

# CAPITULO 4. TRANSMISIÓN DE SEÑALES

## ▪ CONVERSIÓN DIGITAL A DIGITAL:

- Es la representación de datos digitales utilizando señales digitales.
- La conversión involucra tres técnicas: codificación de línea (siempre necesaria), codificación de bloques y la aleatorización (scrambling).
- Codificación de línea:
  - Proceso de convertir datos digitales en señales digitales.
  - Convierte una secuencia de bits codificándolos a una señal digital.



## ▪ Características:

### • Elemento de señal frente a elemento de datos:

#### ○ Elemento de datos:

- Es la unidad más pequeña que representa un elemento de información (el bit).
- Es lo que se necesita enviar.
- Son transportados.

#### ○ Elemento de señal:

- Transporta elementos de datos.
- Es lo que se envía.
- Son los portadores.

#### ○ Tasa 'r': Es el número de elementos de datos (número de bits), transportados por cada elemento de señal (número de transiciones).

### • Tasa de datos frente a tasa de señales:

#### ○ Tasa de datos o tasa de bits:

- Define el número de elementos de datos enviados en un segundo (bps).

#### ○ Tasa de señales o tasa de pulsos o tasa de modulación o tasa de baudios:

- Define el número de elementos de señal enviados en un segundo (baudios).

#### ○ El objetivo es aumentar la tasa de datos, reduciendo la tasa de señal.

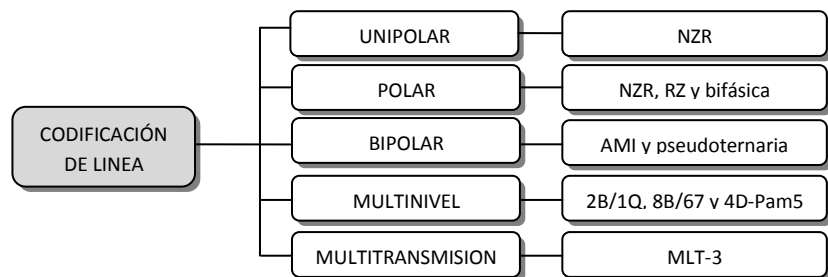
#### ○ Tasa de baudios 'S':

- Es la relación entre tasa de datos y tasa de baudios.
- Se definen tres casos:
  - Peor: Cuando se necesita la máxima tasa de señales.
  - Medio
  - Mejor: Cuando se necesita la mínima tasa de señales.
- $S = c \cdot N \cdot \frac{1}{r}$  baudios. Donde  $N$  son los bps;  $c$  es el factor de caso.

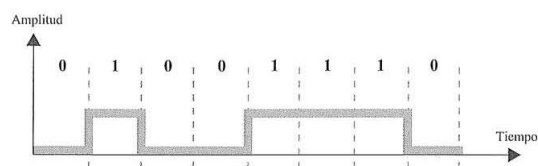
### • Ancho de banda:

- Aunque el ancho de banda real de una señal digital es infinito, el ancho de banda efectivo es finito.
- La tasa de baudios, determina el ancho de banda requerido para una señal digital.

- Se puede decir que el ancho de banda es proporcional a la tasa de señales o tasa de baudios.
- El ancho de banda mínimo se define como:
  - $B_{min} = c \cdot N \cdot \frac{1}{r}$
- Conociendo el ancho de banda del canal, se puede obtener la tasa de datos máxima:
  - $N_{max} = \frac{1}{c} \cdot B \cdot r$
- Variaciones de la línea base:
  - Línea base: media de la potencia de la señal recibida.
  - La potencia de la señal recibida se evalúa contra la línea base para determinar el valor del elemento de datos.
- Componentes DC:
  - Cuando un nivel de voltaje en una señal digital es constante durante bastante tiempo, el espectro crea frecuencias muy bajas.
  - Estas frecuencias cercanas al cero, son denominadas componentes DC (Direct Current).
  - Estas frecuencias cercanas al cero dan problemas en sistemas que no pueden pasar frecuencias bajas o sistemas con acoplamiento eléctrico.
- Autosincronización:
  - Envío de información sobre el tiempo de intervalo entre bits en una señal digital.
- Detección de errores incorporada:
- Inmunidad al ruido y las interferencias:
- Complejidad: Un esquema complejo es más costoso de implementar que uno sencillo.
- Esquemas de codificación de línea:
  - Se pueden dividir en cinco categorías, existiendo varios esquemas por categoría.

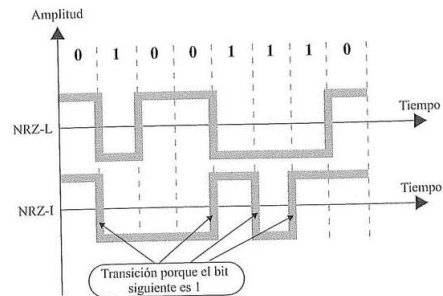


- Esquema unipolar:
  - Todos los niveles de señal se encuentran a un lado del eje del tiempo, o por encima o por debajo.
  - NZR (Sin retorno a cero):
    - Un voltaje positivo define un bit a 1 y un voltaje a cero define un bit a cero.
    - Se denomina NZR debido a que la señal no retorna a cero en la mitad del bit.

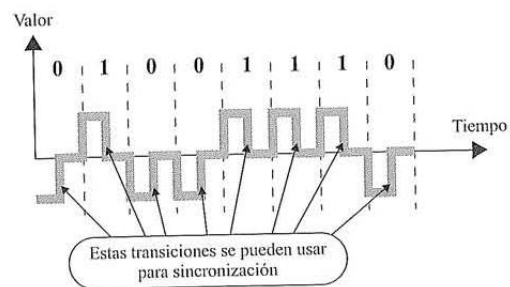


- Esquemas polares:
  - Los voltajes se encuentran a ambos lados del eje del tiempo.

- NZR (Sin retorno a cero):
  - Se utilizan dos niveles de amplitud de voltaje.
  - NZR-L (Level):
    - El nivel de voltaje determina el valor del bit.
  - NZR-I (Invertido):
    - La inversión o falta de inversión en el nivel de voltaje determina el valor del bit. Si no hay cambio, el bit es cero y si hay cambio, el bit es uno.
  - Tanto NZR-L como NZR-I padecen de problemas con la variación de la línea base, sincronización, componentes DC. Pero es más acusado en NZR-L.

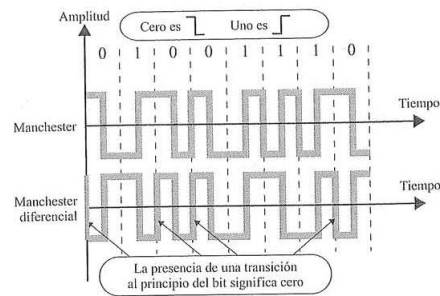


- RZ (Con retorno a cero):
  - Utiliza tres valores: positivo, negativo y cero.
  - La señal cambia durante el bit.



- Soluciona el problema de sincronización de los esquemas NZR.
- Padece problemas de mayor ocupación de ancho de banda y es más complejo de crear y discernir.

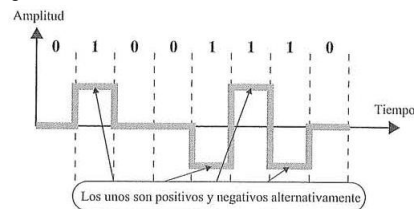
- Bifásica:
  - La señal cambia en medio del intervalo del bit, pero sin retorno a cero, continuando el resto del intervalo en el polo opuesto. De manera que la primera mitad del periodo determina el valor del bit y la segunda sincroniza.
  - Manchester:
    - Combina las ideas de RZ y NRZ-L.
    - El voltaje permanece en un nivel durante la primera mitad y transiciona a otro nivel en la segunda mitad.
  - Manchester diferencial:
    - Combina las ideas de RZ y NRZ-I.
    - Siempre hay una transición en la mitad del bit.



- Ambos esquemas, solucionan los problemas asociados a las codificaciones NRZ.
- Sin embargo el ancho de banda mínimo para estos esquemas el doble que los NRZ.

- Esquemas bipolares o binarias multinivel:

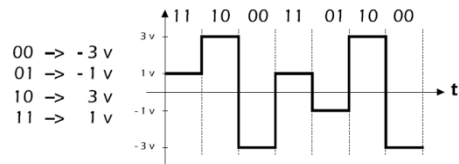
- Se utilizan tres niveles: positivo, negativo y cero.
- AMI (Inversión de marca alternada):
  - La palabra *marca* proviene de la telegrafía y significa 1.
  - Así AMI significa inversión a 1 alterno.



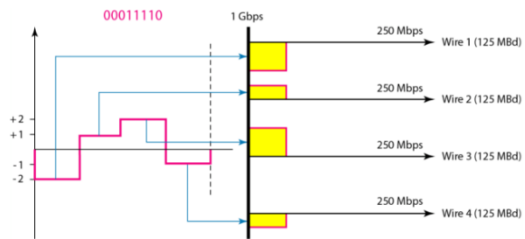
- PseudoTernaria:
  - Variación de AMI en la que un bit a 1 se codifica como un voltaje cero y un bit a cero se codifica alternando voltajes positivos y negativos.
- El esquema bipolar se desarrolló como alternativa al NRZ.
- No existe componente DC.
- Se utiliza normalmente para comunicaciones a larga distancia.

- Esquemas multinivel:

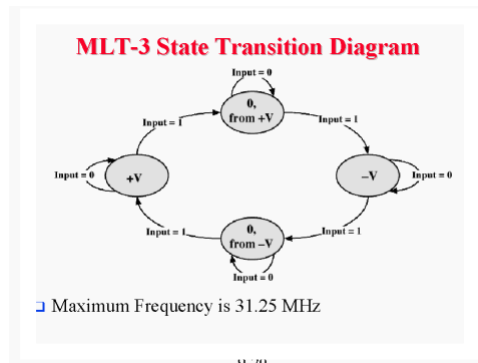
- El objetivo es incrementar el número de bits por baudio, codificando un patrón de  $m$  elementos de datos en un patrón de  $n$  elementos de señal.
- Estos tipos de clasificación se denominan  $mBLn$ , donde:
  - $m$  es la longitud del patrón binario.
  - $B$  significa dato binario.
  - $n$  es la longitud del patrón señal.
  - $L$  es el número de niveles de la señal, utilizando con frecuencia caracteres para representar valores:
    - B (binario) para  $L = 2$ .
    - T (ternario) para  $L = 3$ .
    - Q (cuaternario) para  $L = 4$ .
- En los esquemas  $mBLn$ , un patrón de  $m$  elementos de datos se codifica como un patrón de  $n$  elementos de de señal donde  $2^m \leq L^n$ .
- 2B1Q (dos binario, uno cuaternario):
  - Se pueden enviar datos el doble de rápido que con NRZ-L, ya que la tasa de señales media es  $S=N/4$ .



- 8B6T(Ocho Binario, Seis Ternario):
  - Hay  $3^6 - 2^8 = 222$  elementos redundantes que ofrecen sincronización, detección de errores y equilibrio DC.
- 4D-PA5M(Cuatro Dimensional con Modulación por Amplitud de Pulso de Cinco Niveles):
  - 4D significa que los datos se envían utilizando cuatro cables simultáneamente.
  - Utiliza cinco niveles de voltajes -2, -1, 0, 1 y 2. Sin embargo el 0 es usado como detección de errores.
  - Este esquema tiene muchos elementos redundantes que pueden usarse como detección de errores.



- Transmisión multilínea, nivel 3: MLT-3:
  - Esquema de codificación diferencial con más de dos reglas de transición.
  - Utiliza tres niveles (V+, 0, V-) y tres reglas de transición para moverse entre niveles.

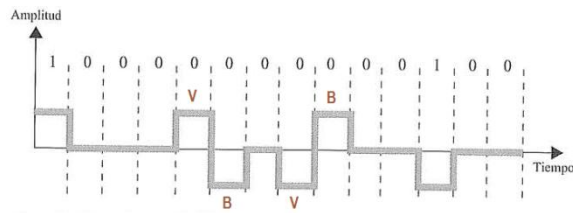


- Es un esquema adecuado cuando se necesitan enviar datos a 100 Mbps en un medio físico que no soporte más de 32 MHz.
- Resumen de los esquemas de codificación de línea:

Categoría	Esquema	Ancho de banda medio (S)	Características
Unipolar	NZR	$B = N/2$	Costos, sin Autosincronización si hay largas secuencias de 0 ó 1, DC.
Polar	NZR-L	$B = N/2$	Sin Autosincronización si hay largas secuencias de 0 ó 1, DC.
	NZR-I	$B = N/2$	Sin Autosincronización si hay largas secuencias de 0, DC.

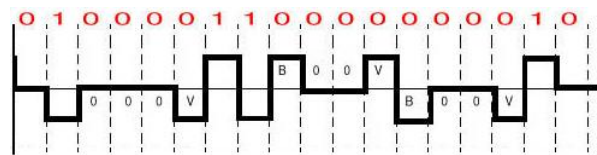
	Bifásica	$B = N$	Autosincronización, no DC, gran ancho de banda.
Bipolar	AMI	$B = N/2$	Sin Autosincronización para largas secuencias de 0, no DC.
Multinivel	2B1Q	$B = N/5$	Sin Autosincronización para largas secuencias de mismos bits dobles.
	8B6T	$B = 3N/4$	Autosincronización, no DC.
	4D-PAM5	$B = N/8$	Autosincronización, no DC.
Multilínea	MLT-3	$B = N/3$	Sin Autosincronización para largas secuencias de 0.

- Codificación de bloques:
  - Proporciona la redundancia necesaria para asegurar la sincronización y detección de errores.
  - La codificación de bloques se conoce como codificación  $mB/nB$ .
  - Reemplaza cada grupo de  $m$  bits por un grupo de  $n$  bits.
  - Involucra tres etapas:
    - División: Una secuencia de bits se divide en grupos de  $m$  bits.
    - Sustitución: Se sustituye un grupo de  $m$  bits por un grupo de  $n$  bits.
    - Combinación: Los grupos de  $n$  bits se combinan para formar un flujo.
  - 4B/5B (Cuatro Binario / Cinco Binario):
    - Diseñado para su utilización en combinación con NRZ-I, suprimiendo el problema de la sincronización que padece este esquema de codificación.
    - La idea es sustituir grupos de 4 bits por grupos de 5 bits, no teniendo más de un 0 a la izquierda y no más de 2 ceros a la derecha.
    - Hay  $2^5 - 2^4 = 16$  elementos redundantes que se utilizan para el control de la transmisión.
    - Soluciona uno de los problemas de la codificación NZR-I pero aumenta más de un 20 % la tasa de baudios.
  - 8B/10B (Ocho Binario / Diez Binario):
    - Similar a 4B/5B.
    - En un bloque de 8 bits, los 5 más significativos son codificados con 5B/6B y los 3 bits menos significativos son codificados con 3B/4B. Simplificando la tabla de proyección.
    - Se utiliza un controlador de disparidad que sigue la pista del exceso de 0 sobre 1 y viceversa, complementando el bloque si así sucediera.
    - Hay  $2^{10} - 2^8 = 768$  elementos redundantes que se utilizan para el control de la transmisión.
- Aleatorización:
  - Utilizada para establecer comunicación a largas distancias.
  - Modifica la codificación AMI, resolviendo el problema de la sincronización en una larga secuencia de ceros.
  - La aleatorización se realiza al mismo tiempo que la codificación.
  - B8ZS (Bipolar con sustitución de ocho ceros):
    - Utilizada normalmente en Norte América.
    - Sustituye ocho ceros consecutivos con 000VB0VB.
    - La V indica violación, rompiendo la regla de la codificación AMI.
    - La B indica Bipolar.
    - No cambia la tasa de bits.
    - Mantiene el equilibrio DC.



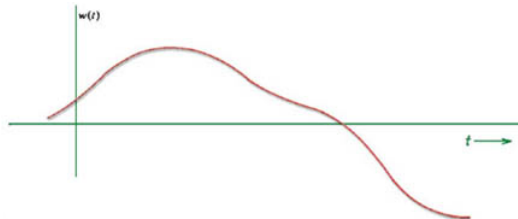
○ HDB3 (Bipolar de alta densidad con tres ceros):

- Utilizada normalmente fuera de Norte América.
- Cuatro ceros consecutivos son reemplazados por 000V o B00V.
- La razón para dos sustituciones diferentes es mantener un número par de pulsos distintos de cero después de cada sustitución.

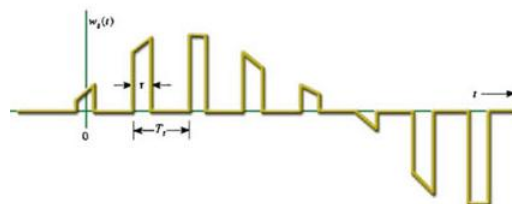


▪ CONVERSIÓN DE ANALÓGICO A DIGITAL:

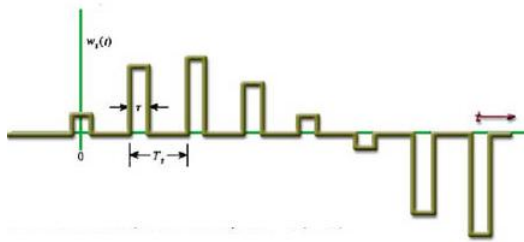
- A este proceso se le denomina digitalización.
- La conversión involucra dos técnicas: Modulación por codificación de pulsos (PCM) y modulación delta (DM).
- Modulación por codificación de pulsos (PCM):
  - Un codificador PCM tiene tres procesos: Muestreo, Cuantificación y codificación.
  - Muestreo:
    - La señal analógica es muestreada cada  $T_s$  s, donde  $T_s$  es el intervalo de muestreo o periodo.
    - El inverso de  $T_s$  se denomina tasa de muestreo o frecuencia de muestreo y se denota como  $f_s$ .
    - Existen tres métodos de muestreo, ideal, natural y de cresta plana.



- Ideal:
  - Se muestrean los pulsos de la señal analógica.
  - No se puede implementar fácilmente.
- Natural:
  - Un conmutador de alta velocidad se enciende solo durante un pequeño periodo de tiempo cuando está realizando el muestreo. Obteniendo una secuencia de muestras que retienen la forma de la señal analógica.



- Cresta plana:
  - Es el más común.
  - Crea muestras de cresta plana utilizando un circuito.



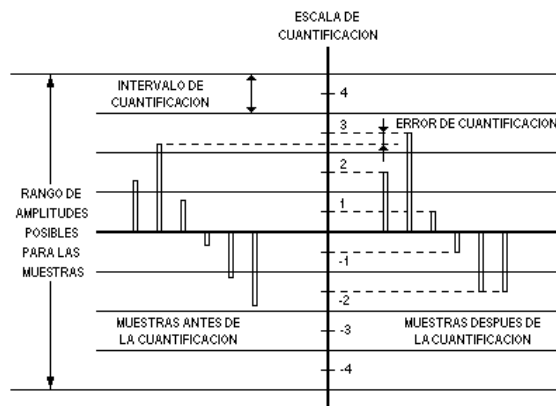
- El proceso de muestreo es conocido como modulación por amplitud de pulsos (PAM).
- Tasa de muestreo:
  - De acuerdo al teorema de Nyquist, debe ser al menos el doble de la frecuencia más alta contenida en la señal.
  - Una señal con ancho de banda infinito no puede ser muestreada.
  - Si la señal es de *paso bajo*, la frecuencia más alta es el ancho de banda.
  - Si es *paso banda*, el ancho de banda es menor que la frecuencia más alta.

▪ Cuantificación:

- Del proceso de muestreo se obtiene una serie de pulsos con valores de amplitud comprendidos entre la mínima y la máxima amplitud de la señal.
- Este conjunto puede ser entero o con valores no enteros entre dos límites, haciendo imposible su uso en el proceso de codificación.
- Para hacerlo posible, se siguen cuatro etapas de cuantificación:
  - Se asume que la señal analógica tiene amplitudes instantáneas entre  $V_{min}$  y  $V_{max}$ .
  - Se divide el rango en  $L$  zonas, cada una de un ancho  $\Delta$  (delta).

$$\Delta = \frac{V_{max} - V_{min}}{L}$$

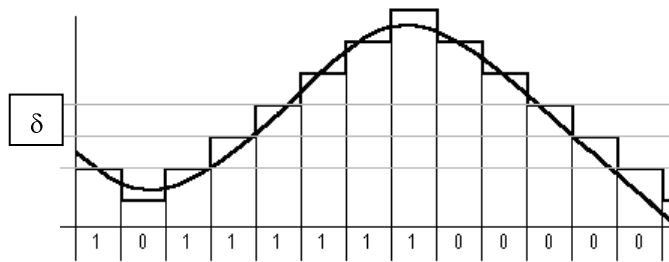
- Se asignan valores cuantificados en el punto medio de cada zona.
- Se aproxima el valor de la amplitud de la muestra a los valores cuantificados.



- Niveles de cuantificación:
  - La elección de  $L$ , depende del rango de amplitudes de la señal analógica y de la precisión con la que se quiera recuperar la señal.
  - Un valor bajo de  $L$  incrementa el error de cuantificación.
- Error de cuantificación:
  - Es la diferencia entre el valor cuantificado de la muestra y el valor real de la muestra.
  - El valor del error para cualquier muestra es de  $-\frac{\Delta}{2} \leq error \leq \frac{\Delta}{2}$ .



- El error de cuantificación cambia la tasa de señales a ruido de la señal, reduciendo la capacidad de Shannon.
- La contribución del error al  $SNR_{dB} = 6,02 \cdot n_b + 1,76$  dB y donde  $n_b$  son bits por muestra.
- Cuantificación no uniforme:
  - En muchas aplicaciones, la distribución de amplitudes instantáneas no es uniforme.
  - Hace variar la altura de  $\Delta$ , siendo mayor en amplitudes más bajas y menor cerca de las mayores.
  - La cuantificación no uniforme reduce el  $SNR_{dB}$  de la cuantificación.
- Codificación:
  - A cada nivel de cuantificación se le asigna un código binario distinto, formando la señal codificada y lista para ser transmitida.
  - El número de bits por muestra es determinado por los niveles de cuantificación, siendo,  $n_b = \log_2 L$ .
  - La tasa de bits es el producto de la tasa de muestreo ( $f_s$ ) y el número de bits por muestra ( $n_b$ ).
- Recuperación de la señal original:
  - Requiere un decodificador PCM.
  - El decodificador utiliza un circuito para convertir las palabras del código en un pulso que mantenga la amplitud hasta el siguiente pulso.
  - Completada la señal escalera, se pasa a través de un filtro paso bajo para suavizar la señal escalera en una señal digital.
- Ancho de banda de PCM:
  - El ancho de banda mínimo de la señal digital es  $n_b$  veces mayor que el ancho de banda de la señal analógica, es decir:
 
$$B_{min} = n_b \cdot B_{analog}$$
  - Es el precio a pagar por la digitalización.
- Tasa de datos máxima de un canal: (véase tasa de bits de Nyquist).
- Ancho de banda mínimo requerido:
  - $B_{min} = \frac{N}{2 \cdot \log_2 L}$  Hz.
  - Siendo  $N$ , la tasa de datos máxima de un canal.
- Modulación delta (DM):
  - Técnica mucho menos compleja que PCM.
  - PCM encuentra la amplitud de la señal en cada muestra y DM encuentra el cambio en la muestra anterior.
  - Modulador:
    - Utilizado en el emisor para crear un flujo de bits a partir de la señal analógica.
    - El proceso registra los cambios positivo o negativos, denominados delta  $\delta$ .
    - Si  $\delta$  es positivo, se registra un 1 y 0 en caso contrario.
    - El modulador construye una segunda señal en forma de escalera para poder comparar la señal analógica.
    - En cada intervalo de muestreo, se compara el valor de la señal analógica con el último valor de la señal escalera.
    - Se necesita una unidad de retardo para mantener la función de escalera durante un periodo comprendido entre dos comparaciones.



- Demodulador:
  - Toma la señal de datos y, utilizando un constructor de señal de escalera y la unidad de retardo, crea la señal analógica.
- DM adaptativo:
  - Para conseguir mejores prestaciones se adapta el valor de  $\delta$  de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.
- Error de cuantificación:
  - Siempre se introduce un error de cuantificación, pero este es mucho menor que para PCM.
- MODOS DE TRANSMISIÓN:
  - Transmisión paralela:
    - Se usan  $n$  hilos para enviar  $n$  bits simultáneamente a cada pulso de reloj.
    - Ventaja: Velocidad de transferencia superior en un factor  $n$  a la transmisión serie.
    - Desventaja: Coste elevado, limitando su uso a distancias cortas.
  - Transmisión serie:
    - Se usa un solo hilo, ya que se envía un bit sigue a otro.
    - Ventaja: reducción de costes en un factor  $n$ .
    - Transmisión asíncrona:
      - Esto es así cuando la temporización de la señal no es importante.
      - La información se recibe y se traduce usando patrones acordados.
      - Los patrones se basan en agrupar el flujo de bits en bytes.
      - Para que el receptor sepa cuando le llega un nuevo grupo, se añade un bit extra al principio de cada byte llamado bit de inicio (cero).
      - Para que sepa cuando finaliza el grupo, se añaden uno o más bits al final de cada byte llamados bit de parada (unos).
      - Hay que entender que la asincronía es entre grupos de byte, pero dentro de cada byte si se está sincronizado.
      - Recomendado para comunicaciones de baja velocidad.
    - Transmisión síncrona:
      - Se envían un bit detrás de otro, sin bit de inicio/parada o intervalos.
      - La agrupación de los bits es responsabilidad del receptor.
      - Aquí la temporización se vuelve muy importante, ya que la exactitud de la información depende de cómo lleve la cuenta de bits el receptor.
      - La sincronización a nivel de byte se lleva a cabo en el nivel de enlace de datos.
      - Recomendado para comunicaciones de alta velocidad.
    - Isócrona:
      - Garantiza que los datos llegan a una tasa fija, evitando retardos desiguales entre tramas.
      - Recomendado para transmisiones de audio y video en tiempo real.