2 SEÑALES COMPUESTAS

Objetivo

- Explicar cómo se descomponen las señales compuestas en ondas seno simples.

Manual de clases

Última modificación:
25 de febrero de 2023

Tema 2 de:
TRANSMISIÓN DE DATOS

Edison Coimbra G.

1. CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES COMPUESTAS

SEÑALES COMPUESTAS

Señales conformadas por múltiples ondas seno

(Forouzan, 2020)

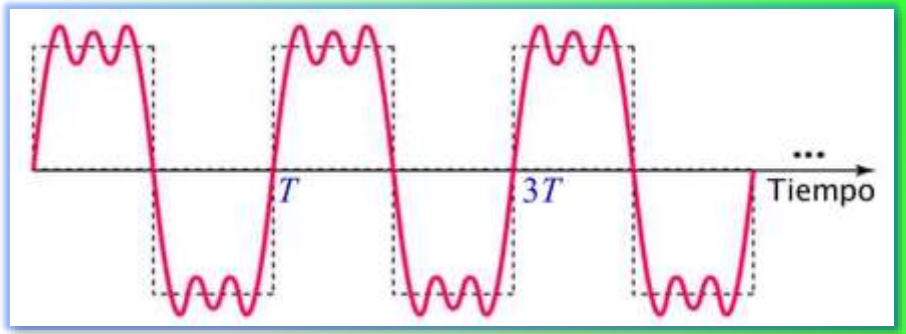
- **Hasta aquí** se han analizado ondas seno simples, las cuales tienen muchas aplicaciones en la vida diaria. Se puede enviar una sola onda seno para llevar la energía eléctrica de un lugar a otro. Por ejemplo:
  - ▶La compañía eléctrica envía una sola onda seno con frecuencia de 50 Hz para distribuir energía eléctrica a casas y negocios. En este caso, la onda transporta energía.
  - ▶Se puede usar una onda seno para enviar una alarma a un centro de seguridad cuando un ladrón abre una puerta o ventana en la casa. En este caso, la onda seno es una señal de peligro.
- **Si se tuviera** una sola onda seno para transmitir una conversación por teléfono, no tendría sentido y no llevaría ninguna información. Solo se oiría un zumbido. Se necesita enviar una señal compuesta para comunicar datos. Una señal compuesta está hecha de muchas ondas seno.
- **A principios** de 1800, el matemático francés Jean Baptista Fourier demostró que cualquier señal compuesta es en realidad una combinación de ondas seno simples con diferentes frecuencias, amplitudes y fases.
- **Una señal compuesta** puede ser periódica o aperiódica.
  - ▶Una señal compuesta periódica puede descomponerse en una serie de ondas seno simples con frecuencias discretas, frecuencias que tienen valores enteros (1, 2, 3, etc.). El análisis matemático se conoce como Serie de Fourier.
  - ▶Una señal compuesta no periódica puede descomponerse en una combinación de un número infinito de ondas seno simples con frecuencias continuas, frecuencias que tienen valores reales. El análisis matemático se conoce como Transformada de Fourier.

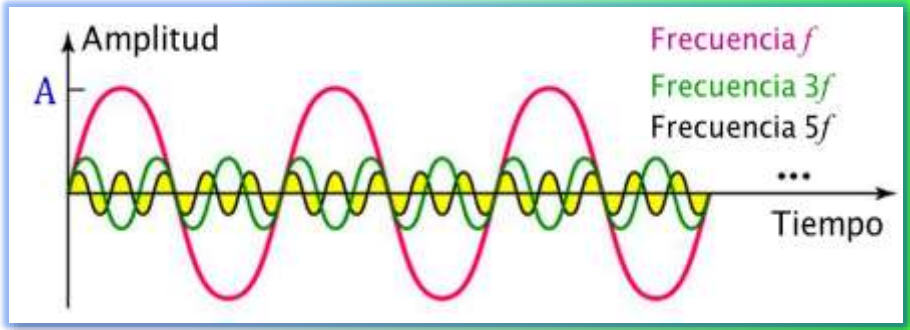
Características de las señales compuestas

Ejemplo 1 de señal periódica compuesta

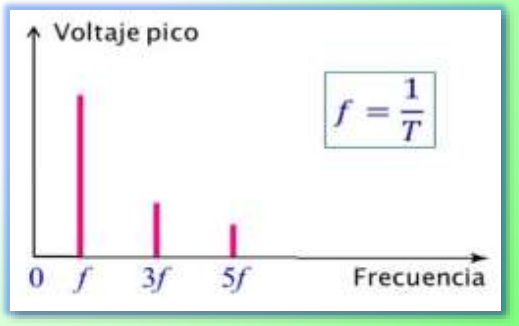
(Forouzan, 2020)

- ▶**Ejemplo 1.** La figura muestra una señal periódica compuesta con frecuencia f. Este tipo de señal no es típica de las que se encuentran en las comunicaciones de datos, se puede considerar que son tres sistemas de alarma, cada uno con una frecuencia distinta.
  - ✉El análisis de esta señal puede dar una buena comprensión de cómo descomponer las señales, es decir de cómo obtener el espectro de frecuencias.
  - ✉Es muy difícil descomponer manualmente esta señal en una serie de simples ondas seno. Sin embargo, hay herramientas, tanto hardware (analizador de espectro) como software (MATLAB), que pueden ayudar a hacer el trabajo.
  - ✉El resultado de la descomposición se muestra en los dominios del tiempo y de la frecuencia.





Dominio del tiempo, frecuencias separadas.



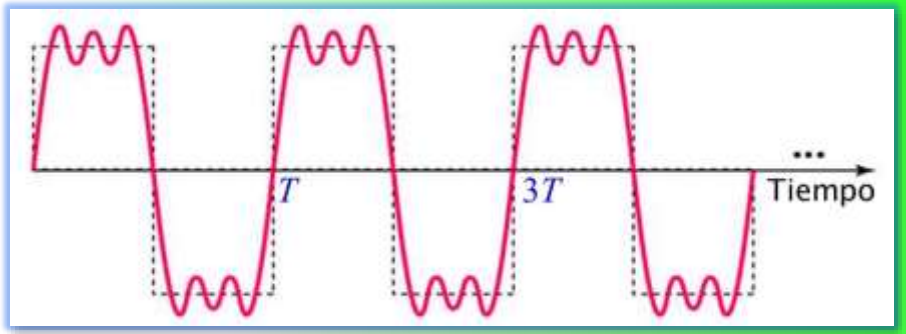
Dominio de la frecuencia.

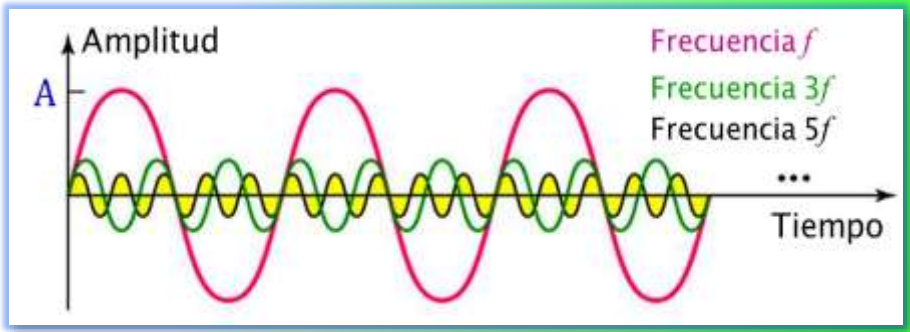
SEÑALES COMPUESTAS

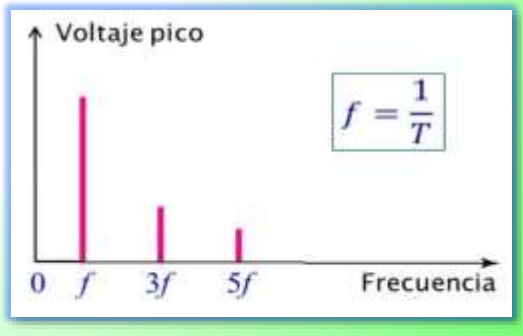
Ejemplo 1 de señal periódica compuesta (cont.)

(Forouzan, 2020)

- ▶**Ejemplo 1.** La amplitud de la onda seno con frecuencia f es casi la misma que la amplitud pico de la señal compuesta. La amplitud de la onda sinusoidal con frecuencia $3f$ es un tercio de la de la primera y la amplitud de la onda seno con frecuencia $5f$ es una quinta parte de la primera.
- ✉La frecuencia de la onda seno con frecuencia f es la misma que la de la señal compuesta: se llama la frecuencia fundamental o primer armónico.
- ✉La onda sinusoidal con frecuencia $3f$ tiene una frecuencia de 3 veces la frecuencia fundamental: se llama el tercer armónico. La tercera onda con frecuencia $5f$ tiene una frecuencia de 5 veces la frecuencia fundamental: se llama el quinto armónico.
- **Note que** la descomposición de la frecuencia de la señal es discreta; tiene frecuencias f, $3f$ y $5f$. Debido a que f es un número integral, $3f$ y $5f$ también lo son. No hay frecuencias como $1{,}2f$ o $3{,}6f$. El dominio de la frecuencia de una señal compuesta periódica siempre está compuesto de picos discretos.







Dominio del tiempo, frecuencias separadas.

Dominios de la frecuencia.

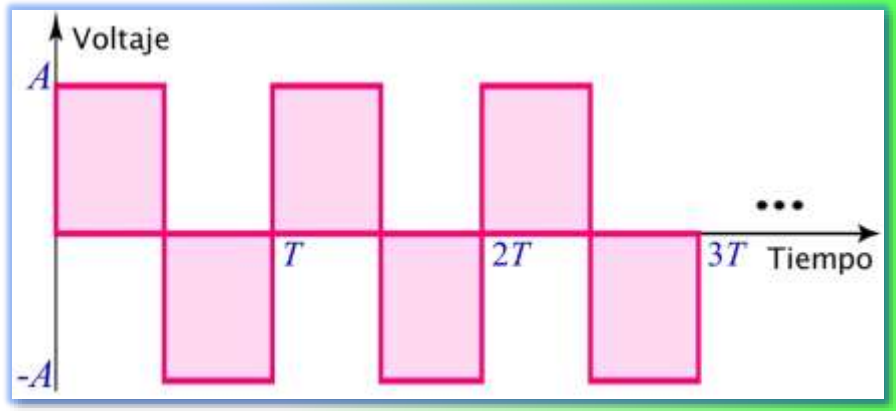
SEÑALES COMPUESTAS

Ejemplo 2 de señal periódica compuesta

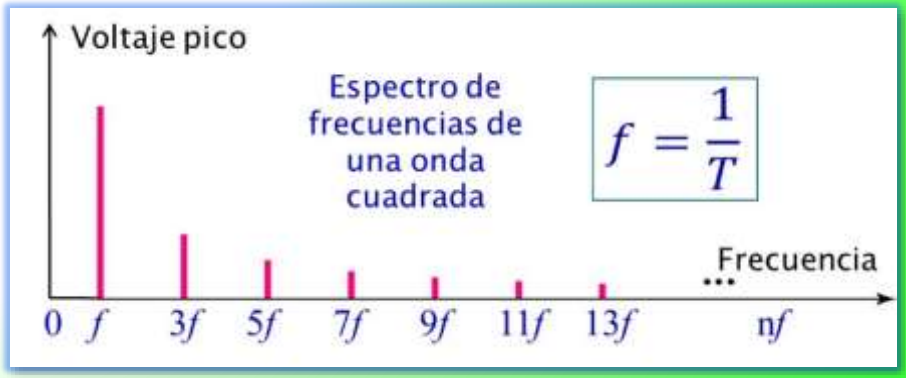
(Forouzan, 2020)

- ▶**Ejemplo 2.** El resultado del análisis de Fourier de diferentes señales periódicas compuestas, útiles en la industria, se ha reunido en tablas que contienen la Serie de Fourier para dichas señales, entre ella la onda cuadrada.
  - ✉La señal de onda cuadrada, frecuentemente usada para pruebas y calibración de circuitos de tiempo, tiene la siguiente Serie de Fourier que y espectro de frecuencias.

$$v(t) = \frac{4A}{\pi}\left(\text{sen}\omega t + \frac{1}{3}\text{sen}3\omega t + \frac{1}{5}\text{sen}5\omega t + \cdots\right)$$



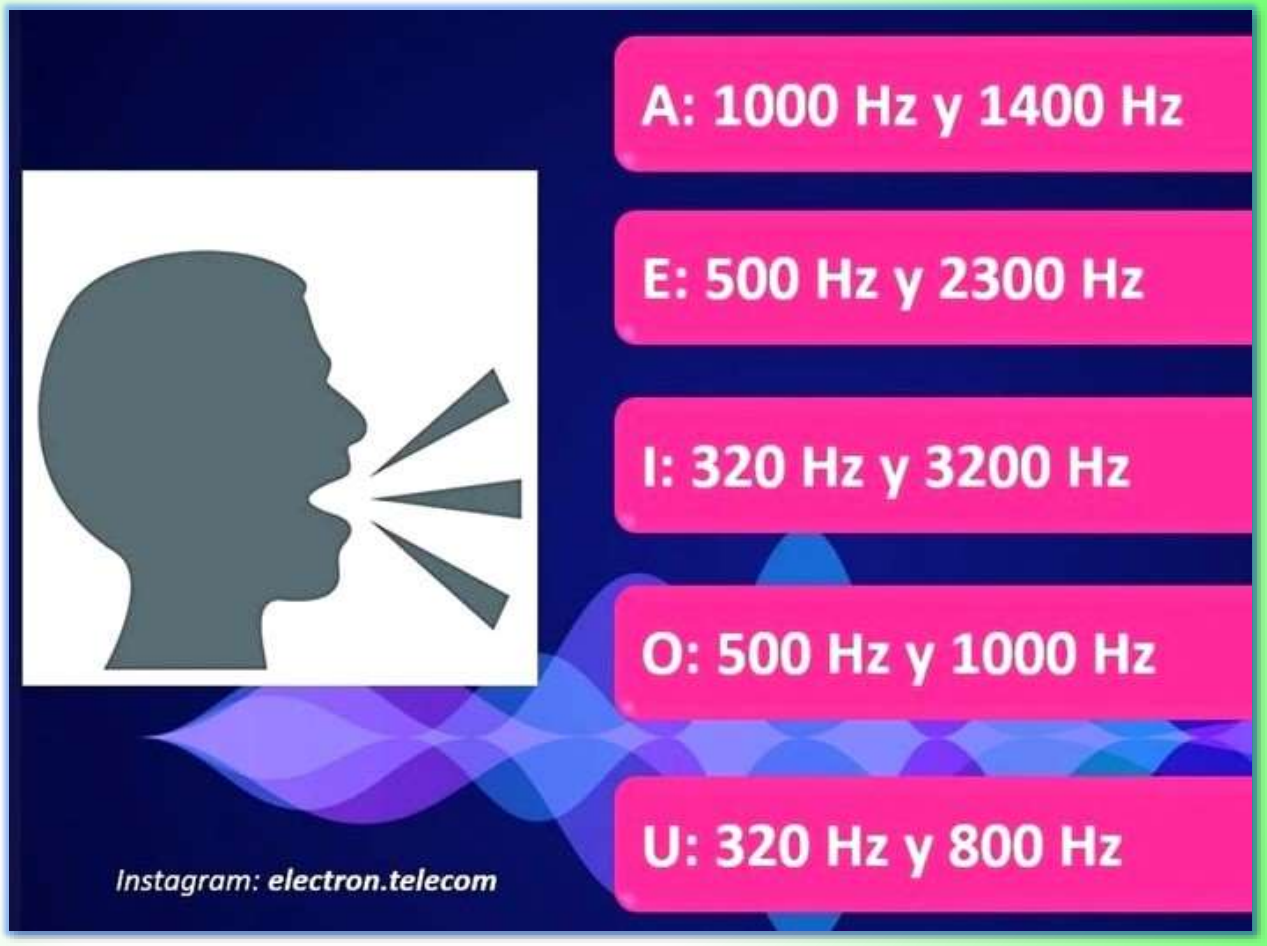
- **Con el simulador PhET** se puede ver cómo construir una onda cuadrada a partir de múltiples onda seno.



Características de las señales compuestas

SEÑALES COMPUESTAS

Frecuencias de las vocales

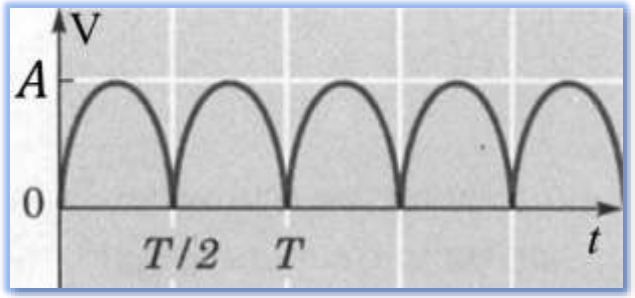


SEÑALES COMPUESTAS

Serie de Fourier de señales periódicas compuestas (cont.)

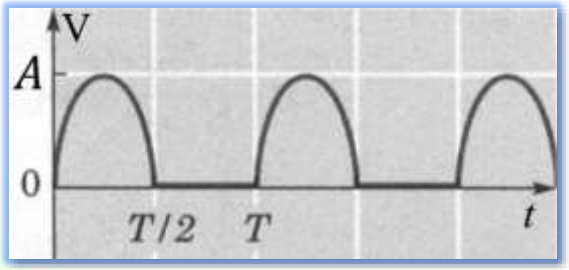
(Forouzan, 2020)

- ▶**Ejemplo 3.** La señal senoide con rectificación de onda completa. La onda seno se rectifica para transformarla en continua. Un diodo hace la rectificación y un capacitor suaviza las ondas. Tiene la siguiente Serie de Fourier.

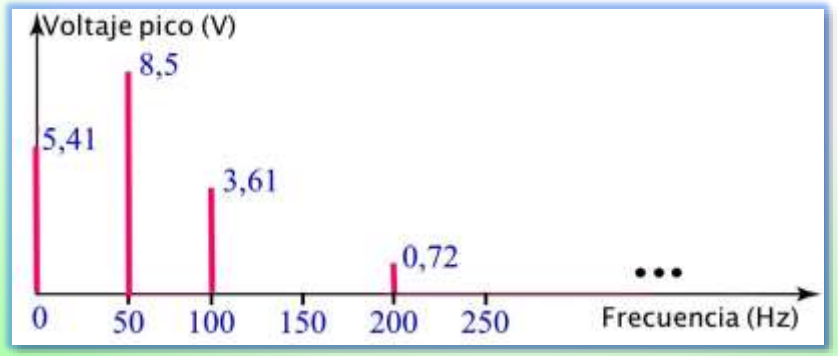


$$v(t) = \frac{2A}{\pi} - \frac{4A}{\pi}\left(\frac{\cos 2\omega t}{3} + \frac{\cos 4\omega t}{15} + \frac{\cos 6\omega t}{35} + \cdots\right)$$

- ▶**Ejemplo 4.** La señal senoide con rectificación de media onda. La gráfica muestra el espectro de frecuencias para la señal rectificada de media onda, hasta la 5ª armónica. T = 20 ms y A = 17 V.



$$v(t) = \frac{A}{\pi} + \frac{A}{2}\text{sen}(\omega t) - \frac{2A}{\pi}\left(\frac{\cos 2\omega t}{3} + \frac{\cos 4\omega t}{15} + \frac{\cos 6\omega t}{35} + \cdots\right)$$



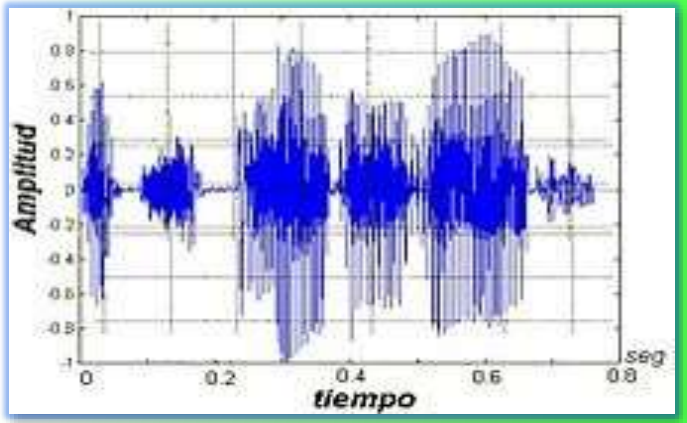
Características de las señales compuestas

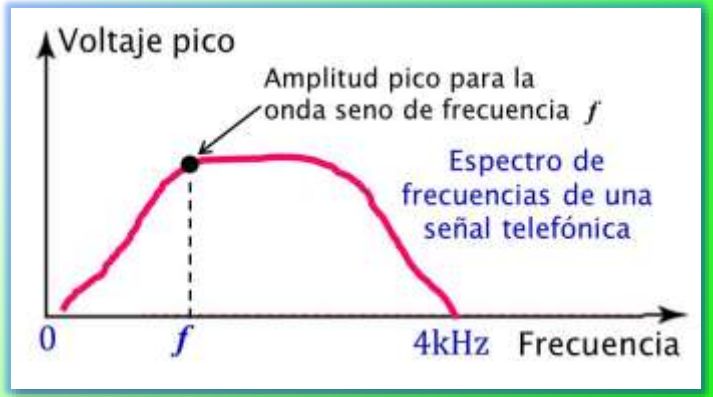
SEÑALES COMPUESTAS

Ejemplo de una señal no periódica compuesta

(Forouzan, 2020)

- ▶**Ejemplo 5.** La figura muestra una señal compuesta no periódica. Puede ser la señal creada por un micrófono o un aparato telefónico cuando se pronuncian una o dos palabras. En este caso, la señal compuesta no puede ser periódica, porque eso implica que se estaría repitiendo la misma palabra o palabras con exactamente el mismo tono.
  - ⌧En una representación en el dominio del tiempo de esta señal compuesta, hay un número infinito de frecuencias seno simples. Aunque el número de frecuencias en una voz humana es infinito, el rango es limitado.
  - ⌧Un ser humano normal puede crear un rango continuo hasta unos 10.000 kHz, rango que el micrófono del aparato telefónico lo limita entre 300 y 3.400 Hz.
  - ⌧Con ayuda de un analizador de espectro o con la herramienta de MATLAB que utiliza el algoritmo FFT (Transformada Rápida de Fourier), se puede observar que se encuentra entre 0 y 4 kHz.
  - ⌧Observe que la descomposición de la frecuencia de la señal produce una curva continua. Hay un número infinito de frecuencias entre $0{,}0$ y $4.000{,}0$ (valores reales).
  - ⌧Para encontrar la amplitud relacionada con la frecuencia f, se dibuja una línea vertical en f para intersecar la curva de la envolvente. La altura de la línea vertical es la amplitud en la correspondiente frecuencia.





2. ANCHO DE BANDA DE SEÑALES COMPUESTAS

SEÑALES COMPUESTAS

Ancho de banda de una señal compuesta

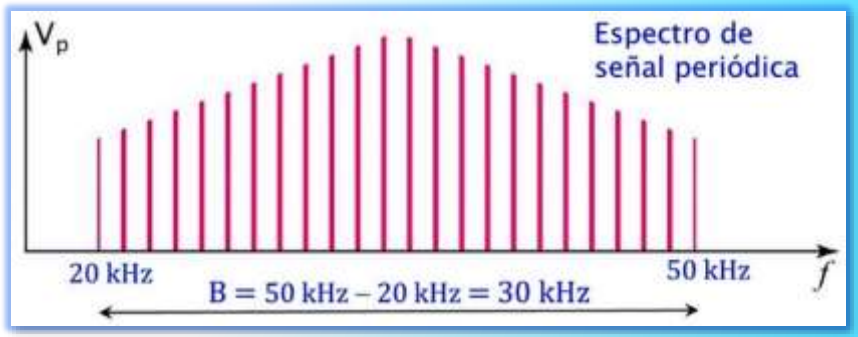
(Forouzan, 2020)

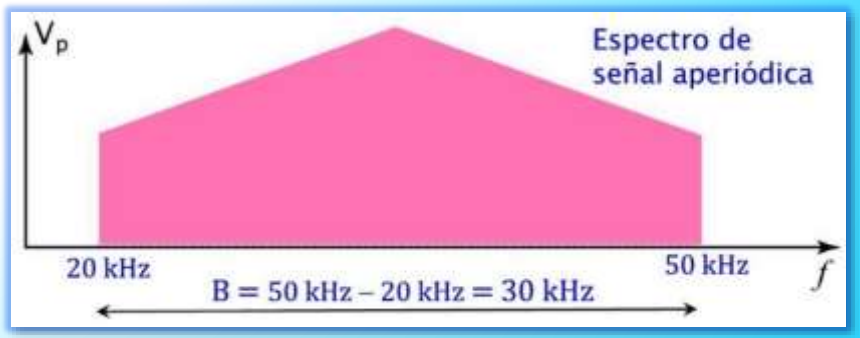
$$B = f_{máx} - f_{mín}$$

B = ancho de banda de la señal, en Hz
$f_{máx}$ = frecuencia más alta de la señal, en Hz
$f_{mín}$ = frecuencia más baja de la señal, en Hz

- **El ancho de banda** de una señal compuesta es el rango de frecuencias contenidas en ella. El ancho de banda es, normalmente, una diferencia de números.

- ▶**Ejemplo 6.** Si una señal compuesta contiene frecuencias entre 20 y 50 kHz, su ancho de bandas es 50 – 20 = 30 kHz, es decir la diferencia entre las frecuencias más alta y la más baja contenidas en esa señal.
  - ⊠Las figuras muestran el concepto de ancho de banda; son dos señales compuestas, una periódica y otra no periódica.
  - ⊠El ancho de banda de la señal periódica contiene todas las frecuencias enteras entre 20 y 50 kHz (20, 21, 22, ….).
  - ⊠El ancho de banda de las señales no periódicas tiene el mismo rango, pero las frecuencias son continuas.





Ancho de banda de señales compuestas

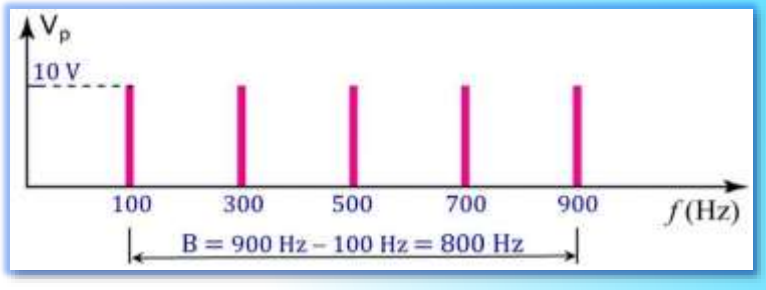
SEÑALES COMPUESTAS

Ejemplos de ancho de banda de señales compuestas

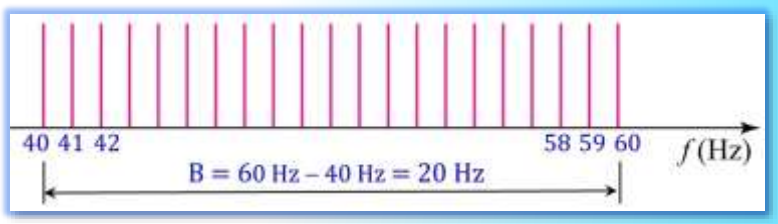
(Forouzan, 2020)

$$B = f_{máx} - f_{mín}$$

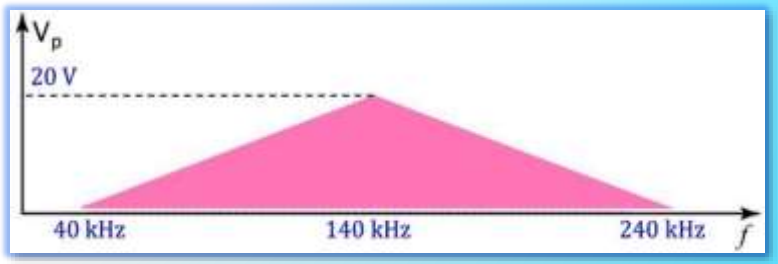
- ▶**Ejemplo 7.** Si una señal periódica se descompone en cinco ondas seno de frecuencias de 100, 300, 500, 700 y 900 Hz. ¿Cuál es su ancho de banda? Dibuje el espectro. Asumiendo que todos los componentes tienen una amplitud pico de 10 V.



- ▶**Ejemplo 8**. Una señal periódica 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 enteras con la misma amplitud.



- ▶**Ejemplo 9**. Una señal compuesta no periódica 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 V. Dibuje el dominio de la frecuencias de la señal.



- ▶**Ejemplo 10**. Un canal de televisión a color analógico ocupa un ancho de banda de 6 MHz. Si el límite inferior del canal 2 es 54 MHz, calcule la frecuencia del límite superior.

$f_{máx}$ = 60 MHz.

Ancho de banda de señales compuestas

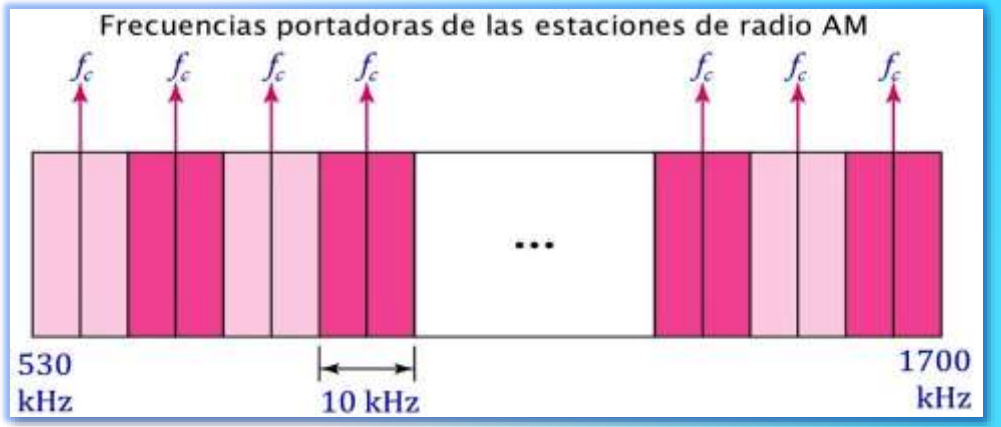
SEÑALES COMPUESTAS

Ejemplos de ancho de banda de señales compuestas (cont.)

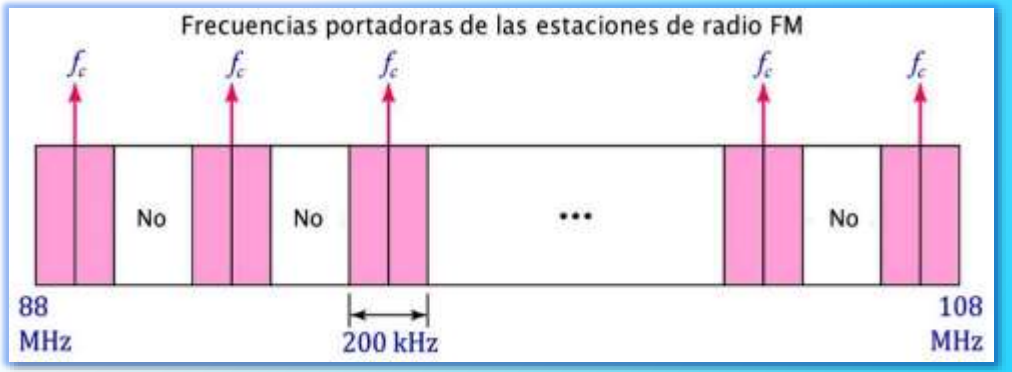
(Forouzan, 2020)

$$B = f_{máx} - f_{mín}$$

- ▶**Ejemplo 11.** Estaciones de radio AM. Un ejemplo de una señal compuesta no periódica es la señal propagada por una estación de radio AM. En general, a cada estación de radiodifusión comercial AM se le asigna un ancho de banda de 10 kHz. El espectro total dedicado a la radio AM va desde 530 hasta 1.700 kHz. (En total 117 bandas, sin bandas de guarda).



- ▶**Ejemplo 12**. Estaciones de radio FM. Un ejemplo de una señal compuesta no periódica es la señal propagada por una estación de radio FM. En general, a cada estación de radio FM se le asigna un ancho de banda de 200 kHz. El espectro total dedicado a estaciones de radio FM va desde 88 hasta 108 MHz. (En total 50 bandas con igual cantidad de bandas de guarda).
  - ⊠Otra modalidad es asignar un ancho de banda de 300 MHz a cada estación de radio FM, pero sin bandas de guarda entre estaciones vecinas.



- **La asignación** de frecuencias portadoras es efectuada por entes reguladores en cada país.

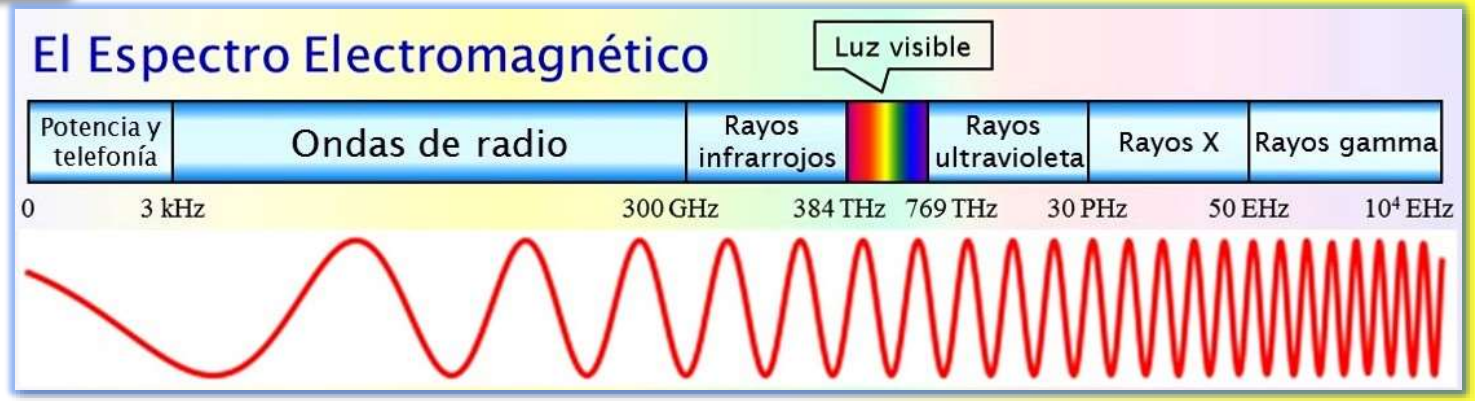
3. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

SEÑALES COMPUESTAS

¿Qué es el espectro electromagnético?

(Blake, 2004) (Kraus, 2000)

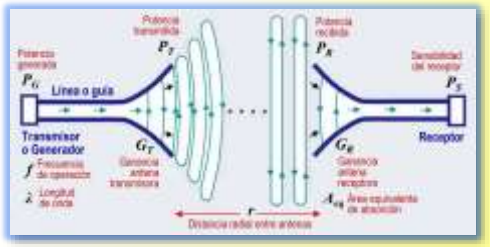
- **Es el conjunto** de ondas ordenadas de acuerdo a su frecuencia y longitud de onda. A mayor frecuencia menor longitud de onda, y viceversa.



- **¿Qué regiones del espectro se utilizan en telecomunicaciones?** No todas las regiones, y los medios para conducirlas son unos pocos.

- ▶Potencia y telefonía. Las frecuencias en la banda de voz se transmiten en forma de corrientes eléctricas a través pares trenzados o cables coaxiales.

- ▶Ondas de radio. Viajan a través del aire, pero necesitan mecanismos de transmisión y recepción.



- ▶Rayos infrarrojo. Las ondas de luz, el 3er tipo de energía electromagnética que se usa en telecomunicaciones, se conducen usando fibras ópticas.

SEÑALES COMPUESTAS

Bandas de las ondas de radio

- **¿Por qué el nombre de las bandas?** Cuando entró en uso el sistema para etiquetar las frecuencias, sólo se consideraron las bandas de bajas, medias y altas frecuencias, LF, MF y HF respectivamente. Nadie esperaba rebasar los 10 MHz.
- **Cuando se rebasaron los 10 MHz**, se asignaron nombres, hacia arriba y hacia abajo. Las más altas se denominaron bandas de:
  - Muy alta frecuencia VHF.
  - Ultra alta frecuencia UHF.
  - Súper alta frecuencia SHF.
  - Extremadamente alta frecuencia EHF.
- **Más allá de eso** ya no hay nombres; sin embargo, se han sugerido las siguientes designaciones:
  - Tremendamente alta frecuencia THF.
  - Increíblemente alta frecuencia IHF.
  - Asombrosamente alta frecuencia ASH.
  - Prodigiosamente alta frecuencia PHF.
- **La palabra radio** viene de *radius*, que significa rayo en Latín.

Rango	Banda	f_{min}	$f_{máx}$	$\lambda_{máx}$	λ_{min}
Potencia y telefonía	ELF	0	3 KHz	0	100 Km
Ondas de radio	VLF	3 KHz	30 KHz	100 Km	10 Km
	LF	30 KHz	300 KHz	10 Km	1 Km
	MF	300 KHz	3 MHz	1 Km	100 m
	HF	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m
	VHF	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m
	UHF	300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm
	SHF	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm
	EHF	30 GHz	300 GHz	1 cm	1 mm

El espectro electromagnético

SEÑALES COMPUESTAS

Rango	Banda	f min	f máx	λ máx	λ min	Propagación en telecomunicaciones	Aplicación de RF	Características
Potencia y telefonía	ELF	0	3 KHz	0	100 Km	Par trenzado / Cable coaxial / Guía de onda / FO; Superficie	Ultrasonidos. Técnicas de audio. Transporte energía	Creadas por el hombre con un circuito oscilante. En líneas de transmisión se propagan como corrientes eléctricas En el aire como ondas electromagnéticas En la región de las microondas, 1 a 300 GHz, se comportan como un fluido, semejante a un haz de luz.
Ondas de radio	VLF	3 KHz	30 KHz	100 Km	10 Km		Radionavegación de largo alcance y submarina	
	LF	30 KHz	300 KHz	10 Km	1 Km		Radionavegación de largo alcance y localizadores	
	MF	300 KHz	3 MHz	1 Km	100 m	Troposfera	Radio AM, marítima, frecuencias de emergencia	
	HF	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m	Ionosfera	Radioaficionados, emisión Internacional, CB	
	VHF	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m	Línea vista y espacio	TV (2 a 6) (7 a 13), Radio FM, aviación	
	UHF	300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm		Telefonía móvil, WiFi4, TV (14 a 69), LTE	
	SHF	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm	Espacio	Microondas terrestre y satélite, Radar, WiFi, LTE	
	EHF	30 GHz	300 GHz	1 cm	1 mm		Microondas satélite, Radar de navegación, LTE.	
Rayos infrarrojos		300 GHz	384 THz	1 mm	780 nm		Fotografía infrarroja, Comunicación por FO	Emitidos por vibraciones de átomos (calientes)
Luz visible		384 THz	769 THz	780 nm	380 nm		Comunicación por FO para control industrial	Saltos electrónicos: niveles atómicos y moleculares
Rayos ultravioleta		769 THz	$3x10^{16}$ Hz	380 nm	8 nm		Producen la ionosfera. Broncean la piel	Provienen del sol. Los absorbe el ozono. Peligrosos
Rayos X		30 PHz	50 EHz	8 nm	6 pm		Diagnósticos médicos. Radiografía	Oscilaciones de electrones próximos a los núcleos.
Rayos gamma		50 EHz	10^4 EHz	6 pm	$3x10^{-14}$ m		Medicina y alimentos Eliminan bacterias	Desintegraciones nucleares Penetrantes y energéticos.

Referencias bibliográficas

SEÑALES COMPUESTAS

Referencias bibliográficas

- APC, Asociación para el progreso de las comunicaciones (2007). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo.* Mountain View, CA. USA: Limehouse Book Sprint Team.
- Blake, Roy (2004). *Sistemas electrónicos de comunicaciones .* México: Thomson.
- Frenzel (2003). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones.* Madrid: Alfaomega.
- Forouzan, B. A. (2020). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones.* Madrid: McGraw-Hill.
- Kraus, J., & Fleisch, D. (2000). *Electromagnetismo con Aplicaciones.* México: McGraw-Hill.
- RadioMobile. *RadioMobile*. Recuperado el 16 de marzo de 2022, de http://www.cplus.org/rmw/english1.html.
- Stallings, William (2007). *Data and Computer Communication.* New Jersey: Pearson.

FIN

Tema 2 de:

TRANSMISIÓN DE DATOS

Edison Coimbra G.