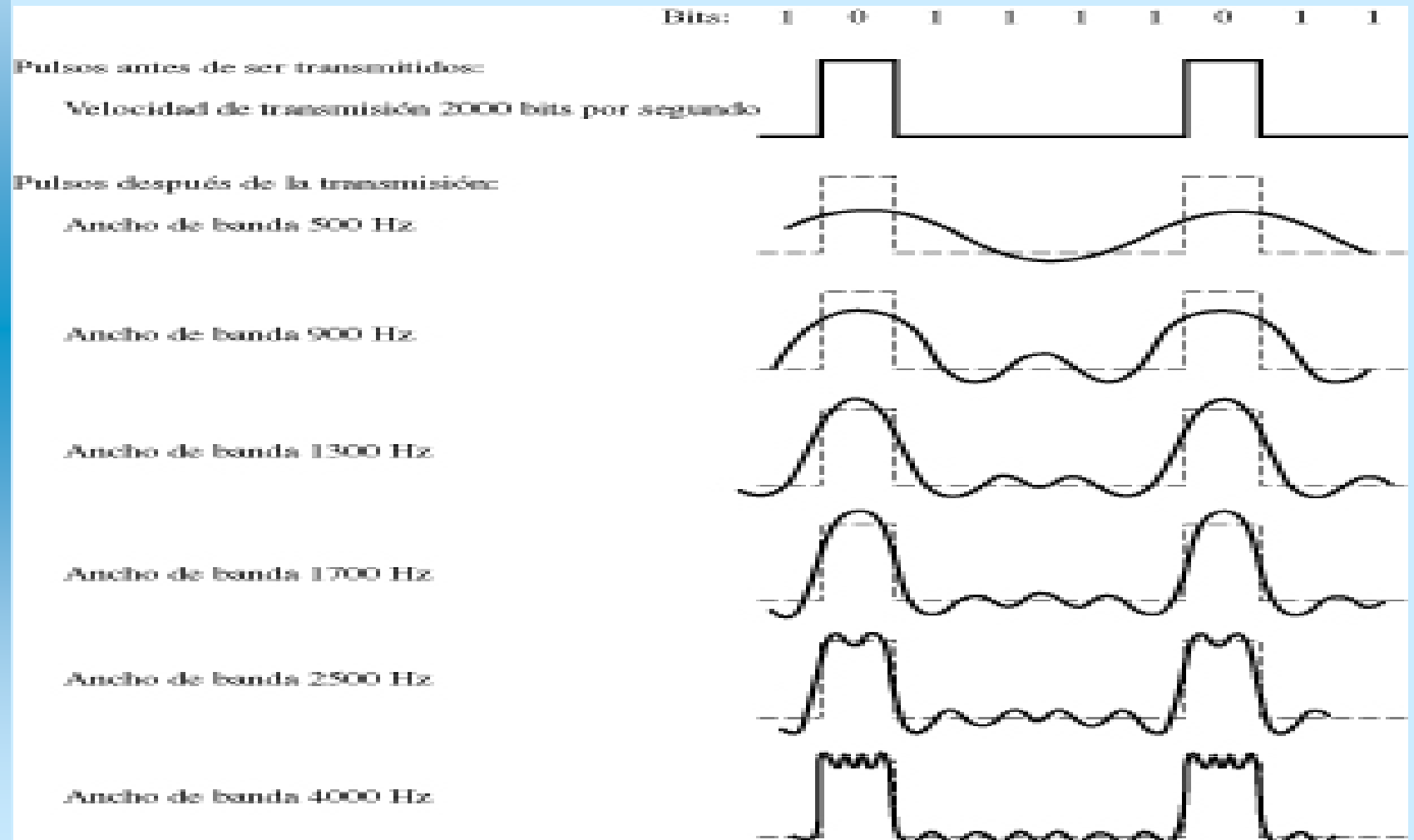
# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

- ◆ A *MAYOR ANCHO DE BANDA* DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN, MAYOR ES LA *VELOCIDAD POSIBLE DE TRANSMISIÓN* DE DATOS.
- ◆ EL *ANCHO DE BANDA DE UNA SEÑAL* ESTÁ CENTRADO SOBRE UNA FRECUENCIA LLAMADA *FRECUENCIA CENTRAL*:
  - ☞ A *MAYOR FRECUENCIA CENTRAL*, *MAYOR ANCHO DE BANDA* POTENCIAL Y *MAYOR VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN*.



# FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

## ■ *EFFECTO DEL ANCHO DE BANDA EN LAS SEÑALES DIGITALES:*



# **DESARROLLO EN SERIE DE FOURIER** **PARA SEÑALES PERIÓDICAS**

# DESARROLLO EN SERIE DE FOURIER PARA SEÑALES PERIÓDICAS

- LA *BASE TEÓRICA DE LA COMUNICACIÓN DE DATOS* ESTÁ EN EL *ANÁLISIS DE FOURIER* (S. XIX).
- CUALQUIER *SEÑAL PERIÓDICA* SE PUEDE EXPRESAR COMO UNA SUMA DE *FUNCIONES SINUSOIDALES*, DENOMINADA *SERIE DE FOURIER*:

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

# DESARROLLO EN SERIE DE FOURIER PARA SEÑALES PERIÓDICAS

- ◆  $f_0$  ES LA *INVERSA DEL PERIODO* DE LA SEÑAL ( $f_0 = 1/T$ ); ES LA *FRECUENCIA O ARMÓNICO FUNDAMENTAL*:
  - ☞ A SUS MÚLTIPLOS SE LOS CONOCE COMO *ARMÓNICOS*.
- ◆ UNA *SEÑAL PERIÓDICA* CON PERIODO  $T$  ESTARÁ COMPUESTA POR LA *FRECUENCIA FUNDAMENTAL*  $f_0$ , MÁS *MÚLTIPLOS ENTEROS* DE DICHA FRECUENCIA.
- ◆ SI  $A_0$  NO ES CERO, LA SEÑAL  $x(t)$  TIENE UNA *COMPONENTE CONTINUA O DC*.
- ◆ LOS *COEFICIENTES* SON LOS SIGUIENTES:

$$A_0 = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) dt$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(2\pi n f_0 t) dt$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(2\pi n f_0 t) dt$$

# DESARROLLO EN SERIE DE FOURIER PARA SEÑALES PERIÓDICAS

- ◆ A ESTA REPRESENTACIÓN SE LA CONOCE COMO *REPRESENTACIÓN SENO – COSENO*.
- LA *REPRESENTACIÓN AMPLITUD – FASE* ES LA SIGUIENTE:

$$x(t) = \frac{C_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(2\pi n f_0 t + \theta_n)$$

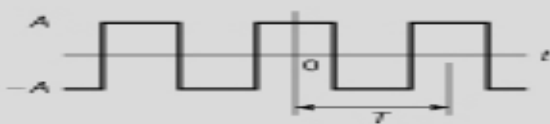
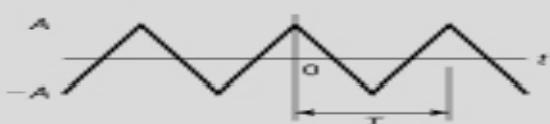
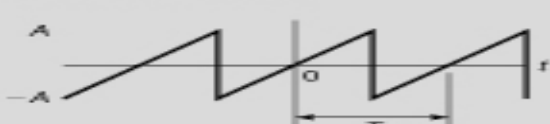
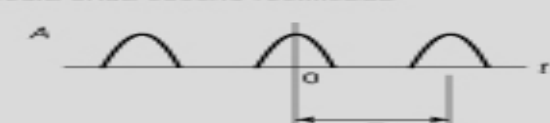
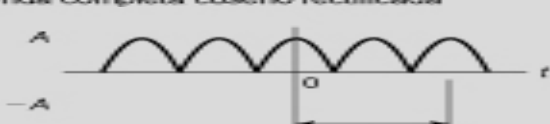

$$C_0 = A_0$$

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \left( \frac{-B_n}{A_n} \right)$$

# DESARROLLO EN SERIE DE FOURIER PARA SEÑALES PERIÓDICAS

■ *EJ. DE SEÑALES PERIÓDICAS Y SU SERIE DE FOURIER:*

Señal	Desarrollo de las series de Fourier
<p>Onda cuadrada</p> 	$\left( \frac{4A}{\pi} \right) \times \left[ \cos(2\pi f_1 t) - \left( \frac{1}{3} \right) \cos(2\pi(3f_1)t) + \left( \frac{1}{5} \right) \cos(2\pi(5f_1)t) - \left( \frac{1}{7} \right) \cos(2\pi(7f_1)t) + \dots \right]$
<p>Onda triangular</p> 	$C_0 = 0$ $C_n = 0 \quad \text{para } n \text{ par}$ $C_n = \frac{8A}{(n\pi)^2} \quad \text{para } n \text{ impar}$
<p>Onda de diente de sierra</p> 	$A_0 = 0$ $A_n = 0 \quad \text{para } n \text{ par}$ $B_n = - \left( -1 \right)^{n/2} \times \left( \frac{2A}{\pi n} \right)$
<p>Media onda coseno rectificada</p> 	$C_0 = \frac{2A}{\pi}$ $C_n = 0 \text{ para } n \text{ impar}$ $C_n = \left( \frac{2A}{\pi} \right) \times \left( -1 \right)^{(n^2+1)/2} \times \left( \frac{2}{(n^2-1)} \right) \text{ para } n \text{ par}$
<p>Onda completa coseno rectificada</p> 	$C_0 = \frac{4A}{\pi}$ $C_n = \left( \frac{4A}{\pi} \right) \times \left( -1 \right)^{n/2} \times \left( \frac{1}{(4n^2-1)} \right)$
<p>Tren de pulsos</p> 	$C_n = \left( \frac{2A\tau}{T} \right) \times \left( \frac{\sin(n\pi\tau/T)}{(n\pi\tau/T)} \right)$

# TRANSFORMADA DE FOURIER PARA SEÑALES NO PERIÓDICAS

# TRANSFORMADA DE FOURIER PARA SEÑALES NO PERIÓDICAS

- PARA UNA *SEÑAL NO PERIÓDICA* EL *ESPECTRO* CONSISTE EN UN *CONTINUO DE FRECUENCIAS*:
  - ◆ EL *ESPECTRO* SE PUEDE OBTENER MEDIANTE LA *TRANSFORMADA DE FOURIER*.
- PARA UNA *SEÑAL*  $x(t)$  CON *ESPECTRO*  $X(f)$  SE VERIFICAN LAS SIGUIENTES EXPRESIONES:


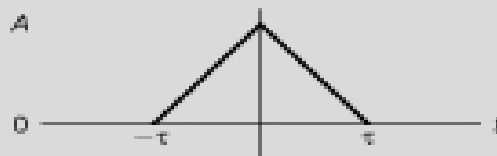

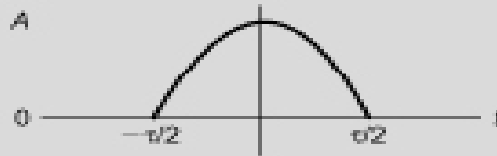
$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j2\pi ft} df$$
$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$$j = \sqrt{-1}$$



# TRANSFORMADA DE FOURIER PARA SEÑALES NO PERIÓDICAS

■ *EJ. DE SEÑALES NO PERIÓDICAS Y SU TRANSFORMADA DE FOURIER:*

Señal $x(t)$	Transformada de Fourier $X(f)$
<p>Pulso rectangular</p> 	$A\tau \frac{\text{sen}(\pi f\tau)}{\pi f\tau}$
<p>Pulso triangular</p> 	$A\tau \left( \frac{\text{sen}(\pi f\tau)}{\pi f\tau} \right)^2$
<p>Pulso de diente de sierra</p> 	$(jA/2\pi f) \times \{[\text{sen}(\pi f\tau)/\pi f\tau]\exp[-j\pi f\tau] - 1\}$
<p>Pulso coseno</p> 	$\frac{2A\tau}{\pi} \times \frac{\cos(\pi f\tau)}{1 - (2f\tau)^2}$

# **DENSIDAD DE POTENCIA ESPECTRAL** **Y ANCHO DE BANDA**

# DENSIDAD DE POTENCIA ESPECTRAL Y ANCHO DE BANDA

- EL *ANCHO DE BANDA EFECTIVO* CONSISTE EN LA *PORCIÓN DEL ESPECTRO* QUE CONTIENE LA *MAYOR PARTE DE LA POTENCIA*.
- LA *DENSIDAD DE POTENCIA ESPECTRAL* (PSD: *POWER SPECTRAL DENSITY*) DESCRIBE EL CONTENIDO EN *POTENCIAS* DE UNA SEÑAL COMO *FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA*:
  - ◆ REPRESENTA *CUÁNTA POTENCIA* HAY EN LAS DISTINTAS *BANDAS DE FRECUENCIA*.
- LA *POTENCIA INSTANTÁNEA* DE LA SEÑAL  $x(t)$  VISTA ANTERIORMENTE ES *PROPORCIONAL* A  $|x(t)|^2$ .
- LA *POTENCIA MEDIA* PARA UNA SEÑAL LIMITADA EN EL TIEMPO ES:

$$P = \frac{1}{t_1 - t_2} \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt$$

# DENSIDAD DE POTENCIA ESPECTRAL Y ANCHO DE BANDA

- LA *POTENCIA MEDIA EN UN PERIODO* PARA UNA SEÑAL PERIÓDICA ES:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)|^2 dt$$

- LA *DENSIDAD DE POTENCIA ESPECTRAL* EN FUNCIÓN DE LA *FRECUENCIA* ES:

$$S(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |C_n|^2 \delta(f - n f_0)$$

# DENSIDAD DE POTENCIA ESPECTRAL Y ANCHO DE BANDA

- ◆  $C_n$  ES EL *COEFICIENTE* DE LAS SERIES DE FOURIER EN SU REPRESENTACIÓN *AMPLITUD – FASE*.
- ◆  $\delta(t)$  ES EL *IMPULSO UNITARIO (FUNCIÓN DELTA)*:

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t \neq 0 \\ \infty & \text{si } t = 0 \end{cases}$$
$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

# DENSIDAD DE POTENCIA ESPECTRAL Y ANCHO DE BANDA

- PARA UNA *FUNCIÓN CONTINUA*  $S(f)$ , LA *POTENCIA* CONTENIDA EN LA *BANDA DE FRECUENCIAS* ENTRE  $f_1 < f < f_2$ , ES LA SIGUIENTE:

$$P = 2 \int_{f_1}^{f_2} S(f) df$$

- SI LA *ONDA ES PERIÓDICA* LA *POTENCIA* CONTENIDA EN LOS  $j$  *PRIMEROS ARMÓNICOS* ES:

$$P = \frac{1}{4} C_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^j C_n^2$$

- EL *ANCHO DE BANDA DE POTENCIA MITAD* ES EL *INTERVALO DE FRECUENCIAS* ENTRE LAS CUALES  $S(f)$  HA CAÍDO A LA *MITAD DE LA POTENCIA MÁXIMA*:
  - ◆ 3 dB POR DEBAJO DEL VALOR PICO.