

2

DATOS Y SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

Contenido

- 1.- La comunicación electrónica.
- 2.- La onda seno.
- 3.- Señales compuestas.
- 4.- Señales digitales.
- 5.- El espectro electromagnético.

Objetivo

Usar representaciones de señales analógicas y digitales en los dominios del tiempo y de la frecuencia. Explicar cómo se descomponen las señales compuestas en ondas seno simples.



Manual de clases

Tema 2 de:
TELECOMUNICACIONES
Edison Coimbra G.

Última modificación:
18 de agosto de 2013

1.- La comunicación electrónica

Significado de las palabras

Como en todo estudio, las primeras preguntas que surgen se relacionan con el **significado de las palabras**: ¿Qué es comunicación?, ¿en qué difiere de la telecomunicación?, ¿y en qué difieren ambas de las telecomunicaciones?

Comunicación

Actividad asociada con el **intercambio** de información. Deriva del latín *communicare*, que significa hacerlo común, compartir, dar a conocer.

Telecomunicación

Actividad de comunicarse a **distancia**. Deriva del griego *tele* que significa lejos, a distancia, y de *comunicación*.

Telecomunicaciones

La **infraestructura** que soporta a la actividad de telecomunicación.

Otro grupo de palabras

Información

Aquello que es **distribuido** o intercambiado por la comunicación.

Mensaje

Alguna forma (símbolo) de **representación** de la información. Por ejemplo: mensaje hablado, escrito, señas, etc.

Señal

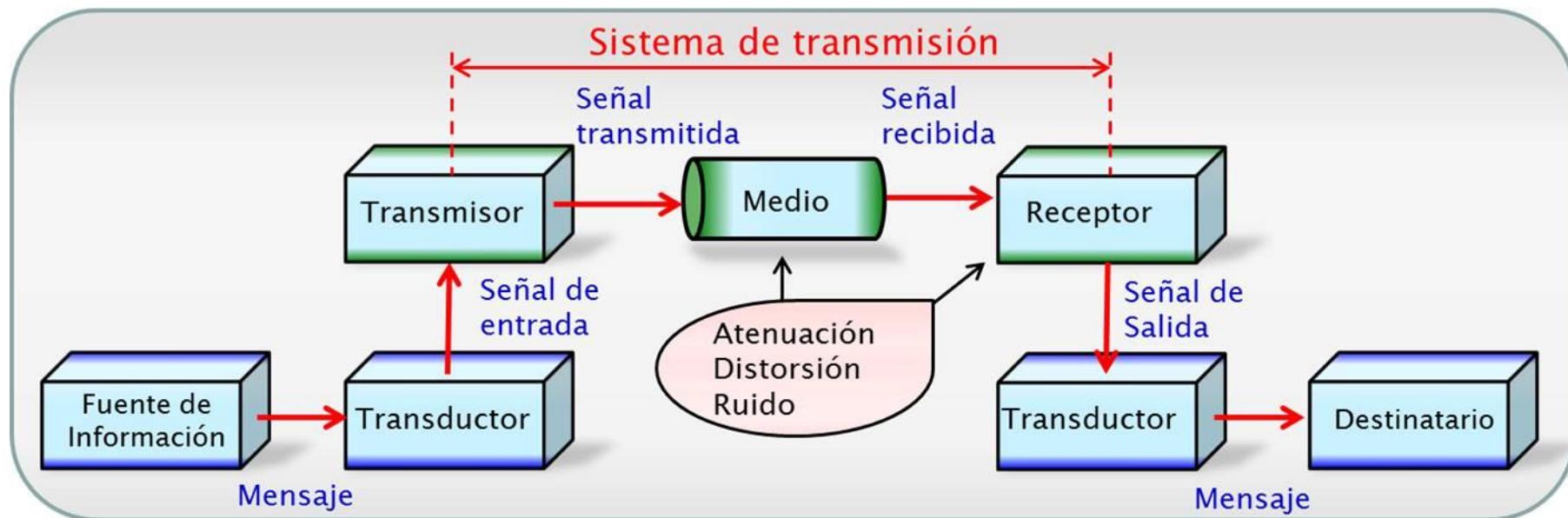
Fenómeno físico en el que se transforma o **codifica** el mensaje para su transmisión. En comunicaciones electrónicas la señal es una onda electromagnética que transporta la información.

La onda electromagnética transporta la información.

Elementos de un sistema de comunicación

Un sistema de comunicación está conformado por 7 elementos

(Frenzel, 2003)



Funciones de los elementos

- 1. Fuente de información.** Donde se genera la información y se transforma en mensaje.
- 2. Transductor (de entrada).** Convierte el mensaje en una señal eléctrica (voltaje o corriente).
- 3. Transmisor.** Adecúa la señal de entrada al medio de transmisión. Implica una modulación.
- 4. Medio.** Medio físico que une el transmisor con el receptor. La comunicación toma la forma de ondas electromagnéticas, las cuales se deterioran debido al ruido, distorsión y atenuación.
- 5. Receptor.** Recupera la señal del medio y realiza las operaciones inversas del transmisor.
- 6. Transductor (de salida).** Convierte la señal de salida en un mensaje para el destinatario.
- 7. Destinatario.** Destinatario de la información.

Mundo analógico

Requerimiento para transmitir mensajes (datos)

(Forouzan, 2007)

En general, los **mensajes** (datos) que utiliza una persona o aplicación no están en un formato que se pueda transmitir por un **sistema de comunicación**. Por ejemplo, la voz o una fotografía deben convertirse primero a un formato (**señal**) que el **medio** pueda aceptar. El medio de transmisión funciona conduciendo energía a través de un camino físico.

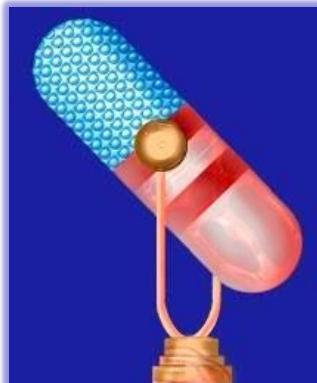
Los **datos** y las **señales** que los representan pueden estar en forma **analógica** o **digital**.

Dato analógico y señal analógica - Ejemplo

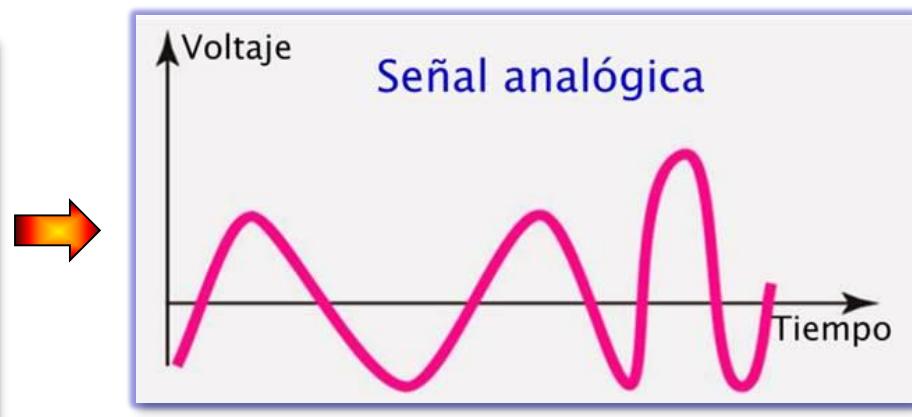
Los **datos analógicos** se refieren a información que toma **valores continuos**, como el sonido de la voz humana. Cuando alguien habla, crea una onda continua en el aire.



Esta onda es capturada por un micrófono (**transductor**) y convertida en señal analógica.



La **señal analógica** es una **onda continua** que cambia suavemente en el tiempo. Tiene un número infinito de valores de voltaje dentro de un rango.



Para transmitir datos, primero se convierten a señales electromagnéticas.

Mundo digital

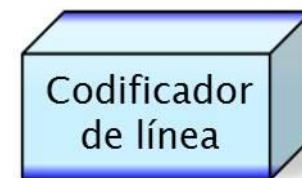
Dato digital y señal digital - Ejemplo

(Forouzan, 2007)

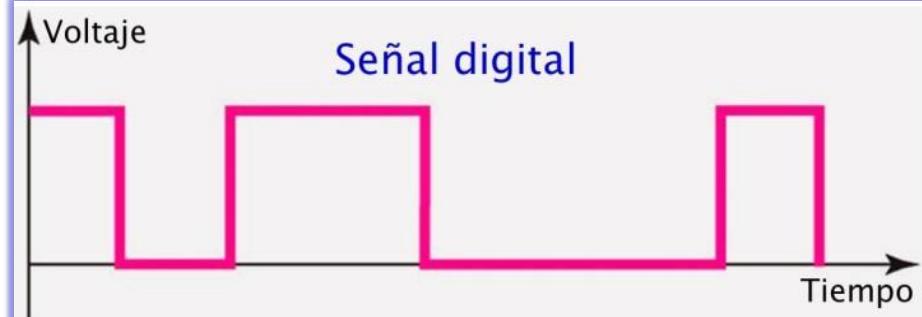
Los **datos digitales** toman **valores discretos**. Se almacenan en la memoria de un PC en forma de “0”s y “1”s.



Los “0”s y “1”s se convierten en señal digital con ayuda de un codificador de línea (**transductor**).



Una **señal digital** es una onda con **saltos repentinos** entre un valor de voltaje y otro. Tiene un número discreto de valores. A menudo es tan simple como “0” y “1”.

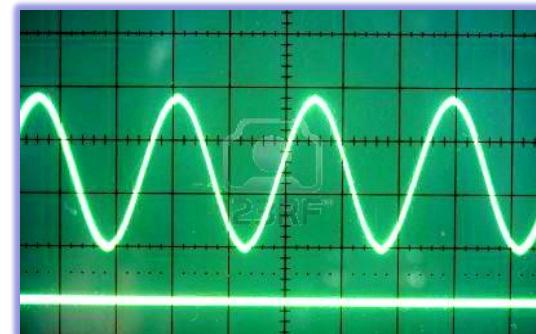
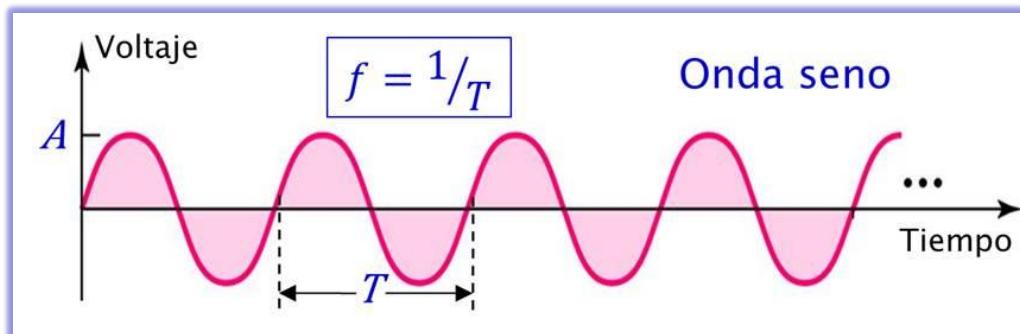


Para transmitir datos, primero se convierten a señales electromagnéticas.

2.- La onda seno

¿Qué es la onda seno?

Es la forma más fundamental de una **señal analógica**. Visualizada como una curva **oscilante**, cuyo cambio a lo largo de un **ciclo** es suave.



Cada ciclo está formado por un semiciclo **positivo** y otro **negativo**.

Así se ve la onda en un osciloscopio

Es una señal periódica

Porque completa un **ciclo** dentro de un marco de tiempo medible, denominado **periodo**, y repite ese ciclo en períodos de tiempo subsecuentes.

Representación matemática

$$v(t) = A \operatorname{sen}(2\pi ft + \theta)$$

$v(t)$ = voltaje instantáneo, en V.
 A = amplitud pico, en V.
 f = frecuencia de la onda, en Hz.
 θ = fase de la onda, en radianes.



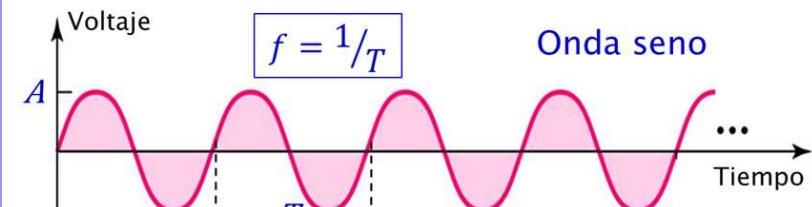
Estas 3 características **describen** completamente a la onda seno.

En telecomunicaciones una señal seno es lo que en acústica sería un "tono puro".

Amplitud pico de la onda seno

¿Qué es la amplitud pico?

La **amplitud pico** de una señal en una gráfica es el valor absoluto de su intensidad más alta (**A**), proporcional a la energía que transporta. En señales eléctricas, se mide en **V**.



Ejemplo 1 Amplitud pico y voltaje efectivo (Forouzan, 2007)

El voltaje que tiene en su hogar se representa mediante una onda seno con una **amplitud pico** de 311 V. Sin embargo, es de conocimiento común que el voltaje en los hogares de Bolivia es de 220 V. Esta discrepancia se debe al hecho de que este último es un **valor efectivo** o RMS (raíz cuadrática media). El valor pico es igual a $1.41 \times \text{RMS}$.



Ejemplo 2 Voltaje de una batería (Forouzan, 2007)

El voltaje de una batería es constante; este valor constante se considera una onda seno de **frecuencia 0**. Por ejemplo, el valor pico de una batería AA es normalmente 1,5 V.



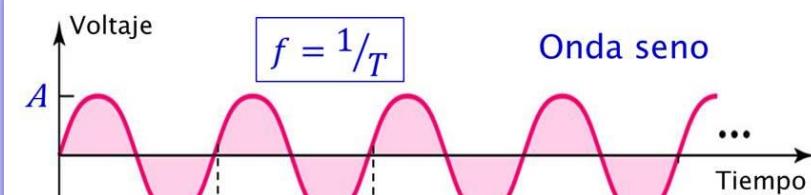
La amplitud pico de una señal es proporcional a la energía que transporta.

El periodo y la frecuencia de la onda seno

¿Qué son el periodo y la frecuencia?

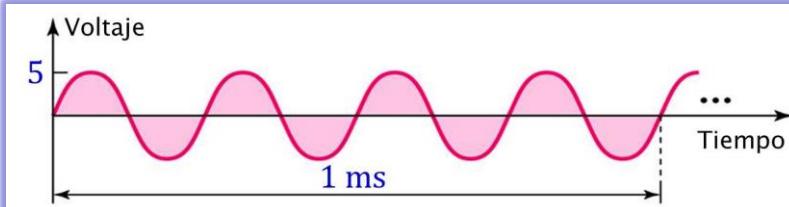
El **periodo T** es la cantidad de tiempo que necesita una señal para completar un ciclo; se mide en **s**.

La **frecuencia f** indica el número de ciclos por segundo; se mide en **ciclos/s** o **Hz**. La frecuencia es la inversa del periodo.



Ejemplo 3 Dos señales con distintas frecuencias (Forouzan, 2007)

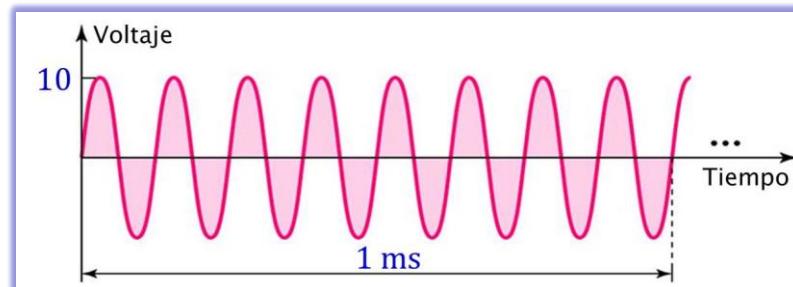
Calcule las **frecuencias** de las señales de las figuras y escriba sus ecuaciones matemáticas.



Respuesta.-

$$f_1 = 4 \text{ kHz},$$

$$\nu_1(t) = 5\sin(8\pi t \times 10^3 + 0)$$



$$f_2 = 8 \text{ kHz},$$

$$\nu_2(t) = 10\sin(16\pi t \times 10^3 + 0)$$

La frecuencia mide la **velocidad de cambio**. Si el valor de una señal cambia en un tiempo muy largo, su frecuencia es baja. Si cambia en un tiempo corto, su frecuencia es alta.

El periodo y la frecuencia son inversos entre sí.

Unidades del periodo y la frecuencia

Unidades utilizadas en telecomunicaciones

CHICIA

Unidades del periodo y de la frecuencia			
Unidad	Equivalente	Unidad	Equivalente
Segundo (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milisegundo (ms)	10^{-3} s	Kilohertz (kHz)	10^3 Hz
Microsegundo (μ s)	10^{-6} s	Megahertz (MHz)	10^6 Hz
Nanosegundo (ns)	10^{-9} s	Gigahertz (GHz)	10^9 Hz
Picosegundo (ps)	10^{-12} s	Terahertz (THz)	10^{12} Hz
Femtosegundo (fs)	10^{-15} s	Petahertz (PHz)	10^{15} Hz
Attosegundo (as)	10^{-18} s	Exahertz (EHz)	10^{18} Hz

Ejemplo 4 Periodo de electricidad comercial

La electricidad que se usa en una casa en Bolivia tiene una frecuencia de **50 Hz**. Calcule el periodo de esta onda seno.

Respuesta.- $T = 20 \text{ ms}$



Ejemplo 5 Frecuencia de una señal

El periodo de una señal es $100 \mu\text{s}$. Exprese este periodo en ns y calcule la **frecuencia** en kHz.

Respuesta.- $T = 10^5 \text{ ns}$ $f = 10 \text{ kHz}$

El periodo y la frecuencia son inversos entre sí.

Frecuencias extremas en señales

Dos casos extremos

(Forouzan, 2007)

Frecuencia cero

¿Qué ocurre si una señal no cambia en absoluto, es decir si mantiene un valor de voltaje **constante** durante todo su tiempo de actividad?



En ese caso, su **frecuencia es cero**, porque nunca completa un ciclo, el **periodo tiende a infinito**.

Frecuencia infinita

¿Qué ocurre si una señal cambia instantáneamente, es decir si salta de un valor a otro **instantáneamente**?



En ese caso, **su frecuencia es infinita**, porque su periodo de cambio tiende a 0.



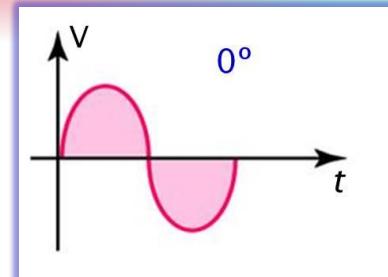
Si una señal no cambia en absoluto su frecuencia es 0, si cambia instantáneamente, es infinita.

Fase de la onda seno

¿Qué describe la fase?

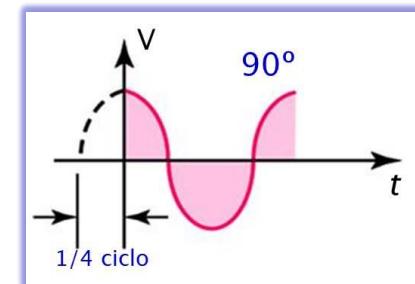
(Forouzan, 2007)

La posición relativa de la onda respecto al instante de **tiempo 0**. Si se piensa que la onda se desfasa hacia delante o hacia atrás a lo largo del eje del tiempo, la fase describe la magnitud de ese desfase, indica el **estado del primer ciclo**.



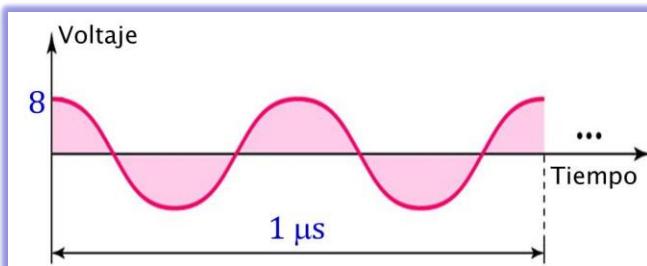
¿En qué se mide la fase?

En **grados** o **radianes** (360° son 2π radianes). Una onda seno con una **fase de 0°** no tiene desfase. Un desfase de **360°** corresponde al desfase de un periodo T completo.



Ejemplo 6 Señal desfasada

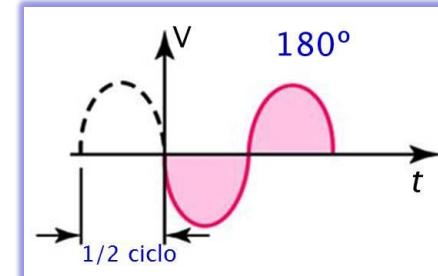
Calcule la frecuencia y escriba la **ecuación** de la señal de la figura.



Respuesta.-

$$f = 2 \text{ MHz}$$

$$v(t) = 8 \sin(4\pi t \times 10^6 + \pi/2)$$



Ejemplo 7 Señal desfasada

Una onda seno está desfasada **$1/6$ de ciclo** respecto al tiempo 0. ¿Cuál es su fase en grados y radianes?

Respuesta.-

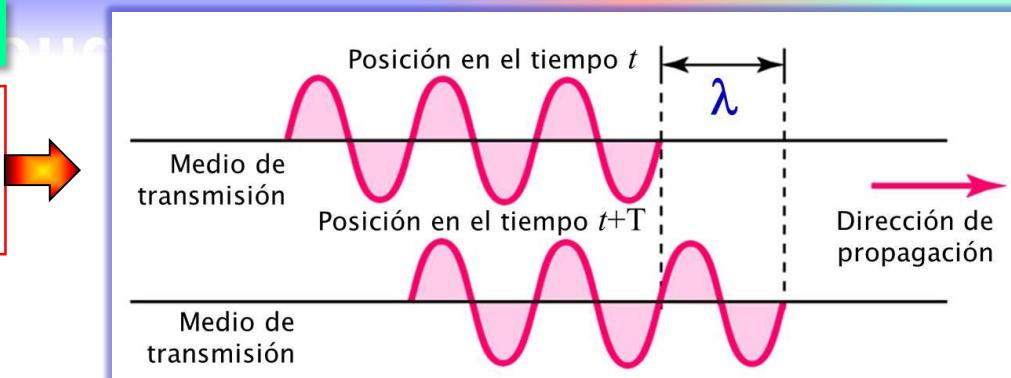
$$\theta = 60^\circ = \pi/3 \text{ rad}$$

La fase indica el estado del primer ciclo respecto al tiempo 0.

Longitud de onda de la onda seno

¿Qué es la longitud de onda?

Es la **distancia λ** que una señal seno viaja a través de un **medio** de transmisión en un periodo de **tiempo T**.



¿Cómo se calcula λ ?

La **longitud λ** se calcula si se conoce el **periodo** de la señal y la **velocidad de propagación** de la onda (la velocidad de la luz si la propagación es en el aire).

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ = longitud de onda, en **m**.
 c = velocidad de la luz, 300.000 **km/s**.
 f = frecuencia de la onda, en **Hz**.

La velocidad de propagación de las señales electromagnéticas depende del **medio** y de la **frecuencia** de la señal. Por ejemplo, en el vacío, la luz se propaga a 300.000 km/s. Esta velocidad es menor en un cable coaxial o de fibra óptica.

Ejemplo 8 Longitudes de onda (Blake, 2004)

Calcule la longitud de onda en el espacio libre correspondiente a una frecuencia de:

- a) 1 **MHz** (banda de radiodifusión comercial AM).
- b) 27 **MHz** (banda ciudadana).
- c) 4 **GHz** (usada para televisión por satélite).

Respuesta.-

- a) $\lambda = 300$ m
- b) $\lambda = 11,1$ m
- c) $\lambda = 7,5$ cm

La longitud de onda disminuye en un cable coaxial o de fibra óptica.

Ejemplos de longitud de onda

Ondas largas, cortas y microondas

(Blake, 2004)

Las señales de baja frecuencia se denominan a veces **ondas largas**, las frecuencias altas corresponden a **ondas cortas**. El término **microondas** se utiliza para describir a las señales con frecuencias superiores a 1 GHz.

Ejemplo 9 Radioemisora FM

Una **radioemisora FM** emite ondas de radio que viajan una distancia de 3,2644 m en el tiempo que toma completar un ciclo. Calcule la frecuencia de operación de la radioemisora. ¿Qué radio FM es?

Respuesta.-

$f = 91,9 \text{ MHz}$. Radio Activa de Santa Cruz de la Sierra.

Ejemplo 10 Señal de telefonía móvil

Calcule la longitud de onda de la señal de 900 MHz utilizada por el servicio de **telefonía móvil**.

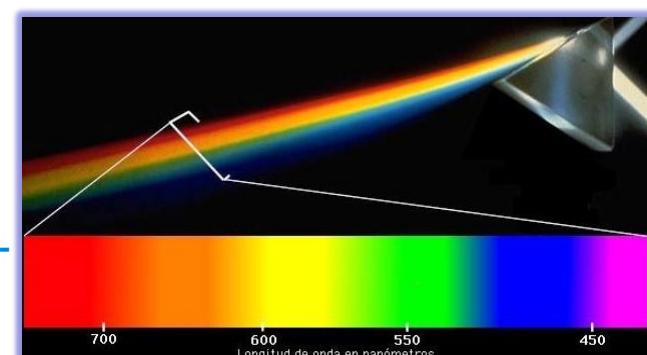
Respuesta.-

$\lambda = 33,3 \text{ cm}$

Ejemplo 11 Luz visible

La **luz visible** está formada por radiación electromagnética con longitudes de onda entre 400 y 700 nm. Exprese este intervalo en términos de frecuencia.

Respuesta.- $f = 750 \text{ THz}, 429 \text{ THz}$.



Ejemplo 12 Luz roja en el aire

Calcule la longitud de onda de la **luz roja** en el aire. La frecuencia de la luz roja es 400 THz.

Respuesta.-

$\lambda = 0,75 \mu\text{m}$

La luz blanca es la combinación de todos los colores. Se usa un prisma.

Dominios del tiempo y de la frecuencia

Representación en el dominio del tiempo

Hasta ahora se han mostrado los cambios de amplitud de la onda seno con respecto al **tiempo**, es decir una representación de la onda seno en el **dominio del tiempo**.

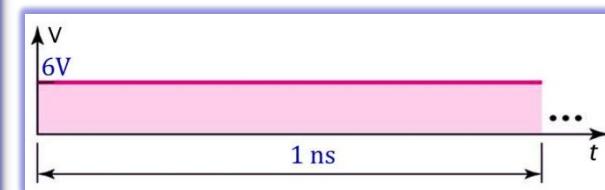
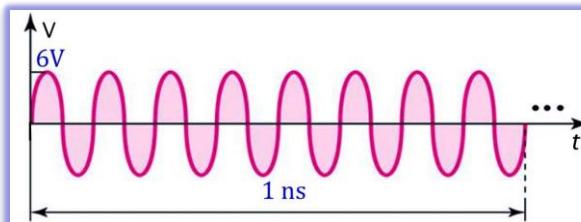
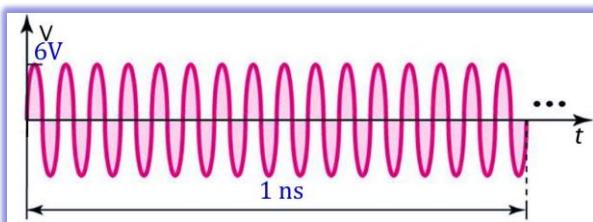
Representación en el dominio de la frecuencia

(Forouzan, 2007)

Para mostrar la relación entre amplitud y **frecuencia**, se usa la representación en el **dominio de la frecuencia** (o **spectro de frecuencias** de la señal). Una onda seno completa en el dominio del tiempo se representa mediante una única barra en el dominio de la frecuencia. La posición de la barra muestra la **frecuencia**, su altura la **amplitud pico**.

Ejemplo 13 Espectro de frecuencias

Dibuje la representación en el dominio de la frecuencia de las señales de las figuras.



Respuesta.-



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

3.- Señales compuestas

¿Porqué son necesarias las señales compuestas?

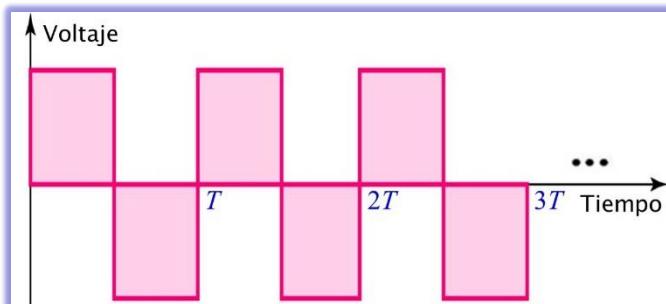
(Forouzan, 2007)

Hasta aquí se han analizado ondas seno que son señales periódicas simples. Si sólo se tuviera una onda seno para transportar una conversación telefónica, no tendría sentido y no transportaría información. Sólo se oiría un zumbido. Es necesario, por tanto, enviar una **señal compuesta** para comunicar datos.

Señal compuesta periódica y aperiódica

1

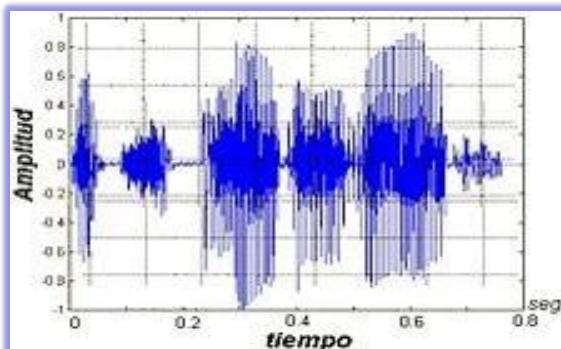
Señal
compuesta
periódica



Hay muchas **ondas útiles** que no son seno; en lugar de eso saltan, se desfasan, tienen picos y presentan depresiones. Pero si estas irregularidades son consistentes para cada ciclo, la **señal es periódica** y se la puede describir en los mismos términos que los usados para las ondas seno.

2

Señal
compuesta
aperiódica



Una **señal aperiódica** cambia sin exhibir ningún patrón o ciclo que se repite en el tiempo. La mayoría de las ondas del mundo real son **aperiódicas**.



Voz creada por el micrófono de un teléfono.

Una onda seno de frecuencia única no es útil para transmitir información.

El análisis de Fourier

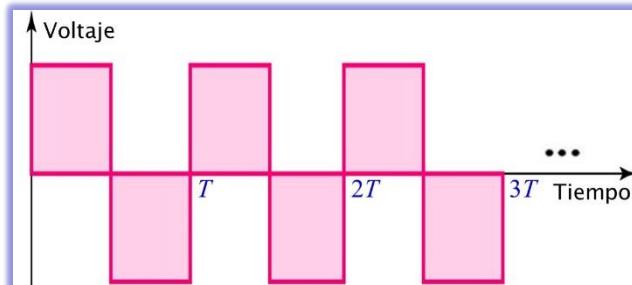
¿Qué demostró Fourier?

(Forouzan, 2007)

A principios de 1800, Jean Baptista Fourier demostró que cualquier **señal compuesta** es realmente una **combinación de ondas seno** con distintas frecuencias, amplitudes y fases.

1

Señal compuesta periódica

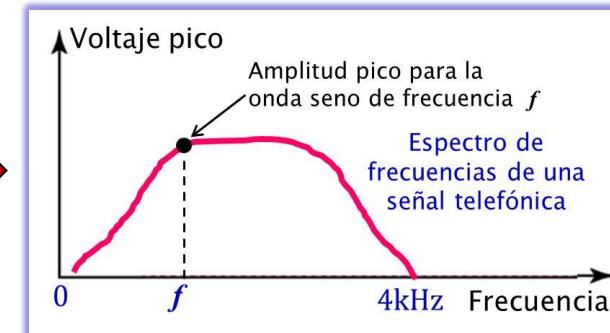
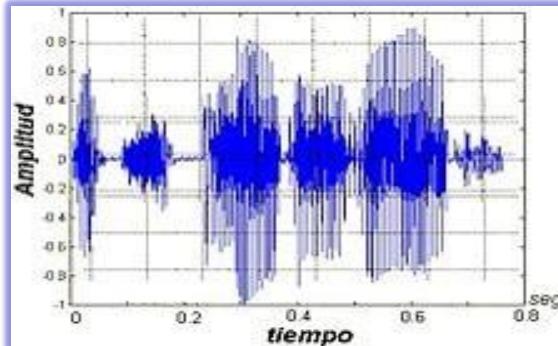


El análisis matemático se conoce como **Serie de Fourier**. Hay tablas con series para ondas periódicas comunes.

La señal se descompone en una serie de ondas seno con frecuencias discretas de valores enteros (1, 2, 3, 4, ...), denominadas frecuencia fundamental, 2do. armónico, 3er. armónico, etc.

2

Señal compuesta aperiódica



Las características no repetitivas se resuelven en un espectro de frecuencias mucho más complejo, denominado **Transformación de Fourier**.

La señal se descompone en un número infinito de ondas seno con frecuencias continuas de valores reales.

Cualquier señal compuesta es una combinación de ondas seno.

Espectro de señal compuesta periódica

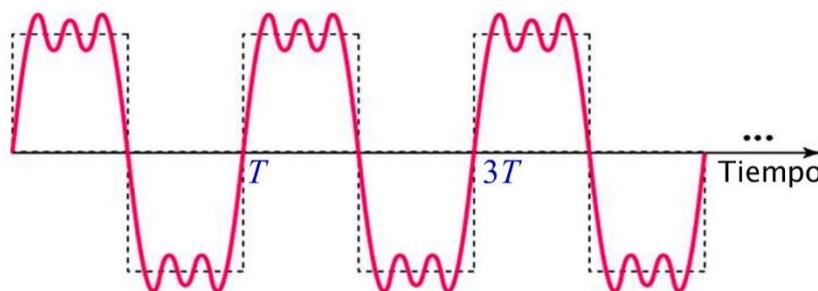
Según el análisis matemático Series de Fourier

(Forouzan, 2007)

Ejemplo 14

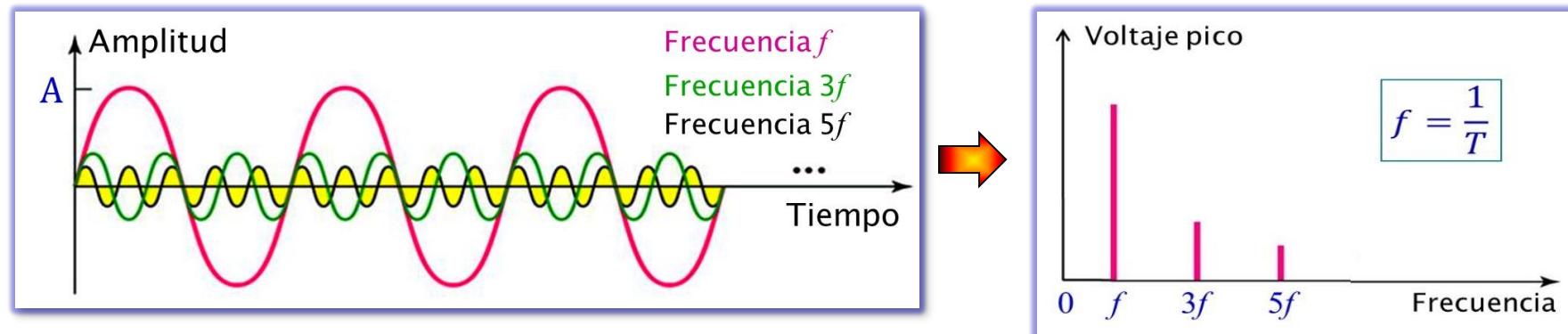
Espectro de señal compuesta periódica

Considere la señal compuesta periódica con **frecuencia fundamental f** . Esta señal puede tratarse de 3 sistemas de alarma, cada uno con frecuencia distinta.



Es difícil descomponer manualmente esta señal en una serie de ondas seno. Sin embargo, hay herramientas, tanto hardware (**analizador de espectro**) como software (**MATLAB**), que pueden ayudar.

Respuesta.- Resultado de descomponer la señal en los dominios del tiempo y de la frecuencia.



La señal compuesta periódica se descompone en una serie de ondas seno con frecuencias discretas.

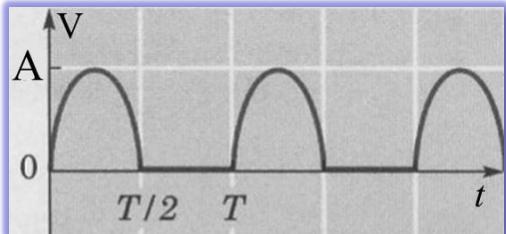
Espectro de señales compuestas periódicas

Ejemplos de Series de Fourier

(Blake, 2004)

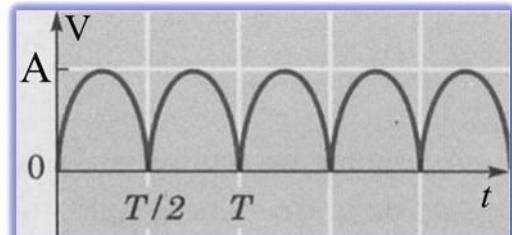
Se han elaborado tablas que contienen la **Serie de Fourier** para ondas periódicas comunes.

Senoide con rectificación de media onda



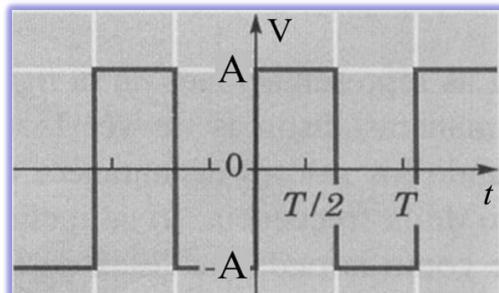
$$v(t) = \frac{A}{\pi} + \frac{A}{2} \sin(\omega t) - \frac{2A}{\pi} \left(\frac{\cos 2\omega t}{3} + \frac{\cos 4\omega t}{15} + \frac{\cos 6\omega t}{35} + \dots \right)$$

Senoide con rectificación de onda completa



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

Onda cuadrada



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

La señal compuesta periódica se descompone en una serie de ondas seno con frecuencias discretas.

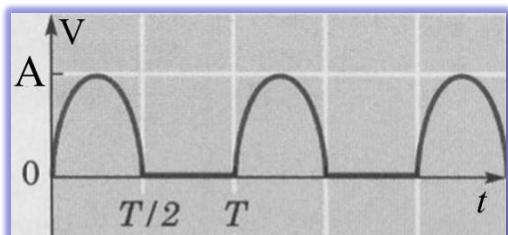
Espectro de señales compuestas periódicas

Ejemplo de Series de Fourier

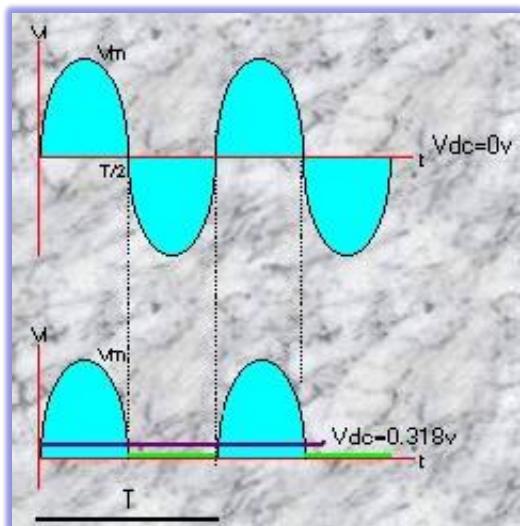
(Blake, 2004)

Ejemplo 15 Espectro de senoide con rectificación de media onda

Grafique el espectro de frecuencias para la señal rectificada de **media onda**, señalando hasta la 5^a armónica. $T = 20 \text{ ms}$ y $A = 17 \text{ V}$. Señale las escalas de voltaje y frecuencia.

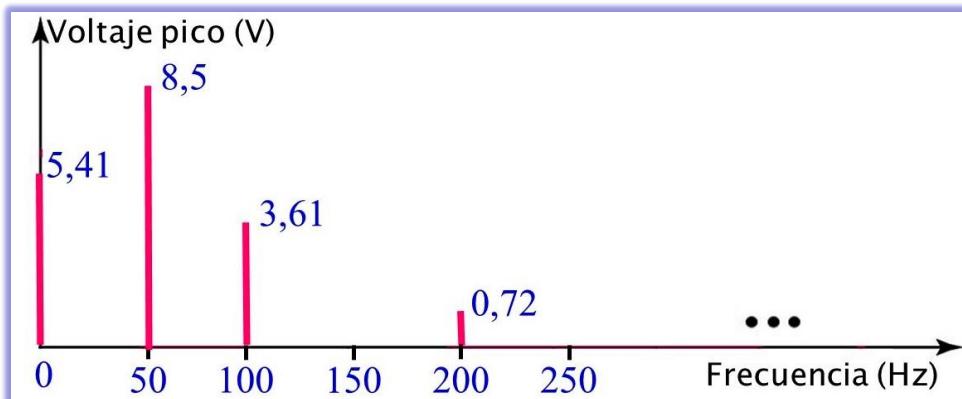


$$v(t) = \frac{A}{\pi} + \frac{A}{2} \sin(\omega t) - \frac{2A}{\pi} \left(\frac{\cos 2\omega t}{3} + \frac{\cos 4\omega t}{15} + \frac{\cos 6\omega t}{35} + \dots \right)$$



La corriente alterna se rectifica para transformarla en continua. Un diodo hace la rectificación y un capacitor suaviza las ondas.

Respuesta.-



La señal compuesta periódica se descompone en una serie de ondas seno con frecuencias discretas.

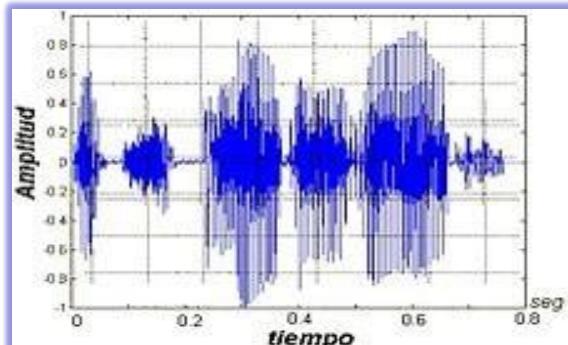
Espectro de señal compuesta aperiódica

Según el análisis matemático Transformación de Fourier

(Frenzel, 2003)

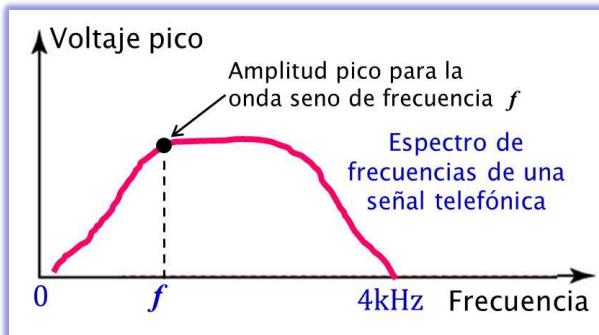
Ejemplo 16 Espectro de señal aperiódica

Considere la **señal de voz** creada por el micrófono de un teléfono. Es una señal compuesta aperiódica, porque no se repite la misma palabra exactamente con el mismo tono.



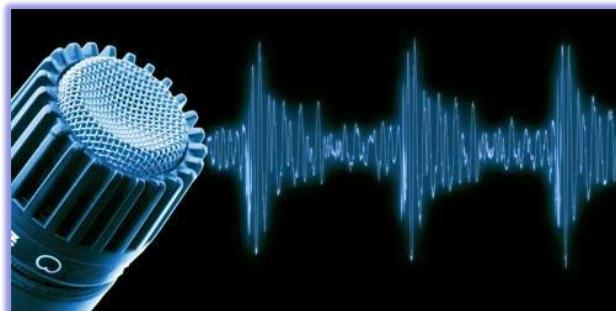
Aunque el número de frecuencias es infinito, el rango es limitado, y se encuentra entre 0 y 4 kHz; observado con un **analizador de espectro** o con la herramienta de **MATLAB** que ha utilizado el algoritmo **FFT** (*Transformada Rápida de Fourier*).

Respuesta.-



Resultado de descomponer la señal de voz en el dominio de la frecuencia.

Su espectro muestra una **curva continua**, al contrario de una señal periódica que es discreta.



El micrófono convierte las señales acústicas en corrientes eléctricas.

La señal compuesta aperiódica se descompone en infinitas ondas seno con frecuencias continuas.

Ancho de banda de señal compuesta

¿Qué es el ancho de banda de una señal compuesta?

(Forouzan, 2007)

Es el **rango de frecuencias** contenidas en ella. Es la diferencia entre la frecuencia más alta y más baja contenidas en la señal.

$$B = f_{\max} - f_{\min}$$

B = ancho de banda de la señal, en Hz.
 f_{\max} = frecuencia más alta de la señal, en Hz.
 f_{\min} = frecuencia más baja de la señal, en Hz

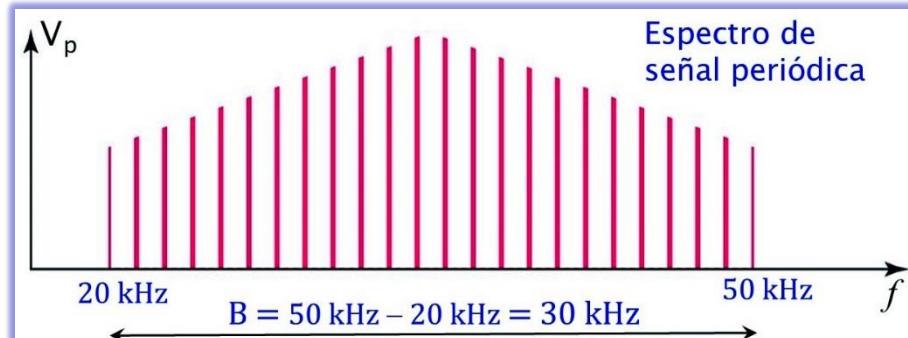
Ejemplo 17

Ancho de banda de señales compuestas

Las figuras muestran las frecuencias contenidas en una señal periódica y aperiódica, respectivamente. El concepto de **ancho de banda** se explica en las figuras.

La **señal periódica** contiene todas las frecuencias enteras entre 20 y 50 kHz (20, 21, 22,).

La **señal aperiódica** tiene el mismo rango, pero sus frecuencias son continuas.



El B de una señal es el rango de frecuencias contenidas en ella.

Ejemplos de ancho de banda

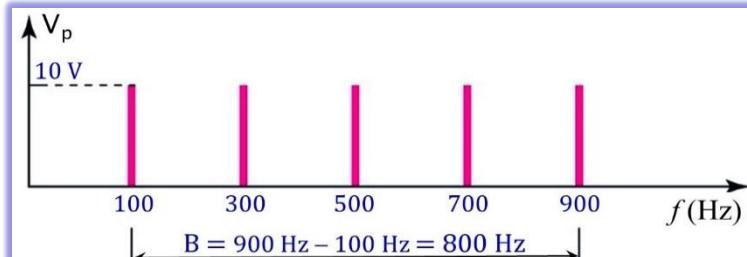
Ancho de banda de señales compuestas

Ejemplo 18 Ancho de banda

Una señal periódica se descompone en 5 ondas seno con frecuencias de 100, 300, 500, 700 y 900 Hz. Calcule su **ancho de banda** y dibuje el espectro. Todos los componentes tienen una amplitud pico de 10 V.

(Forouzan, 2007)

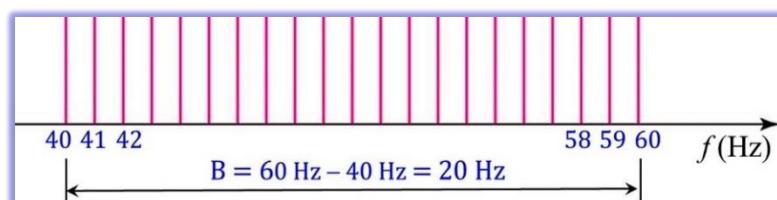
Respuesta.-



Ejemplo 19 Ancho de banda

El **ancho de banda** de una señal es 20 Hz. La frecuencia más alta es 60 Hz. Calcule la frecuencia más baja y dibuje el espectro. La señal contiene todas las frecuencias integrales de la misma amplitud.

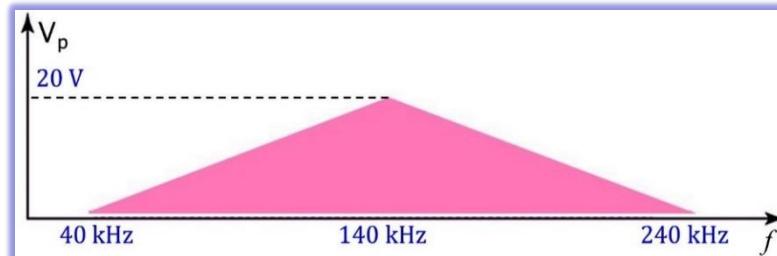
Respuesta.-



Ejemplo 20 Ancho de banda

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 0. Dibuje el dominio de la frecuencia de la señal.

Respuesta.-



Ejemplo 21 Ancho de banda canal de TV

Una señal de TV ocupa un **ancho de banda** de 6 MHz. Si el límite inferior del canal 2 es 54 MHz, calcule la frecuencia del límite superior

Respuesta.-

$$f_{\max} = 60 \text{ MHz.}$$

$$\text{Ancho de banda } B = f_{\max} - f_{\min}$$

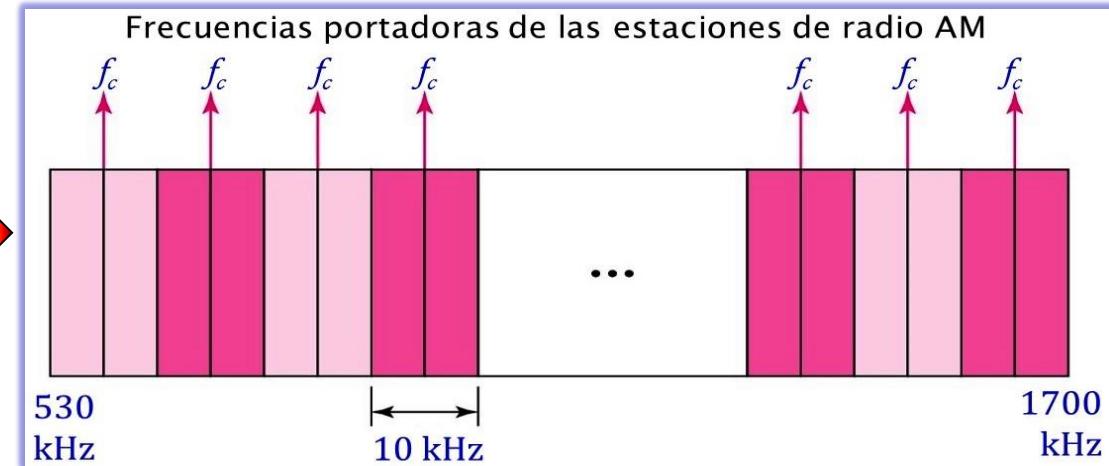
Ejemplos de ancho de banda

Asignación de frecuencias en la radiodifusión comercial

(Forouzan, 2007)

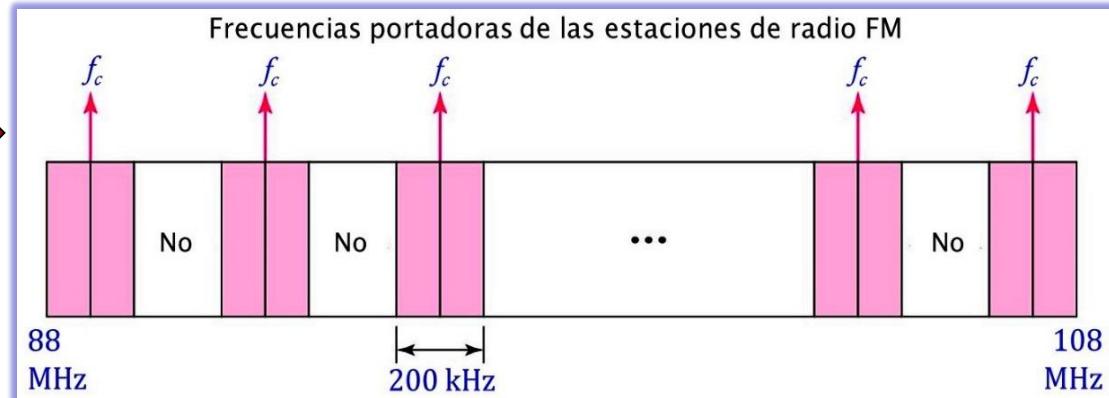
Ejemplo 22 Estaciones de radio AM

Un ejemplo de señal compuesta aperiódica es la señal que propaga una **estación de radio AM**. En general, cada estación de radio AM tiene asignado un ancho de banda de 10 kHz. El ancho de banda total dedicado a estaciones AM va desde **530 hasta 1700 kHz**. (En total 117 bandas).



Ejemplo 23 Estaciones de radio FM

Otro ejemplo de señal compuesta aperiódica es la señal que propaga una **estación de radio FM**. En general, cada estación de radio FM tiene asignado un ancho de banda de 200 kHz. El ancho de banda total dedicado a estaciones FM va desde **88 hasta 108 MHz**. (En total 50 bandas).



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

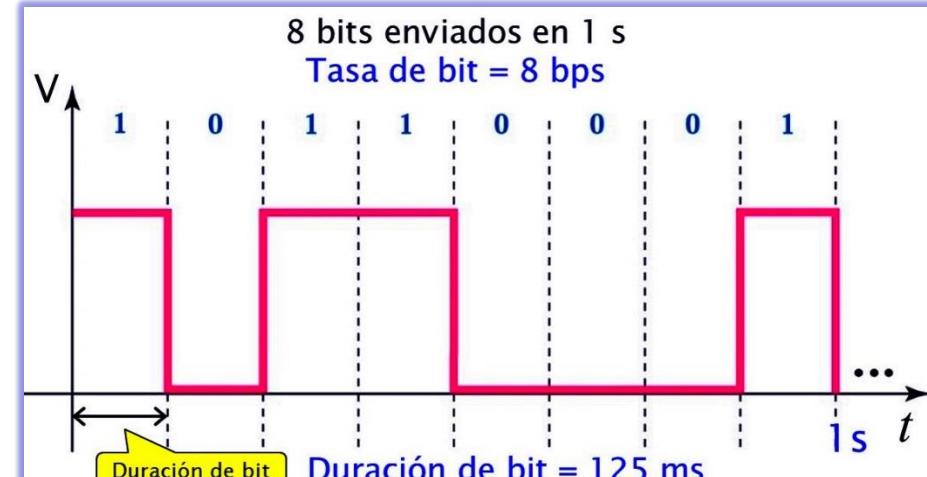
4.- Señales digitales

La información también se representa mediante una señal digital

Por ejemplo, un **1** se puede codificar como un voltaje positivo y un **0** como un voltaje cero.

Intervalo de bit y tasa de bit

La mayoría de las señales digitales son **aperiódicas** y, por tanto, la periodicidad o la frecuencia no son características apropiadas. Se usan dos nuevos términos para describir una señal digital.



1

Duración de bit. En lugar del periodo. Es el tiempo necesario para enviar un bit. Su unidad es s.

2

Tasa de bit. En lugar de la frecuencia. Es el número de bits enviados en 1 segundo. Su unidad es bps.

Relación entre la duración de bit y la tasa de bit

$$v_t(\text{bps}) = \frac{1}{t_b(\text{s})}$$

v_t = tasa de bit (velocidad de transmisión), en **bps**.
 t_b = tiempo de duración de bit, en **s**.

Un codificador de línea convierte los datos digitales en señal digital.

Ejemplos de duración de bit y tasa de bit

Tienen una relación inversamente proporcional

(Forouzan, 2007)

Ejemplo 24 Tiempo de duración de bit

Una señal digital tiene una tasa de bits de 2000 bps.
Calcule el **tiempo de duración** de cada bit.

Respuesta.-
 $t_b = 500 \mu\text{s}$.

Ejemplo 25 Tiempo de duración de bit

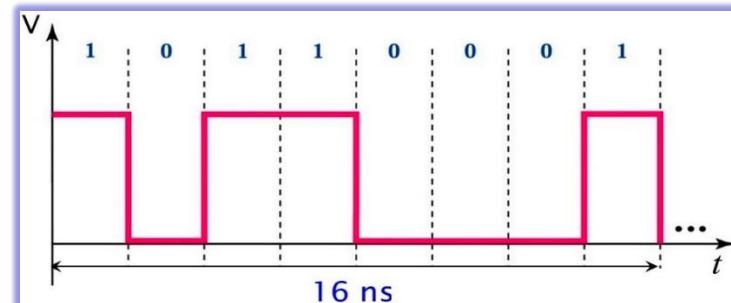
Calcule el **tiempo** de un bit a 230.4 kbps.

Respuesta.- $t_b = 4.34 \mu\text{s}$.

Ejemplo 26 Tasa de bit

Calcule la **tasa de bit** de la señal de la figura.

Respuesta.- $v_t = 500 \text{ Mbps}$



Ejemplo 27 Tasa de bit

Se necesita descargar documentos de texto a una velocidad de 100 páginas por segundo. Calcule la **velocidad** necesaria para el canal. Una página tiene como promedio 24 líneas con 80 caracteres cada una.

Respuesta.-
 $v_t = 1,536 \text{ Mbps}$

Ejemplo 28 Tasa de bit

Un bloque de 256 palabras de datos secuenciales de 12 bits cada palabra se transmite en serie en 0.16 s. Calcule a) La velocidad de transmisión en bps.
b) El tiempo de duración de 1 bit. c) El tiempo de duración de una palabra.

Respuesta.-
a) $v_t = 19,2 \text{ kbps}$
b) $t_b = 52 \mu\text{s}$.
c) $t_p = 624 \mu\text{s}$.

$$\text{Tasa de bit} = 1 / \text{Tiempo de duración de bit.}$$

Señal digital como señal analógica compuesta

¿Qué establece el análisis de Fourier?

(Blake, 2004)

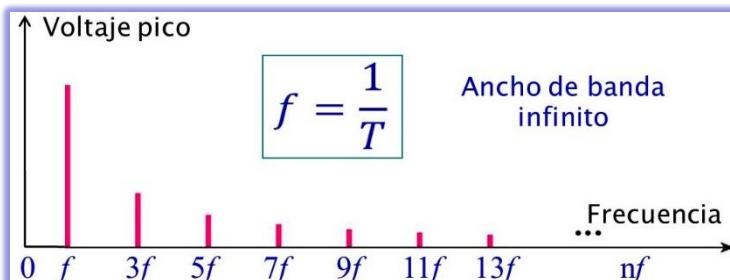
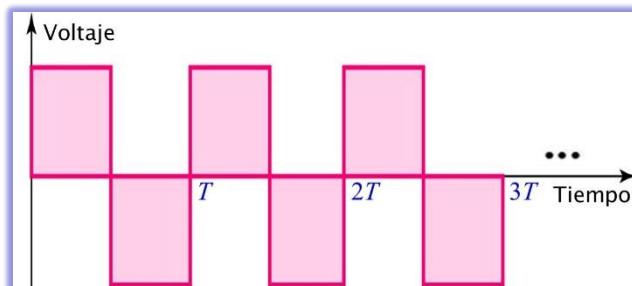
Establece que una **señal digital** es una señal analógica compuesta, y, por tanto, puede ser también periódica y aperiódica.

Señal digital periódica y aperiódica

1

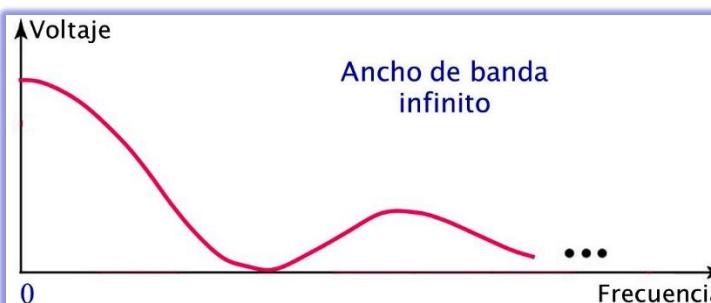
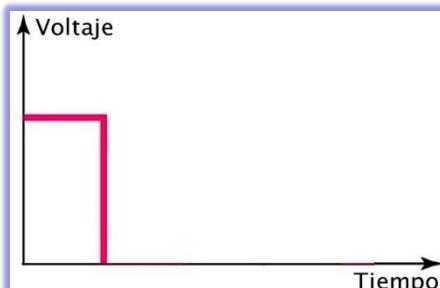
Señal digital
periódica

Rara en
comunicaciones



2

Señal digital
aperiódica



Transformación de Fourier. La señal se descompone en un número infinito de ondas seno con frecuencias continuas de valores reales.

Ambos anchos de banda son infinitos, aunque los efectivos son finitos.

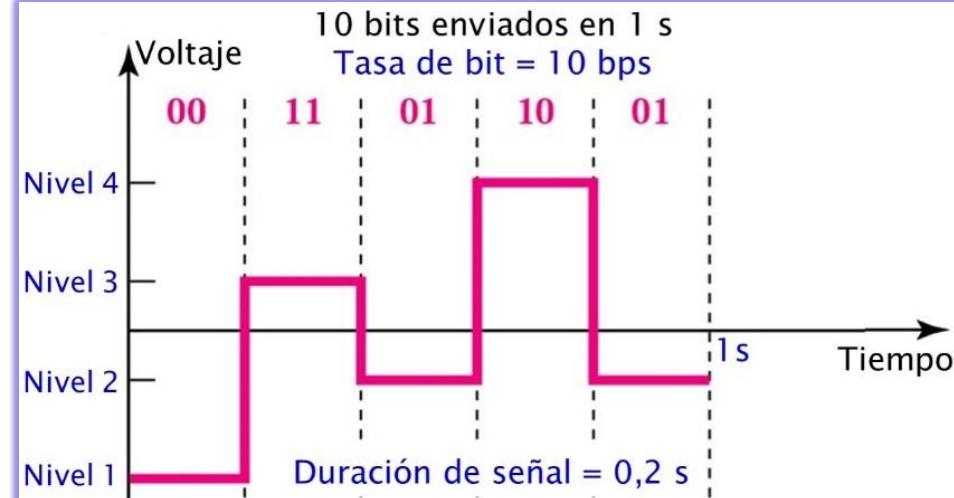
Señal digital multinivel

Una señal digital puede tener más de 2 niveles

(Forouzan, 2007)

En este caso, se puede enviar **más de un bit** por cada nivel.

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



Ejemplo 29 Señal multinivel

Una señal digital tiene **8 niveles**. Calcule cuántos bits por nivel son necesarios.

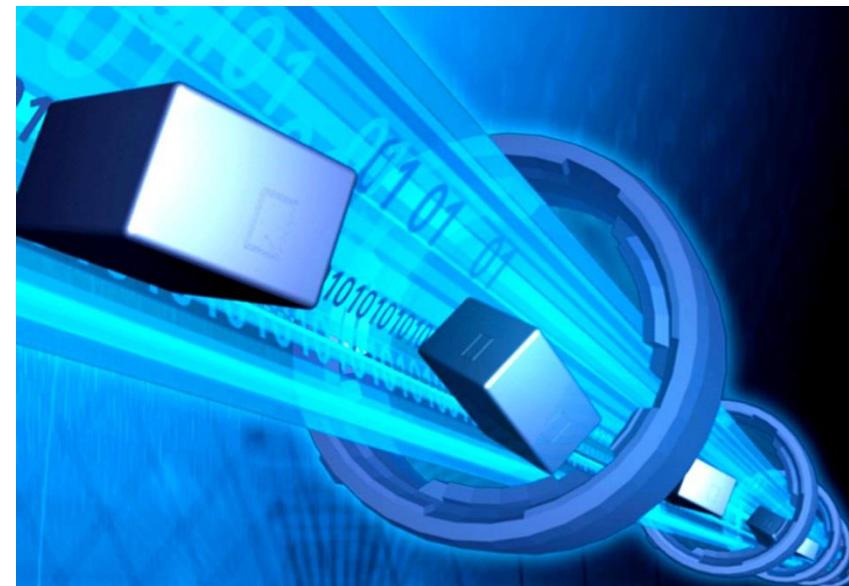
Respuesta.- 3 bits

Ejemplo 30 Señal multinivel

Una señal digital tiene **9 niveles**. Calcule cuántos bits por nivel son necesarios.

Respuesta.- 4 bits

Transmisión
digital



Un nivel puede necesitar más de un bit.

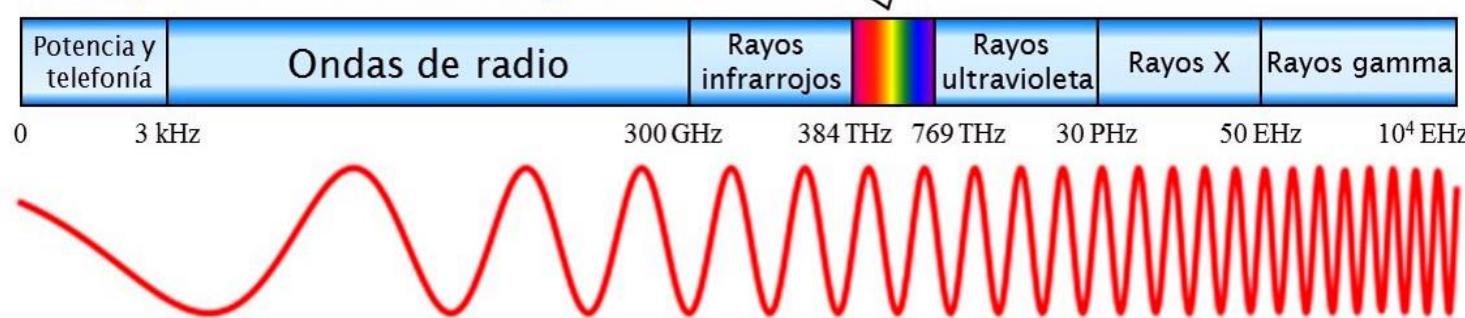
5.- El Espectro Electromagnético

¿Qué es el espectro electromagnético?

(Frenzel, 2003)

Es el conjunto de **ondas** electromagnéticas ordenadas de acuerdo a su **frecuencia** y longitud de onda.

El Espectro Electromagnético

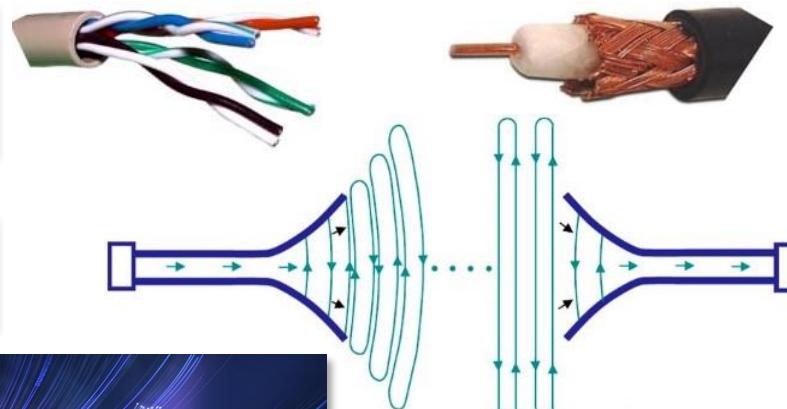


¿Qué regiones del espectro se utilizan en telecomunicaciones?

(Kraus, 2000)

No todas las regiones, y los **medios** para conducir las utilizables son unos pocos.

1 **Telefonía.** Las frecuencias en la banda de voz se transmiten en forma de **corrientes eléctricas** a través pares trenzados o cables coaxiales.



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



3 **Rayos infrarrojos.** Las **ondas de luz**, el 3^{er} tipo de energía electromagnética que se usa en telecomunicaciones, se conducen usando fibras ópticas.

a mayor frecuencia menor longitud de onda, y viceversa.

Bandas de las ondas de radio

Las ondas de radio son ondas electromagnéticas de radiofrecuencia RF

Rango	Banda	f_{\min}	f_{\max}	λ_{\max}	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

Más allá de eso ya no hay nombres; sin embargo, se han sugerido las siguientes designaciones: tremadamente, increíblemente, asombrosamente y prodigiosamente alta frecuencia (**THF**, **IHF**, **ASH** y **PHF**).

Torre con antenas de radiocomunicaciones

Cuando entró en uso un sistema para etiquetar las frecuencias, sólo se consideraron las bandas de bajas, medias y altas frecuencias (**LF**, **MF** y **HF**); nadie esperaba rebasar los 10 MHz.

Cuando se rebasaron 10 MHz, se asignaron nombres, tanto hacia arriba como hacia abajo. Así que las más altas se denominaron después bandas de muy, ultra, súper y extremadamente alta frecuencia (**VHF**, **UHF**, **SHF** y **EHF**).



La palabra radio viene de *radius*, que significa rayo en Latín.

El espectro, los medios y las aplicaciones

Todo el conjunto de ondas electromagnéticas ordenadas por frecuencia

Rango	Banda	f_{min}	$f_{\text{máx}}$	$\lambda_{\text{máx}}$	λ_{min}	Propagación en telecomunicaciones	Aplicación de RF	Características
Potencia y telefonía	ELF	0	3 KHz	0	100 Km			
Ondas de radio	VLF	3 KHz	30 KHz	100 Km	10 Km		Ultrasonidos. Técnicas de audio. Transporte energía	Creadas por el hombre con un circuito oscilante.
	LF	30 KHz	300 KHz	10 Km	1 Km		Radionavegación de largo alcance y submarina	
	MF	300 KHz	3 MHz	1 Km	100 m		Radionavegación de largo alcance y localizadores	
	HF	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m		Radio AM, marítima, frecuencias de emergencia	
	VHF	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m		Radioaficionados, emisión Internacional, CB	
	UHF	300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm		TV (2 a 6) (7 a 13), Radio FM, aviación	
	SHF	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm		Telefonía móvil, WiFi, TV (14 a 69), microondas	
	EHF	30 GHz	300 GHz	1 cm	1 mm		Microondas terrestre y satélite, Radar, WiMAX	
	Rayos infrarrojos	300 GHz	384 THz	1 mm	780 nm		Microondas satélite, Radar de navegación (científica)	
	Luz visible	384 THz	769 THz	780 nm	380 nm		Fotografía infrarroja, Comunicación por FO	Emitidos por vibraciones de átomos (calientes)
	Rayos ultravioleta	769 THz	3×10^{16} Hz	380 nm	8 nm		Comunicación por FO para control industrial	Saltos electrónicos: niveles atómicos y moleculares
	Rayos X	30 PHz	50 EHz	8 nm	6 pm		Producen la ionosfera. Broncean la piel	Provienen del sol. Los absorbe el ozono. Peligrosos
	Rayos gamma	50 EHz	10^4 EHz	6 pm	3×10^{-14} m		Diagnósticos médicos. Radiografía	Oscilaciones de electrones próximos a los núcleos.
							Medicina y alimentos Eliminan bacterias	Desintegraciones nucleares Penetrantes y energéticos.



A mayor frecuencia menor longitud de onda, y viceversa.

Bibliografía

¿Cuáles son las referencias bibliográficas?

Bibliografía

- Blake, Roy (2004). *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. México: Thomson.
- Forouzan, B. A. (2007). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Madrid: McGraw-Hill.
- Frenzel (2003). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. Madrid: Alfaomega.
- Kraus, J., & Fleisch, D. (2000). *Electromagnetismo con Aplicaciones*. México: McGraw-Hill.



FIN

**Tema 2 de:
TELECOMUNICACIONES
Edison Coimbra G.**

Links de los documentos de la colección

Telecomunicaciones

DOCUMENTOS DE LA COLECCIÓN

LINKS DE LOS DOCUMENTOS

- 0.Introducción. ([En construcción](#))
- 1.Generación de ondas de voltaje. ([En construcción](#))
- [2.Datos y señales analógicas y digitales](#)
- [3.PCM Digitalización de señal analógica](#)
- [4.TDM Multiplexación por división de tiempo](#)
- [5.SONET/SDH Red de transporte](#)
- [6.Introducción a la transmisión por radio](#)
- 7.Transmisión analógica. ([En construcción](#))
- 9.Transmisión digital. ([En construcción](#))
- 9.Deterioro de la transmisión. ([En construcción](#))

