Alfaomega Grupo Editor

Capítulo 2:

Transmisión de señales

Apoyo en la web

En este capítulo se tratarán los siguientes temas:

- 2.1 Señales analógicas y señales digitales
- 2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales
- 2.3 Características de la transmisión de señales
- 2.4 Características de las señales utilizadas para la transmisión de señales
- 2.5 Unidades de medida usadas en las telecomunicaciones
- 2.6 La transmisión de señales
- 2.7 Ancho de banda
- 2.8 Señales en banda base
- 2.9 Filtros

Transmisión de señales

2.1 Señales analógicas y señales digitales

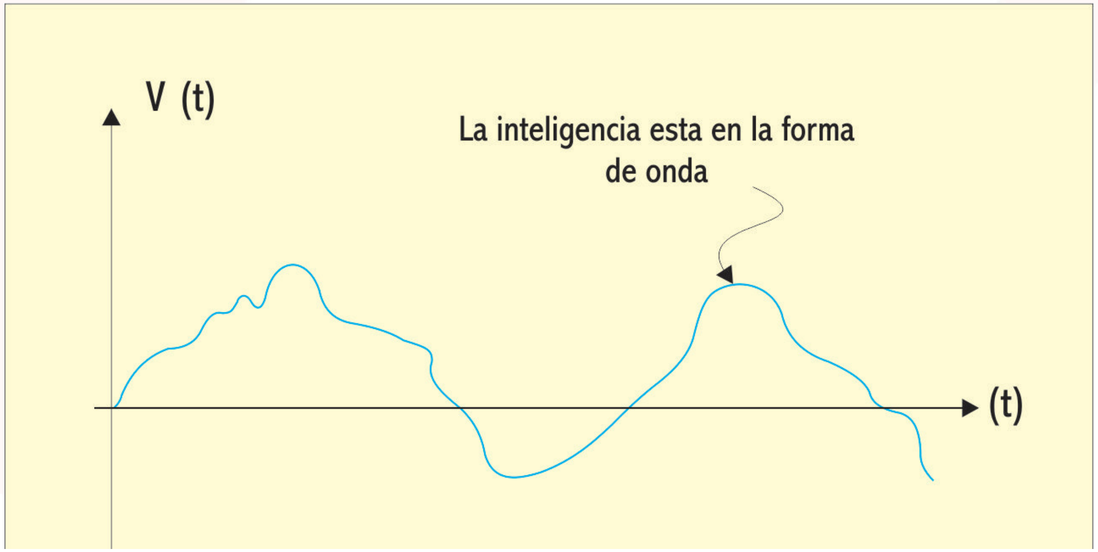
2.1.1 Introducción

Las redes de telecomunicaciones se deben diseñar pensando en que puedan transmitir todo tipo de informaciones inteligentes, como voz, audio, datos, textos, imágenes y video. Para ello las informaciones se codifican en la fuente y se transforman en señales analógicas o digitales que puedan ser transmitidas por ellas. A su vez, las señales según el codificador que se utilice en la fuente pueden ser de tipo eléctrico, óptico o electromagnético.

Transmisión de señales

2.1.2 Definiciones

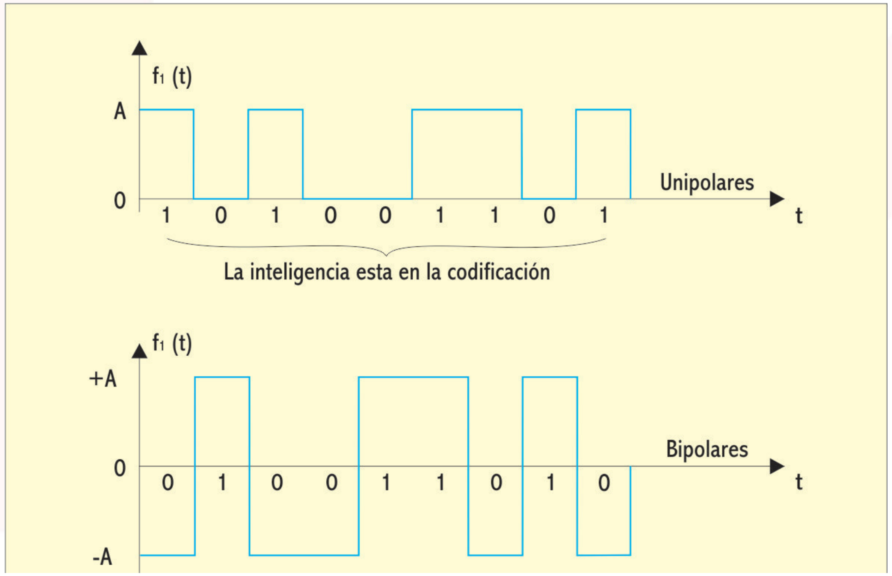
Las señales analógicas son las que pueden ser representadas por funciones que toman un número infinito de valores en cualquier intervalo de la variable considerada



Transmisión de señales

2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales

Las señales digitales son las que pueden ser representadas por funciones que toman un número finito de valores en cualquier intervalo de la variable considerada



Transmisión de señales

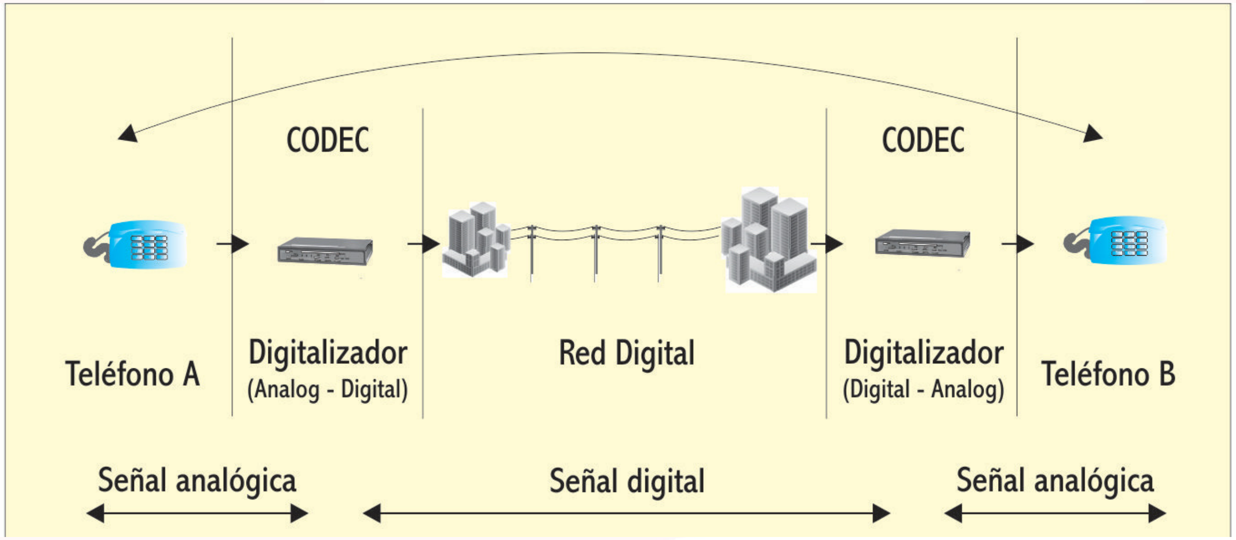
2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales

Si la red es digital, las señales típicamente analógicas, como la voz, deben ser previamente digitalizadas para su transmisión. El equipo para efectuar esta transformación se denomina en forma genérica digitalizador o también equipo codec (codificador y decodificador).

En la figura a continuación se observa el esquema de una red digital que se utiliza para la transmisión de la voz. En ese esquema se ve que el equipo terminal telefónico debe estar conectado a un digitalizador antes de que las señales pasen a la red digital.

2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales

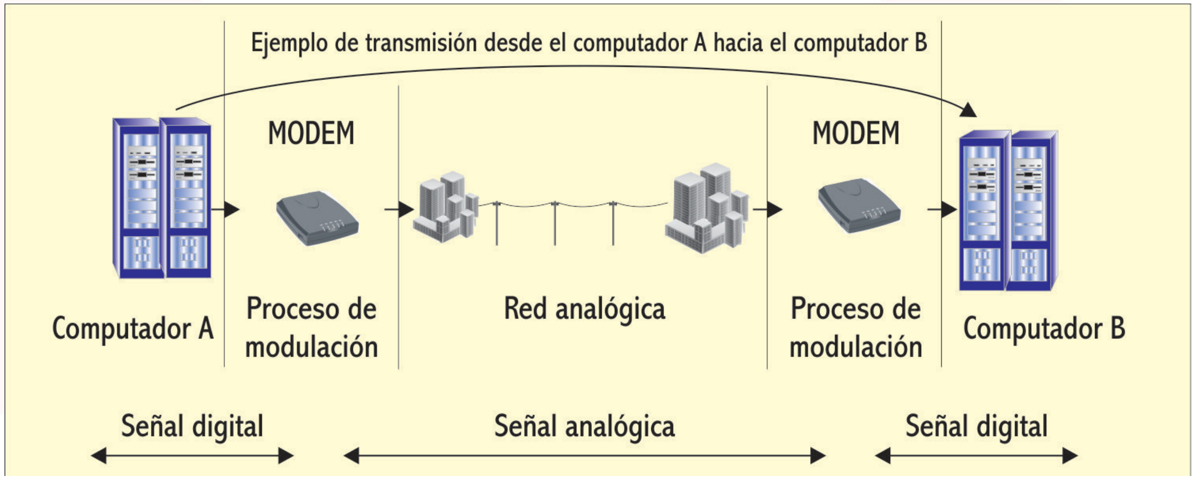
Esquema de conexión de un equipo terminal analógico a una red digital.



Transmisión de señales

2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales

Como se verá más adelante, hay diferentes tipos de módems, en la última década apareció el módem ADSL –*Asynchronous Digital Subscriber Line*–, que revolucionó el acceso a la red telefónica analógica al permitir velocidades típicas de banda ancha para conectarse a Internet.



Transmisión de señales

2.3 Características de la transmisión de señales

Las telecomunicaciones, o simplemente comunicaciones están constituidas por el conjunto de tecnologías que permiten la transmisión a distancia de señales de información.

Por otra parte, el medio de comunicaciones, o canal de comunicaciones ,es el que permite que las señales generadas en el transductor de la fuente lleguen al transductor del sumidero. Además, el medio de comunicación debe transmitir la información con la mayor fidelidad posible.

En resumen, un sistema de comunicaciones está compuesto por los elementos siguientes:

- Una fuente y un sumidero o colector.
- Un transductor en la fuente y otro en el sumidero.
- Un medio o un canal de comunicaciones.

Transmisión de señales

2.3 Características de la transmisión de señales

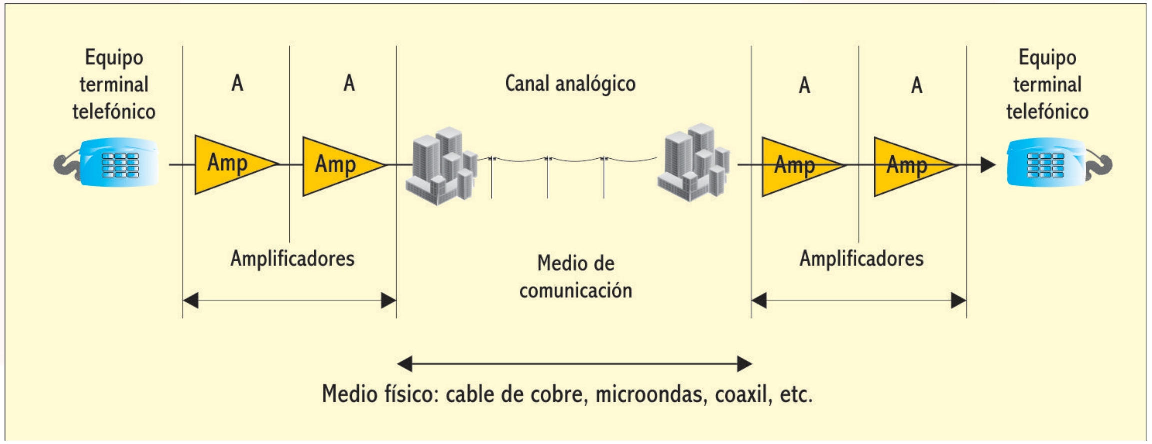
Estos fenómenos indeseables pueden ser:

- Atenuación.
- Distorsión.
- Ruido.
- Retardos de transmisión –*delay*–.

Transmisión de señales

2.3 Características de la transmisión de señales

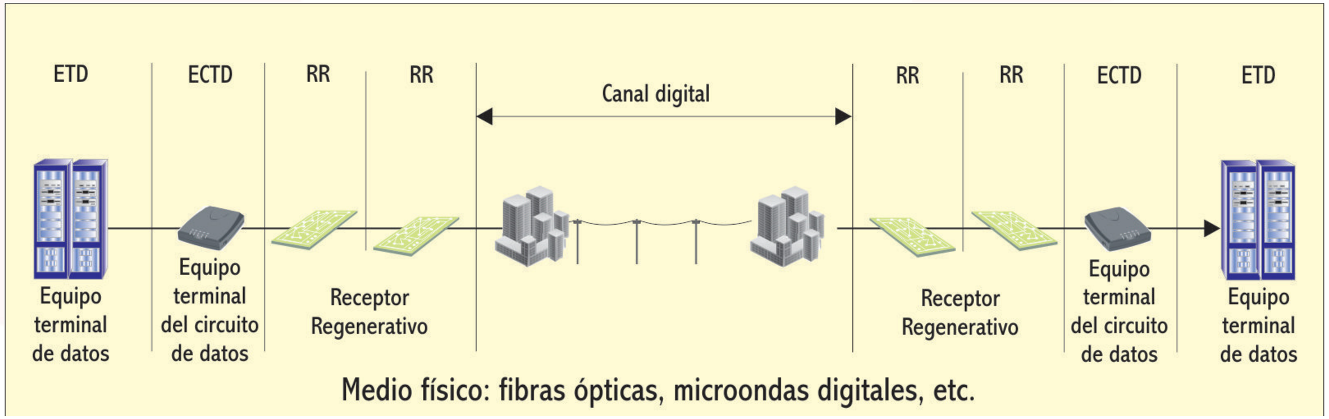
En las figuras a continuación, se muestran esquemas de canales analógicos y digitales, respectivamente. En el primer esquema el transductor de la fuente es el micrófono del teléfono, mientras que el del sumidero es el altavoz.



Transmisión de señales

2.3 Características de la transmisión de señales

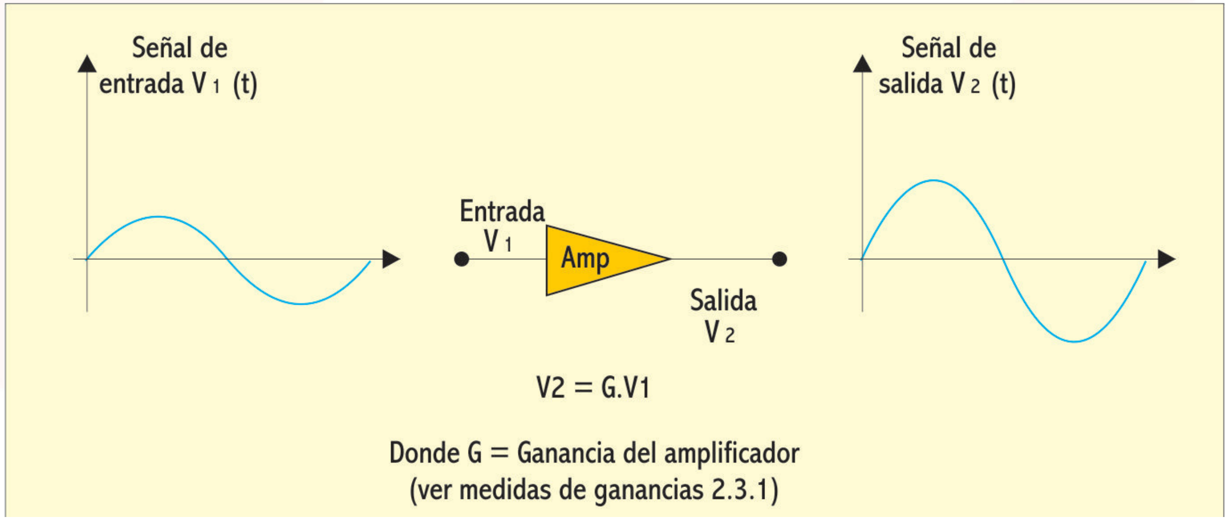
Los repetidores regenerativos se deberán situar en la práctica a distancias mucho menores cuando se utilicen cables de cobre. En el caso de las fibras ópticas monomodo se colocan a distancias importantes, del orden de varios kilómetros.



Transmisión de señales

2.3 Características de la transmisión de señales

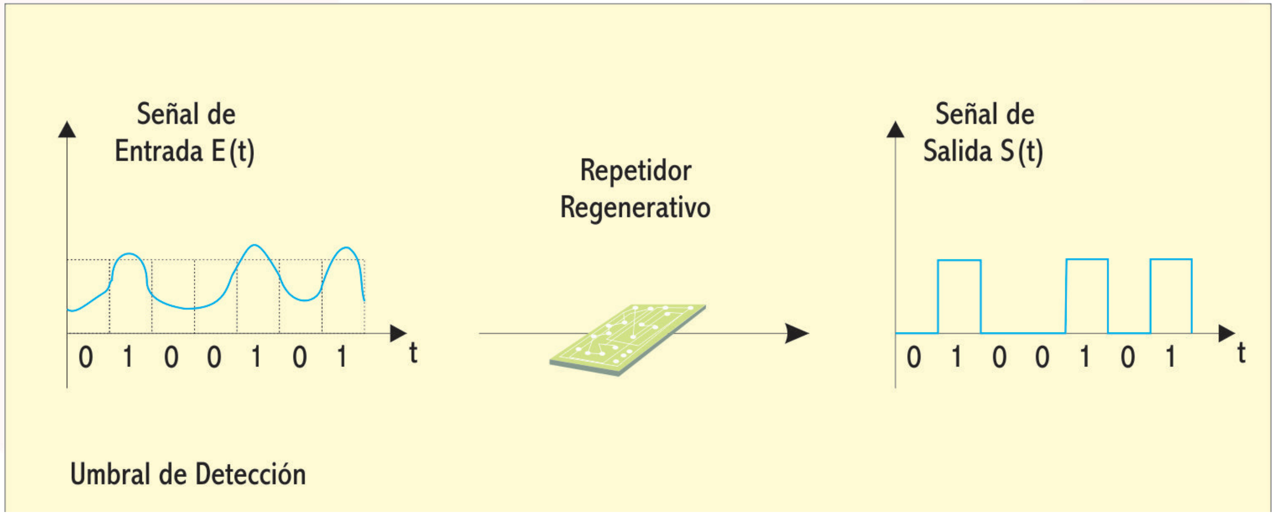
Se muestra cómo opera un amplificador. Las señales que llegan al amplificador están atenuadas respecto de su amplitud original, y las que salen de él tienen un nivel conveniente para que puedan ser detectadas e interpretadas correctamente en el colector.



Transmisión de señales

2.3 Características de la transmisión de señales

Se muestra cómo opera un repetidor regenerativo. Las señales que arriban a él se observan distorsionadas y las que salen tienen su forma original, y ninguna señal de ruido.



2.4 Características de las señales utilizadas para la transmisión de señales

2.4.1 Aspectos generales

Si bien la transmisión de señales inteligentes, tanto analógicas como digitales, se caracterizan por ser de forma variable, dado que las señales toman una determinada forma según la información a transmitir, sus características pueden estudiarse tomando como referencia la función senoidal armónica simple como ejemplo de una señal típica analógica, y a la señal conocida como onda cuadrada como ejemplo de una señal digital.

En ambos casos estos dos tipos de funciones tienen la característica de ser funciones periódicas.

2.4.1 Aspectos generales

Se dice que una función *f(t) es periódica cuando se verifica que,*

$$f(t) = (t + T)$$

y

$$\frac{\partial' f(t)}{\partial t'} = \frac{\partial' f(t + T)}{\partial t'}$$

Donde:

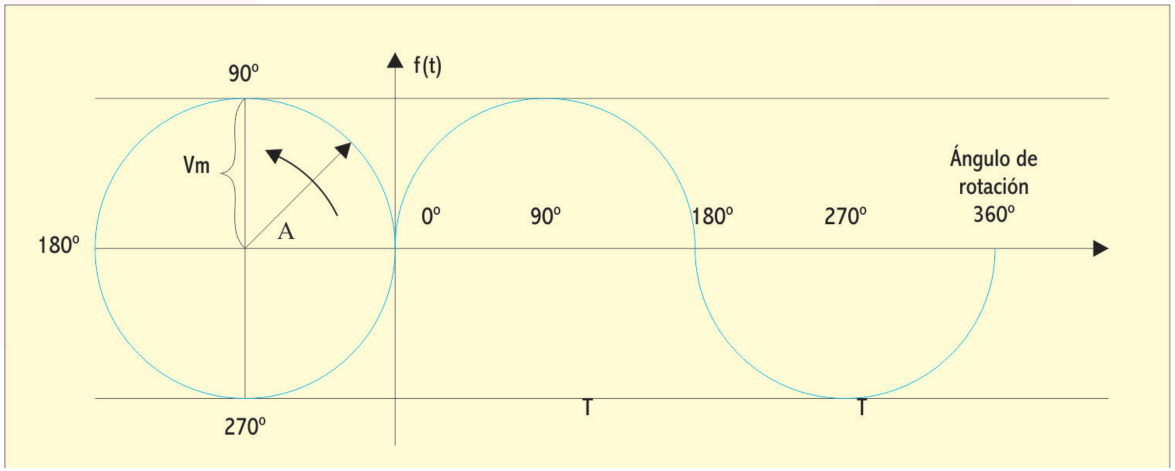
T = período de la función.

Transmisión de señales

2.4.2 Función senoidal armónica simple

La función senoidal armónica es una función periódica que nos permitirá conocer a través de su estudio las características que tienen las señales electromagnéticas, de importancia vital en las telecomunicaciones. La función senoidal, en su expresión más general, tiene la siguiente forma:

$$f(t) = A\ \text{sen}\ (\omega t + \Phi)$$



2.4.2. Función senoidal armónica simple

La velocidad angular del vector ω, se puede definir como:

$$\omega = \frac{\text{ángulo recorrido}}{\text{tiempo}}$$

Para un ángulo recorrido de 2π radianes, se habrá tardado en recorrerlo un tiempo igual al período T. Es decir que tendremos entonces

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Luego, operando convenientemente, tendremos que

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

2.4.2. Función senoidal armónica simple

A su vez, la frecuencia es el número de ciclos completos por segundo. Por lo tanto, la frecuencia resultará la inversa del período *T*.

$$T = \frac{1}{f}\,(seg)$$

Resultará, operando convenientemente;

$$\omega = 2\pi f$$

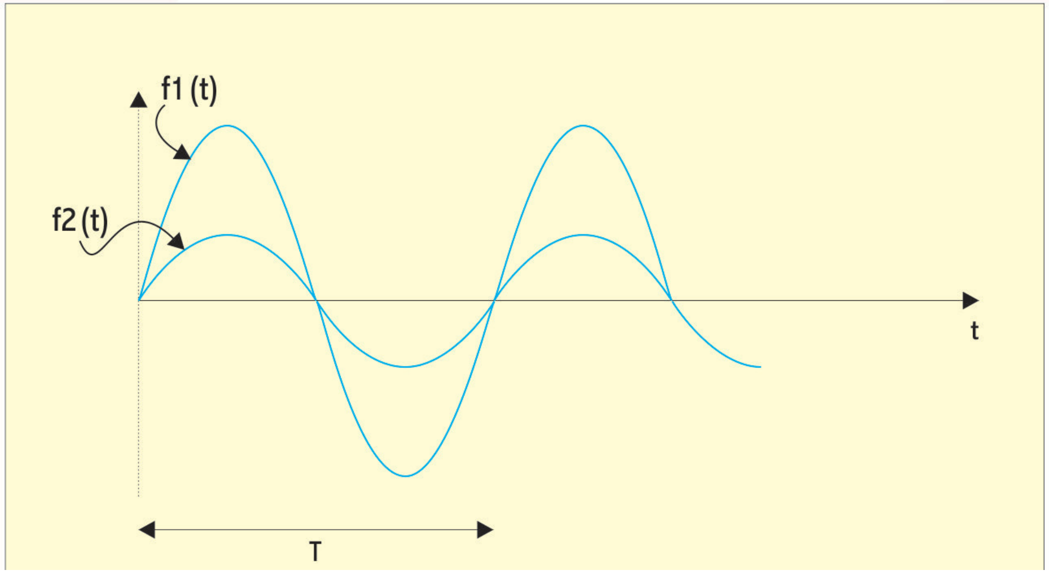
El tiempo *T* se mide en segundos y la frecuencia en Hertz. Es decir, dimensionalmente hablando, el Hertz resulta:

$$[Hertz] = \frac{1}{seg}$$

2.4.2. Función senoidal armónica simple

Analicemos cada una de las constantes de estas funciones.

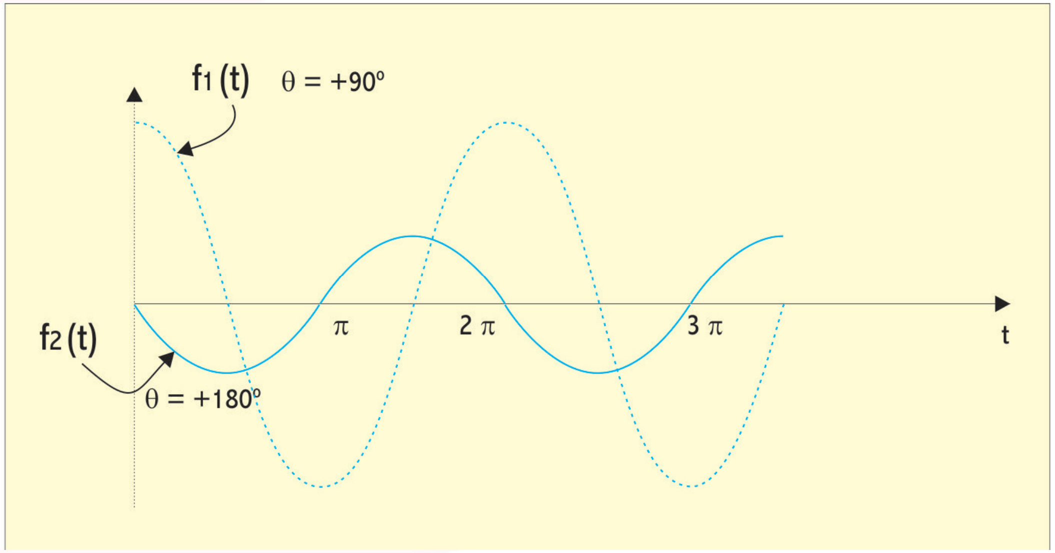
Para ello observemos que en ella están representadas dos funciones de igual frecuencia y fase, pero distintos valores de amplitud, *A1 y A2;*



Transmisión de señales

2.4.2 Función senoidal armónica simple

Se observa que el período es el mismo, dado que la frecuencia o, lo que es lo mismo, la pulsación es igual en ambas y se ha considerado un valor de ángulo de fase igual a cero.



2.4.2. Función senoidal armónica simple

Veamos ahora dos señales sinusoidales de distintas frecuencias pero de igual amplitud y ángulo de fase inicial. Para ello consideremos una señal de frecuencia $f_1 = 4\ Hz$ *y una segunda* $f_2 = 8\ Hz$. Calculemos primero el período de ambas funciones T_1 y T_2.

$$T\ [seg] = \frac{1}{4Hz} = 0{,}25\ seg \qquad T\ [seg] = \frac{1}{8Hz} = 0{,}125\ seg$$

Observemos ambas señales para el caso planteado, en particular con ángulo de fase inicial igual a cero. Analicemos ahora el papel que desempeña el ángulo de la fase inicial en una función senoidal. Para ello representaremos la función armónica en su caso más general; es decir,

$$f(t) = A\ sen\ (\omega\ t + \Phi)$$

Transmisión de señales

2.4.2 Función senoidal armónica simple

Dicha función para el instante *t = 0, resultará ωt = 0,* luego la expresión quedará de la siguiente forma;

Luego el valor de la función en el instante *t = 0 dependerá del valor del seno del ángulo φ.* Es evidente que si *φ = 0 resultará sen φ = 0, y por lo tanto f(0) = 0; y*

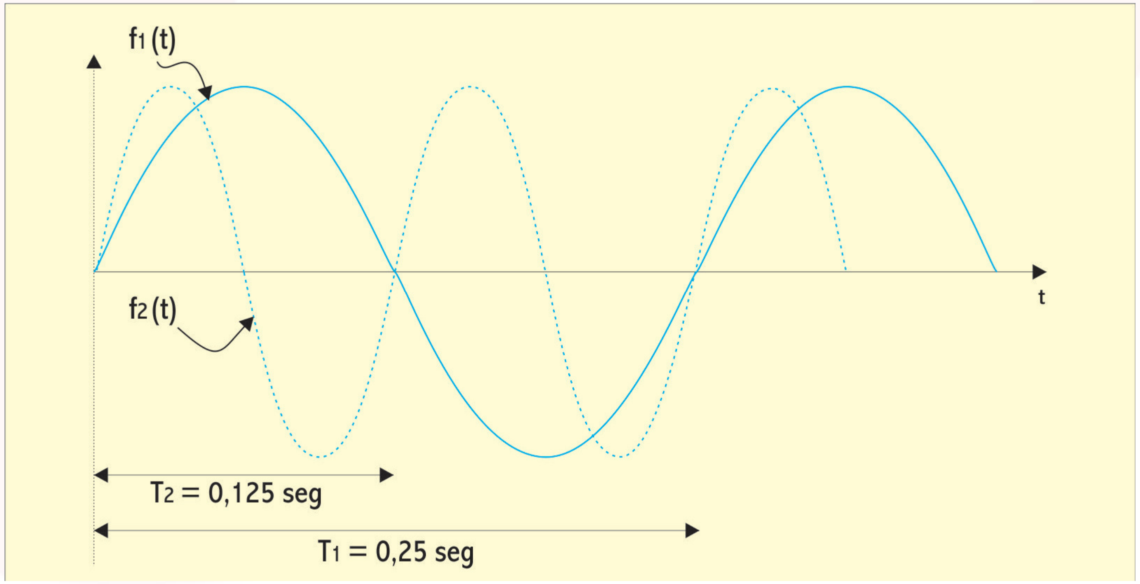
$$f(0) = A \text{ sen } \phi$$

$$\text{Si } \phi = \frac{\pi}{2} \text{ resultará } sen\ \frac{\pi}{2} = 1 \text{, y por lo tanto } f\ \frac{\pi}{2} = A\ sen\ \frac{\pi}{2} = A$$

Transmisión de señales

2.4.2 Función senoidal armónica simple

Funciones senoidales de distinta frecuencia con ángulo de fase igual a cero.



2.4.2 Función senoidal armónica simple

Se representan dos funciones de igual amplitud y frecuencia, pero una con $\varphi = 0$, *y otra con*

$$\phi = \frac{\pi}{2}$$

Las expresiones de una y otra serán por lo tanto;

$$f(t) = A\ sen\ (\omega\ t)$$

$$f(t) = 1,\ para\ \ 0 < t < T/2$$

$$f(t) = A\ \ sen\ \ \omega t + \frac{\ }{2}$$

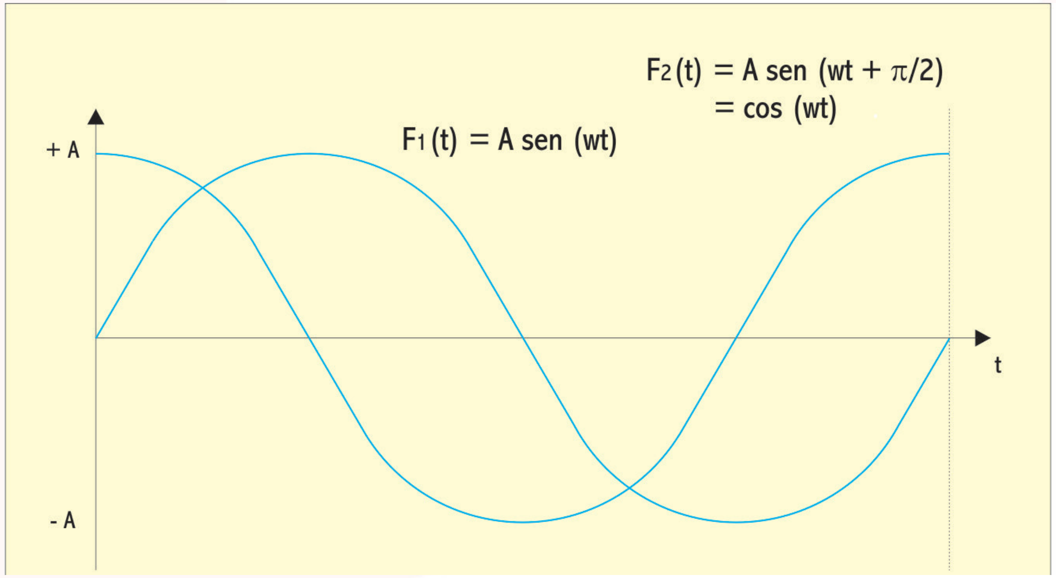
Podría también expresarse de la siguiente manera;

$$f(t) = A\ cos\ (\omega\ t)$$

Transmisión de señales

2.4.2 Función senoidal armónica simple

Funciones senoidales de ángulos de fase igual a cero e igual a 9/2



2.4.3 Función onda cuadrada

Una de las formas más comunes de las señales digitales es la función onda cuadrada. Esta señal es generada, normalmente, por equipos denominados generadores de pulsos, que se basan en las técnicas de la electrónica digital. Se representa gráficamente una señal periódica onda cuadrada o rectangular. La función onda cuadrada se define matemáticamente a través de las siguientes expresiones

$$f(t) = A, \text{ para } 0 < t < \frac{T}{2}$$

y,

$$f(t) = -A, \text{ para } \frac{T}{2} < t < T$$

y,

$$f(t) = 0, \text{ para } t = n\frac{T}{2}\text{ ; donde } n = 1, 2, \ldots, n$$

2.4.3 Función onda cuadrada

En esta función digital, los conceptos de amplitud, frecuencia y período tienen el mismo significado que en la función senoidal armónica simple. Sin embargo, en este caso la frecuencia también se denomina frecuencia de repetición de pulsos (FRP), y es igual, como se ha visto, a:

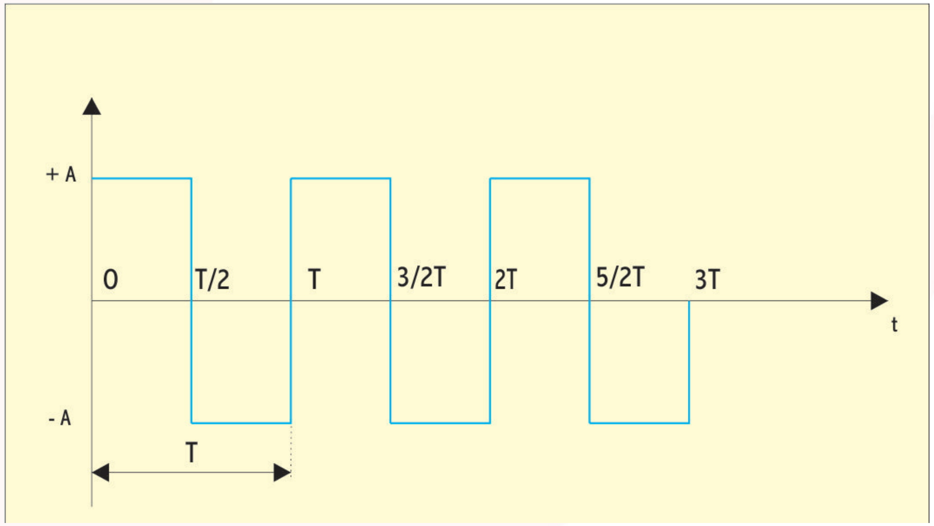
$$FRP = \frac{1}{T} \ (PPS)$$

Donde: PPS es pulsos por segundo.

En el estudio de las señales digitales aparece un parámetro, muy importante, denominado ancho de pulso *(ζ)*.

2.4.3 Función onda cuadrada

Función onda cuadrada de amplitud A.



2.4.4 Valor eficaz y valor medio de una señal senoidal: factor de forma

Analizaremos a continuación otras características de las señales senoidales empleadas muy frecuentemente en la electrónica y las comunicaciones, como el valor medio y el valor eficaz.

Para analizar la tensión o corriente en un circuito eléctrico es importante conocer el valor eficaz de las mismas, a efectos de poder calcular, por ejemplo, la potencia eléctrica y otros parámetros del circuito. Se define como valor eficaz de la función f(t):

$$Y_e = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T f(t)^2\,dt}$$

2.4.5 Representación de señales armónicas mediante la serie de Fourier

2.4.5.1 Conceptos generales

La relación entre las distintas funciones periódicas es mucho más amplia que la que existe con el factor de forma de la función onda cuadrada. Precisamente, la denominada serie de Fourier permite llevar a cabo este análisis.

En efecto, toda función periódica que cumpla con las denominadas condiciones de **Dirichlet** admite su desarrollo en **serie de Fourier.**

2.4.5.2 Condiciones de Dirichlet

Las condiciones de Dirichlet son necesarias y suficientes para que una función *f(t)* pueda ser desarrollada en serie de Fourier. Ellas son:

- La función f(t) debe ser periódica, de período T.
- La función f(t) debe ser definida y univalente, salvo un número finito de puntos, en el intervalo de integración.
- La función f(t) y su derivada f'(t) deben ser seccionalmente continuas en el intervalo de integración (o continuas por secciones).

2.4.5.3 Desarrollo de la serie y cálculo de los coeficientes.

Toda función que cumpla con las condiciones de Dirichlet admite ser re presentada por una serie de la forma:

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

Donde: $\omega=\frac{2\pi}{T}$ *siendo T el período de la función f(t).*

Apoyo en la web

2.4.5.3 Desarrollo de la serie y cálculo de los coeficientes.

Los coeficientes de la serie se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$a_0 = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{+T/2} f(t)dt$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{+T/2} f(t)\cos(n\omega t)\,dt \text{ ; para n = 1, 2, 3, …, n, …}$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{+T/2} f(t)\,sen(n\omega t)\,dt \text{ ; para n = 1, 2, 3, …, n, …}$$

2.4.5.4 Expresión compleja de la serie de Fourier

Para analizar una señal en el dominio de la frecuencia es conveniente recurrir a la llamada expresión compleja del desarrollo en serie de Fourier.

En efecto, es posible desarrollar una función que cumple las condiciones de Dirichlet mediante una expresión del siguiente tipo:

$$f(t) = \frac{1}{T}\sum_{n=-\infty}^{n=\infty} C_n \, e^{in\omega t}$$

$$C_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} f(t)\, e^{-in\omega_0 t}\,dt$$

2.4.5.5 Espectro de amplitud y de fase de una función periódica

En el uso de señales digitales en los sistemas de comunicaciones muchas veces es necesario conocer el comportamiento de las funciones periódicas, no como funciones del tiempo sino de la frecuencia, o, lo que es lo mismo, de la pulsación a menos de una constante, y del ángulo de fase.

Para ello definiremos como amplitud del espectro a la expresión

$$|C_n| = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

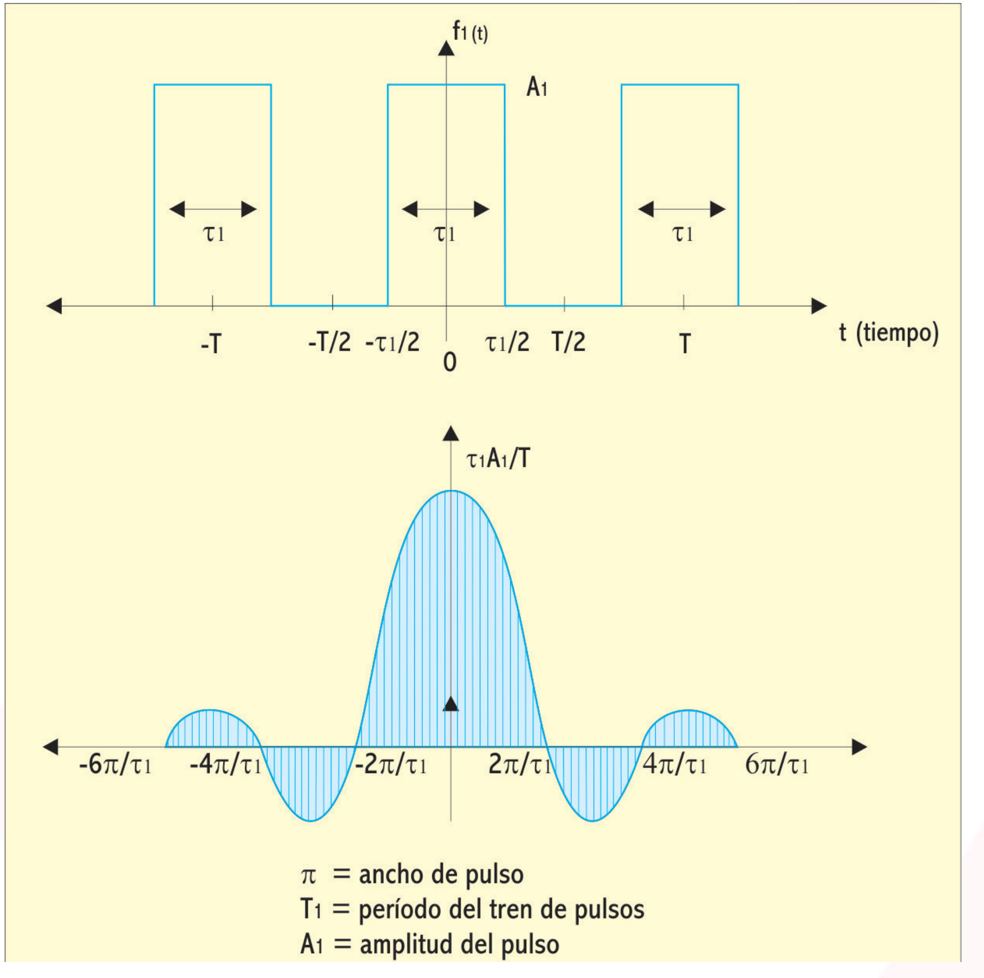
Y a su vez, fase del espectro a la expresión

$${}_n = \text{arc tg} \; - \frac{b_n}{a_n}$$

Transmisión de señales

2.4.5.6 Análisis del espectro de amplitud de la señal

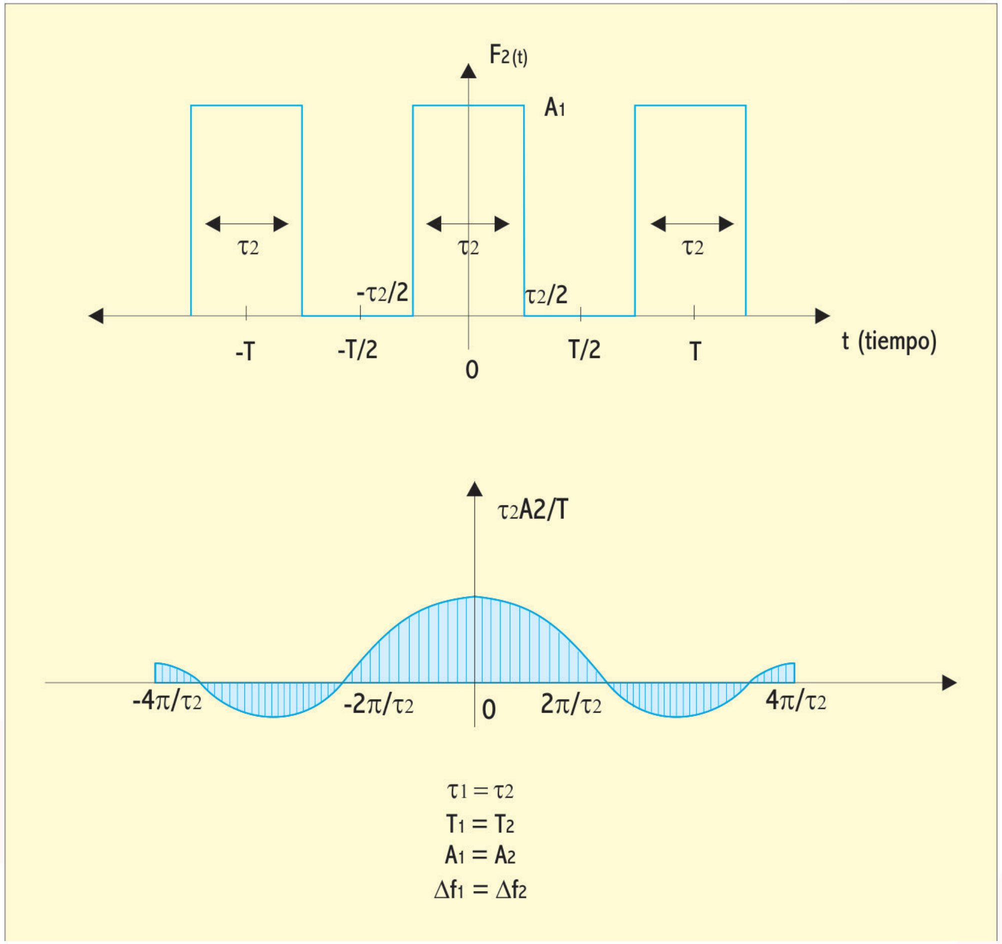
Relación entre el ancho del pulso y el espectro de amplitud



Transmisión de señales

2.4.5.6 Análisis del espectro de amplitud de la señal

Relación entre el período de pulso y el espectro de amplitud.



2.4.5.7 Concepto inicial de ancho de banda

Definiremos inicialmente como ancho de banda de una señal al intervalo de frecuencias $\Delta f = f_2 - f_1$, en el cual se concentra la mayor parte de su energía.

Para el caso que estamos analizando, podemos señalar que existe una relación inversa entre el ancho de un pulso τ y el ancho de banda Δf cubierto por el espectro de frecuencia. La mayor parte de la energía estará concentrada entre las frecuencias tal que,

$$0 < \quad f < \frac{1}{\tau}$$

Transmisión de señales

2.4.5.7 Concepto inicial de ancho de banda

En consecuencia, el primer valor para el cual *Cn* se anula puede considerarse como una medida aproximada del ancho de banda, que es necesario para contener la mayor parte de la energía de la señal y, por lo tanto, como veremos más adelante, servirá para diseñar el sistema de comunicaciones. Este valor resulta igual a $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$

2.5 Unidades de medida usadas en las telecomunicaciones

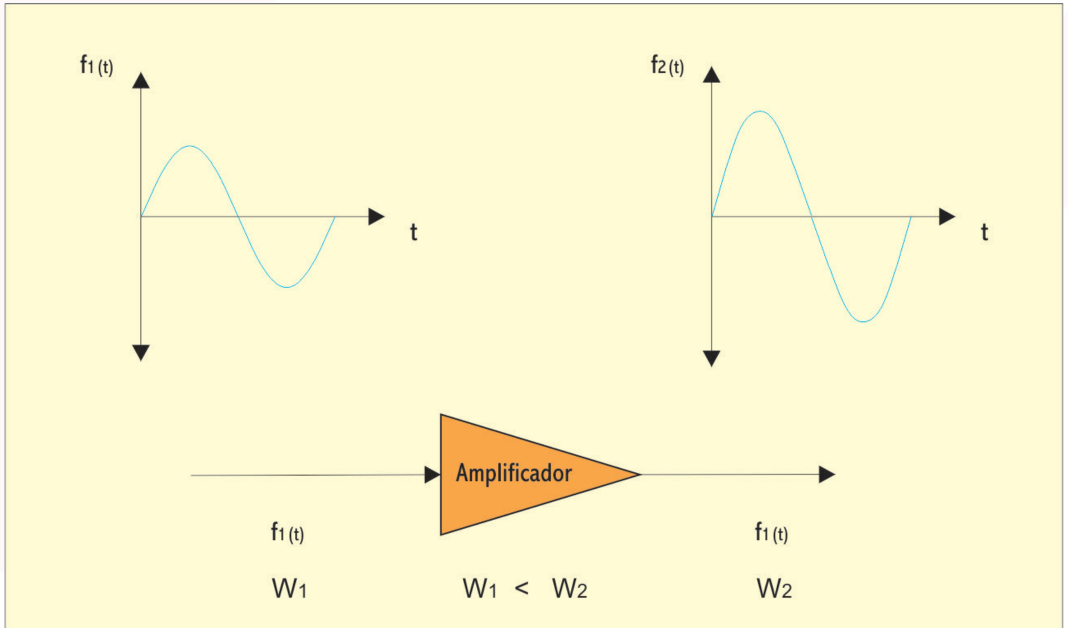
2.5.1 Introducción

La transmisión de señales a través de medios de comunicaciones, como ya se explicó, sufren atenuaciones o pérdidas que en muchos casos obligan a amplificarlas a través de elementos pasivos o activos, para que lleguen a los receptores con valores que permitan su interpretación y decodificación. La potencia de la señal útil debe mantenerse en valores altos y adecuados en relación con el nivel del ruido y, al mismo tiempo, lo suficientemente bajos como para que la señal no sufra distorsiones que la tornen inutilizable.

Transmisión de señales

2.5.2 Ganancia de un amplificador

Sea un circuito amplificador, definiremos como ganancia la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada.



$$G = \frac{P_S}{P_E}$$

2.5.3 Pérdida

Cuando se diseñan líneas de transmisión o elementos de comunicaciones como podría ser las antenas, no se los hace para que actúen como atenuadores, pero este comportamiento es natural. A medida que la señal se va propagando, sea por un conductor o por un medio dieléctrico, la señal se va atenuando y por lo tanto la señal va perdiendo potencia. Tanto un medio como el otro se comportan como si fueran un atenuador.

Sea un circuito atenuador definiremos como pérdida la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada

$$P_{erd} = \frac{P_S}{P_E}$$

Como $P_S < P_E$, resulta $\frac{P_S}{P_E} < 1$

2.5.4 Amplificadores o atenuadores en cascada

Sean dos amplificadores (o atenuadores) conectados en cascada, es decir uno a continuación del otro, la ganancia (o pérdida) de ambos será el producto de la ganancia de cada uno.

Sean dos atenuadores, en cascada, la potencia de entrada del amplificador *A2 será la potencia de salida del amplificador* A_1.

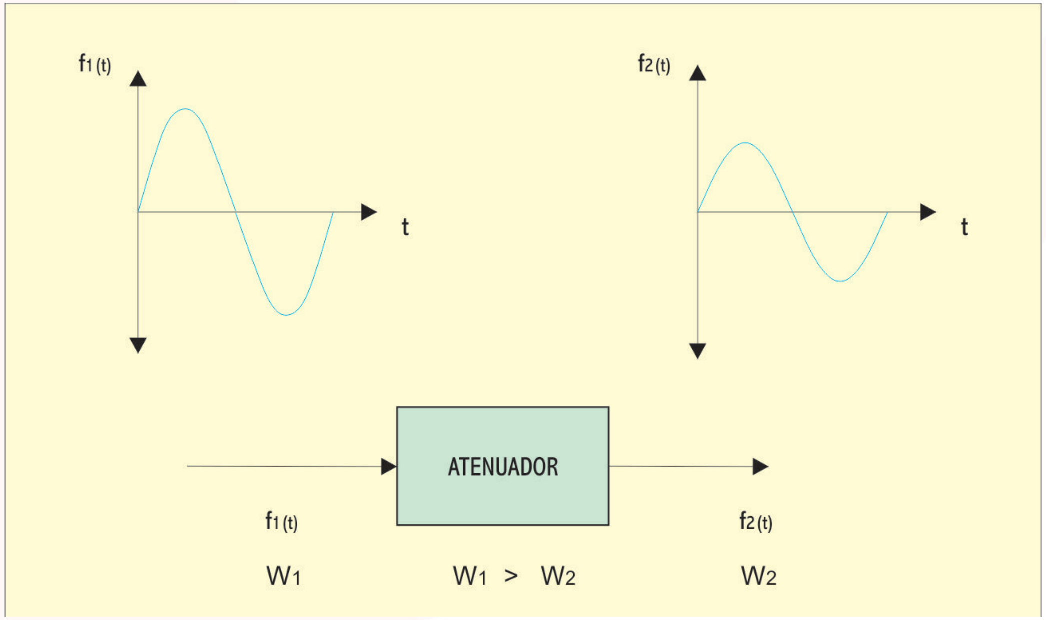
La ganancia de A_1, *será*

$$G_{A1} = \frac{P_{S1}}{P_{E1}}$$

Transmisión de señales

2.5.4 Amplificadores o atenuadores en cascada

Circuito bloque de un atenuador.



Transmisión de señales

2.5.4 Amplificadores o atenuadores en cascada

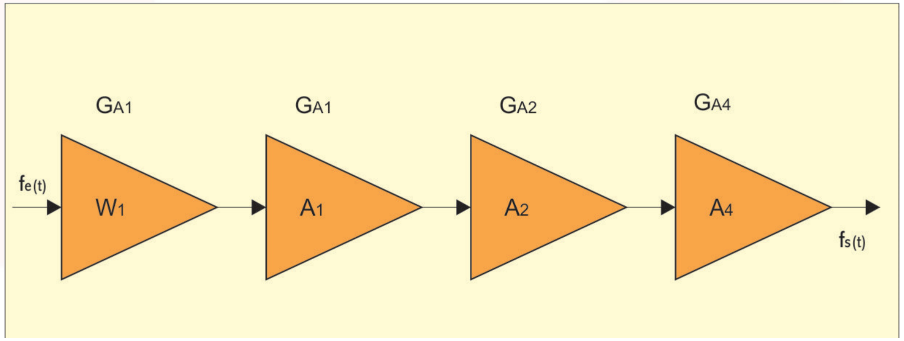
Luego, la ganancia total será

$$G_{A2} = \frac{P_{S2}}{P_{S1}}$$

$$G_{TOTAL} = \frac{P_{S1}}{P_{E1}} \cdot \frac{P_{S2}}{P_{S1}}$$

$$G_{TOTAL} = \frac{P_{S2}}{P_{E1}}$$

Que resulta de la definición de ganancia. Para considerar atenuadores, el razonamiento sería similar.



Transmisión de señales

2.5.5 El decibel

Como se va visto, la ganancia expresada da valores poco prácticos, además de no tener relación con el comportamiento del oído humano.

Es por ello que siempre se prefiere usar el decibel, que se define como una unidad logarítmica.

Luego definiremos como ganancia en decibel a la expresión:

$$G(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$

Y pérdida en decibel a la expresión:

$$Perd(dB) = -10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

Transmisión de señales

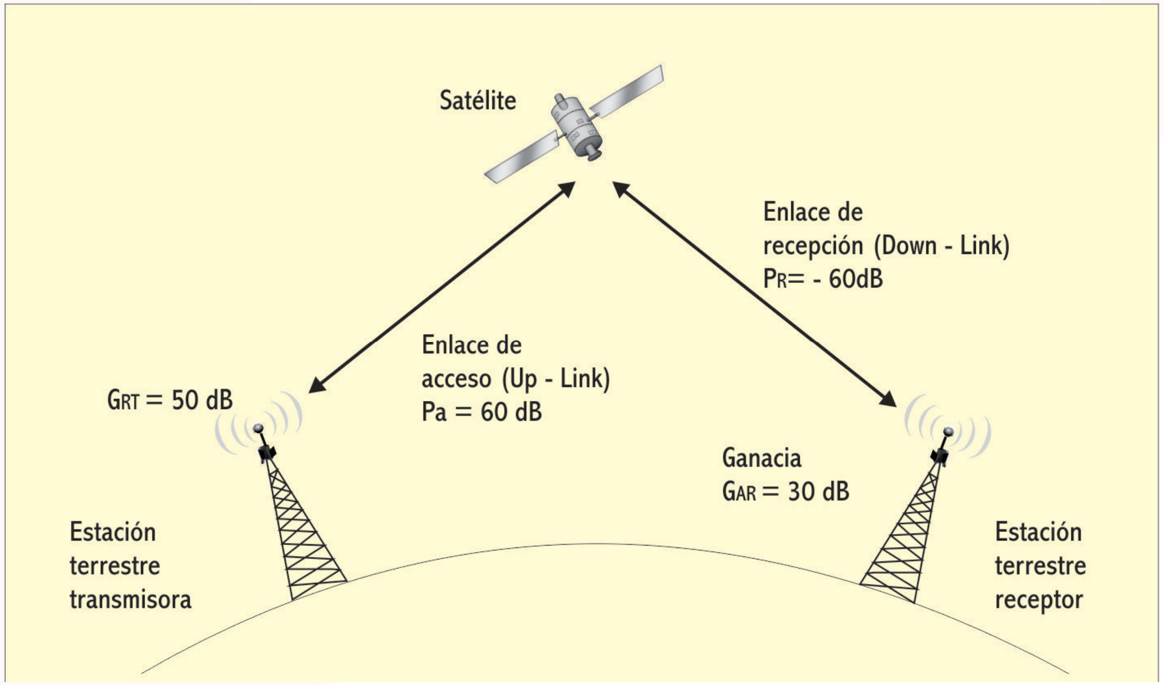
2.5.5 El decibel

Para tener una idea de valores analicemos la tabla. En ella hemos tomado una relación de potencias en que la señal de entrada a un amplificador sea de *1 Watt.* Allí se pueden observar los valores de la ganancia en dB, conociendo la potencia de salida del amplificador.

P_{salida} (Watt)	10	100	1.000	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000	100.000.000
Ganancia en db	10	20	30	40	50	60	70	80

2.5.5 El decibel

Esquema de enlace.



2.5.5 El decibel

Ahora analicemos brevemente la ley de **Ohm** compleja, para un circuito de corriente alterna. Observando, tendremos que:

V [Volt] = I [Ampere] · Z [Ohm]

V [Volt] = tensión

I [Ampere] = corriente

Z [Ohm] = impedancia

Donde:

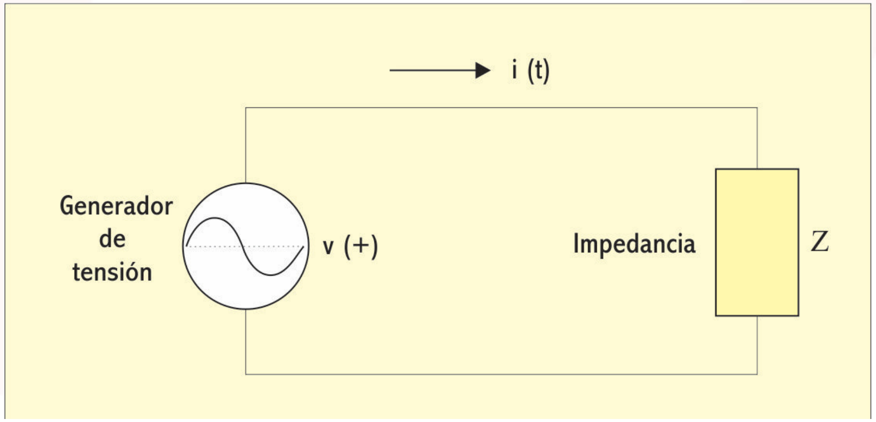
R = resistencia óhmica.
j = unidad imaginaria.
XL = reactancia inductiva.
XC = reactancia capacitiva.

La impedancia se puede expresar mediante un número complejo *Z, tal que* $Z = R + j\,(X_L - X_C)$

Transmisión de señales

2.5.5 El decibel

Se puede observar que en el concepto de impedancia deben considerarse dos términos, uno real que es la resistencia óhmica, que no depende de la frecuencia, y un segundo imaginario. El término imaginario está compuesto, a su vez, por las reactancias inductiva y capacitiva. Sus valores son función de la frecuencia serán,



2.5.6 El dBm

A diferencia del *dB, que es una unidad de medida relativa, el dBm es una unidad de nivel absoluto, que mide la potencia (de salida o de entrada, según corresponda, para un circuito amplificador o atenuador) respecto de un valor fijo de 1 mW.*

$$dBm = 10 \log \frac{P_s \, [mW]}{1 \, mW}$$

Cuando la comparación se efectúa respecto de valores de potencia por debajo de *1 mW, el resultado será siempre negativo. En algunos casos, en los que se usan potencias mayores, se toma como valor fijo 1 W y en ese caso la unidad se denomina dBW.*

2.5.7 El dBu

El dBu es una unidad de nivel absoluto usada para comparar la tensión de salida respecto de un valor fijo de 0,775 V.

$$dBU = 20 \log \frac{V_s\,[Volt]}{0{,}775\ Volt}$$

Esta unidad es muy usada en telefonía. El valor de *0,775 V* es un valor que resulta de aplicar una señal de una potencia de 1 mW sobre una impedancia de 600 Ω [Ohm].

Relación entre el *dBm y el dBu.*

Se puede establecer una relación entre el *dBm y el dBu.* Veamos,

$$dBm = 10 \log \frac{P_s\,[mW]}{1\ mW}$$

Transmisión de señales

2.5.7 El dBu

Pero como $W = \frac{V^2}{Z}$, si a una impedancia de 600 Ω le aplicamos una potencia de 1 mW, tendremos:

$$1\ mW = \frac{0{,}775V^2}{600}$$

Reemplazando *1 mW* por su valor, y la P_S [W] por su expresión en [2-00], tendremos

$$dBm = 10 \log \frac{V^2 / Z}{(0{,}775V)^2 / 600}$$

Y operando convenientemente,

$$dBm = 10 \log \frac{V^2}{(0{,}775V)^2} + 10 \log \frac{600}{Z}$$

$$dBm = 20 \log \frac{V}{0{,}775V} + 10 \log \frac{600}{Z}$$

Transmisión de señales

2.5.7 El dBu

Y como $dBu = 20 \log \frac{V}{0{,}775V}$, *resultará,* $dBm = dBu + 10 \log \frac{600}{Z}$

$$dBm = dBu + \text{Factor de Corrección}$$

El factor de corrección es distinto de cero, cuando la impedancia *Z es distinta del valor patrón de 600 Ω.*

2.5.8 El dBmV

El *dBmV es una unidad de nivel absoluto que se utiliza para comparar la tensión de salida respecto de un valor fijo de 1 mV.*

$$dBmV = 20 \log \frac{V_s\{mV\}}{1mV}$$

2.5.9 El Neper

El neper es una unidad relativa usada como alternativa al *dB*. Se diferencia de esta última en que la base de los logaritmos usados es el número e, en lugar de la base 10, usada por aquella otra unidad de medida.

$$Neper\,(n) = \frac{1}{2} \ln \frac{P_S}{P_E}$$

Como el concepto es similar, se pueden establecer relaciones entre el *dB y el Neper:*

$$1\ Neper = 8{,}686\ dB$$

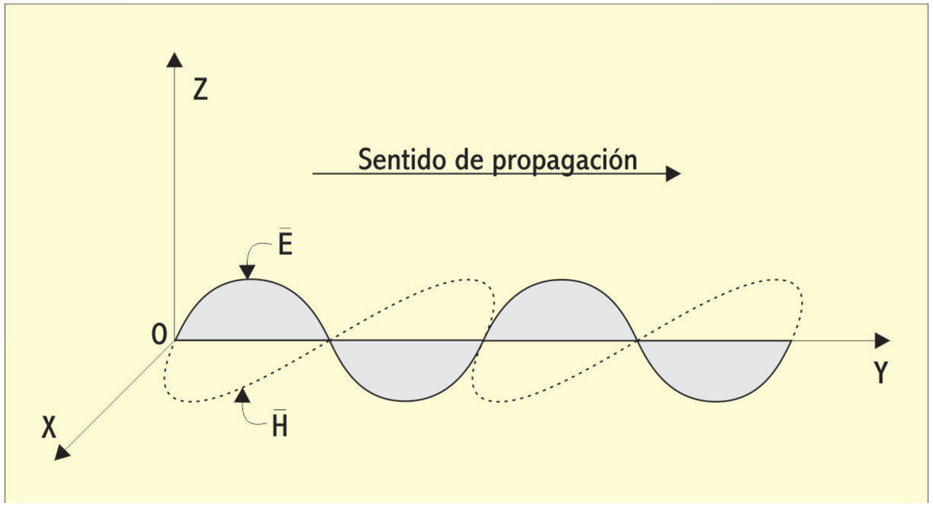
$$1\ dB = 0{,}115\ Neper$$

Apoyo en la web

2.6 La transmisión de señales

2.6.1 La transmisión en medios dieléctricos

Cuando una antena de un equipo de radio transmite, lo hace en todas direcciones; aunque si estudiáramos en detalle las características de cada una de ellas en particular, se observaría que su geometría condiciona la forma de la onda irradiada. Propagación de una onda plana.



Transmisión de señales

2.6.1 La transmisión en medios dieléctricos

Las ecuaciones de los vectores $\vec{E}$ y $\vec{H}$ serán las siguientes, teniendo en cuenta para este caso especial de una onda plana, y en la que los ángulos de fase inicial de los vectores campo eléctrico y campo magnético son iguales a *0, para t = 0,*

$$E = E_o \cos \omega t$$

$$H = H_o \cos \omega t$$

Donde:

E_o = amplitud de la intensidad del campo eléctrico.

H_o = amplitud de la intensidad del campo magnético.

ω = pulsación de la señal. Valor igual a $\omega = 2\pi$f(frecuencia).

Transmisión de señales

2.6.1 La transmisión en medios dieléctricos

La solución a la ecuación de onda es la siguiente

$$E(t;y) = E_0 \cos \omega \; t - \frac{y}{v}$$

$$H(t;x) = H_0 \cos \omega \; t - \frac{x}{v}$$

Donde:

E_o = amplitud de la intensidad del campo eléctrico.

H_o = amplitud de la intensidad del campo magnético.

V = velocidad de la luz en el vacío.

ω = pulsación de la señal. Valor que resulta igual a $\omega = 2\,\pi f$ (frecuencia).

Se puede observar que precisamente por estar propagándose es una función simultánea del espacio y del tiempo.

Transmisión de señales

2.6.2 El espectro de frecuencias electromagnéticas

2.6.2.1 Longitud de onda

Es importante considerar un parámetro que se denomina longitud de onda, y se representa con la letra λ.

Se denomina longitud de onda a la distancia en que la onda recorre un tiempo igual a un período. $\lambda = v\,T$

Donde:

λ = longitud de onda.

V = velocidad de propagación.

T = período de la señal.

Reordenando, esta expresión podrá escribirse como sigue:

$$V = \frac{\lambda}{T}$$

Transmisión de señales

2.6.2.2 Espectro de frecuencia

La finalidad de todo sistema de comunicaciones es el de transmitir información para comunicar dos o más puntos, con la menor tasa de errores posible.

Un tipo de comunicaciones se denomina comúnmente punto a punto cuando se establece un vínculo entre dos equipos geográficamente distantes; o punto a multipunto, cuando desde un equipo se efectúan comunicaciones hacia varios puntos.

Transmisión de señales

2.6.2.3 Bandas y gráfica del espectro de frecuencia

La clasificación de las frecuencias en segmentos, según sus características, es lo que se denomina espectro de frecuencias. La UIT lo ha dividido en bandas que reciben distintas denominaciones. Estas bandas se muestran en la siguiente tabla.

El ser humano, a partir del conocimiento de la forma en que se propagan las ondas electromagnéticas, ha ido usando cada una de las frecuencias para distintas aplicaciones.

2.6.2.3. *Bandas y gráfica del espectro de frecuencia*

Nº Banda	Intervalo En Hertz o múltiplos		Longitud de onda hasta		Sigla	Nombre de la banda	Sigla
1	0 a 30	Hz	10.000	Km	-------		Hz = Hertz
2	30 a 300	HZ	1.000	Km	ELF	Frecuencias extremadamente bajas	
3	0,3 a 3	kHz	100	Km	VF	Frecuencias de voz	$kH = 10^3$ Hertz
4	3 a 30	kHz	10	Km	VLF	Frecuencias muy bajas	kH = kilohertz
5	30 a 300	kHz	1	Km	LF	Frecuencias bajas	
6	0,3 a 3	Mhz	100	M	MF	Frecuencias medias	$MH = 10^6$ Hertz
7	3 a 30	MHZ	10	M	HF	Frecuencias altas	MH = megahertz
8	30 a 300	Mhz	1	M	VHF	Frecuencias muy altas	
9	0,3 a 3	Ghz	100	cm	UHF	Frecuencias ultra altas	$GH = 10^9$ Hertz
10	3 a 30	Ghz	10	cm	SHF	Frecuencias súper altas	GH = gigahertz
11	30 a 300	Ghz	1	cm	EHF	Frecuencias extremadamente altas	
12	0,3 a 3	THZ	100	Mm	-------	Luz infrarroja	$TH = 10^{12}$ Hertz
13	3 a 30	Thz	10	Mm	-------	Luz infrarroja	TH = terahertz
14	30 a 300	Thz	1	Mm	-------	Luz infrarroja	
15	0,3 a 3	Phz	100	µm	-------	Luz visible	$PH = 10^{15}$ Hertz
16	3 a 30	Phz	10	µm	-------	Luz ultravioleta	PH = petahertz
17	30 a 300	Phz	1	µm	-------	Rayos x	
18	0,3 a 3	Ehz	100	Pm	-------	Rayos gamma	$EH = 10^{18}$ Hertz
19	3 a 30	Ehz	10	Pm	-------	Rayos cósmicos	EH = exahertz
20	30 a 300	Ehz	1	Pm	-------	Rayos cósmicos	

Transmisión de señales

2.6.2.3 Bandas y gráfica del espectro de frecuencia

Se muestra una gráfica del espectro de frecuencias electromagnéticas en la que se indican las aplicaciones más importantes de cada uno de los intervalos de frecuencia. Se observan algunos usos más frecuentes de cada una de las bandas.

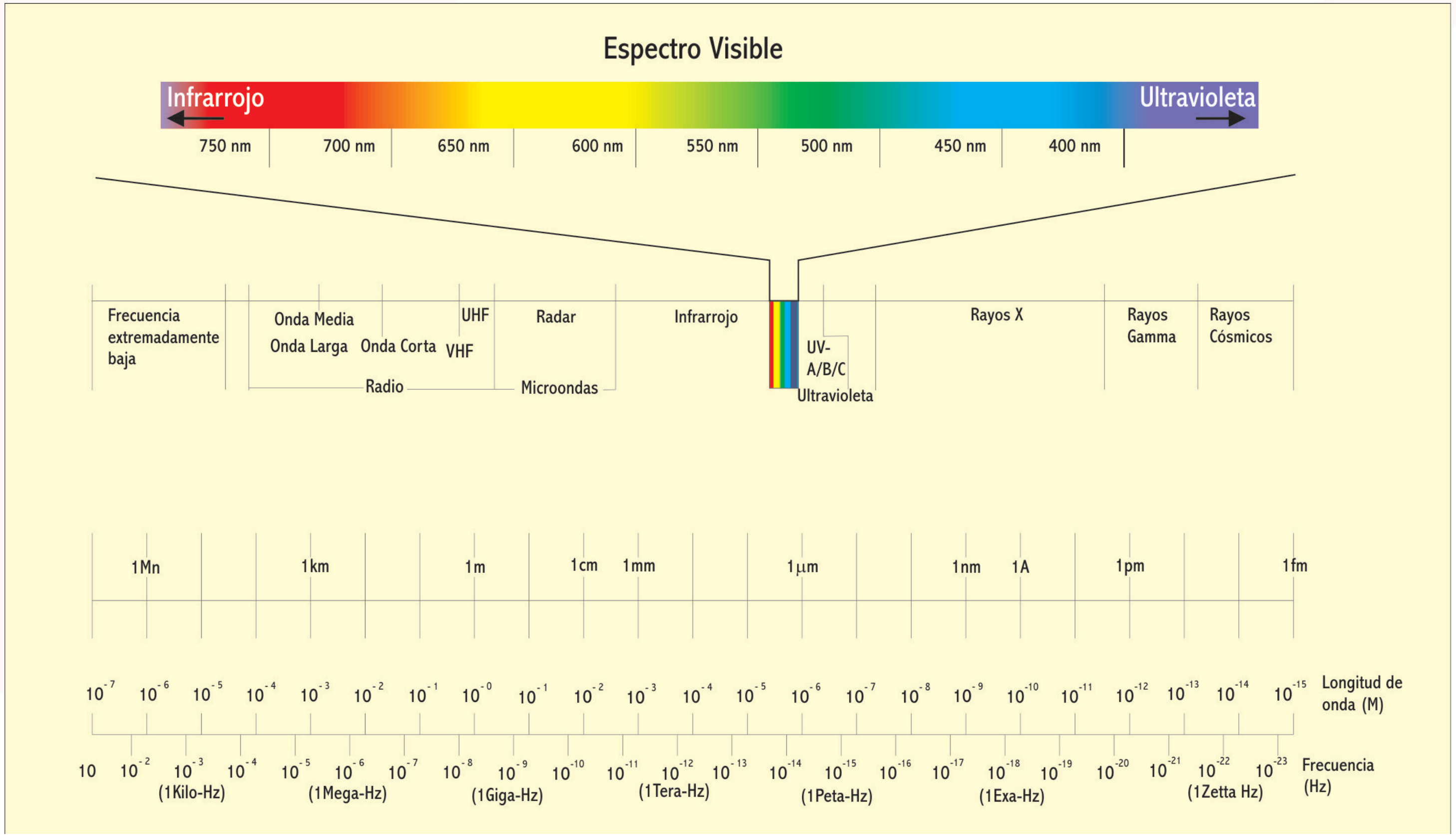
Se puede establecer una correspondencia entre los intervalos de frecuencia y los medios de comunicaciones que lo utilizan. En el capítulo 7 se estudiarán las características particulares de los medios de comunicaciones más importantes y su asociación con el espectro electromagnético.

Transmisión de señales

2.6.2.3 Bandas y gráfica del espectro de frecuencia

Bandas según usos más frecuentes	Algunas Aplicaciones	Longitud de Onda metros	Frecuencia Hertz
Muy Baja Frecuencia	Audio - Medicina - Ultrasonidos	>10 km	<30 kHz
Onda larga	Comunicaciones submarinas	<10 km	>30 kHz
Onda Media	Radio AM	<650 m	>650 kHz
Onda Corta	Radio Onda Corta	<180 m	>1.7 Mhz
Muy Alta Frecuencia	Radio FM	<10 m	>30 Mhz
Ultra Alta Frecuencia	Radar - Televisión	<1 m	>300 Mhz
Microondas	Radar	<30 cm	>1.0 GHZ
Infrarrojo Cercano	Telefonía Celular - Microondas - Satélites	< 1mm	>300 Ghz
Infrarrojo	Visores Nocturnos	<2.5 μm	>120 Thz
Luz Visible	Visión del ser humano	<780 nm	>384 Thz
Ultravioleta	Ciencias Forenses - Control de plagas	<200 nm	>1.5 Phz
Rayos X	Medicina	<10 nm	>30.0 Phz
Rayos Gamma	Energía Nuclear	<10 pm	>30.0 Ehz

2.6.2.3 Bandas y gráfica del espectro de frecuencia



2.6.3 La transmisión en medios conductores

2.6.3.1 Características de la propagación en medios conductores

Además de poder transmitirse por medio de ondas electromagnéticas, las señales se pueden transmitir a través de medios conductores, utilizando cables de cobre con distintas geometrías y estructuras de construcción, tales como cables de cobre trenzados, coaxiales, UTP y otros.

Una característica fundamental de conductor es que es una magnitud relacionada con la capacidad que tiene de conducir la corriente eléctrica. Ésta se denomina conductancia y la representaremos con la letra G. Cuando estamos en presencia de un medio conductor podemos afirmar que esa magnitud es distinta de cero, es decir: $G \neq 0$

2.6.3.1 Características de la propagación en medios conductores

En casos ideales límites podríamos decir que si un material no conduce la corriente eléctrica tendrá un valor $G = 0$, *y si fuera superconductor su valor sería* $G \to \infty$.

La conductancia es la inversa de la resistencia eléctrica y se mide en Siemens [S]. $GR=1$

Dimensionalmente será, $[S]=1$

Transmisión de señales

2.6.3.1 Características de la propagación en medios conductores

Para el caso de los cables de cobre, uno de los medios de comunicaciones aun hoy muy utilizado, la atenuación es función de las características de cada cable y de la frecuencia de la señal transmitida. Analicemos por qué las características de cada cable inciden en la atenuación de la señal. Para ello recordaremos la expresión 2-00 de la ley de Ohm compleja.

$$V = I \cdot Z$$

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Donde:

$Z = R + j X_L - X_C$

R = resistencia óhmica $[\Omega]$.

ρ = resistividad del metal $[\Omega\ m]$.

l = longitud del cable entre extremos $[m]$.

S = sección del conductor $[m^2]$.

2.6.3.2 Efecto pelicular

Otro aspecto que hay que tener en cuenta como factor que aumenta la atenuación es la frecuencia, que además de estar incluida como elemento en la expresión de la impedancia también actúa a causa del denominado efecto pelicular.

Estas corrientes se denominan corrientes de **Foucault.** Los valores de estas así generadas son mayores, cuanto mayor es la rapidez con que varía el campo magnético respecto del tiempo (frecuencia de variación).

Transmisión de señales

2.6.3.2 Efecto pelicular

El efecto pelicular permite definir una variable práctica denominada profundidad de penetración:

Es la distancia *d,* medida desde el borde de un conductor cilíndrico en dirección a su eje longitudinal, hasta la cual penetrará la corriente de una frecuencia f que circule por ese conductor.

Aceptando algunas simplificaciones, puede demostrarse que la profundidad de penetración es:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \tau \ \ f}}$$

Donde:

δ = profundidad de penetración *[metro]*.

σ = conductividad eléctrica del metal *[S m⁻¹]*

μ = permeabilidad magnética *[Henry m⁻¹]*

f = frecuencia *[Hertz]*

Transmisión de señales

2.6.3.2 Efecto pelicular

Como se puede apreciar, a la frecuencia de *1 MHz* la sección útil del conductor se reduce fuertemente. Como conclusiones podemos sostener que:

- La atenuación será función de la resistencia del conductor.
- A enlaces más largos, mayor atenuación.
- Una forma de disminuir la atenuación es aumentar el diámetro del conductor.
- A mayor frecuencia de la señal que será transmitida a través de conductor, mayor será la atenuación.
- Los fenómenos de atenuación requieren un tratamiento en las redes de comunicaciones que consiste en la instalación de amplificadores.

Transmisión de señales

2.6.3.2 Efecto pelicular

Este problema es típico de las transmisiones de banda ancha utilizando el par telefónico. Cuando se quieren alcanzar velocidades altas, si el conductor no tiene el diámetro adecuado, el efecto de penetración o pelicular afecta la transmisión.

En los casos de cables de cobre, de uso típicos en los pares de abonados utilizados actualmente en los servicios de banda ancha residenciales, se puede definir una constante k de manera que contenga todos los elementos analizados. De esta manera, es posible calcular la atenuación (pérdida) en dB de un cable de cobre mediante la expresión:

$$Perd\ (dB) = \alpha\sqrt{f}\ dB$$

Donde
f = frecuencia.
α = constante especifica para cada cable (geometría y características).

2.7 Ancho de banda

2.7.1 Definición de ancho de banda

El concepto de ancho de banda es uno de los más importantes en el campo de las telecomunicaciones. Denominaremos ancho de banda de una señal a lo siguiente:

Intervalo de frecuencias para las cuales la distorsión lineal y la atenuación permanecen bajo límites determinados y constantes. Los valores que se toman como valores de referencia pueden ser arbitrarios.

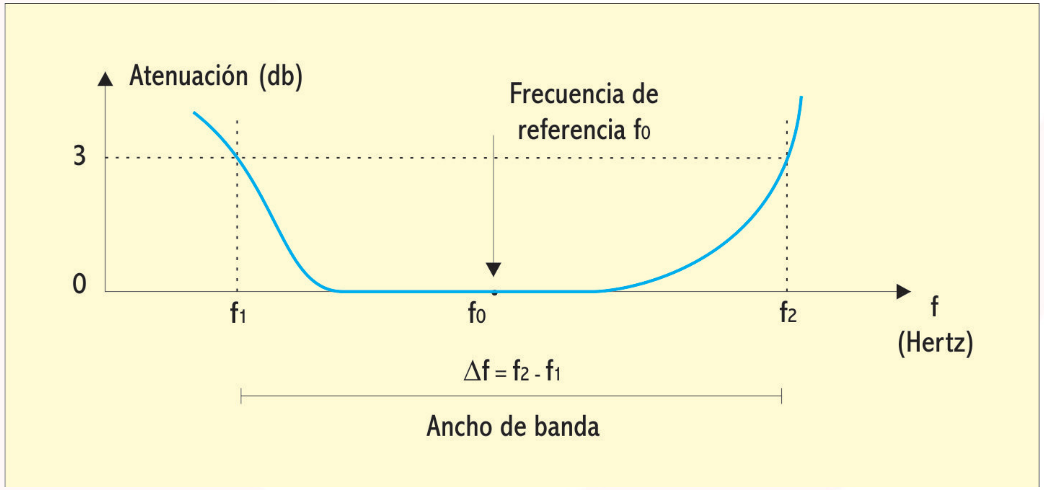
$$\Delta f = f_2 - f_1$$

Si bien los límites pueden ser arbitrarios, en la generalidad de los casos se definen para una atenuación de *3 dB* con respecto al valor que tiene la señal a la frecuencia de referencia, según se observa en la figura

Transmisión de señales

2.7.1 Definición de ancho de banda

Atenuación de una señal en función de su frecuencia.



Los valores de *f1 y f2* se denominan límites inferior y superior del ancho de banda de una señal. Para ellos la atenuación de la señal es de –3 dB respecto al valor *f0* de referencia, que se encuentra a 0 dB.

Transmisión de señales

2.7.2 Concepto de ancho de banda

La limitación más importante para el funcionamiento de un sistema de comunicaciones es precisamente el ancho de banda del canal. El ancho de banda está directamente relacionado con la cantidad de información que puede pasar a través del intervalo de frecuencias que él define.

Definíamos ahora dos valores *T, tal que* $T_1 \gg T_1^{'}$

Resultará, $f_1 \ll f_1^{'}$

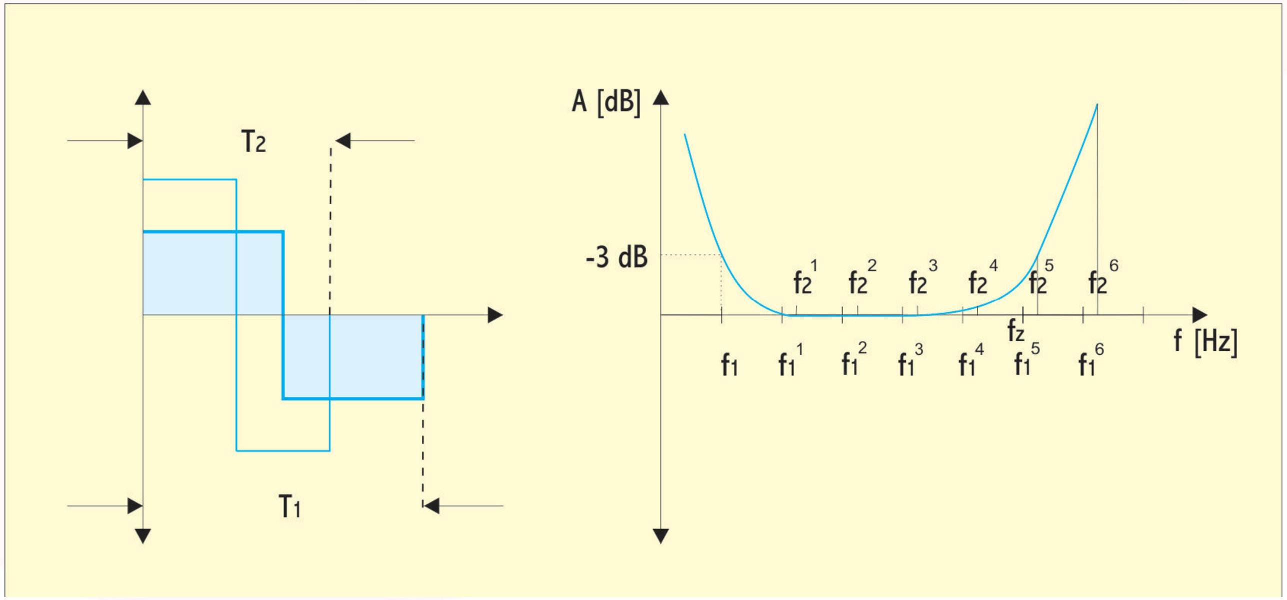
2.7.2 Concepto de ancho de banda

Representemos en un grafico las frecuencias de las armónicas de un caso y del otro. La siguiente figura nos muestra qué armónicas, que antes entraban dentro del ancho de banda, cuando se procede a aumentar la cantidad de información ahora están fuera de él. Luego, ellas estarán fuertemente atenuadas por el canal de comunicaciones y su aporte a reconstituir la señal será despreciable.

Transmisión de señales

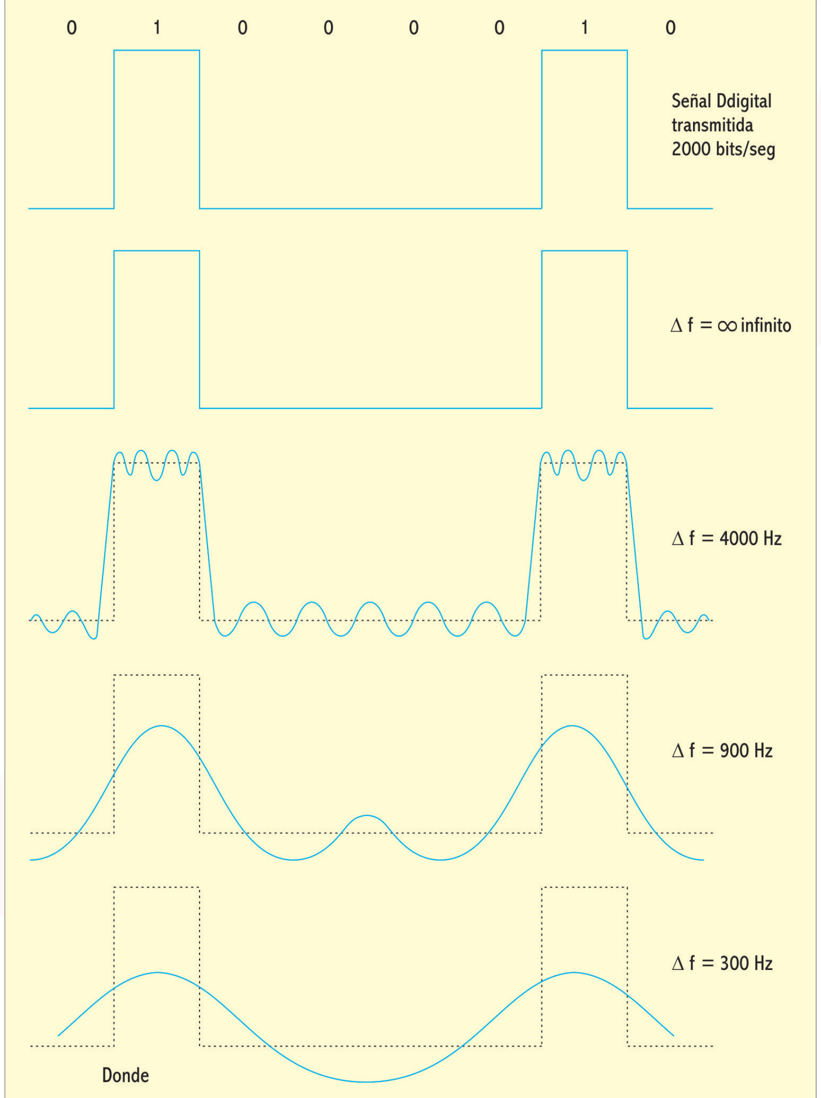
2.7.2 Concepto de ancho de banda

Distribución de las armónicas de una señal dentro del ancho de banda del canal



Transmisión de señales

2.7.2 Concepto de ancho de banda



Donde Δ f es el ancho de banda del canal de comunicaciones

2.7.2 Concepto de ancho de banda

Estos filtros tienen la característica de dejar pasar las frecuencias comprendidas dentro de una banda, cuyos límites están dados, precisamente, por los valores más alto y más bajo de los indicados arriba.

Si el ancho de banda fuese teóricamente infinito, es decir,

$$f_1 = 0 \text{ y } f_2 = \infty$$

entonces todas las armónicas de la señal pasarían sin atenuación y, por lo tanto, la señal no sufriría deformación alguna. Sin embargo, en la práctica esto no sucede y a medida que el ancho de banda se reduce, mayor es la deformación de la señal.

Transmisión de señales

2.7.3 Capacidad de un canal de comunicaciones

El concepto de capacidad de un canal en un sistema de telecomunicaciones está vinculado con la cantidad de información generada en la fuente; el sistema puede transmitir hacia el sumidero por unidad de tiempo con una tasa de errores razonable. Precisamente, la capacidad de un canal de un sistema de telecomunicaciones está dada por el ancho de banda disponible.

Al ser el ancho de banda un intervalo de frecuencias, su unidad de medida será*1/seg*. Si los canales son analógicos se mide en hertz o sus múltiplos (kHz, kilohertz; MHz, Megahertz; etc.), y cuando son digitales, en bps o sus múltiplos (Kbps, kilobit/seg; Mbps, Megabit/seg, etc.).

Transmisión de señales

2.7.3 Capacidad de un canal de comunicaciones

Ancho de banda requerido por distintos servicios de comunicaciones

Nº	Formas de información	Ancho de Banda [KHZ]
1	Canal telefónico de voz (par de abonado)	3,1
2	Canal de voz analógico por onda portadora	4
3	Música de alta fidelidad (HI FI)	16
4	Disco compacto (CD)	22
5	Canal de voz digital	64 / 65
6	Canal de radio FM	200
7	Canal de televisión (CATV)	6
8	Teleconferencia (a través de redes digitales ISDN)	128 / 256

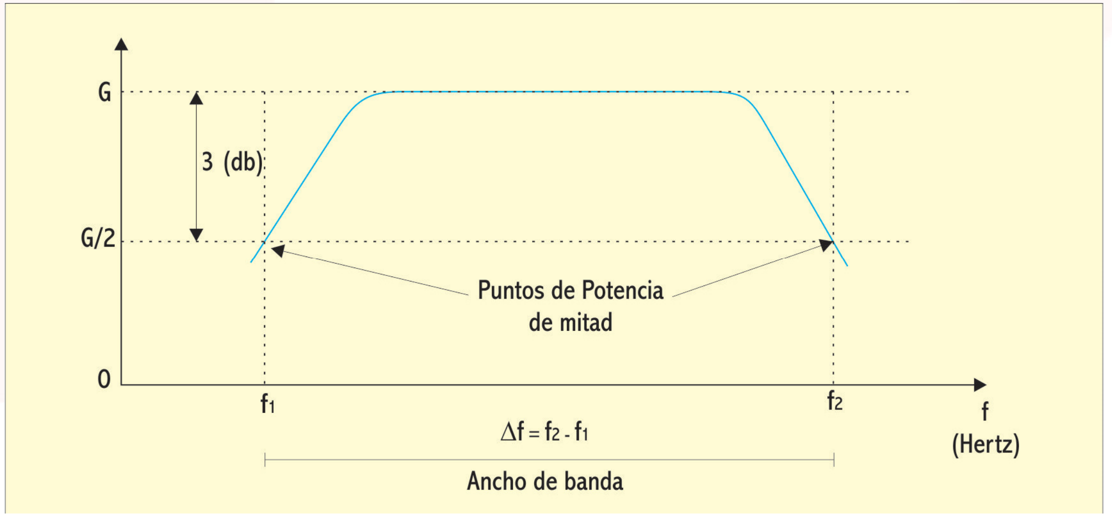
2.7.4 Curva de ganancia de un amplificador

Cuando se estudia el ancho de banda resulta muy conveniente relacionar siempre este concepto con la curva de ganancia de un amplificador de audiofrecuencia.

La ganancia de estos amplificadores en función de la frecuencia nunca es absolutamente constante, sino que presenta diferentes valores según el intervalo que se considere. Este hecho siempre se trata de corregir, pues una mayor ganancia, por ejemplo, en las frecuencias bajas, restará calidad a la señal porque la forma de onda en la salida será diferente de la que tenía cuando fue generada.

2.7.4 Curva de ganancia de un amplificador

Precisamente, un amplificador es de mayor calidad que otro cuando, a igual ancho de banda, la curva de respuesta en frecuencia tiene características más planas. La figura 2-32 muestra la curva típica de ganancia de un amplificador en función de la frecuencia, que recibe el nombre particular de respuesta en frecuencia.



Transmisión de señales

2.8 Señales en banda base

2.8.1 Definición

Se denominan señales en banda base a: *aquellas señales que, generadas por una fuente de información, no sufren ningún proceso de modulación o tratamiento a su salida.*

Estas señales se pueden codificar de distintas formas, de allí el nacimiento de los denominados códigos en banda base o códigos de línea. Existen diferentes tipos de códigos en banda base, los que son utilizados según las características de la transmisión que se quiera realizar.

Transmisión de señales

2.8.2 Señales unipolares, polares y bipolares

2.8.2.1 Señal unipolar

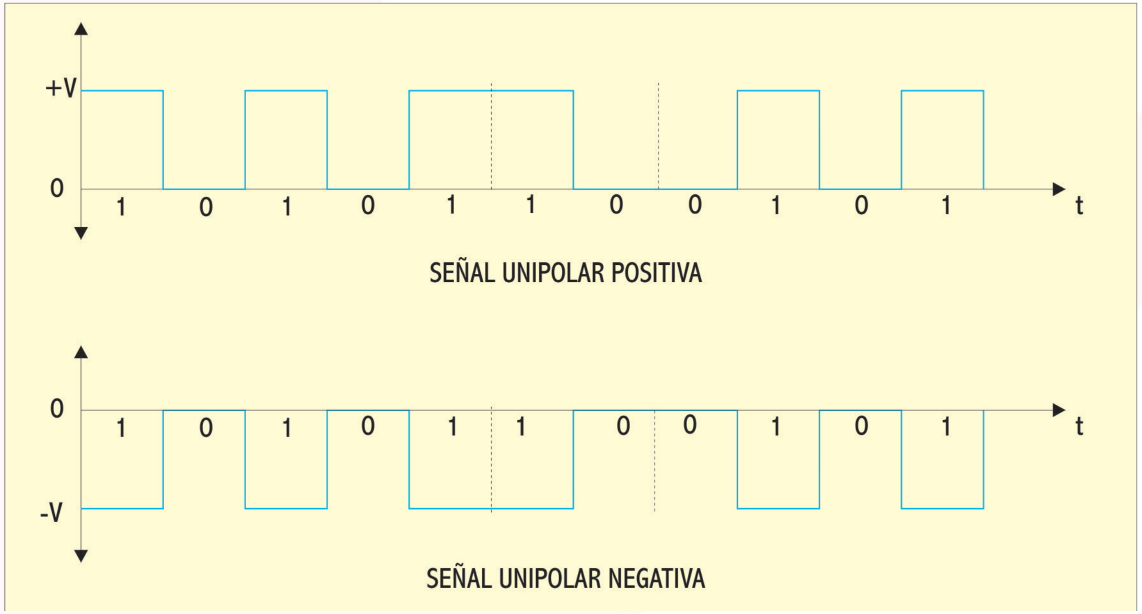
Se dice que la señal es unipolar cuando el valor que representa a un determinado dígito binario, sea éste un cero o un uno, toma siempre la misma polaridad, positiva o negativa, mientras que el otro dígito toma el valor cero. La forma típica de esta señal se puede observar en la siguiente figura.

Dependiendo de la polaridad, se tendrán señales unipolares positivas o negativas. Esta condición de línea es equivalente a representar un 1 o un 0 por encendido o el apagado de una luz.

Transmisión de señales

2.8.2.1 Señal unipolar

Señales unipolares positiva y negativa.



Transmisión de señales

2.8.2.2 Señal polar

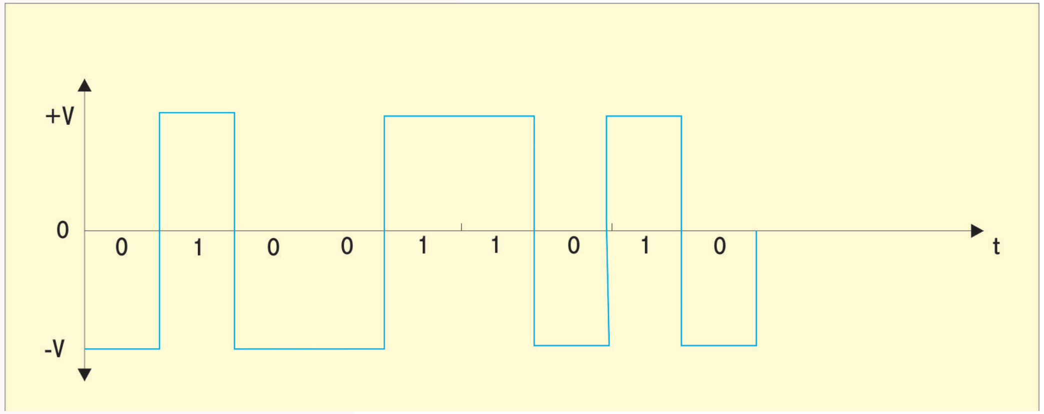
Se dice que la señal es polar cuando los valores que representan a los dígitos binarios *1 y 0 se originan como consecuencia de la conmutación de la línea entre un valor positivo de tensión V_1 y el valor negativo de tensión $-V_1$.*

La forma típica de esta señal se puede observar a continuación.

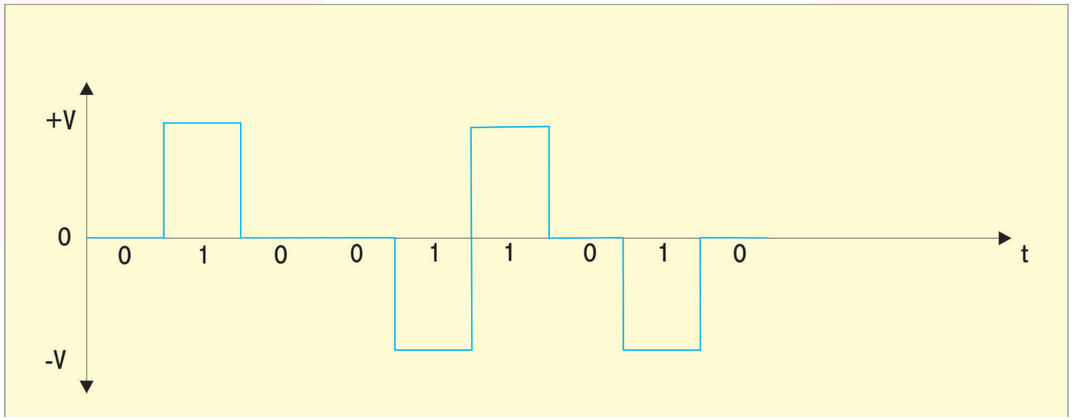
De esta forma, un valor binario cualquiera tendrá siempre una polaridad determinada, mientras que el otro binario presentará polaridad inversa. La señal en la línea nunca toma el valor cero.

Transmisión de señales

2.8.2.2 Señal polar



2.8.2.3 Señal bipolar



Transmisión de señales

2.8.3 Transmisión en banda base

2.8.3.1 Características generales de las transmisiones en banda base

El uso de transmisiones en banda base suele ser frecuente por el bajo costo de los equipos usados, además de permitir extender el alcance de las interfaces digitales.

La utilización de códigos de línea como los que analizaremos a continuación tienen como misión fundamental solucionar los siguientes aspectos técnicos inherentes a las transmisiones en banda base:

- Eliminar o disminuir la componente continua de la señal.
- Transmitir una señal de sincronismo desde el transmisor hacia el receptor.
- Permitir detectar la presencia de señal en la línea.

Transmisión de señales

2.8.3.2 Características particulares de las transmisiones en banda base

La señal en banda base más simple para la transmisión de la información del usuario es la unipolar NRZ (*non return to zero), que reconoce la siguiente regla:*

Se dice que la señal no retorna a cero cuando durante todo el ancho de pulso la tensión permanece constante y no toma el valor cero.

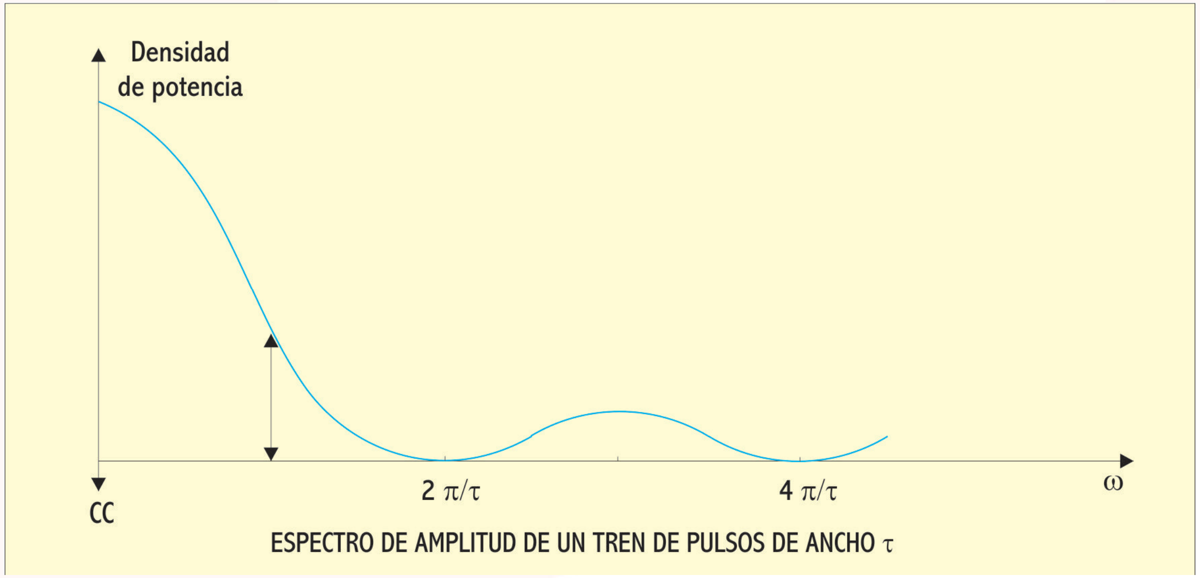
La transmisión de un (uno) 1 corresponde a la emisión de un pulso. La transmisión de un (cero) 0 corresponde a la no emisión de un pulso.

Se dice que es unipolar, tal como se indicó en el punto 2.8.1.1, porque el 1 toma siempre la misma polaridad (positiva o negativa), mientras que el 0 no tiene polaridad. A este tipo de señal se la conoce también como señal ON/OFF.

Apoyo en la web

2.8.3.2 Características particulares de las transmisiones en banda base

Espectro de amplitud de un tren de pulsos.



Transmisión de señales

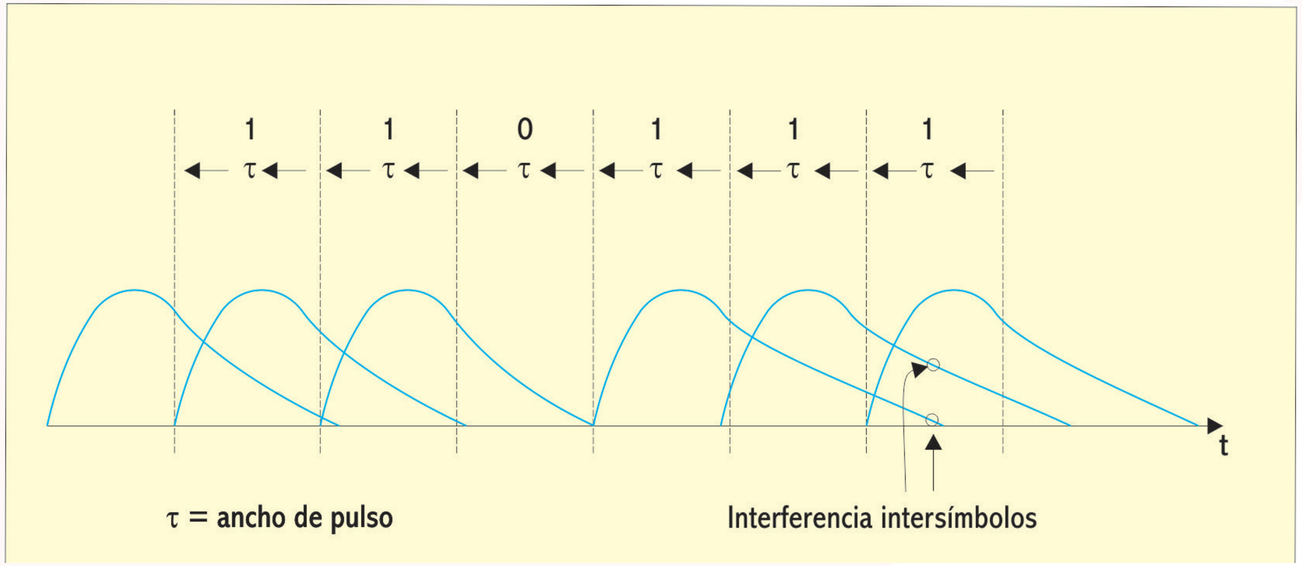
2.8.3.2 Características particulares de las transmisiones en banda base

Cuando la señal ON/OFF se analiza en el dominio del tiempo, se observa que no tiene regularmente la cantidad suficiente de transiciones como para excitar un circuito recuperador de la señal de reloj.

Los métodos de codificación en banda base deben considerarse como una disposición diferente de la señal ON/OFF para poder adaptarla a las condiciones de la línea de transmisión.

Actuando sobre la forma de la señal eléctrica que representa los bits, se consigue alterar convenientemente el espectro de potencia de la señal transmitida.

2.8.3.2 Características particulares de las transmisiones en banda base



Transmisión de señales

2.8.4. Clasificación de las señales en banda base

Las señales en banda base pueden clasificarse de diferentes formas:

2.8.4.1 De acuerdo con el ancho de pulso

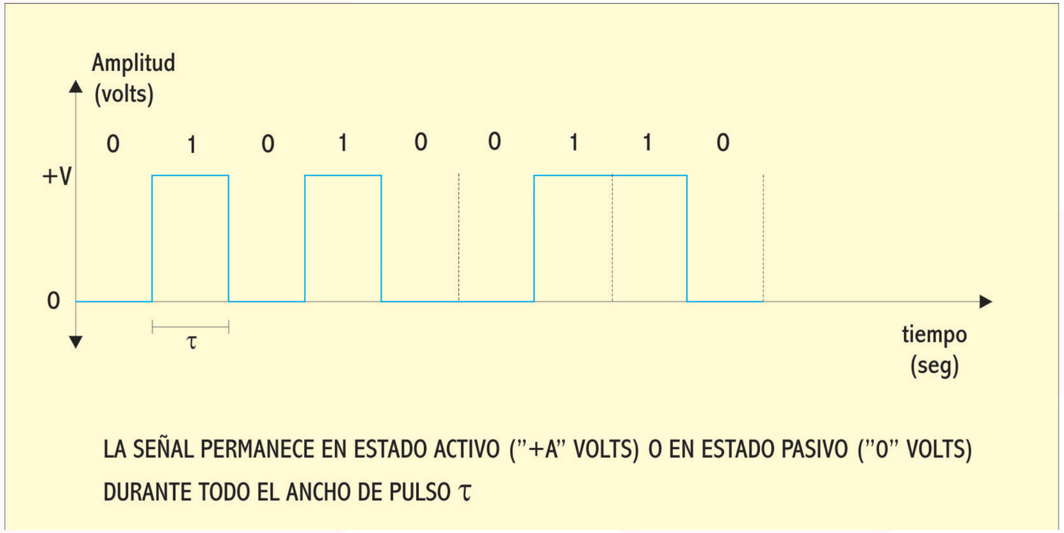
- Cuando los bits están representados por pulsos que ocupan la totalidad del intervalo significativo ancho de pulso, tenemos la familia denominada NRZ (no retorno a cero).

  Por otra parte, se entiende como intervalo significativo de una señal, al tiempo existente entre dos instantes significativos de ella en la línea, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

- Cuando los bits se representan por pulsos que ocupan una parte, en general la mitad del intervalo significativo, tenemos las señales denominadas RZ (retorno a cero).

Transmisión de señales

2.8.4.1 De acuerdo con el ancho de pulso



Transmisión de señales

2.8.4.2 Según la polaridad

Como se explicó en el punto 2.8.1, las señales digitales pueden tomar diferentes valores de polaridad, por lo que se las puede clasificar en:

Unipolares

Se denomina codificación unipolar a aquellos códigos cuyas señales tienen dos niveles, uno de los cuales es cero.

Se pueden presentar las combinaciones que se muestran en la siguiente tabla.

0 Y Nivel +	(Unipolar positiva)
= Y Nivel -	(Unipolar negativa)

Transmisión de señales

2.8.4.2. Según la polaridad

Polar

Son códigos, cuyas señales tienen dos niveles de diferente polaridad, que son: *[+] y [–].*

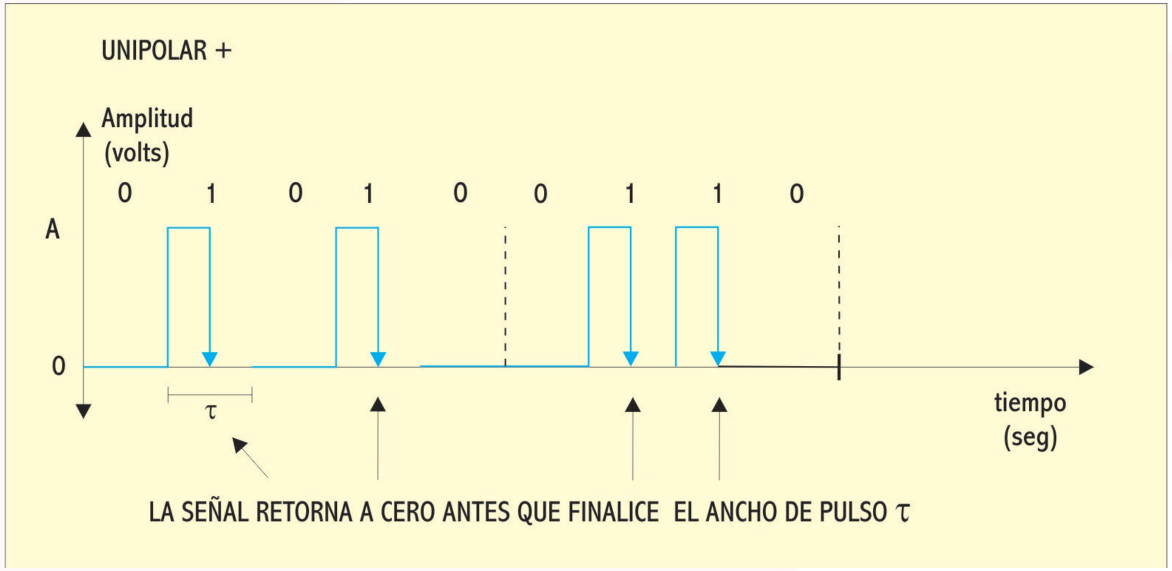
Se denomina codificación polar a aquella que utiliza el nivel cero para representar el cero *[0] lógico y polaridad alternativa [+] y [–], al uno [1] lógico.*

Bipolar

Se denomina codificación bipolar a aquellos códigos cuyas señales tienen tres niveles de amplitud: *[+], [0] y [–].*

Transmisión de señales

2.8.4.2 Según la polaridad - Señal RZ



Transmisión de señales

2.8.5 Códigos usados para señales en banda base

2.8.5.1 Conceptos generales

Las señales en banda base se codifican mediante la representación de los símbolos digitales, ceros o unos, en señales eléctricas equivalentes que siguen reglas prácticas determinadas.

Mediante el empleo de las señales estudiadas en el punto anterior se construyen los diferentes códigos usados para señales en banda base.

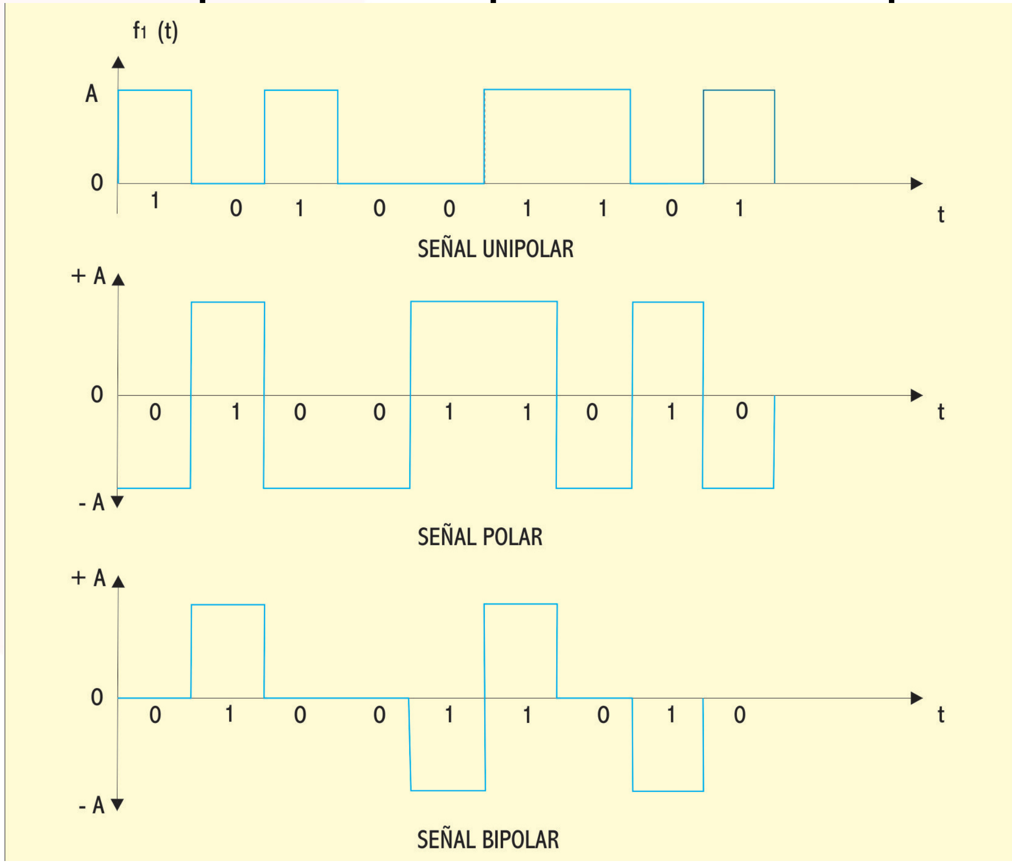
Los códigos más usuales son señalados e:

- ⇒ Unipolar sin retorno a cero (NRZ).
- ⇒ Unipolar con retorno a cero (RZ).
- ⇒ Polar sin retorno a cero (NRZ).
- ⇒ Polar con retorno a cero (RZ).
- ⇒ Bipolar con retorno a cero (RZ).
- ⇒ Bipolar sin retorno a cero (NRZ).
- ⇒ Codificación diferencial.
- ⇒ Manchester.
- ⇒ Manchester Diferencial.
- ⇒ MILLER.
- ⇒ HDB - 3.
- ⇒ Código 4B3T (4 binario - 3 ternario).

Transmisión de señales

2.8.5.2 Sin retorno a cero (NRZ)

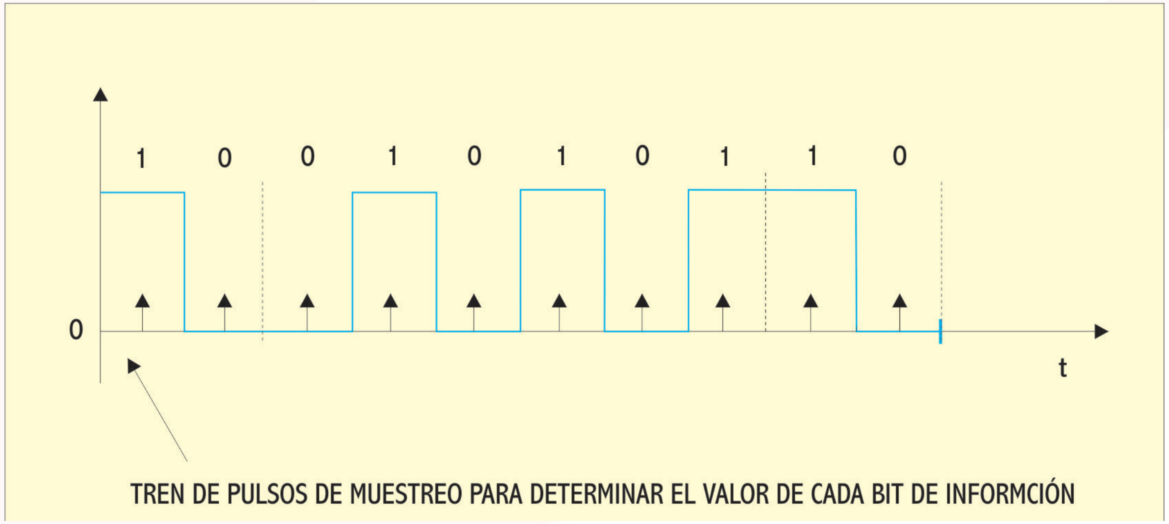
En la figura a continuación se puede observar una señal unipolar en banda base del tipo más simple usado en la práctica.



Transmisión de señales

2.8.5.3 Polar sin retorno a cero (NRZ)

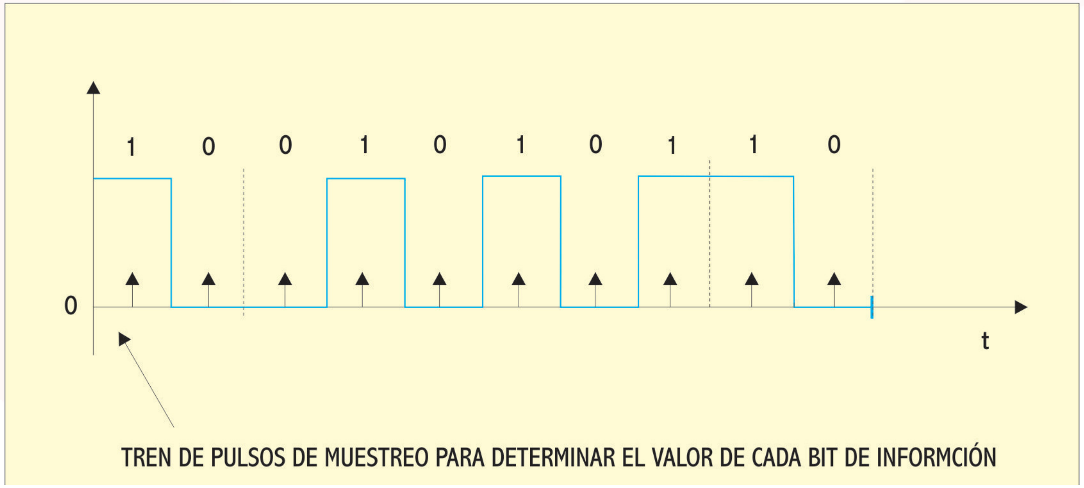
En la figura se puede observar una señal polar sin retorno a cero. Esta señal está graficada asignando polaridad positiva a los unos y negativa a los ceros.



Transmisión de señales

2.8.5.3 Polar sin retorno a cero (NRZ)

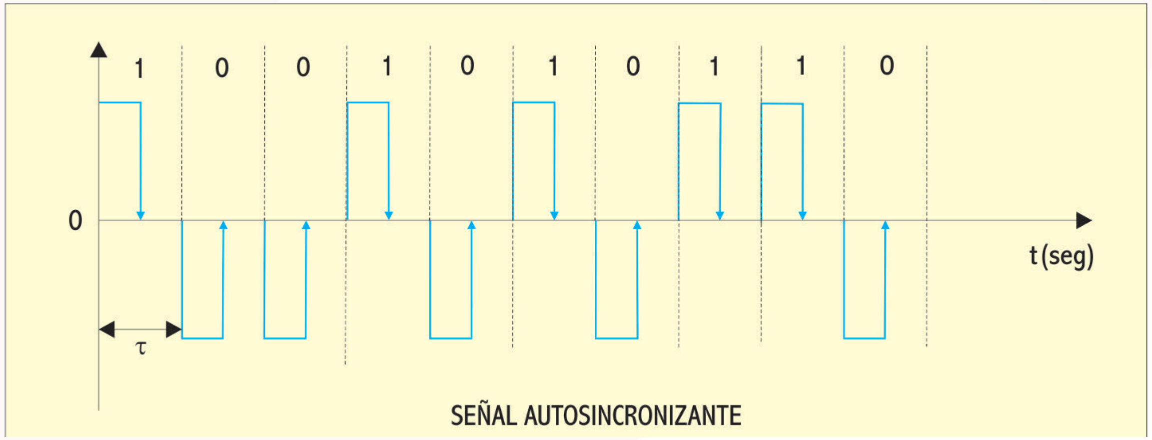
Una corriente continua positiva y otra negativa determinan el estado de cada bit, durante todo el intervalo significativo. En este tipo de señales, si bien se pierde el sincronismo, se tiene la ventaja de que se requiere menor ancho de banda, dado que los pulsos son más anchos que los correspondientes a señales polares con retorno a cero.



Transmisión de señales

2.8.5.4 Polar con retorno a cero (RZ)

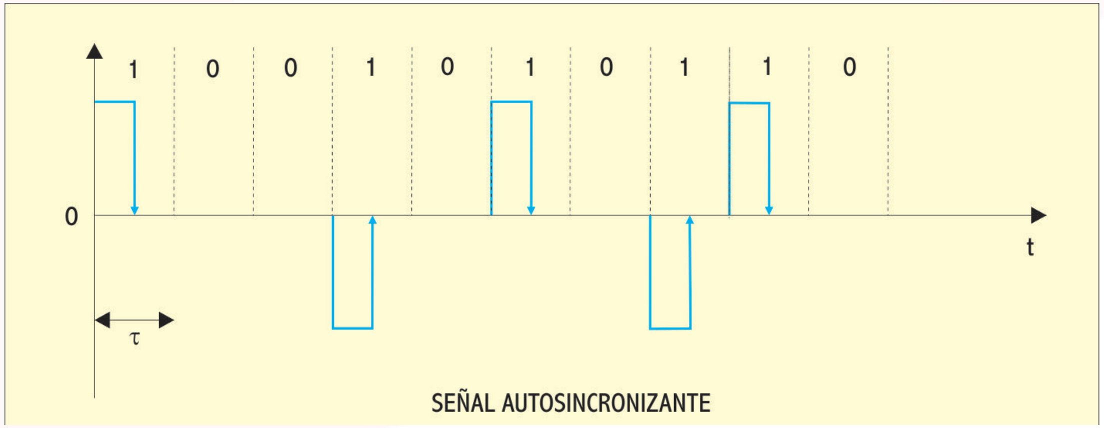
Existirá una corriente positiva breve para los bits que lleven un *1* de información y posteriormente la corriente retornará a cero, durante el tiempo que corresponde a ese bit.



Transmisión de señales

2.8.5.5 Bipolar con retorno a cero

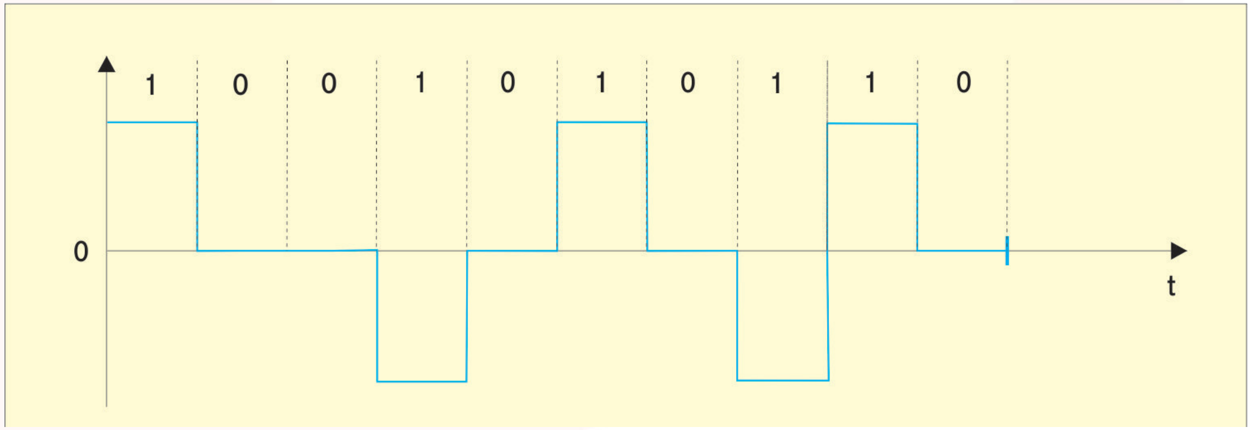
En este tipo de señales bipolares se utiliza la bipolaridad solamente en forma alternada y para cuando se transmiten unos. Asimismo, se disminuye el ancho de los pulsos debido al retorno a cero de la señal antes de finalizado el intervalo significativo.



Transmisión de señales

2.8.5.6 Bipolar sin retorno a cero

Este tipo de código, también denominado Código AMI, presenta la ventaja de utilizar pulsos de mayor duración que los bipolares con retorno a cero, en consecuencia, el requerimiento de ancho de banda es menor.



Transmisión de señales

2.8.5.7 Codificación diferencial

En este tipo de codificación tienen lugar dos etapas:

- La primera para formar una señal diferencial a ser transmitida a través del medio físico.
- La segunda, posterior a la primera, ocurre en el receptor para volver a armar la señal, que es recuperada de la anterior, según se puede observar en la figura.

El procedimiento es el siguiente:

- Una señal original polar, del tipo NRZ, debe ser muestreada.
- En el instante del muestreo en que se detecta un *1, se produce un cambio de estado o transición.*
- Cuando lo que se detecta es un *0, significa una no transición.*
- Para recuperar la señal original se debe efectuar un nuevo muestreo de la onda recibida, comparándose la polaridad de muestras adyacentes.
- Si ha habido una transición, se está en presencia de un *1; caso contrario, corresponderá a un 0.*
- Por ejemplo, entre los estados *t3 y t4, no existe transición alguna, en consecuencia, corresponderá recibir un 0.*

Transmisión de señales

2.8.5.8 Código Manchester

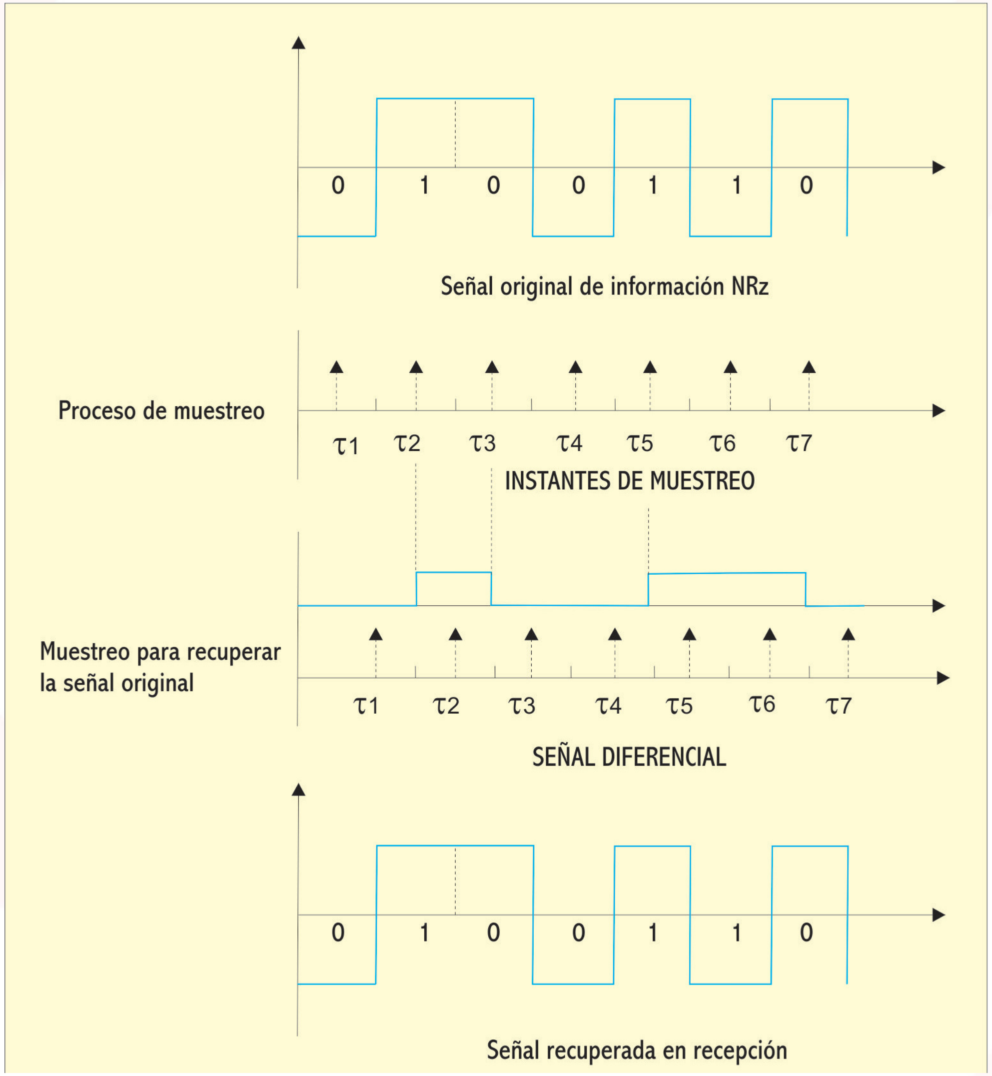
El bit uno se representa por una transición positiva en la mitad del intervalo significativo y un bit cero con una transición negativa en la misma ubicación.

En este tipo de codificación no se utiliza la diferencia de valor de los niveles para representar los bits, sino que se emplean las fases positivas y negativas de los pulsos, denominadas transiciones. Esta técnica posibilita una transición de por lo menos una por bit, simplifica notablemente el problema de la recuperación de la señal de reloj.

Transmisión de señales

Apoyo en la web

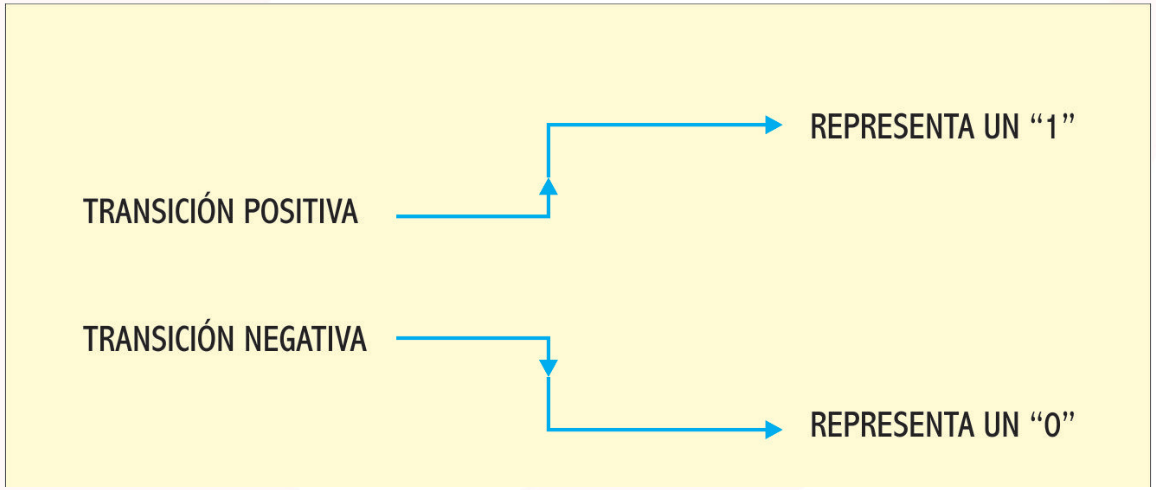
2.8.5.8 Señal Diferencial



Transmisión de señales

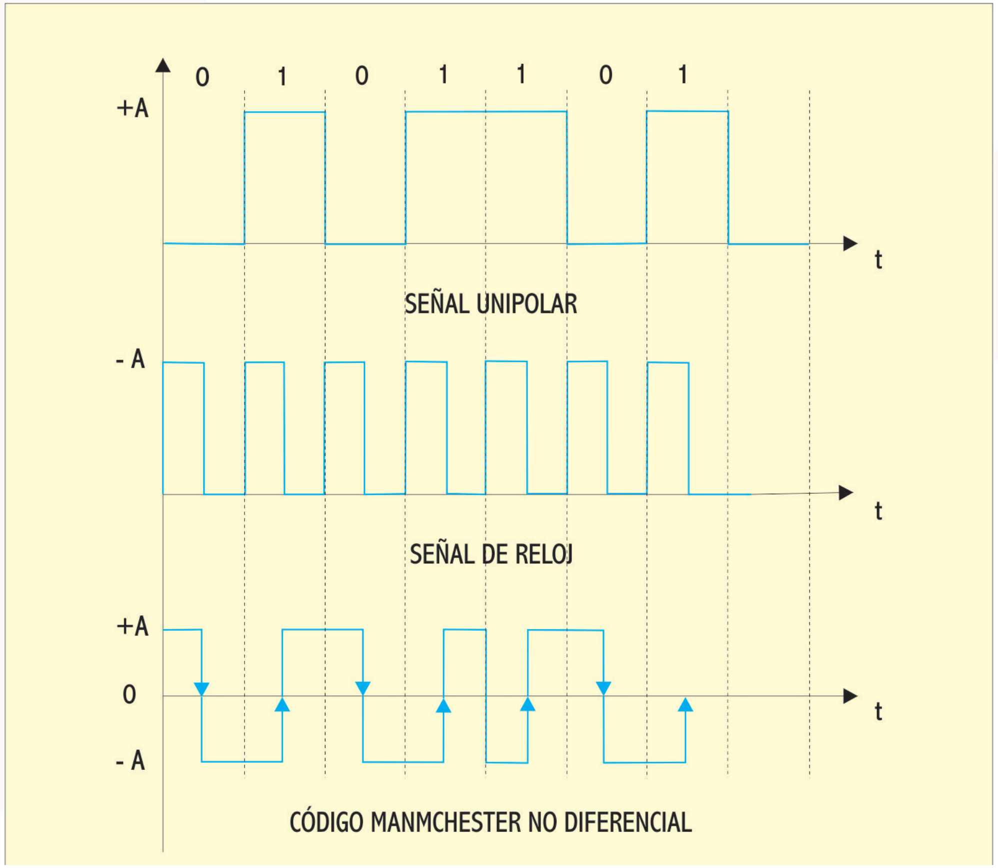
2.8.5.8 Código Manchester

Código Manchester. Representación de unos y ceros



Transmisión de señales

2.8.5.8 Código Manchester



Transmisión de señales

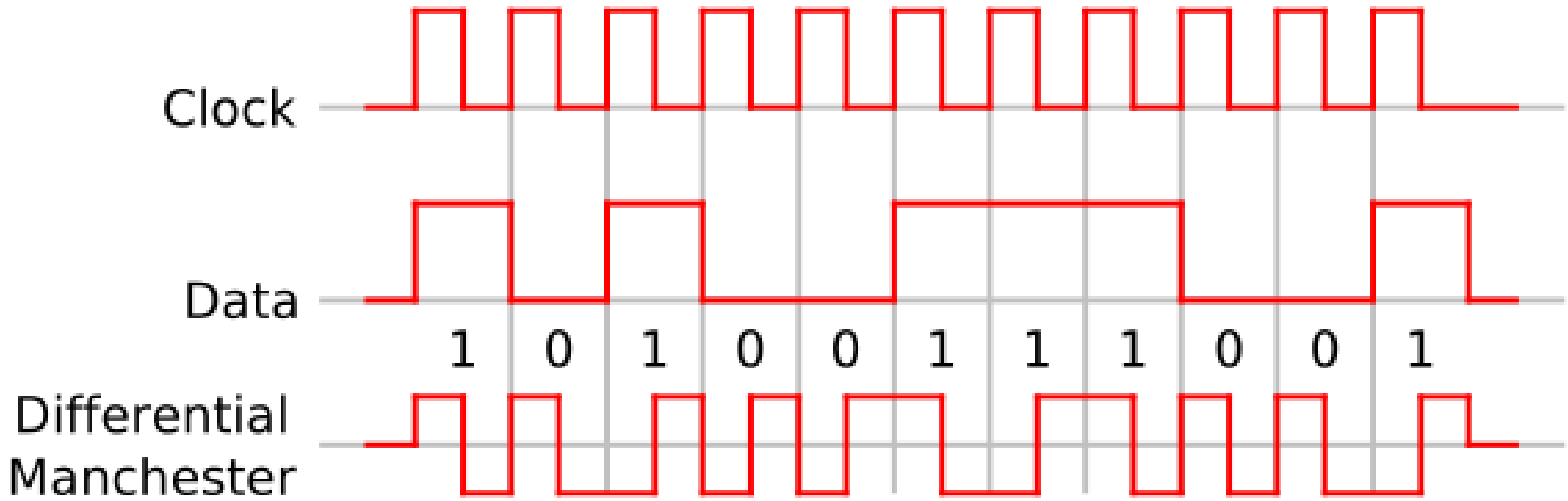
2.8.5.9 Código Manchester diferencial BIFASE

Este código se caracteriza porque para la transmisión de un cero se efectúa una transición negativa en la mitad del intervalo significativo, mientras que para el envío de un uno, no se efectúa ninguna transición en la mitad del intervalo; pero si al comienzo de él. Por otro lado, si el siguiente bit es un cero no se altera la polaridad con la que se lo representa.

Un bit '1' se indica haciendo en la primera mitad de la señal igual a la última mitad del bit anterior, es decir, sin transición al principio del bit. Un bit '0' se indica haciendo la primera mitad de la señal contraria a la última mitad del último bit, es decir, con una transición al principio del bit. En la mitad del bit hay siempre una transición

Transmisión de señales

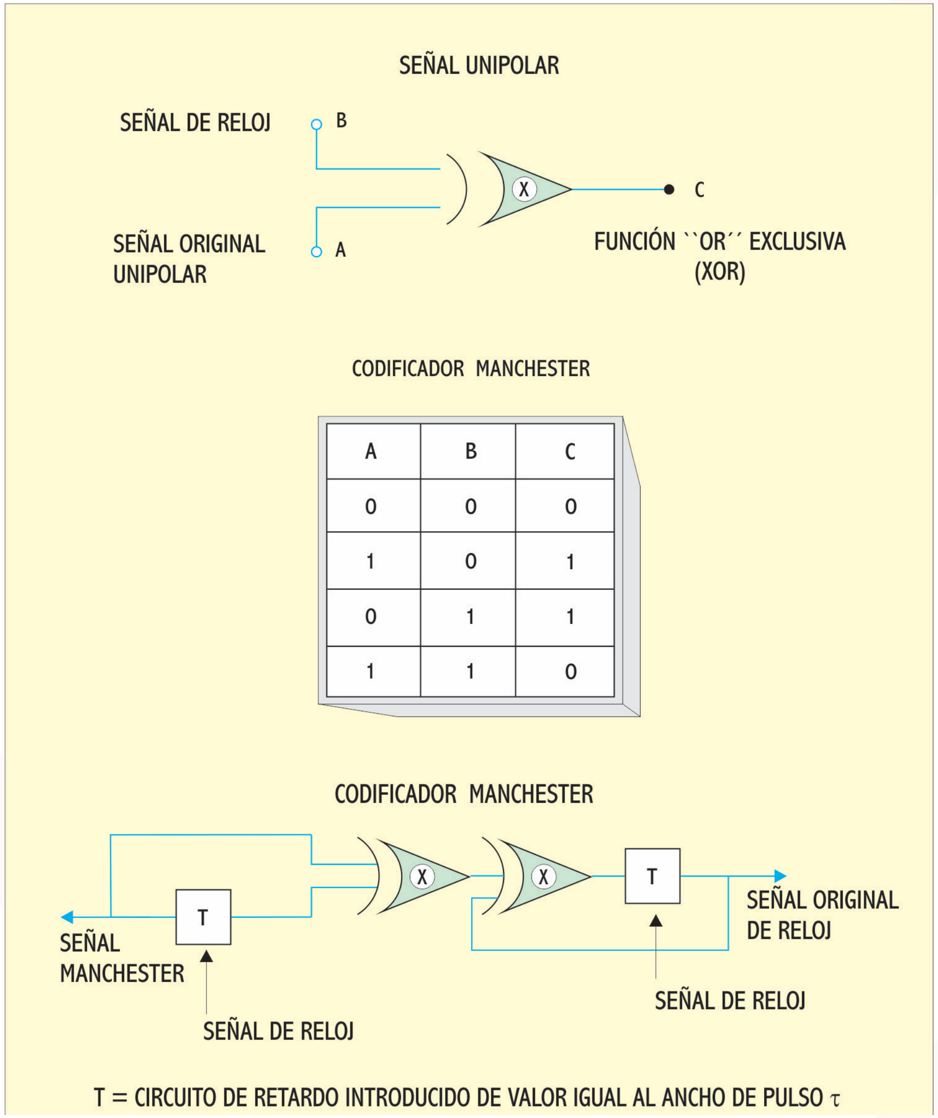
2.8.5.8 Código Manchester Diferencial



Transmisión de señales

2.8.5.10 Código MILLER

Este código para la transición de un uno emplea una transición en la mitad del intervalo significativo.

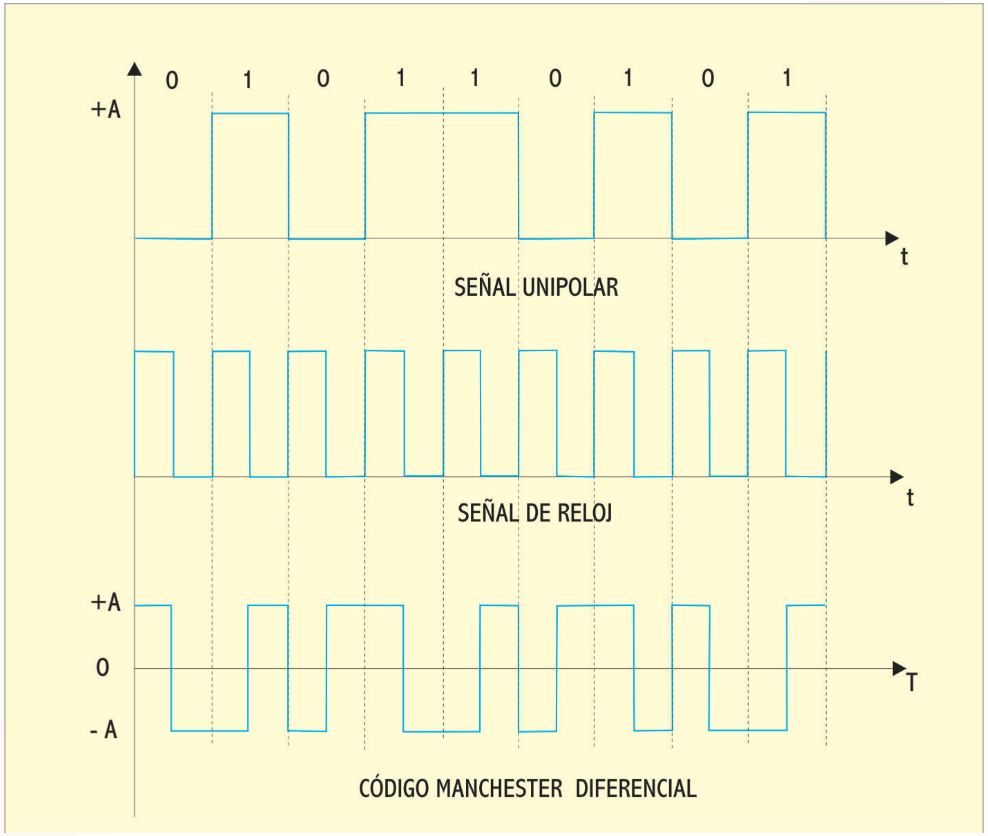


A	B	C
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Transmisión de señales

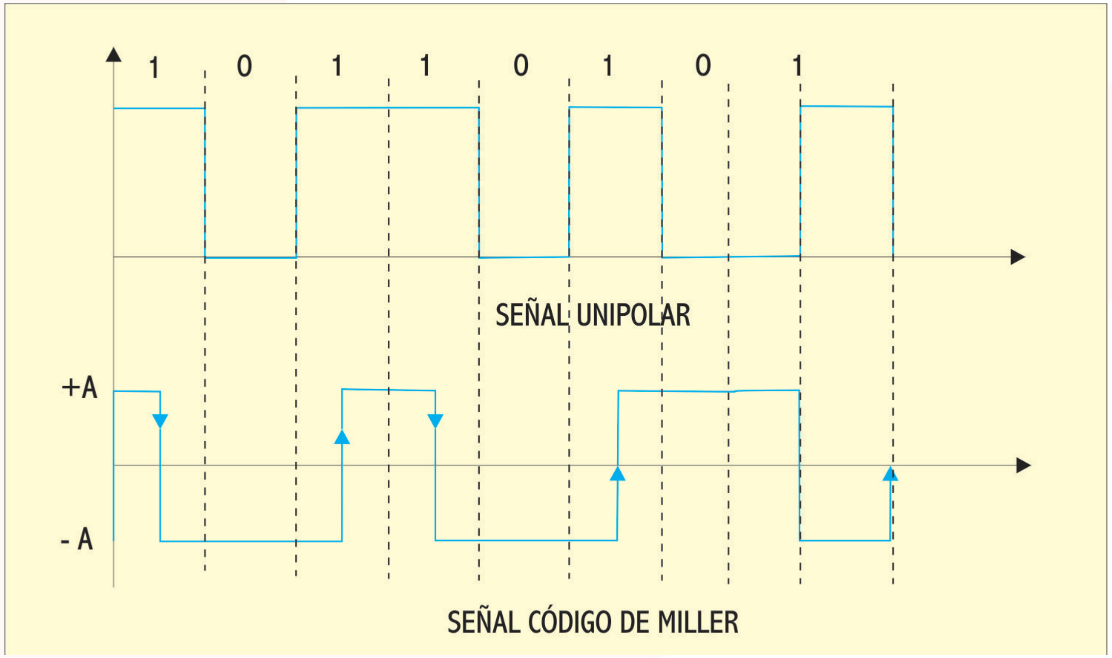
2.8.5.10 Código MILLER

Asimismo, la implementación del codificador y decodificador de Miller, conocido también como modulador por retardo de fase, resulta más sencillo que el de Manchester.



Transmisión de señales

2.8.5.10 Código MILLER - Código Miller. Diferencial bifase.



Transmisión de señales

2.8.5.11 Código HDB-3

El HDB-3 se basa en el denominado Código. Es un código bipolar sin retorno a cero, que, como se indicó en el punto 2.8.3.2, utiliza tres niveles *[+], [–] y [0] para representar la información binaria.*

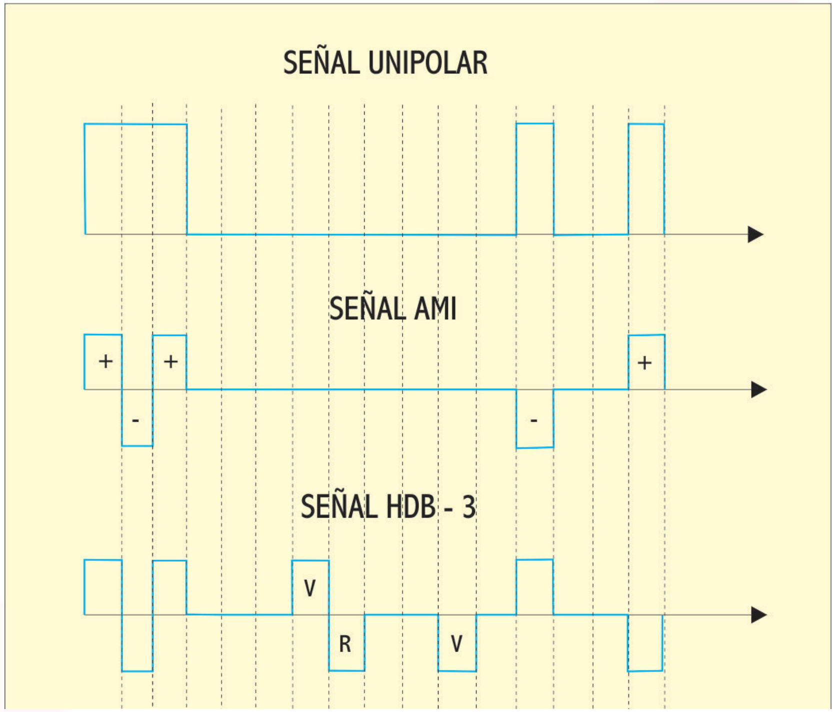
El cero se representa siempre con polaridad cero, y el uno, con polaridad alternada *[+] y [–].*

Este tipo de señal no posee componente de continua, ni bajas frecuencias, pero su inconveniente es que cuando aparece una larga secuencia de ceros se pierde la posibilidad de recuperar la señal de reloj.

Transmisión de señales

2.8.5.11 Código HDB-3

El pulso *V = 1* se denomina violación y R, que siempre tiene igual polaridad que V, se denomina pulso de relleno.



Transmisión de señales

2.8.5.12 Regla de formación del código

- Para decidir qué secuencia emplear, *[000v] o [R00v],* se debe contar la cantidad de unos que hay entre la última violación y la actual. Si ese número es par, la secuencia de reemplazo será [R00V]; si es impar, se deberá usar [000V].
- El primer pulso de violación de la serie siempre lleva la misma polaridad que el último bit uno transmitido.
- Esto sirve para que en la recepción pueda detectarse, dado que si fuera de datos debería tener polaridad inversa.
- Los pulsos de violación se transmiten con polaridad alternada entre sí.

Transmisión de señales

2.8.5.12 Regla de formación del código

Señal binaria	Señal binaria
0000	0 -1 +1
0001	- 1 +1 0
0010	- 1 0 +1
0011	0 +1 - 1
0100	+ 1 -1 0
0101	+ 1 0 - 1
0110	+1 -1 +1
0111	0 + 1 +1
1000	0 + 1 0
1001	0 0 + 1
1010	-1 +1 +1
1011	+1 0 0
1100	+ 10 +1
1101	+1 +10
1110	+1 +1 -1
1111	+1 +1 +1

Transmisión de señales

2.8.5.13 Código 4B - 3T - 4 binario - 3 ternario

Como se expresó anteriormente, el código HDB-3 es el que se emplea frecuentemente hasta *34 Mbps sobre cables de cobre.*

Para transmisión a mayor velocidad, por ejemplo *140* Mbps y sobre cable coaxial, se emplean otros códigos como el 4B - 3T - 4 binario a 3 ternario, que reduce la transmisión de 4 bits a 3 niveles, lo que reduce el ancho de banda necesario en un 25%, aproximadamente.

En la figura se especifica la relación entre las señales ternaria y binaria en este código. Se puede observar que éste es un código ternario, dado que reduce 4 bits a 3 bits, mediante el empleo de tres niveles.

Transmisión de señales

2.8.6 Códigos normalizados por el UIT-T

El UIT-T ha normalizado diferentes códigos para la transmisión digital de señales, según el medio usado, el tipo de equipo y las velocidades empleadas.

En consecuencia, en los sistemas multiplex digitales se usan los códigos de la tabla

Velocidad de transmisión	Código
2 Mbps	HDB - 3
8 Mbps	HDB - 3
34 Mbps	HDB - 3 o 4B3T
140 Mbps	4B3T o CMI

NOTA: estos códigos se emplean para esas velocidades y utilizando como medio de transmisión el cable coaxial
CMI: código de inversión de marcas

2.9 Filtros

2.9.1 Introducción

Tanto en los sistemas de comunicaciones como en muchos circuitos electrónicos surge a menudo la necesidad de transmitir señales que contengan un determinado intervalo de frecuencias, mientras que otras deben eliminarse. Esta función importantísima en los circuitos electrónicos es ejecutada por los filtros.

En particular, en los sistemas de comunicaciones, muchos medios de transmisión presentan para las señales que por ellos se transmiten características similares a los filtros.

Transmisión de señales

2.9.2 Definición

Se denominan filtros: *los circuitos, sistemas o parte de redes de comunicaciones que presentan características selectivas respecto de las frecuencias.*

Básicamente significa que la atenuación en ellos es variable con la frecuencia, lo cual permite discriminar las señales que pasarán libremente a través de él y las que quedarán atenuadas o suprimidas.

Si la señal que se aplica a la entrada de un filtro posee una importante riqueza en contenido armónico, como podría ser el ejemplo de la onda cuadrada o rectangular, el filtro actúa de manera que solamente algunas componentes de determinadas frecuencias aparezcan a la salida.

2.9.3 Clasificación de los filtros

2.9.3.1 Generalidades

Estos dispositivos se clasifican en: pasa bajos, pasa altos, pasa banda y suprime banda. Sobre la base de la función principal de los filtros, que es permitir el paso libre de la banda de frecuencias que se desea; mientras que, por el contrario, deben presentar una atenuación elevada para las frecuencias indeseables.

Estos cuatro tipos básicos de filtros de que disponen los circuitos electrónicos están representados con sus símbolos y características técnicas.

2.9.4 Diseño de filtros

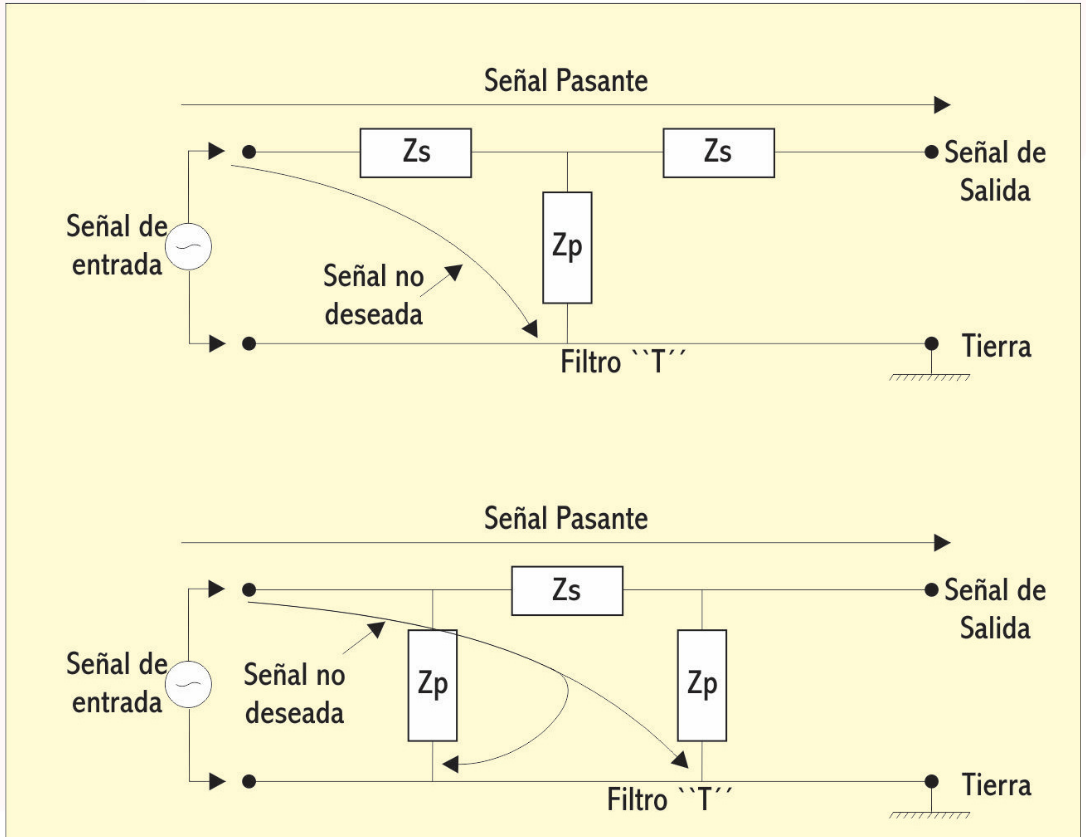
2.9.4.1 Filtros de bobina y condensador

El principio de construcción de estos filtros se basa en que la transmisión de una frecuencia no deseada a través de una red puede evitarse conectando en serie una impedancia de valor alto, o también instalando en paralelo una impedancia de bajo valor que derive esa frecuencia a tierra. En la figura se describen las posibles estructuras de este tipo de filtros.

La impedancia de alto valor, que se halla instalada en serie en el circuito del filtro, se comporta oponiéndose al paso de la corriente correspondiente a las frecuencias no deseadas.

Transmisión de señales

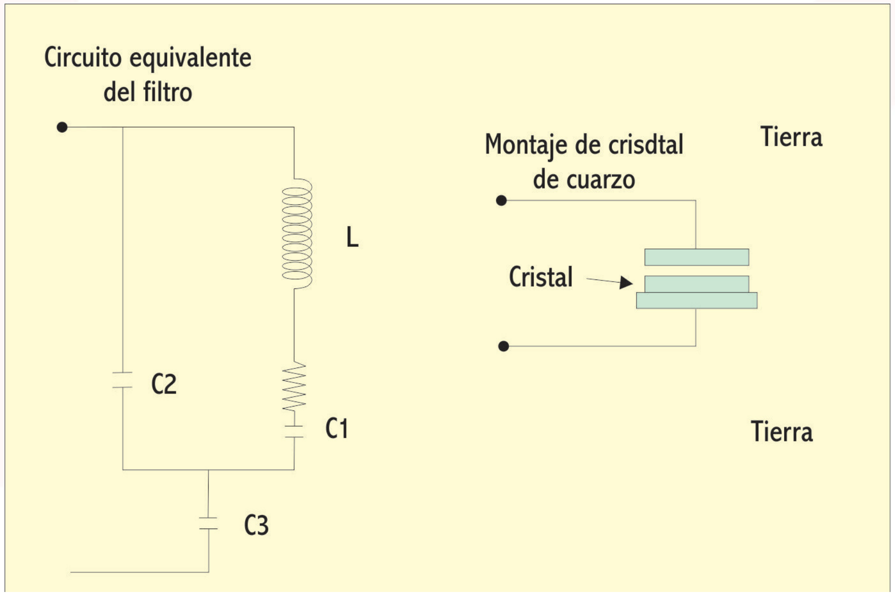
2.9.4.1 Filtros de bobina y condensador



2.9.4.2 Filtros de cristal

Los filtros de cristal son aquellos en los cuales las impedancias necesarias, en serie y paralelo, para construir el filtro se obtienen mediante el empleo de cristales piezoeléctricos.

Los cristales piezoeléctricos, como el cuarzo, tienen la particularidad de desarrollar una diferencia de potencial cuando están sometidos a esfuerzos mecánicos.



2.9.4.3 Filtros activos

Los filtros activos son circuitos que están construidos por amplificadores y una red de realimentación formada por capacitores y resistencias. La denominación activos se debe a que utilizan fundamentalmente amplificadores operacionales, que son dispositivos activos en un circuito electrónico, a diferencia de las resistencias, bobinas y capacitores, que constituyen elementos pasivos del circuito.