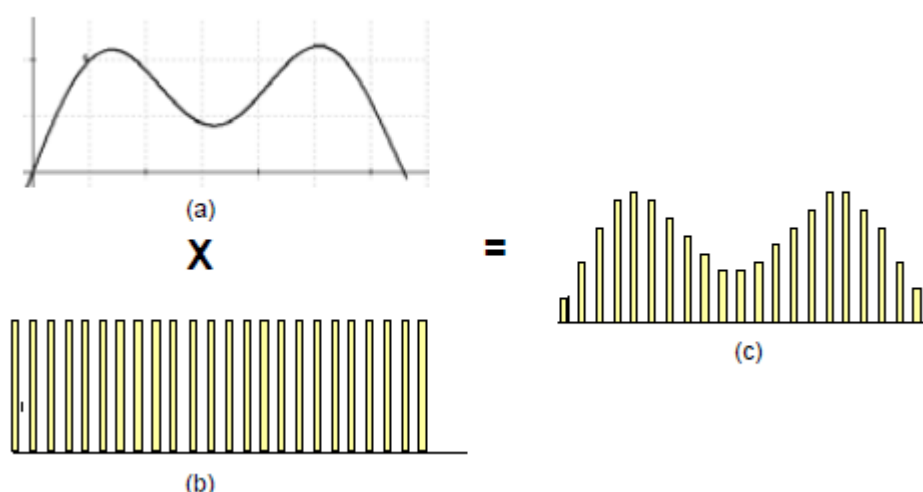


7.- Técnicas de Digitalización de la Voz

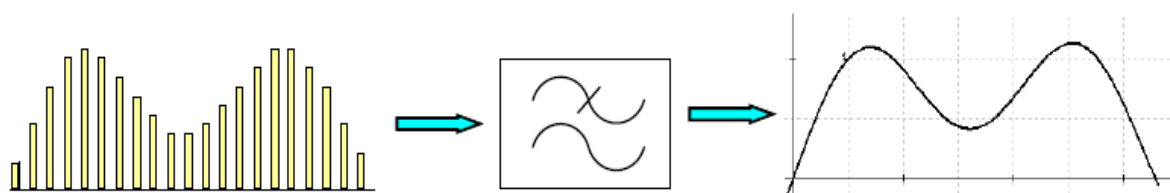
Las técnicas **MIC** (Modulación por Impulsos Codificados) o también **PCM** (Pulse Codification Modulation) nos permiten digitalizar las señales analógicas como la voz que se transmite por vía telefónica.

Para transmitir una señal a través de una línea de transmisión no es necesario que se envíe la señal completa, sino que es suficiente con enviar muestras (samples) de dicha señal. De esta forma convertimos los infinitos valores que toma la señal a lo largo del tiempo en unos cuantos valores discretos.

Para obtener estas "muestras" es suficiente con aplicar a la señal analógica un tren de pulsos, tal como se muestra en la figura siguiente.

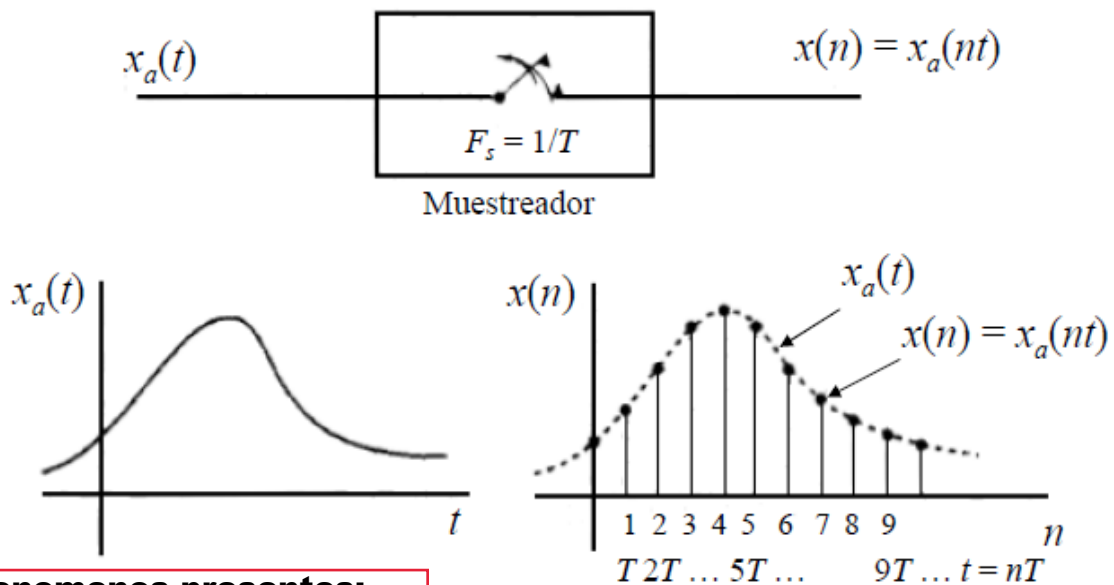


La señal analógica se ha multiplicado por un tren de pulsos de amplitud constante, utilizando un circuito mezclador. Se obtiene un nuevo tren de pulsos modulado en amplitud cuya envolvente se corresponde con la señal analógica. Para recuperar la señal original basta con aplicar un filtro paso bajo.



Según el teorema de **Nyquist**, para muestrear una señal cuya frecuencia máxima es f_m es suficiente con recoger muestras a una frecuencia $\geq 2f_m$.

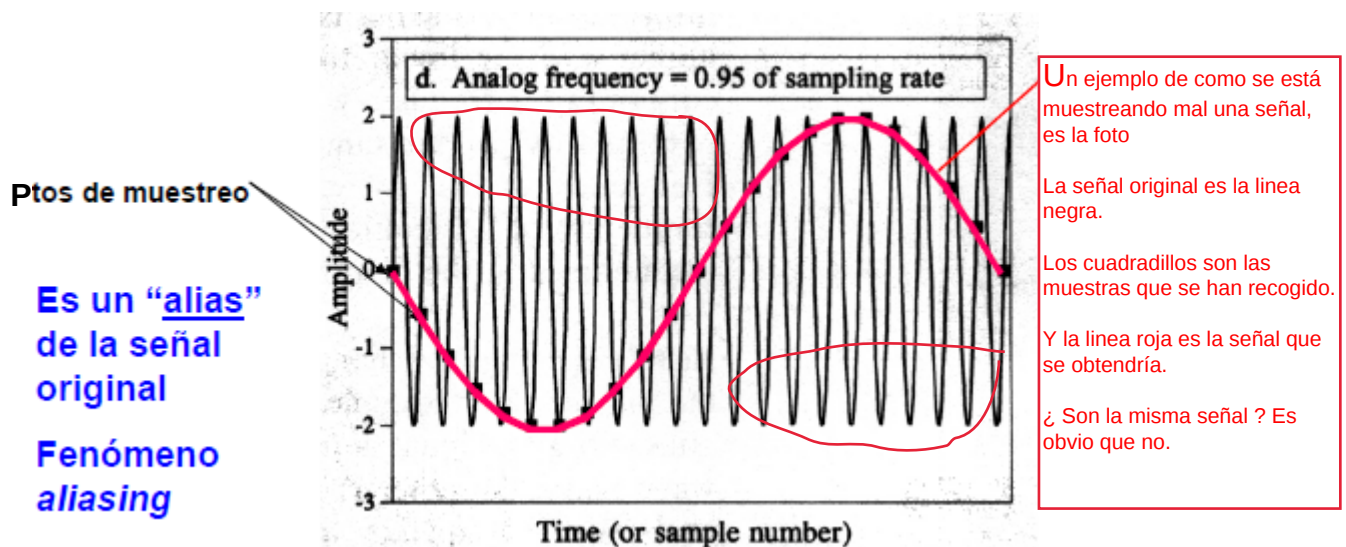
Un circuito muestreador de señales muy intuitivo puede representarse por un conmutador electrónico tal como aparece en la figura siguiente. Durante el tiempo que el conmutador está "abierto" el trozo de señal analógica que se recibe se pierde, produciéndose así el "troceado" de la señal.



Efectos/Fenómenos presentes:

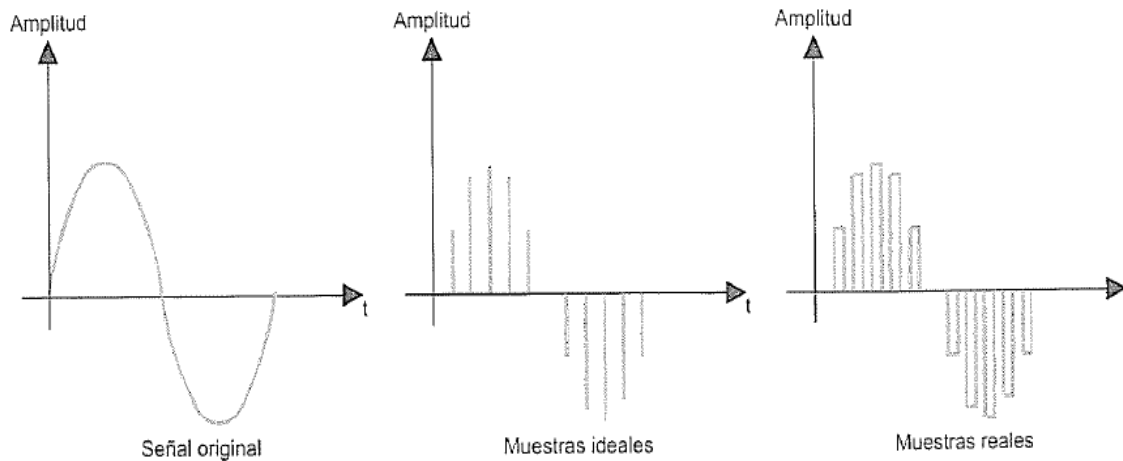
Aliasing.-

Cuando la frecuencia de muestreo no se ajusta al valor de frecuencia adecuado, puede producirse una situación en la cual no es posible recuperar la señal original porque el modelo muestreado se corresponde con varias señales posibles o "alias" de la señal original, lo cual se denomina **aliasing**, tal como apreciamos en el ejemplo de la figura siguiente.



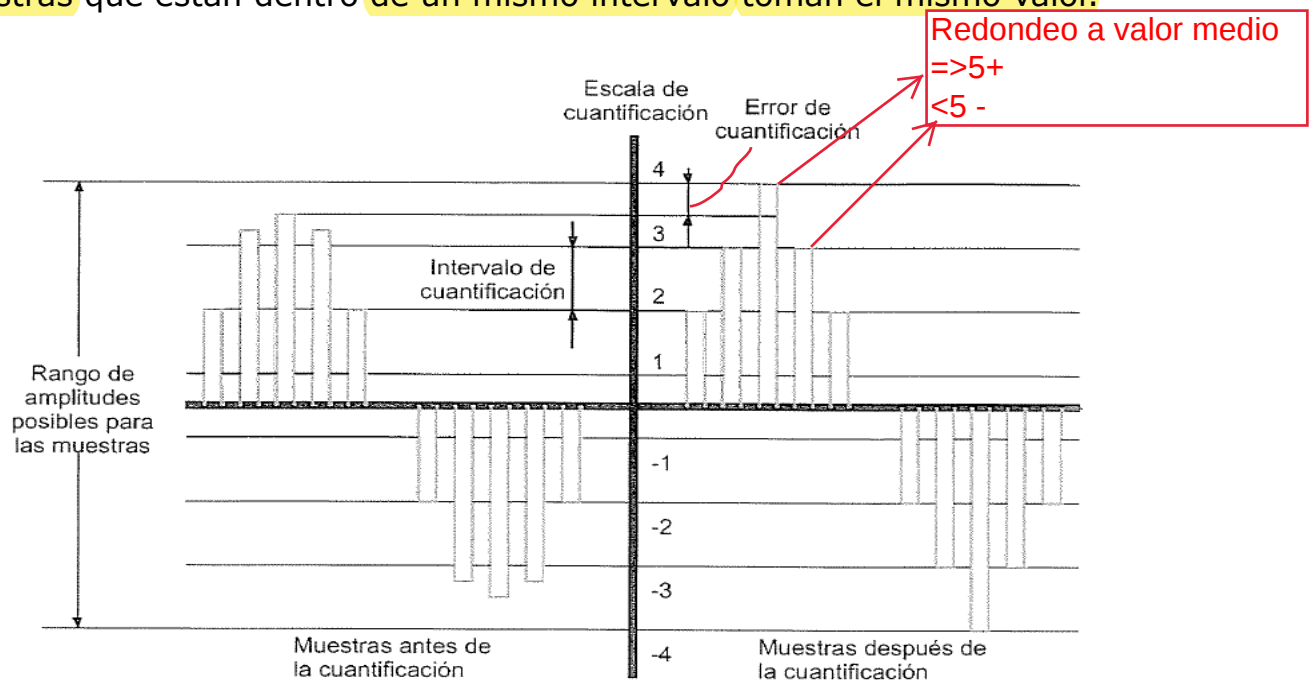
Muestreo Ideal y Real.-

En el **muestreo ideal**, cada una de las muestras tiene una anchura nula, lo cual no es posible obtener con los equipos utilizados, mientras que en el muestreo **real** su anchura en el tiempo es mucho mas corta en comparación con el tiempo entre dos muestras.



proceso de: Cuantificación.-

Las muestras obtenidas no se envían directamente por la línea, ya que el rango de valores de amplitud obtenidas es también infinito. Para evitarlo, se divide todo el rango de amplitudes posibles en un número limitado de intervalos que se denominan **intervalos de cuantificación**. De esta forma, todas las muestras que están dentro de un mismo intervalo toman el mismo valor.

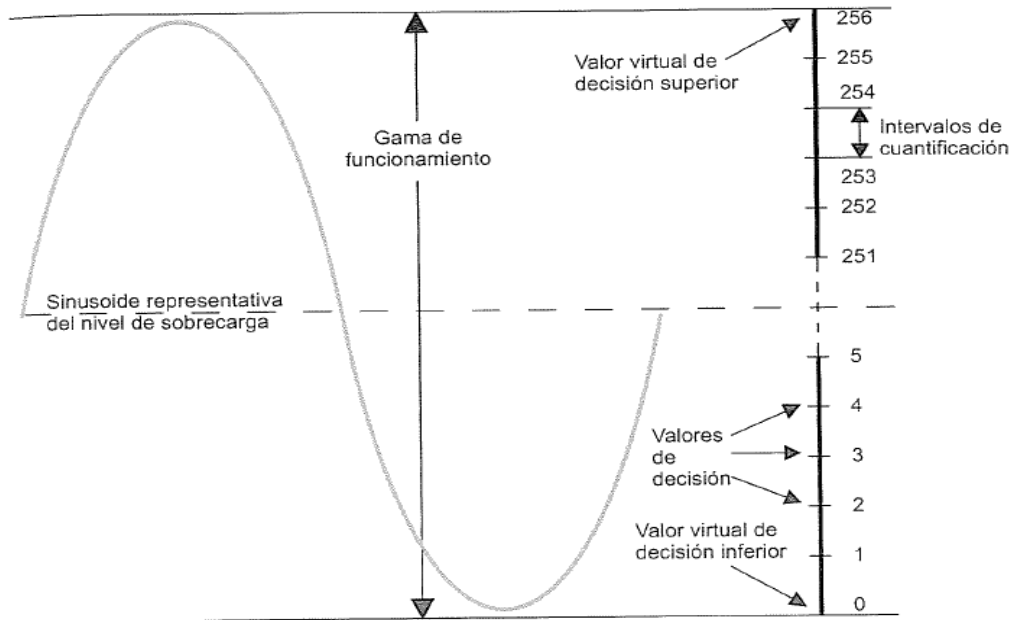


En la figura anterior, se subdivide el rango de amplitudes en 8 posibles valores, 4 positivos y 4 negativos.

En este proceso de cuantificación se produce un error denominado **error de cuantificación**, que es inevitable dado que la amplitud real se sustituye por un valor aproximado.

Cuantificación Uniforme.-

La gama de amplitudes se subdivide en un número de intervalos iguales. Las muestras comprendidas dentro del mismo intervalo toman el mismo valor. En la figura siguiente se ha cuantificado la señal sinusoidal en 256 tramos o intervalos iguales.



Este proceso de cuantificación introduce un error de cuantificación debido al redondeo que se produce al aproximar el valor verdadero de la señal a su valor cuantificado. El error va disminuyendo a medida que se aumenta el intervalo de cuantificación.

Cada uno de los valores correspondientes a estos intervalos tiene su equivalente digital en forma de una combinación binaria. Al disponer de 256 intervalos tenemos 256 combinaciones binarias, cada una de ellas compuesta por 8 bits, según la fórmula: **nºCombinaciones = $2^{n\text{bits}}$** . $\log_2 256 = 8 \text{ bits}$

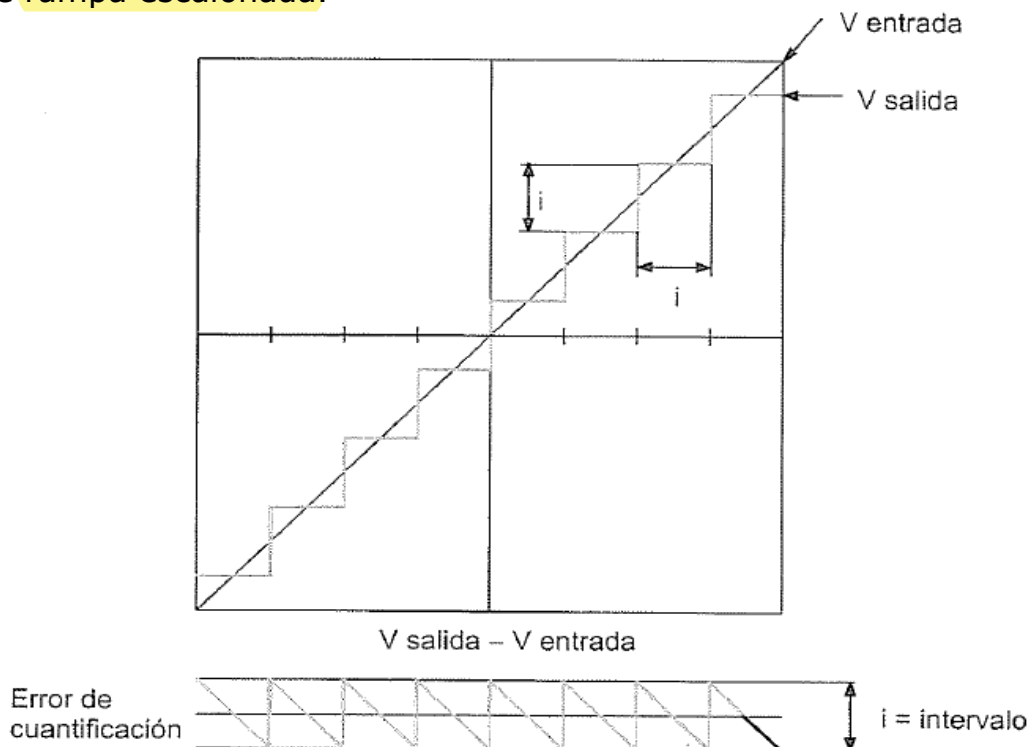
Así por ejemplo, si aumentamos el número de intervalos a 4096 necesitaríamos 12bits. $\log_2 4096 = 12 \text{ bits}$

Debe tenerse en cuenta que el ancho de banda de la transmisión depende del número de bits.

Equivalente binario de 8 bits	Valor de cuantificación decimal
00000000	0
00000001	1
00000010	2
00000011	3
00000100	4
00000101	5
00000110	6
⋮	
11111100	252
11111101	253
11111110	254
11111111	255

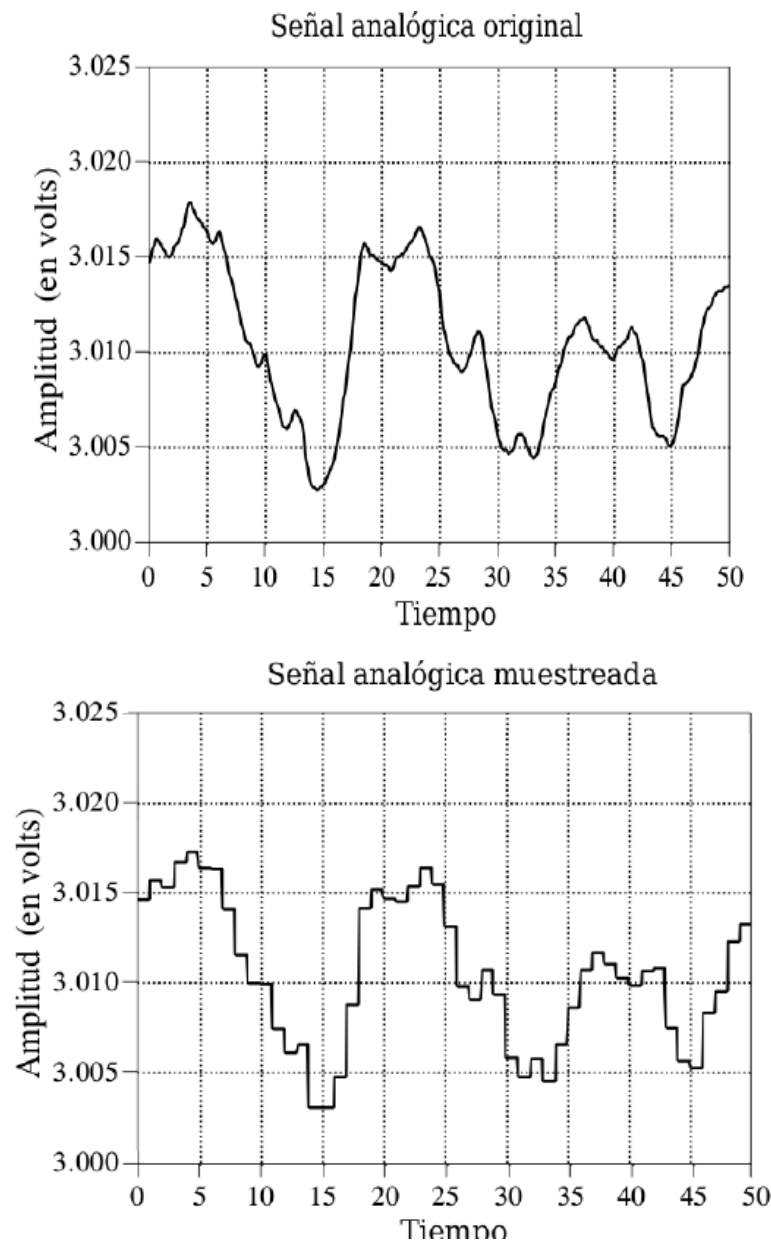
Señal de entrada y salida (cuantificación uniforme)

En la figura siguiente se representa la relación entre la señal de entrada V_e (señal original) y la señal de salida V_s (señal cuantificada) cuando se utiliza la cuantificación uniforme. Se observa cómo la la señal de salida sólo cambia cuando la señal de entrada cambia de un intervalo al siguiente, por lo que la señal original en forma de rampa se transforma en una señal aproximada en forma de rampa escalonada.



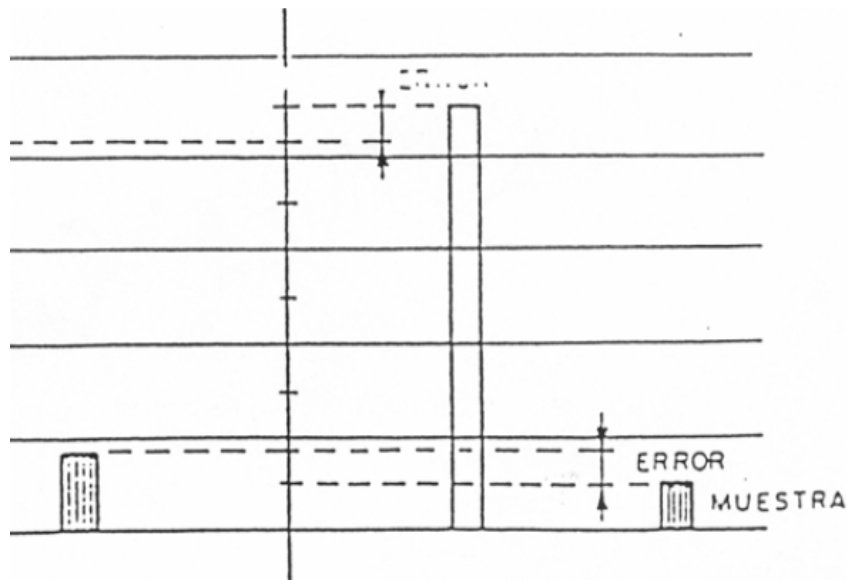
La diferencia entre los valores $V_s - V_e$ representa el error de cuantificación.

En la siguiente figura tenemos otro ejemplo de **cuantificación uniforme** para una señal analógica más compleja.

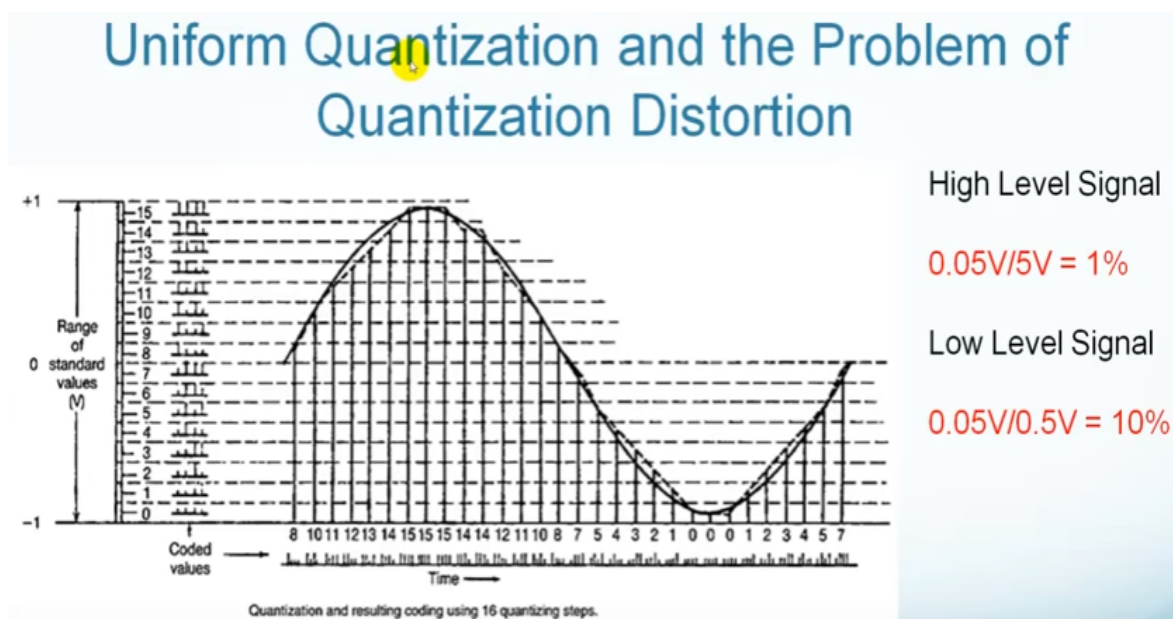


Cuantificación no Uniforme.-

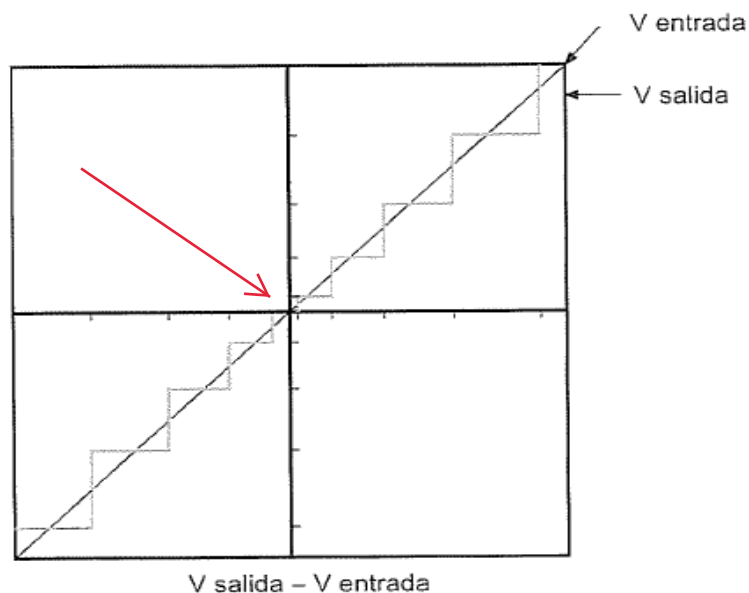
El problema de la **cuantificación uniforme** es que el error de cuantificación se mantiene para cualquier amplitud de la muestra, de forma que empeora para valores pequeños de la señal de entrada, llegando a tener valores críticos para amplitudes similares a los intervalos de cuantificación, tal como se muestra en la figura siguiente.



Para señales de amplitud muy pequeñas, el error es casi tan grande como el valor de las muestras. En efecto, tal como apreciamos en el gráfico siguiente, donde los intervalos son de 0,05 voltios, cuando cuantificamos 5 voltios, el error de cuantificación es del 1%, pero cuando cuantificamos 0,5 voltios, el error es del 10%.



De modo que para mantener el mismo error de cuantificación en todas las muestras tenemos dos opciones: aumentar el número de intervalos (mayor número de bits y mayor ancho de banda) o utilizar una cuantificación no uniforme, en la cual los intervalos no se distribuyen uniformemente, haciendo que los intervalos sean menores en los nivel bajos de la señal y mayores en los niveles altos, tal como podemos apreciar en la figura siguiente.



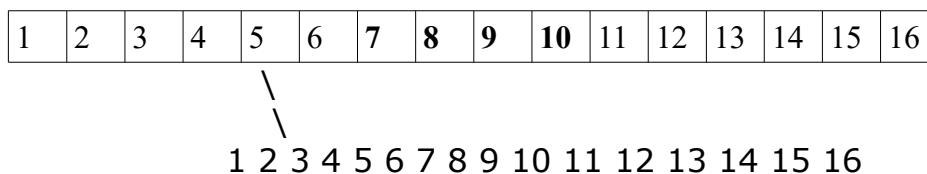
De esta forma, se utiliza un mayor número de intervalos para señales débiles y menor para señales más fuertes.

Ley de Cuantificación para Sistemas MIC. •Modulación por Impulsos Codificados

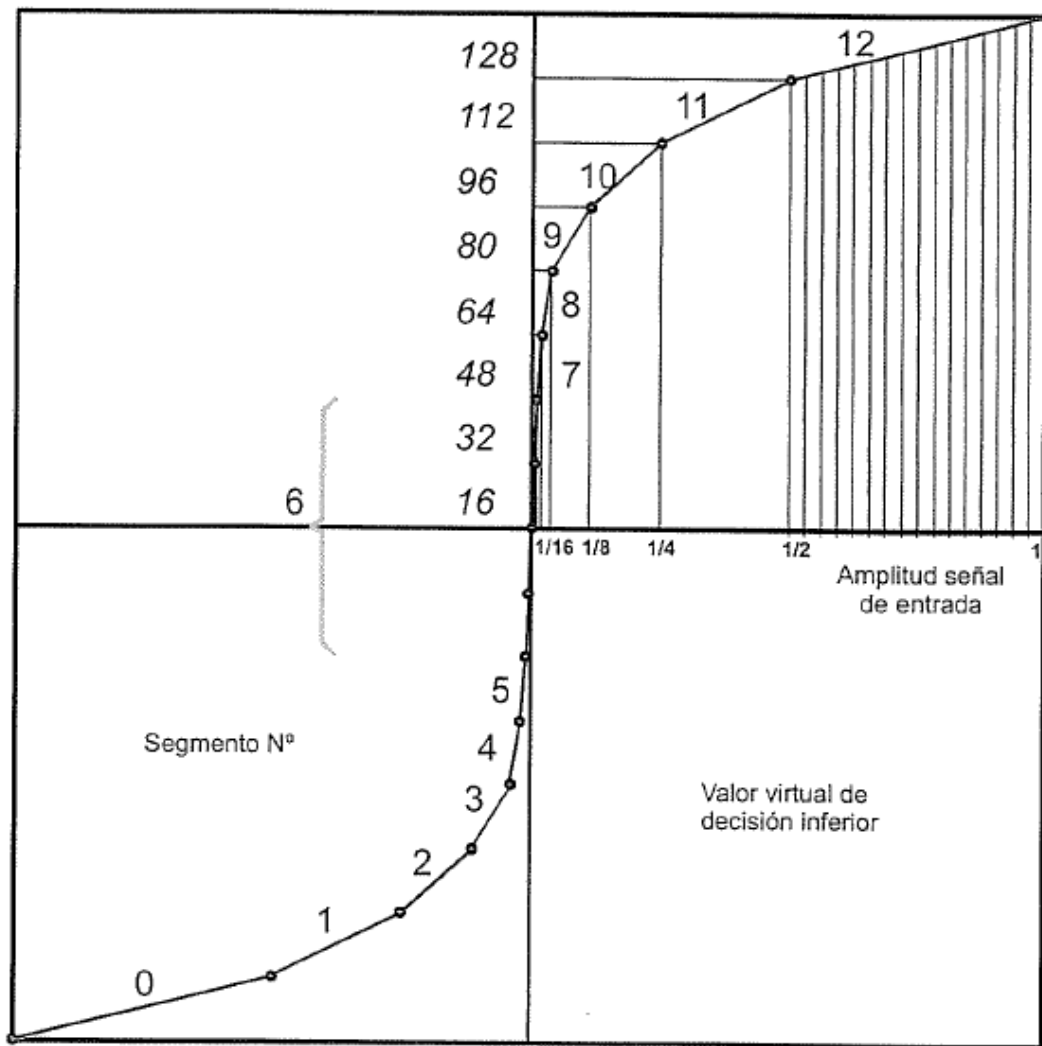
La cuantificación no uniforme posee unas características determinadas que se denominan **leyes de cuantificación o de codificación**.

Existen diferentes leyes utilizadas en los sistemas MIC basados en la voz, pero las más utilizadas son la **ley A** (MIC europeos) y la **ley μ** (MIC americanos).

La **ley A** utiliza 256 intervalos de cuantificación, 128 positivos y 128 negativos. Está formada por 16 segmentos de recta (8 para valores positivos y 8 para valores negativos), de los cuales los 4 centrales están alineados como uno solo que se numera como intervalo 7, de forma que se reduce de 16 a 13 segmentos.



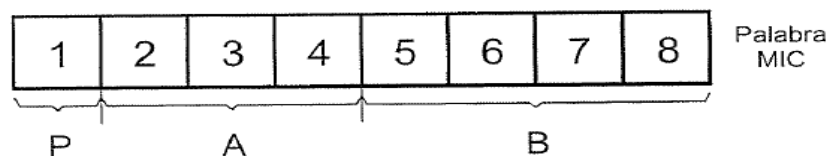
A su vez, cada uno de estos segmentos se subdivide en otros 16 intervalos de cuantificación iguales pero que contienen segmentos diferentes, al igual que ocurría con los 16 segmentos iniciales.



Codificación.-

Las muestras obtenidas por alguno de los procedimientos descritos anteriormente, se codifican de forma que a cada una de ellas se le asigna una combinación binaria que tiene su equivalente al valor del intervalo de cuantificación.

Como en telefonía se emplean 256 intervalos de cuantificación, necesitaremos secuencias binarias de 8 bits para representar cada una de las posibles muestras. Cada una de las palabras MIC se representan como un grupo de 8 bits que tiene la siguiente estructura:



El grupo P indica la polaridad de la muestra (1 si tiene valor positivo, y 0 si tiene valor negativo).

El grupo A consta de 3 bits que codifican el número de segmento para cada polaridad. Como $2^3 = 8$ tendremos 8 segmentos por polaridad, en total 16.

El grupo B consta de 4 bits que codifican el intervalo para cada uno de los segmentos de recta. En total tenemos $2^4 = 16$ intervalos.

Segmento Positivo n°	Código	Segmento negativo n°	Código
13 (16)	1111	7 (8)	0000
12 (15)	1110	7 (7)	0001
11 (14)	1101	6	0010
10 (13)	1100	5	0011
9 (12)	1011	4	0100
8 (11)	1010	3	0101
7 (10)	1001	2	0110
7 (9)	1000	1	0111

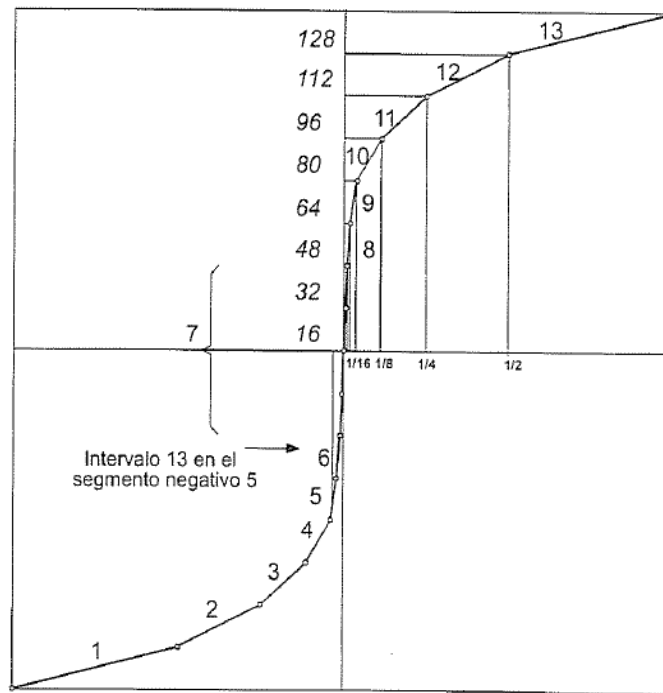
Modulacion por Impulsos Codificados

Mediante la codificación de las palabras MIC podemos localizar cada uno de los intervalos de las muestras de la señal que deseamos transmitir.

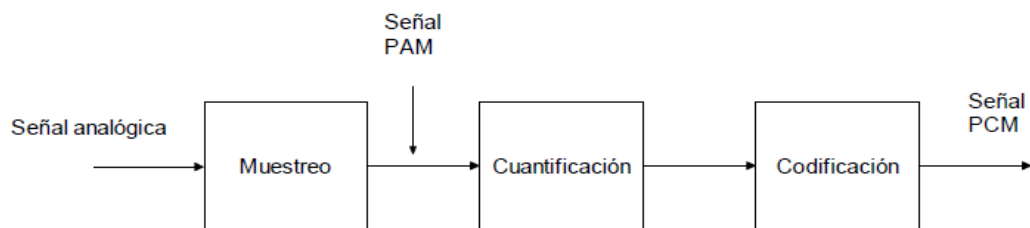
Así por ejemplo, la muestra codificada según la siguiente palabra MIC:

0	1	0	1	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Nos indica que es una muestra negativa (el primer bit a la izquierda es el bit P y es igual a 0, esto es negativo). Además pertenece al segmento de recta número 5 (los 3 bits A son 101, que equivale al decimal 5). Por último pertenece al intervalo 13 (los bits B son 1101 que equivale al 13 en decimal).



En la siguiente figura tenemos un diagrama de bloques del proceso MIC

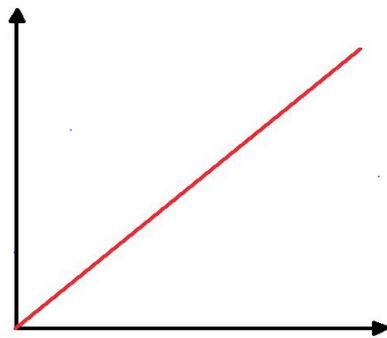


Ejercicios del Capítulo 7

1.- Calcular la frecuencia de muestreo que es necesario utilizar para transmitir digitalmente las señales telefónicas. Cómo es la señal de muestreo ?
Cuál es la separación en unidades de segundo de cada muestra ?

2.- Las tramas MIC para la transmisión digital utilizan los 4000Hz como frecuencia máxima para una mejor calidad de la señal telefónica. Sabemos que se utilizan 256 intervalos iguales.Cuál sería la velocidad de transmisión de un canal MIC expresada en bits/segundo ?

3.- El siguiente gráfico representa la señal analógica que deseamos transmitir utilizando procedimientos MIC de cuantificación uniforme con un máximo de 3 bits por muestra. Sabemos que toma valores positivos entre 0 y 10. Deseamos conocer la gráfica real de la señal cuantificada, número de intervalos, y los valores de cada intervalo así como el código a transmitir en cada caso. Qué código se transmitiría para cada uno de los siguientes valores: 1, 6, 6,5.
Cual sería el error de cuantificación máximo ?



4.- La siguiente palabra MIC: 1 1 1 0 1 1 0 0
codifica una muestra de voz siguiendo la ley de cuantificación europea A. Debemos localizar dicha muestra en el gráfico siguiente:

