

Comunicaciones y Redes

Segunda parte: Sistema de comunicaciones

Para el desarrollo de este apunte, consulté los siguientes sitios de la web::

http://efisica.if.usp.br/electricidade/basico/campo_corrente/exper_oersted/

https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_del_electromagnetismo

<http://elfisicoloco.blogspot.com.ar/2013/02/induccion-electromagnetica.html>

<https://metode.es/revistas-metode/article-revistas/la-unificacion-electromagnetica.html>

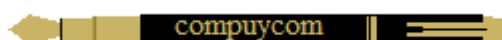
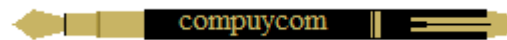
<http://prudentel.blogspot.com.ar/>

<https://sites.google.com/site/seguridadwifis/bandas-de-frecuencia>

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352006000500008

<https://gonzalezabustos.wikispaces.com/Tecnolog%C3%ADas+Inal%C3%A1mbricas>

Gabriel Duperut

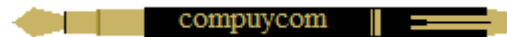


Comunicaciones y Redes

Unidad 1: Sistema de comunicaciones

Les preparé este apunte con los temas más importantes de la unidad, para comenzar a familiarizarnos con el apasionante mundo de las comunicaciones. Al finalizar encontrarán los enlaces de todos los sitios que he consultado. Espero que lo disfruten!

Gabriel Duperut

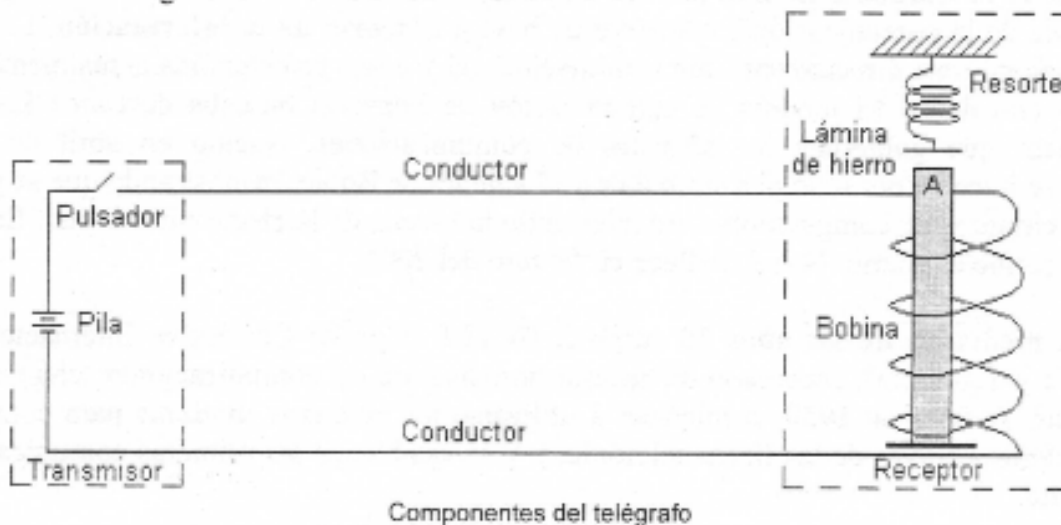


Inicio de las Telecomunicaciones

Del libro:

DUPERUT, G. (2011). "Fundamentos de computación y comunicaciones". Mendoza: compuycom.

El primer gran invento en el mundo de las comunicaciones fue el **telégrafo** que aparece a principios de **1840**. La realización práctica corresponde al norteamericano **Samuel Morse**, quien se basa en los estudios de Ampere relativos a las acciones magnéticas de las corrientes. Enviando corrientes interrumpidas a una bobina a través de un conductor suficientemente largo, se produce un efecto magnético de atracción y repulsión sobre una lámina de hierro siguiendo el ritmo de las corrientes.



Al cerrar el pulsador del transmisor, la corriente recorre la bobina del receptor y atrae a la lámina de hierro, venciendo la resistencia del resorte e impactando en el punto A. Haciendo una convención por la cual cada letra del abecedario esté representada por una combinación de señales de corta y larga duración, pudieron transmitirse palabras y frases a distancia, con el **código Morse**.

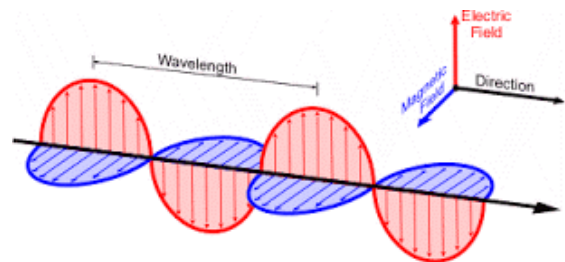
Telecomunicaciones, del prefijo griego tele, que significa “distancia” o “lejos”, lo que vendría a ser “comunicaciones a distancia”, es una técnica que consiste en transmitir un mensaje de un lugar a otro, esta cubre toda las formas de comunicación existentes como radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de ordenadores a nivel de enlace.

El término Telecomunicación fue definido por primera vez en la reunión conjunta de la XIII Conferencia de la UTI (Unión Telegráfica Internacional) y la III de la URI (Unión Radiotelegráfica Internacional) que se inició en Madrid en 1932. La definición entonces aprobada del término fue: **"Telecomunicación es toda transmisión, emisión o recepción, de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos"**.



Ondas electromagnéticas

Una Onda Electromagnética es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio, y sus aspectos teóricos están relacionados con la solución en forma de onda que admiten las ecuaciones de Maxwell. Faraday mostró que los campos magnéticos podían producir corrientes eléctricas y ya sabemos que las corrientes eléctricas producen campos magnéticos.



Es de vital importancia establecer que las telecomunicaciones nacieron con el trabajo desarrollado por Maxwell en 1870. Este trabajo consistía en justificar matemáticamente conceptos físicos, como las leyes de la inducción electromagnética y de los campos de fuerza, de forma únicamente cualitativa, el resultado fue el concepto de onda electromagnética, que permite una descripción matemática adecuada de la interacción entre electricidad y magnetismo mediante sus ecuaciones que describen y cuantifican los campos de fuerzas. Maxwell predijo que era posible propagar ondas electromagnéticas por el espacio libre utilizando descargas eléctricas. Y tuvo razón, para la época pensar que eso se podía lograr era casi imposible. Su valioso aporte fue debido a reunir en sus ecuaciones largos años de resultados experimentales que habían conseguido otros físicos como Coulomb, Gauss, Ampere y Faraday. Unificando todo llegó a un concepto: Campo Electromagnético.

Estudio de ondas

Una onda electromagnética es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio. Y sus aspectos teóricos están relacionados con la solución en forma de onda que admiten las ecuaciones de Maxwell.

A diferencia de las ondas mecánicas, las ondas electromagnéticas se propagan por el espacio sin necesidad de un medio pudiendo por lo tanto propagarse en el vacío. Esto es debido a que las ondas electromagnéticas son producidas por las oscilaciones de un campo eléctrico, en relación con un campo magnético asociado.

Las ondas electromagnéticas viajan aproximadamente a una **velocidad** constante muy alta, pero no infinita de **300.000 km / segundo**.

Propiedades de las ondas electromagnéticas

A medida que la frecuencia se incrementa, la energía de la onda también aumenta. Todas las radiaciones del espectro electromagnético presentan las propiedades típicas del movimiento ondulatorio. Las longitudes de onda van desde billonésimas de metro hasta muchos kilómetros. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión $\lambda \cdot f = c$ son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características.

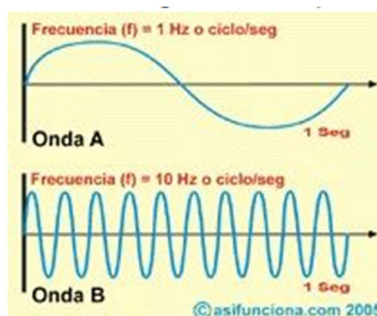
Características principales de las ondas electromagnéticas

Las tres características principales de las ondas que constituyen el espectro electromagnético son:

- Frecuencia (f)
- Longitud de onda (λ)
- Amplitud (A)

Frecuencia f

La frecuencia de una onda responde a un fenómeno físico que se repite cíclicamente un número determinado de veces durante un segundo de tiempo, tal como se puede observar en la siguiente ilustración:



- A.- Onda senoidal de un ciclo o hertz (Hz) por segundo.
 B.- Onda senoidal de 10 ciclos o hertz por segundo.

La frecuencia de esas ondas del espectro electromagnético se representan con la letra (f) y su unidad de medida es el ciclo o Hertz (Hz) por segundo. Otras unidades de frecuencias muy utilizadas (en otros ámbitos) son las "revoluciones por minuto" (RPM) y los "radianes por segundo" (rad/s).

La frecuencia y el periodo están relacionados de la siguiente manera:

$$f=1/T$$

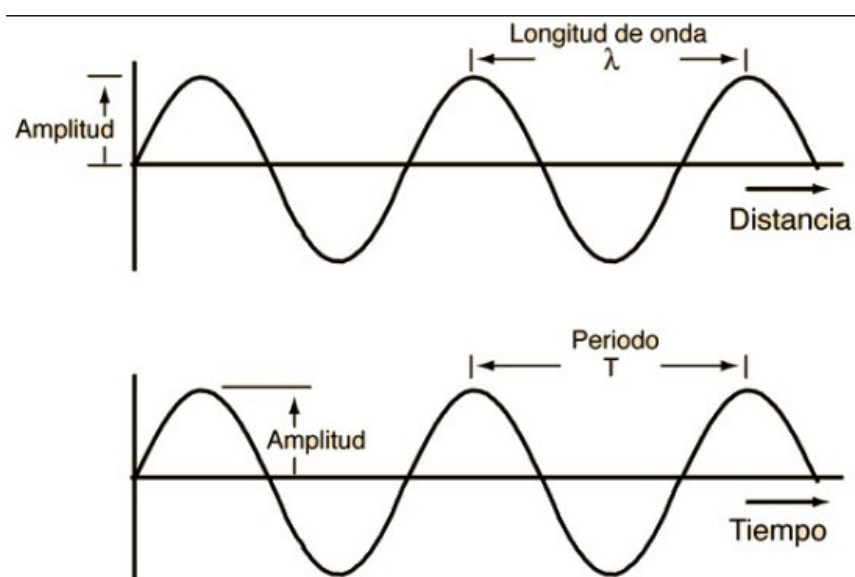
Período T:

Tiempo en segundos que transcurre entre el paso de dos picos o dos valles por un mismo punto, o para completar un ciclo.

Longitud de onda λ

Las ondas del espectro electromagnético se propagan por el espacio de forma similar a como lo hace el agua cuando tiramos una piedra a un estanque, es decir, generando ondas a partir del punto donde cae la piedra y extendiéndose hasta la orilla. Cuando tiramos una piedra en un estanque de agua, se generan ondas similares a las radiaciones propias del espectro electromagnético.

Tanto las ondas que se producen por el desplazamiento del agua, como las ondas del espectro electromagnético poseen picos o crestas, así como valles o vientres. La distancia horizontal existente entre dos picos consecutivos, dos valles consecutivos, o también el doble de la distancia existente entre un nodo y otro de la onda electromagnética, constituye lo que se denomina "longitud de onda".



Velocidad de propagación v: Es la distancia que recorre la onda en una unidad de tiempo. En el caso de la velocidad de propagación de la luz en el vacío, se representa con la letra C.

La velocidad, la frecuencia, el periodo y la longitud de onda están relacionados por las siguientes ecuaciones:

$$v = \lambda/T$$

En donde:

λ = Longitud de onda en metros.

v = Velocidad de propagación.

T = Periodo.

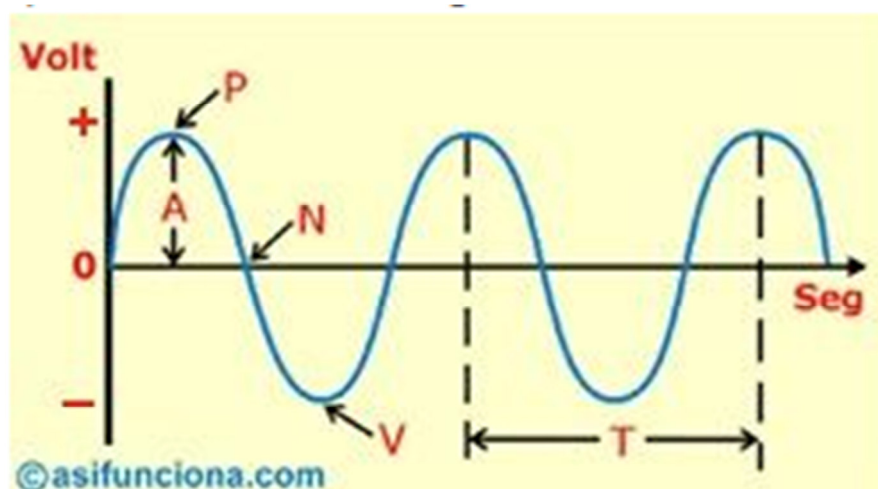
Amplitud

La amplitud constituye el valor máximo que puede alcanzar la cresta o pico de una onda. El punto de menor valor recibe el nombre de valle o vientre, mientras que el punto donde el valor se anula al pasar, se conoce como “nodo” o “cero”.

Pico o cresta P: valor máximo, de signo positivo (+), que toma la onda sinusoidal del espectro electromagnético, cada medio ciclo, a partir del punto “0”. Ese valor aumenta o disminuye a medida que la amplitud “A” de la propia onda crece o decrece positivamente por encima del valor “0”.

Valle o vientre V: valor máximo de signo negativo (–) que toma la onda senoidal del espectro electromagnético, cada medio ciclo, cuando desciende y atraviesa el punto “0”. El valor de los valles aumenta o disminuye a medida que la amplitud “A” de la propia onda crece o decrece negativamente por debajo del valor “0”.

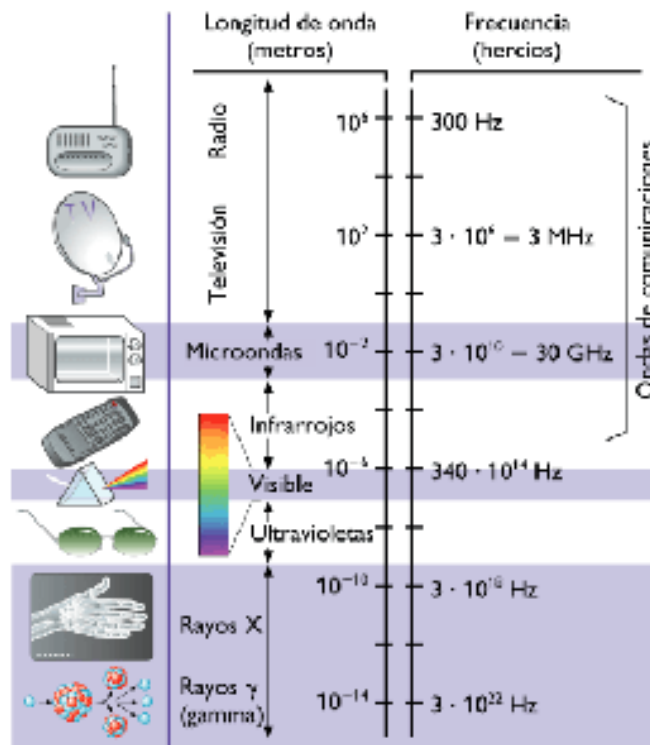
Nodo N: Valor “0” de la onda senoidal.



Espectro electromagnético

Se denomina Espectro Electromagnético a la distribución energética del conjunto de las *Ondas Electromagnéticas*. Los espectros se pueden observar mediante analizadores de espectro, que además de permitir observar el espectro, permite realizar medidas sobre este, como la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de radiación. El espectro electromagnético se puede organizar de acuerdo a la frecuencia correspondiente de las ondas que lo integran, o de acuerdo con sus longitudes. Hacia un extremo del espectro se agrupan las ondas más largas, como las correspondientes a frecuencias de sonido que pueden percibir el oído humano o las ondas de radio, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos hasta el otro extremo donde se agrupan las ondas extremadamente más cortas, pero con mayor energía y mayor frecuencia en Hertz, como las pertenecientes a las radiaciones gamma y los rayos cósmicos. Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck, mientras que el límite máximo sería el tamaño del Universo, aunque formalmente el espectro electromagnético es infinito y continuo.

Para el estudio veremos el espectro de radiofrecuencia o RF que se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena. Las Radiofrecuencias se pueden dividir en las siguientes bandas del espectro:



Bandas de frecuencia

Las bandas de frecuencia son el resultado de la división del espectro electromagnético, con el objeto de delimitar el acceso de usuarios a determinadas bandas.

Banda de Frecuencia	Nombre	Modulación	Razón de Datos	Aplicaciones Principales
30-300 kHz	LF (low frequency)	ASK, FSK, MSK	0,1-100 bps	Navegación
300-3000 kHz	MF (medium frequency)	ASK, FSK, MSK	10-1000 bps	Radio AM Comercial
3-30 MHz	HF (high frequency)	ASK, FSK, MSK	10-3000 bps	Radio de onda corta
30-300 MHz	VHF (very high frequency)	FSK, PSK	Hasta 100 kbps	Television VHF, Radio FM
300-3000 MHz	UHF (ultra high frequency)	PSK	Hasta 10 Mbps	Television UHF, Microondas Terrestres
3-30 GHz	SHF (super high frequency)	PSK	Hasta 100Mbps	Microondas terrestres y por satélite
30-300 GHz	EHF (extremely high frequency)	PSK	Hasta 750 Mbps	Enlaces cercanos con punto a punto experimentales

En los Estados Unidos y otros países, las bandas de frecuencia son de 900 megahercios (MHz), 2,4 GHz y, en algunos casos, de hasta 5 GHz. Si bien estas bandas de frecuencia no requieren licencia, los equipos que las utilicen deben estar certificados por los reguladores del país donde se encuentren.

Los aparatos que no poseen licencia utilizan una potencia baja y su alcance es limitado. Estos dispositivos deben ser muy resistentes a las interferencias, debido al hecho de que no se garantiza que los usuarios posean acceso exclusivo a estas frecuencias sin licencia y, por lo tanto, pueden sufrir intrusiones.

Las redes Wireless prevalecen en gran medida ante el problema de la línea de visión, ya que pasan a una frecuencia más alta que otros aparatos en el espectro electromagnético. Estas redes funcionan a unos 2,4 GHz y, en algunos casos, a mayor frecuencia. Aun así, se encuentran muy por debajo del espectro de luz visible. Gracias al uso de esa frecuencia, la longitud de la onda es tan imperceptible que logra traspasar objetos sólidos.

Es por esto que las redes inalámbricas funcionan perfectamente sobre distancias cortas en espacios interiores, aunque en ocasiones algunos obstáculos pueden interferir en la transmisión. Por consiguiente, a continuación veremos cuáles son los materiales sólidos que más interfieren en las redes Wireless.

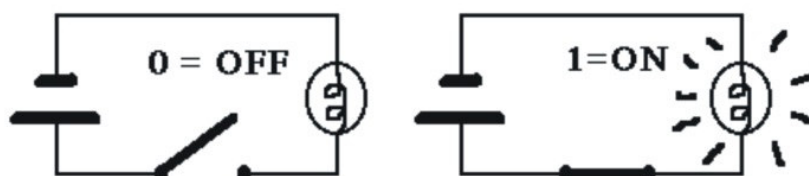
Teoría de la información

El concepto de la información se inserta en los estudios científicos, sobre todo a partir de la formulación de la teoría matemática de la información, publicada en 1949 y desarrollada por el ingeniero electrotécnico y matemático estadounidense *Claude E. Shannon* (1916-2001), considerado el padre de la era de las comunicaciones electrónicas (nacido en Gaylord, Michigan, Estados Unidos), quien trató de presentar el concepto de la información de la manera más formal posible, mediante las herramientas matemáticas que pudieran medir y expresar su cantidad en unidades físicas. Originalmente, se definió como teoría matemática de la comunicación (*The Mathematical Theory of Communication*), aunque se conoce también como teoría matemática de la información o simplemente como teoría de la información.

Esta propuesta teórica, presentada por *Shannon* y *Weaver* a finales de la década de los 40, brilla con luz propia dentro del panorama intelectual porque supuso el espaldarazo teórico definitivo para fundamentar la mayoría de los tratamientos ulteriores que se dedicaron al fenómeno de la información.

Warren Weaver (1894-1978) colaboró con *Shannon* en la concepción de su teoría; sus aportes concedieron mucha mayor proyección al planteamiento teórico inicial de *Shannon*, e incluso generó un acercamiento con el campo de las ciencias sociales.

Shannon, mientras trabajaba en los laboratorios *Bell Telephone*, filial de la empresa de telecomunicaciones *American Telegraph & Telephone* (ATT), comenzó sus investigaciones para resolver las necesidades prácticas de la transmisión eficiente de los mensajes por los canales de comunicación. Sus ideas iniciales sobre esta teoría surgieron a partir de la observación de las similitudes entre los principios de la lógica (verdadero-falso), los circuitos lógicos de la conmutación por teléfono y los dos estados (abierto-cerrado) de las llaves electromecánicas. A partir de la aplicación de los principios del álgebra booleana de dos valores: Verdadero (1) - Falso (0), *Shannon* logró explicar este proceso de manera sencilla: 1 significaba On cuando el interruptor estaba cerrado y el circuito encendido, mientras que 0 significaba Off cuando el interruptor estaba abierto y el circuito apagado.



Además de estas bases, sobre las cuales se establece la teoría de la información, hubo otros intentos de aplicar matemática a esta. Así, *Harry Nyquist*, en 1924, realizó un estudio sobre las posibilidades del uso de la teoría matemática para el aumento de la velocidad de transmisión de mensajes telegráficos. En 1928, *R. Hartley* planteó la primera variante de medida de la información mediante la aplicación de la teoría matemática de probabilidades.



La capacidad del canal se mide en bits por segundo (bps) y depende de su ancho de banda y de la relación S/N (Relación señal/ruido). La capacidad del canal limita la cantidad de información (se denomina régimen binario y se mide en bits por segundo, bps) que puede transmitir la señal que se envía a través de él.

La capacidad máxima de un canal (en bps) viene dada por la fórmula:

$$C = B \log_2 (1+S/R)$$

En **1956** se crea el **CCITT**. A mediados del siglo XX, la telefonía y la telegrafía utilizaban los mismos canales de transmisión, hilos, cables y circuitos radioeléctricos. En 1956, la UIT decidió pues fusionar su Comité Consultivo Internacional Telefónico, establecido en 1924, con el Comité Consultivo Internacional Telegráfico establecido en 1925, y crear así el Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (CCITT), integrado por comisiones de estudio cuyos trabajos se llevaban a cabo en ciclos cuatrienales que coincidían con los de las Asambleas Plenarias.

En **1983** se presentan las **normas OSI** (Open System Interconnection). El modelo de interconexión de sistemas abiertos, más conocido como "modelo OSI", (en inglés, Open System Interconnection) es un modelo de referencia para los protocolos de la red de arquitectura en capas, creado en el año 1980 por la Organización Internacional de Normalización (ISO, International Organization for Standardization). Se ha publicado desde 1983 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y, desde 1984, la Organización Internacional de Normalización (ISO) también lo publicó con estándar.

Codificación de señales digitales

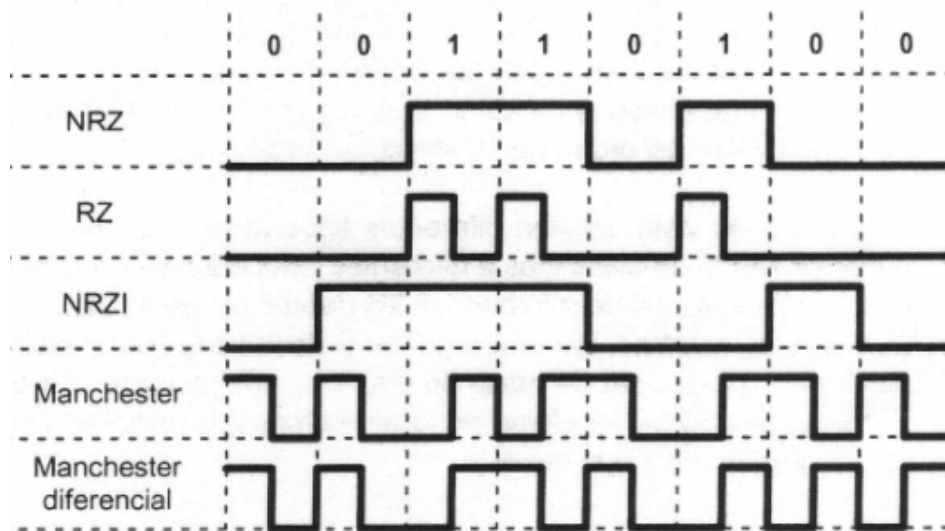
Una **señal analógica** representa un onda electromagnética que varía de forma continua. Dependiendo de su espectro, las señales analógicas pueden transmitirse por una amplia variedad de medios, por ejemplo, cables como el coaxial, la fibra óptica y medios de propagación espacial o atmosférica.

Una **señal digital** es una secuencia de pulsos de voltaje que pueden transmitirse por medio de un cable; por ejemplo, un nivel de voltaje positivo constante puede representar el uno binario y un nivel de voltaje negativo puede representar el cero binario.

Si el medio de transmisión permite el empleo de señales digitales y los datos a enviar son de este tipo, resulta muy conveniente el empleo de señales digitales. Para obtener la secuencia que compone la señal digital a partir de los datos digitales se efectúa un proceso denominado *codificación*.

Existen multitud de métodos de codificación, mencionaremos seguidamente los más usuales. En todos ellos se menciona la **celda de bit**, que es la duración de un bit, o sea, la inversa de la velocidad de transmisión.

- **NRZ (No Return to Zero):** Es el método que empleamos para representar la evolución de una señal digital en un cronograma. Cada nivel lógico 0 y 1 toma un valor distinto de tensión.
- **NRZI (No Return to Zero Inverted):** La señal no cambia si se transmite un uno, y se invierte si se transmite un cero.
- **RZ (Return to Zero):** Si el bit es uno, la primera mitad de la celda estará a uno. La señal vale cero en cualquier otro caso.
- **Manchester:** Los valores lógicos no se representan como niveles de la señal, sino como transiciones en mitad de la celda de bit. Un flanco de bajada representa un cero y un flanco de subida un uno.
- **Manchester diferencial:** Manteniendo las transiciones realizadas en el método Manchester, en este método introduce la codificación diferencial. Al comienzo del intervalo de bit, la señal se invierte si se transmite un cero, y no cambia si se transmite un uno.

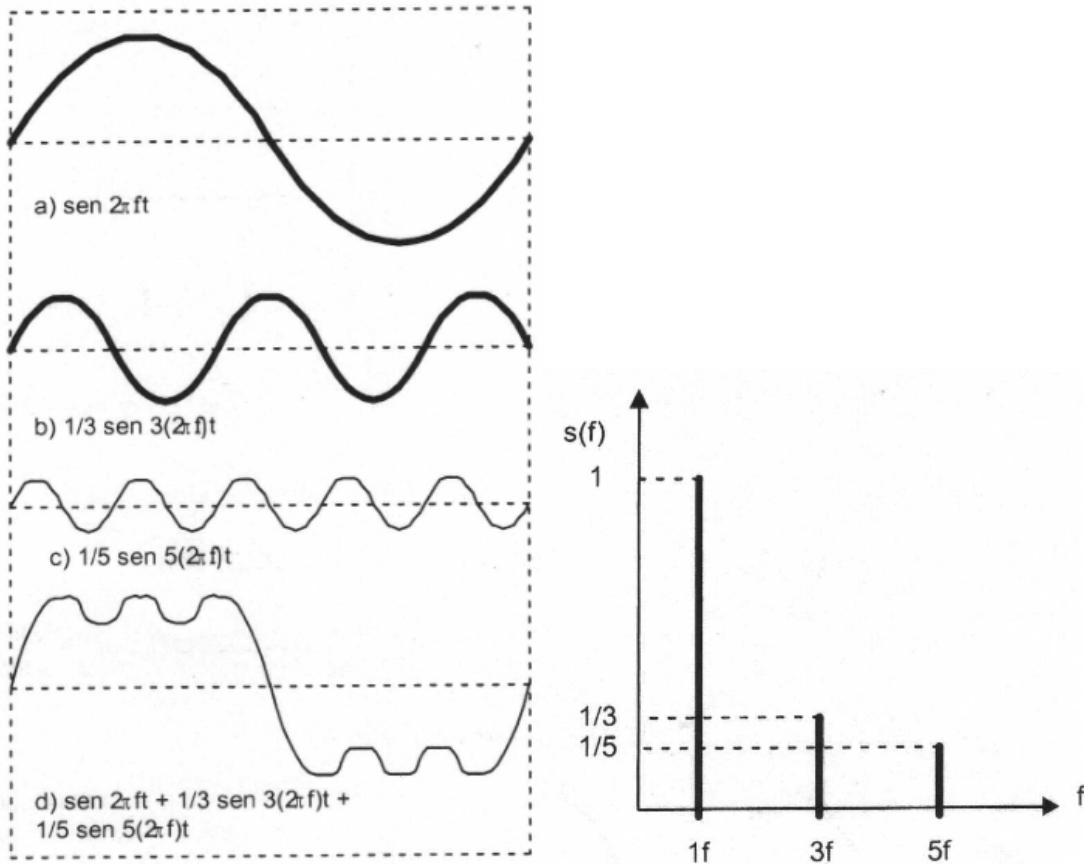


Análisis de Fourier

Puede demostrarse (por medio del análisis de Fourier), que cualquier señal periódica puede descomponerse en una o más componentes, siendo cada componente una senoide.

Podemos afirmar que, para cada señal existe una función $s(t)$ en el dominio del tiempo que especifica la amplitud de la señal en cada instante, y de forma análoga existe una función $S(f)$ en el dominio de la frecuencia que especifica las frecuencias que constituyen la señal. La siguiente figura muestra la representación en el dominio de la frecuencia de la señal de ejemplo. Nótese que, en este caso $S(f)$ es discreta, situación que se dará siempre que representemos señales periódicas.

El **espectro** de una señal es el rango de frecuencias que contiene. En la figura, el espectro se extiende desde f hasta $5f$. El **ancho de banda absoluto** es la anchura del espectro, que el caso anterior es de $4f$. Muchas señales poseen un ancho de banda absoluto infinito, lo que en principio dificultaría su transmisión, ya que los medios de transmisión se comportan como filtros, dejando pasar únicamente una banda de frecuencias y eliminando las restantes lo que da lugar a que se modifique la forma de onda de la señal. Sin embargo, la mayor parte de la energía de la señal suele concentrarse en unas pocas frecuencias que se conocen como **ancho de banda efectivo** de la señal, o simplemente como **ancho de banda**. Esto se traduce en que eliminar las componentes frecuenciales que quedan fuera del ancho de banda efectivo no tiene demasiada importancia y la información que contiene la señal pueda todavía ser correctamente interpretada en el receptor.



Hemos visto como podemos definir una señal, tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia, y ahora con el *análisis de Fourier* vamos a tratar de estudiarlo matemáticamente.

Cualquier función periódica $s(t)$ de periodo T , puede expresarse como una suma (posiblemente infinita) de senos y cosenos:

$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{sen}(2\pi f n t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \text{cos}(2\pi f n t)$$

Esta herramienta matemática recibe el nombre de **Serie de Fourier**. $f = 1/T$ es la **frecuencia fundamental** y los términos a_n y b_n las amplitudes de los n -ésimos **armónicos**. La componente con $n=1$ es la **componente fundamental**. Obsérvese que el valor a_0 representa la componente continua de la señal.

La transmisión de las señales provoca una disminución de su potencia. Si todas las componentes de la señal se vieran afectadas de igual forma, la amplitud de la señal disminuiría pero su forma no se vería distorsionada. Desafortunadamente, esto no sucede. Usualmente, las amplitudes apenas sufren variación desde la de frecuencia cero hasta una cierta frecuencia de corte f_c , a partir de la que se atenúan fuertemente. En algunos casos, esto se debe al propio medio de transmisión y en otros se logra intencionadamente por medio de filtros que limitan el ancho de banda asignado a cada usuario.

Es importante tener en cuenta que al aumentar la velocidad de transmisión de los datos, se aumenta la frecuencia fundamental asociada a la señal, y por tanto, el número de armónicos que consiguen pasar disminuye. Esto establece un límite superior en la velocidad de transmisión que puede utilizarse.