

Transmisión digital y analógica

1. Conversión Digital-Analógica

La conversión digital-analógica es el proceso de modificar una de las características de una señal analógica a partir de la información de los datos digitales. La figura 01 muestra la relación entre la información digital, el proceso de modulación digital-analógica y la señal analógica resultante.

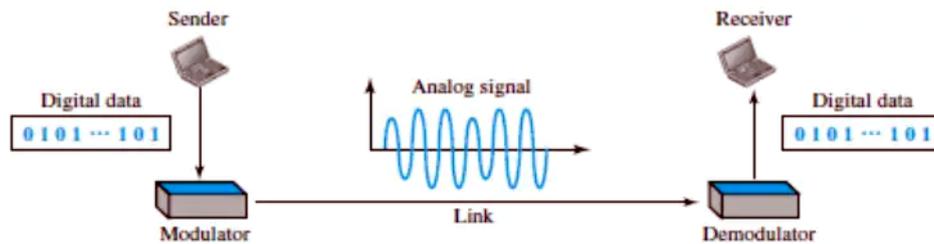


Fig. 01: Proceso de modulación digital analógica

Una onda sinusoidal se define por tres características: **amplitud**, **frecuencia** y **fase**. Cuando variamos cualquiera de estas características, creamos una versión diferente de esa onda. Así, cambiando una característica de una señal eléctrica simple, podemos utilizarla para representar datos digitales.

2. Aspectos de la conversión digital-analógica

Antes de hablar de métodos específicos de modulación digital-analógica, hay que repasar dos cuestiones básicas: la **velocidad de bits** y **baudios** y la **señal portadora**.

2.1. Elemento de datos frente a elemento de señal

El **elemento de datos** es la pieza más pequeña de información que se intercambia, el **bit**. También hemos definido un elemento de señal como la unidad más pequeña de una señal que es constante.

2.2. Velocidad de transmisión de datos frente a velocidad de señal

Podemos definir la velocidad de transmisión de datos (velocidad binaria o **bit rate**) y la velocidad de transmisión de señales (velocidad en baudios o **baud rate**). La relación entre ambas es

$$S = \frac{N}{r} \text{ baudios}$$

donde N es la velocidad de transmisión de datos (*data rate*, bps) y r es el *número de elementos de datos transportados en un elemento de señal*. El valor de r en la transmisión analógica es $r = \log_2 L$, donde L es el tipo de elemento de señal, no el nivel.

2.3. Señal portadora / Carrier Signal

En la transmisión analógica, el dispositivo emisor produce una señal de alta frecuencia que actúa como base para la señal de información. Esta señal base se denomina **señal portadora / carrier signal** o **frecuencia portadora / carrier frequency**. El dispositivo receptor se sintoniza con la frecuencia de la señal portadora que espera

del emisor. A continuación, la información digital cambia la señal portadora modificando una o varias de sus características (amplitud, frecuencia o fase). Este tipo de modificación se denomina **modulación** (*shift keying*).

Cualquiera de las tres características puede alterarse de este modo, lo que nos da al menos tres mecanismos para modular datos digitales en una señal analógica: *modulación por desplazamiento de amplitud* (ASK), *modulación por desplazamiento de frecuencia* (FSK) y *modulación por desplazamiento de fase* (PSK).

2.4. Aspectos de la conversión digital-analógica

2.4.1. Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)

En la modulación por desplazamiento de amplitud, la amplitud de la señal portadora varía para crear elementos de señal. Tanto la frecuencia como la fase permanecen constantes mientras cambia la amplitud. Aunque podemos tener varios niveles (tipos) de elementos de señal, cada uno con una amplitud diferente, ASK se implementa normalmente utilizando sólo dos niveles. Esto se denomina modulación por desplazamiento de amplitud binaria o modulación on-off (OOK). La amplitud pico de un nivel de señal es 0; la del otro es igual a la amplitud de la frecuencia portadora. La figura 02 ofrece una visión conceptual de la ASK binaria.

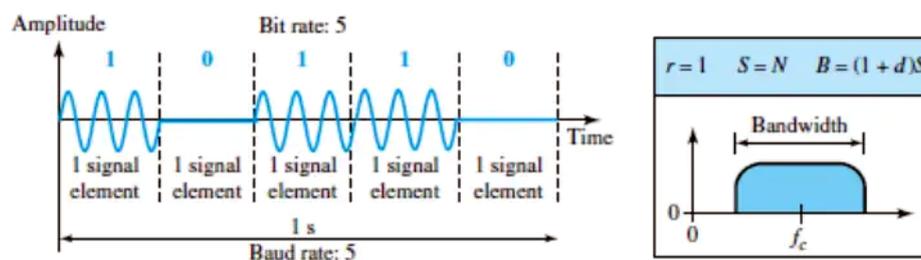


Fig. 02: Visión conceptual de la ASK binaria

2.4.2. Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

En la modulación por desplazamiento de frecuencia, la frecuencia de la señal portadora varía para representar los datos. La frecuencia de la señal modulada es constante para la duración de un elemento de señal, pero cambia para el siguiente elemento de señal si cambia el elemento de datos. Tanto la amplitud de pico como la fase permanecen constantes para todos los elementos de señal. Una forma de entender la FSK binaria (o BFSK) es considerar dos frecuencias portadoras. En la Figura 03, hemos seleccionado dos frecuencias portadoras, f_1 y f_2 . Utilizamos la primera portadora si el elemento de datos es 0; utilizamos la segunda si el elemento de datos es 1. Sin embargo, tenga en cuenta que este es un ejemplo poco realista utilizado sólo para fines de demostración.

Normalmente, las frecuencias portadoras son muy altas y la diferencia entre ellas es muy pequeña.

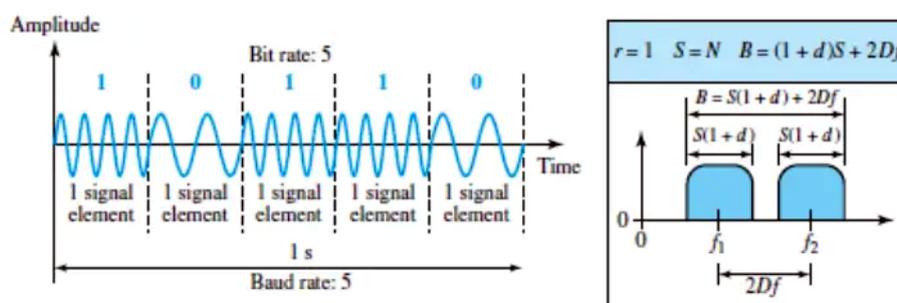


Fig. 02: Modulación por desplazamiento de frecuencia

2.4.3. Modulación por desplazamiento de fase (PSK)

En la modulación por desplazamiento de fase, la fase de la portadora varía para representar dos o más elementos de señal diferentes. Tanto la amplitud de pico como la frecuencia permanecen constantes a medida que cambia la fase. Hoy en día, la PSK es más común que la ASK o la FSK. La PSK más sencilla es la PSK binaria, en la que sólo tenemos dos elementos de señal, uno con una fase de 0° y otro con una fase de 180° .

3. Técnicas de conversión analógica-analógica

La conversión analógica-analógica, o modulación analógica, es la representación de información analógica mediante una señal analógica. La modulación es necesaria si el medio es pasabanda por naturaleza o si sólo disponemos de un canal pasabanda.

Un ejemplo es la radio. El gobierno asigna un estrecho ancho de banda a cada emisora de radio. La señal analógica producida por cada emisora es una señal de paso bajo, todas en el mismo rango. Para poder escuchar diferentes emisoras, es necesario desplazar las señales de paso bajo, cada una a un rango diferente.

La conversión analógica-analógica puede realizarse de tres maneras:

3.1. Modulación de amplitud: AM

En la transmisión AM, la señal portadora se modula de forma que su amplitud varía con las amplitudes cambiantes de la señal moduladora. La frecuencia y la fase de la portadora permanecen invariables. Sólo cambia la amplitud para seguir las variaciones de la información. La siguiente figura muestra cómo funciona este concepto. La señal moduladora es la envolvente de la portadora.

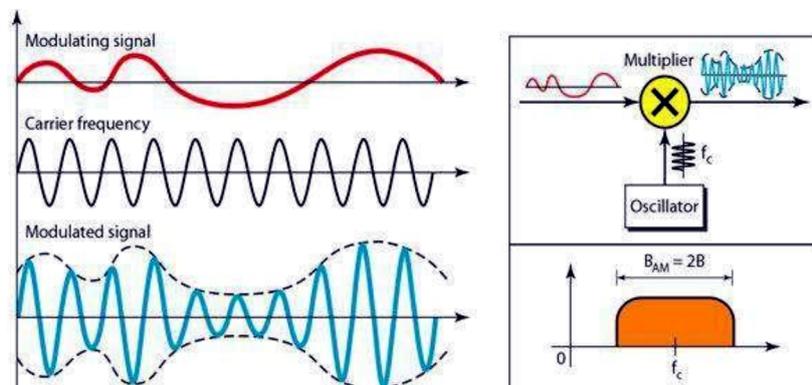


Fig. 04: Modulación de amplitud

La AM se implementa normalmente utilizando un simple multiplicador, ya que la amplitud de la señal portadora debe modificarse en función de la amplitud de la señal moduladora.

3.2. Modulación de frecuencia: FM

En la transmisión FM, la frecuencia de la señal portadora se modula para seguir el cambio del nivel de tensión (amplitud) de la señal moduladora. La amplitud de pico y la fase de la señal portadora permanecen constantes, pero a medida que cambia la amplitud de la señal de información, la frecuencia de la portadora cambia en consecuencia.

La siguiente figura muestra las relaciones entre la señal moduladora, la señal portadora y la señal FM resultante. La FM se implementa normalmente utilizando un oscilador controlado por tensión como en la FSK. La frecuencia del oscilador cambia en función de la tensión de entrada, que es la amplitud de la señal moduladora.

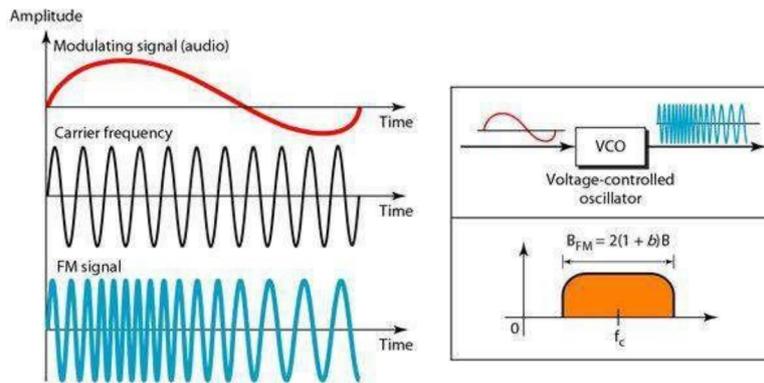


Fig. 05: Modulación de frecuencia

Asignación estándar de ancho de banda para radio FM

El ancho de banda de una señal de audio (voz y música) emitida en estéreo es de casi 15 kHz. La FCC permite 200 kHz (0,2 MHz) para cada emisora.

3.3. Modulación de fase: PM

En la transmisión PM, la fase de la señal portadora se modula para seguir la variación del nivel de tensión (amplitud) de la señal moduladora. La amplitud de pico y la frecuencia de la señal portadora permanecen constantes, pero a medida que cambia la amplitud de la señal de información, la fase de la portadora cambia en consecuencia. Se ha demostrado matemáticamente que la PM es lo mismo que la FM con una diferencia.

En FM, el cambio instantáneo de la frecuencia portadora es proporcional a la amplitud de la señal moduladora; en PM, el cambio instantáneo de la frecuencia portadora es proporcional a la derivada de la amplitud de la señal moduladora. La siguiente figura muestra las relaciones de la señal moduladora, la señal portadora y la señal PM resultante.

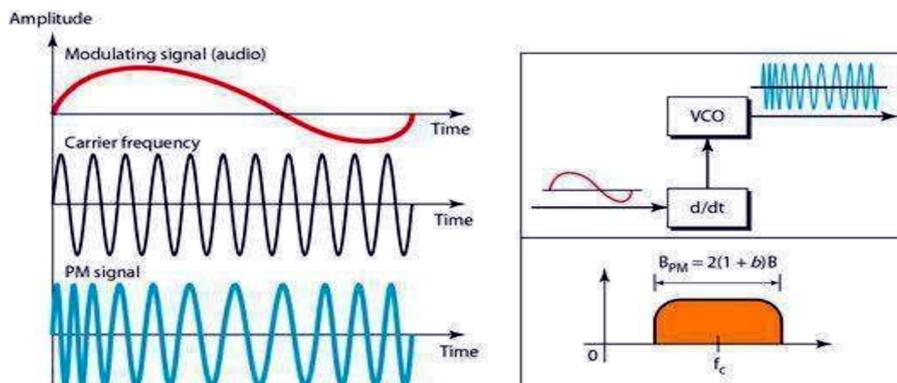


Fig. 06: Modulación de fase

La modulación por pulsos se realiza normalmente con un oscilador controlado por tensión y una derivada. La frecuencia del oscilador cambia en función de la derivada de la tensión de entrada, que es la amplitud de la señal moduladora.

Los datos o la información pueden almacenarse de dos formas, analógica y digital. Para que un ordenador pueda utilizar los datos, éstos deben estar en forma digital discreta. Al igual que los datos, las señales también pueden estar en forma analógica y digital. Para transmitir datos digitalmente, primero hay que convertirlos a formato digital.

4. Conversión de digital a digital

Esta sección explica cómo convertir datos digitales en señales digitales. Puede hacerse de dos formas: codificación de línea y codificación de bloque. Para todas las comunicaciones, la codificación de línea es necesaria, mientras que la codificación de bloque es opcional.

4.1. Codificación de línea

El proceso de conversión de datos digitales en señales digitales se denomina codificación de línea. Los datos digitales se encuentran en formato binario. Se representan (almacenan) internamente como series de 1s y 0s.

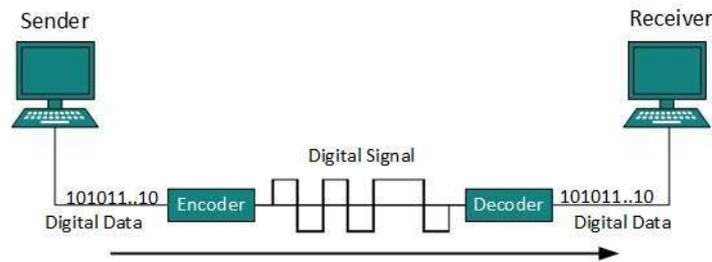


Fig. 07: Codificación de línea

Se denomina señal digital a la señal discreta que representa datos digitales. Existen tres tipos de esquemas de codificación de línea:

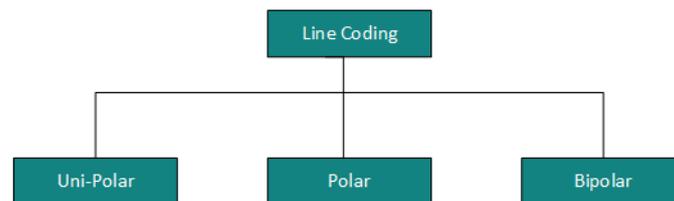


Fig. 08: Esquemas de codificación de línea

4.2. Codificación unipolar

Los esquemas de codificación unipolar utilizan un único nivel de tensión para representar los datos. En este caso, para representar un 1 binario, se transmite una tensión alta y para representar un 0, no se transmite ninguna tensión. También se denomina unipolar sin retorno a cero, porque no hay condición de reposo, es decir, representa 1 o 0.

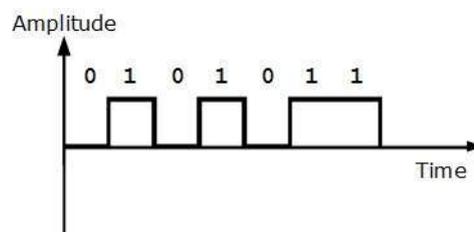


Fig. 09: Codificación unipolar

4.3. Codificación polar

El esquema de codificación polar utiliza varios niveles de tensión para representar valores binarios. Las codificaciones polares están disponibles en cuatro tipos:

4.3.1. Polar sin retorno a cero (Polar NRZ)

Utiliza dos niveles de tensión diferentes para representar valores binarios. Generalmente, el voltaje positivo representa 1 y el valor negativo representa 0. También es NRZ porque no hay condición de reposo.

El esquema NRZ tiene dos variantes: NRZ-L y NRZ-I.

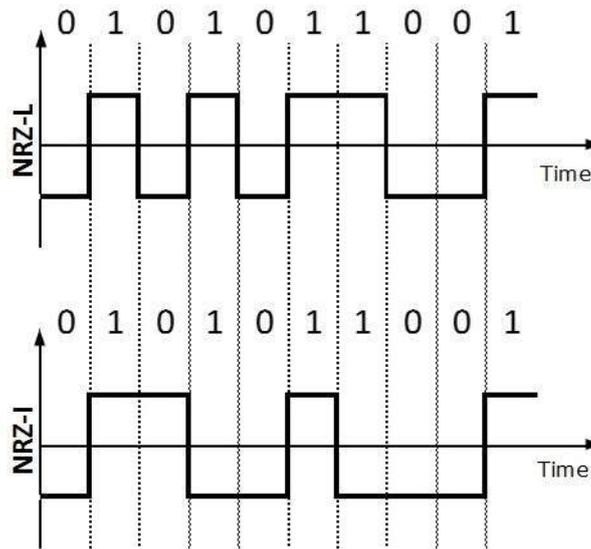


Fig. 10: Codificación Polar sin retorno a cero

NRZ-L cambia el nivel de tensión cuando se encuentra un bit diferente, mientras que NRZ-I cambia la tensión cuando se encuentra un 1.

4.3.2. Vuelta a cero (RZ)

El problema de NRZ es que el receptor no puede saber cuándo termina un bit y cuándo comienza el siguiente, en caso de que el reloj del emisor y el del receptor no estén sincronizados.

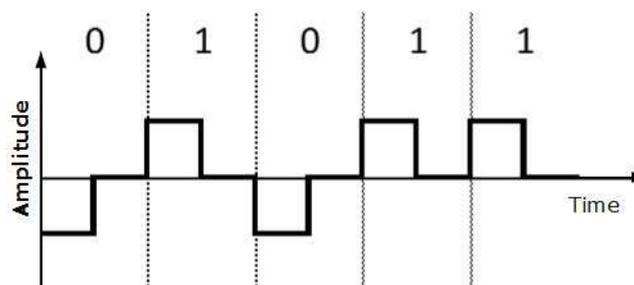


Fig. 11: Codificación Vuelta a cero

RZ utiliza tres niveles de tensión, tensión positiva para representar 1, tensión negativa para representar 0 y tensión cero para ninguno. Las señales cambian durante los bits, no entre bits.

4.3.3. Manchester

Este esquema de codificación es una combinación de RZ y NRZ-L. El tiempo del bit se divide en dos mitades. Transita por la mitad del bit y cambia de fase cuando se encuentra un bit diferente.

4.3.4. Manchester diferencial

Este esquema de codificación es una combinación de RZ y NRZ-I. También transita por la mitad del bit, pero sólo cambia de fase cuando se encuentra un 1.

4.4. Codificación bipolar

La codificación bipolar utiliza tres niveles de tensión: positivo, negativo y cero. El voltaje cero representa el 0 binario y el bit 1 se representa alterando los voltajes positivo y negativo.

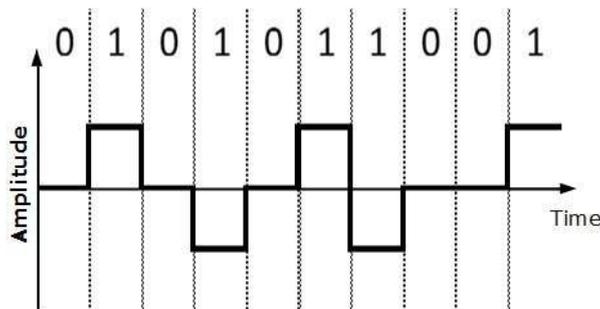


Fig. 12: Codificación Bipolar

5. Conversión analógico-digital

Los micrófonos crean voz analógica y las cámaras vídeos analógicos, que se tratan como datos analógicos. Para transmitir estos datos analógicos a través de señales digitales, necesitamos la conversión analógico-digital.

Los datos analógicos son un flujo continuo de datos en forma de onda, mientras que los datos digitales son discretos. Para convertir una onda analógica en datos digitales, se utiliza la modulación por impulsos codificados (PCM).

PCM es uno de los métodos más utilizados para convertir datos analógicos en digitales. Consta de tres pasos:

5.1. Muestreo

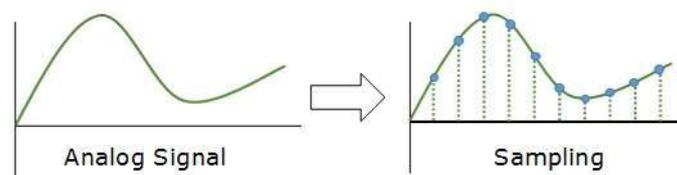


Fig. 13: Sampling / Muestreo

La señal analógica se muestrea cada intervalo T . El factor más importante en el muestreo es la velocidad a la que se muestrea la señal analógica. Según el Teorema de Nyquist, la frecuencia de muestreo debe ser al menos dos veces la frecuencia más alta de la señal.

5.2. Cuantización

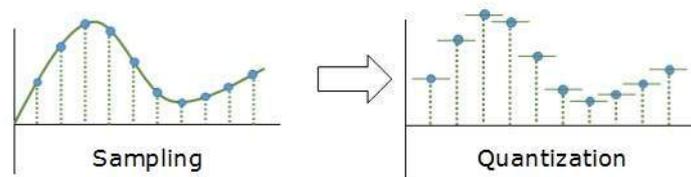


Fig. 14: Cuantización

El muestreo produce una forma discreta de la señal analógica continua. Cada patrón discreto muestra la amplitud de la señal analógica en ese instante. La cuantización se realiza entre el valor máximo de amplitud y el valor mínimo de amplitud. La cuantización es una aproximación del valor analógico instantáneo.

5.3. Codificación / Encoding

En la codificación, cada valor aproximado se convierte en formato binario.

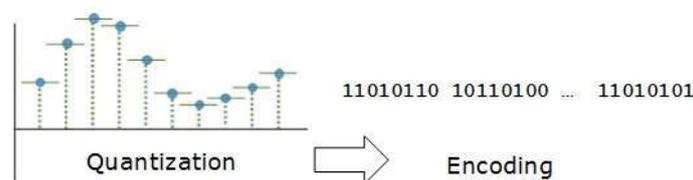


Fig. 15: Codificación / Encoding

6. Modos de transmisión

El modo de transmisión decide cómo se transmiten los datos entre dos ordenadores. Los datos binarios en forma de 1s y 0s pueden enviarse en dos modos diferentes: Paralelo y Serie.

6.1. Transmisión Paralela

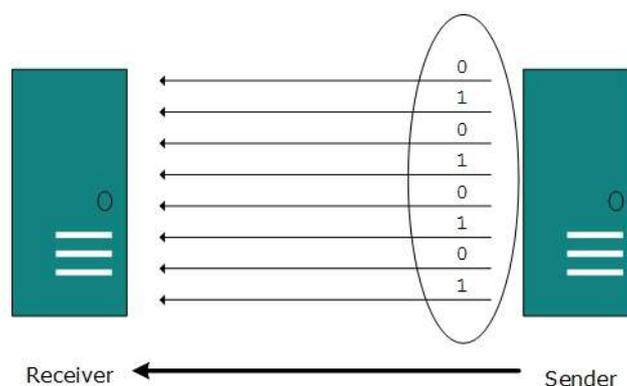


Fig. 16: Transmisión Paralela

Los bits binarios se organizan en grupos de longitud fija. Tanto el emisor como el receptor están conectados en paralelo con el mismo número de líneas de datos. Ambos ordenadores distinguen entre líneas de datos de orden alto y de orden bajo. El emisor envía todos los bits a la vez por todas las líneas. Como las líneas de datos son iguales al número de bits de un grupo o trama de datos, se envía un grupo completo de bits (trama de datos) de una sola vez. La ventaja de la transmisión en paralelo es la alta velocidad y la desventaja es el coste de los cables, ya que es igual al número de bits enviados en paralelo.

6.2. Transmisión en serie

En la transmisión en serie, los bits se envían uno tras otro en forma de cola.

La transmisión en serie sólo requiere un canal de comunicación.

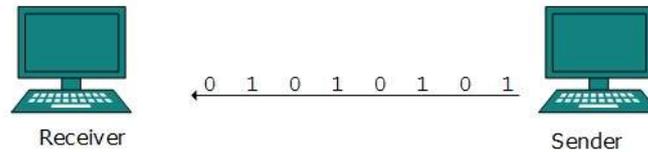


Fig. 17: Transmisión en Serie

La transmisión en serie puede ser asíncrona o síncrona.

6.3. Transmisión serie asíncrona

Se llama así porque no hay importancia de la sincronización. Los bits de datos tienen un patrón específico y ayudan al receptor a reconocer los bits de datos de inicio y fin. Por ejemplo, se antepone un 0 a cada byte de datos y se añaden uno o varios 1 al final.

Dos tramas de datos continuas (bytes) pueden tener un espacio entre ellas.

6.4. Transmisión serie síncrona

La temporización en la transmisión síncrona es importante, ya que no se sigue ningún mecanismo para reconocer los bits de datos iniciales y finales. No existe ningún patrón ni método de prefijo/sufijo. Los bits de datos se envían en modo ráfaga sin dejar espacio entre bytes (8 bits). Una única ráfaga de bits de datos puede contener varios bytes. Por lo tanto, la sincronización es muy importante.

Corresponde al receptor reconocer y separar los bits en bytes. La ventaja de la transmisión síncrona es su alta velocidad y la ausencia de bits de cabecera y pie de página, como en la transmisión asíncrona.

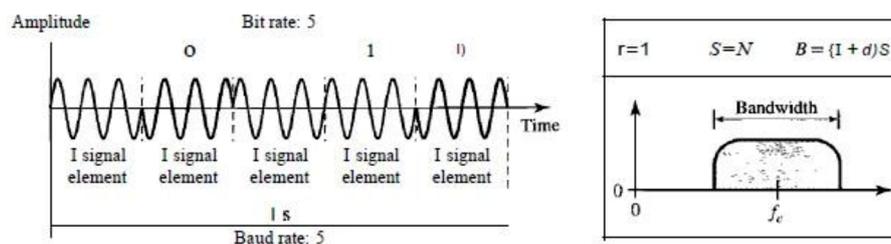


Fig. 18: Transmisión Serie Síncrona

7. Multiplexación-FDM,TDM,WDM

7.1. Multiplexación

Cuando el ancho de banda de un medio que une dos dispositivos es superior a las necesidades de ancho de banda de los dispositivos, el enlace puede compartirse. La multiplexación es el conjunto de técnicas que permite la transmisión simultánea de múltiples señales a través de un único enlace de datos. En un sistema multiplexado, n líneas comparten el ancho de banda de un enlace. La Figura 6. 1 muestra el formato básico de un sistema multiplexado. Las líneas de la izquierda dirigen sus flujos de transmisión a un multiplexor (MUX), que los combina en un único flujo (muchos a uno). En el extremo receptor, ese flujo se introduce en un demultiplexor (DEMUX),

que vuelve a separar el flujo en sus transmisiones componentes (uno a muchos) y las dirige a sus líneas correspondientes. En la figura, la palabra enlace se refiere a la ruta física. La palabra canal se refiere a la parte de un enlace que transporta una transmisión entre un par de líneas determinado. Un enlace puede tener muchos (n) canales.

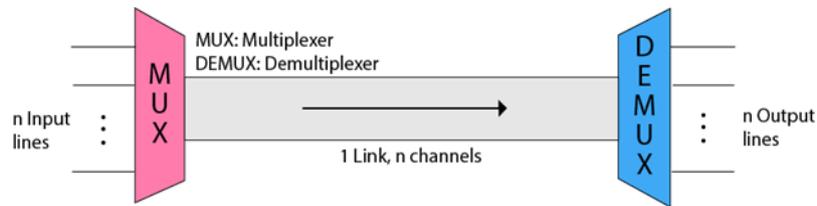


Fig. 19: Multiplexación

Existen tres técnicas básicas de multiplexación:

Multiplexación por división de frecuencia, multiplexación por división de longitud de onda y multiplexación por división de tiempo. Las dos primeras son técnicas diseñadas para señales analógicas, la tercera, para señales digitales.

7.1.1. Multiplexación por división de frecuencia

La multiplexación por división de frecuencia (FDM) es una técnica analógica que puede aplicarse cuando el ancho de banda de un enlace (en hercios) es mayor que los anchos de banda combinados de las señales que se van a transmitir. En FDM, las señales generadas por cada dispositivo emisor modulan diferentes frecuencias portadoras. Estas señales moduladas se combinan en una única señal compuesta que puede ser transportada por el enlace. Las frecuencias portadoras están separadas por un ancho de banda suficiente para acomodar la señal modulada. Estos rangos de ancho de banda son los canales por los que viajan las distintas señales. Los canales pueden estar separados por franjas de ancho de banda no utilizadas -bandas de guarda- para evitar que las señales se solapen. Además, las frecuencias portadoras no deben interferir con las frecuencias de datos originales. Proceso de multiplexación La Figura 6. 4 es una ilustración conceptual del proceso de multiplexación. Cada fuente genera una señal de un rango de frecuencias similar. Dentro del multiplexor, estas señales similares modulan diferentes frecuencias portadoras.

Las señales moduladas resultantes se combinan en una única señal compuesta que se envía a través de un enlace de medios que tenga suficiente ancho de banda para acomodarla.

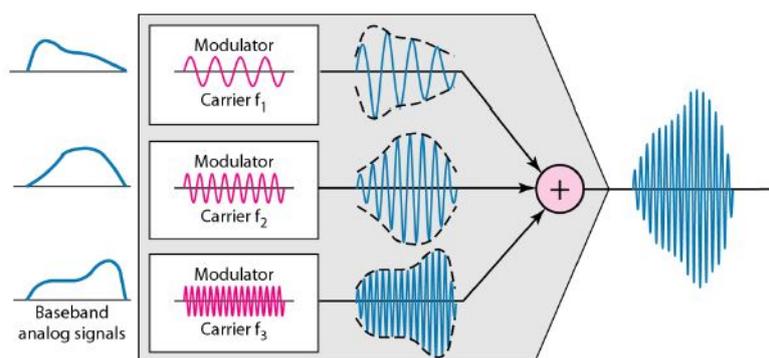


Fig. 20: Multiplexación por división de frecuencia

Proceso de demultiplexación El demultiplexor utiliza una serie de filtros para descomponer la señal multiplexada en las señales que la componen. A continuación, las señales individuales pasan a un demodulador que las separa de sus portadoras y las pasa a las líneas de salida. La figura 6. 5 es una ilustración conceptual del proceso de demultiplexación.

7.1.2. Multiplexación por división de longitud de onda

La multiplexación por división de longitud de onda (WDM) está diseñada para utilizar la capacidad de alta velocidad de datos del cable de fibra óptica. La velocidad de transmisión de datos de la fibra óptica es superior a la del cable de transmisión metálico. Utilizar un cable de fibra óptica para una sola línea desperdicia el ancho de banda disponible. La multiplexación permite combinar varias líneas en una sola. WDM es conceptualmente lo mismo que FDM, salvo que la multiplexación y demultiplexación implican señales ópticas transmitidas a través de canales de fibra óptica. La idea es la misma: combinamos señales de frecuencias diferentes. La diferencia es que las frecuencias son muy altas. La figura 6. 10 ofrece una vista conceptual de un multiplexor y demultiplexor WDM. Bandas muy estrechas de luz procedentes de distintas fuentes se combinan para formar una banda de luz más ancha. En el receptor, las señales se separan mediante el demultiplexor.

Una aplicación de WDM es la red SONET, en la que se multiplexan y demultiplexan varias líneas de fibra óptica.

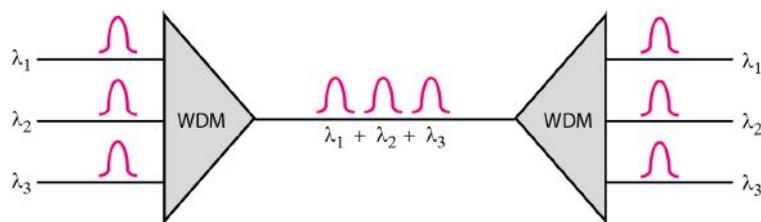


Fig. 21: Multiplexación por división de longitud de onda

7.1.3. Multiplexación por división de tiempo

La multiplexación por división en el tiempo (TDM) es un proceso digital que permite a varias conexiones compartir el gran ancho de banda de un enlace. En lugar de compartir una parte del ancho de banda como en la FDM, se comparte el tiempo. Cada conexión ocupa una porción de tiempo en el enlace. La figura 6. 12 ofrece una visión conceptual de TDM. Obsérvese que se utiliza el mismo enlace que en FDM; aquí, sin embargo, el enlace se muestra seccionado por tiempo en lugar de por frecuencia. En la figura, porciones de las señales 1,2,3 y 4 ocupan el enlace secuencialmente.

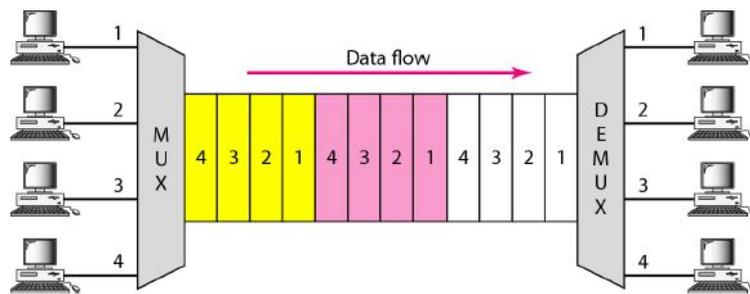


Fig. 22: Multiplexación por división de tiempo