Capítulo 3

Datos y señales

Un aspecto fundamental del nivel físico es transmitir información en forma de señales electromagnéticas a través de un medio de transmisión.

El medio de transmisión funciona conduciendo energía a través de un camino físico.

Para ser transmitidos, los datos deben ser convertidos a señales electromagnéticas.

3-1 ANÁLOGICO Y DIGITAL

Tanto los datos como las señales que los representan pueden estar en forma analógica o digital.

El término datos analógicos se refiere a información que es continua.

El término datos digitales indica algo que tiene estados discretos.

Los datos analógicos toman valores continuos. Los datos digitales toman valores discretos.

Temas a tratar en esta sección:

Datos analógicos y igitales
Señales analógicas y digitales
Señales periódicas y aperiódicas

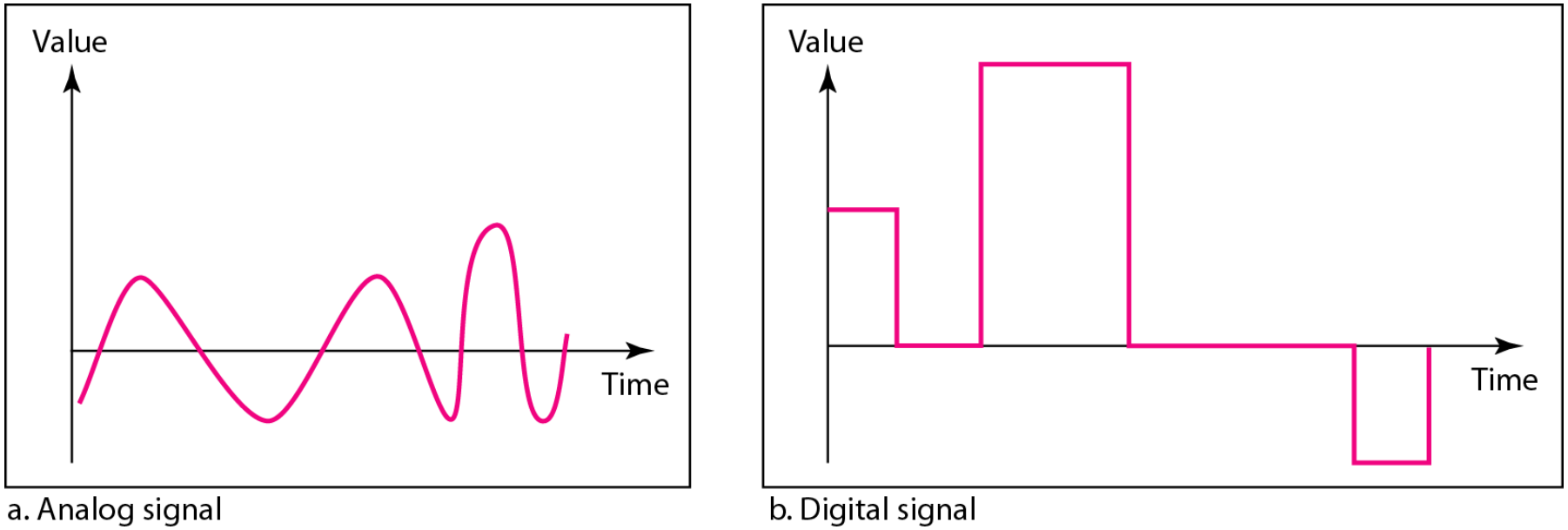
Los datos puedes ser analógicos o digitales. Los datos analógicos son continuos y toman valores continuos. Los datos digitales tienen estados discretos y toman valores discretos.

Las señales pueden ser **analógicas** o **digitales**.

Las **señales analógicas** pueden tener un número infinito de valores dentro de un rango.

Las **señales digitales** solamente pueden tener un número limitado de valores.

Figura 3.1 ***Comparación entre señales analógicas y digitales***



SEÑALES PERIODICAS Y APERIODICAS:

- Una señal es **periódica** si completa un patrón dentro de un marco de tiempo denominado periodo, y repite es patrón en periodos idénticos subsecuentes.

- Cuando se completa un patrón se ha completado un ciclo.

- Una señal **aperiódica** cambia sin exhibir ningún patrón o ciclo

- En transmisión de datos se usa habitualmente señales analógicas periódicas y señales digitales aperiódicas.

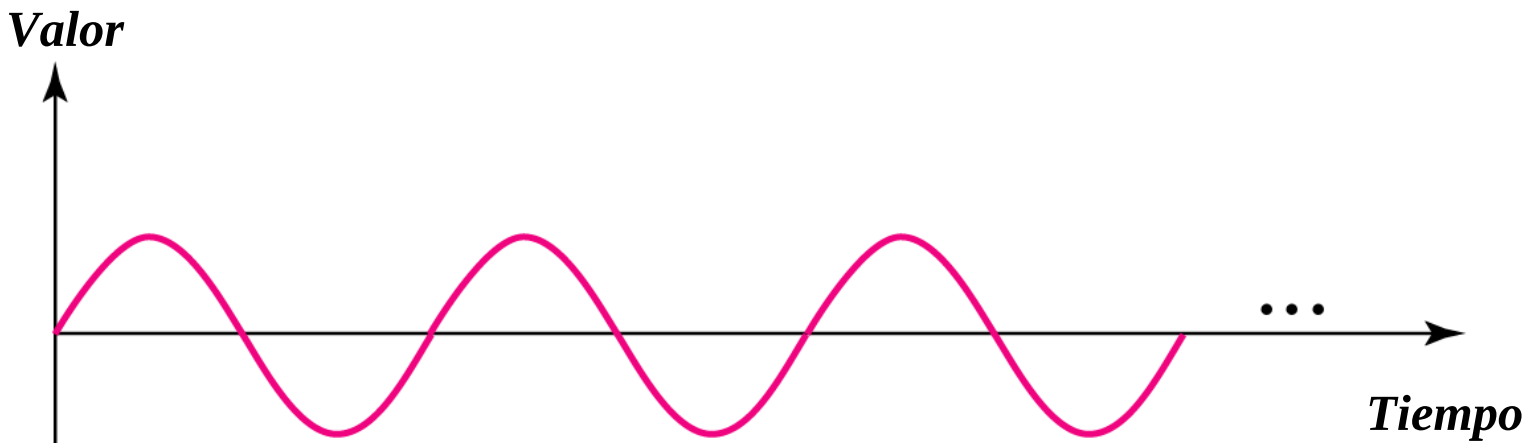
3-2 SEÑALES ANALÓGICAS PERIÓDICAS

Las señales analógicas se pueden clasificar en simples o compuestas. Una señal analógica simple, u onda seno, no puede ser descompuesta en señales más simples. Una señal analógica compuesta está formada por múltiples ondas seno.

Temas a tratar en esta sección:

Onda seno
Fase
Dominios del tiempo y la frecuencia
Señales compuestas
Ancho de banda

Figura 3.2 *Una onda seno*



ONDA SENO:

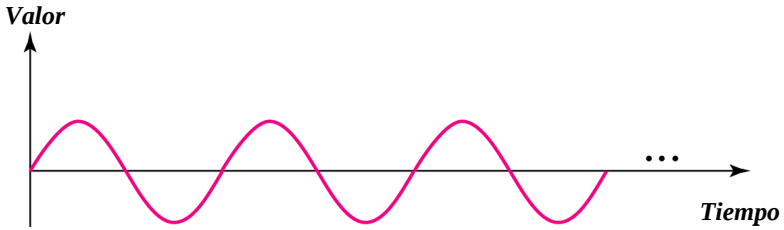
- Se puede describir mediante tres características: **amplitud pico, periodo, frecuencia y fase.**
- Amplitud pico (máxima): Es el valor absoluto de su intensidad más alta, proporcional a la energía que transporta. Se mide en voltios (V).

Periodo y frecuencia:

- El **periodo** es la cantidad de tiempo, en segundos, que necesita una señal para completar un ciclo.
- La **frecuencia** es la cantidad de periodos o ciclos en un segundo, cuya magnitud son los Herzios (Hz).

El periodo y la frecuencia son inversos entre sí:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{y} \quad T = \frac{1}{f}$$



La frecuencia de una onda es el número de ciclos que completa por segundos.

Pero podemos utilizarla para medir la velocidad:

La frecuencia es la velocidad de cambio respecto al tiempo. Si hay muchos cambios en un espacio de tiempo corto indicará una frecuencia alta. Si los cambios se producen en un gran espacio de tiempo indicarán frecuencia baja.

Si una señal no cambia en absoluto, su frecuencia es 0.

Si una señal cambia instantáneamente su frecuencia es ∞.

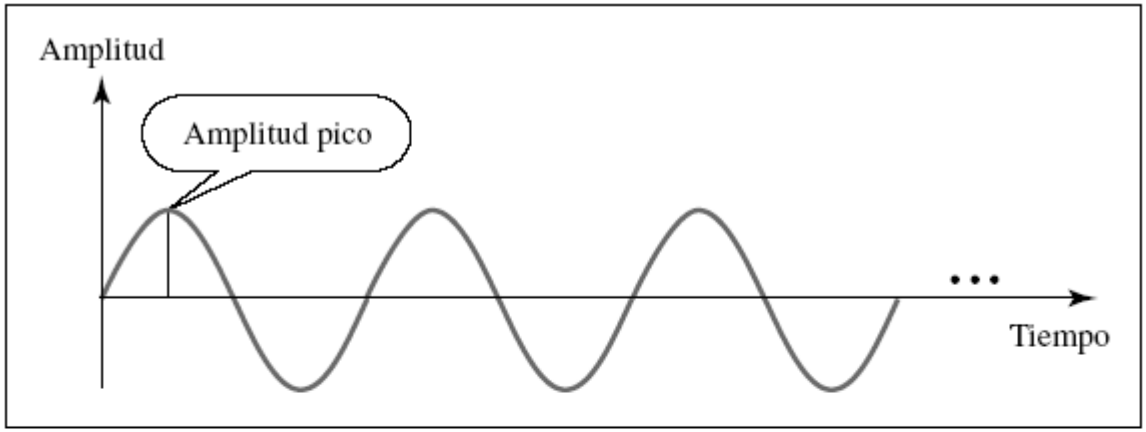
Fase:

- La fase describe la posición de la forma de onda relativa al instante de tiempo 0.

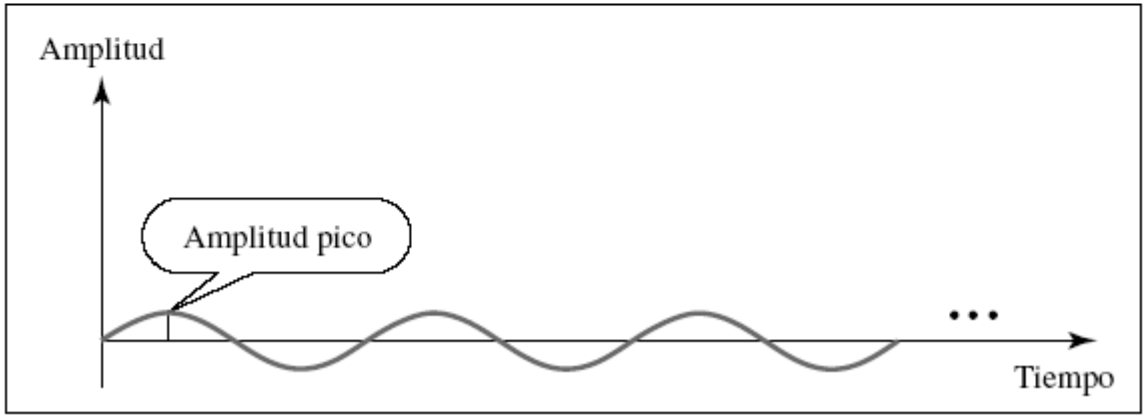
- Se mide en grados o radianes (360º son 2π radianes).

- Un desplazamiento de fase de 360 grados corresponde a un desplazamiento de un periodo completo.

Figura 3.3 *Dos señales con la misma fase y frecuencia pero distinta amplitud*

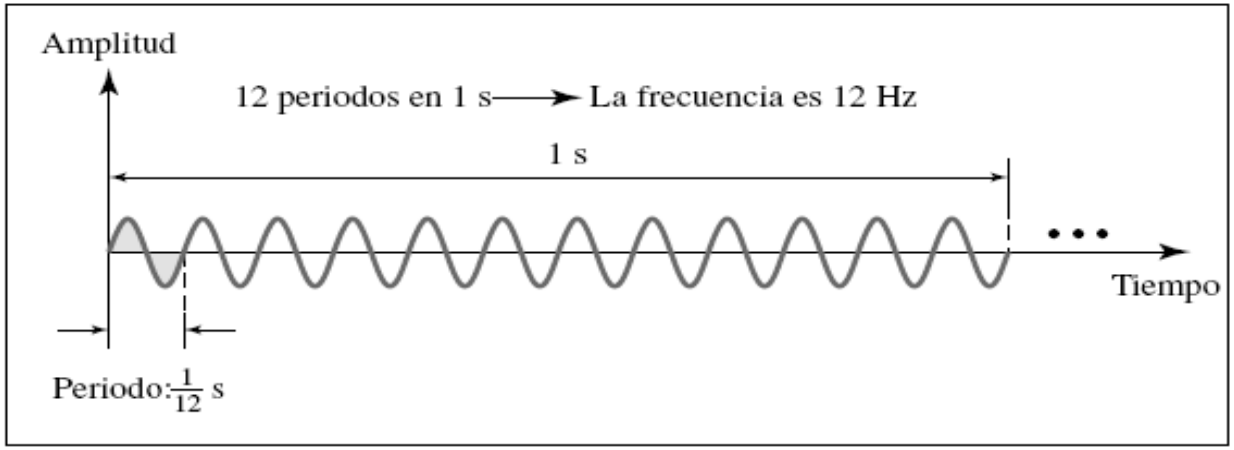


a. Una señal con pico de amplitud alto

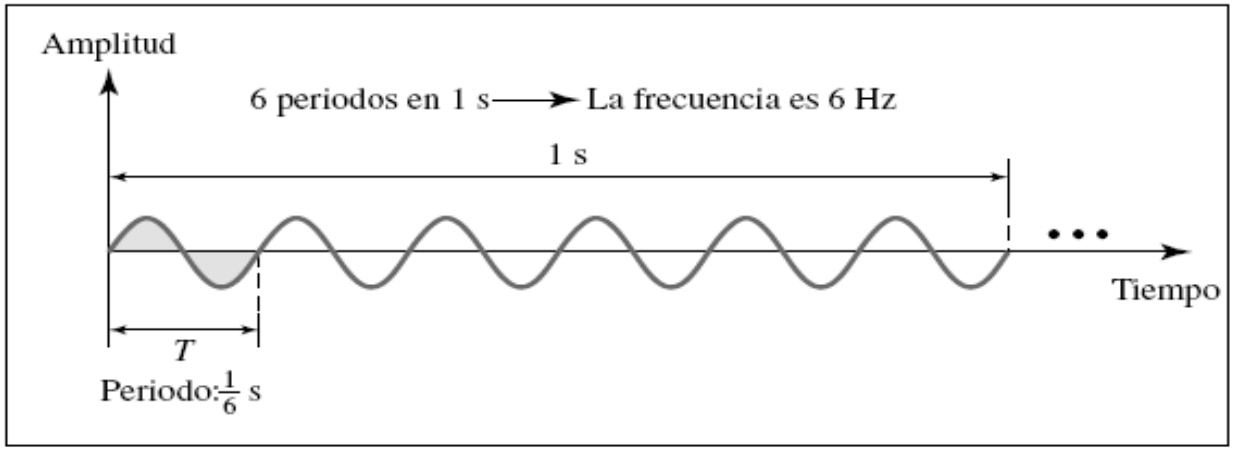


b. Una señal con pico de amplitud bajo

Figura 3.4 *Dos señales con la misma amplitud y fase pero distinta frecuencia*



a. Una señal con una frecuencia de 12 Hz



b. Una señal con una frecuencia de 6 Hz

Tabla 3.1 *Unidades del periodo y la frecuencia*

Unidad	*Equivalente*	*Unidad*	*Equivalente*
Segundos	1 s	Herzio (Hz)	1 Hz
Milisegundos (ms)	10^{-3} s	Kiloherzio (kHz)	10^{3} Hz
Microsegundos (μs)	10^{-6} s	Megaherzio (MHz)	10^{6} Hz
Nanosegundos (ns)	10^{-9} s	Gigaherzio (GHz)	10^{9} Hz
Picosegundos (ps)	10^{-12} s	TeraHerzio (THz)	10^{12} Hz

Exprese un periodo de 100 milisegundos en microsegundos.

Solución

En la Tabla 3.1 se puede ver que los equivalentes de 1 ms (1 ms es 10^{-3} s) y 1 s (1 s es 10^{6} μs). Se pueden hacer las sustituciones siguientes:

$$100 \text{ ms} = 100 \times 10^{-3} \text{ s} = 100 \times 10^{-3} \times 10^{6} \ \mu\text{s} = 10^{2} \times 10^{-3} \times 10^{6} \ \mu\text{s} = 10^{5} \ \mu\text{s}$$

El periodo de una señal es de 100 ms. ¿Cuál es su frecuencia en Kiloherzios?

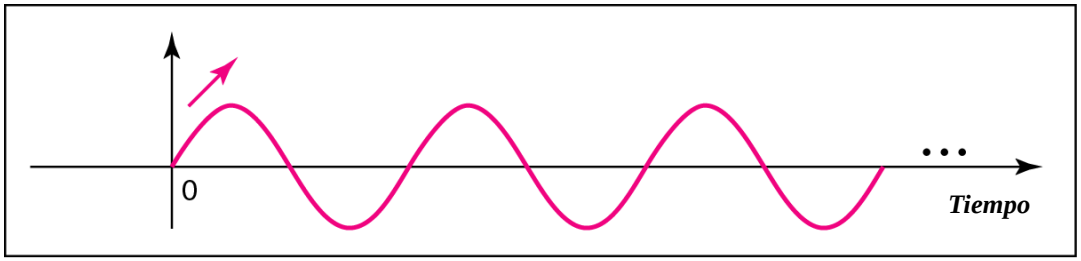
Solución

Primero se cambian los 100 ms a segundos y luego se calcula la frecuencia a partir del periodo (1 Hz = 10^{-3} kHz).

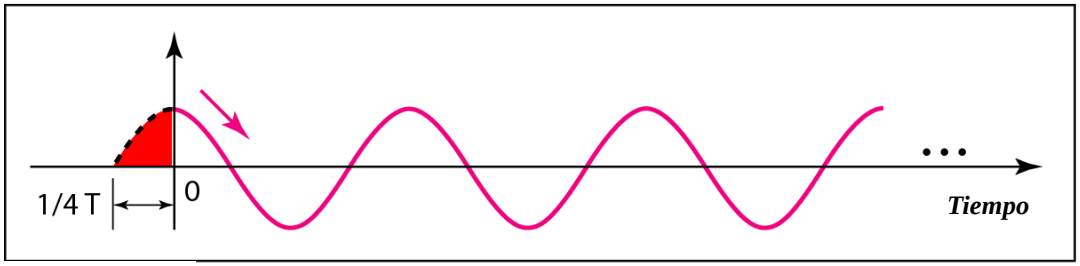
$$100 \text{ ms} = 100 \times 10^{-3} \text{ s} = 10^{-1} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-1}} \text{ Hz} = 10 \text{ Hz} = 10 \times 10^{-3} \text{ kHz} = 10^{-2} \text{ kHz}$$

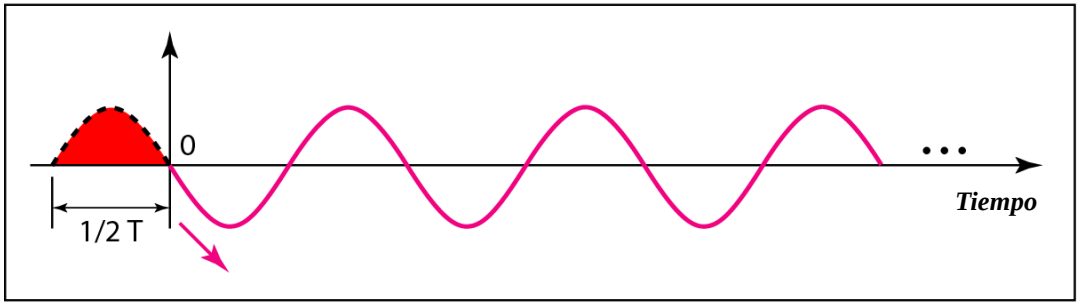
Figura 3.5 ***Tres ondas seno con la misma amplitud y frecuencia, pero disintas fas***



a. 0 grados



b. 90 grados



c. 180 grados

Una onda está desplazada 1/6 de ciclo respecto a tiempo 0.¿Cuál es su fase en grados y radianes?

Solución

Sabemos que un ciclo completo son 360 grados. Por tanto, 1/6 de ciclo es

$$\boxed{\frac{1}{6} \times 360 = 60^\circ = 60 \times \frac{2\pi}{360}\ \text{rad} = \frac{\pi}{3}\ \text{rad} = 1.046\ \text{rad}}$$

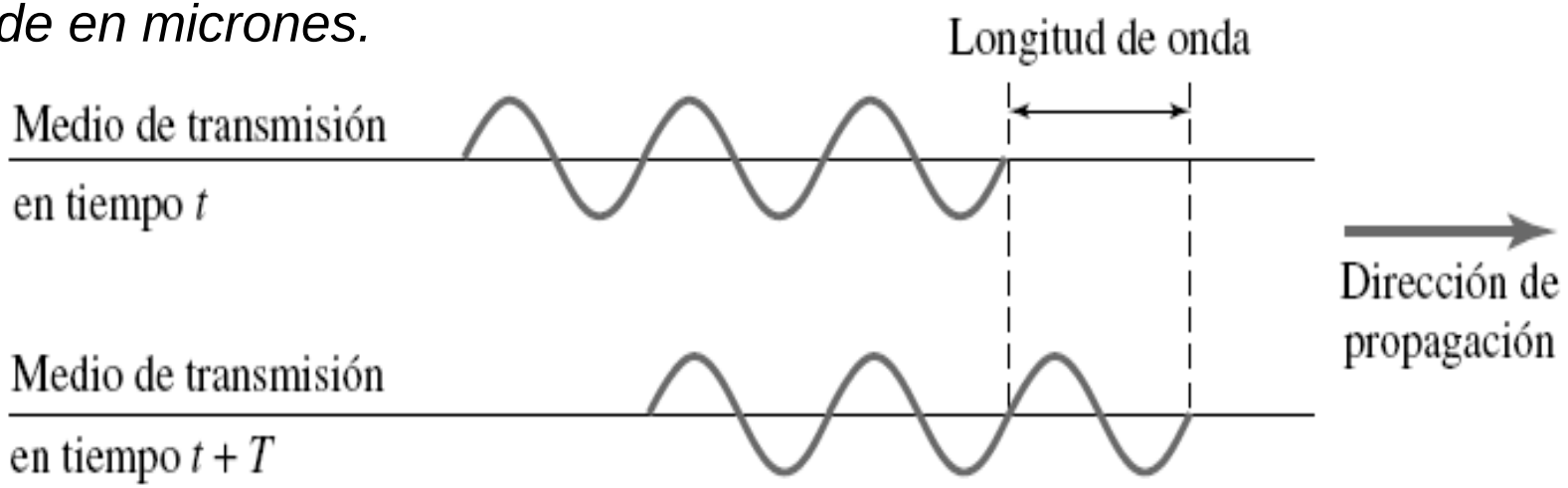
Figura 3.6 *Longitud de onda y periodo*

La longitud de onda es la distancia que una señal simple puede viajar en un periodo.

*Longitud de onda = veloc. Propagación*periodo=veloc. Propagación / frecuencia*

$$\lambda = c / f$$

Se mide en micrones.



DOMINIOS DEL TIEMPO Y LA FRECUENCIA:

- Para representar gráficamente la amplitud de una onda seno se utiliza una traza en el dominio del tiempo.

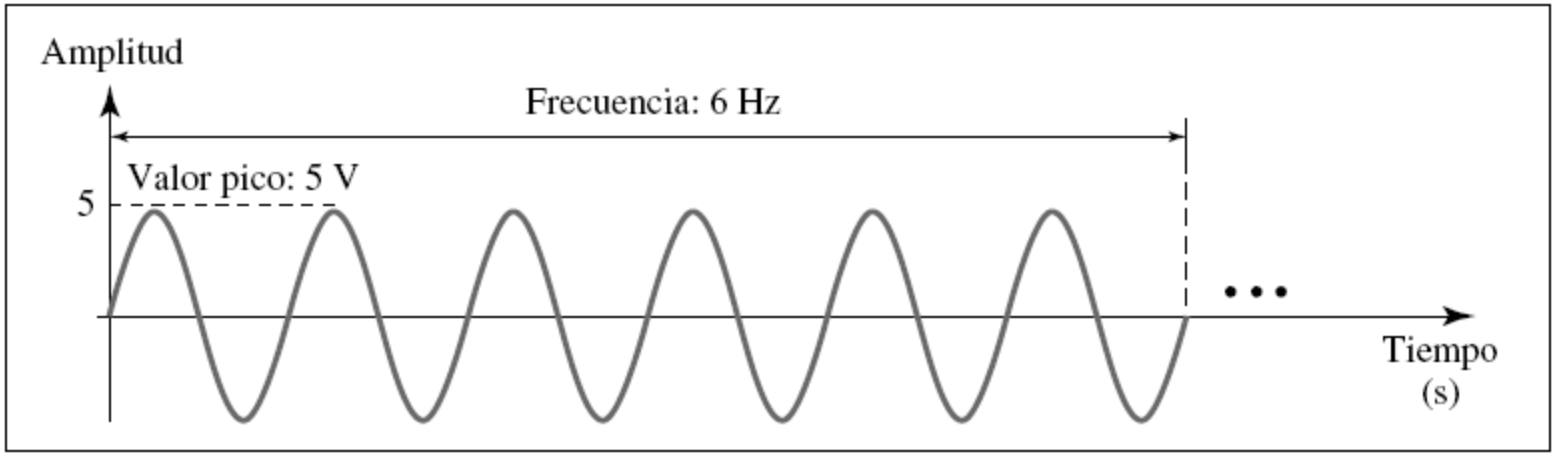
- La fase no se mide explícitamente en el dominio del tiempo.

- Para representar gráficamente la relación entre amplitud y frecuencia se utiliza una traza en el dominio de frecuencia.

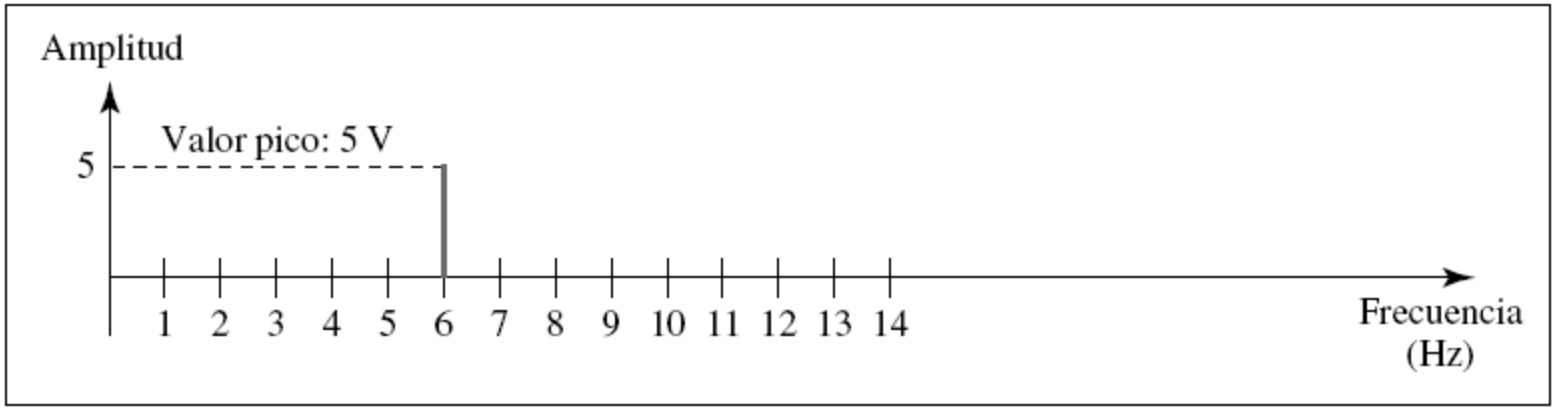
- Una onda seno completa en el dominio del tiempo de puede representar mediante una única barra en el dominio de frecuencia.

- La ventaja del dominio de frecuencia es que se puede ver inmediatamente los valores de pico de frecuencia y amplitud.

Figura 3.7 *Gráfica del dominio del tiempo y la frecuencia para una onda seno*



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

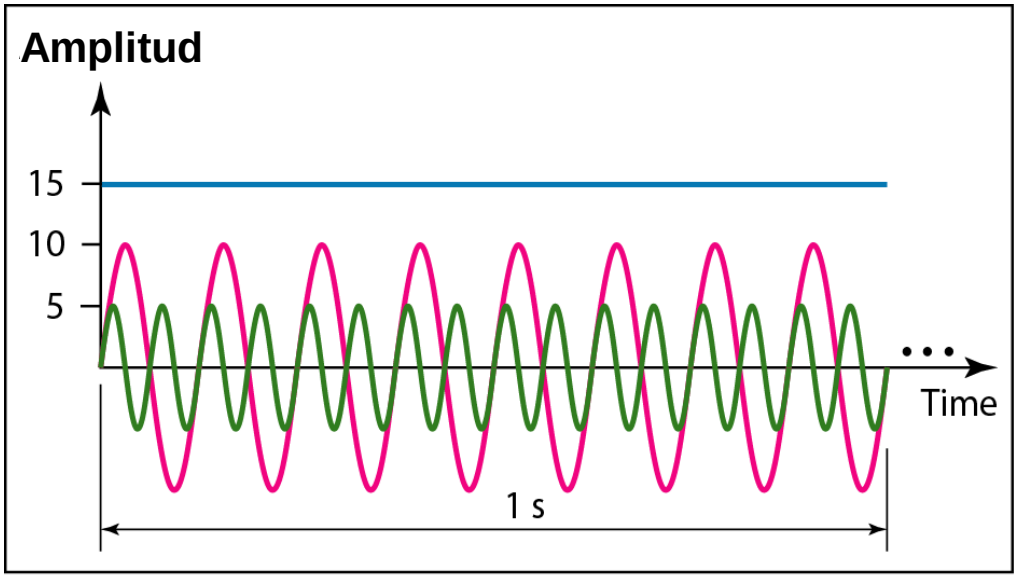


b. La misma onda seno en el dominio de frecuencia (valor pico: 5 V, frecuencia: 6 Hz)

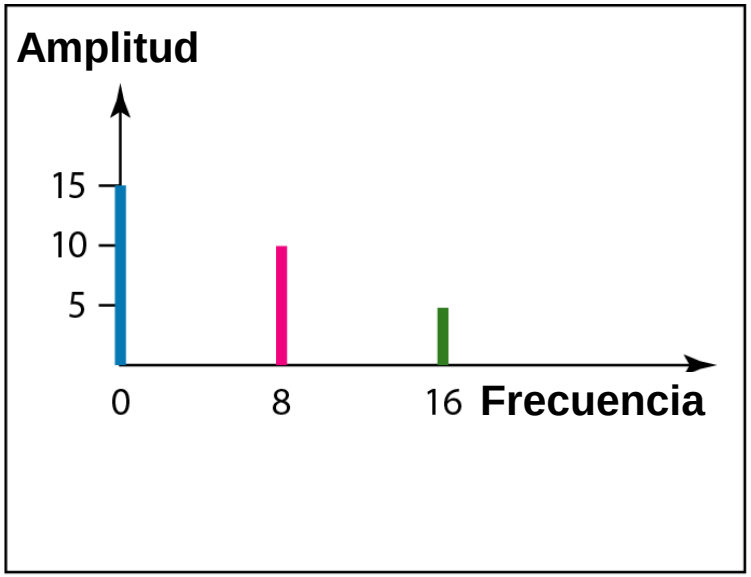
Dominios del tiempo y la frecuencia para tres ondas seno

El dominio de frecuencia es más compacto y útil cuando se trabaja con más de una onda seno.

La figura muestra tres ondas seno con frecuencias y amplitudes variables ejemplos de las trazas en el cominio del tiempo y en el de al frecuencia de tres señales con frecuencias y amplitudes distintas. Todas se pueden representar mediante tres barras en el dominio de 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

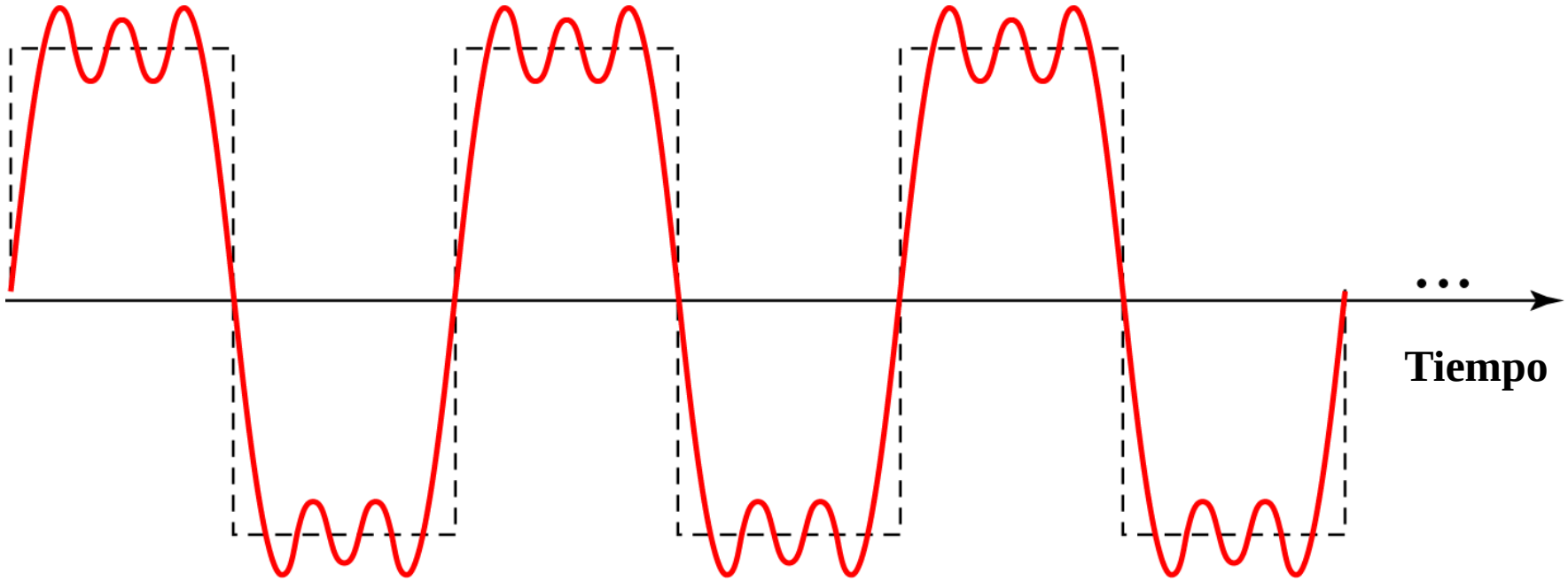
SEÑALES COMPUESTAS:

- Una onda seno de frecuencia única no es útil para transmitir datos.
- Es necesario usar una señal compuesta, una señal formada por múltiples ondas seno (señales periódicas simples).
- De acuerdo con el análisis de Fourier, cualquier señal compuesta es realmente una combinación de ondas simples con distintas frecuencias, amplitudes y fases.
- Si la señal compuesta es periódica, la descomposición da una serie de señales con frecuencias discretas.
- En la descomposición generada de señales, la señal de frecuencia más baja se denomina frecuencia fundamental o primer armónico.
- El resto de armónicos serán múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

- Si la señal es aperiódica, la descomposición da una combinación de ondas seno con frecuencias continuas.

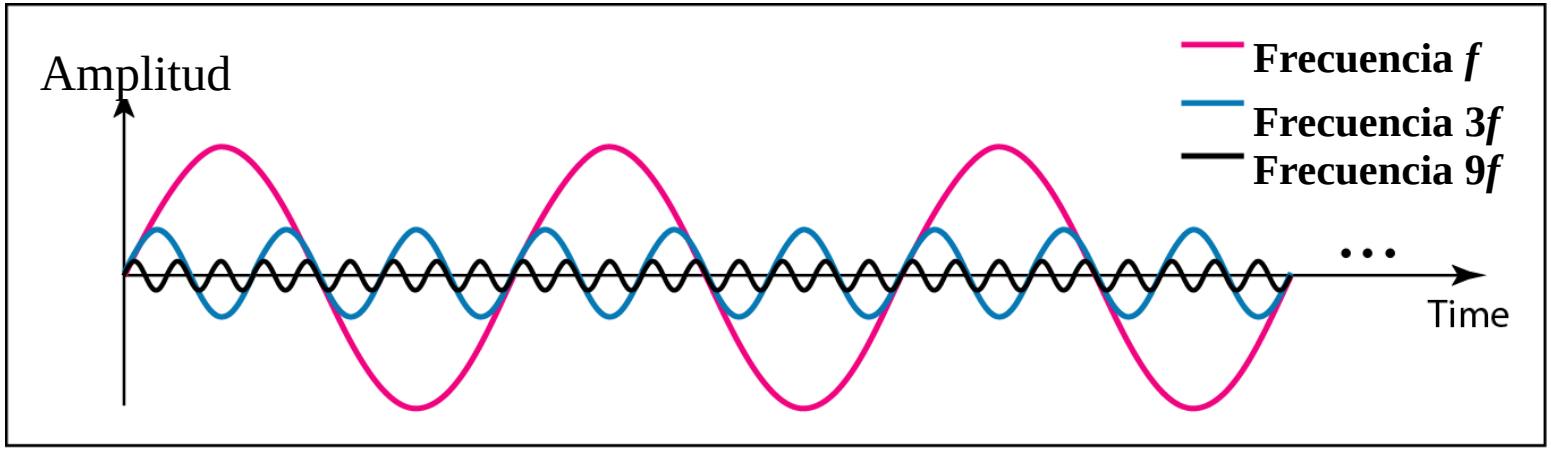
Una señal compuesta periódica

La figura muestra una señal compuesta periódica con frecuencia f. Ese tipo de señal no es típica de las que se encuentran en transmisión de datos. Consideramos que puede ser tres sistemas de alarma, cada uno con frecuencia distinta. El análisis de esta señal nos puede dar una buena comprensión de cómo descomponer señales.

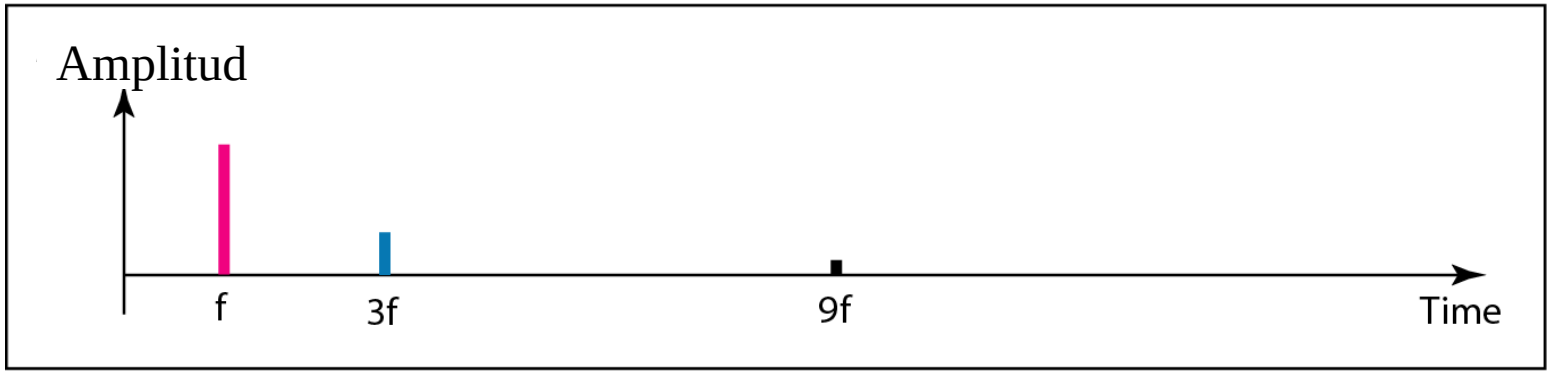


3.23

Figura 3.10 ***Descomposición de una señal compuesta periódica en los dominios de tiempo y frecuencia.***



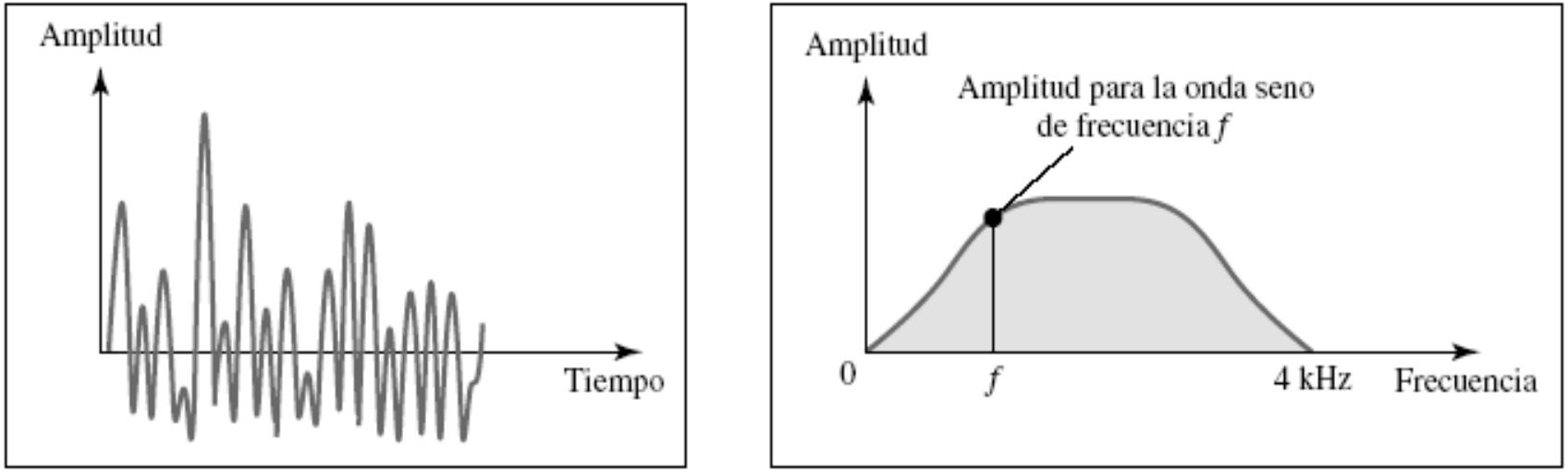
a. Descomposición en dominio del tiempo de una señal compuesta



b. Descomposición en dominio de frecuencia de la señal compuesta

Figura 3.11 ***Descomposición de una señal compuesta aperiódica en los Dominios de tiempo y frecuencia.***

La figura muestra una señal compuesta aperiódica. Puede ser la señal creada por un micrófono o un aparato de teléfono cuando se pronuncian una o dos palabras. En este caso, la señal compuesta no puede ser periódica, porque eso implica que estaríamos repitiendo la misma palabra o palabras exactamente con el mismo tono.



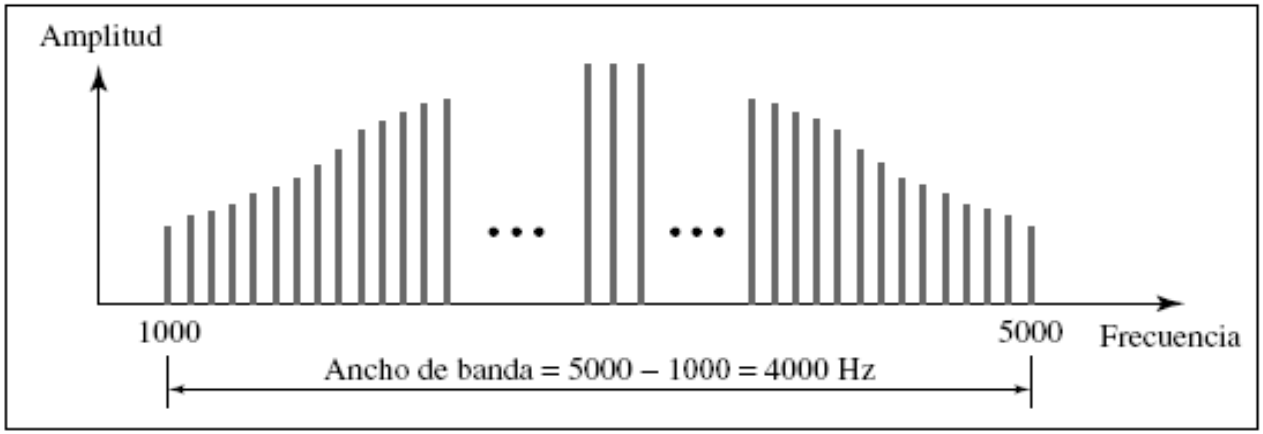
a. Dominio del tiempo **b. Dominio de frecuencia**

Figura 3.12 *Ancho de banda de señales compuestas periódicas y aperiódicas*

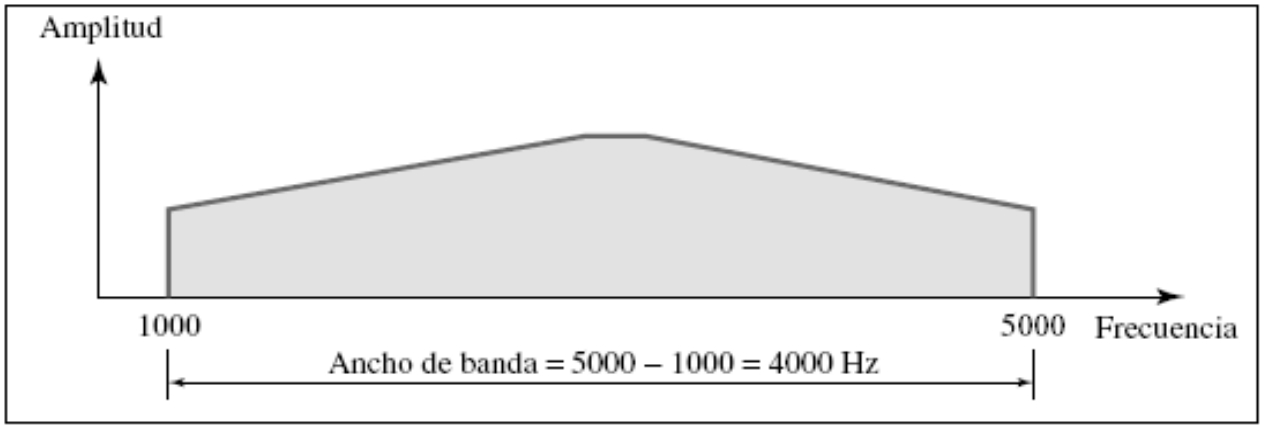
ANCHO DE BANDA:

- *El ancho de banda de una señal compuesta es la diferencia entre la frecuencia más alta y más baja contenida en una señal.*
- *Sea f_h la frecuencia alta f_l la frecuencia baja y B el ancho de banda.*

$$B = f_h - f_l$$



a. Ancho de banda de una señal periódica



b. Ancho de banda de una señal no periódica

Figura 3.13 *El ancho de banda del Ejemplo 3.10*

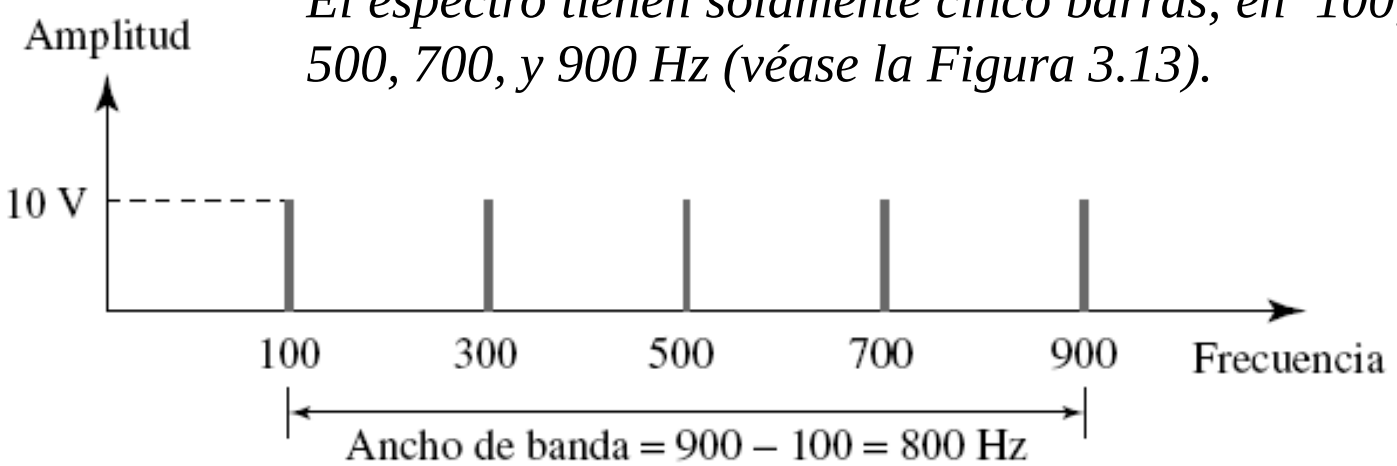
Si se descompone una señal periódica en cinco ondas seno con frecuencias 100, 300, 500,700 y 900 Hz, ¿cuál es su ancho de banda?. Dibuje el espectro, asumiendo que todos los componentes tienen una amplitud máxima de 10 voltios.

Solución

Sea f_h la frecuencia más alta, f_l y B el ancho de banda. Entonces,

$$B = f_h - f_l = 900 - 100 = 800 \text{ Hz}$$

El espectro tienen solamente cinco barras, en 100, 300, 500, 700, y 900 Hz (véase la Figura 3.13).



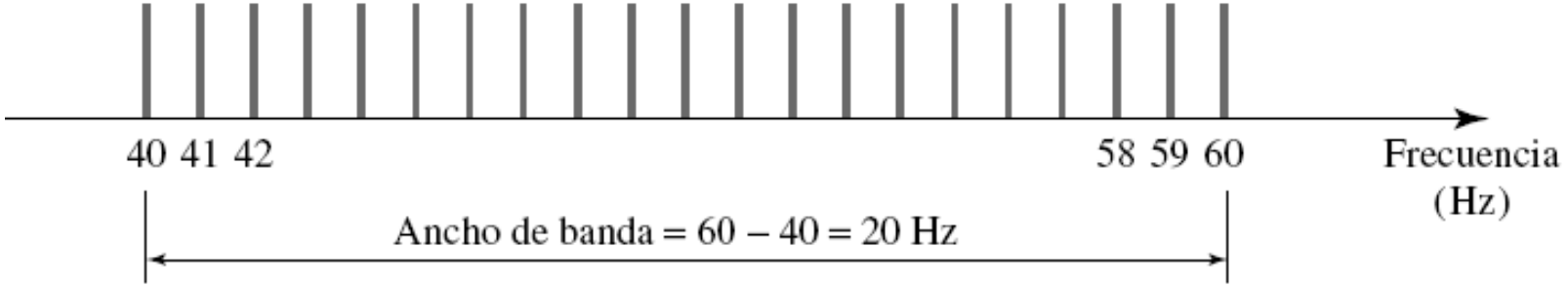
Una señal tiene un ancho de banda de 20 hz. la frecuencia más alta es 60 hz. ¿Cuál es la frecuencia más baja? Dibuje el espectro si la señal contiene todas la frecuencias integrales de la misma amplitud.

Solución

Sea f_h la frecuencia más alta, f_l la frecuencia más baja y B el ancho de banda. Entonces,

$$\boxed{B = f_h - f_l \quad \Rightarrow \quad 20 = 60 - f_l \quad \Rightarrow \quad f_l = 60 - 20 = 40 \text{ Hz}}$$

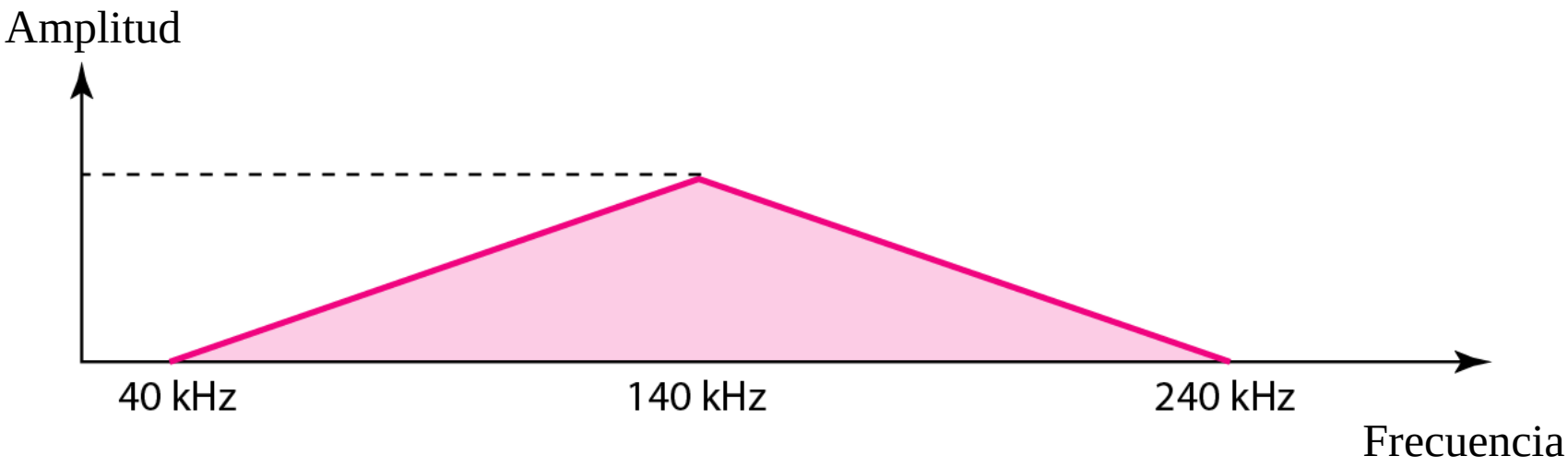
El espectro contiene todas la frecuencias integrales. se muestran mediante una serie de barras.



Una señal compuesta aperiódica tiene un ancho de banda de 200 kHz, con una frecuencia media de 140 kHz y una amplitud pico de 20 V. las dos frecuencias extremas tienen una amplitud de 0. Dibuje el dominio de frecuencia de la señal.

Solución

La frecuencia más baja debe estar en 40 kHz y la más alta en 240 khHz. la Figura 3.15 muestra el dominio de frecuencia y el ancho de banda.



Otro ejemplo de señal compuesta aperiódica es la señal recibida por un viejo televisor en blanco y negro.La pantalla del televisor está formada por píxeles. Si asumimos una resolución de 525 × 700, se tienen 367.500 píxeles por pantalla.

Si se refresca 30 veces por segundo, son 367.500 × 30 = 11.025.000 píxeles por segundo. El escenario con el caso pero es alternar píxeles blancos y negros. Se puede enviar 2 píxeles por ciclo.

Por tanto, son necesarios 11.025.000 / 2 = 5.512.500 ciclos por segundo, o Hz. El ancho de banda necesario es de 5,5125 MHz.

3-3 SEÑALES DIGITALES

Además de poder ser representados con una señal analógica, los datos también se pueden representar mediante una señal digital. Por ejemplo, un 1 se puede codificar como un voltaje positivo y un 0 como un voltaje cero. Una señal digital puede tener más de dos niveles. En este caso, se puede enviar más de 1 bit por cada nivel.

Temas a tratar en esta sección:

Tasa de bits (velocidad)
Intervalo de bit
La señal digital como una señal analógica compuesta
Transmisión de señales digitales

Si una señal tiene L niveles, cada nivel necesita $\log_2 L$ bits .

TASA DE BITS (velocidad):

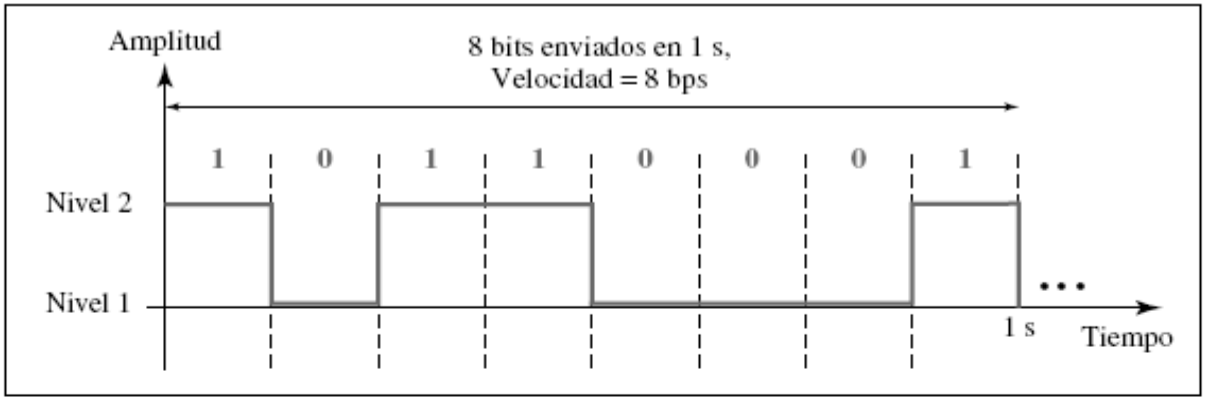
- Es el número de bits enviados en un segundo, expresado en bps (bits por segundo).

INTERVALO DE BITS:

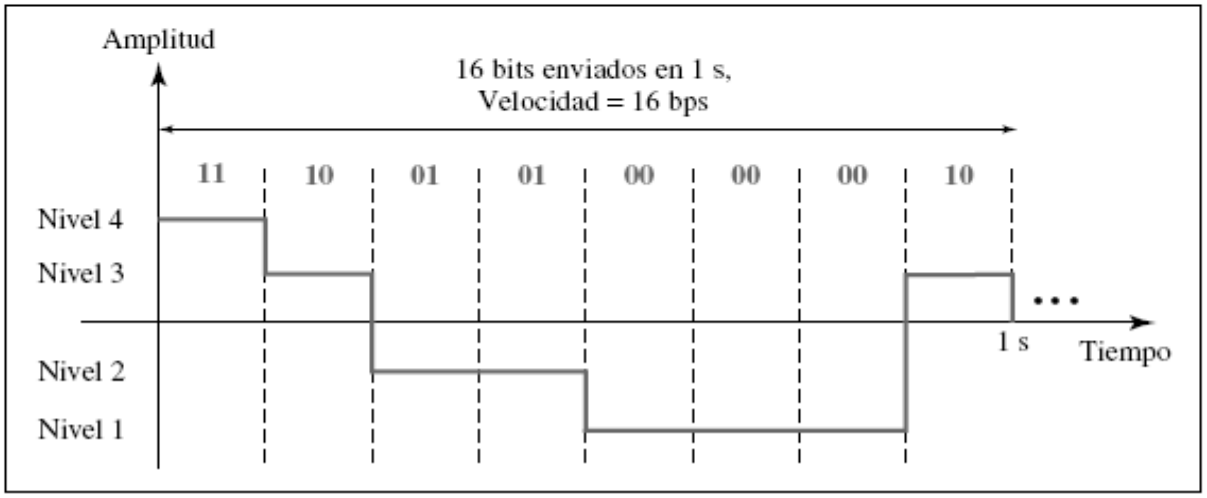
- Es la distancia que ocupa un bit en medio de la transmisión.

- Intervalo de bit = velocidad de propagación x duración del bit

Figura 3.16 ***Dos señales digitales: una con dos niveles de señal y otra con cuatro niveles.***



a. Una señal digital con dos niveles



b. Una señal digital con cuatro niveles

Una señal digital tiene ocho niveles. ¿Cuántos bits por nivel son necesarios? se calcula el número de bits a partir de la fórmula

$$\text{Número de bits por nivel} = \log_2 8 = 3$$

Cada nivel de señal se representa por 3 bits.

Asuma que necesitamos descargar documentos de texto a una velocidad de 100 páginas por minuto. ¿Cuál es la velocidad necesaria para el canal?

Solución

Una página tiene una media de 24 líneas con 80 caracteres cada una. si se asume que un carácter necesita 8 bits, la velocidad es

$$100 \times 24 \times 80 \times 8 = 1.636.000 \text{ bps} = 1{,}636 \text{ Mbps}$$

Un canal de voz digitalizada, como veremos en el Capítulo 4, se forma digitalizando una señal analógica de voz de 4 kHz. Es necesario muestrear la señal al doble de su frecuencia máxima (dos muestras por herzio). Se asume que cada muestra necesita 8 bits. ¿Cuál es la velocidad necesaria?

Solución

La tasa de bits se puede calcular como

$$2 \times 4000 \times 8 = 64.000 \text{ bps} = 64 \text{ Kbps}$$

¿Cuál es la velocidad necesaria para la TV de alta definición (HDTV)?

Solución

HDTV usa señales digitales para emitir señales de vídeo de alta definición. La pantalla de HDTV tiene normalmente una relación 16 : 9. Hay 1920 x 1080 píxeles por pantalla y la pantalla se refresca 30 veces por segundo. Un pixel de color se representa con 24 bits.

$$1920 \times 1080 \times 30 \times 24 = 1.492.992.000 \text{ bps o } 1{,}5 \text{ Gbps}$$

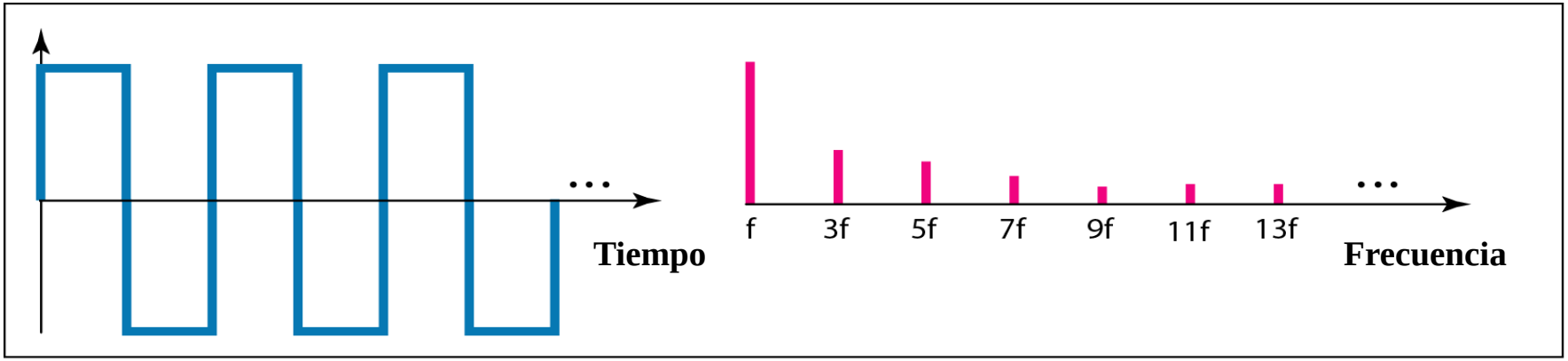
Las emisoras de TV reducen esta tasa a entre 20 y 40 Mbps usando compresion.

LA SEÑAL DIGITAL COMO UNA SEÑAL ANALÓGICA COMPUESTA:

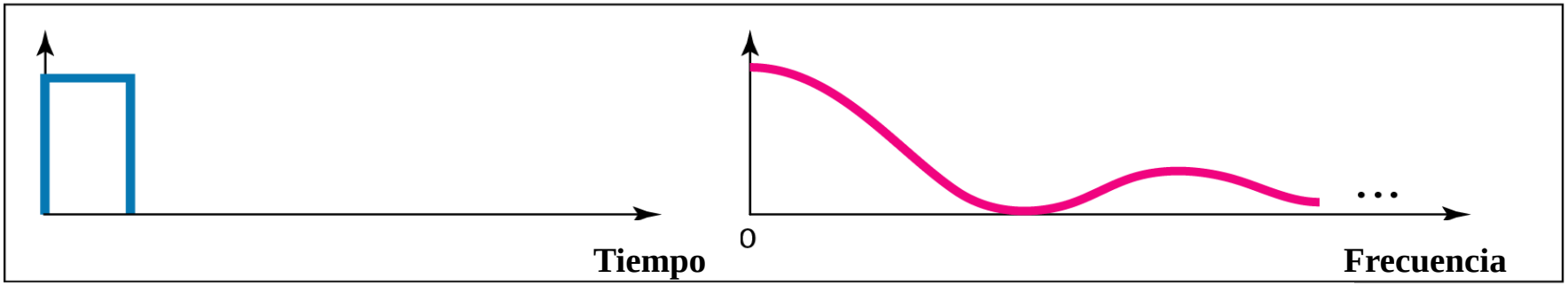
- Basándose en el análisis de Fourier, una señal digital es una señal analógica compuesta, con frecuencias entre cero e infinito.
- Si la señal digital es periódica, la señal descompuesta tiene una representación en el dominio de frecuencia con un ancho de banda infinito y frecuencias discretas.
- Si la señal es aperiódica, la señal descompuesta tiene una representación en el dominio de frecuencia con un ancho de banda infinito y frecuencias continuas.

Figura 3.17 *Dominio tiempo y frecuencia de señales digitales periódicas y aperiódicas*

Una señal digital es una señal analógica compuesta con un ancho de banda infinito y frecuencia discretas si la señal es período y frecuencias continuas si es aperíodica.



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



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

TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES

Transmisión banda base:

- Significa enviar una señal digital sobre un canal sin cambiar la señal digital a una señal analógica.
- Esta transmisión necesita la existencia de un canal paso bajo, un canal con un ancho de banda que comience en cero, este es el caso si se tiene un medio dedicado que tiene un único canal.
- El ancho de banda necesario es proporcional a la tasa de bits; si hace falta enviar los bits más rápido, se necesita más ancho de banda.

Dos casos:

1. Canal paso bajo con gran ancho de banda:
   - Aunque la señal de salida no es réplica exacta de la señal de origen, los datos se pueden deducir de la señal recibida.

Figura 3.18 *Transmisión banda base.*

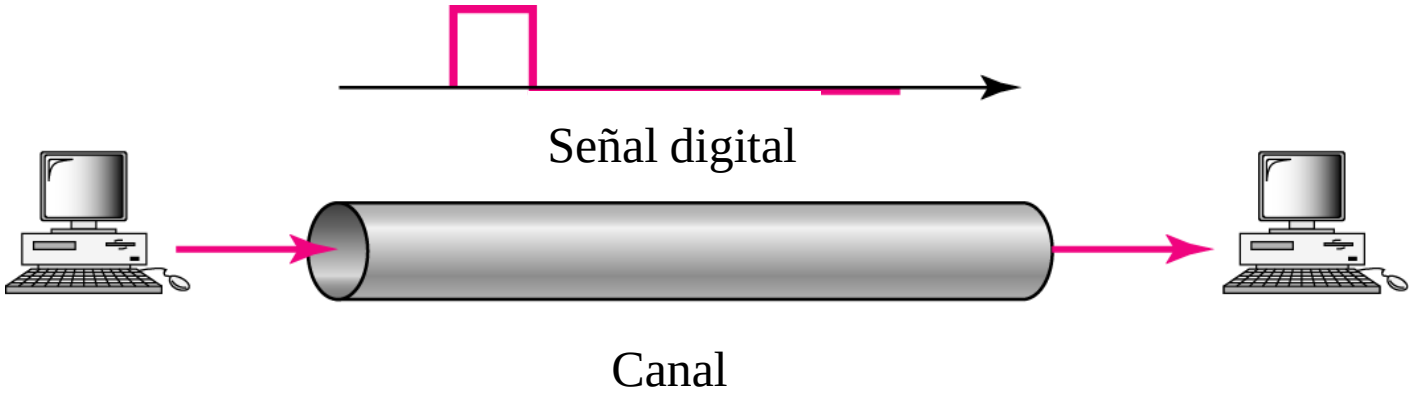
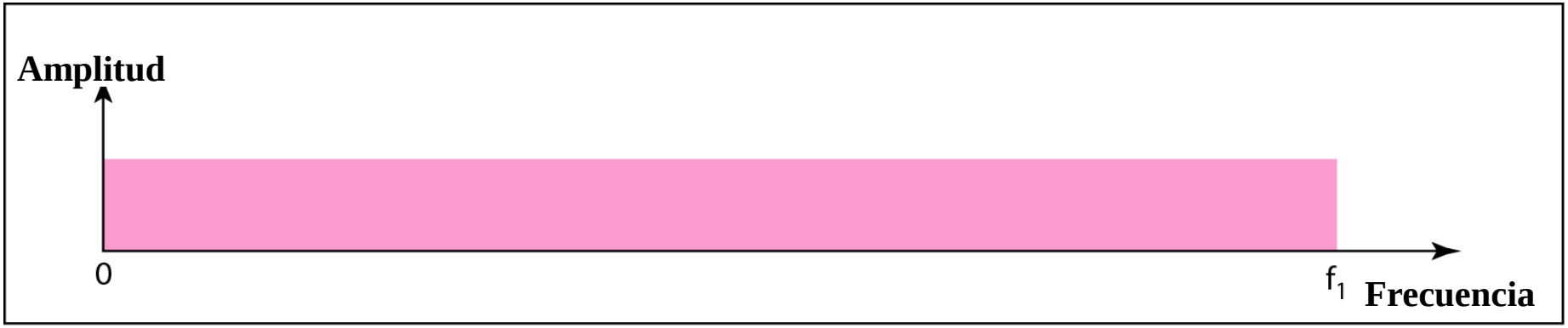


Figura 3.19 *Anchos de banda de dos canales paso bajo*



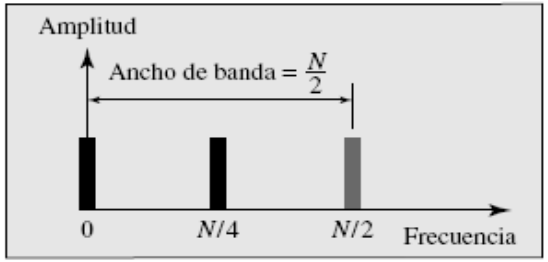
a. Canal paso bajo, ancho de banda amplio

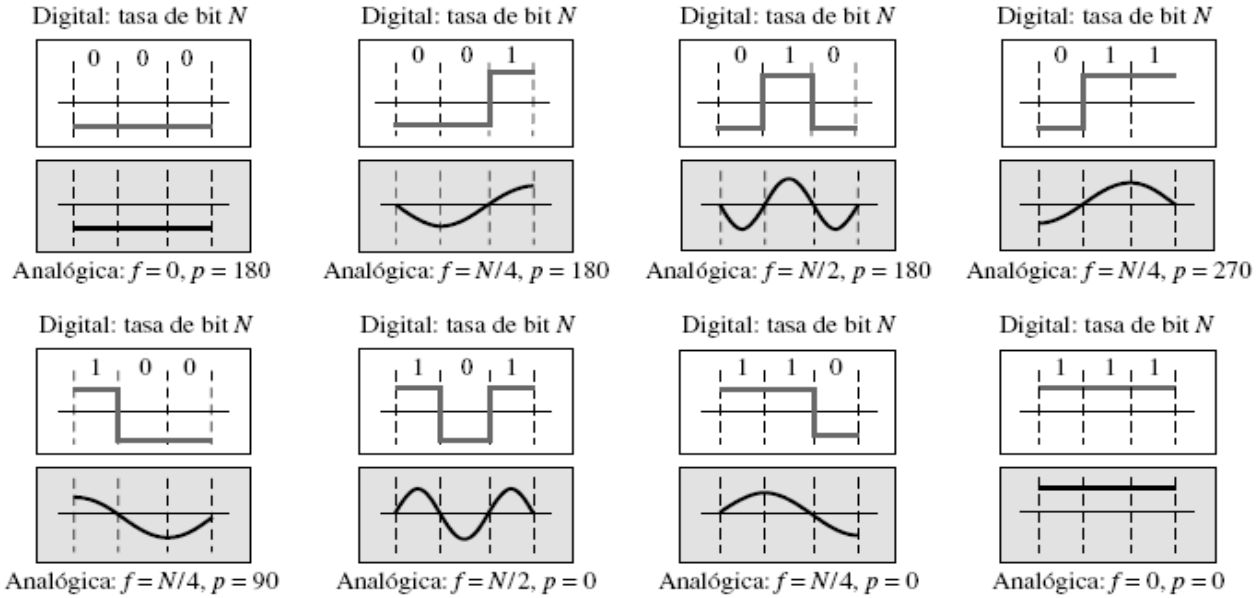
b. Canal paso bajo, ancho de banda estrecho

2. Canal paso bajo con ancho de banda limitado:

El nivel de aproximación depende del ancho de banda disponible.

- ***Aproximación burda: Señal con tasa de bits N.***
  - ***Se envían dos bits por ciclo.***
  - ***El canal debe manejar frecuencias 0, N/4 y N/2.***
  - ***El ancho de banda necesario es N/2.***





Aproximación burda de una señal digital usando el primer armónico para el caso peor.

- ***Aproximación mejor:***
  - ***Para hacer que la forma de la señal analógica se parezca más a la señal digital, es necesario añadir más armónicos.***
  - ***Es necesario aumentar el ancho de banda 3N/2, 5N/2, 7N/2,…***

En transmisión banda base, el ancho de banda necesario es proporcional a la tasa de bits; si hace falta enviar los bits más rápido, se necesita más ancho de banda.

Figura 3.22 ***Simulación de una señal digital con sus tres primeros armónicos.***

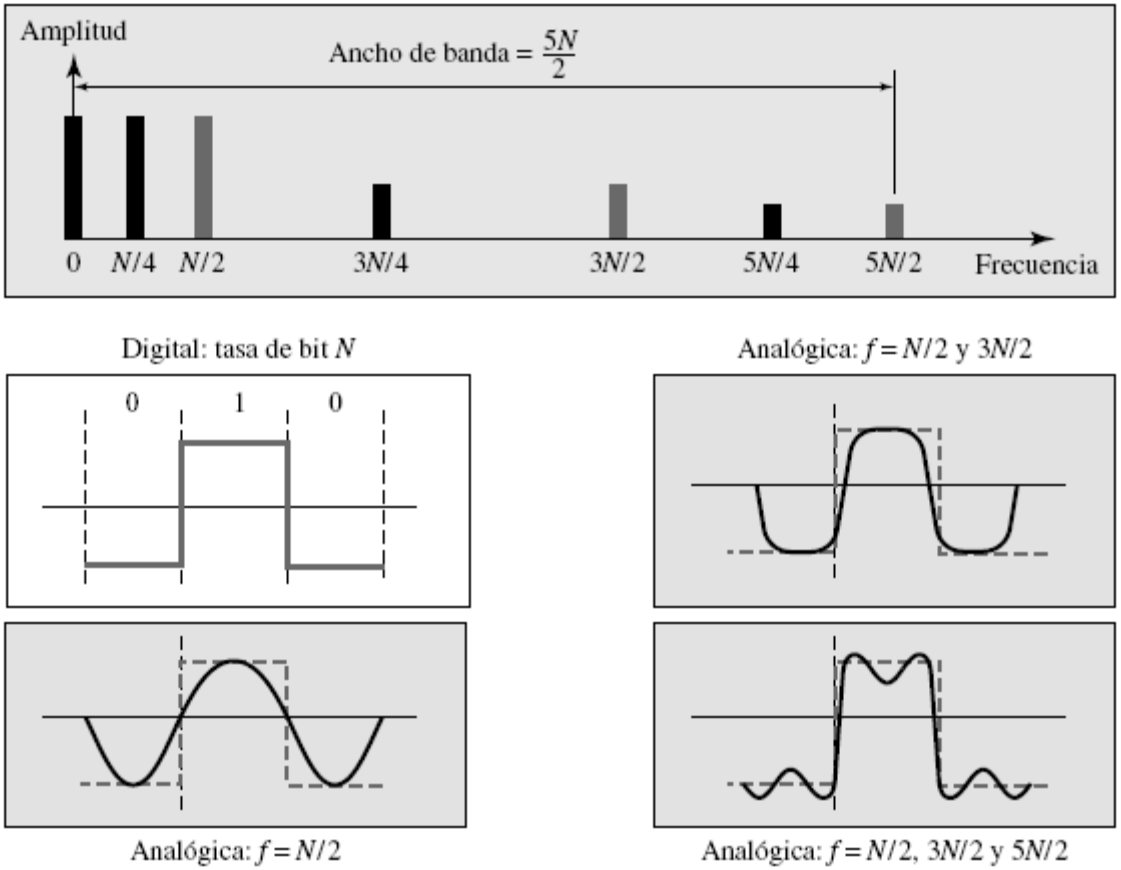
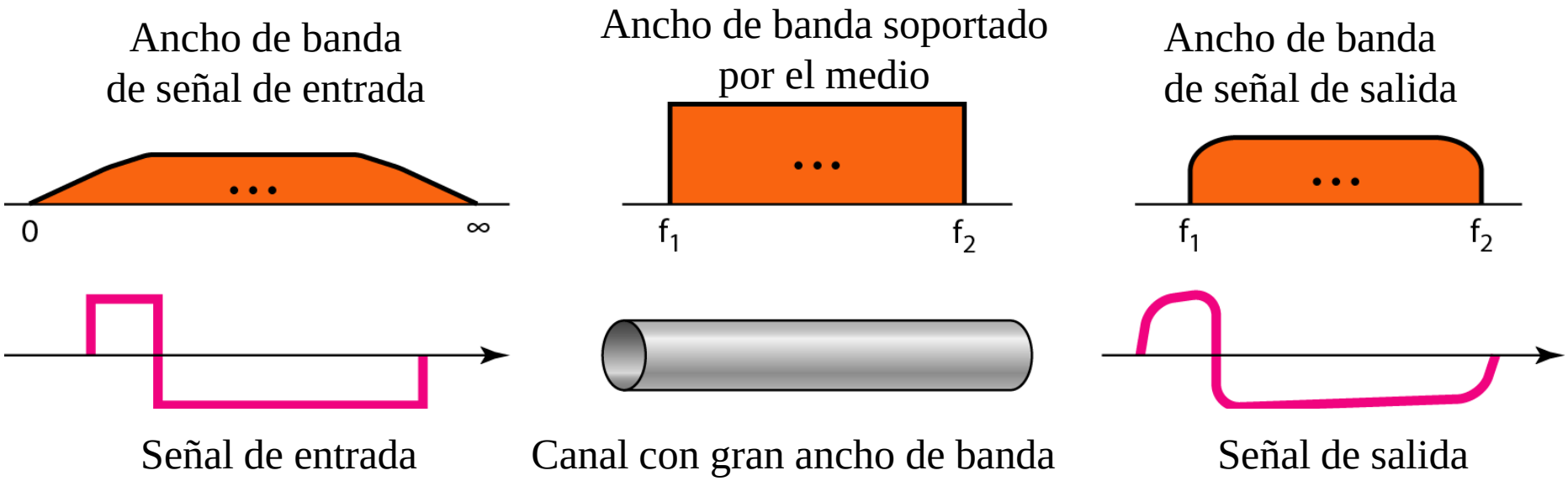


Figura 3.20 *Transmisión banda base usando un medio dedicado*



Un ejemplo de canal dedicado donde todo el ancho de banda del medio se usa como un único canal es una LAN.

Casi cada LAN cableada usa actualmente un canal dedicado para dos estaciones que se comunican entre sí.

En una LAN con topología de bus con conexiones multipunto, sólo dos estaciones se pueden comunicar entre sí simultáneamente (tiempo compartido); las otras estaciones deben evitar enviar datos.

En una LAN con topología de estrella, todo el canal entre las dos estaciones y el concentrador se usa para comunicar dos entidades.

Tabla 3.2 ***Requisitos de ancho de banda.***

Tasa de bit	*Armónico 1*	*Armónico 1, 3*	*Armónico 1, 3, 5*
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

¿Cuál es el ancho de banda necesario para un canal paso bajo si se necesita enviar 1 Mbps usando transmisión banda base?

Solución

La respuesta depende de la precisión deseada.

a. EL ancho de banda mínim, para una aproximación burda, es B = tasa de bit /2, o 500 kHz.

b. Se consigue un mejor resultado usando los armónicos primero y tercero, siendo el ancho de banda necesario

$B = 3 \times 500\ kHz = 1.5\ MHz.$

c. Se puede conseguir un resultado todavía mejor usando los armónicos primero, tercero y quinto con $B = 5 \times 500\ kHz = 2.5\ MHz.$

Si se tiene un canal paso bajo con un ancho de banda de 100 kHz. ¿Cuál es el máximo ancho de banda de ese canal?

Solución

La velocidad máxima se puede conseguir usando el primer armónico. La tasa de bits es 2 veces el ancho de banda disponible, o 200 kbps.

Transmisión banda ancha (usando modulación):

- Implica cambiar la señal digital modulando a una señal analógica para su transmisión, no se puede enviar directamente la señal digital al canal.

- Esta transmisión necesita la existencia de un canal paso banda, un canal con un ancho de banda que no comience en cero.

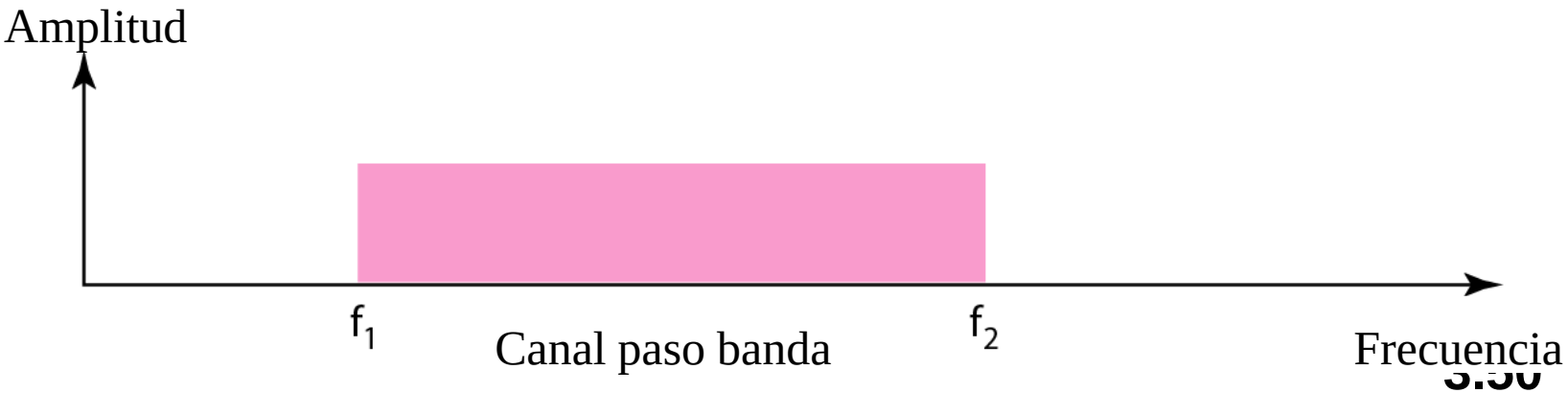
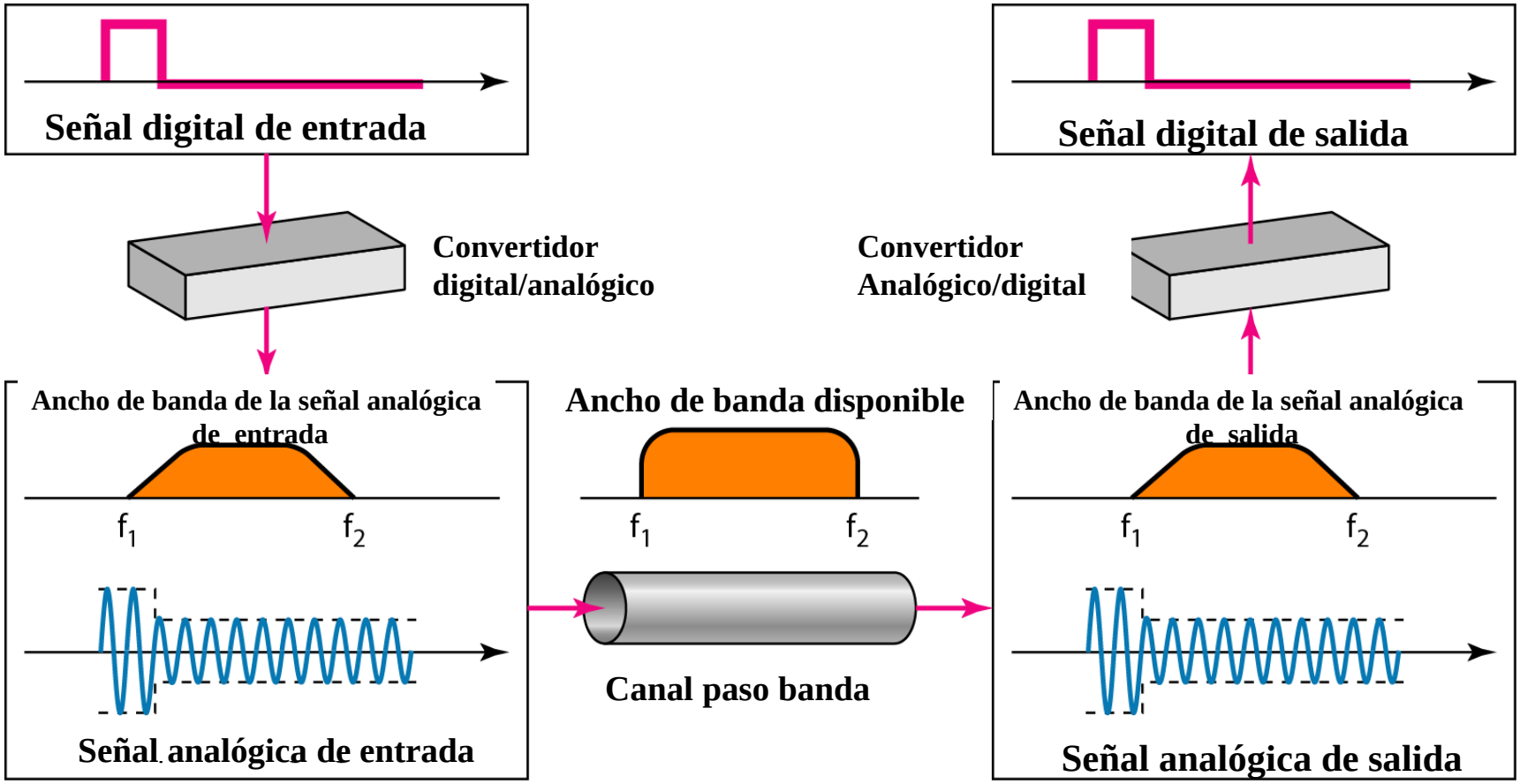


Figura 3.24 ***Modulación de una señal digital para la transmisión sobre un canal paso banda.***



Un ejemplo de transmisión banda ancha usando modulación es el envío de datos de una computadora a través de una línea telefónica, la línea que conecta a un residente con la oficina central de la telefónica. Estas líneas están diseñadas para transportar voz con un ancho de banda limitado. a solución es considerarlo un canal paso banda, convertir la señal digital de la computadora a una señal analógica y enviar la señal analógica. se pueden instalar dos convertidores para convertir la señal digital a analógica y viceversa en el receptor.En este caso, el convertidor se denomina ModEM (modulador/demodulador).

Un segundo ejemplo es el teléfono móvil digital. Para una mejor recepción, los teléfonos móviles convierten la señal analógica de la voz a una señal digital (véase el Capítulo 16). Aunque el ancho de banda asignado a una compañía que proporciona servicios de telefonía móvil es muy grande, todavía no se puede enviar la señal digital sin conversión. La razón es que sólo hay disponible un canal paso banda entre el que llama y el llamado. Es necesario convertir la señal digital de voz a una señal analógica compuesta antes de enviarla.

3-4 DETERIORO DE LA TRANSMISION

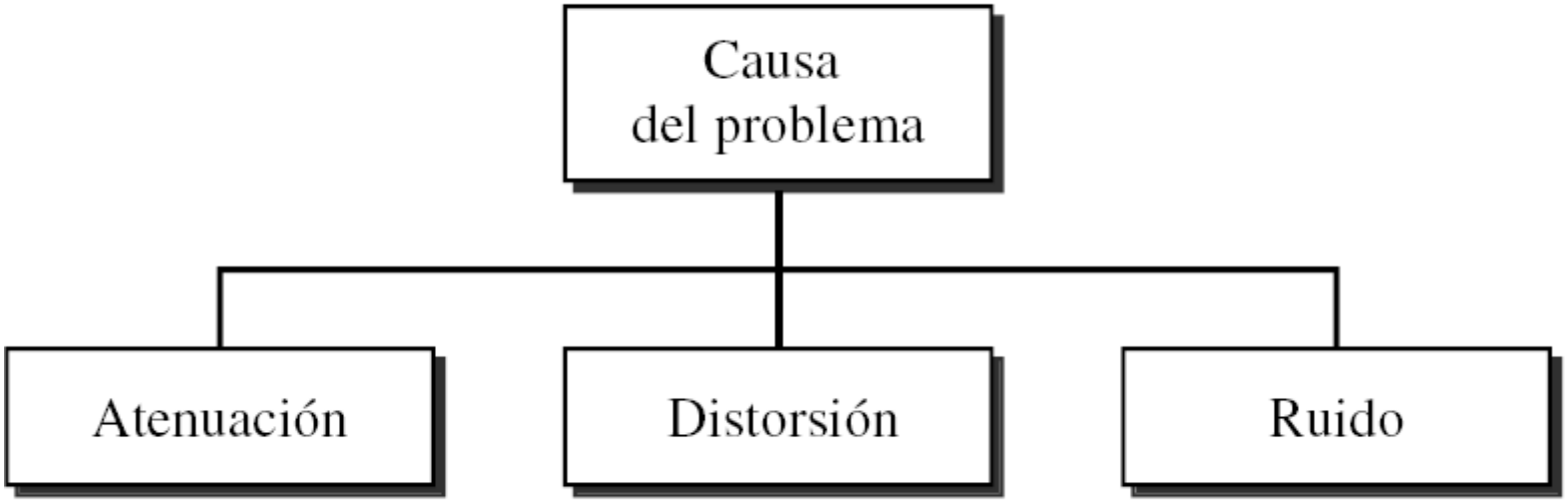
Las señales viajan a través de medios de transmisión, que no son perfectos. las imperfecciones pueden causar deterioros en las señales. Esto significa que la señal al principio y al final del medio es distinta. Lo que se ha enviado no es lo recibido.

Habitualmente ocurren tres tipos de deterioro: atenuación, distorsión y ruido.

Tema a tratar en esta sección

Atenuación
Distorsión
Ruido

Figura 3.25 *Tipos de deterioro.*



Atenuación:

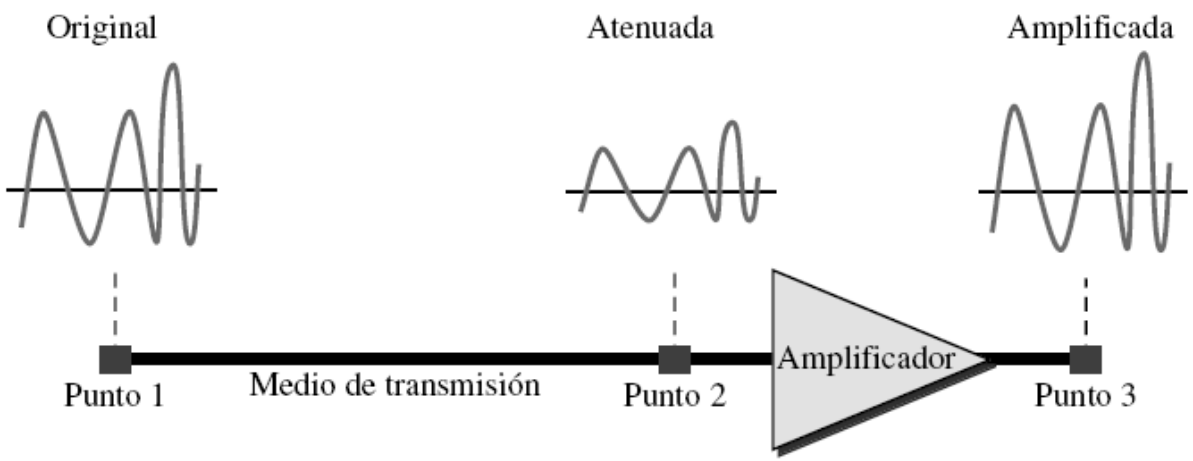
- ***Cuando una señal viaja a través de un medio, pierde energía para vencer la resistencia del medio (los cables que llevan señales eléctricas se calientan.***
- ***Para compensar esta pérdida se usan amplificadores de señal.***

Decibelios (dB):

o Concepto que mide las potencias relativas de dos señales o de una señal en dos puntos.

$dB = 10\log_{10} P_2/P_1$ ***si Px es la potencia en el punto x.***

$dB = 20\log_{10} V_2/V_1$ ***si Vx es el voltaje en el punto x. (La potencia es proporcional al cuadrado del voltaje)***



Imagine que la señal viaja a través de un medio de transmisión y que su potencia se reduce a la mitad. Esto significa que P2 = (1/2) P1. En este caso, la atenuación (pérdida de señal) se puede calcular como

$$10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} \frac{0.5 P_1}{P_1} = 10 \log_{10} 0.5 = 10(-0.3) = -3 \text{ dB}$$

Una pérdida de 3 dB (-3 dB), es equivalente a perder la mitad de potencia.

Una señal pasa a través de un amplificador y su potencia se incrementa 10 veces. Esto significa que P2 = 10 P1. En este caso la amplificación (ganancia) se puede calcular como

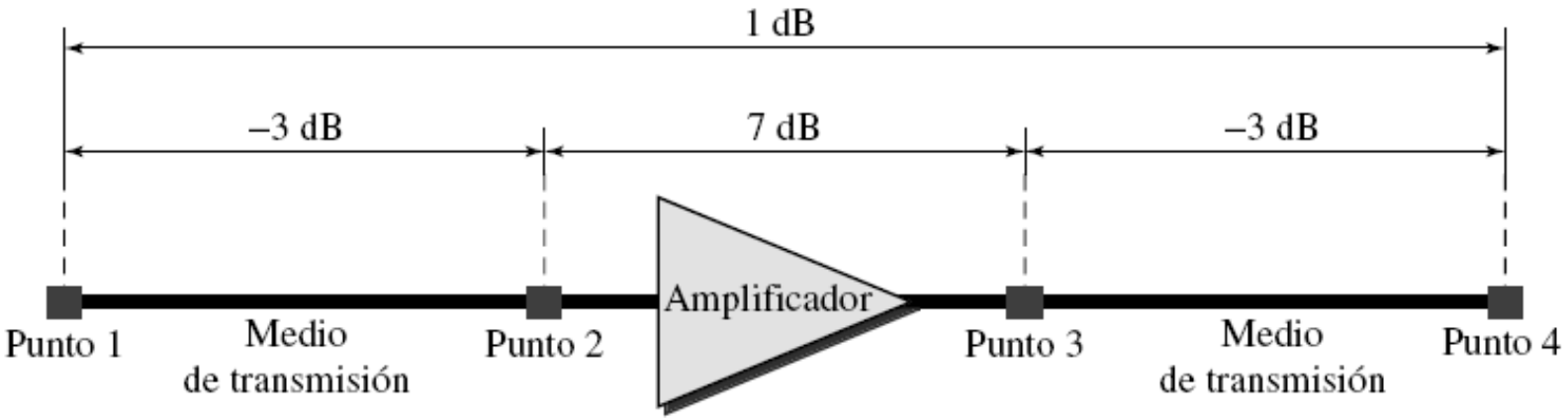
$$10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} \frac{10 P_1}{P_1}$$

$$= 10 \log_{10} 10 = 10(1) = 10 \text{ dB}$$

Una de las razones por la que los ingenieros usan los decibelios para medir los cambios de potencia de una señal es que los números decibelios se pueden sumar (o restar) cuando se miden varios puntos en lugar de dos (cascada). La Figura 3.27 muestra una señal que viaja una larga distancia desde el punto 1 al punto 4. En este caso, los decibelios se pueden calcular como

$$\boxed{\mathrm{dB} = -3 + 7 - 3 = +1}$$

Figura 3.27 *Decibelios para el ejemplo 3.28.*



A veces, el decibelio se usa para medir la potencia de la señal en milivatios. En este caso, se indica como dBm y se calcula como dBm = 10 log10(Pm), donde Pm es la potencia en milivatios. Calcule la potencia de una señal si dBm = -30.

Solución

Se calcula la potencia de la señal como

$$\mathrm{dB}_m = 10\log_{10}(P_m) = -30$$

$$\log_{10}(P_m) = -3 \qquad P_m = 10^{-3}\ \mathrm{mW}$$

La pérdida en un cable se define habitualmente en decibelios por kilómetro (dB/km). si la señal al principio del cable son -0,3 dB/km tiene una potencia de 2 mW, ¿Cuál es la potencia de la señal a los 5 km?

Solución

La pérdida en el cable es 5 × (-0,3) = -1,5 dB. se puede calcular la potencia como

$$\mathrm{dB} = 10\log_{10}\frac{P_2}{P_1} = -1{,}5$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 10^{-0{,}15} = 0{,}71$$

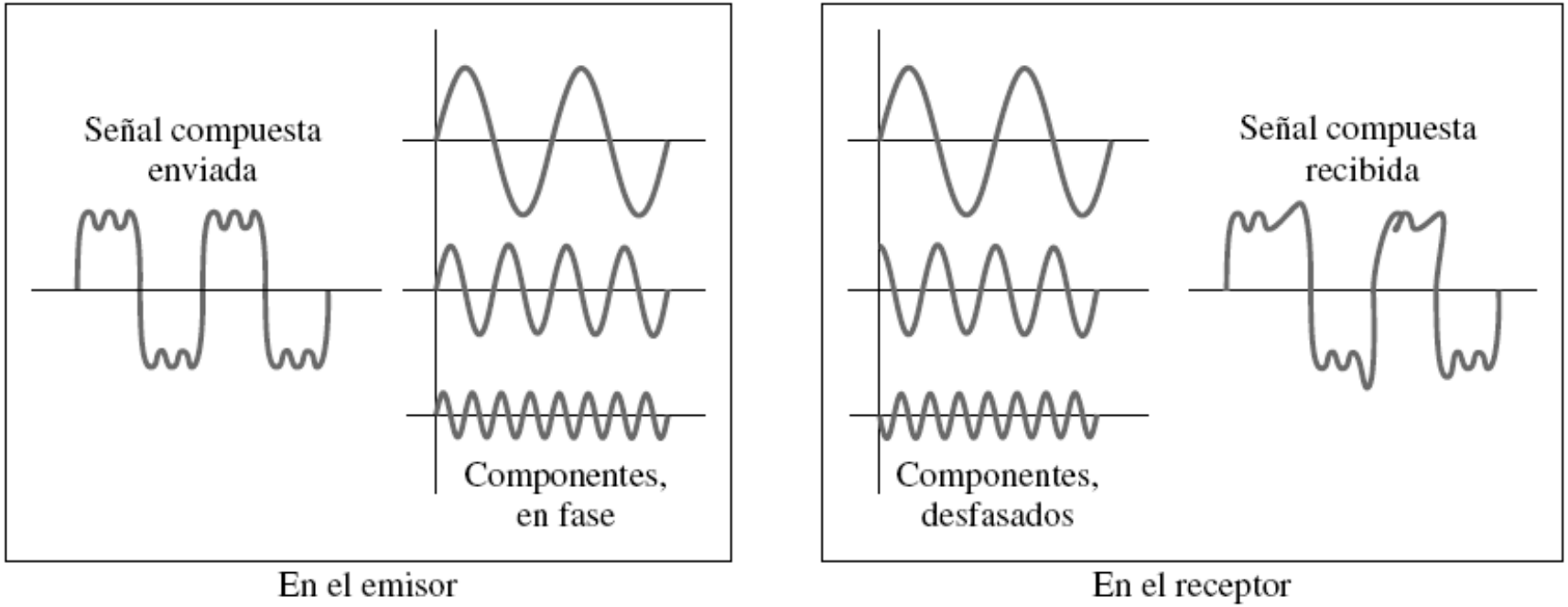
$$P_2 = 0{,}71P_1 = 0{,}7\times 2 = 1{,}4\,\mathrm{mW}$$

Figura 3.28 *Distorsión*

Distorsión:

- Significa que la señal cambia su forma de onda.

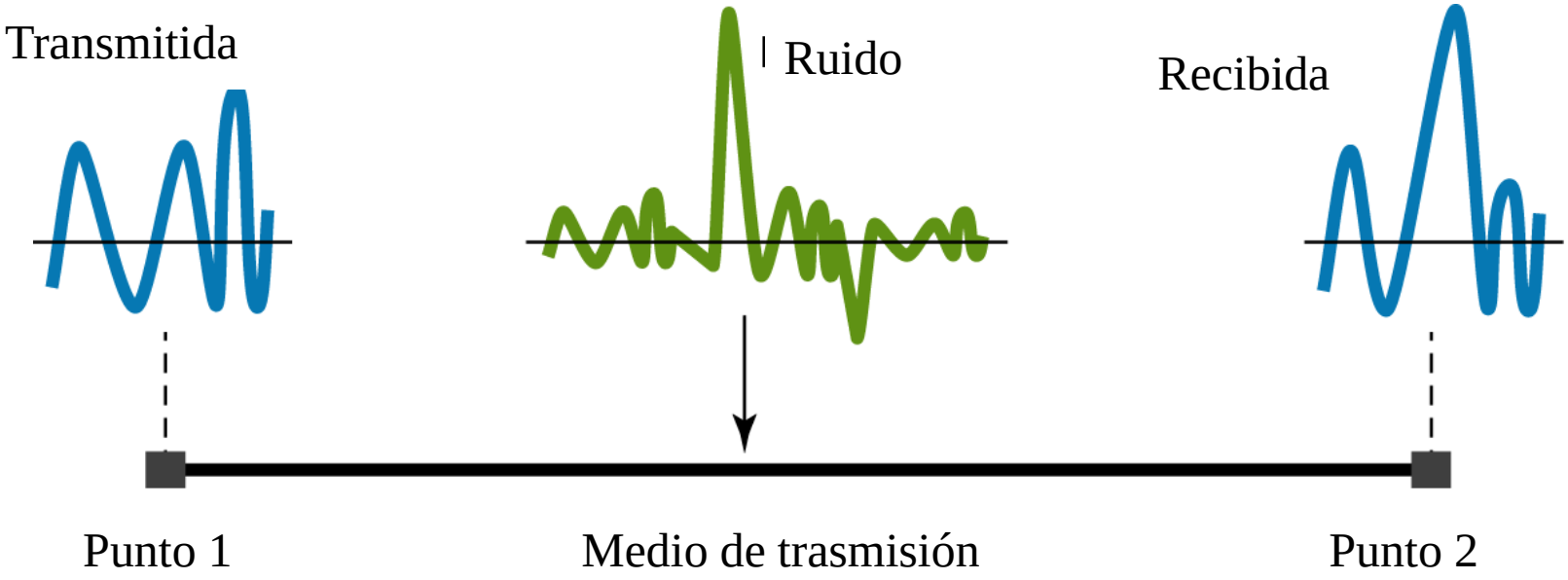
- Ocurre en una señal compuesta formada por distintas frecuencias, debido a desfases en los armónicos en el receptor.



Ruido:

- **Térmico:** Debido al movimiento aleatorio de electrones en un cable que crea una señal extra no enviada originalmente por el transmisor.
- **Inducido:** Debido a fuentes externas como motores o electrodomésticos, actuando como antenas emisoras y el medio de transmisión como antenas receptoras.
- **Cruces:** Igual que el inducido, pero debido al efecto de un cable sobre otro.
- **Impulso:** Es un pico que viene de líneas de potencia, iluminación, etc.
- **Razón entre señal y ruido (SNR):**
  - o SNR = $potencia\ media\ de\ la\ señal\ /\ potencia\ media\ del\ ruido$
  - o $SNR_{dB} = 10.\log_{10}SNR$, descrito en decibelios.

Figura 3.29 *Ruido*



La potencia de una señal es 10 mW y la potencia del ruido es 1 µW; ¿Cuáles son los valores de SNR y de SNR_{dB}?

Solución

Los valores SNR y de SNR_{dB} se pueden calcular como sigue:

$$\mathrm{SNR} = \frac{10.000\,\mu\mathrm{W}}{1\,\mathrm{mW}} = 10.000$$

$$\mathrm{SNR}_{\mathrm{dB}} = 10\log_{10} 10.000 = 10\log_{10} 10^4 = 40$$

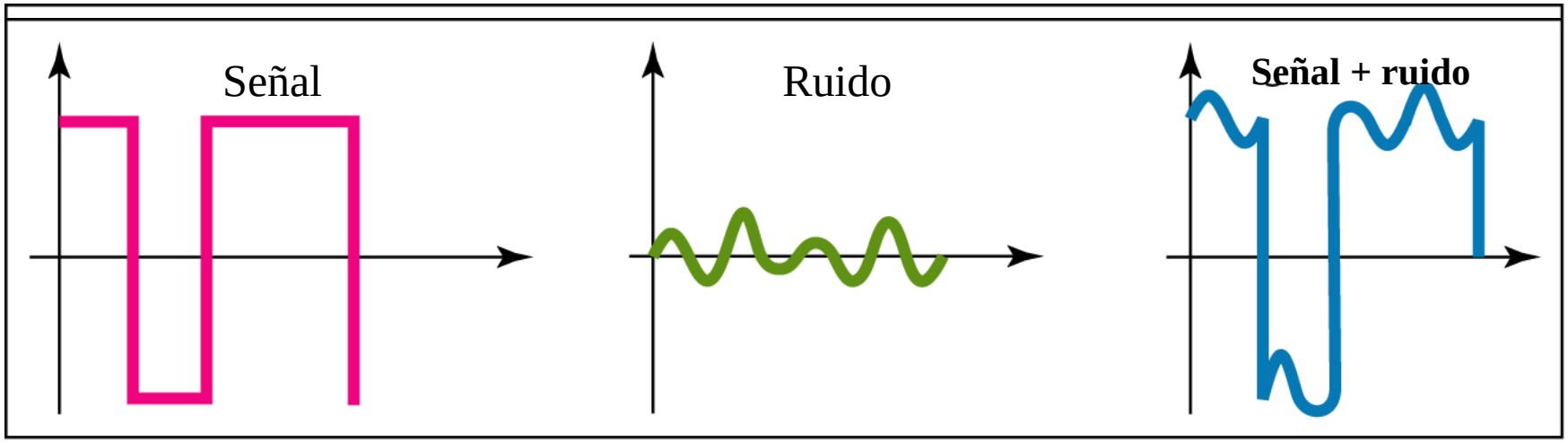
Los valores de SNR y SNR_{dB} para un canal sin ruido son

$$\mathrm{SNR} = \frac{\text{potencia señal}}{0} = \infty$$

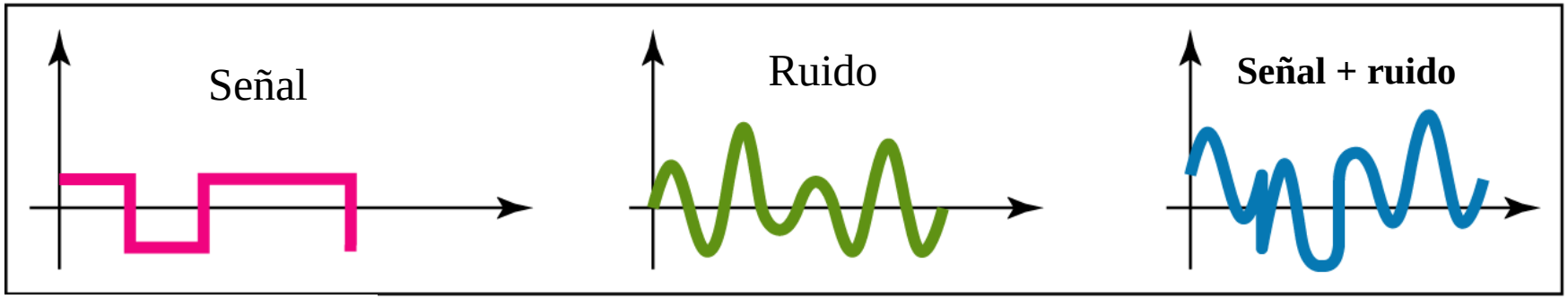
$$\mathrm{SNR}_{\mathrm{dB}} = 10\log_{10}\infty = \infty$$

No se puede conseguir esta ratio en al vida real; es un ideal.

Figura 3.30 *Dos casos de SNR: una SNR alta y una baja SNR*



a. SNR grande



b. SNR pequeña

3-5 LÍMITES DE LA VELOCIDAD DE DATOS

Una consideración importante en la transmisión de datos es lo rápido que se pueden enviar por un canal, en bits por segundo. La velocidad de los datos depende de tres factores:

1. *El ancho de banda disponible.*
2. *Los niveles de señal que se usan.*
3. *La calidad del canal (el nivel de ruido).*

Temas a tratar en esta sección

Canal sin ruido: Tasa de bists de Nyquist
Canal con ruido:Capacidad de Shannon
Usando ambos límites

LÍMITES DE LA VELOCIDAD DE DATOS:

o La velocidad de los datos depende de tres factores:

- El ancho de banda.
- Los niveles de señal que se usan.
- La calidad del canal (el nivel de ruido).

o Canal sin ruido: Tasa de bits de Nyquist:

- Determina la máxima tasa de datos teórica para un canal sin ruido.
- $TasaDeBits$=2x$ancho_banda$x$\log_2 L$

  Donde *L es el número de niveles de señal, para representar datos.*
- Incrementar los niveles de la señal reduce la fiabilidad del sistema.
- Define una característica del método de transmisión.

Considere un canal sin ruido con un ancho de banda de 3000 Hz transmitiendo una señal con dos niveles. La velocidad máxima se puede calcular como

$$\text{TasadeBits} = 2 \times 3000 \times \log_2 2 = 6000 \text{ bps}$$

Considere el mismo canal sin ruido transmitiendo una señal con 4 nivles (por cada nivel se envían 2 bits). La velcocidad máxima se puede calcular como

$$\text{TasadeBits} = 2 \times 3000 \times \log_2 4 = 12.000 \text{ bps}$$

Sea un canal extremadamente ruidoso en el cual el valor de la relación señal-ruido es así cero. En otras palabras, el ruido es tan alto que la señal es muy débil. Para este canal, la capacidad C se calcula como:

$$C = B \log_2 (1 + \mathrm{SNR}) = B \log_2 (1 + 0) = B \log_2 1 = B \times 0 = 0$$

Esto significa que la capacidad de este canal es 0 independientemente de su ancho de banda. En otras palabras, no se pueden recibir datos a través de este canal.

Vamos a calcular la tasa de bit máxima teórica para una línea telefónica regular. Una línea telefónica tiene habitualmente un ancho de banda de 3000 Hz (300 Hz a 3300 Hz). La razón ruido-señal es habitualmente 3162 (35 dB). La capacidad de este canal se calcula como

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) = 3000 \log_2 (1 + 3162) = 3000 \log_2 (3163)$$
$$= 3000 \times 11{,}62 = 34.860 \text{ bps}$$

Esto significa que la tasa de bit máxima para una línea telefónica es 34,860 Kbps. Si se quiere enviar datos más rápido sería necesario incrementar el ancho de banda de la línea o mejorar la razón ruido-señal.

La razón señal-ruido se expresa a menudo en decibelios. Asuma que SNR_{dB} = 36 y que el ancho de banda del canal es 2 MHz.

La capacidad teórica del canal se puede calcular como

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} SNR \rightarrow SNR = 10^{SNR_{dB}/10} \rightarrow SNR = 10^{3,6} = 3981$$

$$C = B \log_2 (1+SNR) = 2 \times 10^6 \times \log_2 3982 = 24 \text{ Mbps}$$

Para propósitos prácticos, cuando el SNR es muy alto, se puede asumir que SNR + 1 es casi la misma que SNR. En estos casos, la capacidad teórica del canal se puede simplificar como

$$C = B \times \frac{\mathrm{SNR}_{\mathrm{dB}}}{3}$$

Por ejemplo, se puede calcular la capacidad teórica del ejemplo anterior como

$$C = 2\ \mathrm{MHz} \times \frac{36}{3} = 24\ \mathrm{Mbps}$$

Canal con ruido: Capacidad de Shannon:

- Determina la máxima tasa de datos teórica para un canal con ruido.
- $Capacidad$= ancho$banda$ x$\log_2(1+SNR)$

  Donde SNR es la razón señal-ruido

  Capacidad es la capacidad del canal en bits por segundo

- Define una característica del canal no del método de transmisión.

Usando ambos límites:

- En la práctica, es necesario usar ambos métodos para encontrar los límites y los niveles de la señal.
- La capacidad de Shannon nos da el límite superior.
- La fórmula de Niquist nos dice cuantos niveles de señal son necesarios.

3-6 PRESTACIONES

Un aspecto importante en redes son las prestaciones (rendimiento) de la red— ¿cómo es de buena?

Temas a tratar en esta sección:

Ancho de banda
Rendimiento (Throughput)
Latencia (Retraso)
Producto ancho de banda- Retraso

PRESTACIONES:

Un aspecto importante en redes son las prestaciones o rendimiento de la red.

- **Ancho de banda:**

  En redes se usa el término ancho de banda en dos contextos:

  - ✓El primero, ancho de banda en Hz, es el rango de frecuencias contenidas en una señal compuesta o el rango de frecuencias que un canal puede pasar.
  - ✓El segundo, ancho de banda en bps, se refiere a la velocidad de transmisión de bits en un canal o enlace.

- **Rendimiento (Throughput):**

  Mide lo rápido que se pueden enviar datos realmente a través de una red.

El ancho de banda es una medida potencial de un enlace, el rendimiento es la medida real de lo rápido que se pueden enviar los datos.

Latencia (retraso):

Define cuanto tarda un mensaje en llegar a su destino desde el momento en que el primer bit es enviado por el origen.

Latencia = tiempo de propagación + tiempo de transmisión + tiempo de encolamiento + retraso de procesamiento.

Tiempo de propagación:

Mide el tiempo necesario para que un bit viaje del origen al destino.

- $Tiempo\ de\ propagación = Distancia\ /\ Velocidad\ de\ propagación$

La velocidad de propagación depende del medio físico y de la frecuencia de la señal.

Tiempo de transmisión:

Mide el tiempo necesario en enviar el mensaje completo.

- $Tiempo\ de\ transmisión = Tamaño\ del\ mensaje\ /\ Ancho\ de\ banda$

Tiempo de encolamiento:

Mide el tiempo necesario para que casa dispositivo intermedio o terminal mantenga el mensaje en espera antes de que pueda ser procesado.

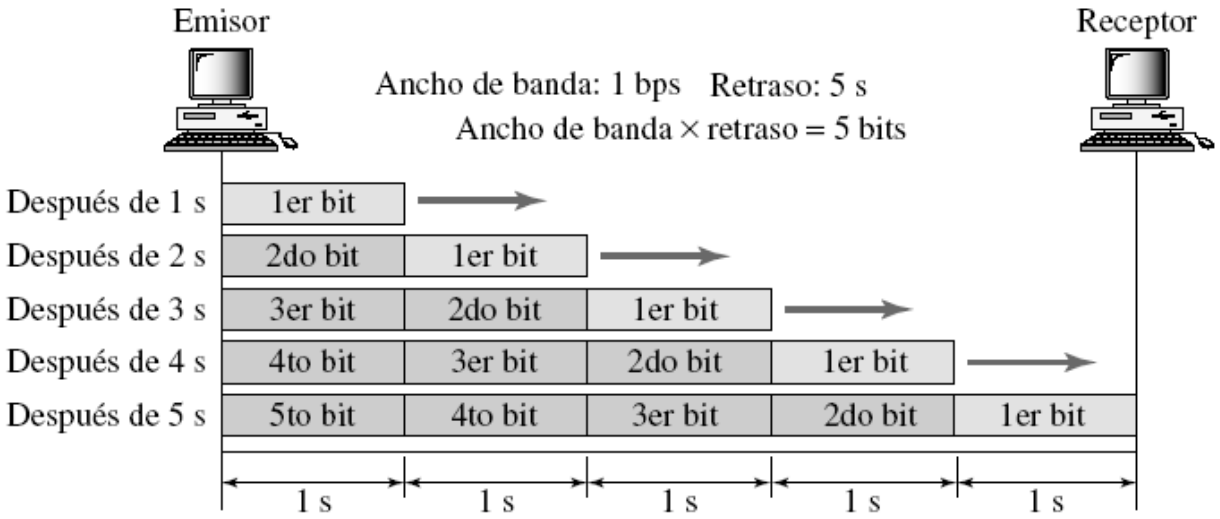
El tiempo de encolamiento es un factor variable.

Producto ancho de banda – Retraso:

- Son dos medidas de rendimiento de un enlace.
- El producto de ambos es importante en transmisión de datos.
- Define el número de bits que pueden llenar el canal.

Retraso variable (Jitter):

- Se refiere a la variación en el tiempo de llegada de los paquetes.
- Es un problema si distintos paquetes de datos llegan con distintos retrasos y la aplicación que usa los datos en lado del receptor es sensible al tiempo.



Se puede pensar en el enlace entre dos puntos como en una tubería. La sección transversal de la tubería representa el ancho de banda y la longitud el retraso. se puede decir que el volumen de la tubería define el producto ancho de banda-retraso, como se muestra en la figura.

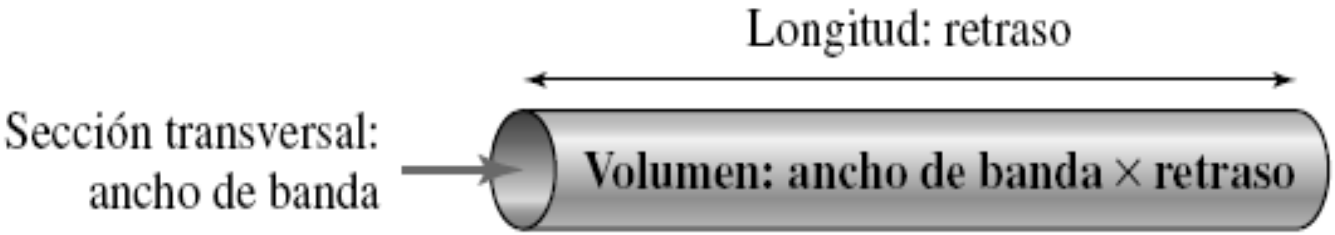
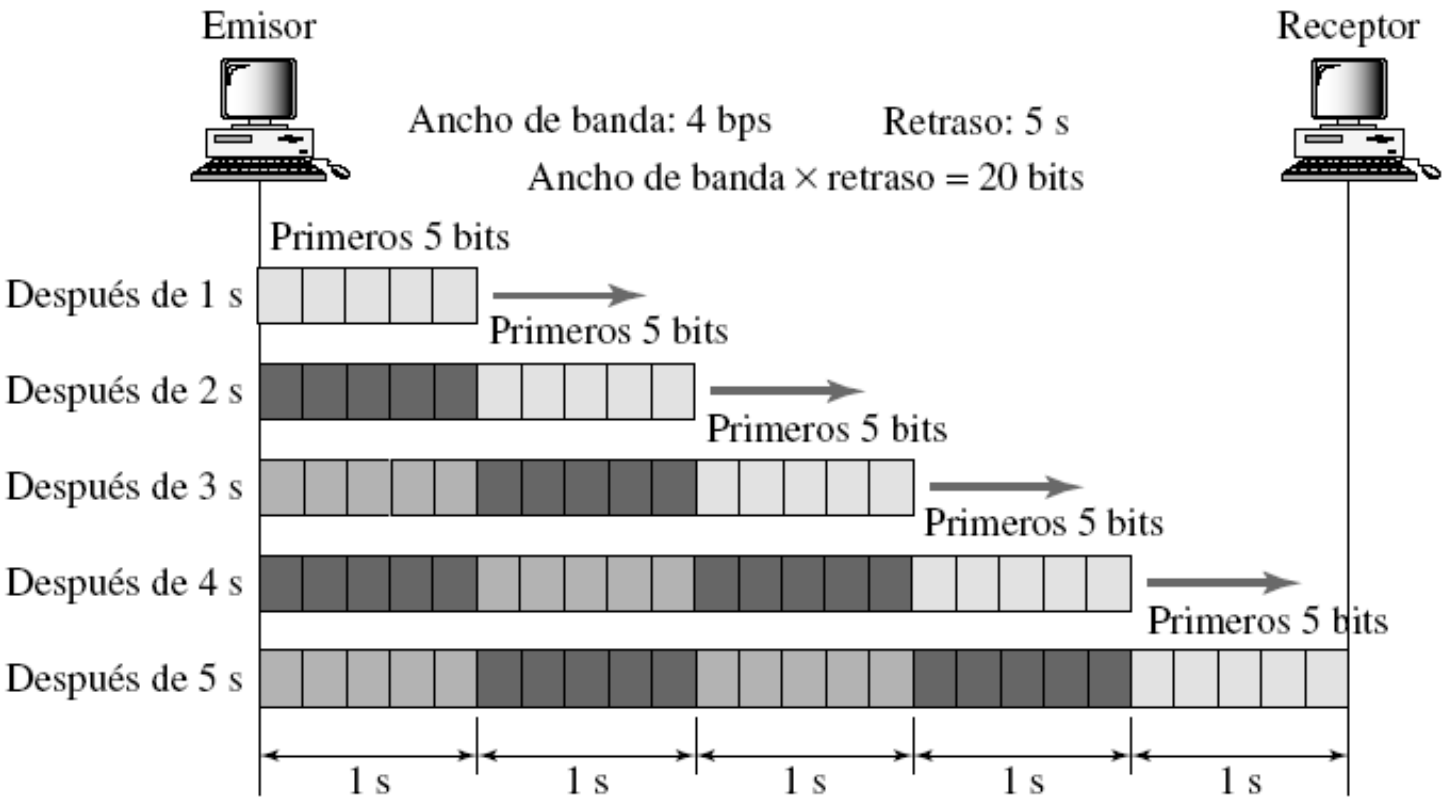


Figura 3.32 *Llenando el enlace de bits para el caso 2.*



El ancho de banda de una línea telefónica de abonado es 4 kHz para voz o datos. El ancho de banda de esta línea para transmisión de datos puede llegar hasta 56.000 bps usando un sofisticado MODEM para convertir la señal digital y analógica..

Si la compañía telefónica mejora la calidad de la línea e incrementa el ancho de banda a 8 kHz, se pueden enviar 112.000 bps usando la misma tecnología que se explicó en el Ejemplo 3.42.

Una red con un ancho de banda de 10 Mbps puede pasar sólo una media de 12.000 tramas por minuto, con cada trama llevando una media de 10.000 bits. ¿Cuál es el rendimiento de esta red?

Solución

Se puede calcular el rendimiento como

$$\text{Rendimiento} = 12.000 \times 10.000 / 60 = 2 \text{ Mbps}$$

En este caso, el rendimiento es casi un quinto del ancho de banda.

¿Cuál es el tiempo de propagación si la distancia entre dos puntos es 12.000 km? Asuma que la velocidad de propagación es 2,4 × 108 m/s en el cable.

Solución

Se puede calcular el tiempo de propagación como

$$\text{Tiempo de propagación} = \frac{12.000 \times 1000}{2,4 \times 10^8} = 50\,\text{m}$$

El ejemplo muestra que un bit puede cruzar el Océano Atlántico en sólo 50 ms si hay una cable directo entre el origen y el destino.

¿Cuál es el tiempo de propagación y el de transmisión para un mensaje de 2,5 kbytes (un e-mail) si el ancho de banda de la red es 1 Gbps? Asuma que la distancia entre el emisor y el receptor es 12.000 km y que la luz viaja a $2,4 \times 10^8$ m/s.

Solución

Se pueden calcular los tiempos de propagación y el de transmisión como

$$\text{Tiempo de propagación} = \frac{12.000 \times 1000}{2,4 \times 10^8} = 50\,\text{ms}$$

$$\text{Tiempo de transmisión} = \frac{2.500 \times 8}{10^9} = 0,020\,\text{ms}$$

Observe que en este caso, debido a que el mensaje es corto y el ancho de banda es alto, el factor dominante es el tiempo de propagación, no el tiempo de transmisión. El tiempo de transmisión se puede ignorar.

¿Cuál es el tiempo de propagación y el de transmisión para un mensaje de 5 Mbytes (una imagen) si el ancho de banda de la red es 1 Mbps? Asuma que la distancia entre el emisor y el receptor es 12.000 km y que la luz viaja a 2,4 × 108 m/s.

Solución

Se pueden calcular los tiempos de propagación y el de transmisión como

$$\text{Tiempo de propagación} = \frac{12.000 \times 1000}{2,4 \times 10^8} = 50\,\text{ms}$$

$$\text{Tiempo de transmisión} = \frac{5.000.000 \times 8}{10^6} = 40\,\text{s}$$

Observe que en este caso, debido a que el mensaje es muy largo y el ancho de banda no es muy alto, el factor dominante es el tiempo de transmisión, no el tiempo de propagación. El tiempo de propagación se puede ignorar.