



Δ Alfaomega Grupo Editor

Comunicaciones

Castro-Fusario

Capítulo 2:

Transmisión de señales



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**



2.1 Señales analógicas y señales digitales

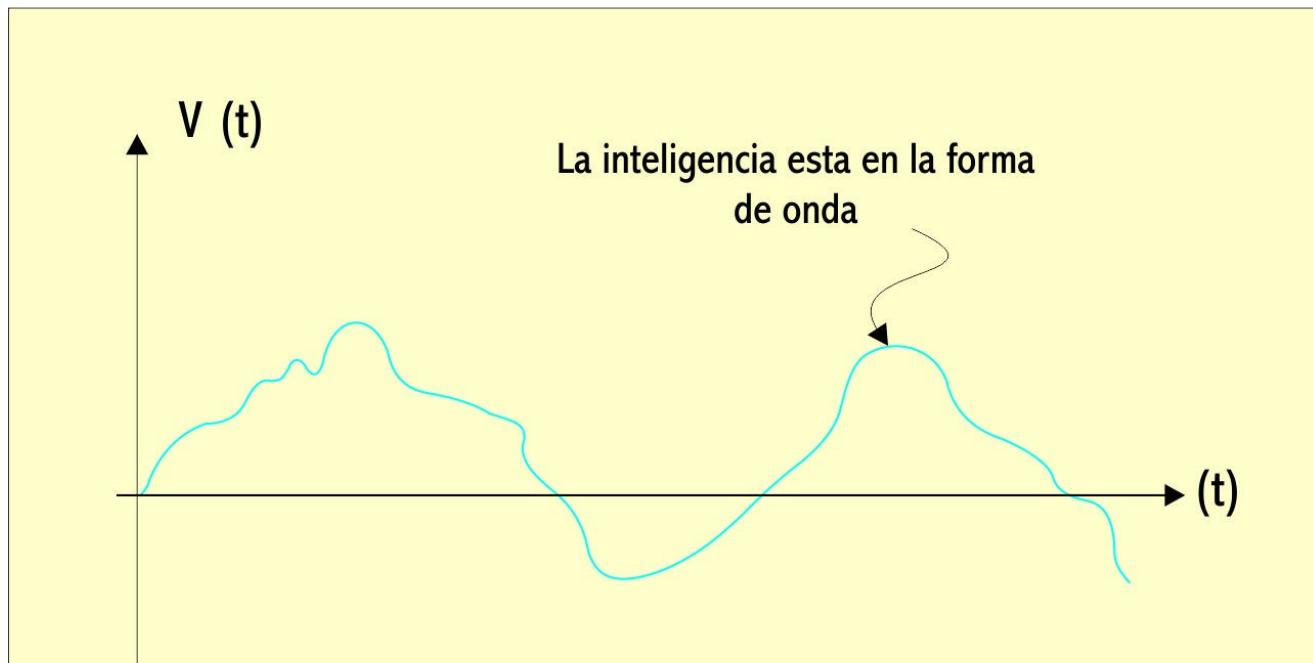
2.1.1 Introducción

- Las redes de telecomunicaciones deben transmitir todo tipo de informaciones inteligentes, como voz, audio, datos, textos, imágenes y video.
- Las informaciones se codifican en la fuente y se transforman en señales analógicas o digitales que puedan ser transmitidas por las redes.
- Según el codificador que se utilice, las señales pueden ser de tipo eléctrico, óptico o electromagnético.



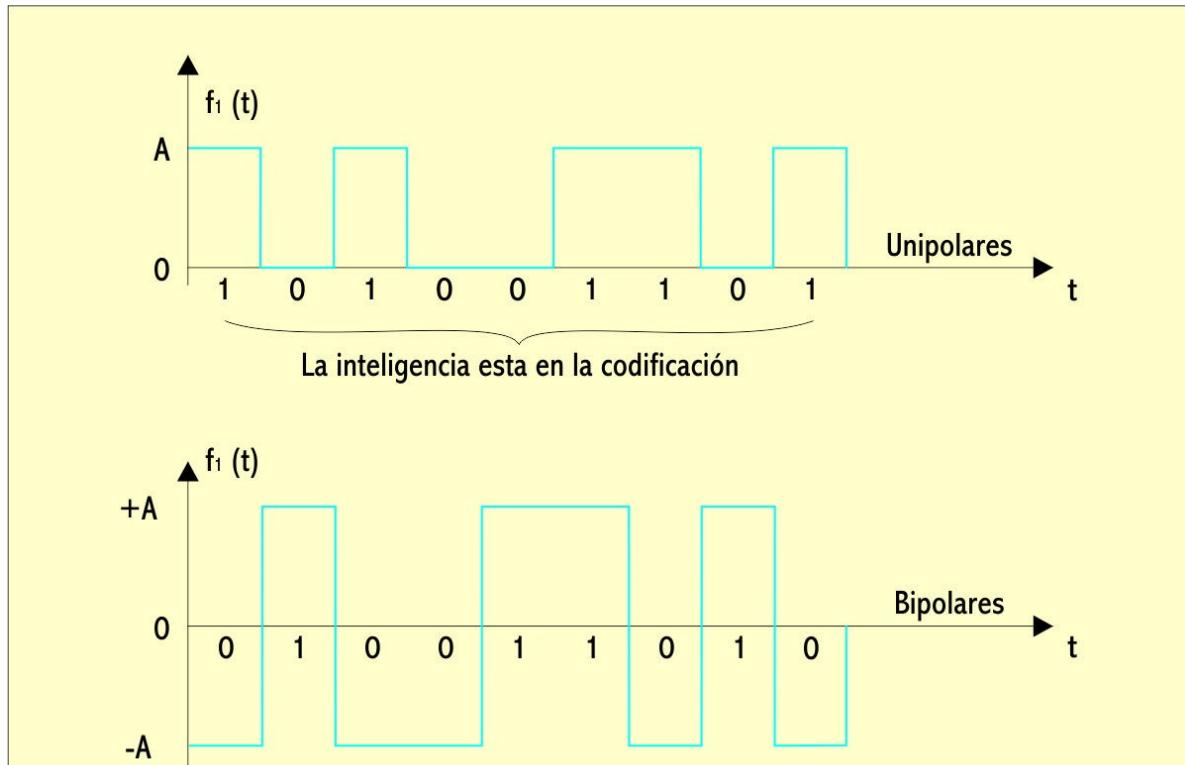
2.1.2 Definiciones

Señales analógicas: pueden ser representadas por funciones que toman un número infinito de valores en cualquier intervalo de la variable considerada





Señales digitales: pueden ser representadas por funciones que toman un número finito de valores en cualquier intervalo de la variable considerada





2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales

Las señales analógicas se transmiten por redes analógicas.

Si la red es digital, las señales típicamente analógicas, como la voz, deben ser previamente digitalizadas para su transmisión.

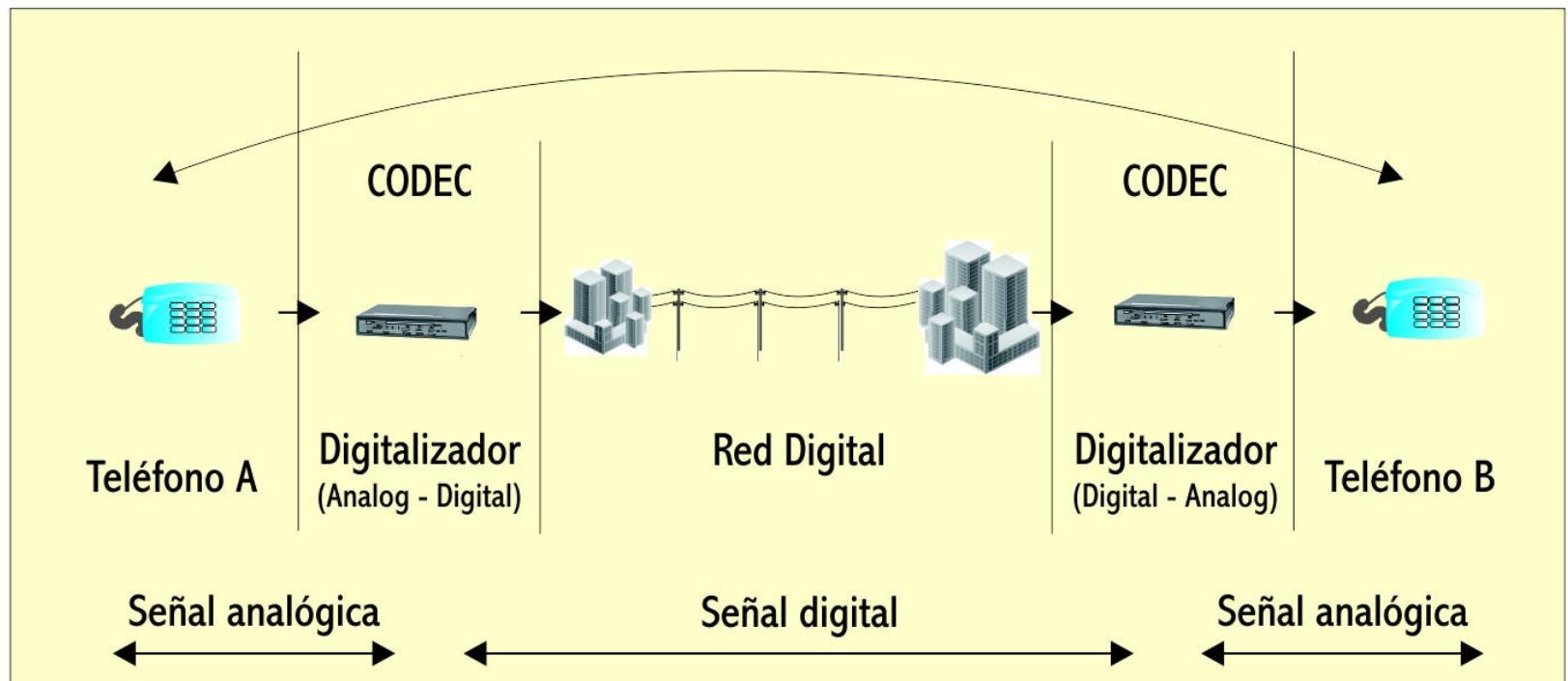
El equipo para efectuar esta transformación se denomina en forma genérica digitalizador o también equipo codec (codificador y decodificador).

Las señales digitales se transmiten por redes digitales.

En una red digital que se utiliza para la transmisión de la voz, el equipo terminal telefónico debe estar conectado a un digitalizador antes de que las señales pasen a la red digital.

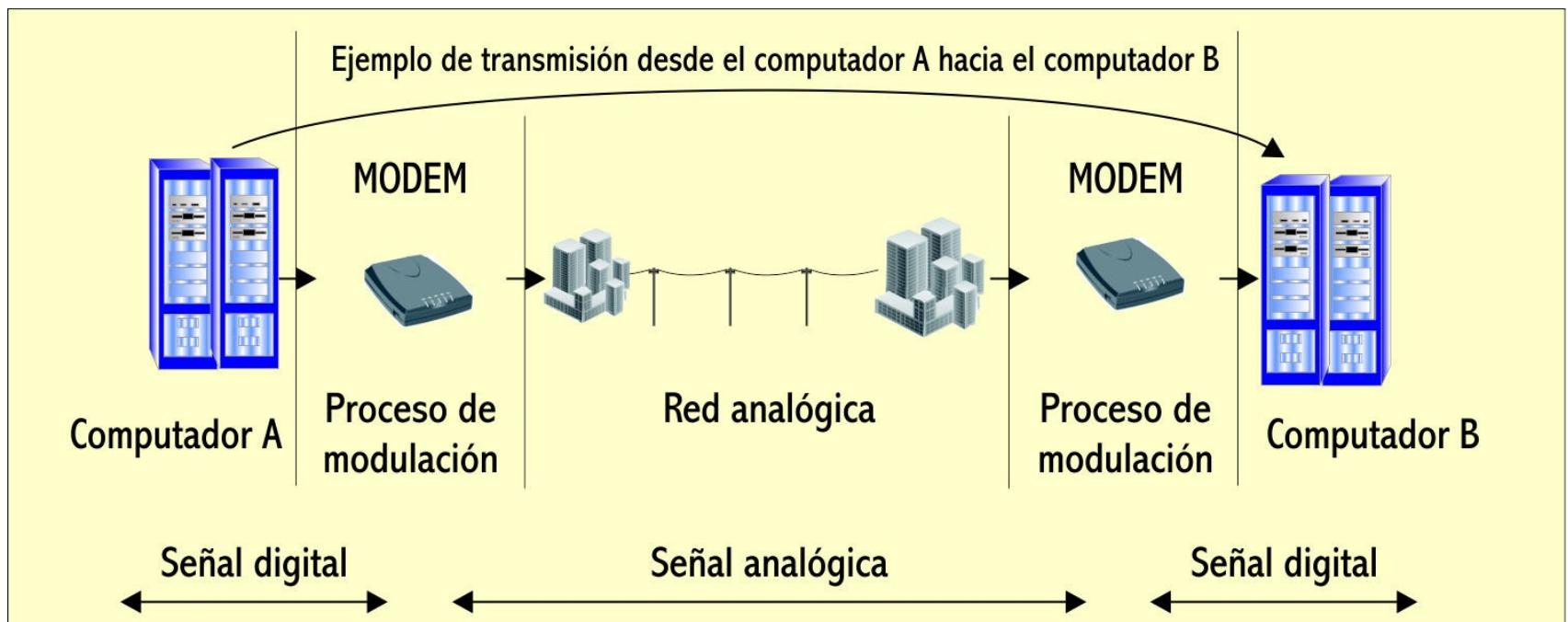


Esquema de conexión de un equipo terminal analógico a una red digital.





Para trasmisir señales digitales por redes analógicas se usan módems (moduladores/demoduladores) de diferentes tipos. Los módem ADSL –*Asynchronous Digital Subscriber Line*– permite el acceso a la red telefónica analógica con velocidades típicas de banda ancha para conectarse a Internet.





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.

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.

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.



El medio de comunicación debe transmitir la información con la mayor fidelidad posible.

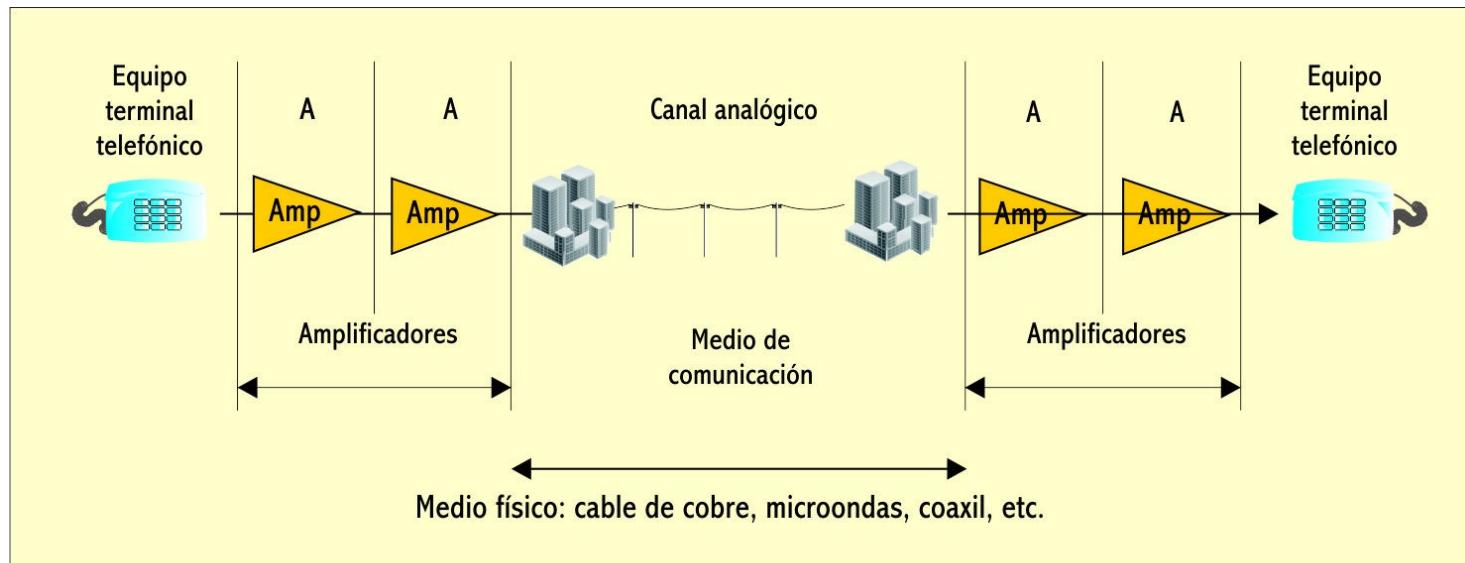
Hay fenómenos indeseables tales como:

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



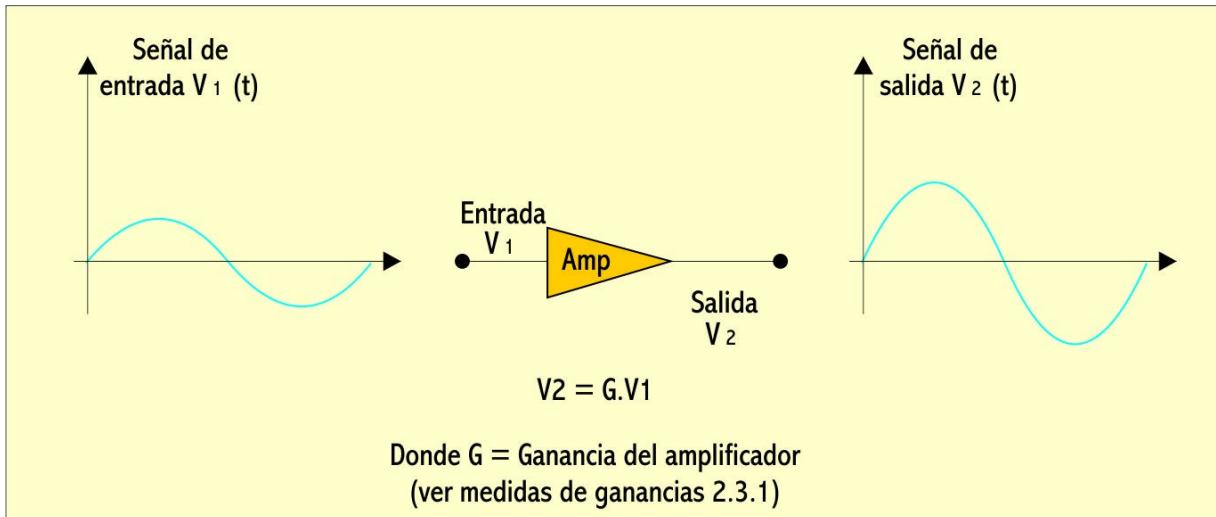
Hay canales analógicos y digitales.

En los analógicos el transductor de la fuente es el micrófono del teléfono, mientras que el del sumidero es el altavoz.





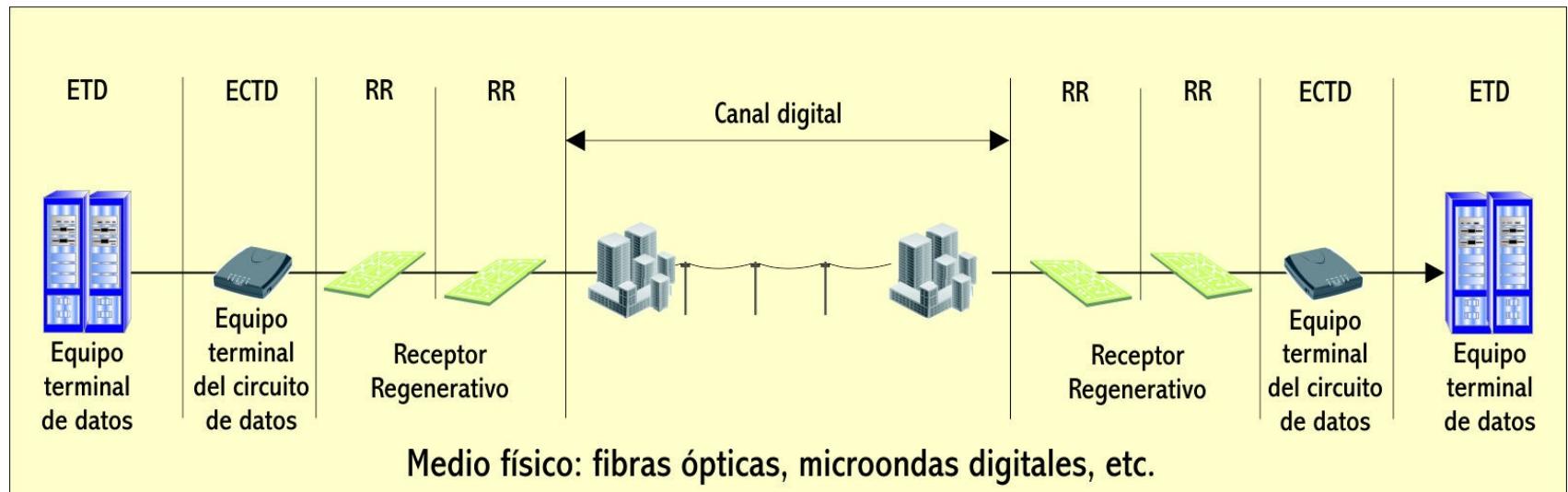
Amplificadores: Las señales que llegan al amplificador están atenuadas respecto de su amplitud original, y las que salen de él tienen un nivel conveniente para que puedan ser detectadas e interpretadas correctamente en el extremo receptor.





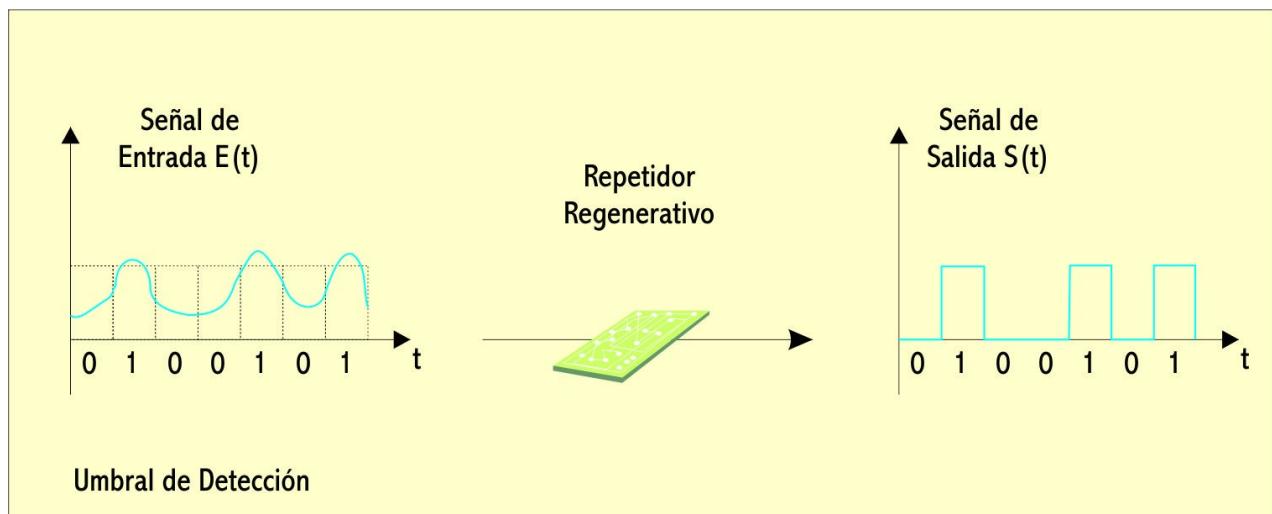
Repetidores regenerativos: para aumentar el alcance cuando se utilicen cables de cobre se deben situar en distancias intermedias.

En el caso de las fibras ópticas monomodo se colocan a distancias importantes, del orden de varios kilómetros.





Las señales que arriban al repetidor 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

Las señales inteligentes tiene forma variable, pero sus características pueden estudiarse tomando como referencia:

- la función senoidal armónica simple como ejemplo de una señal típica analógica
- la onda cuadrada como ejemplo de una señal digital.

En ambos casos estas funciones son periódicas.



2.4.1 Aspectos generales

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

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

y

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

Donde:

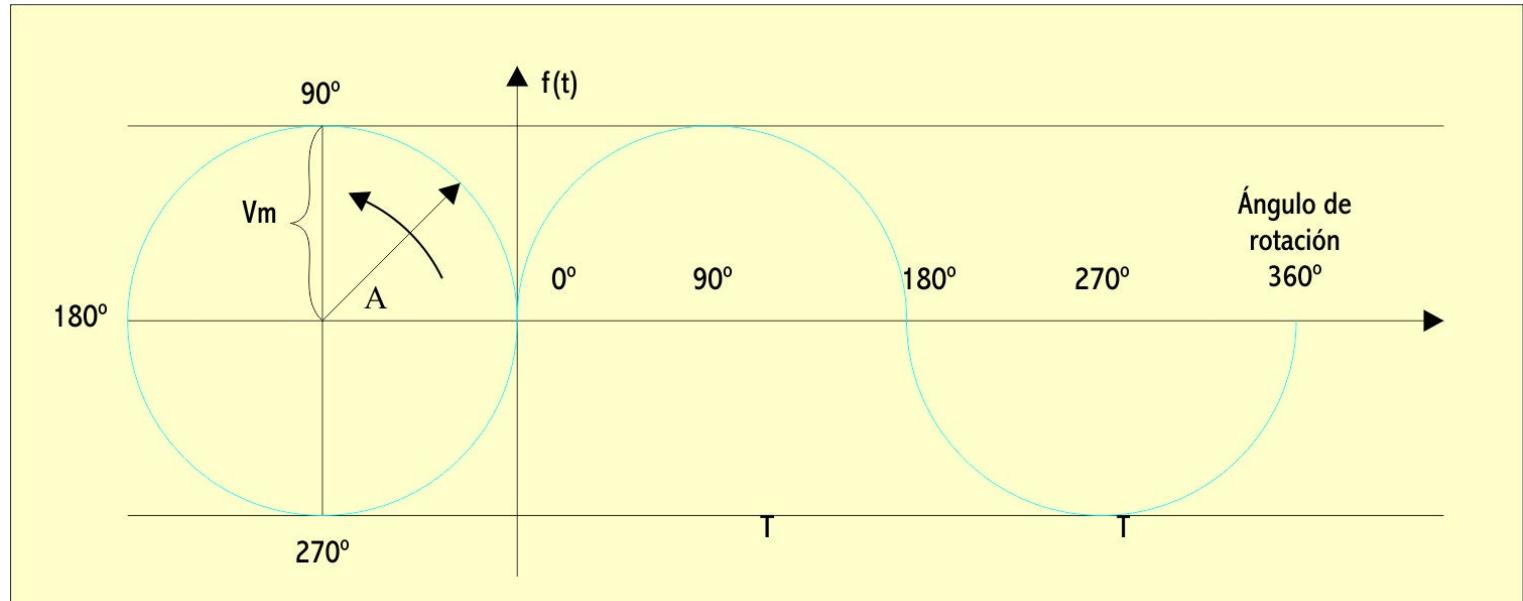
T = periodo de la función.



2.4.2 Función senoidal armónica simple

Expresión general de la forma:

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





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 .

Entonces:

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

Luego:

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



Frecuencia: es el número de ciclos completos por segundo.
Es la inversa del período T .

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

Resultará, operando convenientemente;

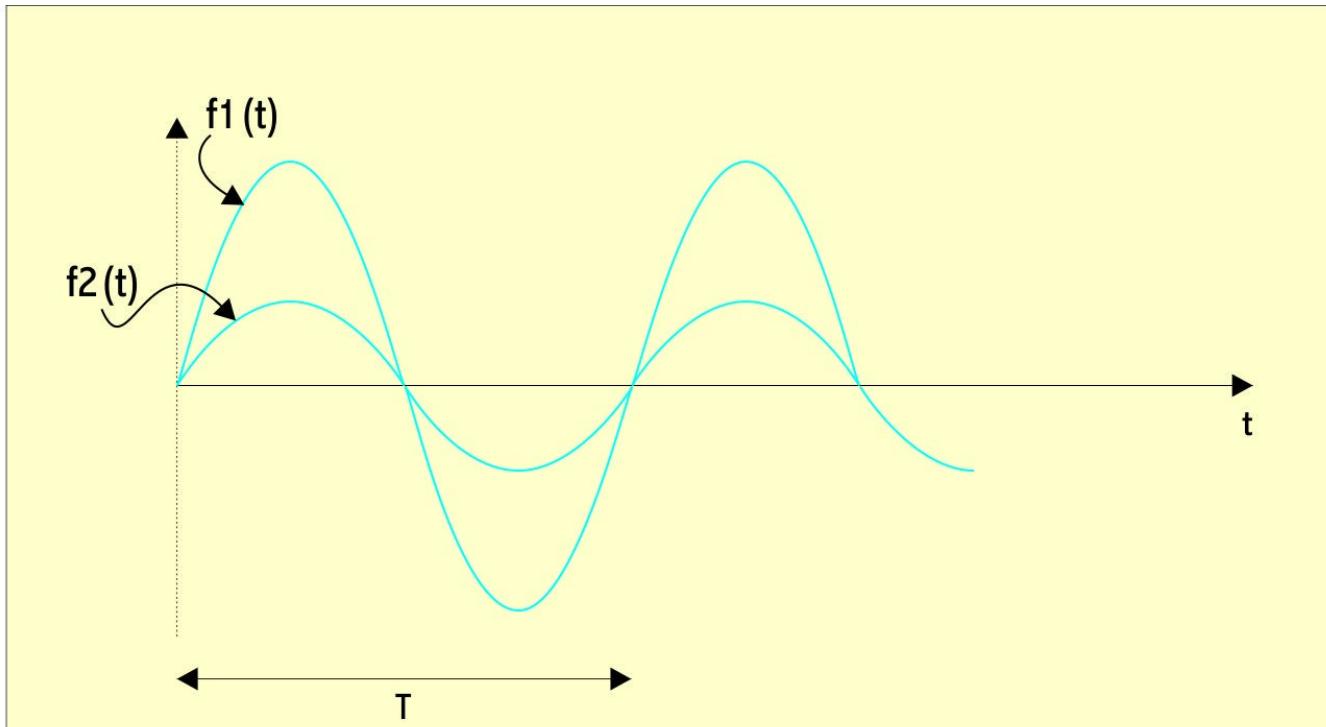
$$\omega = 2\pi f$$

El tiempo T se mide en segundos y la frecuencia en Hertz.

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



Representamos dos funciones de igual frecuencia y fase, pero distintos valores de amplitud, $A1$ y $A2$;





Veamos dos señales sinusoidales de distintas frecuencias pero de igual amplitud y ángulo de fase inicial.

$f_1 = 4 \text{ Hz}$ y una segunda $f_2 = 8 \text{ Hz}$.

Calculemos el período de ambas funciones T_1 y T_2 .

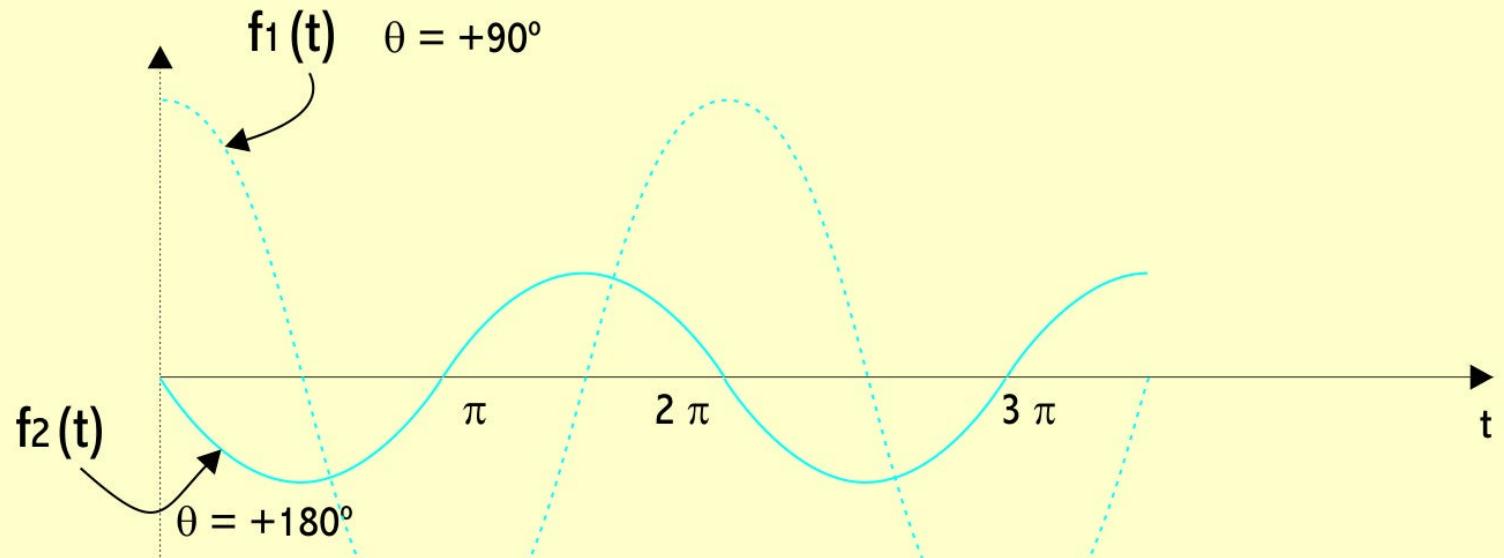
$$T [\text{seg}] = \frac{1}{4\text{Hz}} = 0,25 \text{ seg}$$

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

Observemos el ángulo de la fase inicial en una función senoidal.

En la representación de la función armónica:

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





Dicha función para el instante $t = 0$, resultará $\omega t = 0$,

El valor de la función en el instante $t = 0$ dependerá del valor del seno del ángulo ϕ .

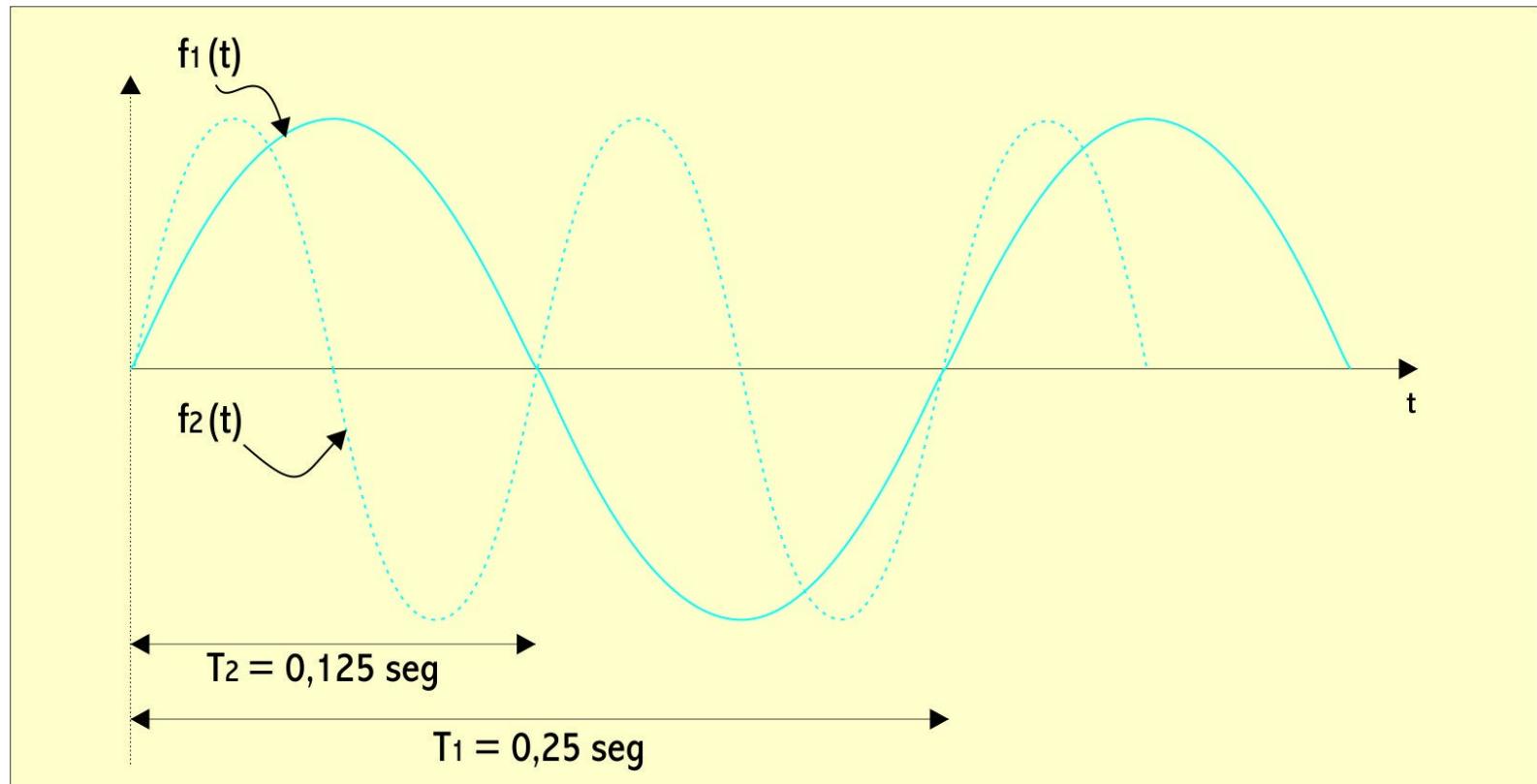
si $\phi = 0$ resultará $\sin \phi = 0$, y por lo tanto $f(0) = 0$; y

$$f(0) = A \sin \phi$$

Si $\phi = \frac{\pi}{2}$ resultará $\sin \frac{\pi}{2} = 1$, y por lo tanto $f\left(\frac{\pi}{2}\right) = A \sin \frac{\pi}{2} = A$



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





Se representan dos funciones de igual amplitud y frecuencia, pero una con $\phi = 0$, y otra con $\phi = \frac{\pi}{2}$

Las expresiones de una y otra serán por lo tanto;

$$f(t) = A \operatorname{sen} (\omega t)$$

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

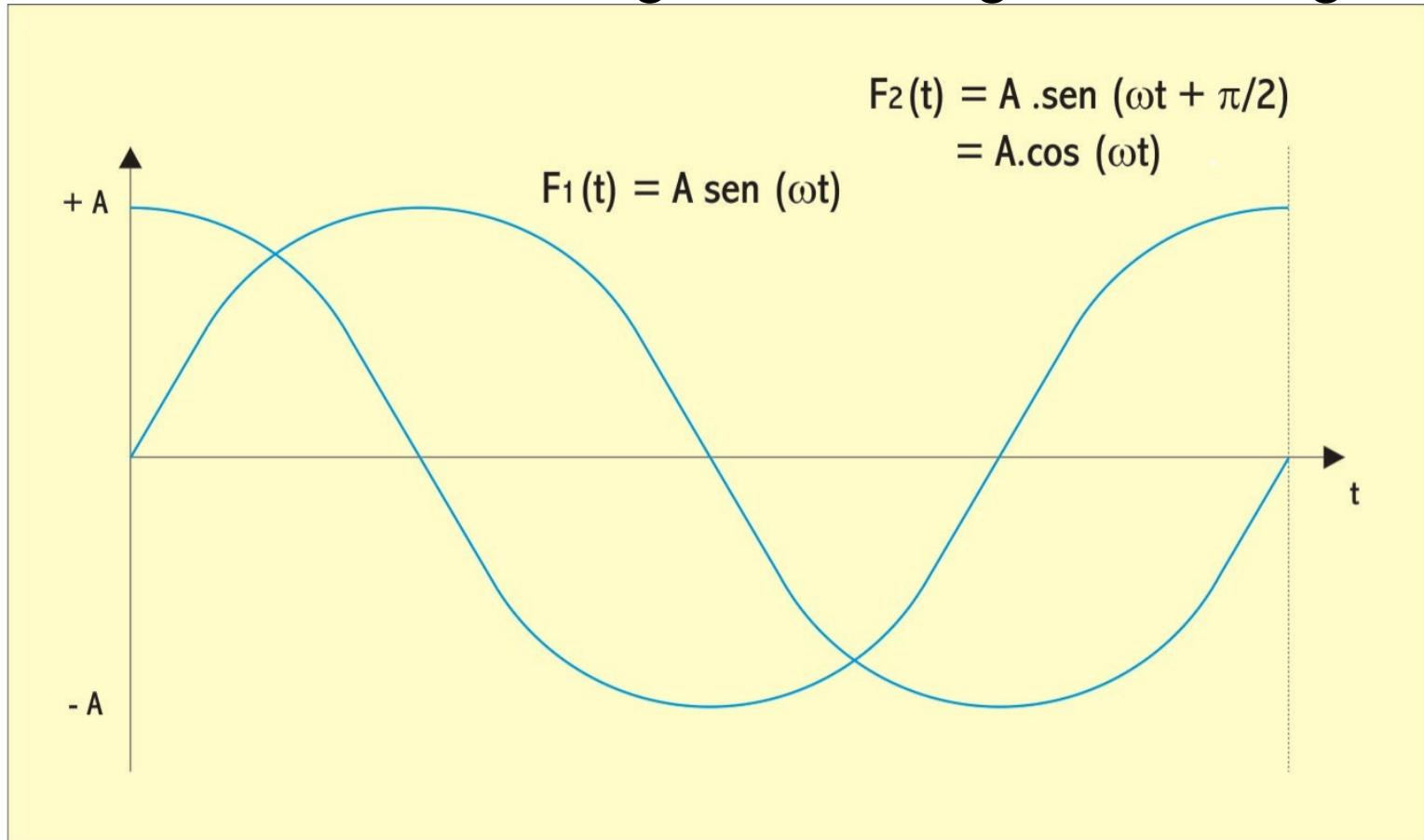
$$f(t) = A \operatorname{sen} \omega t + \frac{\pi}{2}$$

Podría también expresarse de la siguiente manera;

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



Funciones senoidales de ángulos de fase igual a cero e igual a $\pi/2$





2.4.3 Función onda cuadrada

Generada por equipos generadores de pulsos, que se basan en las técnicas de la electrónica digital.

Se representa gráficamente una señal periódica onda cuadrada o rectangular.

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,

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



Los conceptos de amplitud, frecuencia y período tienen el mismo significado que en la función senoidal armónica simple.

La frecuencia también se denomina frecuencia de repetición de pulsos (FRP):

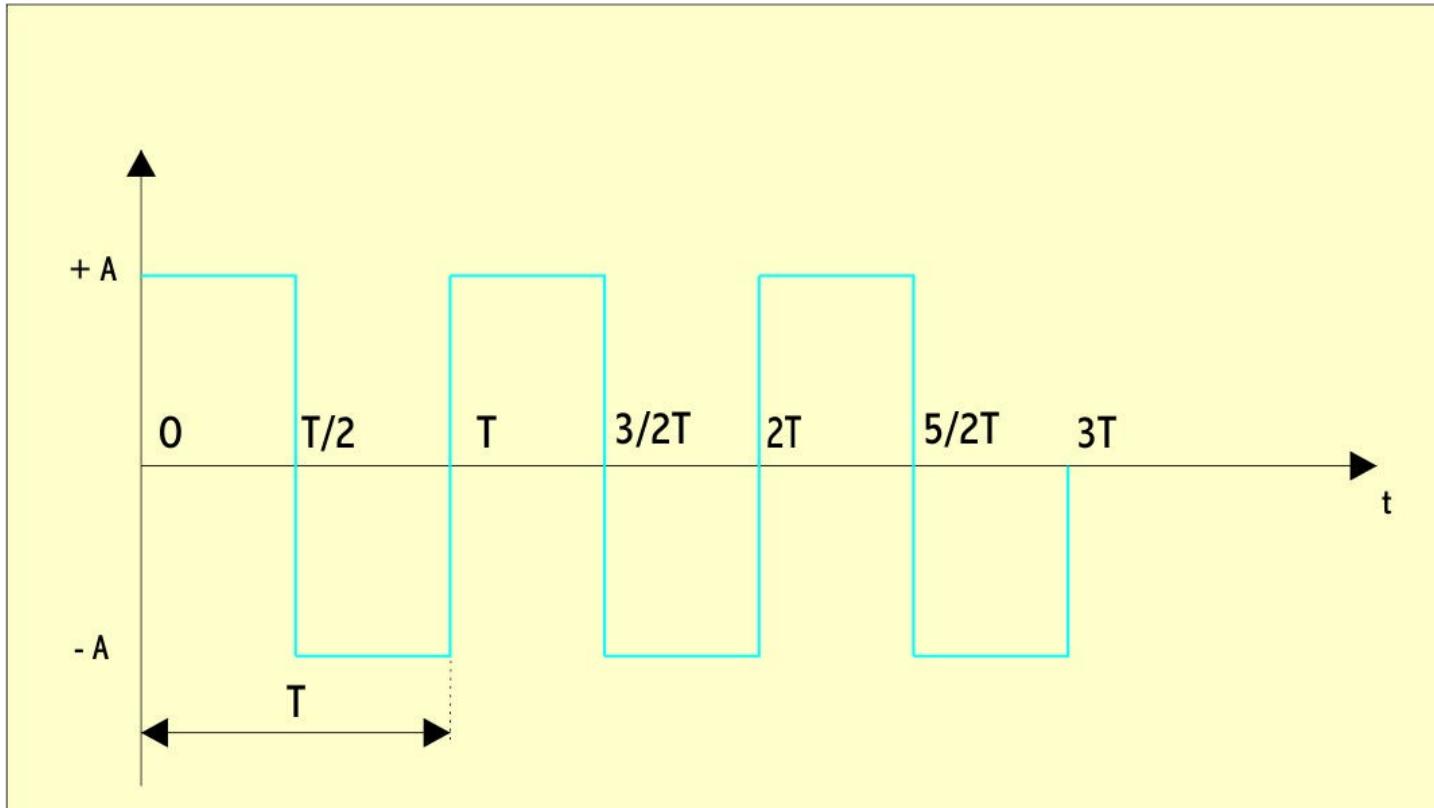
$$FRP = \frac{1}{T} \text{ (PPS)}$$

donde: PPS es pulsos por segundo.

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



Función onda cuadrada de amplitud A.





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

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



Se define como valor medio de la función $f(t)$:

$$Y_m = \int f(t) dt / T$$

El factor de forma es la relación entre valores eficaz y medio:

$$FF = Y_e / Y_m$$



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.

La serie de Fourier permite llevar a cabo este análisis.

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*

Son necesarias y suficientes para que una función $f(t)$ pueda ser desarrollada en serie de Fourier:

- La función $f(t)$ debe ser periódica, de período T .
- La función $f(t)$ debe ser definida y unívoca, 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 presentada por una serie de la forma:

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

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



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

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

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

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



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:

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

$$C_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-int} dt$$



2.4.5.5 Espectro de amplitud y de fase de una función periódica

En los sistemas de comunicaciones es necesario conocer el comportamiento de las funciones periódicas, no como funciones del tiempo sino de la frecuencia.

Para ello, definiremos como amplitud
del espectro a la expresión

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

y fase del espectro a la expresión.

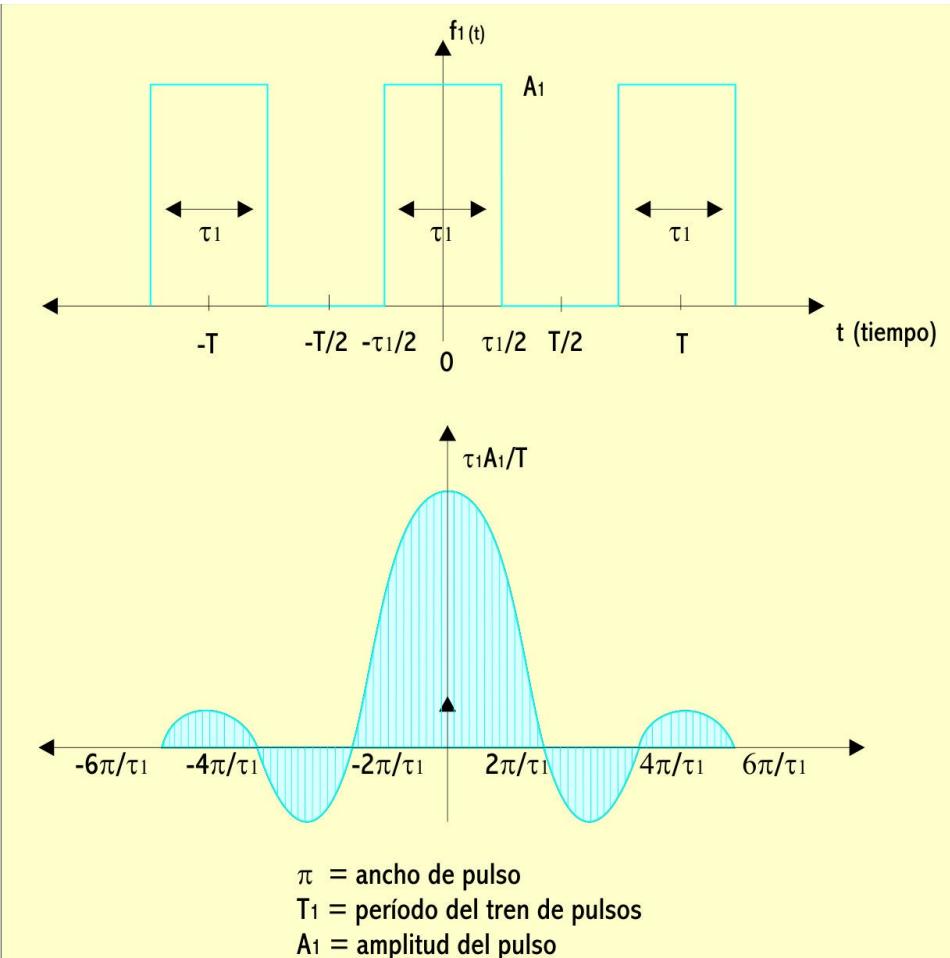
$$\varphi_n = \arctan -\frac{b_n}{a_n}$$



2.4.5.6 Análisis del espectro de amplitud de la señal

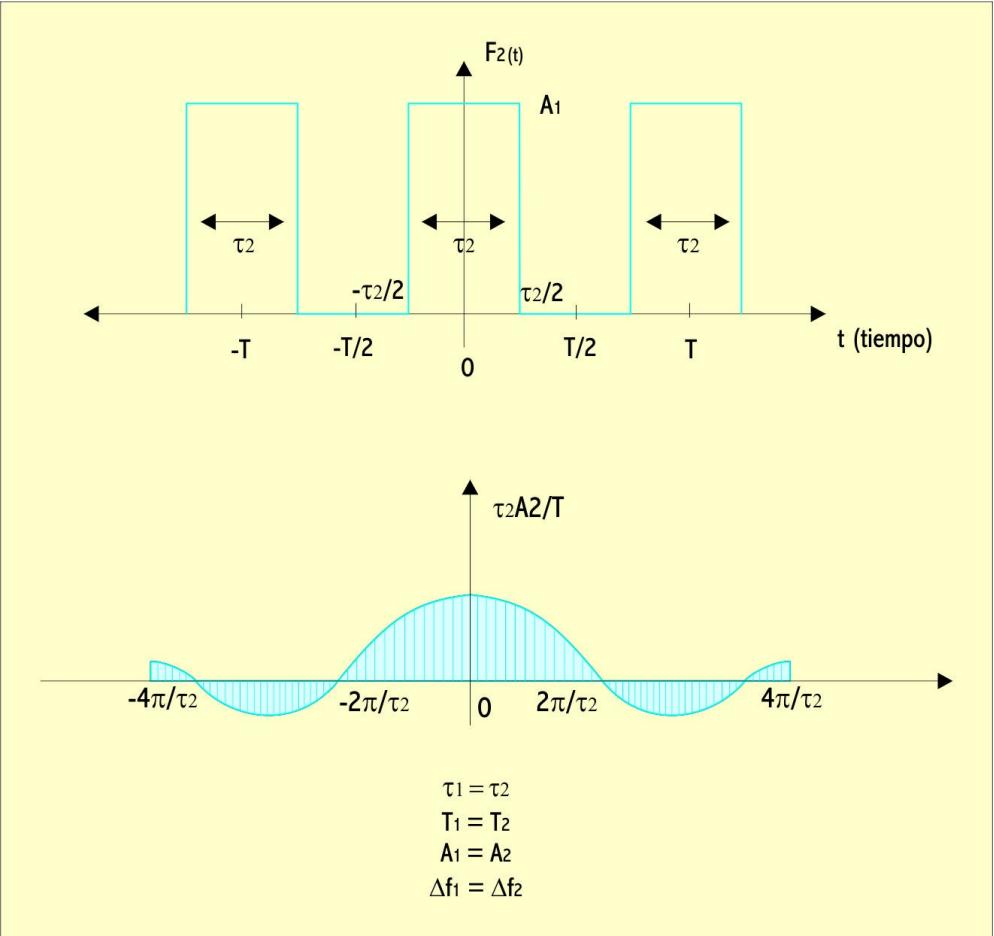
Separación entre componentes discretas del espectro: $2\pi/T$

Envolvente de máximos es del tipo $\text{sen}(x)/x$, donde $x=n\omega\tau/2$





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





2.4.5.7 Concepto inicial de ancho de banda

Es el intervalo de frecuencias $\Delta f = f_2 - f_1$, en el cual se concentra la mayor parte de su energía.

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,

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



El primer valor para el cual C_n se anula puede considerarse como una medida aproximada del ancho de banda:

- es necesario para contener la mayor parte de la energía de la señal
- 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:

- sufre atenuaciones o pérdidas
- se amplifican a través de elementos pasivos o activos
- deben llegar a los receptores con valores que permitan su interpretación y decodificación.

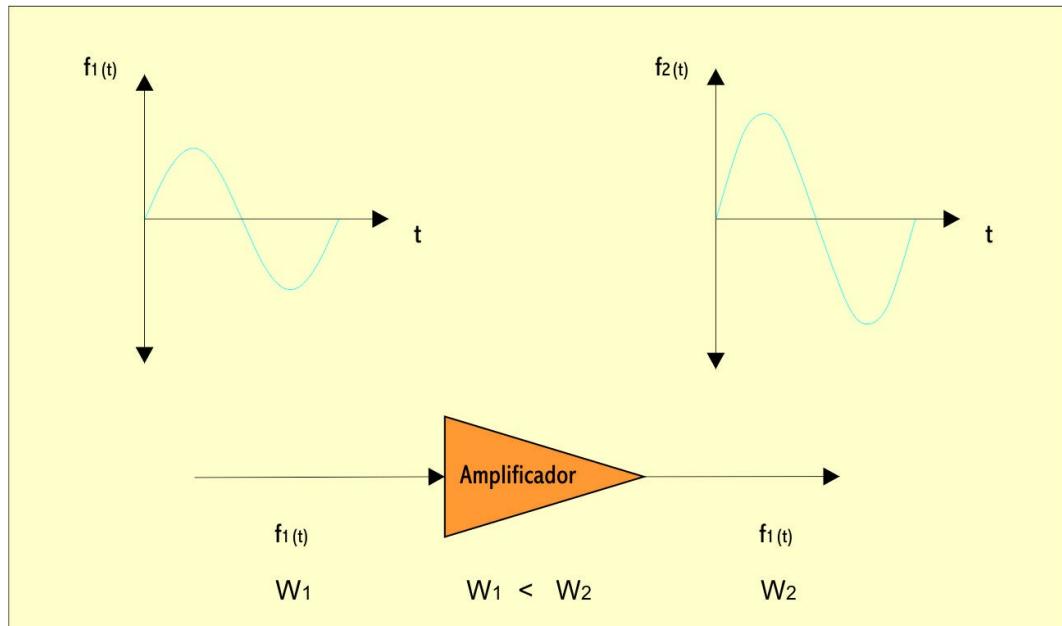
La potencia de la señal útil debe mantenerse en valores:

- lo suficientemente altos para estar separados del nivel del ruido
- lo suficientemente bajos como para que la señal no sufra distorsiones que la tornen inutilizable.



2.5.2 Ganancia de un amplificador

Es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada.



$$G = \frac{P_s}{P_e}$$



2.5.3 Pérdida

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.

Los medios se comportan como si fueran atenuadores.

Pérdida es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada

$$P_{\text{end}} = \frac{P_s}{P_E}$$

Como $P_s < P_E$ resulta $\frac{P_s}{P_E} < 1$



2.5.4 Amplificadores o atenuadores en cascada

Dos amplificadores (o atenuadores) conectados en cascada están uno a continuación del otro.

La potencia de entrada del amplificador A_2 será la potencia de salida del amplificador A_1 .

La ganancia (o pérdida) de ambos será el producto de la ganancia de cada uno.

La ganancia de A_1 , será

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

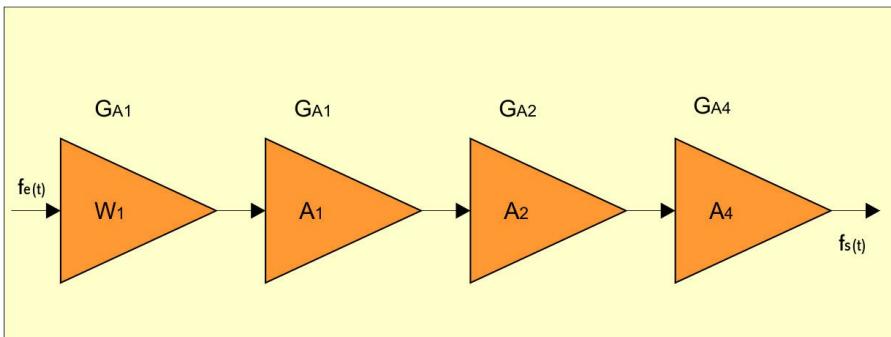


Luego, la ganancia total será

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

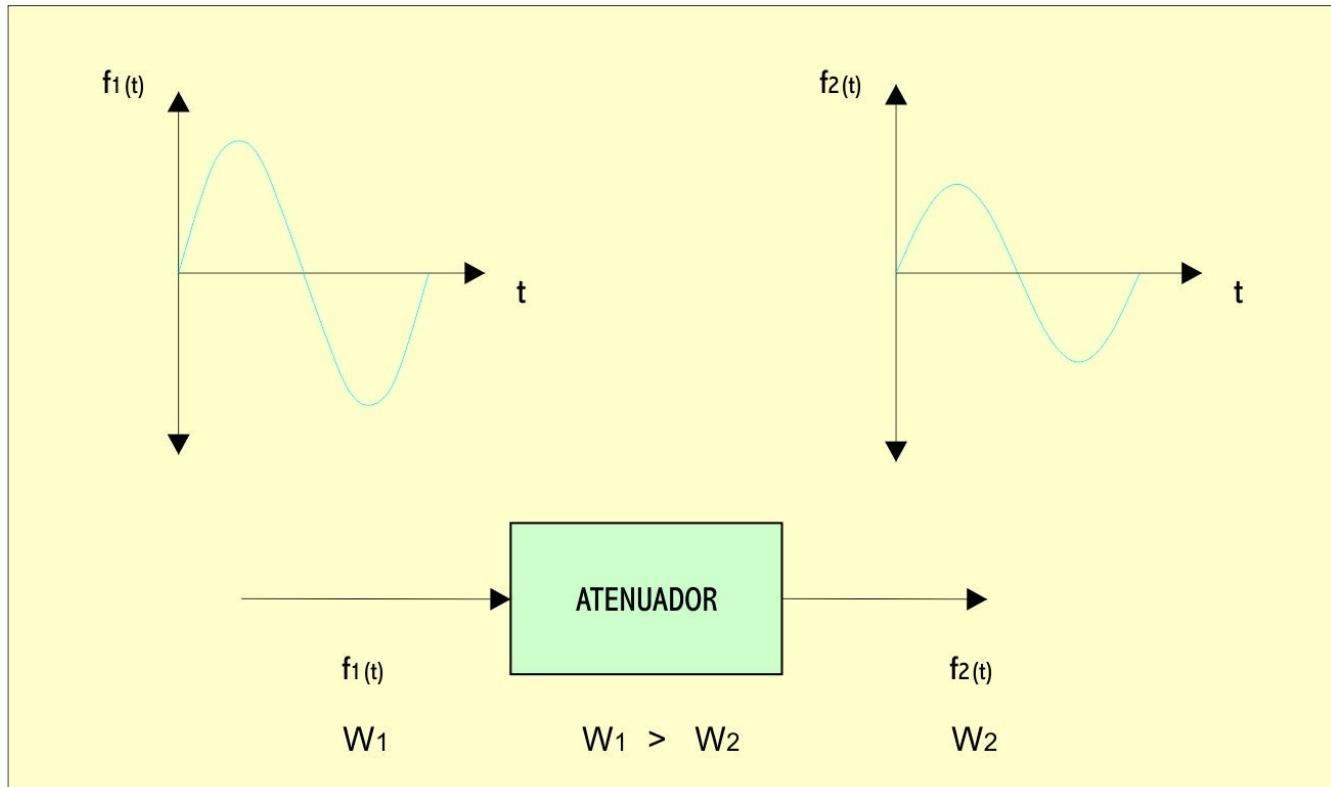
$$G_{TOTAL} = \frac{P_{S1}}{P_{E1}} \cdot \frac{P_{S2}}{P_{S1}}$$

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





Considerando atenuadores el razonamiento es igual





2.5.5 El decibel

La ganancia expresada en veces da valores poco prácticos, sin relación con el comportamiento del oído humano.

Se prefiere usar el decibel, que es una unidad logarítmica.

Ganancia en decibeles:

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

Pérdida en decibeles:

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

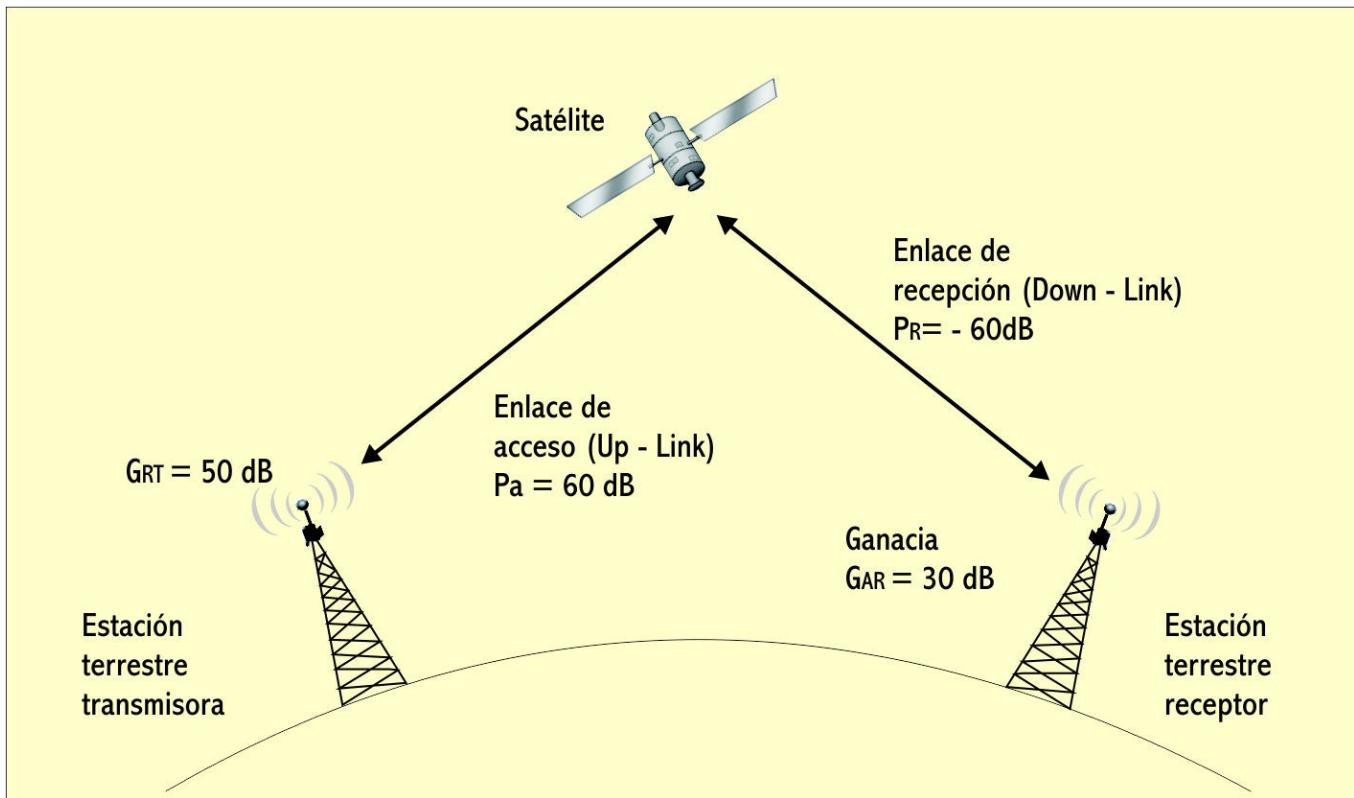


Para una señal de entrada de *1 Watt* vemos los valores de la ganancia en dB, conociendo la potencia de salida del amplificador.

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



En un enlace a la potencia de salida se le suman las ganancias de antenas y se le restan las pérdidas para calcular la potencia recibida.





Ley de **Ohm** compleja para un circuito de corriente alterna.

$$V [Volt] = I [Ampere] \cdot Z [Ohm]$$

V [Volt] = tensión

I [Ampere] = corriente

Z [Ohm] = impedancia

Donde:

R = resistencia óhmica.

j = unidad imaginaria.

XL = reactancia inductiva.

XC = reactancia capacitiva.

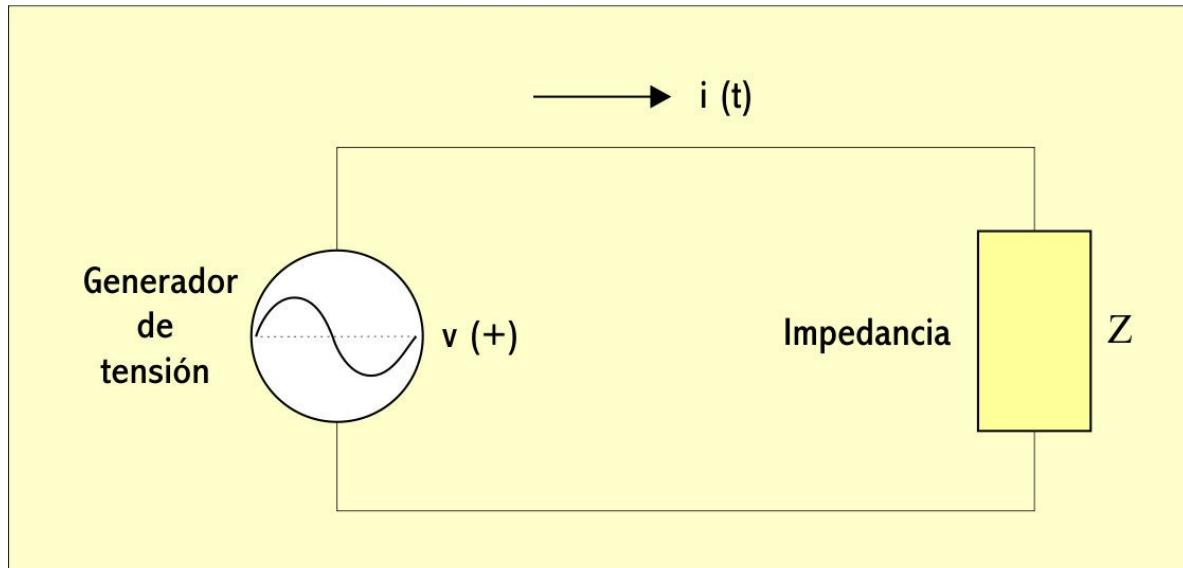
La impedancia se puede expresar mediante un número complejo Z :

$$Z = R + j (X_L - X_C)$$



En el concepto de impedancia se deben considerarse dos términos:

- uno real que es la resistencia óhmica, que no depende de la frecuencia,
- otro imaginario, compuesto por las reactancias inductiva y capacitativa.





2.5.6 El dBm

A diferencia del *dB*, que es una unidad de medida relativa, el dBm es una unidad de nivel absoluto.

Mide la potencia respecto de un valor fijo de 1 mW:

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

Cuando la potencia es menor a 1 mW, el resultado es negativo.

Para potencias mayores se toma como referencia 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.

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

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*:

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



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

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

Reemplazando 1 mW por su valor, y la $P_s [\text{W}]$ por su expresión:

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

Y operando convenientemente,

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

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



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 600Ω .

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*.

La base de los logaritmos usados es el número e, en lugar de 10.

$$\text{Neper}(n) = \frac{1}{2} \ln \frac{P_s}{P_E}$$

Relaciones entre el *dB* y el *Neper*:

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

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



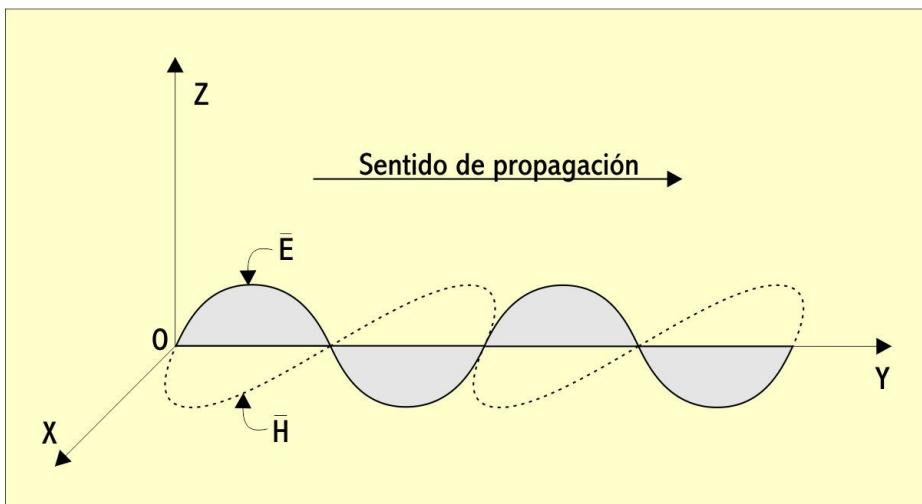
2.6 La transmisión de señales

2.6.1 La transmisión en medios dieléctricos

Una antena puntual transmite en todas direcciones.

En las antenas reales su geometría condiciona la forma de la onda irradiada.

La propagación de una onda plana tiene dos vectores:





Las ecuaciones de los vectores \vec{E} y \vec{H} para una onda plana con ángulos de fase inicial 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).



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_0 = amplitud de la intensidad del campo eléctrico.

H_0 = 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).

Por estar propagándose son funciones simultáneas del espacio y del tiempo.



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:

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



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.

Tipos de comunicaciones:

- punto a punto: se establece un vínculo entre dos equipos geográficamente distantes
- punto a multipunto: desde un equipo se efectúan vínculos hacia varios puntos.



2.6.2.3 Bandas y gráfica del espectro de frecuencia

Espectro de frecuencias es la clasificación de las frecuencias en segmentos, según sus características.

Cada segmento tiene distintas aplicaciones.

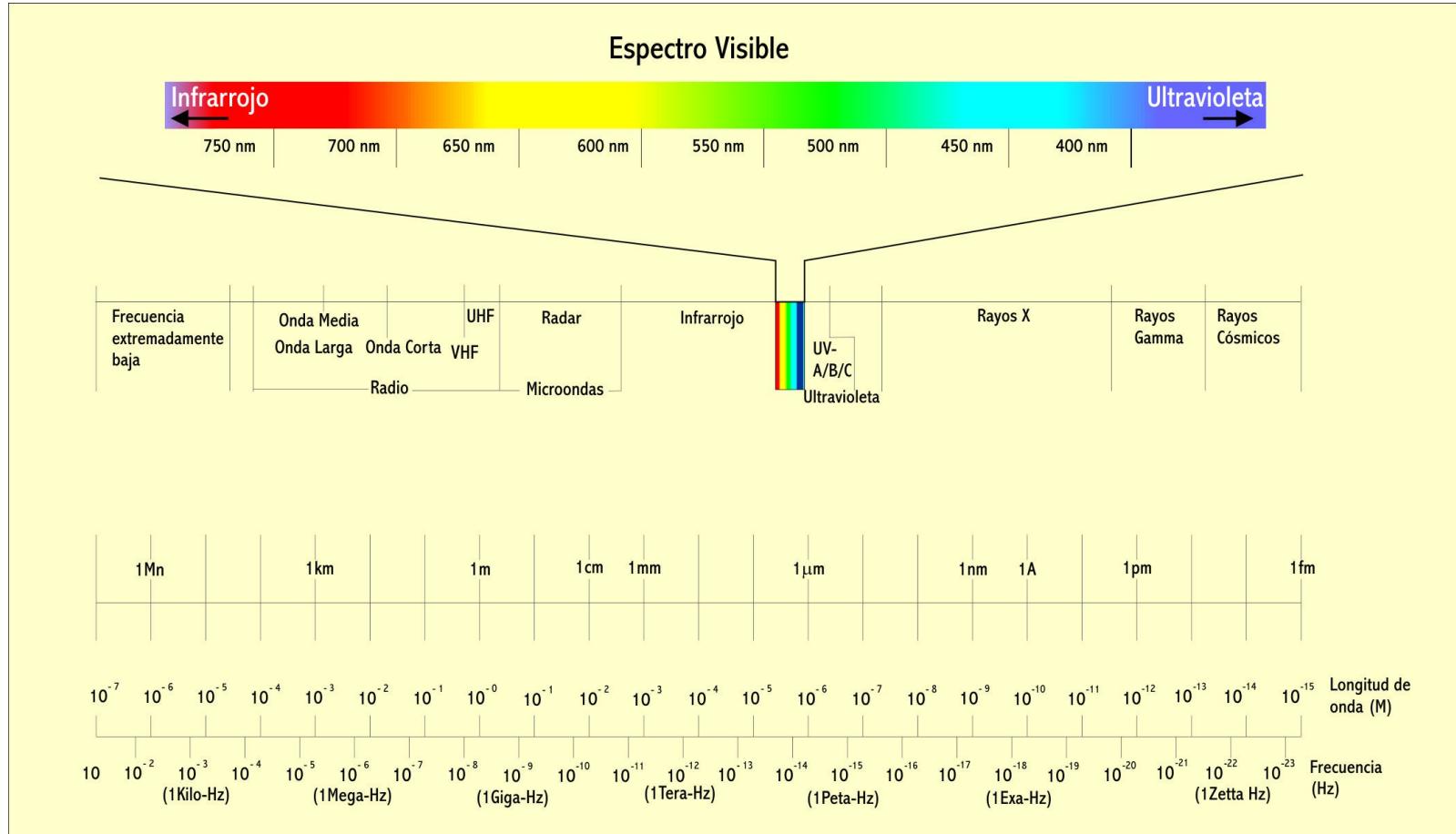
La UIT lo ha dividido en bandas que reciben distintas denominaciones.



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
4	3 a 30	kHz	10 Km	VLF	Frecuencias muy bajas
5	30 a 300	kHz	1 Km	LF	Frecuencias bajas
6	0,3 a 3	Mhz	100 M	MF	Frecuencias medias
7	3 a 30	MHZ	10 M	HF	Frecuencias altas
8	30 a 300	Mhz	1 M	VHF	Frecuencias muy altas
9	0,3 a 3	Ghz	100 cm	UHF	Frecuencias ultra altas
10	3 a 30	Ghz	10 cm	SHF	Frecuencias súper altas
11	30 a 300	Ghz	1 cm	EHF	Frecuencias extremadamente altas
12	0,3 a 3	THz	100 Mm	-----	Luz infrarroja
13	3 a 30	Thz	10 Mm	-----	Luz infrarroja
14	30 a 300	Thz	1 Mm	-----	Luz infrarroja
15	0,3 a 3	Phz	100 μm	-----	Luz visible
16	3 a 30	Phz	10 μm	-----	Luz ultravioleta
17	30 a 300	Phz	1 μm	-----	Rayos x
18	0,3 a 3	Ehz	100 Pm	-----	Rayos gamma
19	3 a 30	Ehz	10 Pm	-----	Rayos cósmicos
20	30 a 300	Ehz	1 Pm	-----	Rayos cósmicos



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





2.6.3 La transmisión en medios conductores

2.6.3.1 Características de la propagación en medios conductores

Además transmitirse por medio de ondas electromagnéticas, las señales se pueden transmitir a través de medios conductores.

Se usan cables de cobre con distintas geometrías y estructuras de construcción:cables de cobre trenzados, coaxiales, UTP, etc.

La magnitud relacionada con la capacidad que tiene de conducir la corriente eléctrica se denomina conductancia (G)

En un medio conductor es distinta de cero: $G \neq 0$



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 $G \rightarrow \infty$.

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

$$G.R=1$$

Dimensionalmente: $[S]=1/\Omega$



Para los cables de cobre la atenuación es función de las características de cada cable y de la frecuencia de la señal transmitida:

$$V = I \cdot Z$$

$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

$$R = \rho \cdot l/S$$

donde R: resistencia óhmica [Ω]

ρ : resistividad del metal [$\Omega \cdot m$]

l: longitud del cable [m]

S: sección del conductor [m^2]



2.6.3.2 Efecto pelicular

Otro factor que aumenta la atenuación es la frecuencia.

Además de estar incluida en la expresión de la impedancia también actúa a causa del denominado efecto pelicular (la corriente circula sólo por la periferia del conductor).

Estas corrientes se denominan corrientes de **Foucault**.

Los valores de estas dependen de la rapidez con que varía el campo magnético respecto del tiempo (frecuencia de variación).



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 .

Donde:

δ = profundidad de penetración [metro].

σ = conductividad eléctrica del metal [$S\ m^{-1}$]

μ = permeabilidad magnética [Henry m^{-1}]

f = frecuencia [Hertz]

$$\delta = \sqrt{2 / \omega \cdot \mu \cdot \sigma}$$



A la frecuencia de 1 MHz la sección útil del conductor se reduce fuertemente.

Conclusiones:

- 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.



En las transmisiones de banda ancha utilizando el par telefónico, si el conductor no tiene el diámetro adecuado, el efecto de penetración o pelicular afecta la transmisión.

La attenuación (pérdida) en dB de un cable de cobre se calcula:

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

Donde

f = frecuencia.

α = constante específica para cada cable (geometría y características).



2.7 Ancho de banda

2.7.1 Definición de ancho de banda

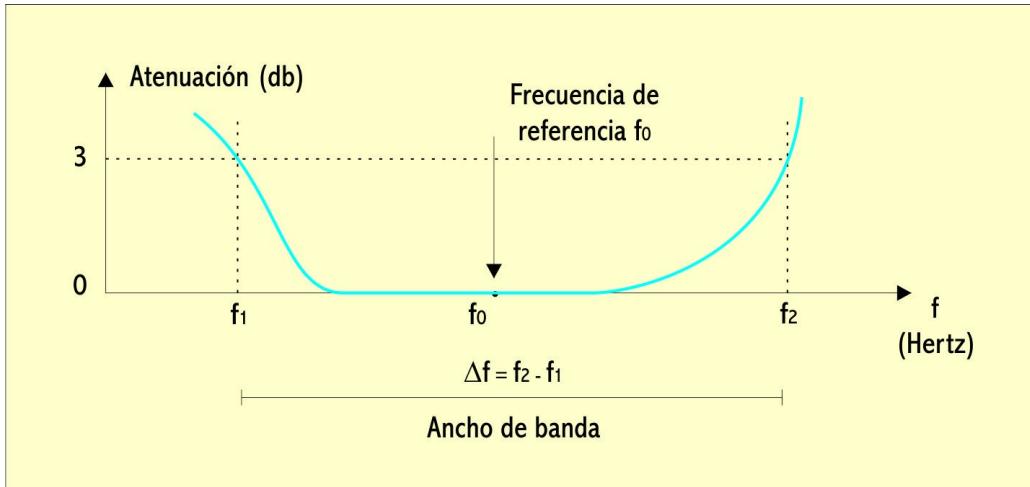
Ancho de banda de una señal es el intervalo de frecuencias para las cuales la distorsión lineal y la atenuación permanecen bajo límites determinados y constantes.

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

Los límites pueden ser arbitrarios, generalmente se definen para una atenuación de 3 dB con respecto al valor de la señal a la frecuencia de referencia.



Atenuación de una señal en función de su frecuencia.



Los valores de f_1 y f_2 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 f_0 de referencia, que se encuentra a 0 dB.



2.7.2 Concepto de ancho de banda

La limitación más importante para el funcionamiento de un sistema de comunicaciones es 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.

Como $T=1/f$, para dos valores de T tales que: $T_1 \gg T_1'$

resulta: $f_1 \ll f_1'$

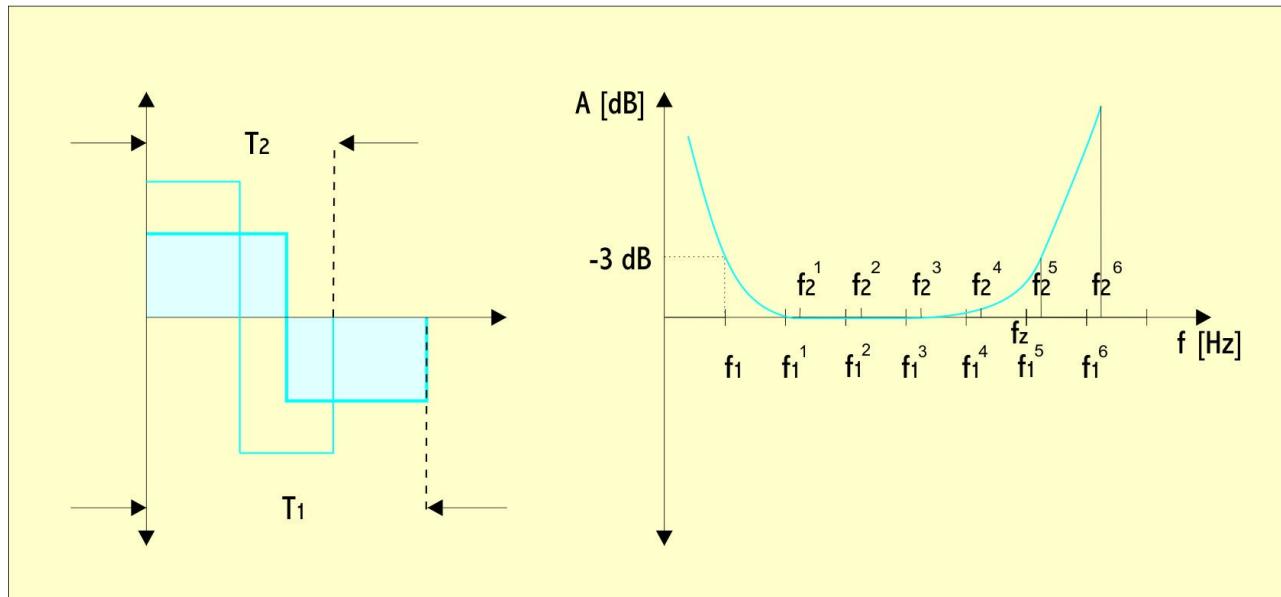


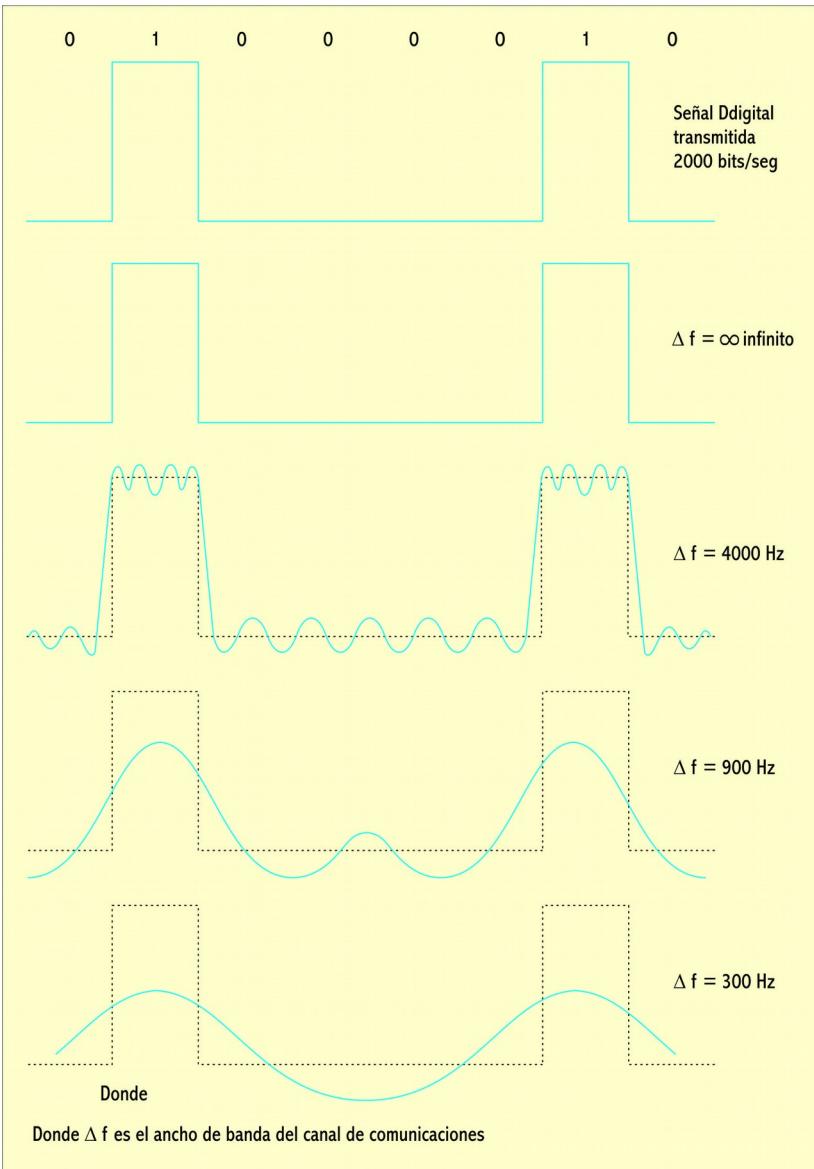
Representemos en un grafico las frecuencias de las armónicas de un caso y del otro.

Vemos que algunas armónicas antes entraban dentro del ancho de banda, pero cuando se aumentar la cantidad de información quedan fuera, estarán atenuadas por el canal de comunicaciones y su aporte a reconstituir la señal será despreciable.



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







Los filtros dejan pasar las frecuencias comprendidas dentro de una banda.

Si el ancho de banda fuese teóricamente infinito:

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

entonces:

- todas las armónicas de la señal pasarían sin atenuación
- la señal no sufriría deformación alguna.

En la práctica a medida que el ancho de banda se reduce, mayor es la deformación de la señal.



2.7.3 Capacidad de un canal de comunicaciones

La capacidad de un canal está vinculado con la cantidad de información generada en la fuente que puede atravesar el ancho de banda disponible.

El ancho de banda un intervalo de frecuencias se mide en *1/seg.*

Los canales analógicos se miden en hertz o sus múltiplos (kHz, MHz)

Los canales digitales se miden en bps o sus múltiplos (kbps, Mbps).



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

La ganancia de un amplificador en función de la frecuencia nunca es absolutamente constante.

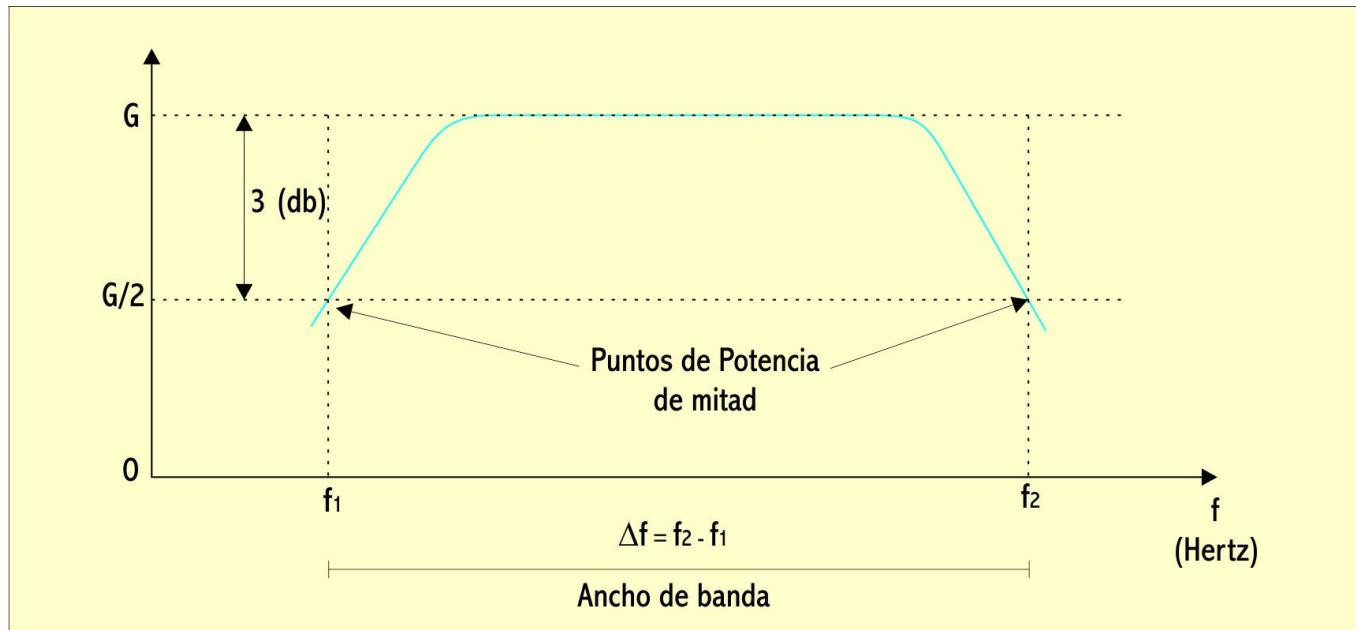
Esto se debe corregir.

Menor ganancia en un rango de frecuencias restará calidad a la señal porque la forma de onda en la salida será diferente de la que tenía cuando fue generada.



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 curva típica de ganancia de un amplificador en función de la frecuencia recibe el nombre de respuesta en frecuencia.





2.8 Señales en banda base

2.8.1 Definición

Son las que, generadas por una fuente de información, no sufren ningún proceso de modulación o tratamiento a su salida.

Se pueden codificar de distintas formas:

- códigos en banda base o códigos de línea
- dependen de las características de la transmisión



2.8.2 Señales unipolares, polares y bipolares

2.8.2.1 Señal unipolar

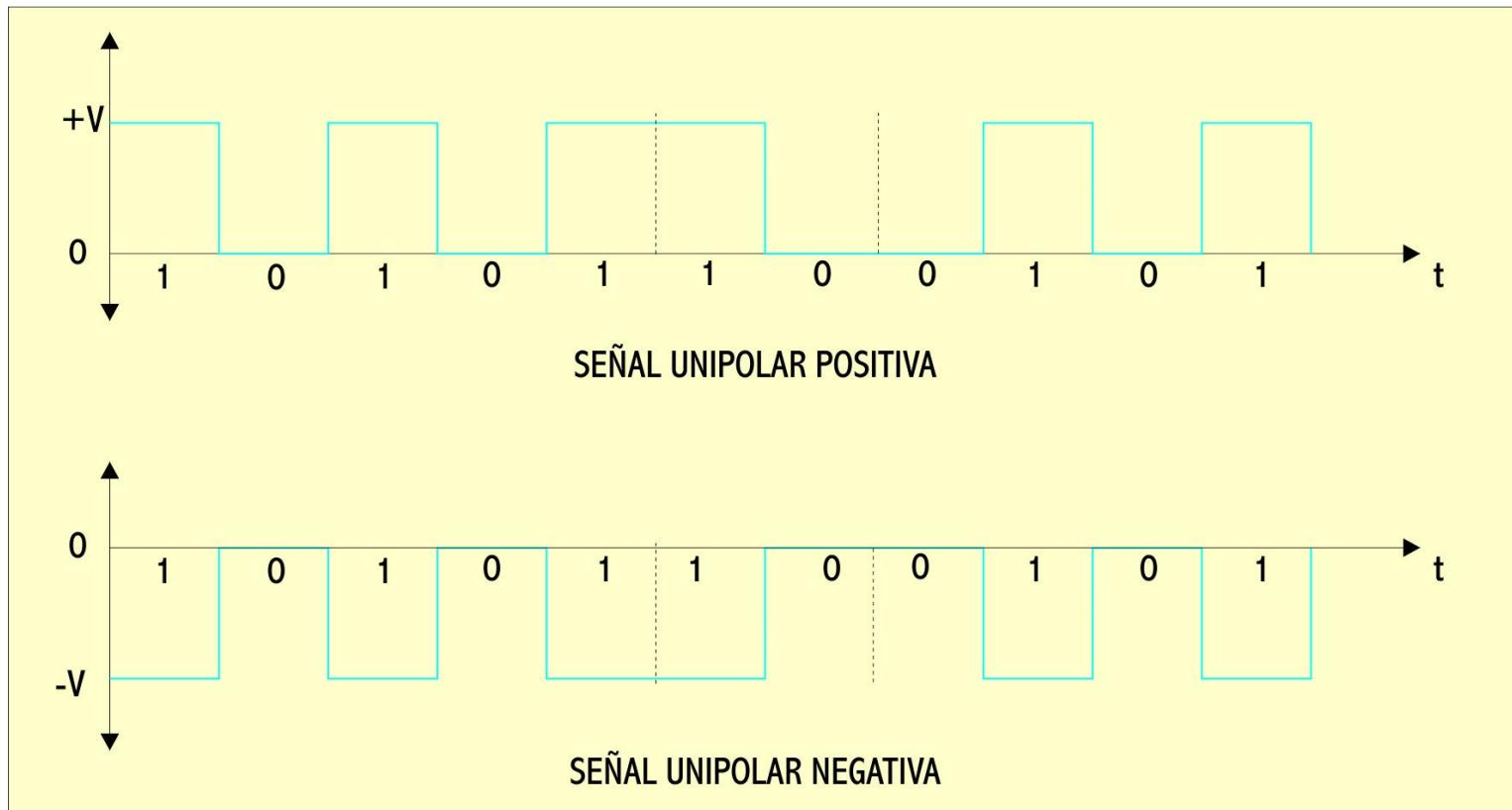
El valor que representa a un determinado dígito binario, sea éste un cero o un uno, toma siempre la misma polaridad, positiva o negativa, mientras que el otro dígito toma el valor cero.

Dependiendo de la polaridad, se tendrán señales unipolares positivas o negativas.

Se puede representar un 1 o un 0 por encendido o el apagado de una luz.



Señales unipolares positiva y negativa.



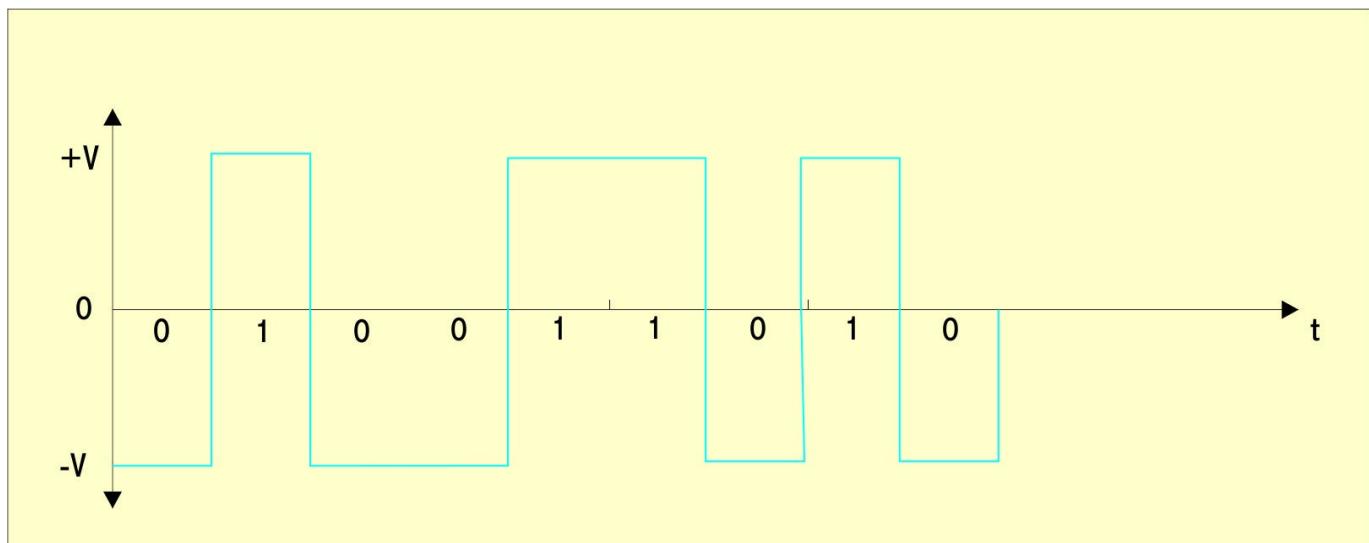


2.8.2.2 Señal polar

Los valores que representan a los dígitos binarios *1* y *0* se originan por la conmutación de la línea entre un valor positivo de tensión V_1 y el valor negativo de tensión $-V_1$.

Un valor binario cualquiera tendrá siempre una polaridad determinada, mientras que el otro binario presentará polaridad inversa.

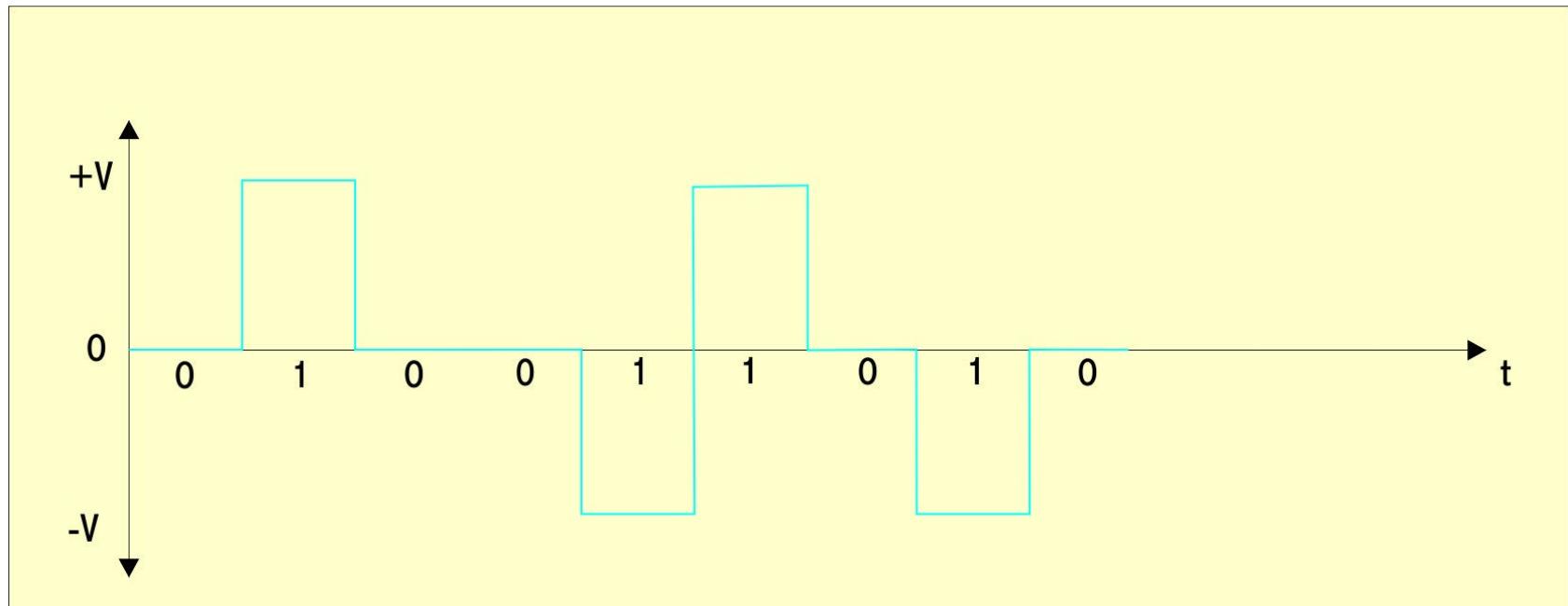
La señal en la línea nunca toma el valor cero.





2.8.2.3 Señal bipolar

Un determinado dígito va tomando valores alternados de polaridad, y el otro dígito adopta siempre el valor cero.





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 es frecuente:

- bajo costo de los equipos usados
- permite extender el alcance de las interfaces digitales.

La utilización de códigos de línea permite solucionar los siguientes aspectos técnicos:

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



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*):

- 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.

Es unipolar (ver 2.8.1.1) porque:

- el 1 toma siempre la misma polaridad (positiva o negativa)
- el 0 no tiene polaridad.

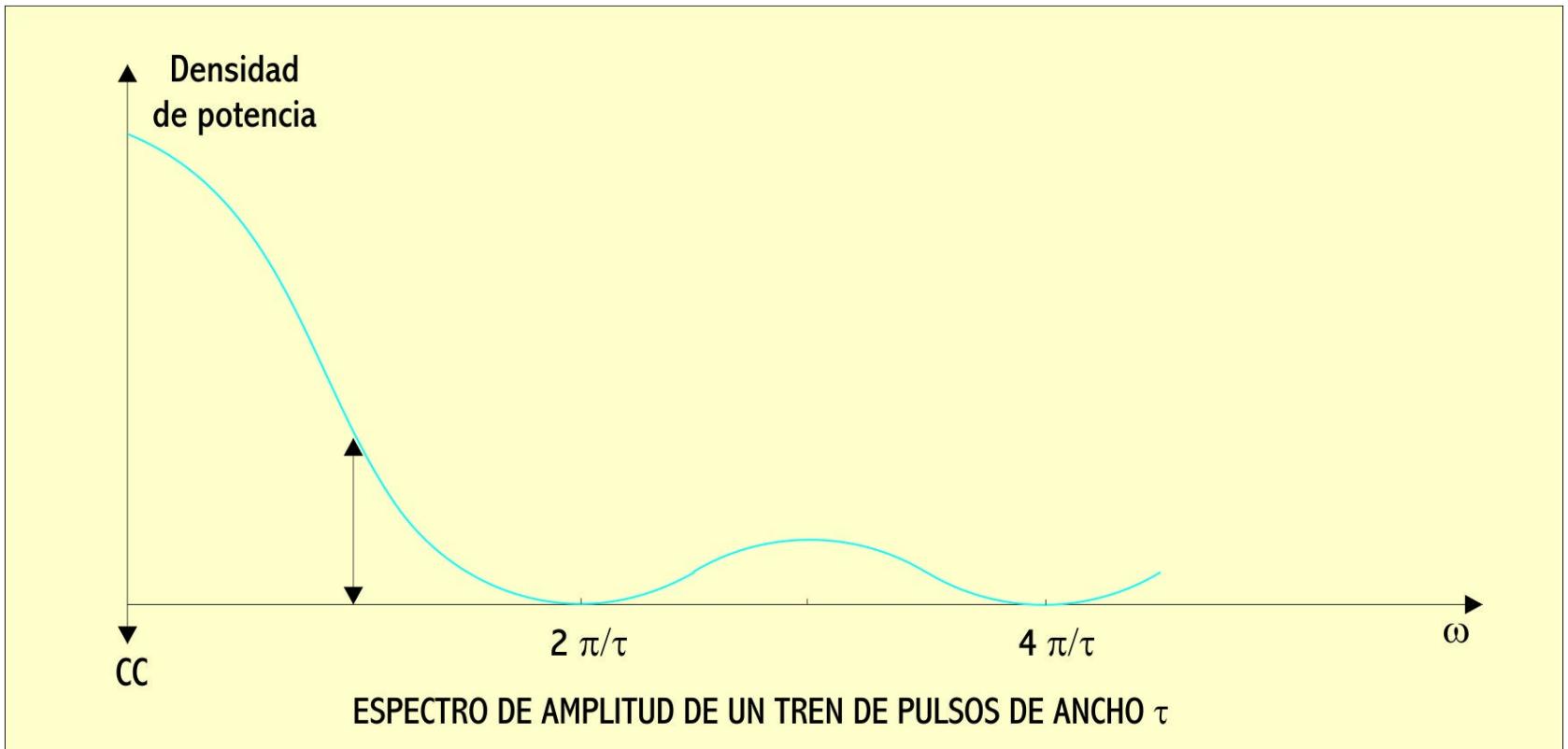
A este tipo de señal se la conoce también como señal ON/OFF.

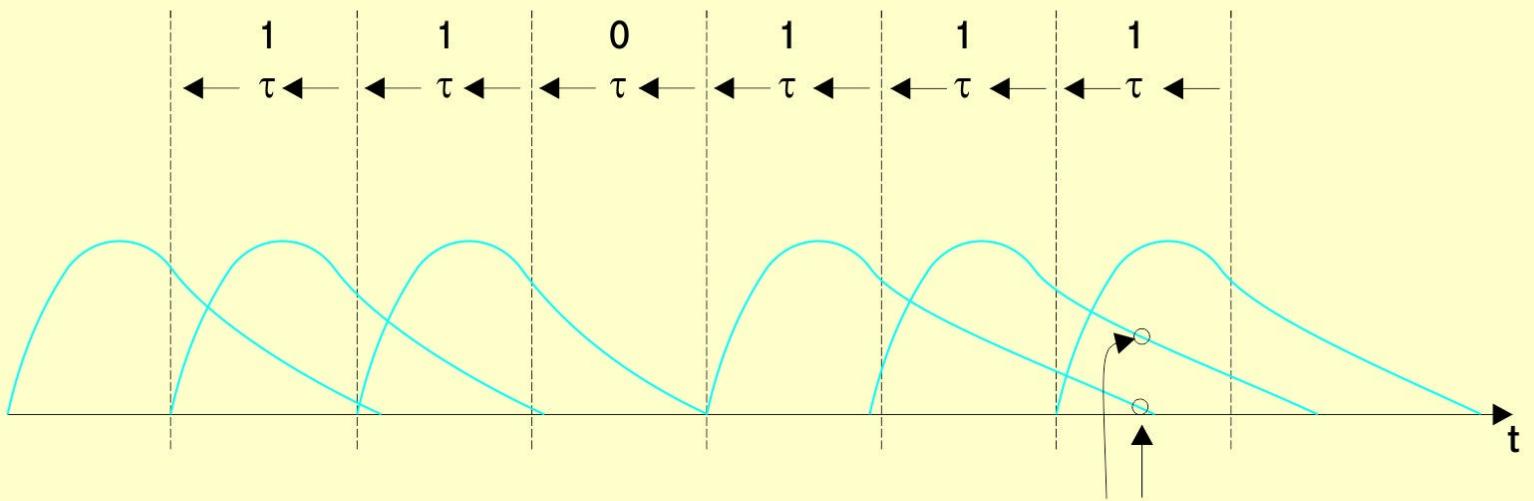


La señal ON/OFF en el dominio del tiempo no tiene suficientes transiciones para excitar un circuito recuperador de la señal de reloj. Los métodos de codificación en banda base adaptan la señal ON/OFF para las condiciones de la línea de transmisión. Actuando sobre la forma de la señal eléctrica que representa los bits, se consigue alterar convenientemente el espectro de potencia de la señal transmitida.



Espectro de amplitud de un tren de pulsos.







2.8.4. Clasificación de las señales en banda base

2.8.4.1 De acuerdo con el ancho de pulso

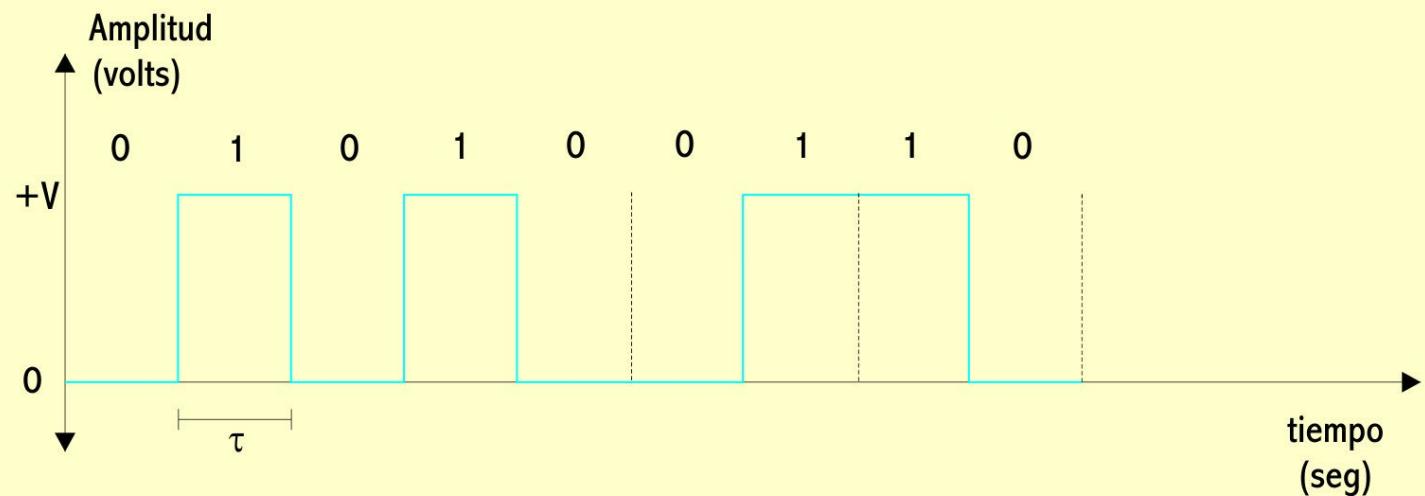
- Señales NRZ (no retorno a cero): los bits están representados por pulsos ocupan la totalidad del intervalo significativo ancho de pulso.

Intervalo significativo de una señal es el tiempo existente entre dos instantes significativos de ella en la línea.

- Señales RZ (retorno a cero): los bits se representan por pulsos ocupan una parte (la mitad) del intervalo significativo.



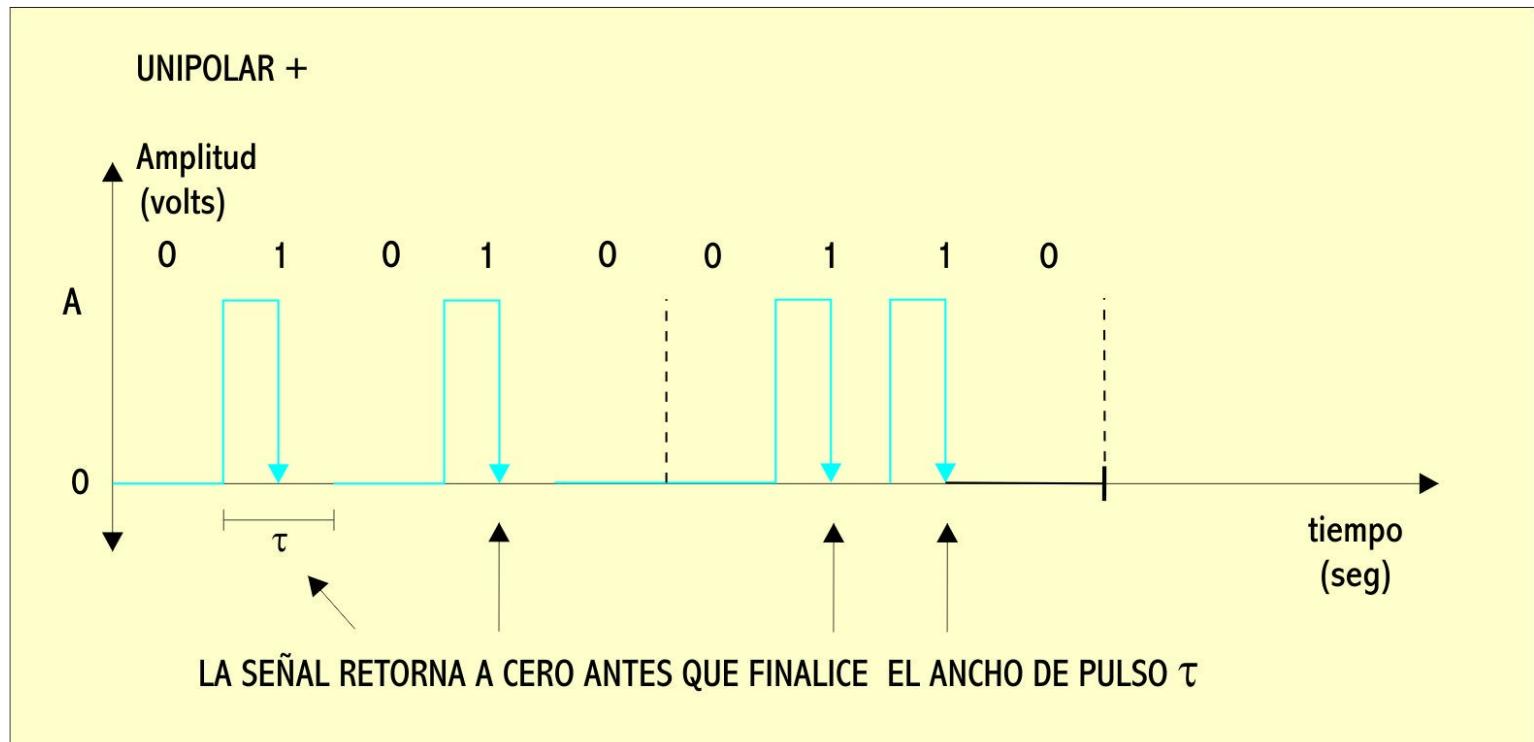
Señal NRZ



LA SEÑAL PERMANECE EN ESTADO ACTIVO (" $+V$ " VOLTS) O EN ESTADO PASIVO ("0" VOLTS)
DURANTE TODO EL ANCHO DE PULSO τ



Señal RZ





2.8.4.2 Según la polaridad

Unipolares

Las señales tienen dos niveles, uno de los cuales es cero.

Combinaciones:

0 y nivel +: unipolar positiva

0 y nivel -: unipolar negativa



Polar

Son códigos cuyas señales tienen dos niveles de diferente polaridad: $[+]$ y $[-]$.

Codificación polar utiliza el nivel cero para representar el cero $[0]$ lógico y polaridad alternativa $[+]$ y $[-]$, al uno $[1]$ lógico.

Bipolar

Los códigos tienen para las señales tres niveles de amplitud:

$[+]$, $[0]$ y $[-]$.



2.8.5 Códigos usados para señales en banda base

2.8.5.1 Conceptos generales

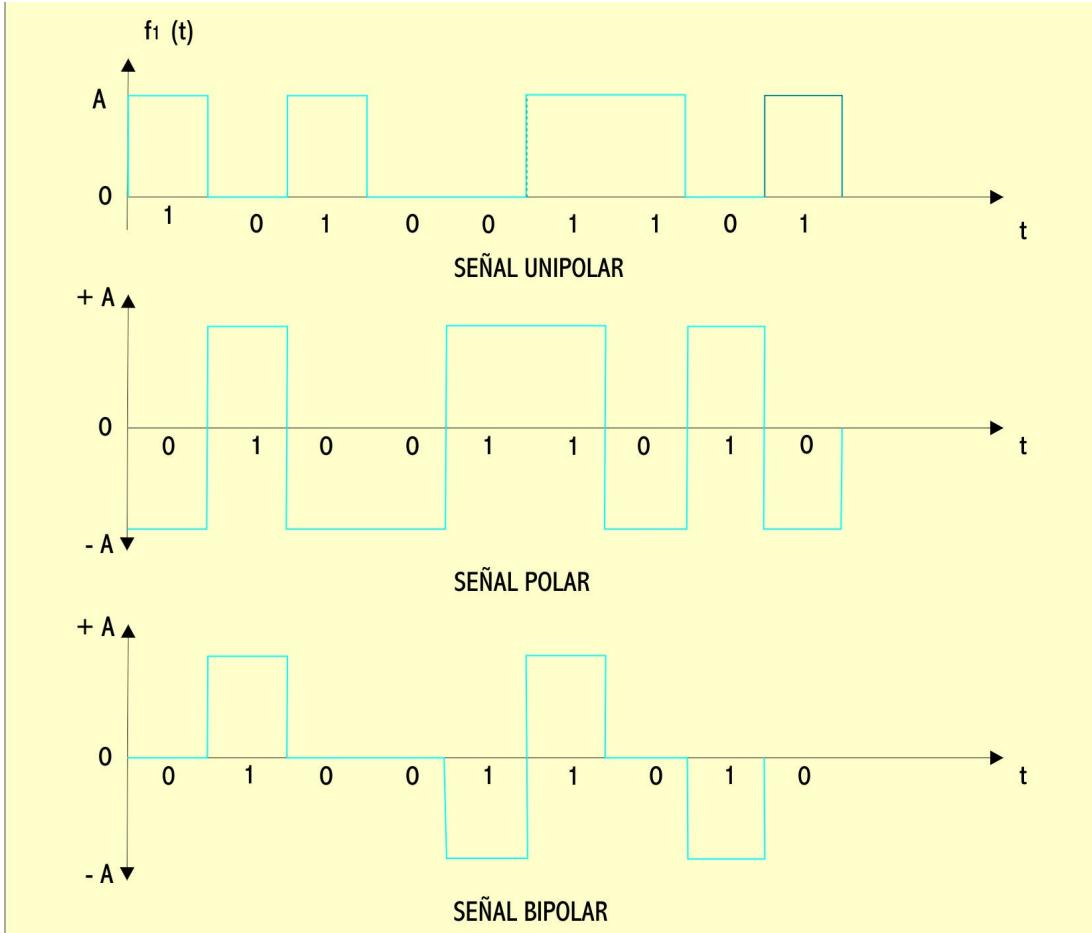
Las señales en banda base se codifican mediante la representación de los símbolos digitales, ceros o unos, en señales eléctricas equivalentes.

Los códigos más usuales son señalados en:

- ⇒ 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).



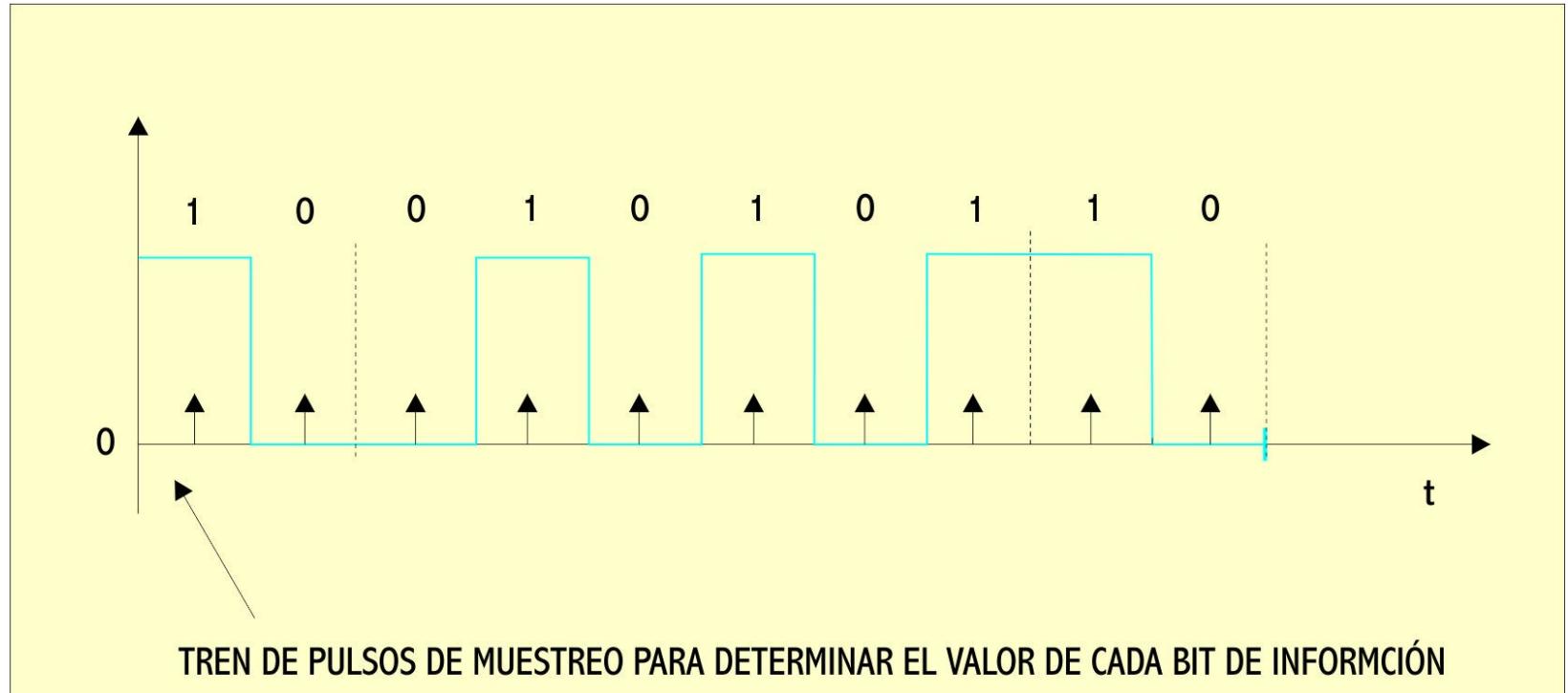
2.8.5.2 Sin retorno a cero (NRZ)





2.8.5.3 Polar sin retorno a cero (NRZ)

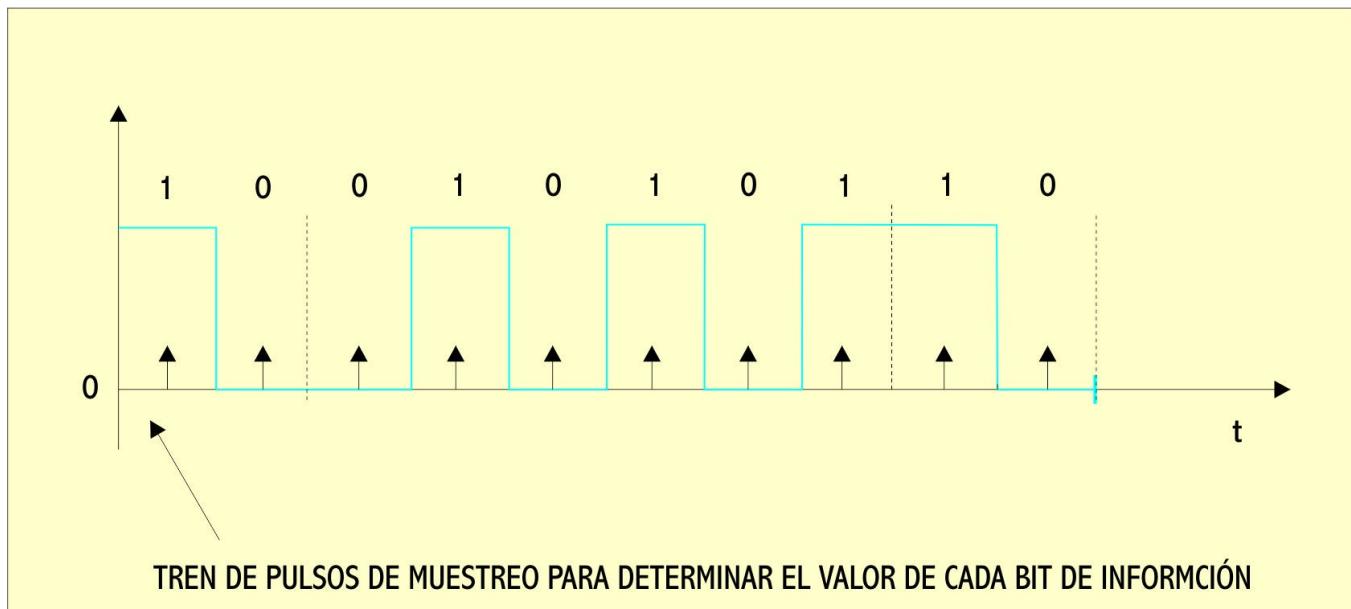
Se asigna polaridad positiva a los unos y negativa a los ceros.





Una corriente continua positiva y otra negativa determinan el estado de cada bit, durante todo el intervalo significativo.

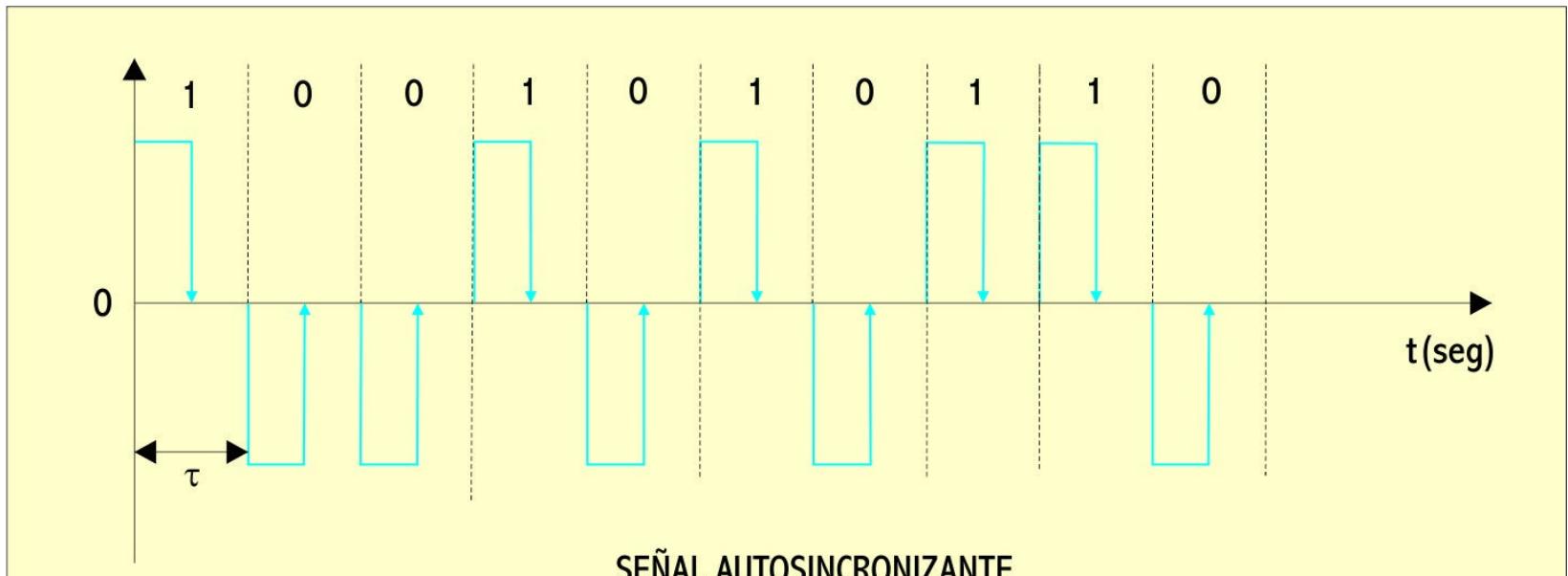
Si bien se pierde el sincronismo, se requiere menor ancho de banda, (los pulsos son más anchos que en señales polares con retorno a cero).





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.

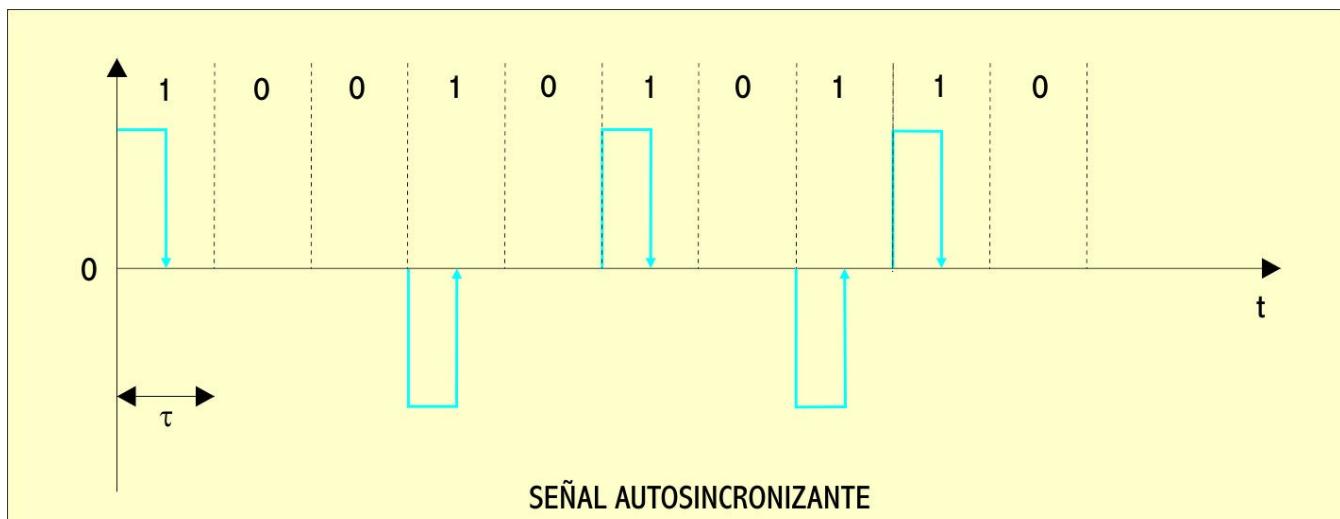




2.8.5.5 Bipolar con retorno a cero

Se utiliza la bipolaridad solamente en forma alternada y para cuando se transmiten unos.

Se disminuye el ancho de los pulsos debido al retorno a cero de la señal antes de finalizado el intervalo significativo.

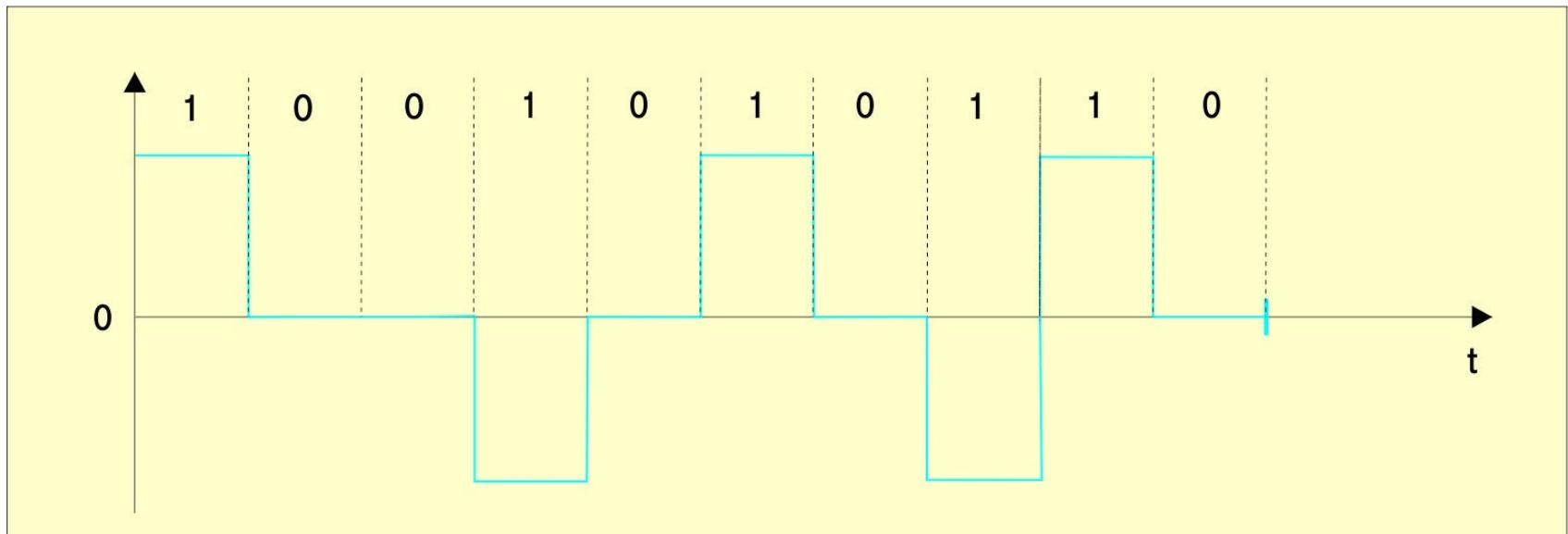




2.8.5.6 Bipolar sin retorno a cero

Código AMI: utiliza pulsos de mayor duración que los bipolares con retorno a cero

Requiere menor ancho de banda.





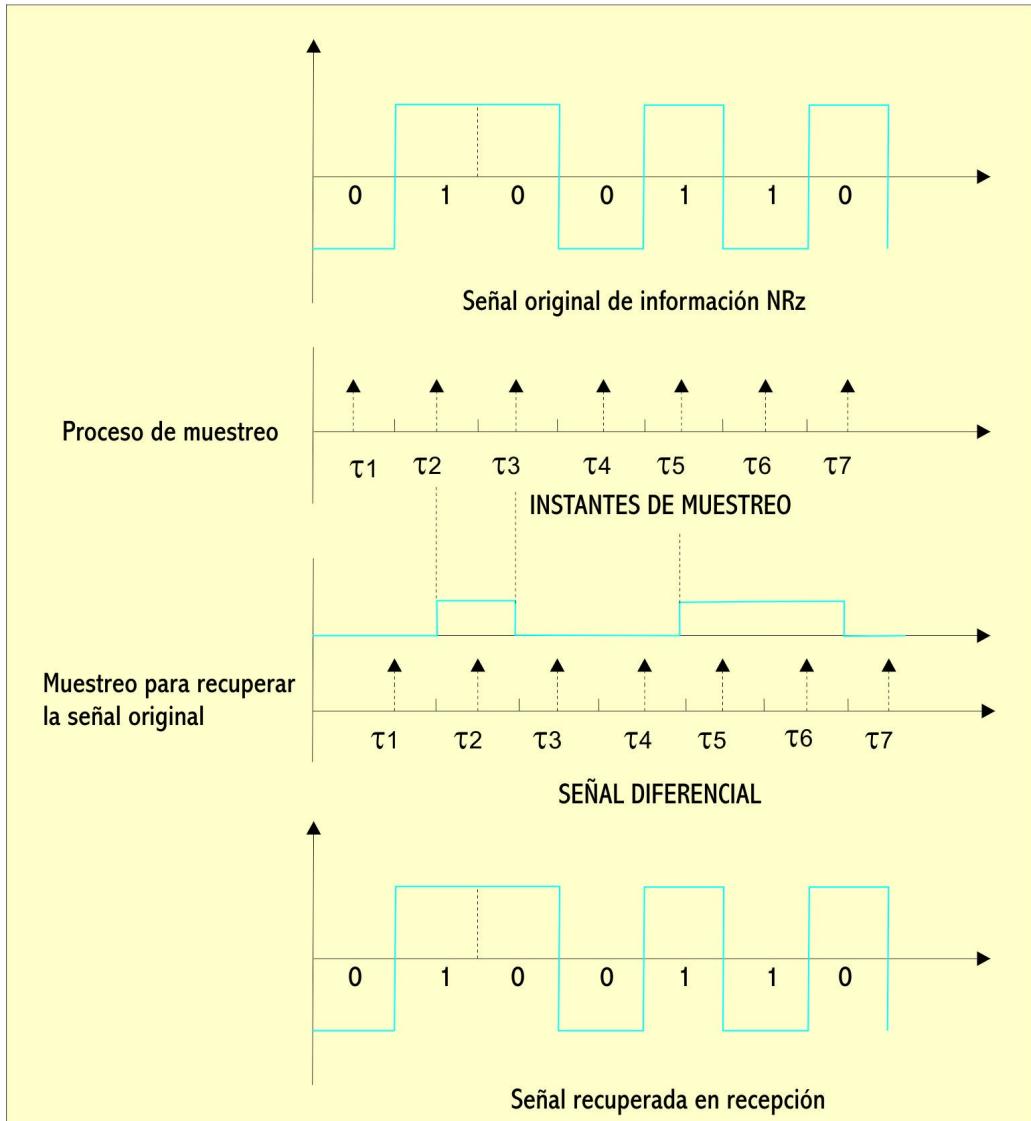
2.8.5.7 Codificación diferencial

Dos etapas:

- La primera forma una señal diferencial a ser transmitida.
- La segunda ocurre en el receptor para volver a armar la señal.

Procedimiento:

- Una señal original polar, del tipo NRZ, debe ser muestreada.
- En el instante del muestreo en que se detecta un *I*, 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 *I*; caso contrario es un *0*.
- Ejemplo: entre los estados *t3* y *t4* no existe transición alguna, es un *0*.





2.8.5.8 Código Manchester

- un bit uno es una transición positiva en la mitad del intervalo significativo
- un bit cero es una transición negativa en la misma ubicación.

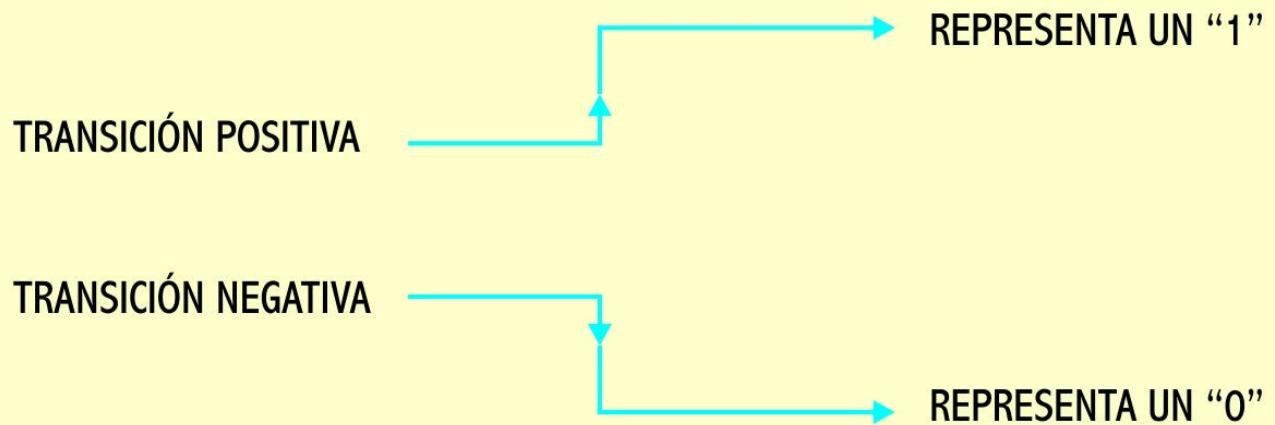
No se utiliza la diferencia de valor de los niveles para representar los bits.

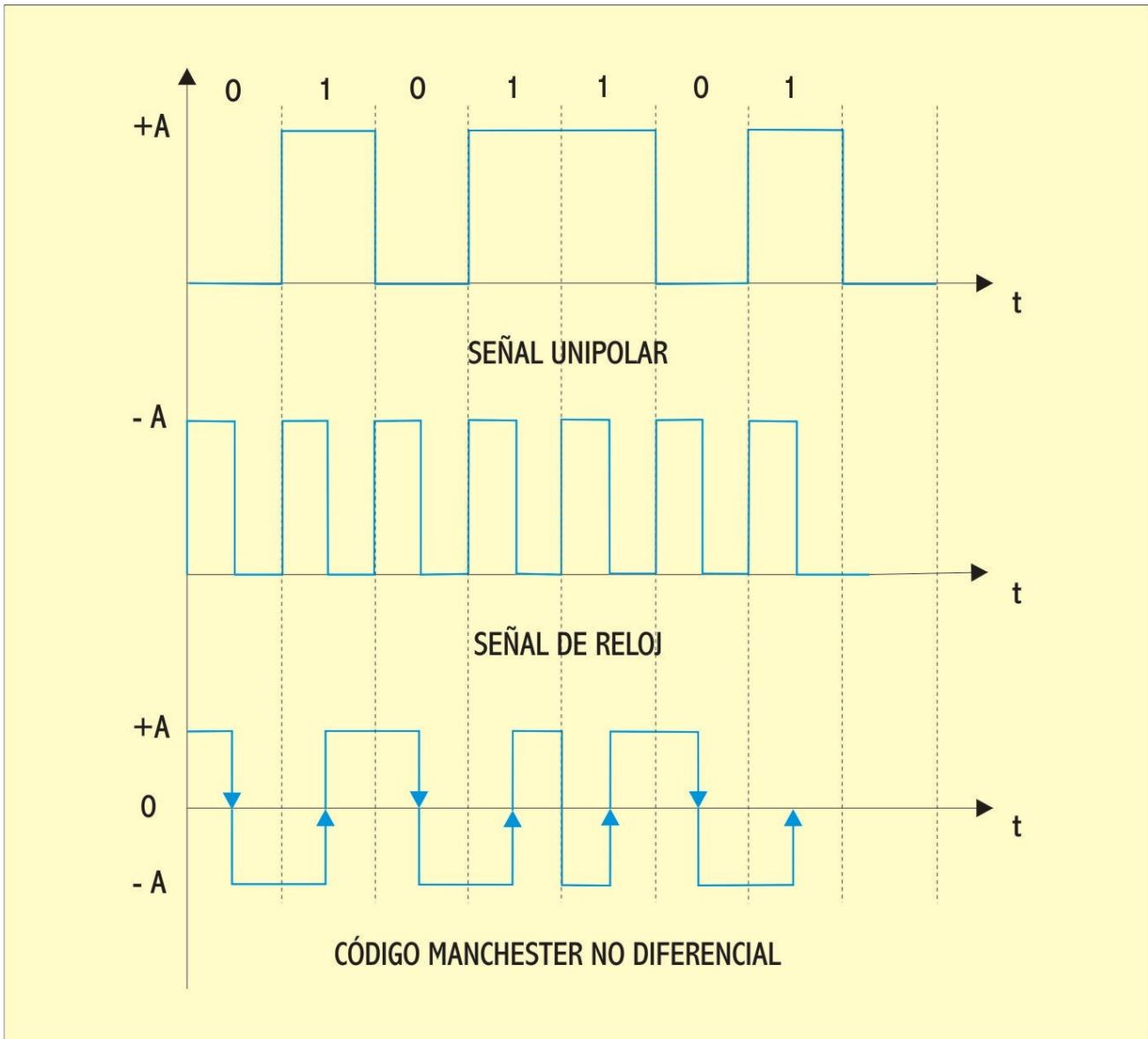
Se emplean las fases positivas y negativas de los pulsos, denominadas transiciones.

Posibilita una transición de por lo menos una por bit, simplificando el problema de la recuperación de la señal de reloj.



Código Manchester: Representación de unos y ceros

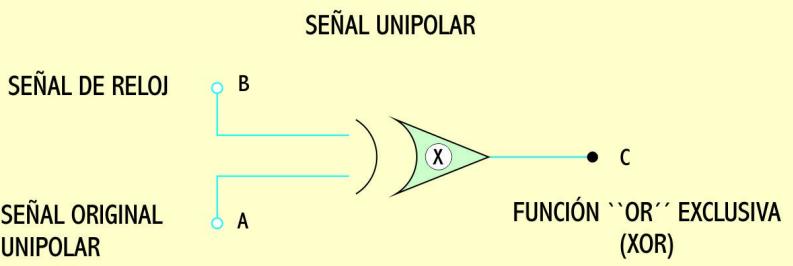






2.8.5.9 Código Manchester diferencial BIFASE

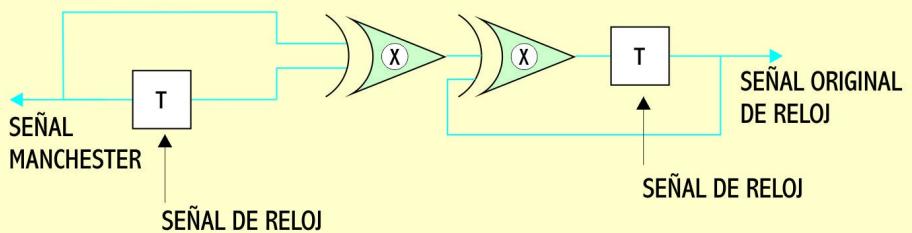
- para la transmisión de un cero se efectúa una transición negativa en la mitad del intervalo significativo
- para el envío de un uno, no se efectúa ninguna transición en la mitad del intervalo; pero si al comienzo de él.
- si el siguiente bit es un cero no se altera la polaridad con la que se lo representa.



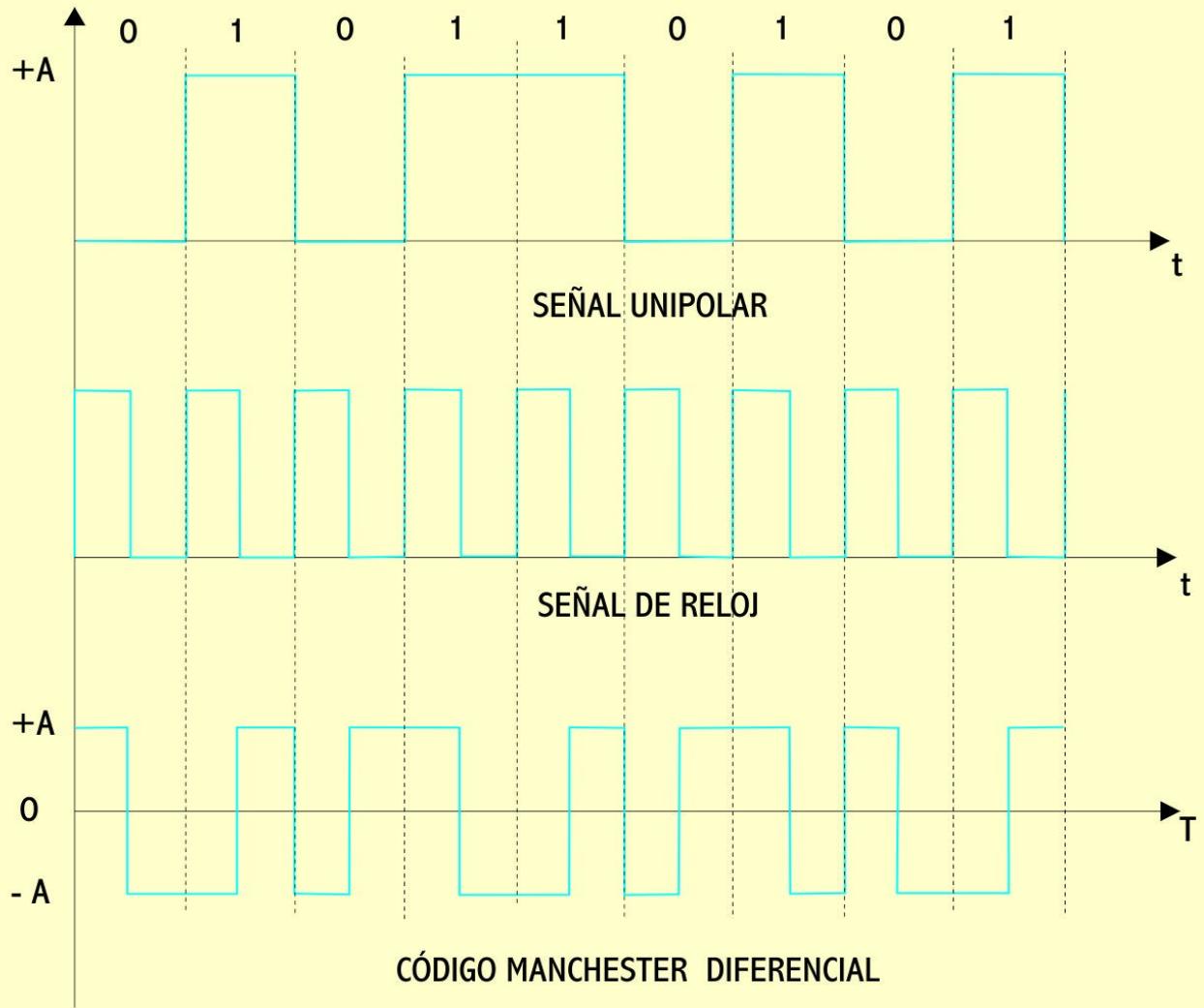
CODIFICADOR MANCHESTER

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

CODIFICADOR MANCHESTER



T = CIRCUITO DE RETARDO INTRODUCIDO DE VALOR IGUAL AL ANCHO DE PULSO τ

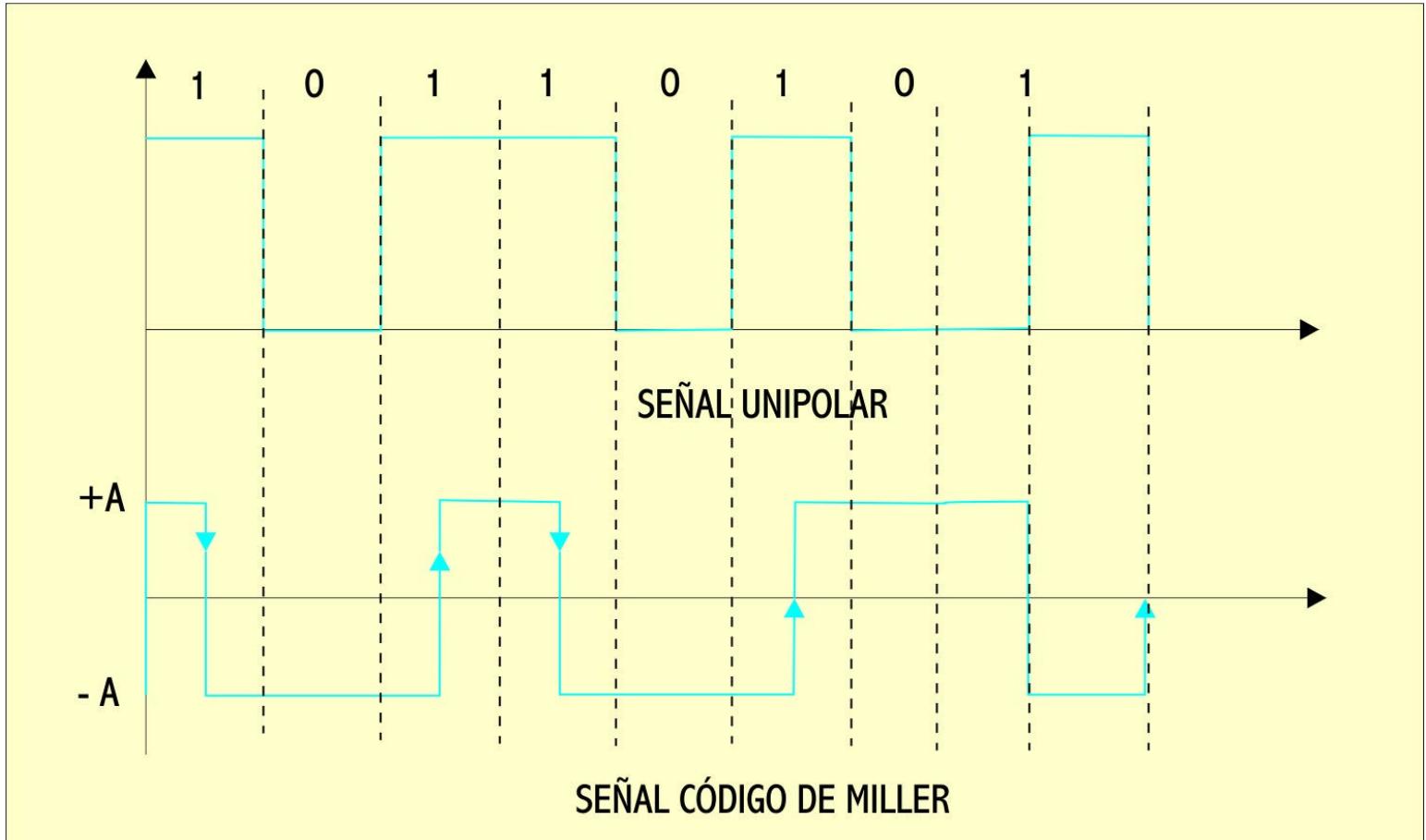




2.8.5.10 Código MILLER

Para un uno emplea una transición en la mitad del intervalo significativo.

La implementación del codificador y decodificador de Miller (modulador por retardo de fase) es más sencillo que el de Manchester.





2.8.5.11 Código HDB-3

El HDB-3 se basa en el denominado código AMI.

Es un código bipolar sin retorno a cero con tres niveles $[+]$, $[-]$ y $[0]$ para representar la información binaria.

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

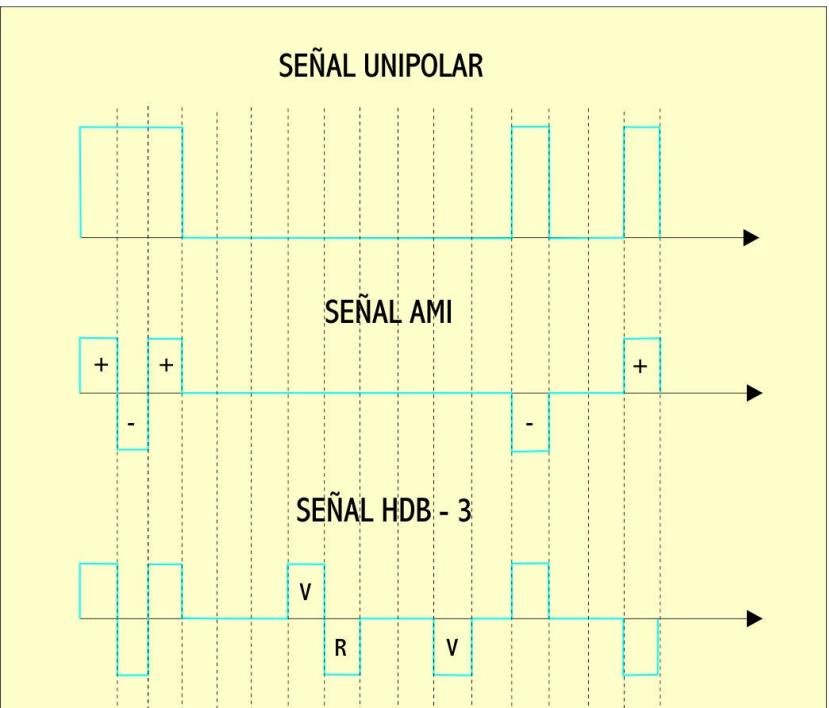
No posee componente de continua, ni bajas frecuencias.

Cuando aparece una larga secuencia de ceros se pierde la posibilidad de recuperar la señal de reloj.



Cuando hay cuatro ceros se reemplaza la secuencia por otra (000V ó R00V) que depende de la historia

$V = 1$ se denomina violación
R (relleno) siempre tiene igual polaridad que V





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.



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	+ 1 0 +1
1101	+1 +10
1110	+1 +1 -1
1111	+1 +1 +1



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

El código HDB-3 se emplea hasta 34 Mbps sobre cables de cobre.

Para 140 Mbps sobre cable coaxial, se emplean otros códigos como el 4B - 3T - 4 binario a 3 ternario.

Se reduce la transmisión de 4 bits a 3 niveles, lo que reduce el ancho de banda necesario en un 25%.

Es un código ternario, dado que reduce 4 bits a 3 bits, mediante el empleo de tres niveles.



2.8.6 Códigos normalizados por el UIT-T

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

En los sistemas de comunicaciones surge la necesidad de transmitir señales que contengan un determinado intervalo de frecuencias, mientras que otras deben eliminarse.

Esta función es ejecutada por los filtros.

Muchos medios de transmisión presentan para las señales que por ellos se transmiten características similares a los filtros.



2.9.2 Definición

Son circuitos, sistemas o parte de redes de comunicaciones que presentan características selectivas respecto de las frecuencias.

- la attenuación es variable con la frecuencia
- permite discriminar las señales que pasarán libremente y las que quedarán suprimidas.



2.9.3 Clasificación de los filtros

2.9.3.1 Generalidades

Estos dispositivos se clasifican en:

- pasa bajos
- pasa altos
- pasa banda
- suprime banda



SÍMBOLO	FILTRO DENOMINACIÓN	RESPUESTA EN FRECUENCIA
	Pasa Bajos	<p>Filtro real ∞ Filtro ideal</p>
	Pasa Altos	<p>∞ Fci</p>
	Pasa Banda	<p>∞ ∞ Fci Fcs Δf</p>
	Suprime Banda	<p>∞ ∞ Fci Fcs Δf</p>

Δf = Ancho de banda del filtro
 F_{ci} y F_{cs} = Frecuencia de corte inferior y superior

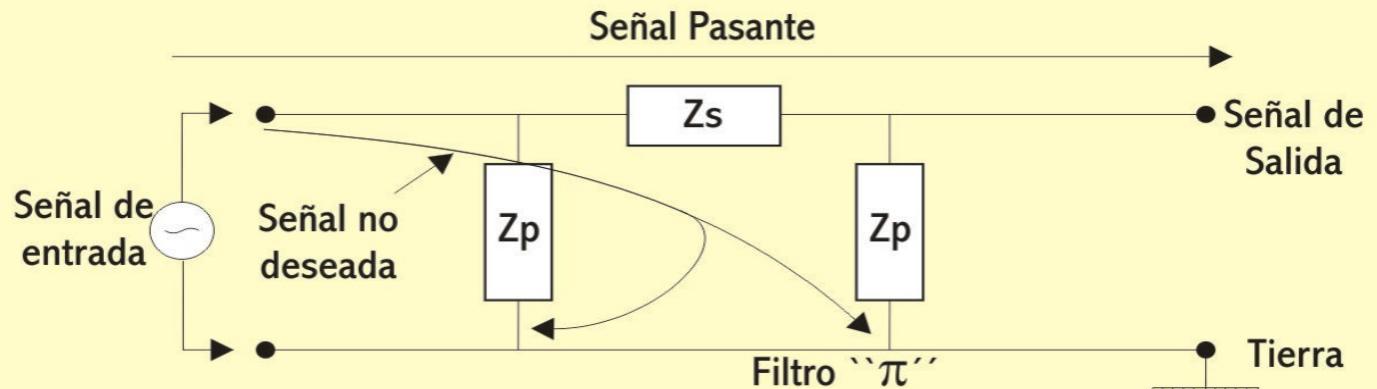
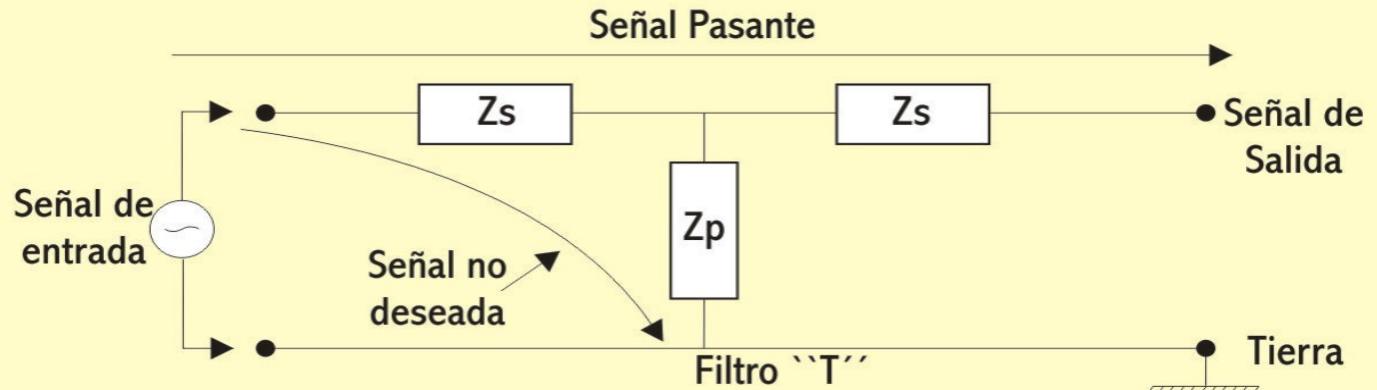


2.9.4 Diseño de filtros

2.9.4.1 Filtros de bobina y condensador

La transmisión de una frecuencia no deseada a través de una red puede evitarse:

- conectando en serie una impedancia de valor alto
- instalando en paralelo una impedancia de bajo valor que derive esa frecuencia a tierra

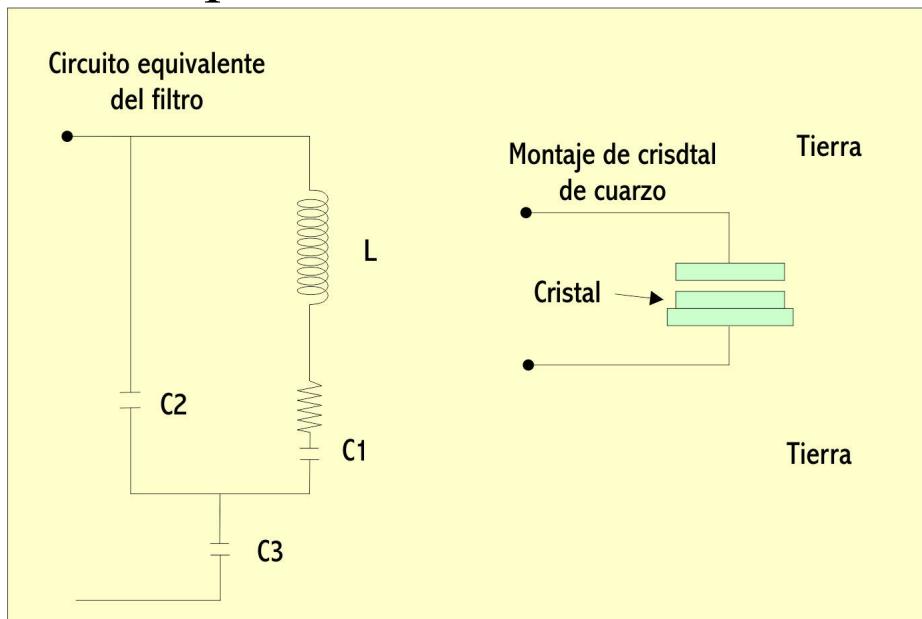




2.9.4.2 Filtros de cristal

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

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 (las resistencias, bobinas y capacitores son elementos pasivos).

