

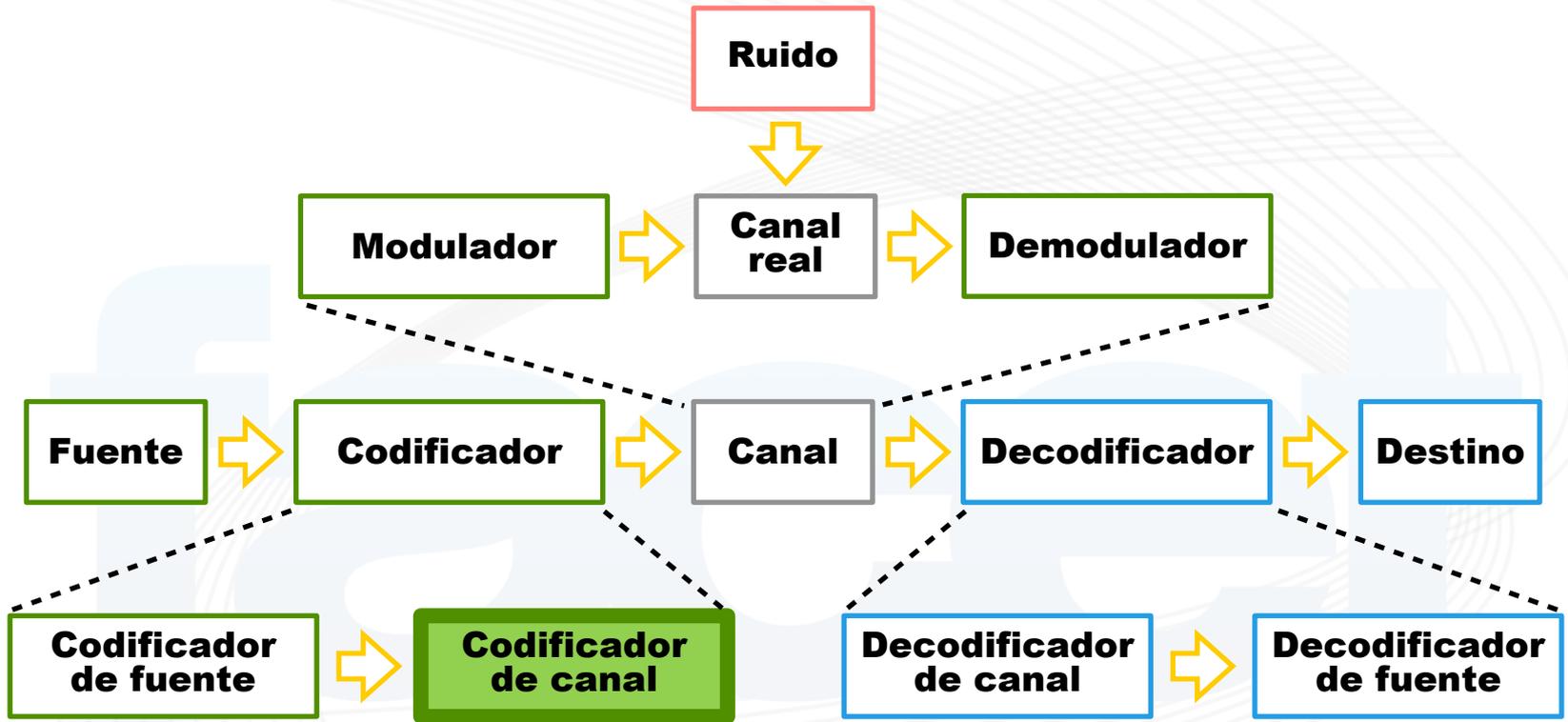
Codificaciones de línea

Transmisión de Datos

Ing. Luis Di Piinto (ldipinto@herrera.unt.edu.ar)

<http://www.microprocesadores.unt.edu.ar/transmision/>

Repaso Esquema general



- ▶ Vamos a empezar a enfocarnos en la Codificación del Canal.

Comunicación de Datos



- ▶ La fuente emite un mensaje aleatorio.
- ▶ Si no fuese aleatorio no habría nada que transmitir.
- ▶ El destino consume el mensaje en el formato original.
- ▶ Una fuente discreta (en tiempo y amplitud) tiene un alfabeto compuesto por M símbolos y una tasa de transferencia de R bits por segundo.

Comunicación de Datos



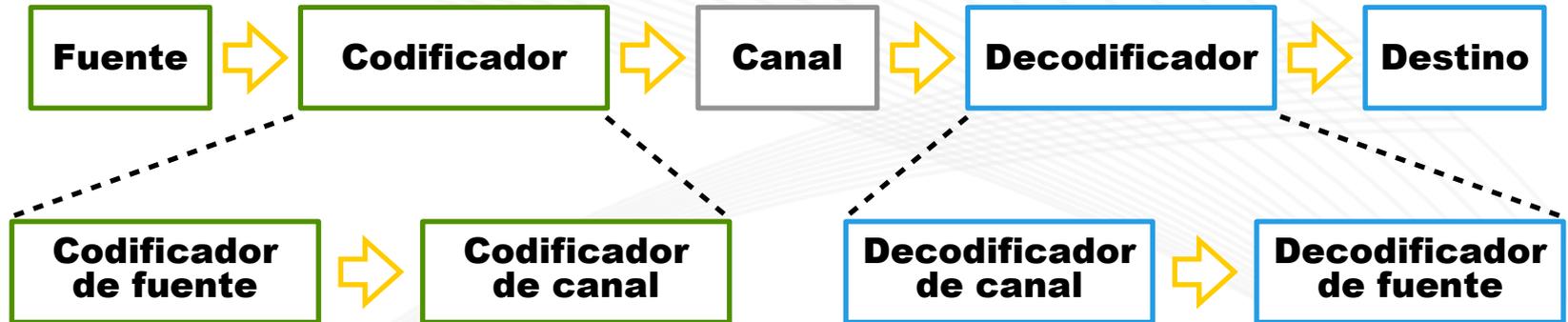
- ▶ El canal es un medio inherentemente analógico.
- ▶ Introduce **distorsiones** en el mensaje que se está transmitiendo:
 - ▶ Atenuación
 - ▶ Ruido
 - ▶ Respuesta en frecuencia
- ▶ El flujo de bits que recibe el receptor no es el mismo que generó el transmisor.

Comunicación de Datos



- ▶ El objetivo del transmisor y receptor en conjunto es:
 - ▶ Extraer la información de la fuente
 - ▶ Revertir los errores introducidos por el canal
- ▶ El proceso que realizan se llama **codificación** y se puede dividir en dos etapas:
 - ▶ Codificación de fuente.
 - ▶ Codificación de canal.
 - ▶ Se puede demostrar que son independientes (*source-channel separation theorem*).

Codificación de fuente y de canal



- ▶ La codificación de canal debe revertir los cambios introducidos por el canal al transmitir el mensaje.
- ▶ Agrega información redundante que le permita detectar y/o corregir los errores en base a estadística.

Modelado del canal

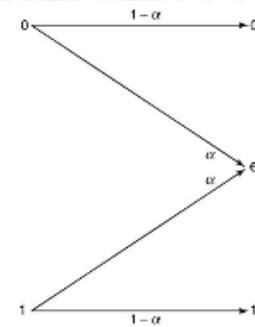
- ▶ Desde el punto de vista de la teoría de la información:
 - ▶ El canal funciona con entradas (X) y salidas discretas (Y).
 - ▶ Recibe y devuelve símbolos.
 - ▶ Se caracterizan a través de $P(Y|X)$.
- ▶ Es un modelo diferente al que se utiliza cuando se analiza la capa física del canal.

Modelos de canal

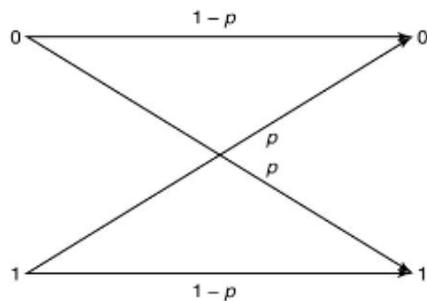
Canal binario sin ruido



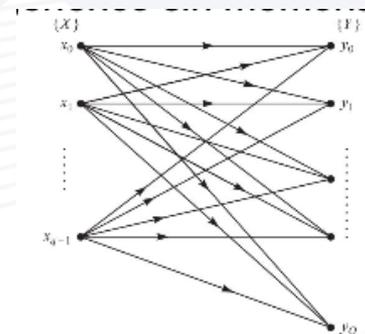
Canal con detección de error



Canal binario simétrico



Canal genérico sin memoria

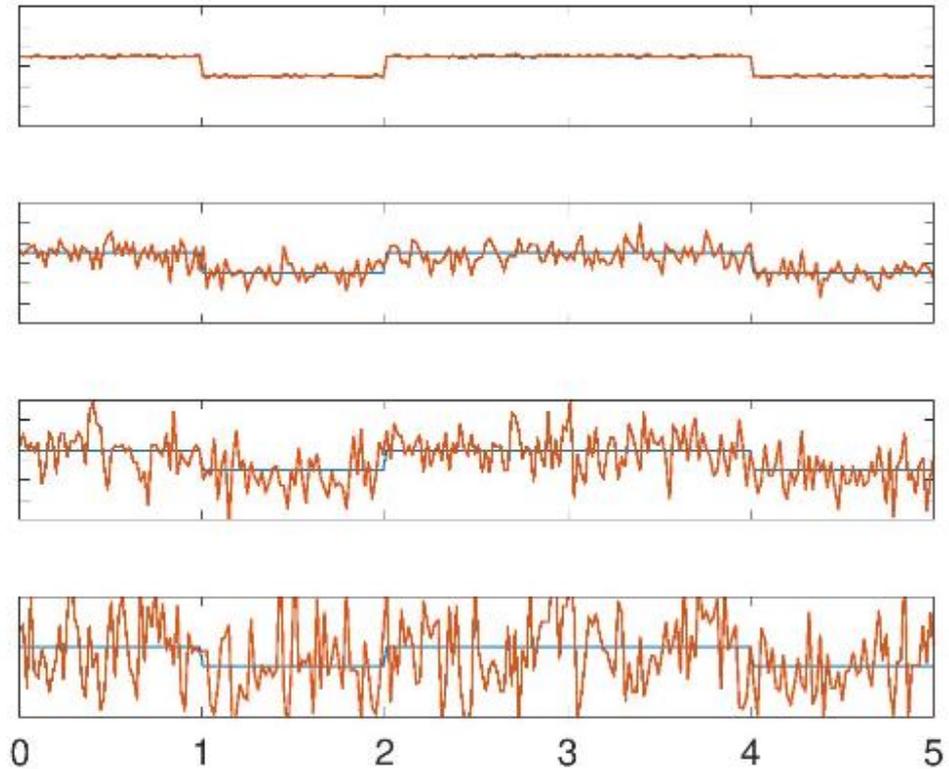


Modelos de canal

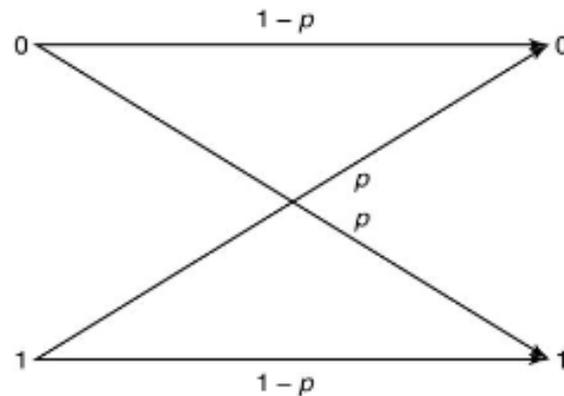
Canal binario sin ruido



Canal continuo en la capa física



Canal binario simétrico

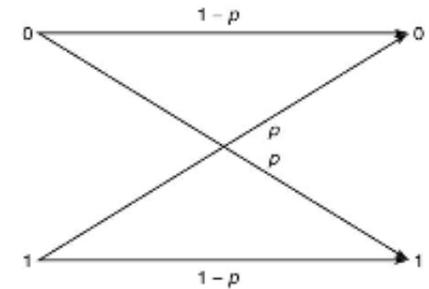
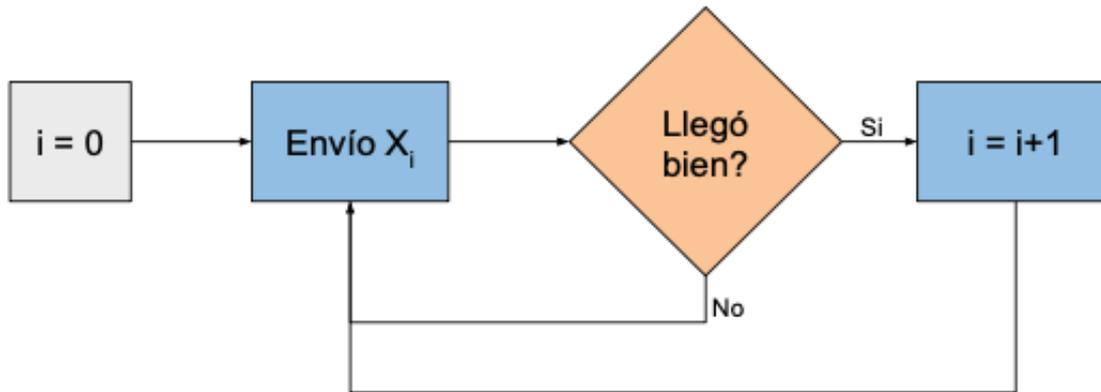


Modelos de canal

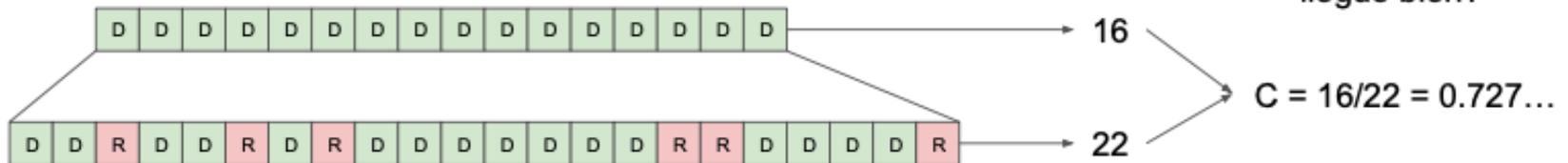
- ▶ Durante mucho tiempo se pensó que no era posible enviar mensajes sin errores a través de un canal con ruido.
- ▶ La única opción considerada era aumentar la relación señal-ruido para disminuir la probabilidad de error.
- ▶ El segundo teorema de Shannon demuestra que sí es posible, siempre que la velocidad de transmisión R no supere un valor máximo C .

Capacidad del canal

Capacidad del canal: Un ejemplo intuitivo.



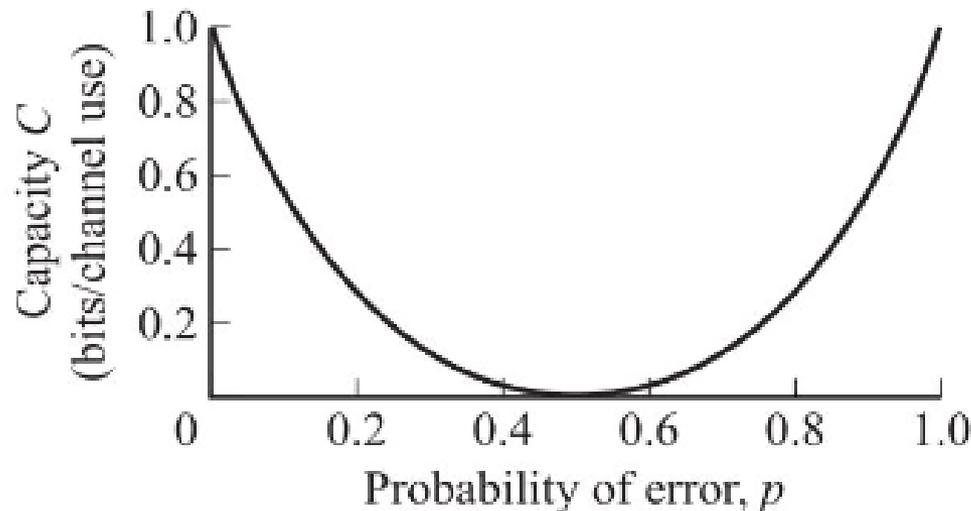
¿Cuántas veces tengo que mandar un dato en promedio hasta que llegue bien?



Capacidad del canal

- ▶ En el caso de un canal binario simétrico se puede demostrar que:

$$C = 1 + p \cdot \log_2(p) + (1 - p) \cdot \log_2(1 - p)$$
$$C = 1 - H(p)$$



Codificación del Canal

- ▶ Claramente, las características físicas del canal determinarán requerimientos y características de cómo debería ser la transmisión por el mismo.
 - ▶ Si el canal es un cable, se puede transmitir corriente por el mismo.
 - ▶ Si el canal es una fibra óptica, se transmite luz.
 - ▶ Si el canal es aire, se transmite una onda electromagnética.
 - ▶ O también puede ser infrarrojo.
- ▶ Sea como sea el canal, es recomendable usar una modulación de base.

Transmisiones digitales en banda base

- ▶ También conocidas como **codificaciones de línea** (*line coding*).
- ▶ Usualmente, de frecuencias bajas.
- ▶ Los datos a transmitir se envían por la misma señal.
- ▶ Usualmente, una comunicación serie.
 - ▶ El canal tiene un solo conductor.
 - ▶ Los bits se envían uno a continuación del otro.

Transmisiones digitales en banda base

- ▶ Una señal digital es una secuencia de pulsos de tensión discretos y discontinuos.
 - ▶ También denominado “tren de pulsos” o *bitstream*.
- ▶ Cada pulso es un elemento de señal.
- ▶ En el caso más simple cada elemento de señal transmite un bit.
- ▶ En este caso coincide la velocidad de modulación con la de transmisión.

Uso del ancho de banda

- ▶ La ausencia de alta frecuencia disminuye el ancho de banda requerido para la misma velocidad de transmisión.
- ▶ La ausencia de componente de continua permite acoplamientos por transformadores y aislación eléctrica entre el transmisor y el receptor.
- ▶ La concentración de la potencia transmitida en la parte central del ancho de banda disminuye los efectos del ancho de banda reducido.

Otros factores

- ▶ Sincronización de relojes del receptor con el transmisor se suele realizar a partir de la misma señal.
- ▶ Inmunidad al ruido o interferencias
 - ▶ Algunas codificaciones son más inmunes al ruido que otras.
- ▶ Costo y complejidad
 - ▶ Algunas codificaciones son más complejas y por lo tanto más costosos los circuitos que las implementan.

Codificaciones de línea

- ▶ Son patrones de tensión, corriente o fotones para representar datos digitales.
- ▶ Criterios de diferenciación:
 - ▶ Minimizar el hardware de transmisión/recepción.
 - ▶ Facilitar la sincronización de relojes.
 - ▶ Facilitar la detección y corrección de errores.
 - ▶ Eliminar componentes de continua.

Codificaciones de línea

- ▶ Veremos:
 - ▶ NRZ-L, usada en RS-232.
 - ▶ NRZ-I, usada en USB 1.0 y 2.0, y en 100BASE-TX (Fast Ethernet).
 - ▶ RZ.
 - ▶ AMI.
 - ▶ Manchester, usado en tarjetas RFID.
 - ▶ Manchester diferencial.
 - ▶ 8b/10b, usada en USB 3.0.
 - ▶ 128b/130b, usada en USB 3.1.

Nivel sin retorno a cero (NRZ-L)

- ▶ Es la más simple de todas las codificaciones de línea.
- ▶ También conocida como codificación Unipolar.
- ▶ Dos niveles de tensión para cada uno de los símbolos binarios '0' y '1'.
- ▶ Generalmente se utiliza una tensión de 0V para el '0' y de +V para el '1'.
- ▶ El nivel de tensión se mantiene constante durante todo el bit.
 - ▶ No vuelve a cero a mitad del bit.

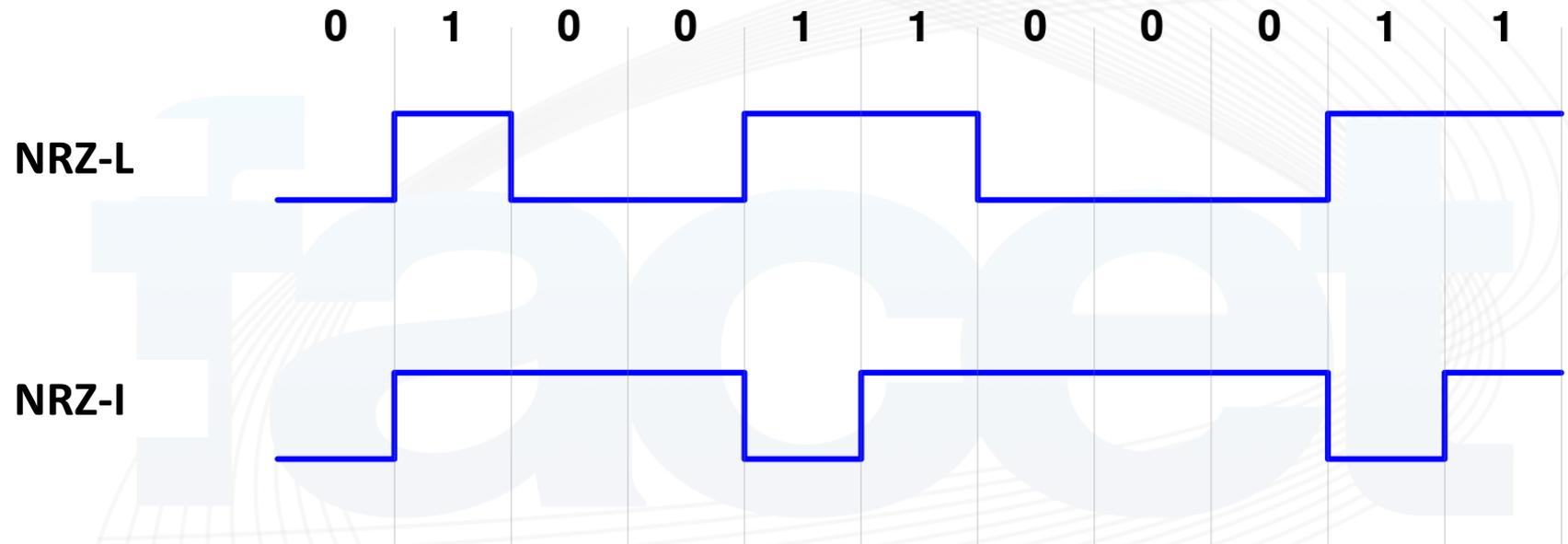
NRZ-L: Ventajas y desventajas

- ▶ Alto nivel de continua
 - ▶ Para una secuencia con igual cantidad de '0's y '1's la componente de continua tiene una amplitud de $V/2$.
- ▶ Amplio ancho de banda
 - ▶ Desde 0 Hz para una secuencias de '0's o '1's continuas hasta la mitad de la velocidad de transmisión para una secuencia alternada de '0's y '1's.
- ▶ Sin sincronización
 - ▶ No hay cambios de tensión para secuencias de '0's o de '1's continuas.
- ▶ La señal tiene polaridad.

Sin retorno a cero invertido (NRZ-I)

- ▶ Mantiene el nivel de tensión constante durante el intervalo del bit.
- ▶ Los datos se representan por cambios en la señal y no por niveles.
- ▶ Un '0' se codifica por la continuidad de la señal y un '1' por la presencia de una transición al inicio del bit.

Sin retorno a cero invertido (NRZ-I)



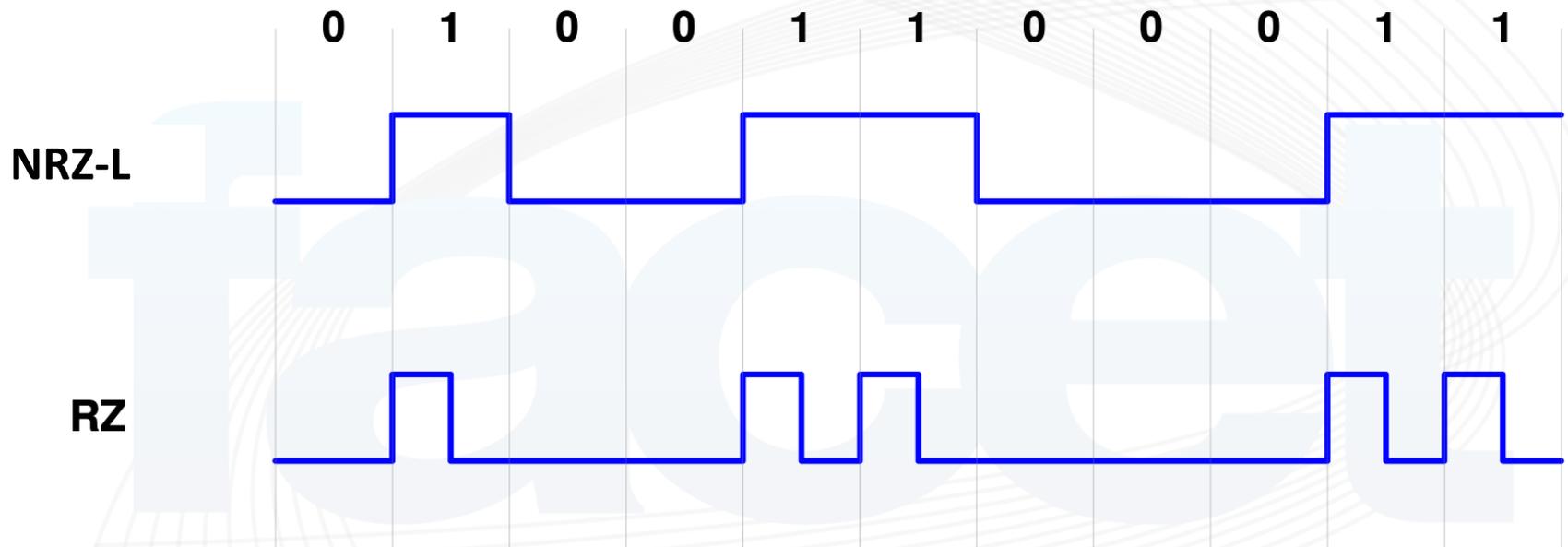
NRZ-I: Ventajas y Desventajas

- ▶ Es más segura la detección de transiciones que la de niveles.
- ▶ Es un sistema más complejo de transmisión.
- ▶ La señal no está polarizada.
- ▶ El resto de características son similares a NRZ-L.

Retorno a cero (RZ)

- ▶ El bit '0' es representado por una tensión de 0V.
- ▶ El bit '1' es representado por una tensión de +V durante la primera mitad del bit y una tensión de 0V durante la segunda mitad del bit.

Retorno a cero (RZ)



RZ: Ventajas y Desventajas

- ▶ El valor de la componente de continua es menor ($V/4$).
- ▶ Se garantizan transiciones cuando la secuencia es de '1' consecutivos.
- ▶ Los '0' consecutivos siguen siendo un problema.
- ▶ Se requiere el doble de ancho de banda para la misma velocidad de transmisión.

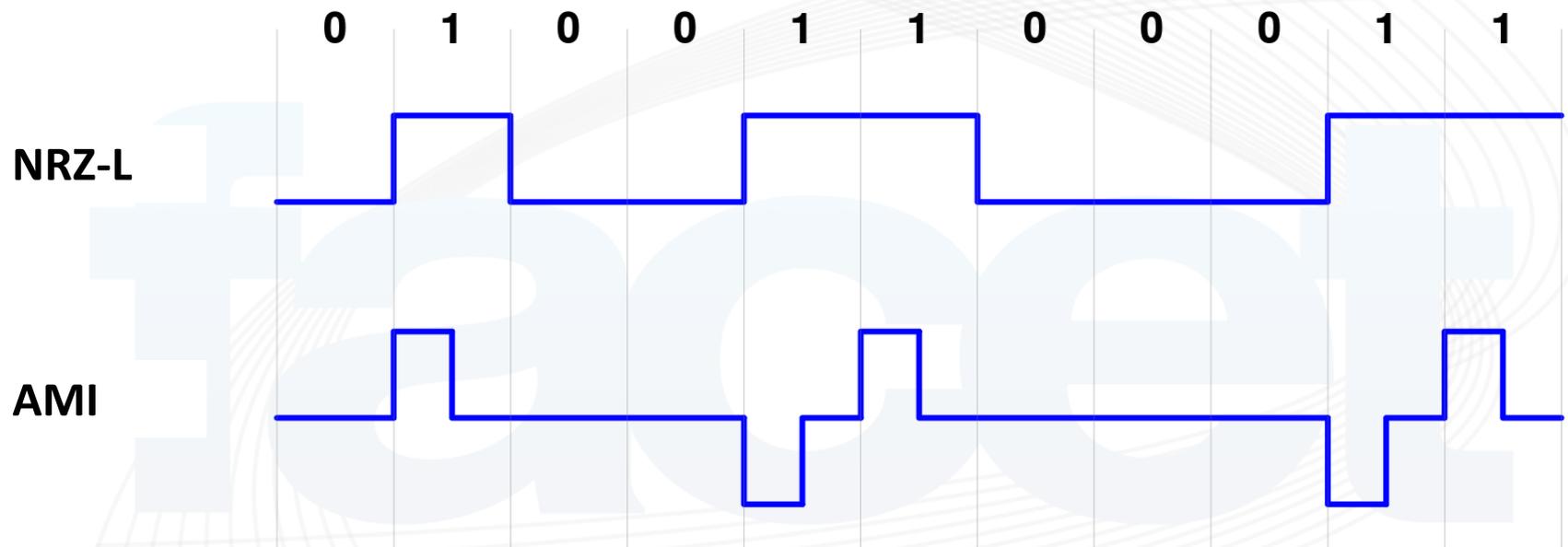
Bit Stuffing

- ▶ En codificaciones de línea NRZ-I o RZ, es posible tener secuencias de bits consecutivos que no impliquen transiciones.
 - ▶ Lo cual dificulta la sincronización.
- ▶ Una técnica sencilla para solucionar este inconveniente consiste en insertar bits adicionales después de una determinada secuencia de bits iguales.
 - ▶ Por ejemplo, después de cinco '0's seguidos, poner un '1' adicional.
 - ▶ El receptor detecta la secuencia, y descarta los adicionales.
- ▶ Consume poca capacidad del canal.
- ▶ Hace que la tasa de transmisión sea variable, dependiente de los datos.

Inversión de marca alternada (AMI)

- ▶ También conocida como Bipolar.
 - ▶ Es una variante un poco rara de RZ.
- ▶ El símbolo '0' se representa por una tensión de 0 V.
- ▶ El símbolo '1' se representa por un pulso positivo o negativo.
 - ▶ Los pulsos que representan los '1' deben ir alternados.
 - ▶ Maneja dos niveles de tensión diferentes.

Inversión de marca alternada (AMI)



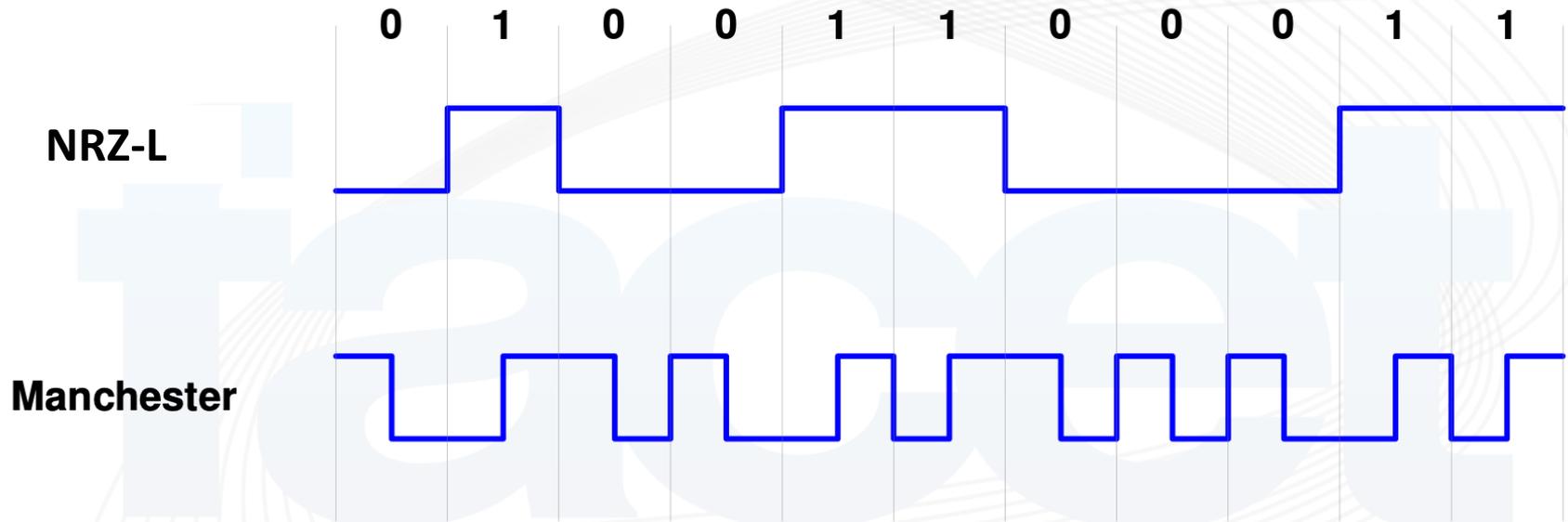
AMI: Ventajas y Desventajas

- ▶ La señal resultante no tiene componente de continua.
 - ▶ Los pulsos positivos y negativos tienden a promediar cero.
 - ▶ Esto permite que sea usado en distancias más grandes.
- ▶ Al ser una variante de RZ, sigue con el problema de los '0's consecutivos.
 - ▶ Si se reciben 7 '0's seguidos, se inserta un '1' adicional.
- ▶ Permite la detección de errores.
 - ▶ Por ejemplo, si se reciben dos pulsos de la misma polaridad consecutivos.
- ▶ Como la señal puede tomar tres valores debería transmitir $\log_2 3 = 1,58$ bits por baudio.
- ▶ Necesita más potencia que las señales de dos valores.
 - ▶ Aproximadamente 3 dB adicionales.

Manchester

- ▶ Muy popular
 - ▶ Algunos almacenamientos magnéticos
 - ▶ Infrarrojo
 - ▶ RFID y NFC.
 - ▶ Primeras versiones de Ethernet.
- ▶ Los datos se codifican con una transición en el centro del símbolo.
- ▶ El bit '0' se representa por un flanco descendente.
- ▶ El bit '1' se representa por un flanco ascendente.

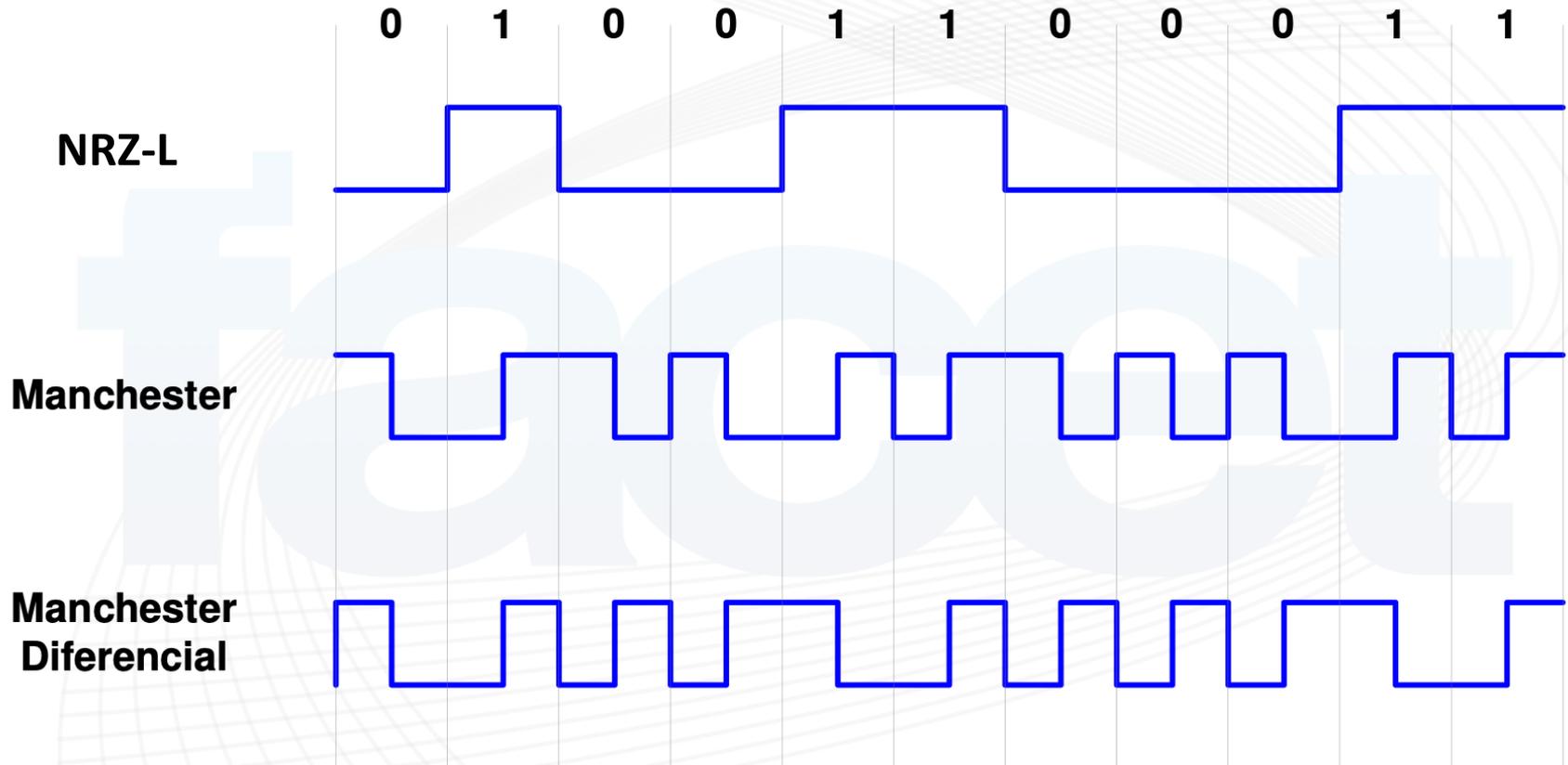
Manchester



Manchester diferencial

- ▶ El valor a transmitir depende tanto del dato actual, como del anterior.
- ▶ Usado en:
 - ▶ Token Ring (IEEE 802.5)
 - ▶ S/PDIF
 - ▶ ADSL
- ▶ Siempre existe una transición en el centro del bit para sincronización.
- ▶ El símbolo '0' se representa por un flanco al inicio del bit.
- ▶ El símbolo '1' se representa por la ausencia de transición al inicio del bit.

Manchester diferencial



Manchester: Ventajas y Desventajas

- ▶ ¡La codificación es muy simple!
 - ▶ Una XOR entre NRZ y el clock.
- ▶ Requiere el doble de ancho de banda para la misma velocidad de transferencia que NRZ.
- ▶ Garantiza información de sincronización en cada bit.
- ▶ No tienen componentes de continua.
- ▶ Permiten la detección de errores.
- ▶ En el caso de manchester diferencial la señal no tiene polaridad.
 - ▶ No importan los niveles, sino solamente las transiciones.
 - ▶ Permite la transmisión aún cuando los cables se conecten al revés.

8b/10b

- ▶ Muy popular
 - ▶ DVI y HDMI
 - ▶ Gigabit Ethernet, FireWire, Infiniband
 - ▶ PCI Express 1.0 y 2.0
 - ▶ SATA, USB 3.0, Thunderbolt.
- ▶ Mapean datos de 8 bits en símbolos de 10 bits.
 - ▶ Los 5 bits menos significativos, en 6 bits.
 - ▶ Los 3 bits más significativos, en 4 bits.
- ▶ Poseen algunos símbolos adicionales para control.
- ▶ Algunos símbolos se usan para dos valores.

8b/10b – Ventajas y desventajas

- ▶ No poseen componentes de continua.
- ▶ No poseen más de cinco '0's o '1's consecutivos.
- ▶ Garantiza que la diferencia entre la cuenta de '0's y de '1's es de no más de dos.
- ▶ Disminuyen considerablemente el ancho de banda necesario.
 - ▶ Comparado con las codificaciones Manchester o similares, que poseen pulsos más chicos.
- ▶ Agregan un overhead del 20%.

8b/10b – Variantes

- ▶ 64b/66b
 - ▶ Usado con 10 Gigabit Ethernet.
 - ▶ Disminuye el overhead.
 - ▶ Ya no garantiza estar libre de componentes de continua.
- ▶ 128b/130b
 - ▶ Usado con PCI Express 3.0, 4.0 y 5.0.
- ▶ 128b/132b
 - ▶ Usado con USB 3.1 y USB 4.
- ▶ Al aumentar el tamaño, requieren una lógica de sincronización más compleja.

Resumen

- ▶ Un montón de codificaciones de línea.
- ▶ Criterios de diferenciación:
 - ▶ Minimizar el hardware de transmisión/recepción.
 - ▶ Facilitar la sincronización de relojes.
 - ▶ Usualmente, codificando los bits como transiciones a mitad del símbolo.
 - ▶ Impidiendo cadenas largas sin variaciones de estado.
 - ▶ Facilitar la detección y corrección de errores.
 - ▶ Forzando ciertas transiciones.
 - ▶ Agregando algunos símbolos.
 - ▶ Eliminar componentes de continua.
 - ▶ Balanceando niveles de tensión.
 - ▶ Haciendo que los símbolos sean diferenciales.

Agradecimientos

- ▶ Las diapositivas de este tema fueron basadas en las realizadas por los Ingenieros Esteban Volentini y Nicolás Majorel Padilla