UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

COMUNICACIÓN DIGITAL

ENERO 2025 – JULIO 2025

Índice de contenidos

CAPÍTULO 2

Capitulo II: Introducción a la teoría de la información

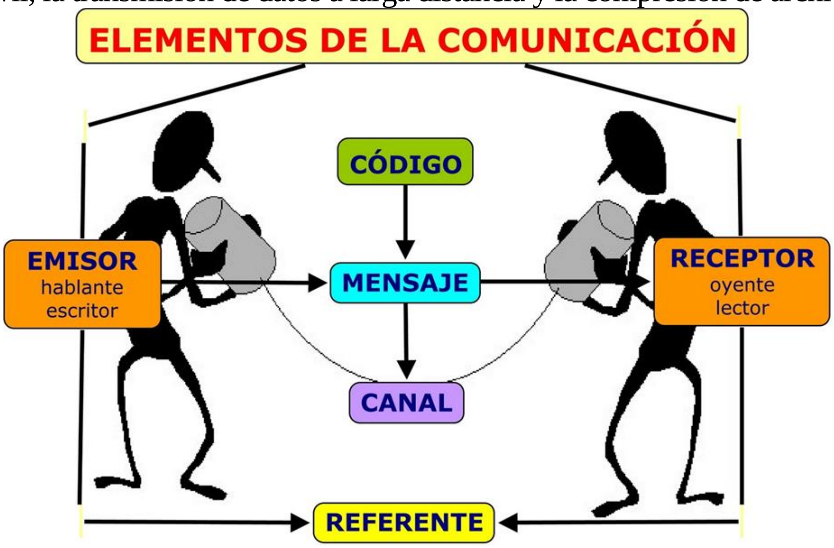
La teoría de la información es una rama de la matemática y la ciencia de la computación que se ocupa del estudio cuantitativo de la información, su medida y su transmisión. Fue desarrollada por Claude Shannon en la década de 1940 y sentó las bases para el campo de la comunicación y la codificación de datos.

La teoría de la información se basa en la idea fundamental de que la información puede ser vista como una medida de la incertidumbre o la sorpresa. Cuando recibimos información, adquirimos conocimiento y reducimos la incertidumbre sobre algún aspecto del mundo. Por lo tanto, la información puede ser cuantificada en términos de la reducción de la incertidumbre que proporciona.

En la teoría de la información, se utiliza el concepto de "bit" como unidad fundamental de información. Un bit es la cantidad de información necesaria para distinguir entre dos posibilidades equiprobables, como el resultado de lanzar una moneda (cara o cruz) o el encendido y apagado de un interruptor.

Además de medir la cantidad de información, la teoría de la información también estudia la eficiencia de la transmisión de información. Esto implica la codificación de los datos de manera óptima para minimizar la redundancia y los errores durante la transmisión. La codificación de canal y la compresión de datos son áreas de aplicación importantes de la teoría de la información.

La teoría de la información también se aplica a diversos campos, como las telecomunicaciones, la criptografía, la teoría de la computación, la inteligencia artificial y la biología. Ha sido fundamental en el desarrollo de tecnologías de la información y la comunicación, como la telefonía móvil, la transmisión de datos a larga distancia y la compresión de archivos.



Teoría de información

Teoría de la información

La información sólo puede recibirse cuando hay duda; y las dudas implican existencia de alternativas, lo cual trae aparejado elección, discriminación o selección. Pero la selección (o discriminación) puede llevarse a cabo en enlaces de comunicaciones no humanos. Por ejemplo, en lm teletipo se oprime una tecla cada vez y las señales eléctricas codificadas que llegan al receptor seleccionan y oprimen las teclas correctas automáticamente. Nos da la sensación de que las teclas del receptor están siendo presionadas por dedos invisibles. Esas señales eléctricas codificadas que llegan al receptor llevan cierto contenido de información en virtud de su potencial para decidir elecciones. Las señales son opciones para el receptor, quien habrá de elegirlas de un conjunto de distintos signos al que denominamos alfabeto y que bien pueden ser letras de un lenguaje escrito, números, palabras impresas, ordenadas de una forma de onda; en fin, cualquier tipo de signos creados para la comunicación.

Probabilidades

La probabilidad es simplemente qué tan posible es que ocurra un evento determinado. Cuando no estamos seguros del resultado de un evento, podemos hablar de la probabilidad de ciertos resultados: qué tan común es que ocurran. Al análisis de los eventos gobernados por la probabilidad se le llama estadística.

Frecuencia relativa:

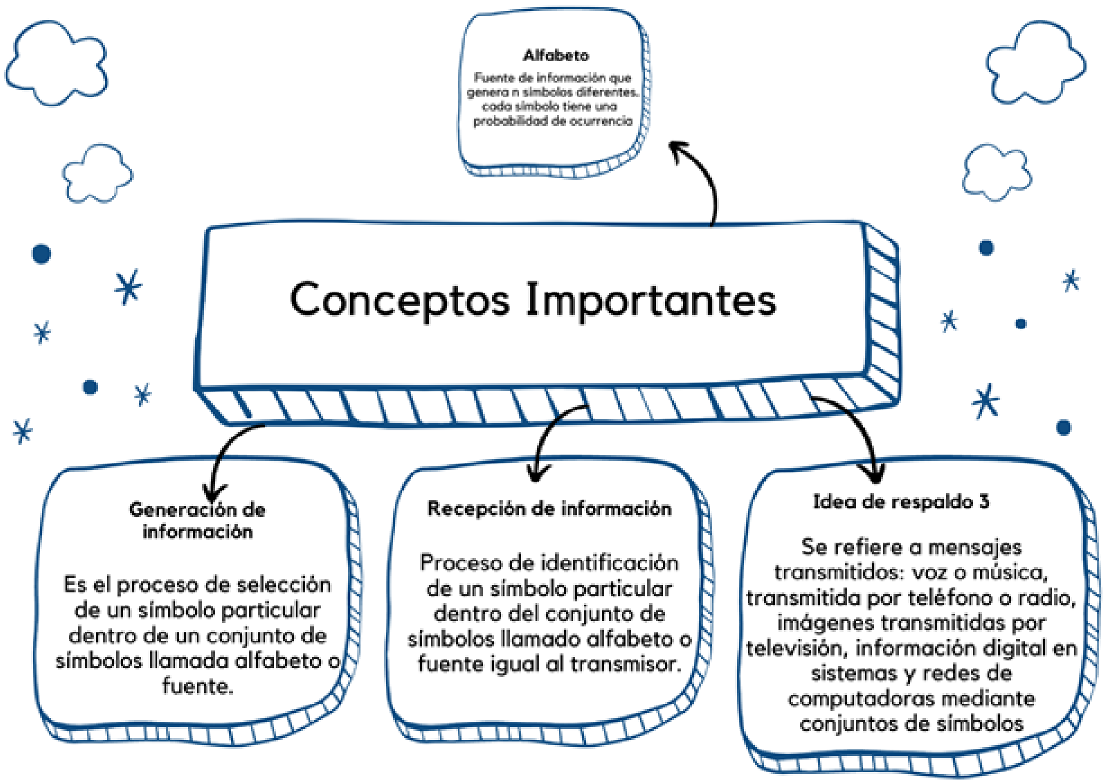
La frecuencia relativa es una medida estadística que se calcula como el cociente de la frecuencia absoluta de algún valor de la población/muestra (fi) entre el total de valores que componen la población/muestra (N). Para calcular la frecuencia relativa antes es necesario calcular la frecuencia absoluta. Sin ella no podríamos obtener la frecuencia relativa. La frecuencia relativa se representa con las letras hi y su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$hi = \frac{fi}{N}$$

hi= frecuencia relativa de la observación i-enésima
fi= frecuencia absoluta de la observación i-enésima

La frecuencia relativa informa acerca de la proporción o el peso que tiene algún valor u observación en la muestra. Esto la hace de especial utilidad, dado que, a diferencia de la frecuencia absoluta, la frecuencia relativa nos va a permitir hacer comparaciones entre muestras de tamaños distintos. Esta se puede expresar como un valor decimal, como fracción o como porcentaje.

Frecuencia absoluta:
La frecuencia absoluta es una medida estadística que nos da información acerca de la cantidad de veces que se repite un suceso al realizar un número determinado de experimentos aleatorios. Esta medida se representa mediante las letras fi. La letra f se refiere a la palabra frecuencia y la letra i se refiere a la realización i-ésima del experimento aleatorio. La frecuencia absoluta es muy utilizada en estadística descriptiva y es útil para saber acerca de las características de una población y/o muestra. Esta medida se puede utilizar con variables cualitativas o cuantitativas siempre que estas se puedan ordenar.



Fuentes de información

En la naturaleza, los sucesos no surgen de manera espontánea, sino que son generados por algún mecanismo. Resultará útil, por lo tanto, plantear la descripción matemática de estos mecanismos. Definimos fuente de información discreta, como aquel sistema capaz de generar una secuencia de símbolos pertenecientes a un alfabeto S, finito y fijo:

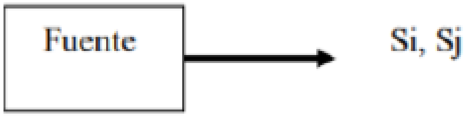
Funciones discretas sin memoria

Fuentes discretas sin memoria (FDSM)

Definimos fuente de información discreta, como aquel sistema capaz de generar una secuencia de símbolos pertenecientes a un alfabeto S, finito y fijo:

$$S = \{S1, S2, \ldots, Sq\}$$

Gráficamente una fuente de información se puede representar de la siguiente manera:



Los símbolos serán emitidos de acuerdo con una determinada ley de probabilidad. El caso más sencillo se corresponde con una fuente que los emite estadísticamente independientes, o sea, en el proceso de generar un nuevo símbolo no existe ningún tipo de influencia de los anteriormente emitidos. A este tipo de fuentes de información se les denomina de memoria nula.

Cada vez que la fuente genere un símbolo, estará proporcionando una determinada cantidad de información, que de acuerdo con la definición hecha será:

$$I(Si) = \log \frac{1}{P(Si)} (bits)$$

Entropía de la fuente de memoria nula

Debido a que una fuente no está diseñada en torno a un solo mensaje, sino al conjunto de todos los mensajes que puede transmitir, podemos describir una fuente en términos de la información media producida. Esta información media transmitida se conoce como entropía de una fuente. La entropía de una fuente es el valor promedio de la información de cada uno de los símbolos de la fuente. Como resultado tenemos el valor medio en bits por símbolo.

$$H(X) = E\{X\} = \sum_{i=1}^{n} I_i \cdot P(x_i) = -\sum_{i=1}^{n} P(x_i) \cdot \log[P(x_i)]$$

Ejemplo 1:
El lanzamiento de una moneda al aire para ver si sale cara o cruz, calcule la entropía:

$$H = 0,5 \log_2 \frac{1}{0,5} + 0,5 \log_2 \frac{1}{0,5} = (0,5 + 0,5) \log_2 2 = 1bit$$

La cantidad de información proporcionada por un símbolo, sabemos que depende de su probabilidad de aparición.
Ejemplo 2:
Sea una fuente de información con memoria nula de 6 símbolos con probabilidades de ocurrencia: Hallar la entropía de la fuente

$$\frac{1}{2} \quad \frac{1}{4} \quad \frac{1}{8} \quad \frac{1}{16} \quad \frac{1}{32} \quad \frac{1}{32} \qquad \sum P(Si) = 1$$

$$P(S6) = 1 - \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{32}\right]$$

$$P(S6) = \frac{1}{32}$$

$$H(S) = -[P(S1)\, log_2\, P(S1) + P(S2)\, log_2\, P(S2) + \cdots + P(S6)\, log_2\, P(S6)]$$

$$H(S) = -\left[\frac{1}{2}\, log_2\, 2^{-1} + \frac{1}{4}\, log_2\, 2^{-2} + \frac{1}{8}\, log_2\, 2^{-3} + \frac{1}{16}\, log_2\, 2^{-4} + 2 * \frac{1}{32}\, log_2\, 2^{-5}\right]$$

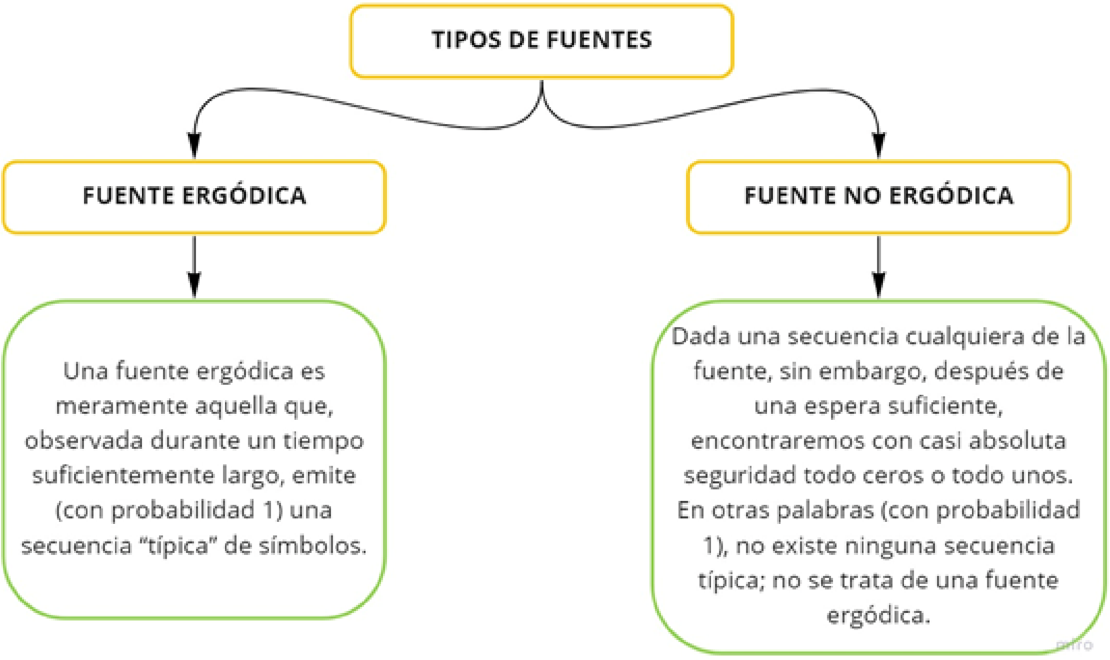
$$H(S) = -\left[-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{3}{8} - \frac{4}{16} - \frac{5}{16}\right]$$

$$H(s) = \left[\frac{8+8+6+4+5}{16}\right] = \frac{\mathbf{31}}{\mathbf{16}}[\boldsymbol{bits/símbolos}]$$

Funciones discretas con memoria

Fuentes discretas con memoria (FDCM)

Cuando las probabilidades de ocurrencia de sus símbolos son condicionales. Un tipo de fuente de información de q símbolos, consiste en aquella en que la presencia de un determinado símbolo Si depende de un número finito m de símbolos precedentes. Tal fuente (llamada fuente de Markov de orden m) viene definida por su alfabeto, S, y el conjunto de probabilidades condicionales.
Este nuevo tipo de fuente de información se la denomina de Markov, y está condicionada por los m últimos símbolos emitidos, o, dicho de otra manera, del estado de la fuente.



Cantidad de Información de una FDCM

Si $(Sj1, Sj2, \ldots\ldots, Sjm)$ es el estado y Si el símbolo recibido, la cantidad de información obtenida es:

$$I(Si/\ Sj1, Sj2, \ldots\ldots, Sjm) = log \frac{1}{P(Si/Sj1 + Sj2, \ldots., Sjm)}$$

Entropía de una FDCM

A partir de esto, es inmediato calcular la cantidad media de información por símbolo proporcionada, cuando nos encontramos en el estado $(Sj1, Sj2, \ldots\ldots, Sjm)$:

$$H(S/\ Sj1, Sj2, \ldots\ldots, Sjm) = \sum_{i=1}^{q} P(Si/Sj1 + Sj2, \ldots., Sjm)\ log \frac{1}{P(Si/Sj1 + Sj2, \ldots., Sjm)}$$

Entonces, la cantidad media de información por símbolo, de una fuente de Markov de orden m, se obtendrá calculando el valor promedio de la cantidad anterior, extendido a todos los q^m posibles estados de la fuente:

$$H(S) = \sum_{S^m} P(Sj1, Sj2, \ldots., Sjm)\ H(S/Sj1, Sj2, \ldots, Sjm)$$

$$H(S) = \sum_{S^{m+1}} P(Sj1, Sj2, \ldots., Sjm)\ log \frac{1}{P(Si/Sj1, Sj2, \ldots, Sjm)}$$

Procedimiento para la resolución de las FDCM o de Markov

Sea una fuente de dos símbolos y con las siguientes probabilidades:

$$S = \{0, 1\}$$

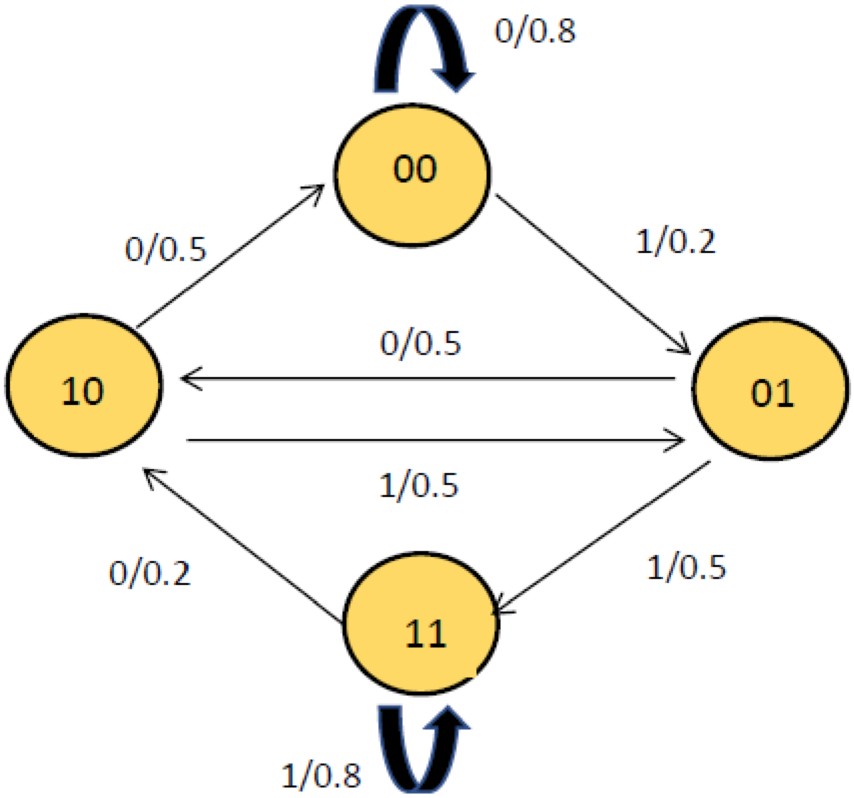
$$P(0/00) = 0.8 \qquad P(1/00) = 0.2$$

$$P(0/01) = 0.5 \qquad P(1/01) = 0.5$$

$$P(0/10) = 0.5 \qquad P(1/10) = 0.5$$

$$P(0/11) = 0.2 \qquad P(1/11) = 0.8$$

Esto nos proporciona un método gráfico de describir una fuente de Markov: mediante su diagrama de estados. En él, se representa a cada estado por un círculo, y mediante flechas que los unen las transiciones entre ellos. A cada una de estas flechas se la asocia la salida de la fuente que produce la transición y la probabilidad de ocurrencia de ésta.



En una fuente de Markov, después de generarse un número suficiente de símbolos, se llega a una distribución de probabilidades estacionaria para el conjunto de estados de la fuente, siendo, además, única. Esto quiere decir, que los distintos estados irán apareciendo con una frecuencia que sólo depende de la fuente. Puesto que la distribución estacionaria no depende de la distribución inicial con que los estados son escogidos, puede calcularse directamente a partir de las probabilidades condicionales de los símbolos.

El cálculo de las probabilidades de estado a partir de las condicionales es complejo y no se aborda.

Lo que sí va a resultar de interés, es establecer la relación entre esas probabilidades, las condicionales y las del suceso simultaneo (probabilidad de estar en un estado y generar un determinado símbolo).

Ejemplo 1:

Sea la fuente analizada en el Procedimiento para la resolución de las FDCM o de Markov, calcular la entropía de la fuente:

Solución:

Recapitulando los datos se tiene una fuente $S = \{0,1\}$ con probabilidades condicionantes de:

$P(0/00) = 0.8$ $\quad$ $P(1/00) = 0.2$

$P(0/01) = 0.5$ $\quad$ $P(1/01) = 0.5$

$P(0/10) = 0.5$ $\quad$ $P(1/10) = 0.5$

$P(0/11) = 0.2$ $\quad$ $P(1/11) = 0.8$

$$\boldsymbol{H(S/00)} = P(0/00)\log\frac{1}{P(0/00)} + P(1/00)\log\frac{1}{P(1/00)} = 0.8\log\frac{1}{0.8} + 0.2\log\frac{1}{0.2} = \mathbf{0.72}\ \frac{bits}{símbolos}$$

$$\boldsymbol{H(S/01)} = P(0/01)\log\frac{1}{P(0/01)} + P(1/01)\log\frac{1}{P(1/01)} = 0.5\log\frac{1}{0.5} + 0.5\log\frac{1}{0.5} = \mathbf{1}\ \frac{bits}{símbolos}$$

$$\boldsymbol{H(S/10)} = P(0/10)\log\frac{1}{P(0/10)} + P(1/10)\log\frac{1}{P(1/10)} = 0.5\log\frac{1}{0.5} + 0.5\log\frac{1}{0.5} = \mathbf{1}\ \frac{bits}{símbolos}$$

$$\boldsymbol{H(S/11)} = P(0/11)\log\frac{1}{P(0/11)} + P(1/11)\log\frac{1}{P(1/11)} = 0.2\log\frac{1}{0.2} + 0.8\log\frac{1}{0.8} = \mathbf{0.72}\ \frac{bits}{símbolos}$$

Por lo que la entropía de la fuente será:

$$\boldsymbol{H(S)} = P(00)H(S/00) + P(01)H(S/01) + P(10)H(S/10) + P(11)H(S/11) =$$

$$\boldsymbol{H(S)} = \frac{5}{14}(0.72) + \frac{2}{14}(1) + \frac{2}{14}(1) + \frac{5}{14}(0.72) = \mathbf{0.8}\ \boldsymbol{\frac{bits}{símbolos}}$$

Fuentes de Markov

Fuentes de Markov

La fuente de Markov, o fuentes con memoria, es aquella en que la presencia de un determinado símbolo ai depende de un número finito m de símbolos precedentes. Esta fuente se llama fuente de Markov de orden m y viene definida por su alfabeto.

A = (a1, a2,....an)

y el conjunto de probabilidades

P(ai/aj1, aj2,....ajm); Para i = 1,2....n y j = 1, 2....m

Probabilidades Condicionantes

En fuentes de Markov la probabilidad de cada símbolo viene representado por:

$$P(s_i/\ \underbrace{s_{j1}, s_{j2}, s_{j3} \cdots, s_{jm}}_{q^m => Probabilidades})$$

Entonces se tiene la siguiente relación:

$$P(s_{j1}, s_{j2}, \dots, s_{jm}, s_i) = P(s_i/s_{j1}, s_{j2}, \dots, s_{jm}) \cdot P(s_{j1}, s_{j2}, \dots, s_{jm})$$

Siendo *sj*→ probabilidad condicional, con la relación anterior se define la cantidad de información mediante la siguiente expresión:

$$I(s_i/s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm}) = \log_2 \frac{1}{P(s_i/s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm})}$$

La cantidad de información es la cantidad con la que se representa mediante la probabilidad un símbolo.
La entropía es el valor promedio de la cantidad de información que contiene la fuente de información y para fuentes FDCM viene dado por:

$$H(s/s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm}) = \sum_{s} P(s_i/s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm}) \cdot \; I(s_i/s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm})$$

Teniendo que: sm=(sj1,sj2,...,sjm) se reemplaza y se tiene:

$$H(s) = \sum_{s^m} P(s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm}) \cdot \sum_{s} P(s_i/s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm}) \cdot \log\left(\frac{1}{P(s_i/s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm})}\right)$$

$$H(s) = \sum_{s^{m+1}} P(s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm}) \cdot P(s_i/s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm}) \cdot \log\left(\frac{1}{P(s_i/s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm})}\right)$$

$$\boldsymbol{H(s) = \sum_{s^{m+1}} P(s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm},s_i) \cdot \log\frac{1}{P(s_i/s_{j1},s_{j2},\dots,s_{jm})}}$$

Probabilidades de Transición

En una cadena homogénea finita con m posibles estados $E_1, E_2, \ldots, E_m$ se puede introducir la notación

$$p_{ij} = P\left(X_n = j \mid X_{n-1} = i\right),$$

donde $i, j = 1, 2, \ldots, m$. Si $p_{ij} > 0$ entonces se dice que el estado E_i puede *comunicar* con E_j. La comunicación puede ser mutua si también $p_{ji} > 0$.

Para cada i fijo, la serie de valores $\{p_{ij}\}$ es una distribución de probabilidad, ya que en cualquier paso puede ocurrir alguno de los sucesos $E_1, E_2, \ldots, E_m$ y son mutuamente excluyentes. Los valores p_{ij} se denominan *probabilidades de transición* que satisfacen la condición

$$p_{ij} > 0,$$
$$\sum_{j=1}^{m} p_{ij} = 1,$$

para cada $i = 1, 2, \ldots, m$. Todos estos valores se combinan formando una *matriz de transición* T de tamaño $m \times m$, donde

$$T = [p_{ij}] = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mm} \end{bmatrix}$$

Se puede observar que cada fila de la matriz es una distribución de probabilidad, es decir, $\sum_{j=1}^{m} p_{ij} = 1$.

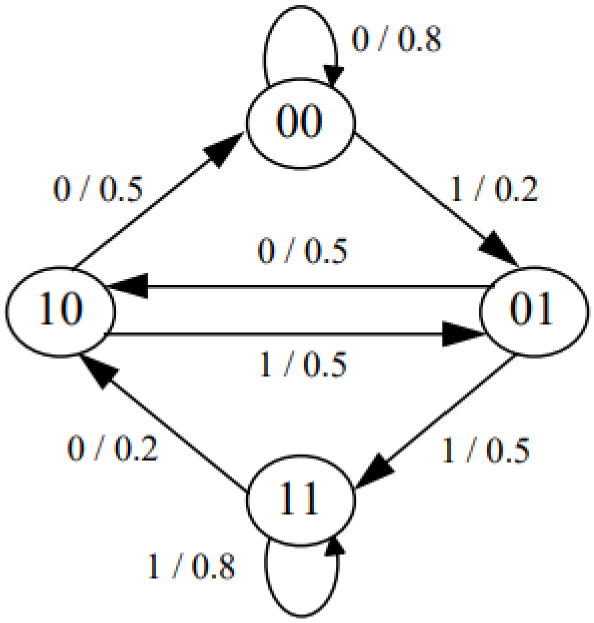
Ejemplo 1:

Un ejemplo de fuente de Markov de segundo orden sería:

- *S={0,1}*
- *P(0/00)=0.8 P(1/00)=0.2*
  P(0/01)=0.5 P(1/01)=0.5
  P(0/10)=0.5 P(1/10)=0.5
  P(0/11)=0.2 P(1/11)=0.8

Cada posible combinación de las m últimas salidas, define un conjunto de probabilidades distinto sobre el siguiente símbolo a generar. Lo que tenemos, en definitiva, es que cada una de esas combinaciones define un **estado** diferente de la fuente, de manera que la emisión de un nuevo símbolo supone un cambio en dicho estado.

Esto nos proporciona un método gráfico de describir una fuente de Markov: mediante su diagrama de estados. En él, se representa a cada estado por un círculo, y mediante flechas que los unen las transiciones entre ellos. A cada una de estas flechas se la asocia la salida de la fuente que produce la transición y la probabilidad de ocurrencia de ésta.



Variedad de la información

Variedad de la información
La variedad de la información viene definida por la siguiente fórmula.

$$log_a N = log n^m$$

$$V = m\ log_a n \quad (bits)$$

$$V = m\ log_2 n \quad (bits)$$

$$V = \text{Variedad de información}$$

$$V = m * k \ \rightarrow k = log_a n$$

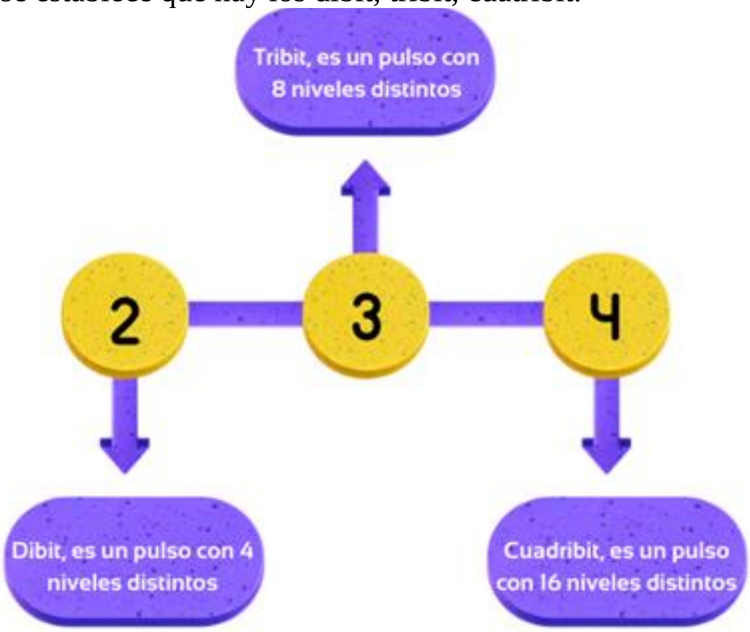
Fuente binaria: n = 2

$$V = m\ log_2 n \quad (bits)$$

$$V = m$$

$$m = 1 = 1\ bit$$

Dentro de esto se establece que hay los dibit, tribit, cuatribit.



DIBIT: Es un pulso de duración τ que tiene cuatro niveles distintos.

$V = m\ log_2\ n \quad (bits)$

$V = 1\ log_2\ 4$

$V = 2\ bits$

Cada pulso dibit se puede representar por bits

Dibit	Binario
V0	00
V1	01
V2	10
V3	11

TRIBIT: Es el pulso de duración τ que tiene 8 niveles diferentes.

$V = m\ log_2\ n \quad (bits)$

$V = 1\ log_2\ 2^3 \quad (bits)$

$V = 3 \quad (bits)$

$\frac{\tau}{3}$ Intervalo de tiempo de cada pulso

Tribit	Binario
V0	000
V1	001
V2	010
V3	011
V4	100
V5	101
V6	110
V7	111

Velocidad de una señal

En los sistemas de comunicación es de especial importancia conocer la cantidad de información que se produce o se transfiere por unidad de tiempo, es decir, la velocidad de la información.

$$V_S = \frac{v}{\tau} \left(\frac{bit}{seg}\right) (bps)$$

$V = m \log_2 n \quad (bits)$

Velocidad de una señal

$$V_S = \frac{v}{\tau}$$

$\tau \rightarrow$ Intervalo de tiempo que dura cada símbolo

Una fuente produce S (símbolos) en ΔT en T segundos

$$\tau = \frac{T}{S}$$

$$V_S = \frac{S}{T} V \ (bps)$$

Capacidad de transmisión de un canal

Capacidad de transmisión de un canal

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 trasmitir la señal que se envía a través de él. La capacidad del canal depende de la naturaleza del soporta, 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 durante la Segunda Guerra Mundial, 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.

$$C = Blog_2(1 + S/R) \ \text{(bps)}$$

En donde:

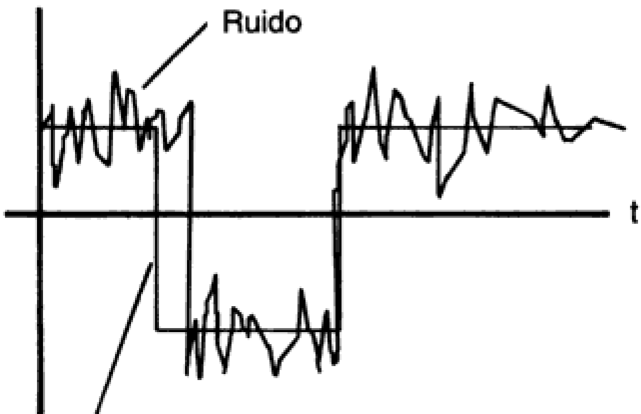
- C es la capacidad del canal $[bps]$
- B es el ancho de banda $[Hz]$
- SNR es la relación de señal-ruido $[w]$

Ancho de banda

El ancho de banda se mide como la cantidad de datos que se pueden transferir entre dos puntos de una red en un tiempo específico. Normalmente, el ancho de banda se mide en bits por segundo (bps) y se expresa como una tasa de bits. El ancho de banda denota la capacidad de transmisión de una conexión y es un factor importante al determinar la calidad y la velocidad de una red.

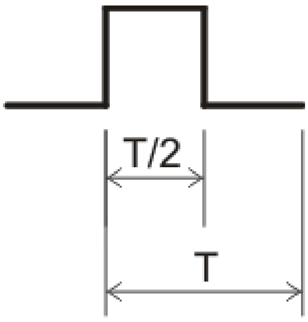
Relación señal/ruido

La relación señal-ruido, S/R o del inglés SNR (Signal to Noise Ratio) se define como la proporción existente entre la potencia de salida de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe (por lo tanto, hablamos únicamente de dispositivos que emiten sonido y nunca de dispositivos que lo captan). Este margen se mide, como casi todo lo relacionado con el audio, en decibelios.



Velocidad de Modulación

Es el número de sucesos (eventos), o cambios de señal, que se producen en 1 segundo. Se mide en baudios. (En un evento de cambio de señal se pueden representar uno o más bits de información, por lo que esta medida no corresponde con la velocidad de transmisión).



Ancho de banda para transmitir sin distorsión

$$B = \frac{1}{2\tau min}$$

$$C = B\log_2\left(1+\frac{S}{R}\right)[bps]$$

$$Vs \leq C$$

Ejemplo 1:

Un canal telefónico tiene un AB de 5.2 KHz. En la parte de recepción se tiene una relación S/N de 35 dB. Calcular la capacidad de transmisión del canal.

$$\left({}^{S}/_{N}\right)dB = 10\log_{10}\left({}^{S}/_{N}\right)$$

$$(35)dB = 10\log_{10}\left({}^{S}/_{N}\right)$$

$$\left({}^{S}/_{N}\right) = anti\ log\frac{35}{10} = 3262.28$$

$$C = B\log_2\left(1+\frac{S}{R}\right)[bps]$$

$$C = 5.2\ \text{KHz}\log_2(1+3262.28)[bps]$$

$$C = 60461.44\ [bps]$$

Codificación de las fuentes

Codificación de las fuentes discretas sin memoria FDSM

Alfabeto código y alfabeto fuente

Denominemos a S={S1,S2,...,Sq} al conjunto de símbolos de un alfabeto dado. Se define un código como la correspondencia de todas las secuencias posibles de símbolos de S a secuencias de símbolos de algún otro alfabeto a X={X1,X2,...,Xq}. S recibe el nombre de alfabeto fuente, y X alfabeto código.

Código bloque

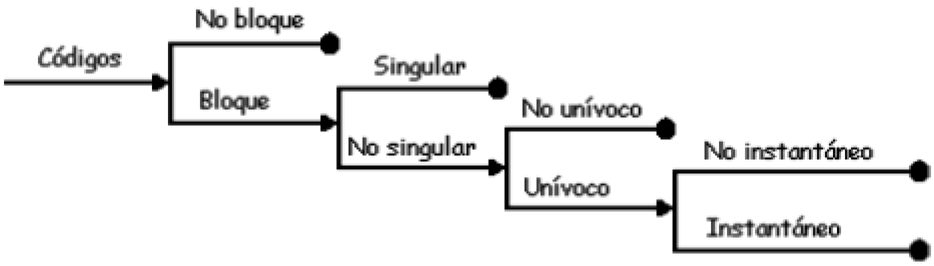
Los datos (símbolos binarios o bits) se segmentan en bloques de k-bits, donde k es la longitud de bloque. Cada bloque de información puede representar uno de M = 2k mensajes diferentes. El codificador transforma cada bloque de información en un bloque mayor de n bits (n > k) añadiendo n-k bits redundantes de una manera predeterminada. Cada bloque de n bits constituye una palabra de código contenida en el conjunto de M posibles valores. Las palabras de código se modulan y transmiten al canal. Un codificador de bloques es un dispositivo sin memoria en el sentido de que cada n bits de código dependen solamente de un bloque de k bits de información específico y no de otros.

Códigos unívocamente decodificables

Un código bloque se dice unívocamente decodificable si, y solamente si, su extensión de orden n es no singular para cualquier valor finito de n.

En la tabla siguiente aparecen dos ejemplos de códigos unívocamente decodificables. Dos códigos unívocamente decodificables.

Símbolos de la fuente	Código A	Código B
S1	00	0
S2	01	10
S3	10	110
S4	11	1110



En la teoría de códigos, "la desigualdad de Kraft", nombrada así debido a Leon Kraft, expresa las condiciones suficientes para la existencia de un código prefijo1 y, las condiciones necesarias para la existencia de un código unívocamente decodificable para un grupo dado de longitudes de palabra. Sus aplicaciones a los códigos y árboles prefijos son usualmente empleadas en ciencias de la computación y teoría de la información.

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{r}\right)^{4} \leq 1$$

Códigos compactos r-arios

Cuando se desea formar un código compacto r-ario, se deberán combinar r símbolos de manera que constituyen uno solo de la fuente reducida. Sin embargo, aparece un inconveniente que no aparecía en el caso binario. Entonces, cada fuente de las secuencias reducidas contenía un símbolo menos que la fuente anterior. En el caso r-ario, por combinar r símbolos en uno solo, cada fuente tendrá r-1 símbolos menos que la precedente, siendo de esperar que la última de la secuencia tenga exactamente r símbolos (lo que permitiría construir fácilmente un código compacto para la fuente).

Ejemplo:

Consideremos la siguiente fuente S de 11 símbolos. Se desea formar una secuencia de fuentes reducidas antes de codificar la fuente en un código cuaternario (código de cuatro símbolos). Si la última fuente de esta secuencia ha de tener cuatro símbolos, S deberá tener 4 + 3α, siendo α un número entero. Puesto que 11 no es de la forma 4 + 3α, añadiremos dos falsos símbolos, de modo que obtengamos un total de 13 símbolos. A continuación, reduciendo la fuente por grupos de cuatro símbolos, alcanzaremos una última fuente de exactamente cuatro símbolos.

	Fuente original	Fuentes reducida		
Símbolos	Probabilidades	FR1	FR2	FR3
s_1	0.22	0.22	0.23	0.40
s_2	0.15	0.15	0.22	0.23
s_3	0.12	0.12	0.15	0.22
s_4	0.10	0.10	0.12	0.15
s_5	0.10	0.10	0.10	
s_6	0.08	0.08	0.10	
s_7	0.06	0.07	0.08	
s_8	0.05	0.06		
s_9	0.05	0.05		
s_{10}	0.04	0.05		
s_{11}	0.03			
s_{12}	0.00			
s_{13}	0.00			

Cada vez que se pasa de una fuente a la anterior se definen r nuevos símbolos a partir de uno solo, alcanzando un aumento neto de r - 1 símbolos

Fuente original			Fuentes reducida					
Símbolos	Probabilidades	Palabra	FR1		FR2		FR3	
s_1	0.22	2	0.22	2	0.23	1	0.40	0
s_2	0.15	3	0.15	3	0.22	2	0.23	1
s_3	0.12	00	0.12	00	0.15	3	0.22	2
s_4	0.10	01	0.10	01	0.12	00	0.15	3
s_5	0.10	02	0.10	02	0.10	01		
s_6	0.08	03	0.08	03	0.10	02		
s_7	0.06	11	0.07	10	0.08	03		
s_8	0.05	12	0.06	11				
s_9	0.05	13	0.05	12				
s_{10}	0.04	100	0.05	13				
s_{11}	0.03	101						
s_{12}	0.00	102						
s_{13}	0.00	103						

Longitud media de un código

Longitud media de un código de la fuente S, L no puede ser inferior a H(S). Según esto, se define el rendimiento de un código. La longitud media de un código se define como la sumatoria de los productos entre las probabilidades y longitudes de cada símbolo.

$$L = \sum_i P_i l_i$$

Redundancia y rendimiento de un código.

La redundancia en datos es un enfoque común para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de un sistema. Agregar redundancia aumenta el costo y la complejidad del diseño de un sistema. Sin embargo, la regla a seguir es que, si el costo de la falla es lo suficientemente alto, la redundancia es una opción atractiva. Considera que no deberá ser más costoso el sistema de almacenamiento de redundante que el hecho de perder la información.

Se define el rendimiento como:

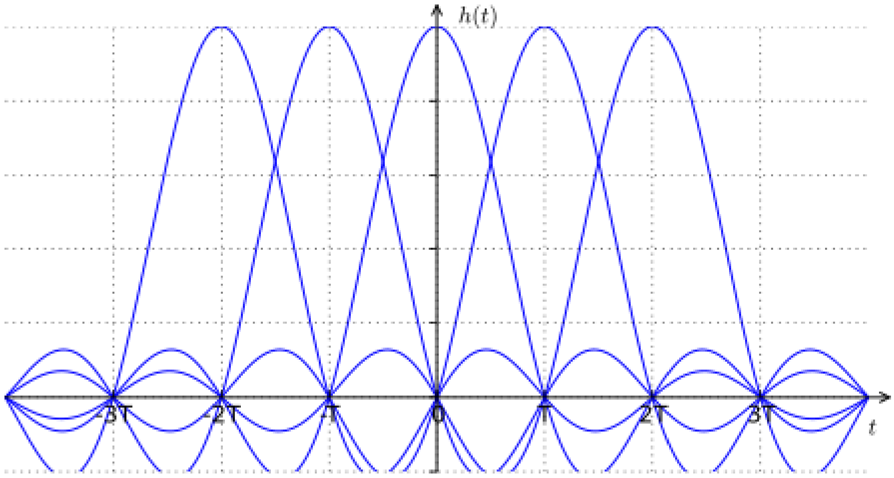
$$\eta = \frac{H_r(S)}{L}$$

Se define la redundancia del código como:

$$R = \frac{L - H_r(S)}{L}$$

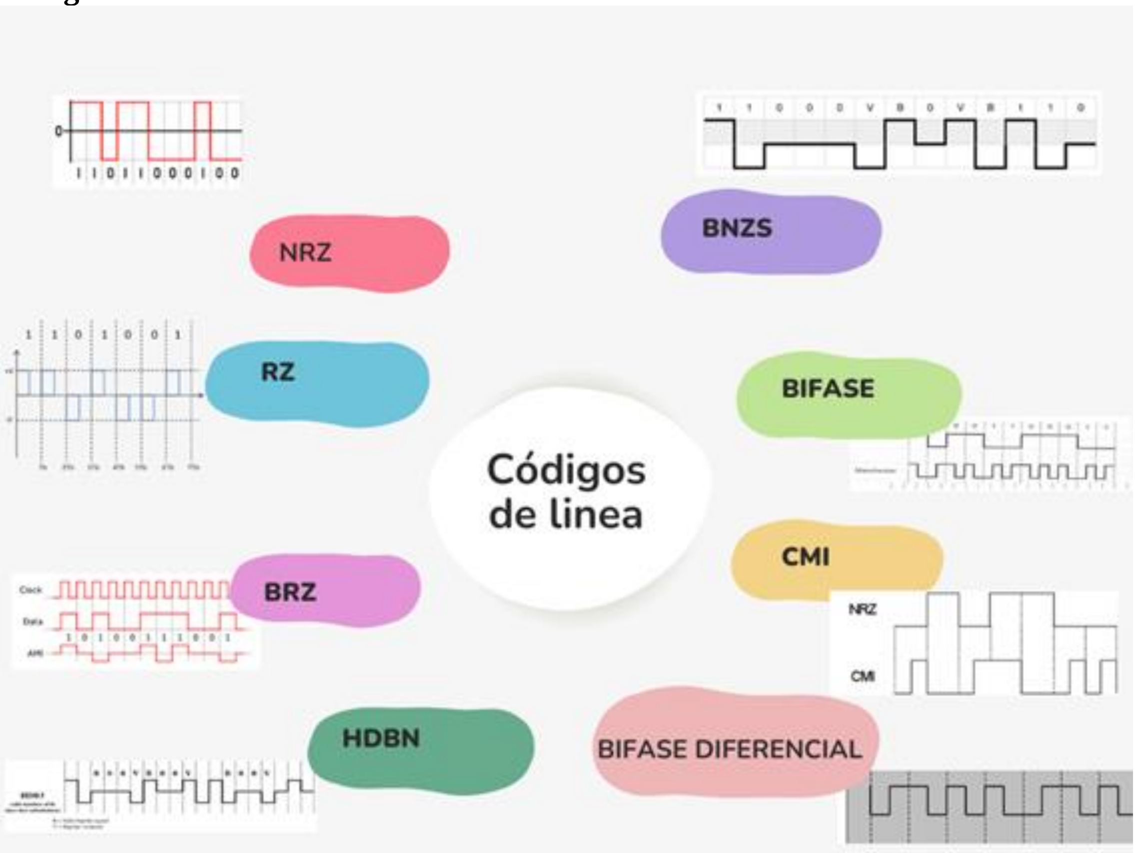
Interferencia Intersímbolo.

En telecomunicación, la interferencia entre símbolos (ISI) es una forma de distorsión de una señal en la cual un símbolo interfiere con símbolos posteriores. Es un fenómeno no deseado ya que los símbolos anteriores tienen un efecto similar al del ruido, lo que hace que la comunicación sea menos fiable. La extensión/propagación del pulso más allá del intervalo de tiempo asignado hace que interfiera con los pulsos/ritmos vecinos. ISI es normalmente causada por la propagación por trayectos múltiples o respuesta de frecuencia lineal o no lineal inherente de un canal que hace que los símbolos sucesivos se "desenfoquen" juntos.



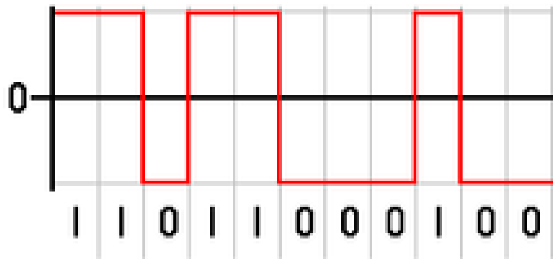
Códigos de línea

Códigos de Línea



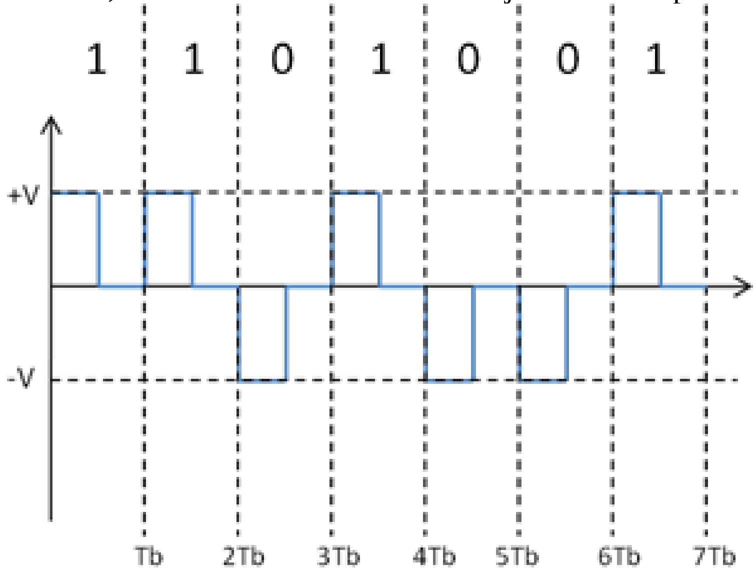
Código NRZ

La codificación NRZ también se ha convertido en una codificación sin retorno a cero, que también es nuestra codificación más común, es decir, un nivel positivo indica 1 y un nivel bajo indica 0. La diferencia entre este y el código RZ es que no necesita volver a cero, es decir, se puede usar un ciclo para transmitir datos, de modo que el ancho de banda de transmisión se pueda utilizar por completo.



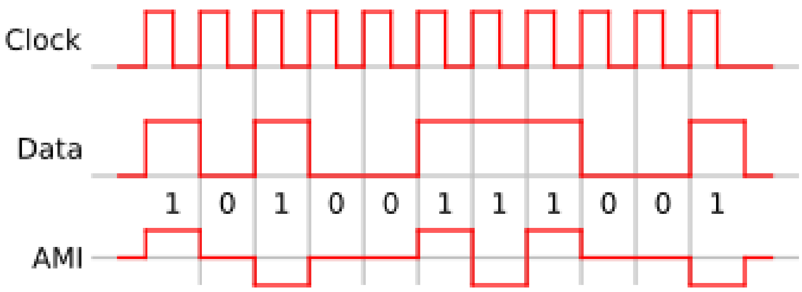
Código RZ

El código RZ también se convierte en el código de retorno a cero. La característica del código de retorno a cero es transmitir bits de datos en binario dentro de un ciclo. Después de que finaliza el pulso de bits de datos, debe mantenerse en un nivel bajo durante un período de tiempo.



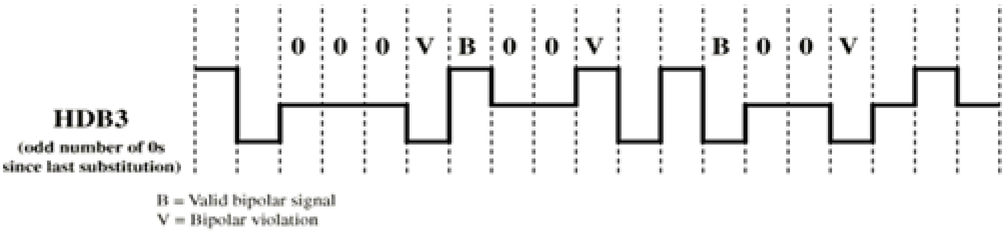
Código AMI

Es un código en línea recomendado para las transmisiones binarias. Se puede definir como un código bipolar con retorno a cero con algunas particularidades que se describen a continuación.



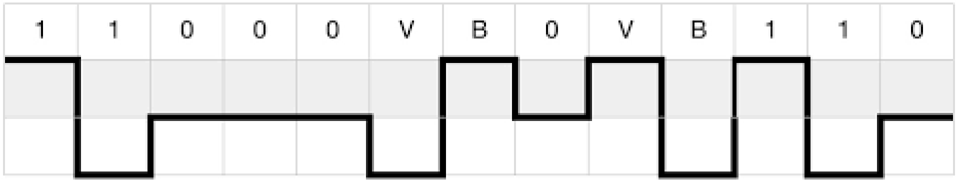
Código HDBn

Los códigos HDBN (High Density Bipolar) limitan el número de ceros consecutivos que se pueden transmitir. -HDB3 no admite más de 3 ceros consecutivos. Coloca un impulso (positivo o negativo) en el lugar del 4.º cero. El receptor tiene que interpretar este impulso como un cero



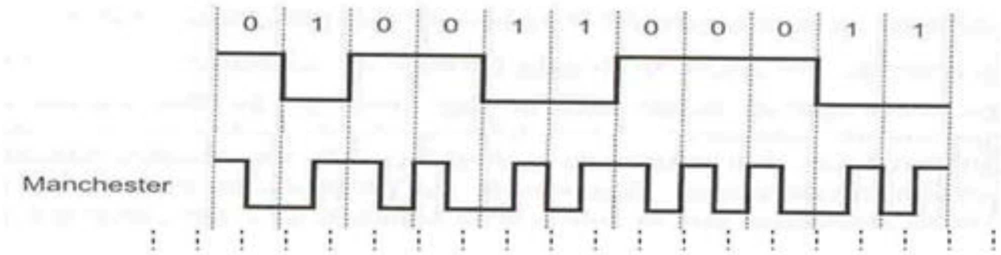
Código BNRZ

Es un método de codificación que inserta dos veces sucesivas al mismo voltaje - refiriéndose a una violación bipolar - en una señal donde ocho ceros consecutivos sean transmitidos.



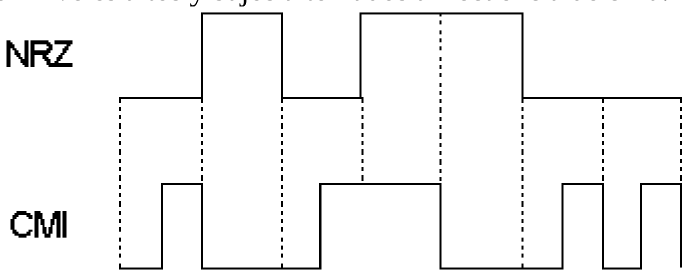
Código Bifase

La codificación Manchester, también denominada codificación bifase-L, es un método de codificación eléctrica de una señal binaria en el que en cada tiempo de bit hay una transición entre dos niveles de señal. Es una codificación auto sincronizada, ya que en cada bit se puede obtener la señal de reloj, lo que hace posible una sincronización precisa del flujo de datos. Una desventaja es que consume el doble de ancho de banda que una transmisión asíncrona.



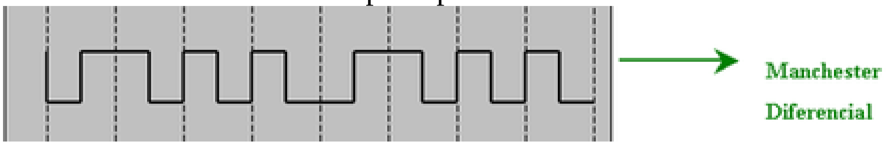
Código CMI

Al codificador CMI se le aplica la señal de datos NRZ y el bit clock de transmisión. A partir de esto último se obtiene también un clock de frecuencia doble, precisado para el funcionamiento interno del codificador. Si el dato en entrada es 0, en la salida CMI se obtiene una forma de onda correspondiente a la señal de clock. Cuando el dato en entrada es 1 a la salida CMI se obtiene una forma de onda con niveles altos y bajos alternados a frecuencia de cifra.



Código bifase diferencial

La transición a mitad del intervalo se utiliza solo para sincronización, un '0 binario' se representa por la presencia de una transición al principio del intervalo del bit, y un '1 binario' se representa mediante la ausencia de una transición al principio del intervalo.



Bibliografía:

[1] «electronicafacil.net,» [En línea]. Available: https://www.electronicafacil.net/tutoriales /MODULACION-DIGITAL-FSK-PSK-QAM.html. [Último acceso: 29 Diciembre 2023].

[2] Tecnológico Nacional de México, «itq.edu.mx,» [En línea]. Available: http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectronica/archivos_contenido/Apuntes%20de%20materias/CDF1202_Comm_Digitales/6_Modulacion_PasaBanda.pdf. [Último acceso: 29 Diciembre 2023].

[3] «MATPIC.COM,» [En línea]. Available: http://www.matpic.com/esp/matlab/modulaciones_simulink.html. [Último acceso: 29 Diciembre 2023].

[4] Pontificia Universidad Javeriana, [En línea]. Available: https://sistemas-de-comunicacion.fandom.com/es/wiki/Sesi%C3%B3n_27_-_Modulaci%C3%B3n_BFSK. [Último acceso: 29 Diciembre 2023].

[5] M. Orduñas, «http://informatica.uv.es/,» [En línea]. Available: http://informatica.uv.es/iiguia/TSTD/apuntes/tema2.pdf. [Último acceso: 29 Diciembre 2023].