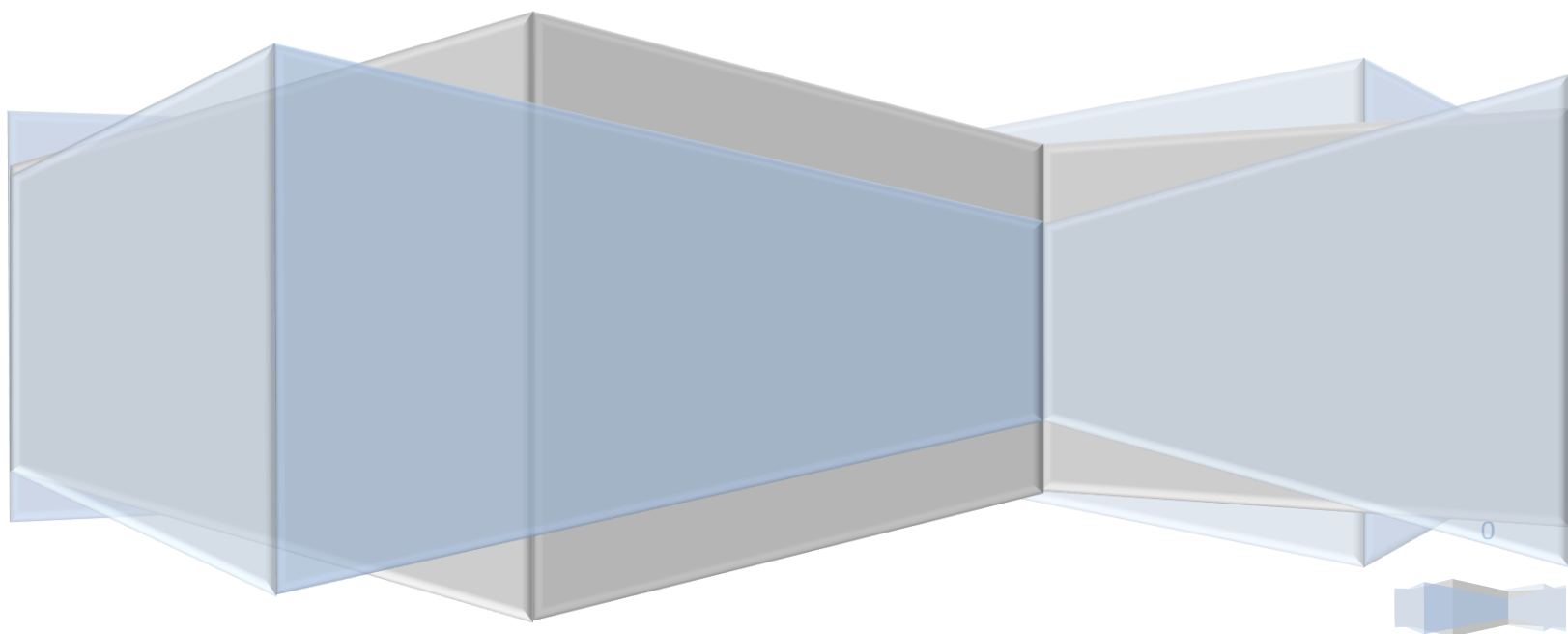


# Procesamiento de señales

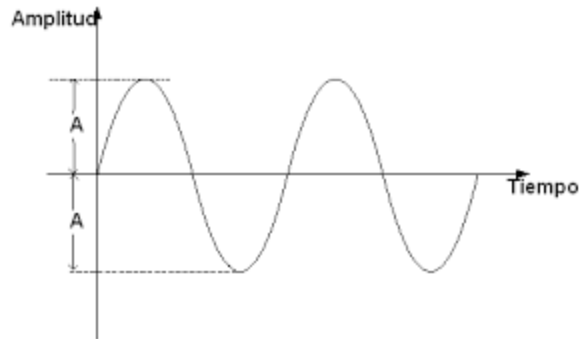
Universidad Nacional de La Matanza

Ing. Anibal Pose



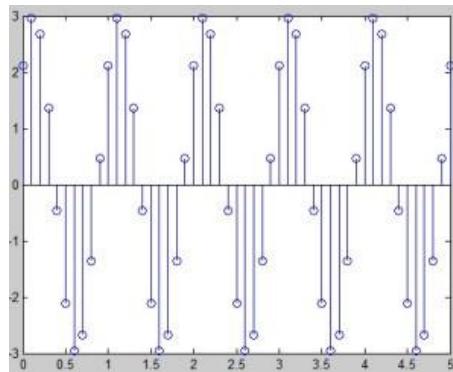
## Señales de Tiempo Continuo

Son aquellas en las cuales su dominio puede expresarse en base al conjunto de los números reales, es decir ésta está especificada para cada valor real de tiempo  $t$ .



## Señales de Tiempo Discreto

Son aquellas en las cuales su dominio está especificado para ciertos valores finitos del tiempo.



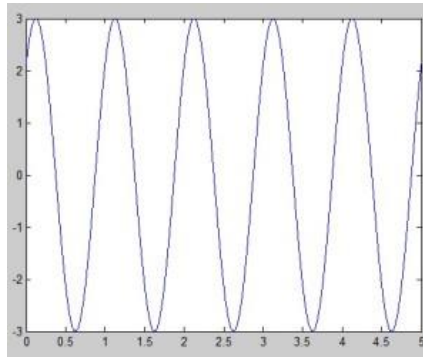
En la imagen presentada se puede observar claramente que el dominio del tiempo es discreto, ya que contiene un conjunto finito de valores. Estas señales son utilizadas cuando estas muestreando una señal analógica a través de un conversor analógico / digital ADC.

Por otro lado, también se tienen señales que hacen referencia a su amplitud.

## Señales Analógicas

Son aquellas en las cuales su amplitud puede tomar diferentes valores infinitos dentro de un intervalo de tiempo.

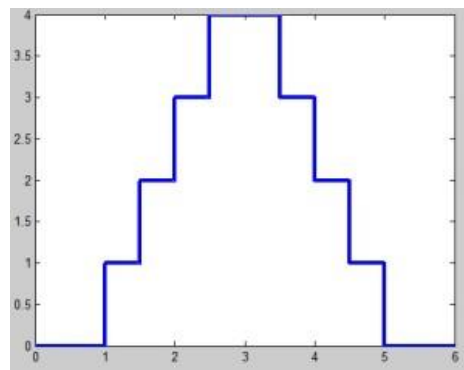




Como se ve en esta imagen la señal analógica se asemeja a una señal de tiempo continuo. Esto es debido a que las señales de tiempo continuo hacen referencia al intervalo de tiempo, mientras que las analógicas hacen referencia al intervalo de amplitud. Por eso la similitud.

## Señales Digitales

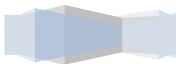
Son aquellas en las cuales su amplitud sólo puede tomar ciertos valores finitos dentro de un intervalo de tiempo.



En la se puede observar una señal digital. En donde ahora en vez de tener un intervalo infinito de valores como en la señal analógica, ésta posee cierto grupo de valores. Un ejemplo de este tipo de señales es una señal PAM (Pulse Amplitud Modulation) (que más adelante será visto con mayor detalle).

Para definir estos conceptos, fueron usadas señales que dependen únicamente del tiempo, sin embargo toma en cuenta que en la vida real generalmente se tienen señales que no sólo dependen del tiempo sino también del espacio, o en vez de depender del tiempo pueden depender de voltajes, o corrientes.

En base a lo escrito, se puede inducir que las señales de tiempo continuo y discreto determinan la naturaleza de la señal a lo largo del tiempo, mientras que las señales analógicas y digitales clasifican la naturaleza de amplitud de señal.



## Señales Periódicas

Una señal es periódica si completa un patrón dentro de un marco de tiempo medible, denominado periodo, y repite ese patrón en periodos idénticos subsecuentes. Cuando se completa un patrón completo, se dice que se ha completado un ciclo.

El periodo se define como la cantidad de tiempo (expresado en segundos) necesarios para completar un ciclo completo. La duración de un periodo, puede ser diferente para cada señal, pero es constante para una determinada señal periódica. Las señales reguladas por las funciones trigonométricas son de este tipo. En cada instante de tiempo se puede establecer el valor de la señal y su magnitud. Tales señales tienen tres características básicas que son: Amplitud, Período y Fase.

Una señal aperiódica, o no periódica, cambia constantemente sin exhibir ningún patrón o ciclo que se repita en el tiempo. Sin embargo, se ha demostrado mediante una técnica denominada transformada de Fourier, que cualquier señal aperiódica puede ser descompuesta en un número infinito de señales periódicas.

Las señales aperiódicas pueden ser:

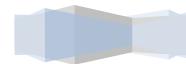
Estrictamente limitadas en el tiempo: Son aquellas señales que por sí mismas tienen un nacimiento y un final. Por ejemplo, un impulso eléctrico.

Asintóticamente limitadas en el tiempo: Son aquellas que producto de ser racionales y como resultado de una división, en ciertos puntos, tienden a infinito.

## Frecuencia y período

Consideremos la figura 5, en ella aparece la representación gráfica de una onda sencilla, usualmente se representa así a la variación de determinada magnitud con el paso del tiempo (podría ser la tensión en un circuito eléctrico, la presión del aire frente a un parlante o la posición de un péndulo).

Si observamos los momentos A y B, veremos que en ellos la onda tiene la misma altura, es decir, que tiene el mismo valor (en rigor deberíamos decir que “pasa” por el mismo valor), cada vez que una onda pasa por los mismos valores decimos que completa un CICLO (es importante aclarar que, aunque en la figura se han marcado los dos instantes en que la onda pasa por sus valores máximos, podrían haberse elegido cualquier par de puntos que cumplieran con la misma condición de pasar por el mismo valor).



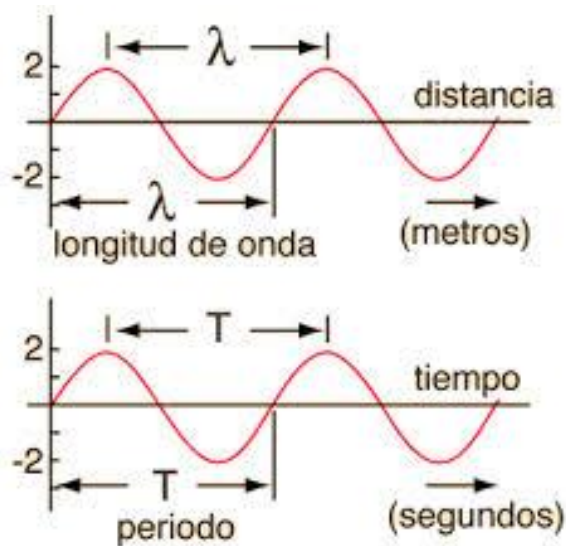


Figura 5

El tiempo que la onda demora en completar un ciclo se denomina PERIODO y suele indicarse con la letra T, este se mide usualmente en segundos aunque de ser necesario se pueden utilizar unidades más pequeñas como milisegundos (ms) o microsegundos (μs) o, en variaciones muy lentas, unidades mayores como la hora o el día (la luna completa un giro alrededor de la tierra en unos 28 días, si bien no es estrictamente hablando una onda, es un movimiento periódico y se aplican a él los mismos conceptos).

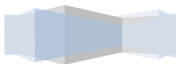
Por otra parte, la FRECUENCIA, que suele especificarse con F, es un parámetro estrechamente relacionado con el periodo en tanto que establece la cantidad de ciclos que se completan en una unidad de tiempo (nuevamente, la unidad de tiempo es el segundo aunque pueden usarse otras), supongamos, por ejemplo, que una onda tiene un período  $T=0,1$  segundos, entonces completará 10 ciclos en 1 segundo, por lo tanto la frecuencia será  $F=10$  cps (ciclos por segundo), alternatively, en algunos textos se usa como unidad de frecuencia el Hertz (Hz), por lo que en nuestro ejemplo podríamos decir que  $F=10\text{Hz}$ .

Puede verificarse con facilidad que la relación entre F y T es la siguiente:

$$F = \frac{1}{T} \quad ; \quad T = \frac{1}{F}$$

Por otra parte la Longitud de onda queda expresada de la siguiente forma:

$$\lambda = cf = c \cdot T \quad \text{Siendo } C \text{ la velocidad de la luz (300000 km/ Seg) y } f \text{ la frecuencia.}$$



## Velocidad y Longitud de Onda

Existen ciertas ondas, como las de sonido y las de luz, que se desplazan. En ellas aparecen puntos en su recorrido en que la onda pasa por el mismo valor, así como antes esos puntos determinaban un período, cuando la onda se mueve la distancia entre estos puntos establece la LONGITUD DE ONDA, que suele indicarse con la letra  $\lambda$  (Lambda), con esto en mente es simple comprender que, sabiendo cuantos ciclos cumple la onda en una unidad de tiempo (F) y conociendo la distancia recorrida en cada ciclo (l), podemos conocer la VELOCIDAD de la onda que se resume en la siguiente igualdad:  $V = l \cdot F$

## Valores Máximos y Mínimos

Una simple inspección de la gráfica de la forma de onda deja ver que a lo largo de un ciclo pasa por algunos valores extremos, el valor máximo que alcanza la señal se denomina habitualmente VALOR PICO (VP) o AMPLITUD, en esta onda en particular, también toma un valor mínimo que resulta ser igual que VP, aunque en ocasiones ambos valores son diferentes y se los denomina respectivamente valor pico positivo y valor pico negativo. La diferencia entre ambos valores pico se denomina VALOR PICO A PICO (VPAP).

## Otros valores

Existen también otros parámetros que se utilizan para caracterizar a las ondas, entre ellos podemos mencionar el valor eficaz, el valor medio y fase.

## Valor medio y eficaz

### Valor medio

Se llama **valor medio** de una tensión (o corriente) alterna **a la media aritmética** de todos los valores instantáneos de tensión (o corriente), medidos en un cierto intervalo de tiempo. En una corriente alterna sinusoidal, el valor medio durante un período es nulo: en efecto, los valores positivos se compensan con los negativos.

En cambio, durante medio periodo, el valor medio es:

$$V_m = \frac{2 V_0}{\pi}$$

Siendo  $V_0$  el valor máximo.

### Valor eficaz

Se llama valor eficaz de una corriente alterna, al valor que tendría una corriente continua que produjera la misma potencia que dicha corriente alterna, al aplicarla sobre una misma resistencia.



Es decir, se conoce el valor máximo de una corriente alterna ( $I_0$ ).

Se aplica ésta sobre una cierta resistencia y se mide la potencia producida sobre ella.

A continuación, se busca un valor de corriente continua que produzca la misma potencia sobre esa misma resistencia. A este último valor, se le llama valor eficaz de la primera corriente (la alterna).

Para una señal sinusoidal, el valor eficaz de la tensión es:

$$V_{er} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

y del mismo modo para la corriente

$$I_{er} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

la potencia eficaz resultará ser:

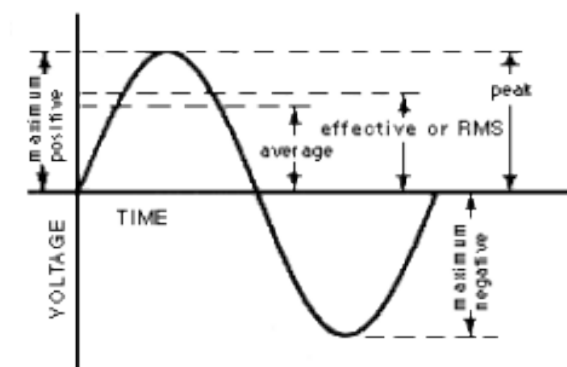
$$P_{er} = V_{er} \cdot I_{er} = \frac{V_0 \cdot I_0}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{V_0 \cdot I_0}{2}$$

Es decir que es la mitad de la potencia máxima (o potencia de pico)

La tensión o la potencia eficaz, se nombran muchas veces por las letras RMS.

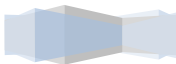
O sea, el decir 10 VRMS ó 15 WRMS significarán 10 voltios eficaces ó 15 wats eficaces, respectivamente.

Ejemplos de distintos valores sobre una señal pueden observarse en la siguiente imagen:



## Forma de Onda

La frecuencia o la longitud de onda de una señal luminosa o de sonido son uno de los parámetros que determinarán el modo en que percibiremos dicha señal, por ejemplo, percibimos los sonidos de mayor frecuencia como más agudos y los de menor frecuencia como más graves, es esta frecuencia la que establece el tono de una nota, así el LA central en un piano tiene una frecuencia de 440cps. Sin embargo, sabemos por experiencia que



cuando escuchamos una nota en un piano y en un violín, aunque esta nota sea la misma (igual frecuencia) sus sonidos son diferentes y podemos indicar de qué instrumento proviene. ¿A qué se debe esa diferencia? La forma de la onda establece lo que comúnmente se conoce como timbre el cual es responsable de que seamos capaces de diferenciar ambos sonidos.

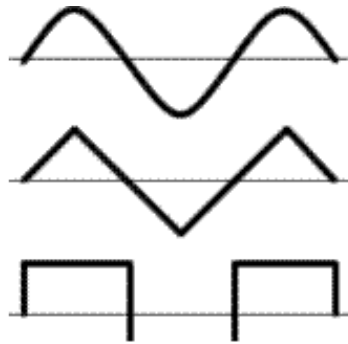


Figura 7

En la figura 7 podemos ver tres formas de onda, la de más arriba es la más sencilla y se llama Senoidal, las otras, por razones obvias se denominan respectivamente Triangular y Cuadrada.

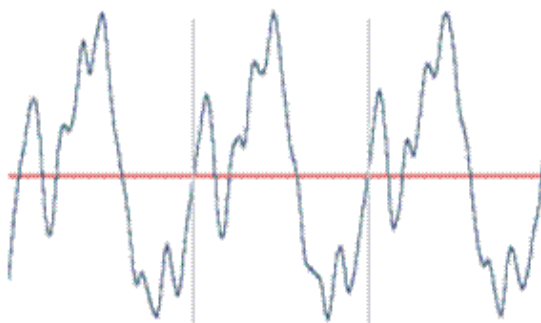
La onda senoidal, cuando es de audio, representa un sonido puro como el que emitiría un diapasón al vibrar, cuando es luminosa representaría un color puro. Tal vez no sea evidente de inmediato pero este tipo de ondas no tienen capacidad, por sí mismas de transportar información y en consecuencia, cuando de las usa con ese fin debe modificárselas (modularlas).

La onda triangular y la cuadrada son también relativamente simples, sin embargo se usan habitualmente para ensayos técnicos pues observando el efecto que los equipos tienen sobre ellas se puede deducir el comportamiento de tales equipos.

Las ondas “reales” que se originan en parlantes, instrumentos musicales y fuentes luminosas, entre otras, son mucho más complejas en su forma y de esa complejidad se deriva su capacidad de transmitir información.







## Armónicas y espectro

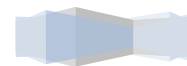
Observemos la figura 9, en ella pueden verse un conjunto de ondas senoidales de diferentes frecuencias y amplitudes y la suma de todas ellas, podemos apreciar que esta suma se aproxima a la forma de la onda cuadrada, de hecho, si agregáramos a la suma más ondas senoidales de amplitud y frecuencia adecuadas podríamos hacer que, efectivamente, el resultado fuera una onda cuadrada.

Puede demostrarse matemáticamente y verificarse en el laboratorio que cualquier señal periódica no senoidal puede ser considerada como la suma de infinitas ondas senoidales de diferentes amplitudes y frecuencias, estas ondas senoidales se llaman ARMONICAS de la onda y tienen la particularidad que sus frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia de la señal original, así por ejemplo, una onda con una frecuencia de 10Hz estaría compuesta por una senoide de 10Hz, una de 20Hz, una de 30Hz, etc.

La armónica correspondiente a la misma frecuencia de la señal original se denomina Primera Armónica o Fundamental, las siguientes se llaman 2ª armónica (2 veces la frecuencia fundamental), 3ª armónica (3 veces la frecuencia fundamental) y así sucesivamente.

La amplitud de las respectivas armónicas surge de un cálculo matemático y da como resultado lo que se conoce como Serie de Fourier, usualmente esta serie se representa como un conjunto de barras verticales que muestran la amplitud de las ondas que componen el conjunto, en la figura 9 se observa la representación gráfica de la serie correspondiente a los primeros 9 armónicos de la onda cuadrada, como puede verse, aparecen únicamente la fundamental y los armónicos de orden impar pues ocurre que esta onda en particular no presenta armónicos de orden par.

Este análisis puede realizarse con mayor o menor dificultad sobre cualquier onda periódica, en tanto se disponga de la ecuación que la describe matemáticamente, sin embargo en muchos casos se dispone de la señal real y no de su descripción matemática (por ejemplo, a la salida de un micrófono), entonces se recurre a instrumental especial de laboratorio (analizador de espectro) que recibe la onda en sus entrada y muestra la respectiva serie de Fourier en su pantalla.



El análisis de Fourier es una poderosa herramienta matemática que permite explicar el funcionamiento de diferentes dispositivos e inclusive detectar fallas a partir de la observación de sus efectos sobre las diferentes componentes espectrales de la señal.

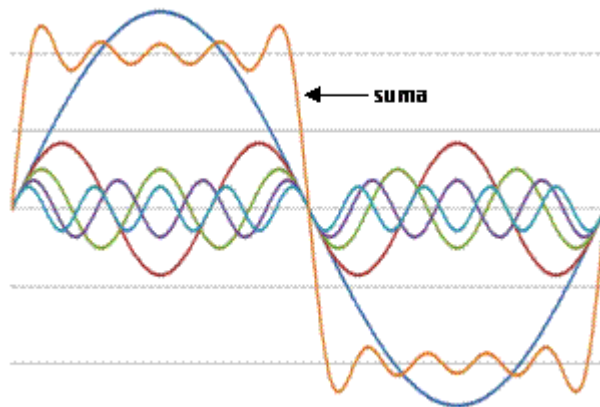
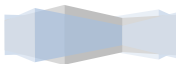


Figura 9

### Señales con dominio en frecuencia

El **dominio de la frecuencia** es un término usado para describir el análisis de funciones matemáticas o señales o movimiento periódico respecto a su frecuencia. Anteriormente hemos visto las señales representadas en función del tiempo, pero a fin de poder analizar y representar las armónicas de una señal es necesario herramientas que nos muestren las distintas componentes en función de la frecuencia.

Un gráfico del dominio temporal muestra la evolución de una señal en el tiempo, mientras que un gráfico en función de la frecuencia muestra las componentes de la señal según la frecuencia en la que oscilan dentro de un rango determinado. La figura 10 es la representación en función del tiempo de la señal mostrada en la figura 9. Una representación de este tipo incluye también la información sobre el desplazamiento de fase que debe ser aplicado a cada frecuencia para poder recombinar las componentes frecuenciales y poder recuperar de nuevo la señal original. El dominio de la frecuencia está relacionado con las series de Fourier, las cuales permiten descomponer una señal periódica en un número finito o infinito de frecuencias. El dominio de la frecuencia, en caso de señales no periódicas, está directamente relacionado con la Transformada de Fourier.



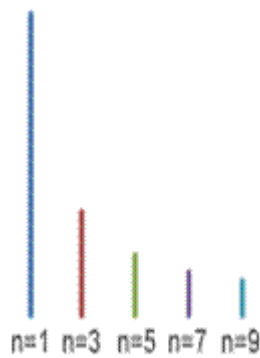


Figura 10

### Ancho de banda de la señal

En ambos casos (serie y transformada), el resultado es un espectro que se extiende hasta el infinito, esto significa que toda señal (periódica o no) tiene componentes con frecuencias infinitamente altas, sin embargo, puede apreciarse que para ciertas frecuencias, la amplitud de la gráfica decrece fuertemente, esto significa que, si bien hay cierto contenido de energía (información) a esas frecuencias, la misma es insignificante comparada con la energía correspondiente a las frecuencias centrales de manera que sería posible ignorar esa parte de la señal sin una pérdida significativa de información. En algunos casos ocurre algo similar para las bajas frecuencias en las cuales existen niveles que pueden considerarse despreciables.

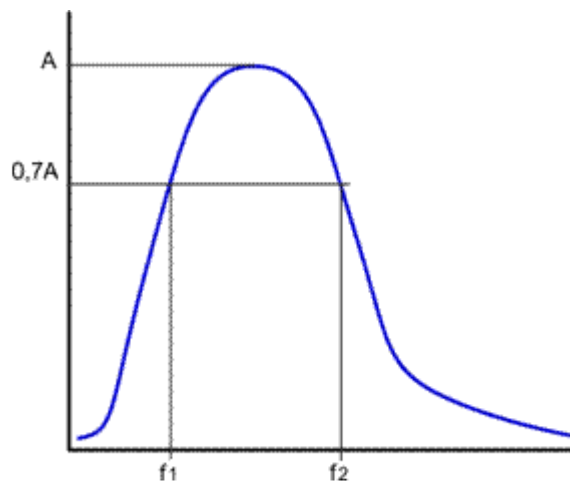


Figura 11

¿Cuáles son esos niveles? Se acepta que las frecuencias límites del espectro son aquellas en las que la amplitud alcanza al 70% de su valor máximo. En la figura 11 se observa un

espectro que tiene un valor máximo  $A$  y las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  en las cuales ese valor es de  $0,7A$ , estas dos frecuencias, llamadas respectivamente *frecuencia de corte inferior* y *frecuencia de corte superior*, delimitan lo que se conoce como ANCHO DE BANDA de la señal, es en esta zona en la cual se concentra la mayor parte de la energía de la misma y en consecuencia, se considera que todo lo que quede por fuera de estos límites contribuirá poco a su capacidad para transmitir información.

Este mismo concepto se aplica también a los diversos sistemas que trabajan con estas señales y las procesan. En este caso, el ancho de banda o hace referencia al rango de frecuencias que el sistema puede aceptar o bien que puede emitir, por ejemplo un micrófono, será capaz de trabajar con frecuencias dentro de determinados valores (los cuales dependen de la aplicación que tendrá el dispositivo, no es lo mismo un micrófono para voz que uno para guitarra eléctrica), las componentes de frecuencias que caigan fuera de estos valores serán atenuadas e inclusive ignoradas, este comportamiento determina en parte lo que se conoce como respuesta en frecuencia, un concepto sobre el que volveremos más adelante.

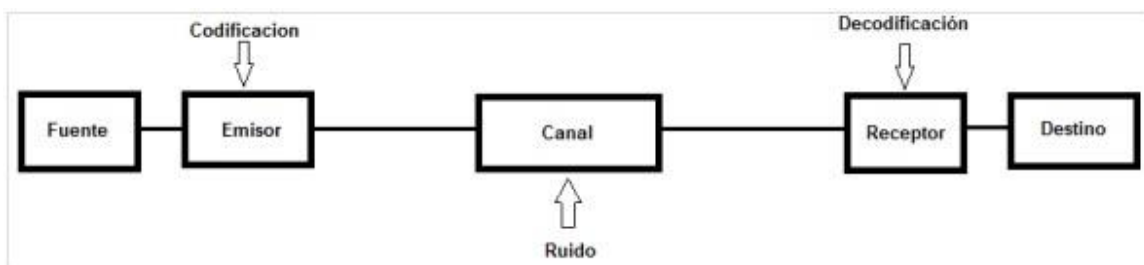
## Comunicación de señales

En la Teoría de la Comunicación podemos encontrar los elementos que integran un sistema de comunicación son: Fuente o mensaje – Emisor – Medio o canal – Receptor.

El mensaje: Es la información que tratamos de transmitir, puede ser analógica o digital. Lo importante es que llegue íntegro y con fidelidad.

El Emisor: Es el sujeto que envía el mensaje  
Es el que prepara la información para que pueda ser enviada por el canal, tanto en calidad (adecuación a la naturaleza del canal) como en cantidad (amplificando la señal).

El Medio: Es el elemento a través del cual se envía la información del emisor al receptor. Desgraciadamente el medio puede producir en la comunicación: distorsiones, (pérdida de señal)- Ruido (interferencias).



## Capacidad de un canal

La capacidad del canal depende de la naturaleza del soporte, es decir, de los portadores canales de gran ancho de banda, como la fibra óptica, su capacidad siempre tiene un límite.



Nyquist demostró la existencia de ese límite cuando se envían señales digitales por canales analógicos.

La teoría de la información, desarrollada por **Claude E. Shannon**, define la noción de la capacidad del canal y provee un modelo matemático con el que se puede calcular. La cifra que resulta del estado de capacidad del canal, se define como la máxima de la información mutua entre la entrada y la salida del canal. Donde el punto máximo se encuentra en la entrada de la distribución.

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

La capacidad máxima de un canal viene dada por la fórmula:

$$C = B \log_2(1 + S/R) \text{ (bps)}$$

El régimen binario de una señal que se propaga por un canal no puede ser mayor que la capacidad del canal y depende del número de niveles o estados que se usan para codificar la información.

$$\text{Régimen binario de la señal} = nVt(\text{baudios}) = 2Bn = 2B \log_2 m = C(\text{bps})$$

Dónde:

n es el número de bits por cada elemento de la señal.

m es el conjunto de elementos diferentes que puede adoptar la señal.

C es la capacidad del canal según el teorema de Nyquist.

Ejemplo:

Si suponemos que un canal de voz con un ancho de banda de 3100 Hz se utiliza con un modem para transmitir datos digitales (M=8). la capacidad C del canal es  $2B = 6200$  bps.  
 $C = 2B \log_2(8) = 2(3100)(3) = 18,600$  bps

## Modulación de una señal

Modulación engloba el conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal.

Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea además de mejorar la resistencia contra posibles ruidos e interferencias. Según la American National Standard for Telecommunications, la modulación es el proceso, o el resultado del proceso, de variar una característica de una onda portadora de acuerdo con una señal que transporta información. El propósito de la modulación es sobreponer señales en las ondas portadoras.

Básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir.



## **Frecuencia portadora**

Una señal portadora es una onda eléctrica modificada en alguno de sus parámetros por la señal de información (sonido, imagen o datos) y que se transporta por el canal de comunicaciones.

El uso de una onda portadora también soluciona muchos otros problemas de circuito, antena, propagación y ruido. Por ello, una antena práctica debe tener un tamaño aproximado al de la longitud de onda de la onda electromagnética de la señal que se va a transmitir.

Usando frecuencias mucho más altas para la portadora, el tamaño de la antena se reduce significativamente porque las frecuencias más altas tienen longitudes de ondas más cortas.

El proceso de recuperar la información de las ondas portadoras se denomina demodulación. En esencia, es invertir los pasos utilizados para modular los datos. En general, a medida que los esquemas de transmisión o modulación (compresión) se hacen más complejos y la velocidad de transmisión de datos aumenta, la inmunidad al ruido se reduce y la cobertura disminuye.

## **Técnicas de modulación básicas**

Uno de los objetivos de las comunicaciones es utilizar una frecuencia portadora como frecuencia básica de una comunicación, pero modificándola siguiendo un proceso denominado modulación para codificar la información en la onda portadora.

Las formas básicas de Modulación Analógica son:

Amplitud

Modulación en Amplitud - Doble banda lateral con portadora - AM  
Doble banda lateral sin portadora - DBL-SP  
Banda lateral única - BLU

Angular

Modulación en Frecuencia – FM (Frequency Modulation)  
Modulación en Fase – PM (Phase Modulation)

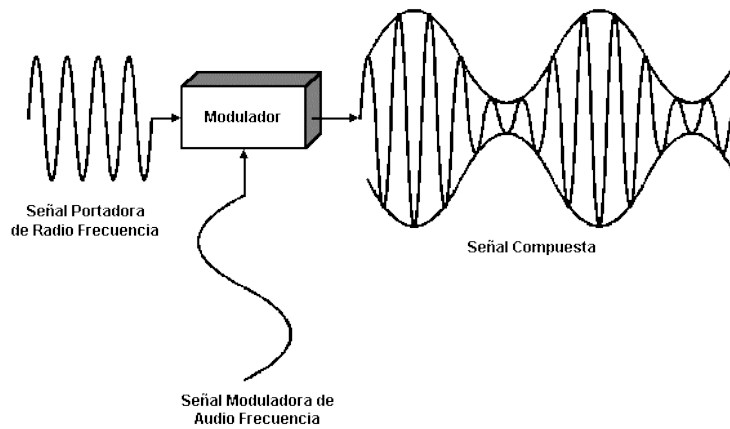
### Modulación Analógica

Las tres técnicas de modulación básica son:

Modulación de la amplitud (AM o amplitud modulada).  
Modulación de la frecuencia (FM o frecuencia modulada).  
Modulación de la fase (PM o fase modulada).



La mayoría de los sistemas de comunicación utilizan alguna de estas tres técnicas de modulación básicas, o una combinación de ellas.



Proceso de modulación AM

### Modulación Digital

Los siguientes son algunos de casos extremos de estas técnicas:

#### **Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK, *Amplitude Shift Keying*)**

Desactiva la amplitud durante toda la trayectoria

#### **Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, *Frecuency Shift Keying*)**

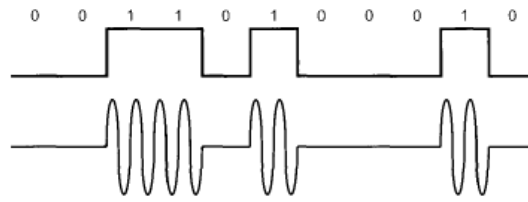
Salta a una frecuencia extrema.

#### **Modulación por desplazamiento de fase (PSK, *Phase Shift Keying*)**

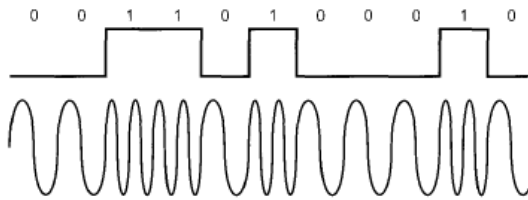
Desplaza la fase 180 grados

.

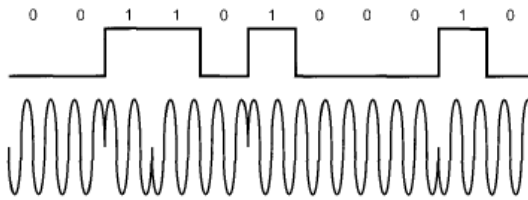




(a) Desplazamiento de amplitud (ASK)



(b) Desplazamiento de frecuencia (FSK)



(c) Desplazamiento de fase (PSK)

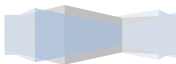
## Tipos de Modulaciones Digitales

### Proceso de digitalización de la señal analógica

Es la transcripción de señales analógicas en señales digitales, con el propósito de facilitar su procesamiento (codificación, compresión, etc.) y hacer la señal resultante (la digital) más inmune al ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

Consta de cuatro procesos:

- Muestreo: Consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda. La velocidad con que se toma esta muestra, es decir, el número de muestras por segundo, es lo que se conoce como frecuencia de muestreo.
- Retención: Las muestras tomadas han de ser retenidas (retención) por un circuito de retención (hold), el tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel (cuantificación). Desde el punto de vista matemático este proceso no se contempla, ya que se trata de un recurso técnico debido a limitaciones prácticas, y carece, por tanto, de modelo matemático.
- Cuantificación: En este proceso se mide el nivel de voltaje de cada una de las muestras. Consiste en asignar un margen de valor de una señal analizada a un único nivel de salida.





Incluso en su versión ideal, añade, como resultado, una señal indeseada a la señal de entrada: el ruido de cuantificación.

– Codificación: Consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación al código binario. Hay que tener presente que el código binario es el más utilizado, pero también existen otros tipos de códigos que también son utilizados.

## Ventajas y desventajas de la digitalización

### Ventajas

- Cuando una señal digital experimenta perturbaciones leves, puede ser reconstruida y amplificada mediante sistemas de regeneración de señales.
- Cuenta con sistemas de detección y corrección de errores, que se utilizan cuando la señal llega al receptor.
- Facilidad para el procesamiento de la señal.
- La señal digital permite la multi generación infinita sin pérdidas de calidad. Esta ventaja sólo es aplicable a los formatos de disco óptico; la cinta magnética digital, aunque en menor medida que la analógica (que sólo soporta como mucho 4 o 5 generaciones), también va perdiendo información con la multi generación.

### Desventajas

- Se necesita una conversión analógica-digital previa y una decodificación posterior, en el momento de la recepción.
- La transmisión de señales digitales requiere una sincronización precisa entre los tiempos del reloj del transmisor, con respecto a los del receptor. Un desfase cambia la señal recibida con respecto a la que fue transmitida.
- Si se utiliza compresión con pérdida, será imposible reconstruir la señal original idéntica, pero si una parecida dependiendo del muestreo tomado en la conversión de analógico a digital.

## PCM, Modulación por Codificación de Pulsos

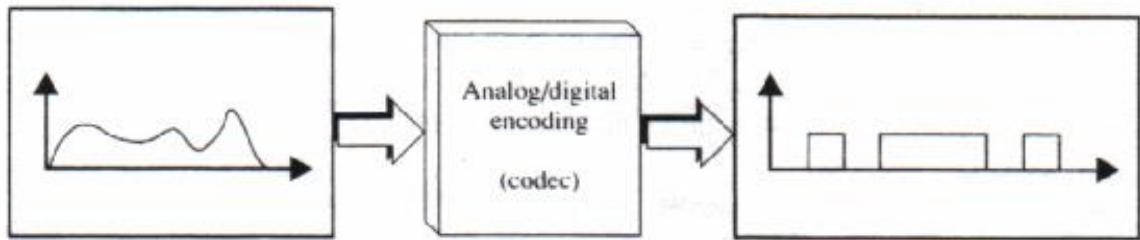
### Codificación Analógica-Digital Modulación de Amplitud de Pulso (PAM)

#### Codificación Analógica – Digital

Este tipo de codificación es la representación de información analógica en una señal digital. Por ejemplo para grabar la voz de un cantante sobre un CD se usan se usan significados digitales para grabar la información analógica. Para hacerlos, se debe de reducir el  $n^o$  infinito potencial posible de valores en un mensaje analógico de modo que puedan ser representados como una cadena digital con un mínimo de información posible.

La siguiente figura nos muestra la codificación analógica - digital llamada codec (codificador-decodificador).





En la codificación analógica - digital, estamos representando la información contenida a partir de una serie de pulsos digitales (1s ó 0s).

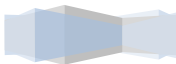
La estructura de la señal traducida no es el problema. En su lugar el problema es como hacer pasar información de un número de valores infinitos a un número de valores limitados sin sacrificar la calidad.

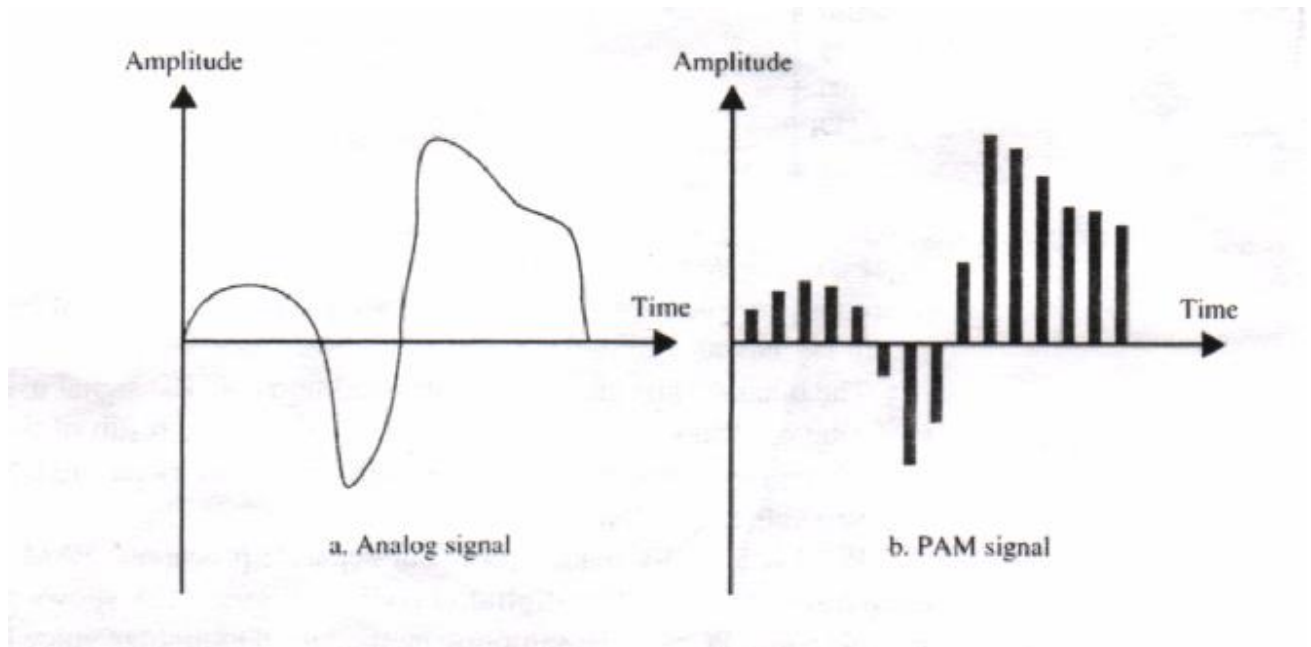
#### Modulación de amplitud de pulso (PAM)

El primer paso en la codificación analógica - digital se llama PAM. Esta técnica recoge información análoga, la muestra (ó la prueba), y genera una serie de pulsos basados en los resultados de la prueba. El término prueba se refiere a la medida de la amplitud de la señal a intervalos iguales.

El método de prueba usado en PAM es más eficaz en otras áreas de ingeniería que en la comunicación de datos (informática). Aunque PAM está en la base de un importante método de codificación analógica - digital llamado modulación de código de pulso (PCM).

En PAM, la señal original se muestra a intervalos iguales como lo muestra la siguiente figura. PAM usa una técnica llamada probada y tomada. En un momento dado el nivel de la señal es leído y retenido brevemente. El valor mostrado sucede solamente de modo instantáneo a la forma actual de la onda, pero es generalizada por un periodo todavía corto pero medible en el resultado de PAM





PAM

El motivo por el que PAM sea ineficaz en comunicaciones es por que aunque traduzca la forma actual de la onda a una serie de pulsos, siguen teniendo amplitud (pulsos)(todavía señal analógica y no digital). Para hacerlos digitales, se deben de modificar usando modulación de código de pulso (PCM)

#### Modulación PCM

PCM modifica los pulsos creados por PAM para crear una señal completamente digital. Para hacerlo, PCM, en primer lugar, cuantifica los pulsos de PAM. La cuantificación es un método de asignación de los valores íntegros a un rango específico para mostrar los ejemplos. Los resultados de la cuantificación están representados en la figura 17.



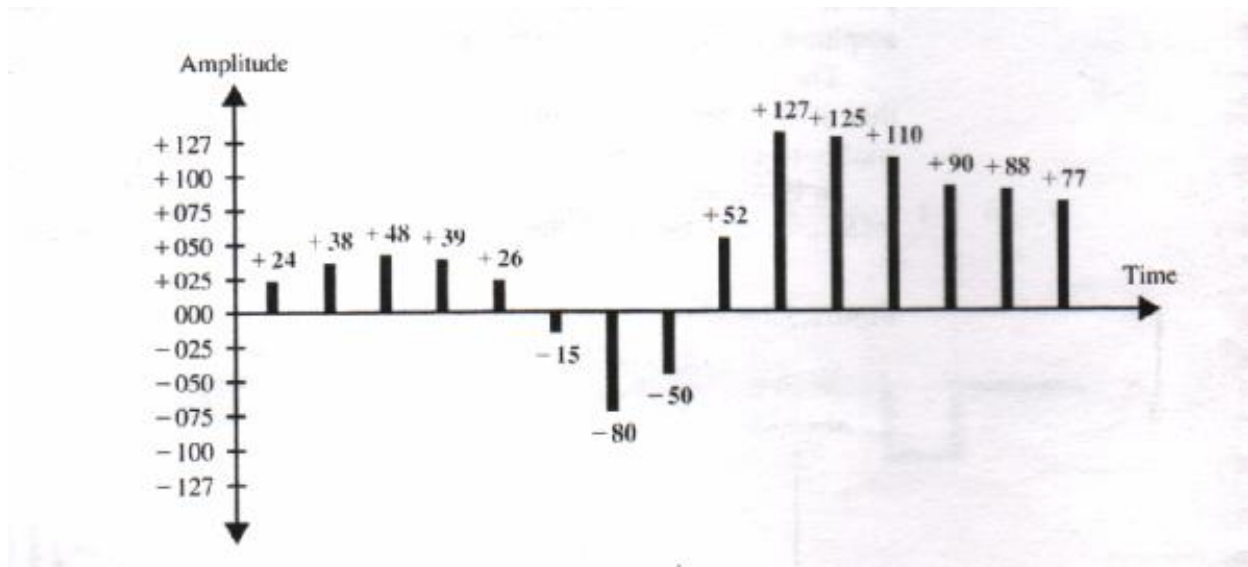


Figura 17 Señal PAM cuantificada

La figura 18 muestra un método simple de asignación de signo y magnitud de los valores para muestras cuantificadas. Cada valor es traducido en su equivalente binario 7-bits. El octavo bit indica el signo.

+024	00011000	-015	10001111	+125	01111101
+038	00100110	-080	11010000	+110	01101110
+048	00110000	-050	10110010	+090	01011010
+039	00100111	+052	00110110	+088	01011000
+026	00011010	+127	01111111	+077	01001101

Sign bit  
+ is 0 - is 1

Figura 18 Cuantificación usando signo y magnitud

Los dígitos binarios son transformados en un señal digital usando una de las técnicas de codage digital-digital. La figura 19 muestra el resultado de la modulación de código de pulso de la señal original codificada finalmente en señal unipolar. Solo se muestran los 3 primeros valores de prueba.



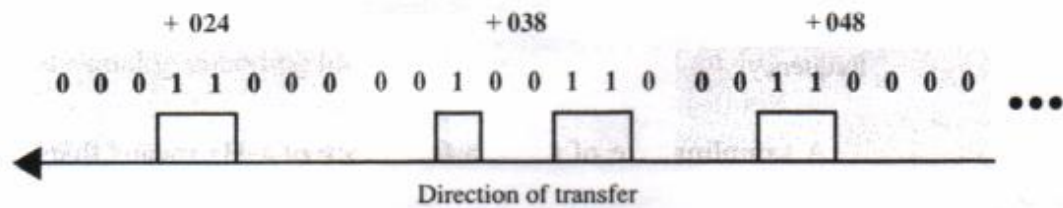


Figura 19 PCM

PCM se construye actualmente a través de 4 procesos separados: PAM, cuantificación, codage digital-digital. La figura 20 muestra el proceso entero en forma de gráfico. PCM es el método de prueba usado para digitalizar la voz en la transmisión de línea-T en los sistemas de telecomunicaciones en América del Norte.

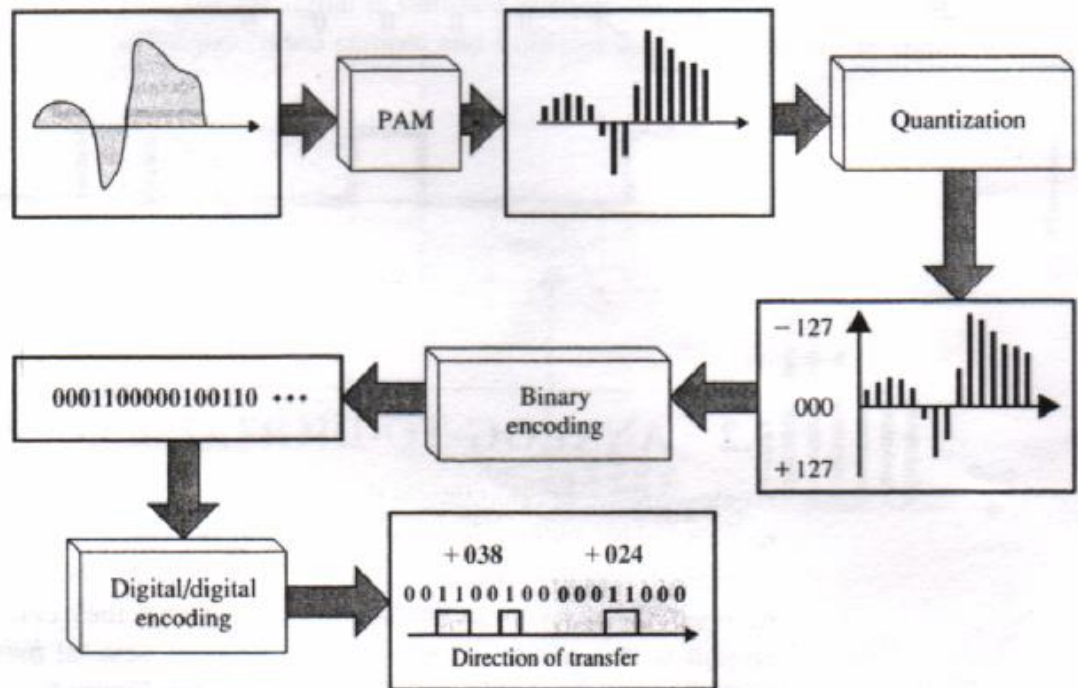


Figura 20

### Teorema de muestreo de Nysquist-Shanon

PCM está basado en un teorema fundamental en el proceso de digitalización de señales, y es teorema de muestreo, que dice:

*"Si una señal  $f(t)$  se muestrea a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia significativa más alta de la señal, entonces las muestras así obtenidas contienen toda la información de la señal original. La función  $f(t)$  se puede reconstruir a partir de estas muestras mediante la utilización de un filtro paso-bajo".*

Es decir, **se debe muestrear la señal original, como mínimo, con el doble de frecuencia** de la misma, y con los valores obtenidos, normalizándolos a un número de bits dado (por ejemplo, con 8 bits habría que distinguir entre 256 posibles valores de amplitud de la señal original a cuantificar) se ha podido codificar dicha señal.

En el receptor, este proceso se invierte, pero por supuesto se ha perdido algo de información al codificar, por lo que la señal obtenida no es exactamente igual que la original (se le ha introducido ruido de cuantización). Hay técnicas no lineales en las que es posible reducir el ruido de cuantización muestreando a intervalos no siempre iguales.

Ejemplo:

Si los datos de voz se limitan a frecuencias por debajo de 4000 Hz, para caracterizar completamente la señal de voz serían suficientes obtener 8000 muestras por segundo. Por lo tanto 8000 muestras por segundo X 8 bits por muestra da que la capacidad mínima necesaria para un canal de voz digital es de 64 Kbps.

