

1.6. Ancho de banda y capacidad de canal.

En general el término **ancho de banda** define un rango de frecuencias comprendidas entre una frecuencia superior y otra inferior; este concepto se aplica tanto a señales como a canales.

a) El **ancho de banda de una señal** se refiere a la gama de frecuencias que la forman, limitada por sus frecuencias máxima y mínima.

Por ejemplo el sonido de la voz es el resultado de la suma de las vibraciones de las cuerdas vocales a diferentes frecuencias, el rango de frecuencias producidas por la voz varía significativamente de una persona a otra, generalmente van de los 50Hz hasta los 4,000Hz, concentrando la mayor energía en la porción de los 300 a 3,400 Hz; por ello se dice que el ancho de banda requerido por la voz es de 3,400- 300=3.1kHz.

b) El **ancho de banda de un canal** nos indica el rango de frecuencias que es capaz de soportar sin causar degradación considerable a la información contenida en esas señales. Los cables de telecomunicaciones mas utilizados tienen los siguientes anchos de banda:

▼ El cable coaxial de CATV estándar puede conducir señales con frecuencias desde cero hasta 750'000,000 hertz, por lo tanto su ancho de banda es de 750MHz.

▼ El cable UTP categoría 5 utilizado en sistemas de cableado estructurado tiene un ancho de banda de 100MHz, pero el UTP categoría 6 alcanza hasta 250MHz.

▼ El cable que instalan las compañías telefónicas en las acometidas sólo soporta frecuencias de 550kHz.

Velocidad de transmisión.

En comunicaciones digitales el termino velocidad de transmisión indica la cantidad de bits que se envían en un segundo y la unidad para medir este rango es el **bit por segundo (bps)**. La cantidad de bits por segundo se puede incrementar aumentando la velocidad del pulso de sincronía, utilizando *códigos multinivel* ó ambos.

Por ejemplo, sea un sistema de comunicación serial donde por cada pulso de reloj se envía un bit, al aumentar la velocidad de los pulsos de reloj, estamos aumentando la velocidad de transmisión.

Pero también mediante técnicas de codificación adecuadas, en las cuales se envía mas de un bit por cada pulso de reloj, se puede aumentar la velocidad de transmisión; en este caso, por cada ciclo de tiempo se genera un *elemento de señalización* que puede llevar mas de un bit. El **Baud** o **Baudio**² es la unidad que sirve para medir la cantidad de elementos de señalización que se envían en un segundo; el baudio no es una unidad para medir la velocidad de transmisión, sino la relación de señalización o velocidad de modulación.

Por ejemplo si un modem para computadora de 9,600 bps opera a 2,400 baudios, significa que envía 2,400 elementos de señalización en un segundo; además se deduce que su reloj trabaja a 2,400 pulsos por segundo y que transmite 4 bits por baudio ($9,600/2,400 = 4$).

² El nombre es en honor a J.M.E. Baudot, el inventor del código telegráfico Baudot.

En el ejemplo de la Fig. 1.20 se emplea un código de dos niveles, un nivel lógico "0" es representado por el cambio de voltaje de $+V$ a $-V$; mientras que un nivel lógico "1" se representa con la transición de $-V$ a $+V$. Puesto que cada pulso de reloj dura un segundo, en este caso la velocidad de transmisión es de 1 bps, la velocidad de modulación es de 1 Baudio. y cada elemento de señalización tiene un bit o lo que es lo mismo se transmite 1 bit/Baudio.

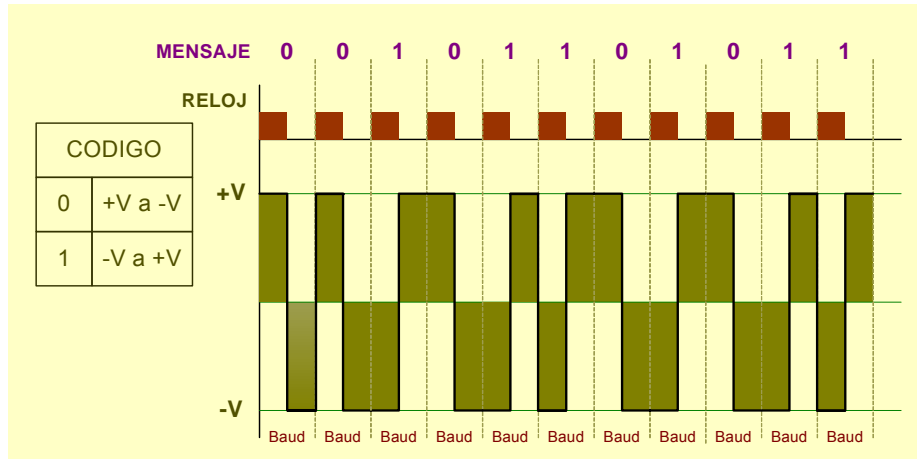


Fig. 1.20 Ejemplo de código de un bit en un baudio.

En el ejemplo de la Fig. 1.21 se utiliza un código multinivel³ el cual emplea cuatro niveles en lugar de dos, los niveles son $+V_2$, $+V_1$, $-V_1$ y $-V_2$ donde cada nivel representa dos bit en cada una de sus cuatro combinaciones posibles (00,01,10 y 11); de esta forma se envían dos bits en cada Baudio.

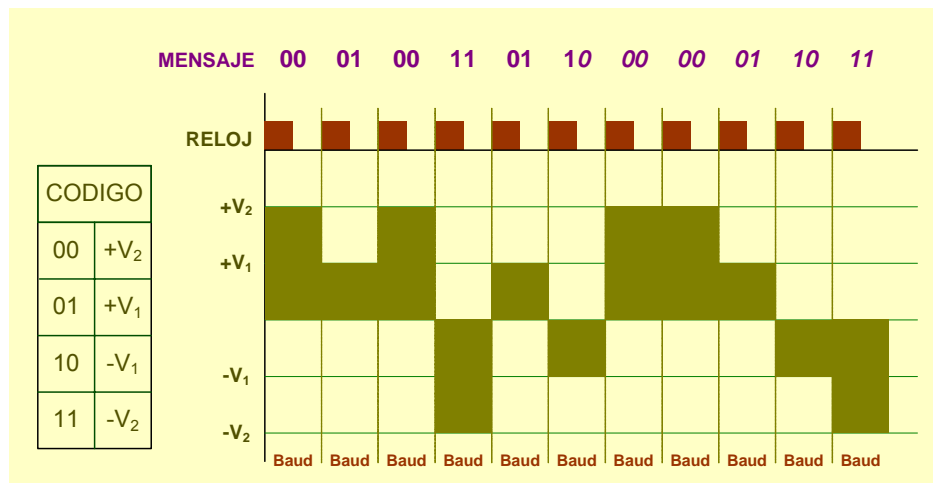


Fig. 1.21 Ejemplo de código de dos bit en un baudio.

En esta figura, si cada pulso de reloj dura un segundo, entonces la velocidad de transmisión es de 2 bps y la velocidad de modulación es de un baudio. Pero si el pulso de reloj fuera de medio segundo, entonces la velocidad de transmisión se duplicaría a 4 bps puesto que se estarían transmitiendo dos baudios por segundo.

³ Distintos códigos se verán con detalle en la siguiente unidad.

Como ejercicio, considérense ambos ejemplos anteriores para el caso en que el reloj pulsara a diez ciclos por segundo o lo que es lo mismo, con una frecuencia de 10Hz:

- a) ¿Cuál sería la velocidad de transmisión en bits por segundo para cada sistema?
- b) ¿Cuál es la velocidad de modulación en baudios para cada sistema?
- c) ¿Cuál es la relación de transmisión en bit por baudio para cada sistema?

Teorema de Nyquist

No obstante el ancho de banda sigue siendo una limitante para la velocidad de transmisión, ya que si bien es cierto que con sistemas de código multinivel se puede aumentar la tasa de transmisión, la velocidad máxima a que se pueden transmitir los bits no puede ser tan grande como queramos, sino que tiene un límite impuesto por el ancho de banda.

Nyquist dedujo en 1924 una expresión que relacionaba ambos parámetros, esto se calcula mediante la expresión matemática del **Teorema de Nyquist**, la velocidad de transmisión máxima C de cualquier canal con un ancho de banda W utilizando un esquema de codificación de M niveles se obtiene con la siguiente ecuación logarítmica binaria:

$$C = 2 \times W \times \text{Lb } M \quad (\text{en bps})$$

Este mismo postulado fundamenta otro principio muy importante en las telecomunicaciones, el **teorema del muestreo**, que es la otra interpretación a la misma demostración matemática: *Una señal compuesta cuya frecuencia mas alta sea W puede ser reconstruida satisfactoriamente solo tomando $2 \times W$ muestras por segundo.*

Los postulados de Nyquist se establecen para un canal libre de ruido, sin embargo, siempre habrá ruido que afecte las señales. En 1948 Shannon, partiendo del trabajo de Nyquist, consiguió relacionar la tasa binaria y ancho de banda para un canal sujeto a un ruido aleatorio gaussiano.

Mediante la **Ley de Shannon** se calcula la máxima **capacidad de canal** considerando el ruido térmico ó gaussiano existente, para ello se calcula primero que tanto afecta el ruido a la señal (la relación señal/ruido) para luego aplicarlo en la formula de Shannon:

$$\begin{aligned} S/N &= \text{Potencia señal} / \text{Potencia ruido} \\ C &= W \times \text{Lb } (1 + S/N) \quad (\text{en bps}) \end{aligned}$$