

---

## CAPÍTULO 4

### *Señales*

Uno de los aspectos fundamentales del nivel físico es transmitir información en forma de señales electromagnéticas a través de un medio de transmisión. Tanto si se están recolectando estadísticas numéricas de otra computadora, como si se están enviando gráficos animados desde una estación de diseño o haciendo sonar un timbre en un centro de control distante, se está realizando transmisión de *información* a través de conexiones de red. La información puede ser voz, imagen, datos numéricos, caracteres o **código**, cualquier mensaje que sea legible y tenga significado para el usuario destino, tanto si es humano como si es una máquina.

La información puede estar en forma de datos, voz, pintura, etc.

Generalmente, la información que utiliza una persona o una aplicación no está en un formato que se pueda transmitir por la red. Por ejemplo, no se puede enrollar una fotografía, insertarla en un cable y transmitirla a través de la ciudad. Sin embargo, se puede transmitir una descripción codificada de la fotografía. En lugar de enviar la fotografía real, se puede utilizar un codificador para crear un flujo de unos y ceros que le indique al dispositivo receptor cómo reconstruir la imagen de la fotografía. (La codificación es el tema del Capítulo 5.)

Pero incluso los unos y los ceros no pueden ser enviados a través de los enlaces de una red. Deben ser convertidos posteriormente a un formato aceptable para el medio de transmisión. El medio de transmisión funciona conduciendo energía a través de un camino físico. Por tanto, el flujo de datos de unos y ceros debe ser convertido a energía en forma de señales electromagnéticas.

La información debe ser transformada en señales electromagnéticas para poder ser transmitida.

---

### 4.1. ANALÓGICO Y DIGITAL

Tanto los datos como las señales que los representan pueden estar en forma *analógica o digital*. **Analógico** indica algo que es continuo, un conjunto de puntos específicos de datos y todos los puntos posibles entre ellos. **Digital** indica algo que es discreto, un conjunto de puntos específicos de datos sin los puntos intermedios.

### Datos analógicos y digitales

Los datos pueden ser analógicos o digitales. Un ejemplo de **dato analógico** es la voz humana. Cuando alguien habla, se crea una onda continua en el aire. Esta onda puede ser capturada por un micrófono y convertida en una señal analógica.

Un ejemplo de **dato digital** son los datos almacenados en la memoria de una computadora en forma de ceros y unos. Se suelen convertir a señales digitales cuando se transfieren de una posición a otra dentro o fuera de la computadora.

### Señales analógicas y digitales

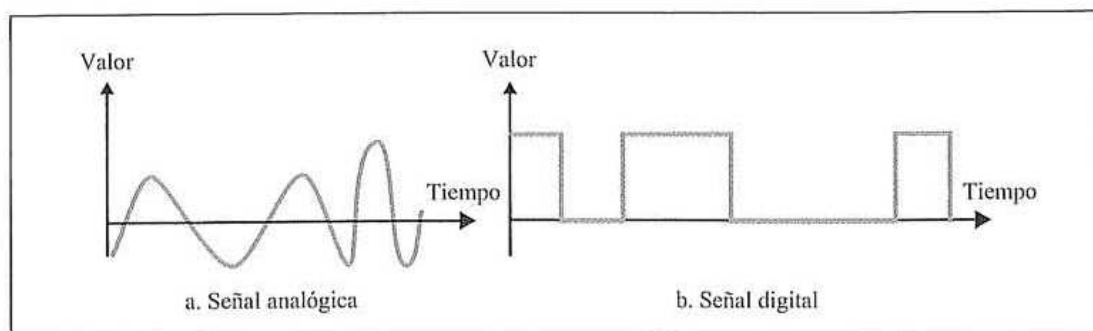
Al igual que la información que representan, las **señales** pueden ser también analógicas o digitales. Una **señal analógica** es una forma de onda continua que cambia suavemente en el tiempo. A medida que la onda se mueve de A a B, pasa a través de, e incluye un número infinito de valores en, su camino. Por el contrario, una **señal digital** es discreta. Solamente puede tener un número de valores definidos, a menudo tan simples como ceros y unos. La transición entre los valores de una señal digital es instantánea, como una luz que se enciende y se apaga.

Habitualmente las señales se ilustran imprimiéndolas sobre un par de ejes perpendiculares. El eje vertical representa el valor o la potencia de la señal. El eje horizontal representa el paso del tiempo. La Figura 4.1 ilustra una señal analógica y una señal digital. La curva que representa la señal analógica es suave y continua, pasando a través de un número infinito de puntos. Sin embargo, las líneas verticales de la señal digital demuestran que hay un salto repentino entre un valor y otro de la señal; las regiones planas altas y bajas indican que estos valores son fijos. Otra forma de expresar la diferencia es que la señal analógica cambia continuamente con respecto al tiempo, mientras que la señal digital cambia instantáneamente.

Las señales pueden ser analógicas o digitales. Las señales analógicas pueden tener cualquier valor dentro de un rango; las señales digitales solamente pueden tener un número limitado de valores.

## 4.2. SEÑALES PERIÓDICAS Y APERIÓDICAS

Tanto las señales analógicas como las digitales pueden ser de dos formas: *periódicas* y *aperiódicas* (no periódicas).



**Figura 4.1.** Comparación entre señales analógicas y digitales.

### Señales periódicas

Una señal es **periódica** si completa un patrón dentro de un marco de tiempo medible, denominado un **periodo**, y repite ese patrón en periodos idénticos subsecuentes. Cuando se completa un patrón completo, se dice que se ha completado un **ciclo**. El periodo se define como la cantidad de tiempo (expresado en segundos) necesarios para completar un ciclo completo. La duración de un periodo, representado por  $T$ , puede ser diferente para cada señal, pero es constante para una determinada señal periódica. La Figura 4.2 muestra señales periódicas hipotéticas.

Una señal periódica está formada por un patrón que se repite continuamente. El periodo de una señal ( $T$ ) se expresa en segundos.

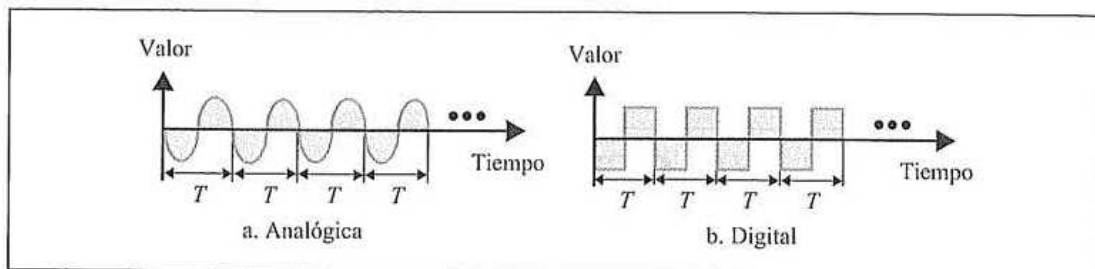


Figura 4.2. Ejemplos de señales periódicas.

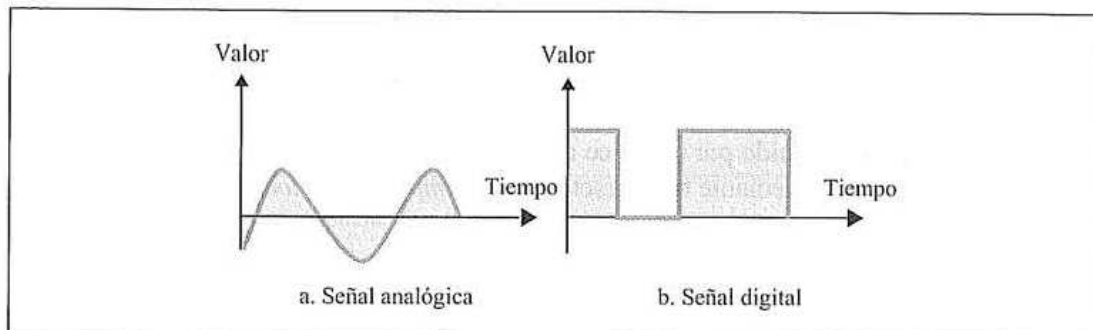


Figura 4.3. Ejemplos de señales aperiódicas

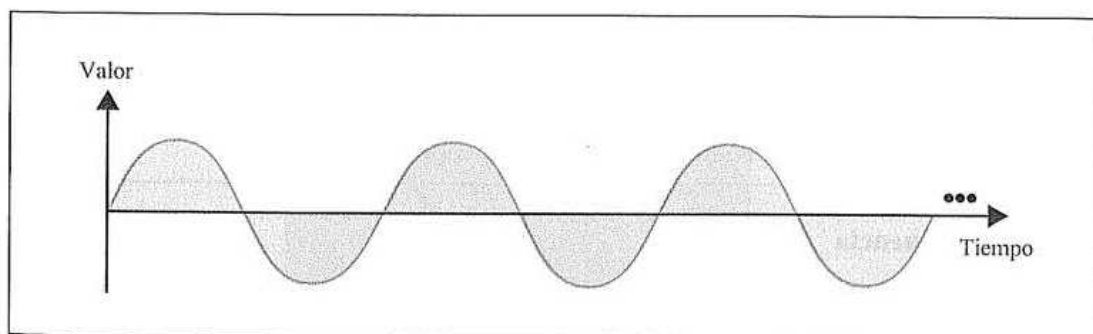


Figura 4.4. Una onda seno.

## Señales aperiódicas

Una señal **aperiódica**, o no periódica, cambia constantemente sin exhibir ningún patrón o ciclo que se repita en el tiempo. La Figura 4.3 muestra ejemplos de señales aperiódicas.

Una señal aperiódica, o no periódica, no tiene un patrón repetitivo.

Sin embargo, se ha demostrado mediante una técnica denominada **transformada de Fourier** (véase el **Apéndice D**), que cualquier señal aperiódica puede ser descompuesta en un número infinito de señales periódicas. Comprender las características de una señal periódica proporciona, además, conocimientos sobre las señales aperiódicas.

Una señal aperiódica puede ser descompuesta en un número infinito de señales periódicas. Una onda seno es la señal periódica más sencilla.

## 4.3. SEÑALES ANALÓGICAS

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

### Señales analógicas simples

La onda seno es la forma más fundamental de una señal analógica periódica. Visualizada como una única curva oscilante, su cambio a lo largo del curso de un ciclo es suave y consistente, un flujo continuo. La Figura 4.4 muestra una onda seno. Cada ciclo está formado por un único arco sobre el eje del tiempo seguido por un único arco por debajo de él. Las ondas seno se pueden describir completamente mediante tres características: *amplitud*, *periodo* o *frecuencia* y *fase*.

#### Amplitud

La **amplitud** de una señal en un gráfico es el valor de la señal en cualquier punto de la onda. Es igual a la distancia vertical desde cualquier punto de la onda hasta el eje horizontal. La máxima amplitud de una onda seno es igual al valor más alto que puede alcanzar sobre el eje vertical (véase la Figura 4.5).

La amplitud se mide en *voltios*, *amperios* o *watios*, dependiendo del tipo de señal. Los voltios indican el voltaje, los amperios indican la corriente eléctrica y los watios indican la potencia.

La amplitud indica la altura de la señal. La unidad de la amplitud depende del tipo de señal. Para señales eléctricas, la unidad es normalmente voltios, amperios o watios.

#### Periodo y frecuencia

El *periodo* se refiere a la cantidad de tiempo, en segundos, que necesita una señal para completar un ciclo. La **frecuencia** indica el número de periodos en un segundo. La frecuencia de una señal es su número de ciclos por segundo. La Figura 4.6 muestra los conceptos de periodo y frecuencia.

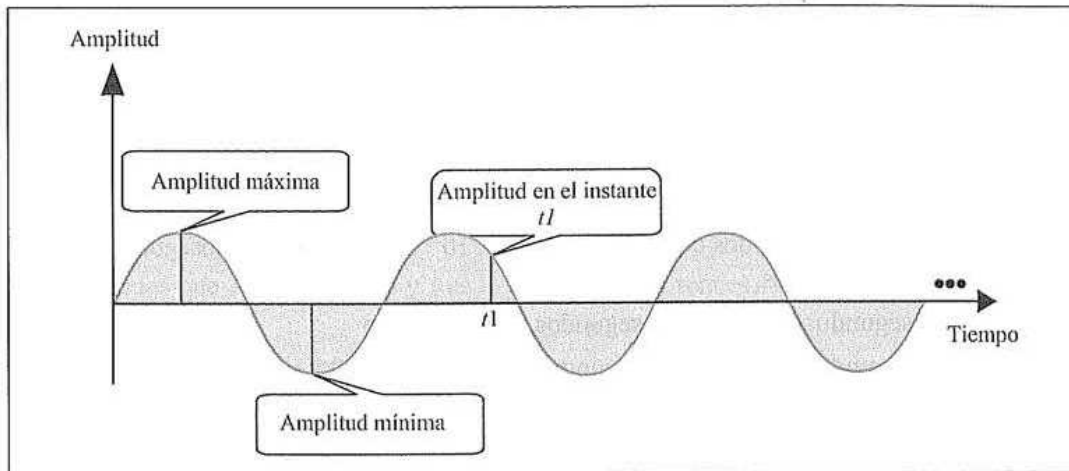


Figura 4.5. Amplitud.

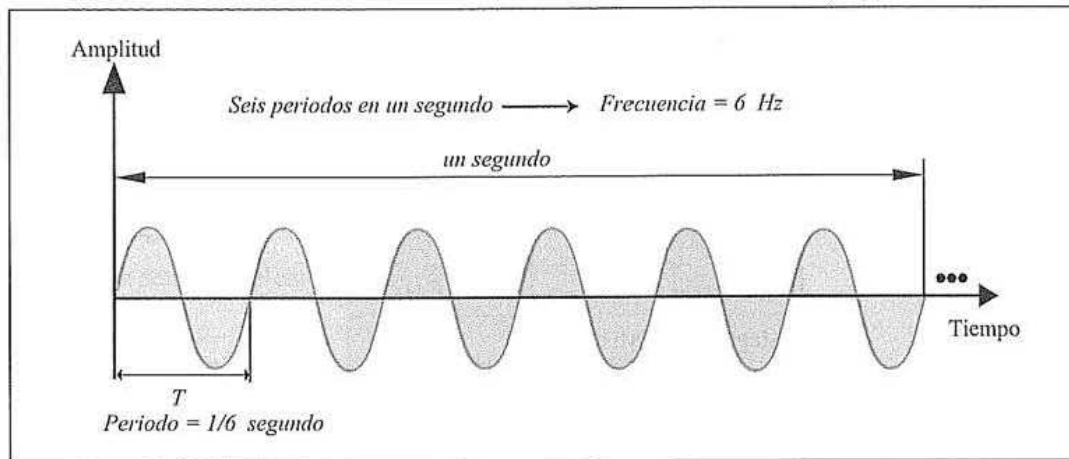


Figura 4.6. Periodo y frecuencia.

**Unidad de periodo.** El periodo se expresa en segundos. La industria de la comunicación usa cinco unidades para medir el periodo: **segundo** (s), **milisegundo** ( $\text{ms} = 10^{-3} \text{ s}$ ), **microsegundo** ( $\mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$ ), **nanosegundo** ( $\text{ns} = 10^{-9} \text{ s}$ ) y **picosegundo** ( $\text{ps} = 10^{-12} \text{ s}$ ). Véase la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Unidades de periodo

Unidad	Equivalente
Segundos	1 s
Milisegundos (ms)	$10^{-3} \text{ s}$
Microsegundos ( $\mu\text{s}$ )	$10^{-6} \text{ s}$
Nanosegundos (ns)	$10^{-9} \text{ s}$
Picosegundos (ps)	$10^{-12} \text{ s}$

**Ejemplo 4.1**

Muestre el valor de 100 milisegundos en segundos, microsegundos, nanosegundos y picosegundos.

**Solución**

Se usan las potencias de 10 para encontrar la unidad apropiada. Se sustituyen  $10^{-3}$  segundos con milisegundos,  $10^{-6}$  segundos con microsegundos,  $10^{-9}$  segundos con nanosegundos y  $10^{-12}$  segundos con picosegundos.

$$100 \text{ milisegundos} = 100 \times 10^{-3} \text{ segundos} = 0,1 \text{ segundo}$$

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

$$100 \text{ milisegundos} = 100 \times 10^{-3} \text{ segundos} = 100 \times 10^6 \times 10^{-9} \text{ segundos} = 10^8 \text{ ns}$$

$$100 \text{ milisegundos} = 100 \times 10^{-3} \text{ segundos} = 100 \times 10^9 \times 10^{-12} \text{ segundos} = 10^{11} \text{ ps}$$

**Unidades de frecuencia.** La frecuencia se expresa en **herzios (Hz)**, en honor al físico alemán Heinrich Rudolf Hertz. La industria de la comunicación usa cinco unidades para medir la frecuencia: **herzio (Hz)**, **kiloherzio (KHz =  $10^3$  Hz)**, **mega herzio (MHz =  $10^6$  Hz)**, **giga herzio (GHz =  $10^9$  Hz)** y **tera herzio (THz =  $10^{12}$  Hz)**. Véase la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2.** Unidades de frecuencia

Unidad	Equivalente
Herzio (Hz)	1 Hz
Kiloherzio (KHz)	$10^3$ Hz
Mega herzio (MHz)	$10^6$ Hz
Giga herzio (GHz)	$10^9$ Hz
Tera herzio (THz)	$10^{12}$ Hz

**Ejemplo 4.2**

Convertir 14 MHz a Hz, KHz, GHz y THz.

**Solución**

Se usan las potencias de 10 para encontrar la unidad apropiada. Se reemplazan  $10^3$  Hz con KHz,  $10^6$  Hz con MHz,  $10^9$  Hz con GHz y  $10^{12}$  Hz con THz.

$$14 \text{ MHz} = 14 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$14 \text{ MHz} = 14 \times 10^6 \text{ Hz} = 14 \times 10^3 \times 10^3 \text{ Hz} = 14 \times 10^3 \text{ KHz}$$

$$14 \text{ MHz} = 14 \times 10^6 \text{ Hz} = 14 \times 10^{-3} \times 10^9 \text{ Hz} = 14 \times 10^{-3} \text{ GHz}$$

$$14 \text{ MHz} = 14 \times 10^6 \text{ Hz} = 14 \times 10^{-6} \times 10^{12} \text{ Hz} = 14 \times 10^{-6} \text{ THz}$$

**Conversión de frecuencia a periodo y viceversa.** Matemáticamente, la relación entre frecuencia y periodo es que cada una de ellas es la inversa multiplicativa de la otra. Si se da una, se puede derivar inmediatamente la otra.

$$\text{Frecuencia} = 1 / \text{Periodo} \quad \text{Periodo} = 1 / \text{Frecuencia}$$

El periodo es la cantidad de tiempo que tarda una señal en completar un ciclo; la frecuencia es el número de ciclos por segundo. La frecuencia y el periodo son inversos entre sí:  $f = 1/T$  y  $T = 1/f$ .

**Ejemplo 4.3**

Una onda seno tiene una frecuencia de 6 Hz. ¿Cuál es su periodo?

**Solución**

Supongamos que  $T$  es el periodo y  $f$  es la frecuencia. Entonces,

$$T = 1/f = 1/6 = 0,17 \text{ segundos}$$

**Ejemplo 4.4**

Una onda seno tiene una frecuencia de 8 KHz. ¿Cuál es su periodo?

**Solución**

Supongamos que  $T$  es el periodo y  $f$  es la frecuencia. Entonces,

$$T = 1/f = 1/8.000 = 0,000125 \text{ segundos} = 125 \times 10^{-6} \text{ segundos} = 125 \mu\text{s}$$

**Ejemplo 4.5**

Una onda seno completa un ciclo en 4 segundos. ¿Cuál es su frecuencia?

**Solución**

Supongamos que  $T$  es el periodo y  $f$  la frecuencia. Entonces,

$$f = 1/T = 1/4 = 0,25 \text{ Hz}$$

**Ejemplo 4.6**

Una onda seno completa un ciclo en 25  $\mu\text{s}$ . ¿Cuál es su frecuencia?

**Solución**

Supongamos que  $T$  es el periodo y  $f$  es la frecuencia. Entonces,

$$f = 1/T = 1/(25 \times 10^{-6}) = 40.000 \text{ Hz} = 40 \times 10^3 \text{ Hz} = 40 \text{ KHz}$$

**Más sobre la frecuencia**

Ya se sabe que la frecuencia es la relación de una señal con el tiempo y que la frecuencia de una onda es el número de ciclos que completa por segundo. Pero otra forma de mirar la frecuencia es usarla como una medida de la velocidad de cambio. Las señales electromagnéticas son formas de onda oscilatoria; es decir, señales que fluctúan de forma continua y predecible por encima y por debajo de un nivel de energía medio. La velocidad a la que se mueve una onda seno desde su nivel más bajo a su nivel más alto es su frecuencia. Una señal de 40 Hz tiene la mitad de frecuencia que una señal de 80 Hz; es decir, completa un ciclo en el doble de tiempo que la señal de 80 Hz, por lo que cada ciclo tarda el doble de tiempo para ir de su nivel de voltaje mínimo al máximo. Por tanto, la frecuencia, aunque descrita en ciclos por segundo (Hz), es una medida general de la velocidad de cambio de una señal con respecto al tiempo.

La frecuencia es la velocidad de cambio respecto al tiempo. Los cambios en un espacio de tiempo corto indican frecuencia alta. Los cambios en un gran espacio de tiempo indican frecuencia baja.

Si el valor de una señal cambia en un espacio muy corto de tiempo, su frecuencia es alta. Si cambia en un espacio de tiempo largo, su frecuencia es baja.



**Dos extremos.** ¿Qué ocurre si una señal no cambia en absoluto? ¿Qué pasa si mantiene un nivel de voltaje constante durante todo su tiempo de actividad? En ese caso, su frecuencia es 0. Conceptualmente, esta idea es sencilla. Si una señal no cambia en absoluto, nunca completa un ciclo, por tanto su frecuencia es 0 Hz.

Pero ¿qué pasa si una señal cambia instantáneamente? ¿Qué pasa si salta de un nivel a otro instantáneamente? En ese caso, su frecuencia es infinita. En otras palabras, cuando una señal cambia instantáneamente, su periodo es 0; puesto que la frecuencia es el inverso del periodo, entonces, en este caso, la frecuencia es  $1/0$ , o infinito.

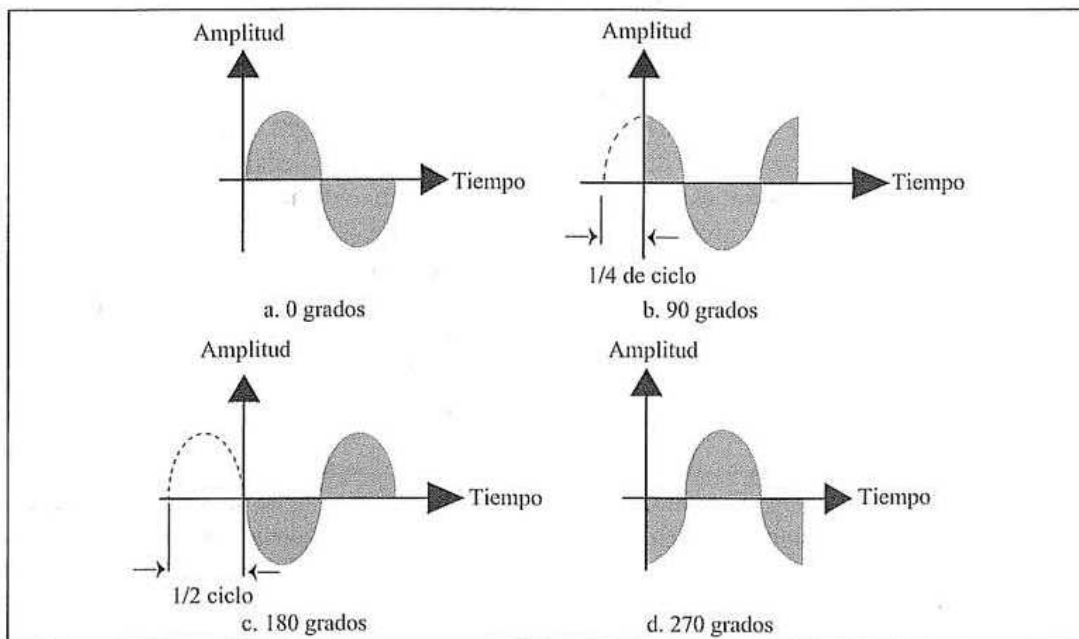
Si una señal no cambia en absoluto, su frecuencia es 0. Si una señal cambia instantáneamente, su frecuencia es infinita.

### Fase

El término **fase** describe la posición de la onda relativa al instante de tiempo 0. Si se piensa en la onda como algo que se puede desplazar hacia delante o hacia atrás a lo largo del eje del tiempo, la fase describe la magnitud de ese desplazamiento. Indica el estado del primer ciclo.

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

La fase se mide en grados o radianes (360 grados son  $2\pi$  radianes). Un desplazamiento de fase de 360 grados corresponde a un desplazamiento de un periodo completo; un desplazamiento de fase de 180 grados corresponde a un desplazamiento de la mitad del periodo; un desplazamiento de fase de 90 grados corresponde a un desplazamiento de un cuarto de periodo (véase la Figura 4.7).



**Figura 4.7.** Relación entre distintas fases.



**Ejemplo 4.7**

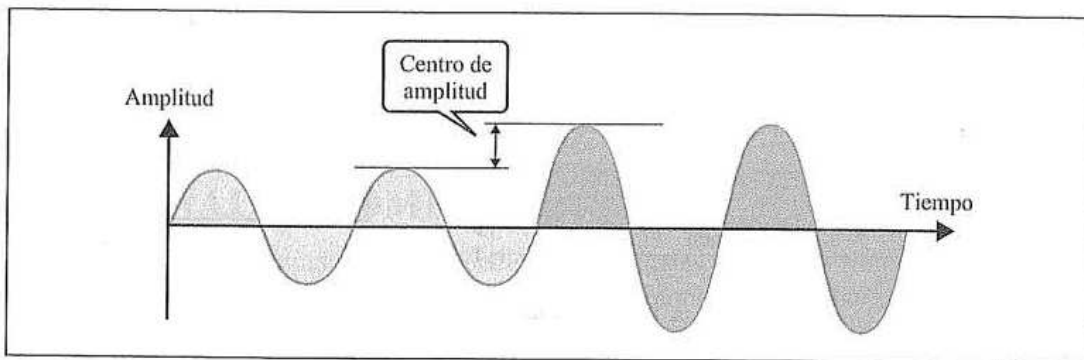
Una onda seno está desplazada 1/6 de ciclo respecto al tiempo 0. ¿Cuál es su fase?

**Solución**

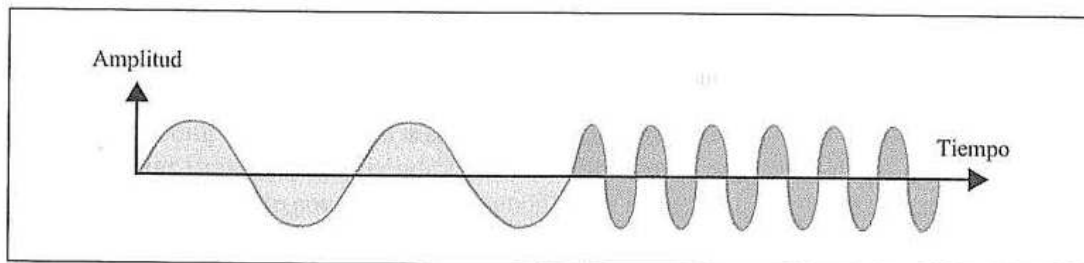
Sabemos que un ciclo completo son 360 grados. Por tanto, 1/6 de ciclo es

$$1/6 \times 360 = 60 \text{ grados}$$

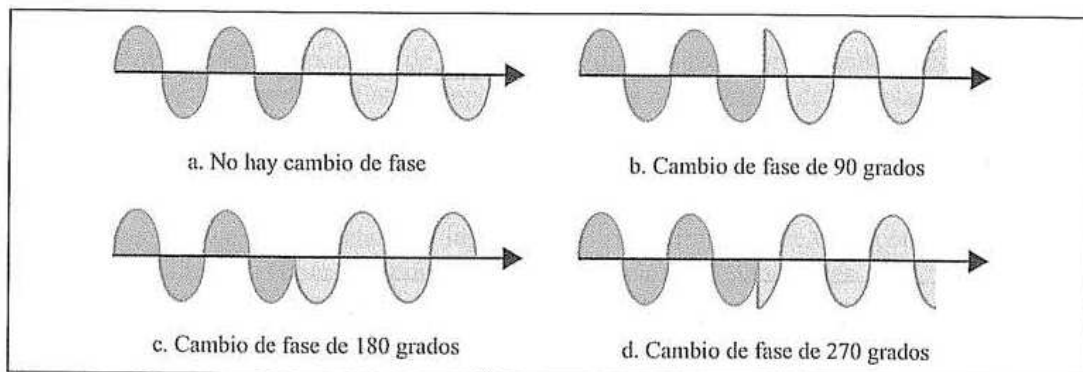
Una comparación visual de la amplitud, frecuencia y fase proporciona una referencia útil para comprender sus funciones. Se pueden introducir cambios en los tres atributos de la señal y controlarlos electrónicamente. Este control proporciona la base para todas las telecomunicaciones y se trata en el Capítulo 5 (véanse las Figuras 4.8, 4.9 y 4.10).



**Figura 4.8.** Cambio de amplitud.



**Figura 4.9.** Cambio de frecuencia.



**Figura 4.10.** Cambio de fase.

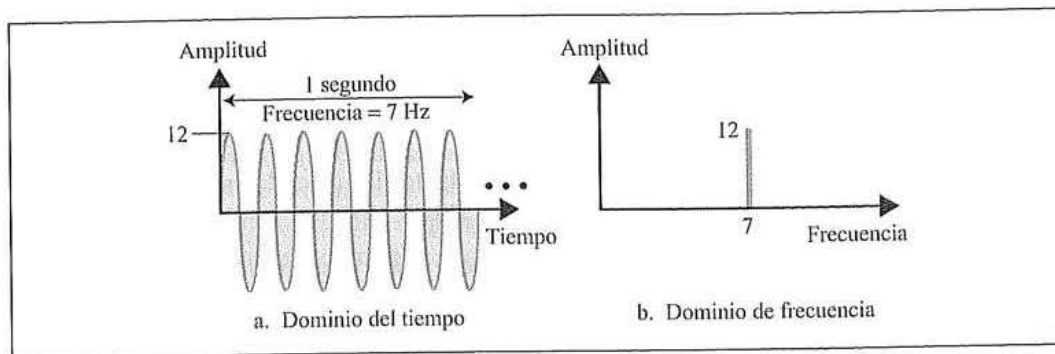


Figura 4.11. Dominios del tiempo y la frecuencia.

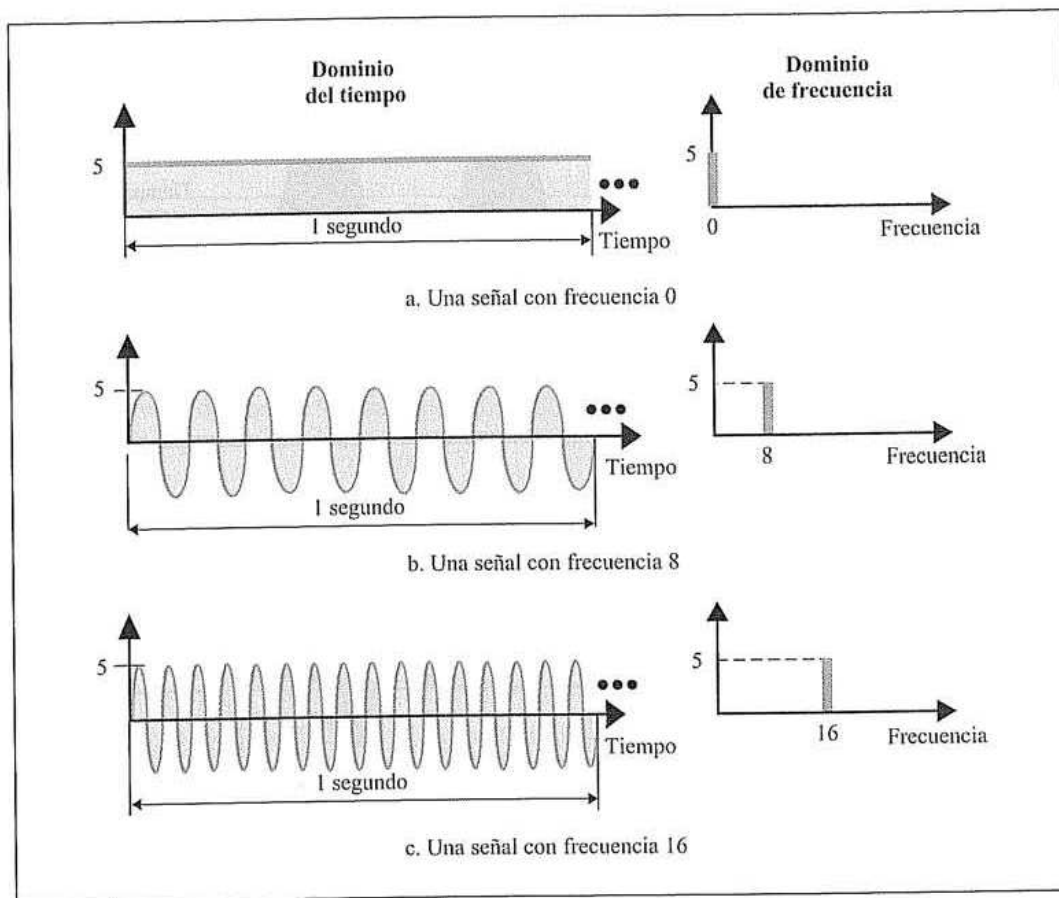


Figura 4.12. Dominios del tiempo y la frecuencia para distintas señales.

#### 4.4. DOMINIOS DEL TIEMPO Y DE LA FRECUENCIA

Una onda seno queda completamente definida mediante su amplitud, frecuencia y fase. Hasta ahora se ha estado mostrando la onda seno mediante lo que se llama una **traza en el domi-**

**nio del tiempo.** La traza en el dominio del tiempo muestra los cambios de la amplitud de la señal con respecto al tiempo (es una traza de la amplitud en función del tiempo). La fase y la frecuencia no se miden explícitamente en una traza en el dominio del tiempo.

Para mostrar la relación entre amplitud y frecuencia, se puede usar lo que se denomina una **traza en el dominio de la frecuencia**. La Figura 4.11 compara el dominio en el tiempo (amplitud instantánea con respecto al tiempo) y el dominio de la frecuencia (máxima amplitud con respecto a la frecuencia).

La Figura 4.12 muestra ejemplos de las trazas en el dominio del tiempo y en el de la frecuencia de tres señales con frecuencias y amplitudes variables. Compare los modelos en cada par para ver qué tipo de información se adapta mejor a cada traza.

Una señal de baja frecuencia en el dominio de la frecuencia se corresponde a una señal con un periodo largo en el dominio del tiempo y viceversa. Una señal que cambia rápidamente en el dominio del tiempo se corresponde con frecuencias altas en el dominio de la frecuencia.

## 4.5. SEÑALES COMPUESTAS

Hasta ahora, hemos centrado nuestra atención sobre señales periódicas simples (ondas seno). Pero ¿qué ocurre con las señales periódicas que no son ondas seno? Hay muchas formas de onda útiles que no cambian de forma suave en una única curva entre una amplitud máxima y mínima; en lugar de eso saltan, se desplazan, se bambolean, tienen picos y presentan depresiones. Pero siempre que las irregularidades sean consistentes para cada ciclo, una señal sigue siendo periódica y lógicamente debe ser describible en los mismos términos que los usados para las ondas seno. De hecho, se puede demostrar que cualquier señal periódica, sin importar su complejidad, se puede descomponer en una colección de ondas seno, cada una de las cuales tiene una amplitud, frecuencia y fase que se puede medir.

Para descomponer una **señal compuesta** en sus componentes, hay que realizar un **análisis de Fourier** (tratado en el Apéndice D). Sin embargo, el concepto de esta descomposición se puede ver fácilmente con un ejemplo sencillo. La Figura 4.13 muestra una señal periódica descompuesta en dos ondas seno. La primera onda seno (traza central) tiene una frecuencia 6 mientras que la segunda onda seno tiene una frecuencia 0.

Sumando ambas ondas punto por punto se obtiene como resultado la gráfica de la parte superior de la figura. Observe que la señal original se parece a una onda seno que tiene el eje de tiempo desplazado hacia abajo. La amplitud media de esta señal no es 0. Este factor indica la presencia de un componente de frecuencia 0, denominado componente de **corriente continua (DC, Direct Current)**. Este componente DC es responsable del desplazamiento hacia arriba en diez unidades de la onda seno.

En contraste con el gráfico del dominio del tiempo, que ilustra una señal compuesta con una única entidad, un gráfico de dominio de frecuencia muestra la señal compuesta como una serie de frecuencias compuestas. En lugar de mostrar el impacto de cada componente en los otros, muestra la señal como un conjunto de frecuencias independientes.

Aunque el gráfico del dominio del tiempo es más útil para comprender el impacto de ambas señales entre sí, las barras verticales en un gráfico del dominio de frecuencia dan una visión más concisa de las frecuencias relativas y de las amplitudes de las ondas seno compuestas.

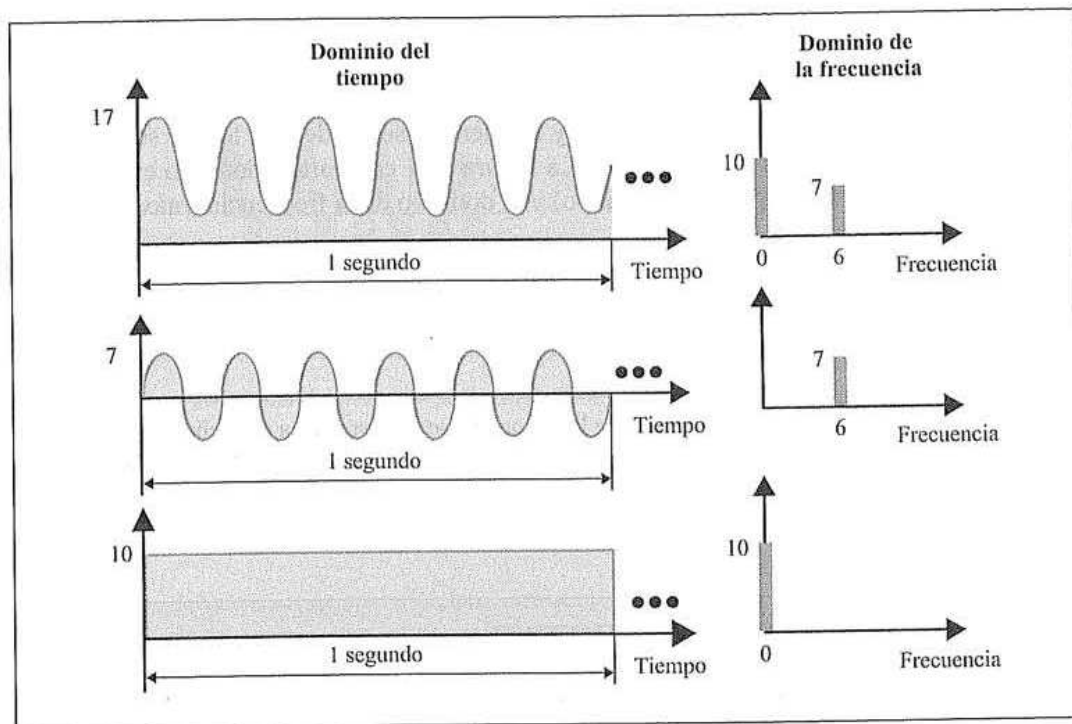


Figura 4.13. Una señal con un componente DC.

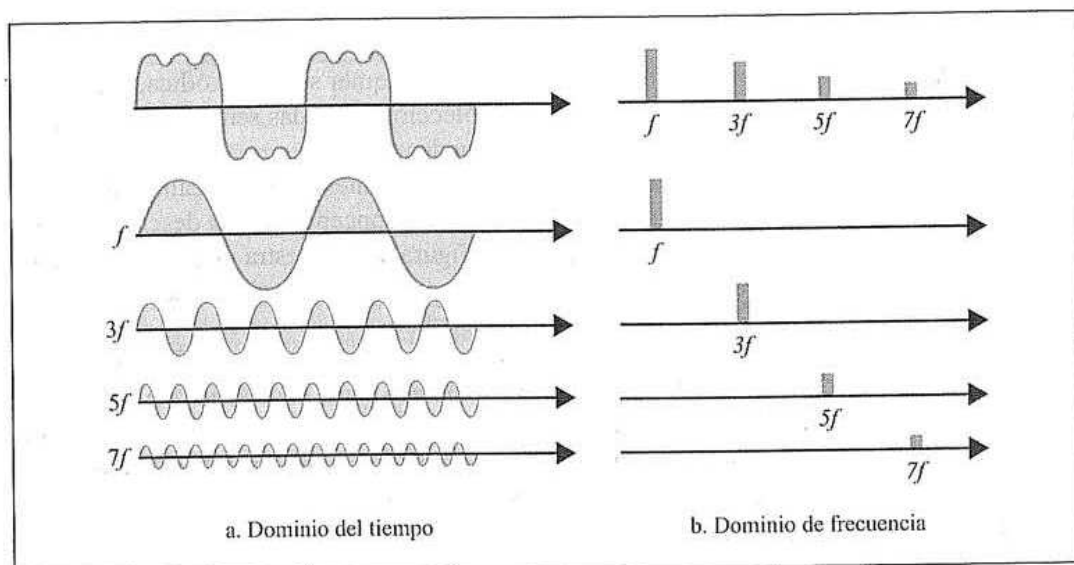


Figura 4.14. Forma de onda compuesta.

La Figura 4.14 muestra una señal compuesta descompuesta en cuatro componentes. Esta señal es muy parecida a una señal digital. Para una señal digital exacta, se necesita un número infinito de señales armónicas impares ( $f, 3f, 5f, 7f, 9f, \dots$ ), cada una de las cuales tiene una amplitud distinta. También se muestran en la figura los gráficos en el dominio de la frecuencia.

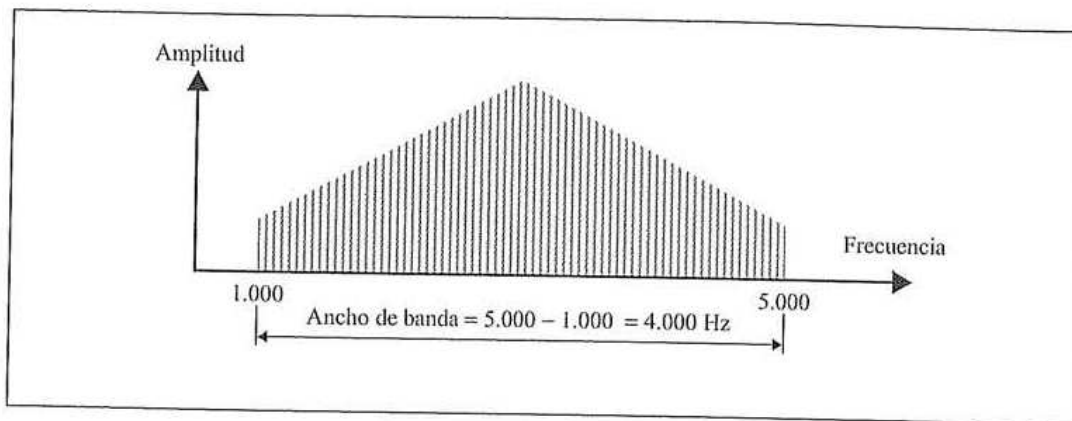


Figura 4.15. Ancho de banda.

### Espectro de frecuencia y ancho de banda

A continuación, es necesario mencionar dos nuevos términos: *espectro* y *ancho de banda*. El **espectro** de frecuencia de una señal es la colección de todas las frecuencias componentes que contiene y se muestra usando un gráfico en el dominio de frecuencia. El **ancho de banda** de una señal es el ancho del espectro de frecuencia (véase la Figura 4.15). En otras palabras, el ancho de banda se refiere al rango de las frecuencias componentes y el espectro de frecuencia está relacionado con los elementos dentro de ese rango. Para calcular el ancho de banda, hay que sustraer la frecuencia más baja de la frecuencia más alta del rango.

El espectro de frecuencia de una señal es la combinación de todas las ondas seno que componen esa señal.

#### Ejemplo 4.8

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 tiene solamente cinco barras, en 100, 300, 500, 700 y 900 (véase la Figura 4.16).

#### Ejemplo 4.9

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 las 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,

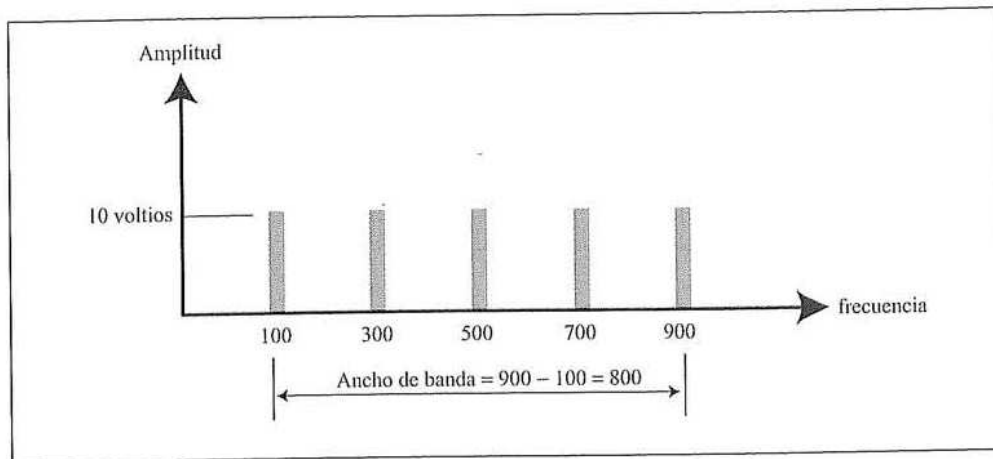


Figura 4.16. Ejemplo 4.8.

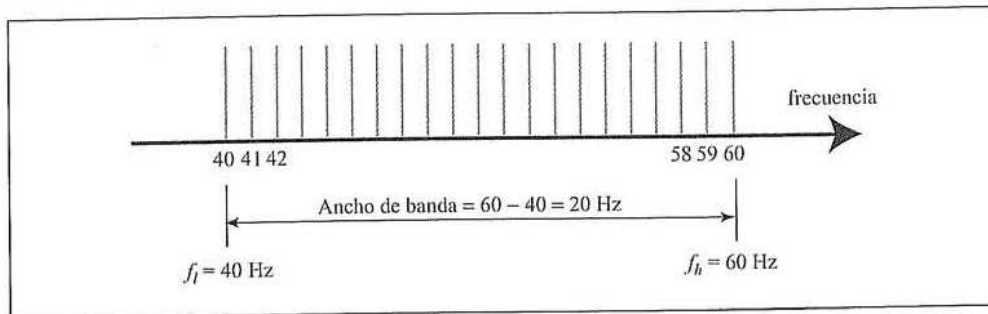


Figura 4.17. Ejemplo 4.9.

$$B = f_h - f_l \rightarrow 20 = 60 - f_l \rightarrow f_l = 60 - 20 = 40 \text{ Hz}$$

El espectro contiene todas las frecuencias enteras. Se muestran mediante una serie de barras (véase la Figura 4.17)

## 4.6. SEÑALES DIGITALES

Además de poder representarse 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 (véase la Figura 4.18).

### Intervalo de bit y tasa de bit

La mayoría de las señales digitales son aperiódicas y, por tanto, la periodicidad o la frecuencia no es apropiada. Se usan dos nuevos términos para describir una señal digital: *intervalo de bit* (en lugar del periodo) y *tasa de bit* (en lugar de la frecuencia). El **intervalo de bit** es el tiempo necesario para enviar un único bit. La **tasa de bit** es el número de intervalos de bit por segundo. Esto significa que la tasa de bit es el número de bit enviados en un segundo, habitualmente expresado en **bits por segundo (bps)**. Véase la Figura 4.19.

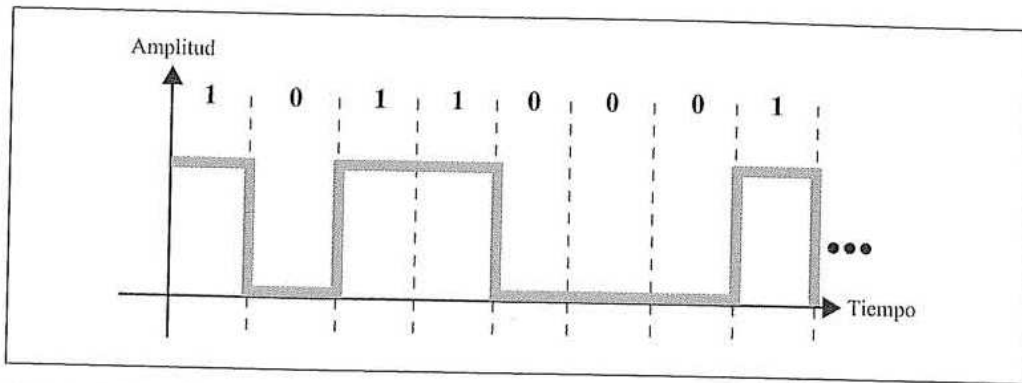


Figura 4.18. Una señal digital.

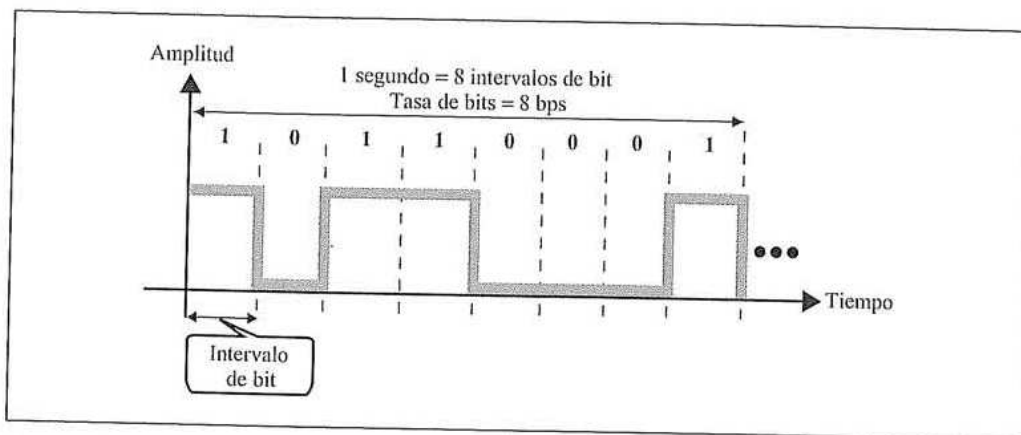


Figura 4.19. Tasa de bits e Intervalo de bit.

#### Ejemplo 4.10

Una señal digital tiene una tasa de bits de 2.000 bps. ¿Cuál es la duración de cada bit (intervalo de bit)?

#### Solución

El intervalo de bit es la inversa de la tasa de bits.

$$\text{intervalo de bit} = 1/(\text{tasa de bits}) = 1/2.000 = 0,000500 \text{ segundos} = 500 \times 10^{-6} \text{ segundos} = 500 \mu\text{s}$$

#### Ejemplo 4.11

Una señal digital tiene un intervalo de bit de 40 microsegundos. ¿Cuál es la tasa de bits?

#### Solución

La tasa de bits es la inversa del intervalo de bit.

$$\text{tasa de bits} = 1/(\text{intervalo de bit}) = 1/(40 \times 10^{-6}) = 25.000 \text{ bits por segundo} = 25 \times 10^3 \text{ bits por segundo} = 25 \text{ Kbps.}$$



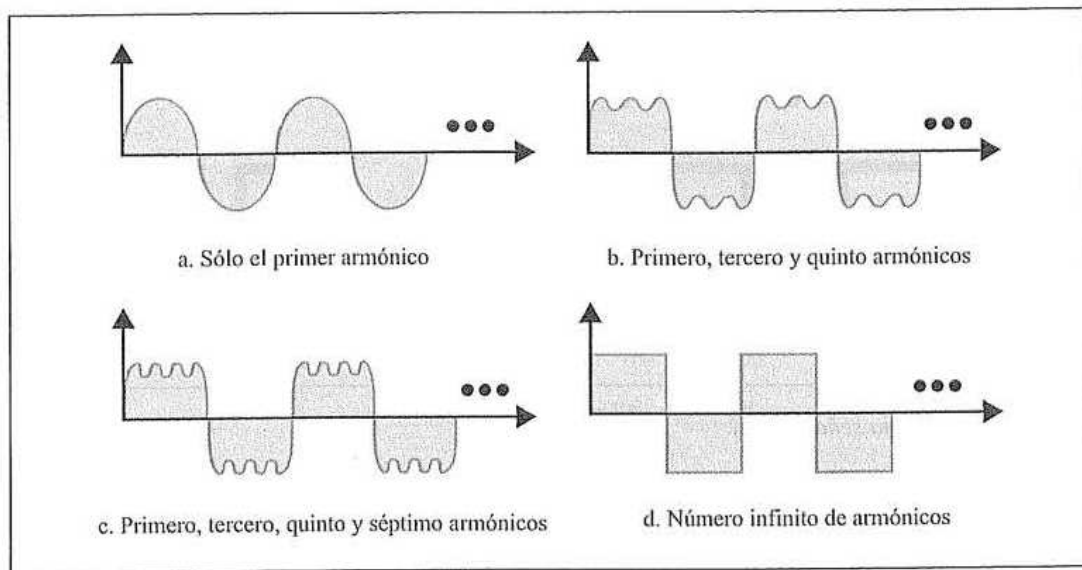


Figura 4.20. Armónicos de una señal digital.

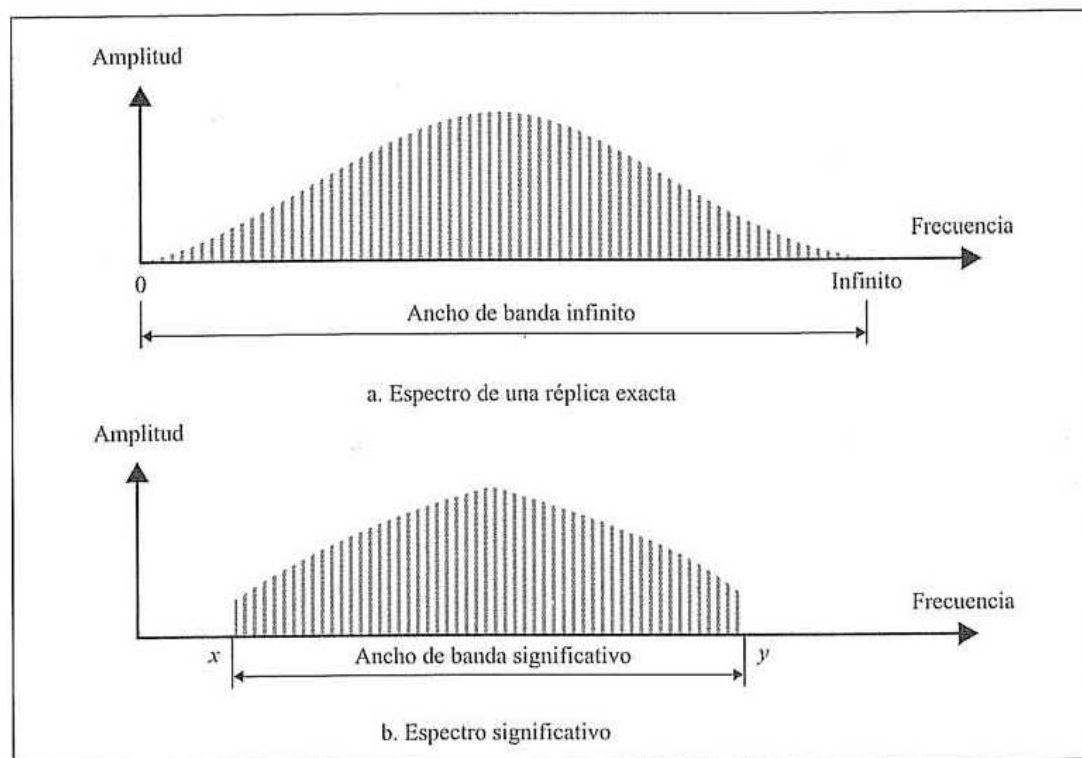


Figura 4.21. Espectros exactos y significativos.

### Descomposición de una señal digital

Una señal digital se puede descomponer en un número infinito de ondas seno sencillas denominadas **armónicos**, cada uno de los cuales tiene una amplitud, frecuencia y fase distintas

(véase la Figura 4.20). Esto significa que cuando se envía una señal digital por un medio de transmisión, se están enviando un número infinito de señales simples. Para recibir una réplica exacta de la señal digital, todos los componentes de frecuencia deben ser transferidos exactamente a través del medio de transmisión. Si alguno de los componentes no se envía bien a través del medio, el receptor obtendrá una señal corrupta. Puesto que no hay ningún medio práctico (como un cable) que sea capaz de transferir todo el rango completo de frecuencias, siempre existe una cierta corrupción.

Aunque el espectro de frecuencia de una señal digital tiene un número infinito de frecuencias con distintas amplitudes, si se envían solamente aquellos componentes cuyas amplitudes son significativas (están por encima de un umbral aceptable), todavía se puede reconstruir la señal digital en el receptor con una exactitud razonable (distorsión mínima). A esta parte del espectro infinito se la llama el espectro significativo y a su ancho de banda se le denomina el ancho de banda significativo (véase la Figura 4.21).

## 4.7. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

amplitud	megahertzio (MHz)
análisis de Fourier	microsegundo
analógico	milisegundo
ancho de banda	nanosegundo
bits por segundo (bps)	onda seno
ciclo	periodo
código	picosegundo
corriente continua (DC)	señal
datos analógicos	señal analógica
datos digitales	señal aperiódica
digital	señal compuesta
espectro	señal digital
fase	señal periódica
frecuencia	tasa de bits
gigahertzio (GHz)	terahertzio (THz)
armónicos	transformada de Fourier
herzio (Hz)	traza en el dominio de la frecuencia
intervalo de bit	traza en el dominio del tiempo
kilohertzio (KHz)	

## 4.8. RESUMEN

- La información se debe transformar en señales electromagnéticas antes de enviarla a través de una red.
- La información y las señales pueden ser analógicas (valores continuos) o digitales (valores discretos).
- Una señal es periódica si está formada por un patrón que se repite continuamente.
- Una señal periódica se puede descomponer en un conjunto de ondas seno.

- Cada onda seno se puede caracterizar por su
  - a. Amplitud—la altura de la onda en cada instante.
  - b. Frecuencia—el número de ciclos por segundo.
  - c. Fase—el desplazamiento de la onda a lo largo del eje del tiempo.
- La frecuencia y el periodo son inversos entre sí.
- Un gráfico en el dominio del tiempo dibuja la amplitud con una función del tiempo.
- Un gráfico en el dominio del tiempo dibuja la amplitud de cada pico de la onda seno en relación con su frecuencia.
- El ancho de banda de una señal es el rango de frecuencias que ocupa la señal. El ancho de banda se determina hallando la diferencia entre los componentes de frecuencia mayores y menores.
- El espectro de una señal está formado por las ondas seno que componen la señal.
- La tasa de bits (número de bits por segundo) y el intervalo de bit (duración de un bit) son términos que se usan para describir las señales digitales.
- Una señal digital se puede descomponer en un número infinito de ondas seno (armónicos).
- El espectro significativo de una señal digital es la porción del espectro de la señal que puede usarse para reproducir adecuadamente la señal original.