

TRANSMISIÓN DE DATOS

Módulo 4

Temas a tratar

1. Tipos de datos, señales y transmisión
2. Perturbaciones en las señales
3. Capacidad de canal

Objetivos del Módulo

Al finalizar el presente módulo, el alumno debe:

1. Comprender las diferencias entre los distintos tipos de datos, señales y modos de transmisión
2. Conocer los tipos de perturbaciones que sufre una señal al transitar por un canal de transmisión
3. Aplicar los conceptos de capacidad de canal al cálculo de las prestaciones de un enlace

Conceptos Preliminares

- ✓ **Dato:** cualquier entidad capaz de transportar información.
- ✓ **Señal:** ondas eléctricas o electromagnéticas que **codifican el dato**. La señal es generada a partir del dato para que este pueda ser transmitido hasta un extremo remoto.
- ✓ **Señalización:** acción física de **propagar una onda de señal** a través de un medio de transmisión.
- ✓ **Transmisión:** comunicación de datos mediante la propagación y procesamiento de las señales.



Conceptos Preliminares

El éxito en la transferencia de los datos depende de los siguientes factores:

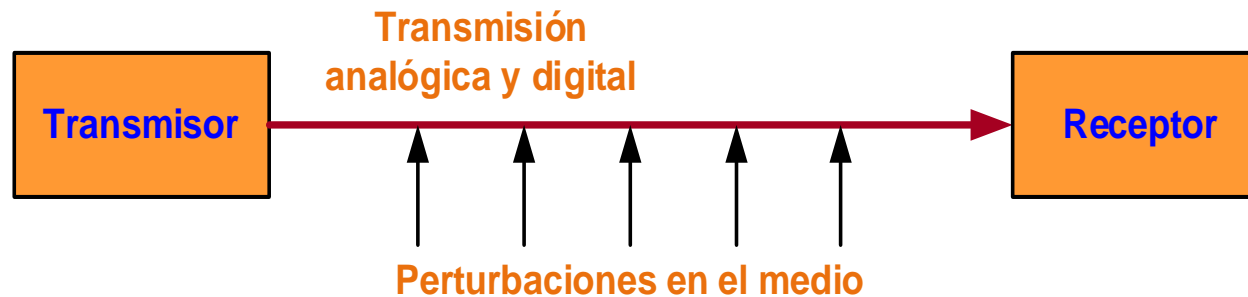
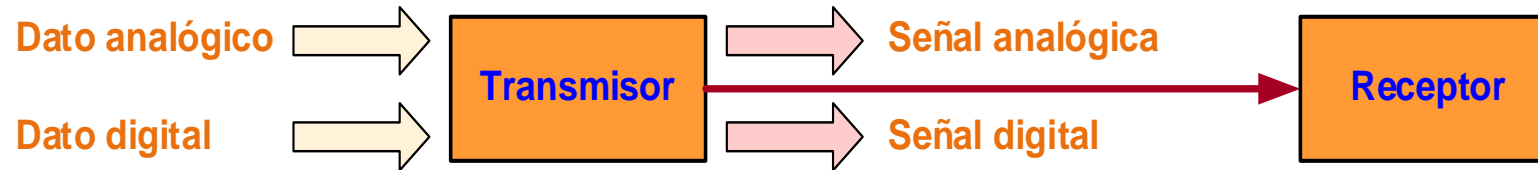
1. La calidad de la señal que se transmite.
 2. Las características del medio de transmisión.
1. La calidad de la señal que se transmite, tiene que ver con dos aspectos:
- a. Naturaleza del dato y la señal: si son analógicos o digitales (a tratar en este módulo).
 - b. Características de la señal: Amplitud, espectro de frecuencia y ancho de banda (tratado en el módulo anterior).



Conceptos Preliminares

2. Las características del medio de transmisión
 - a. Ancho de banda del medio de transmisión.
 - b. Tipo de transmisión en el medio: si es analógica o digital.
 - c. Perturbaciones a la señal: ocurren en el medio de transmisión y son debidas a la atenuación, distorsión y ruido interno y externo.

Conceptos Preliminares



Datos analógicos, datos digitales

- ✓ **Dato Analógico:** Es aquel que toma valores continuos en un cierto intervalo de tiempo. ejemplos típicos de dato analógicos: la voz y el video.

También son datos analógicos las manifestaciones físicas de la naturaleza, como las variaciones de temperatura, de presión, de vientos, sonidos diversos.

Fuente de datos analógicos: la naturaleza

- ✓ **Dato Digital:** Es aquel que toma valores discretos como, por ejemplo los caracteres alfanuméricos de un texto, los números enteros, los pulsos eléctricos en el bus de un computador o en una línea.

Fuente de datos digitales: el hombre. Creó el alfabeto, los números, los datos binarios.

Datos analógicos

✓ Ejemplo de dato analógico: la Onda Sonora

Se manifiesta a través de ondas de sonido (ondas de presión de aire) y son percibidas por el oído humano.

Por ejemplo los animales generan una vibración en el aire que pueden ser percibidas por el oído humano. El ladrido de un perro es un dato analógico.

✓ Caso particular de Onda Sonora: La Voz

Componentes de frecuencia de la voz: entre 20 Hz y 20.000 Hz.

Sin embargo, la mayor parte de la energía de la voz está concentrada en las frecuencias bajas que son las que le dan inteligibilidad. (Similar a la onda cuadrada y sus componentes)

Pruebas han demostrado que las frecuencias superiores a los 700 Hz agregan muy poca inteligibilidad al habla en el oído humano.

Datos analógicos



Datos digitales

✓ Ejemplo de dato digital: El texto

El texto o dato textual está formado por cadenas de caracteres alfanuméricos: letras y números.

El dato textual escrito es fácilmente captado por el ser humano (mediante la lectura), puesto que fue creado por él. También lo es el dato textual oral (transmitido por la voz).

El dato textual en soporte tecnológico: no puede ser almacenado o transmitido en forma de caracteres por computadores y sistemas de comunicación de datos, porque éstos han sido diseñados para procesar, almacenar y transmitir datos binarios.

Datos digitales

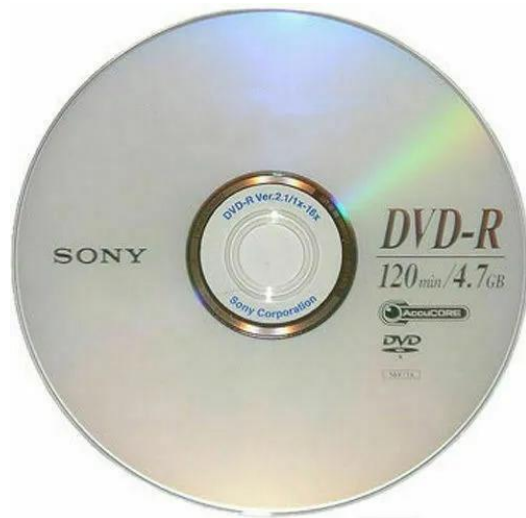
✓ Ejemplo de dato digital: El texto

Motivo de diseño de lo anterior: es tecnológicamente mucho más fácil construir sistemas de 2 niveles (binarios) que multiniveles.

Por ese motivo, cuando los datos textuales y otros tipos de datos digitales se ingresan a un computador necesitan ser codificados para generar datos binarios y así poder procesarlos.

Con ese fin, se han desarrollado varios códigos para representar caracteres mediante una secuencia de bits.

Datos digitales



Datos digitales: código discreto

- ✓ Ejemplo de Código discreto: Código Morse.
 - ✓ En la actualidad el código más usado: Alfabeto de Referencia Internacional (IRA, International Reference Alphabet): ASCII.
ASCII: American Standard Code for Information Interchange.
ASCII fue creado con el fin de transmitir e imprimir caracteres.
Los caracteres ASCII son de 3 tipos:
 - a. Alfanuméricos.
 - b. Control de formato de impresión: longitud de desplazamiento del carro, espaciado entre líneas, etc.
 - c. Control de transmisión de datos: comienzo de los datos, inicio y final de un texto, salto de línea, impresión de negrita, etc.
- Codificación ASCII: 8 bits por carácter: 7 de datos + 1 control de paridad.

Señales

Se utilizan para la transmisión de datos en sistemas de comunicación.

- ✓ Transmisión de datos: se realiza generando una señal electromagnética que se propaga a través de un medio de transmisión.
- ✓ La señal se obtiene de codificar el dato siguiendo alguna convención.
- ✓ Señal Analógica: Varía en forma continua en el tiempo y se propaga a través de un medio de transmisión guiado o no guiado.
- ✓ Señal Digital: Secuencia de pulsos de tensión eléctrica transmitidos por un medio conductor (los pulsos no se transmiten por medio no guiado).

Pulso: con el nivel de tensión alto se puede representar el valor 1 binario y, con el nivel de tensión bajo, el valor 0 binario.

Señal analógica

Ejemplo de señal analógica que transporta datos analógicos:

✓ Señal de voz

- Se genera a partir del dato de voz o dato acústico.
- Es una señal electromagnética que tiene la misma forma y ocupa el mismo espectro de frecuencia que el dato de voz.
- A mayor fidelidad (mayor ancho de banda de la señal) mayor costo de la transmisión.
- La onda sonora generada por la voz humana, produce una vibración en el aire que es captada por un micrófono (dato). Este convierte la vibración en una señal eléctrica que viaja por un cable hasta el amplificador.
- Ancho de banda de la señal de voz: natural, de 20 Hz a 20.000 Hz (A. de B. absoluto), en canal telefónico, de 300 Hz a 3.400 Hz (A. de B. efectivo)

Señal digital

Ejemplo de señal digital que transporta datos digitales:

✓ Señal Digital Binaria

- Se obtiene de **codificar** los datos digitales binarios.
- Una forma común de codificar, pero no única, es generar una señal con **2 niveles de tensión**, un nivel representa el número binario **1** y el otro nivel al número binario **0**.
- **Factores involucrados en la calidad de la transmisión:**
 - a. **Codificación utilizada para generar la señal.** La codificación a usarse depende de las **características del medio** y de las **perturbaciones** presentes en el mismo.
 - b. **Ancho de banda utilizado:** depende del **tipo de señal** (secuencia de 1's y 0's, velocidad requerida de envío)
 - c. **Costo.** Nivel de errores permitidos.

Conversión de datos en señal

✓ Señal Analógica

Puede ser generada mediante:

Conversión A/A. Ejemplo: Teléfono fijo de una casa o una pyme.

Conversión D/A. Ejemplo: Módem: módem ADSL de una casa o una pyme.

✓ Señal Digital

Puede ser generada mediante:

Conversión A/D. Ejemplo: Codec, codificador digital de una central telefónica digital que conecta teléfonos analógicos

Conversión D/D. Ejemplo: placa de red de un servidor, pc o notebook

Conversión de datos en señal

- ✓ **Teléfono.** A partir de datos analógicos de voz que ingresa una persona que habla, el teléfono fijo genera una señal analógica.
- ✓ **Módem.** A partir de datos digitales que ingresa un computador, genera señales analógicas. (modulador y demodulador).
 - Convierte una sucesión de pulsos de tensión de 2 niveles en una señal analógica para ser enviada por una línea.
 - Es decir, codifica los datos digitales de entrada (bits) haciendo variar alguno de los parámetros característicos de una onda seno llamada portadora.
 - En el otro extremo de la línea, otro módem demodula la señal y recupera los datos digitales originales.
 - **Modem telefónico:** Ancho de banda: 300 a 3.400 KHz, en desuso
 - **Modem ADSL:** Ancho de banda: 1 MHz, ó más.

Conversión de datos en señal

- ✓ **Codec.** Realiza una operación inversa al módem telefónico: a partir de los **datos analógicos** de voz genera una **señal digital**. Su nombre deriva de las palabras **codificador** y **decodificador**.
- ✓ **Transmisor digital.** Genera una **señal digital** a partir de **datos binarios (bits)** que son 1's y 0's.

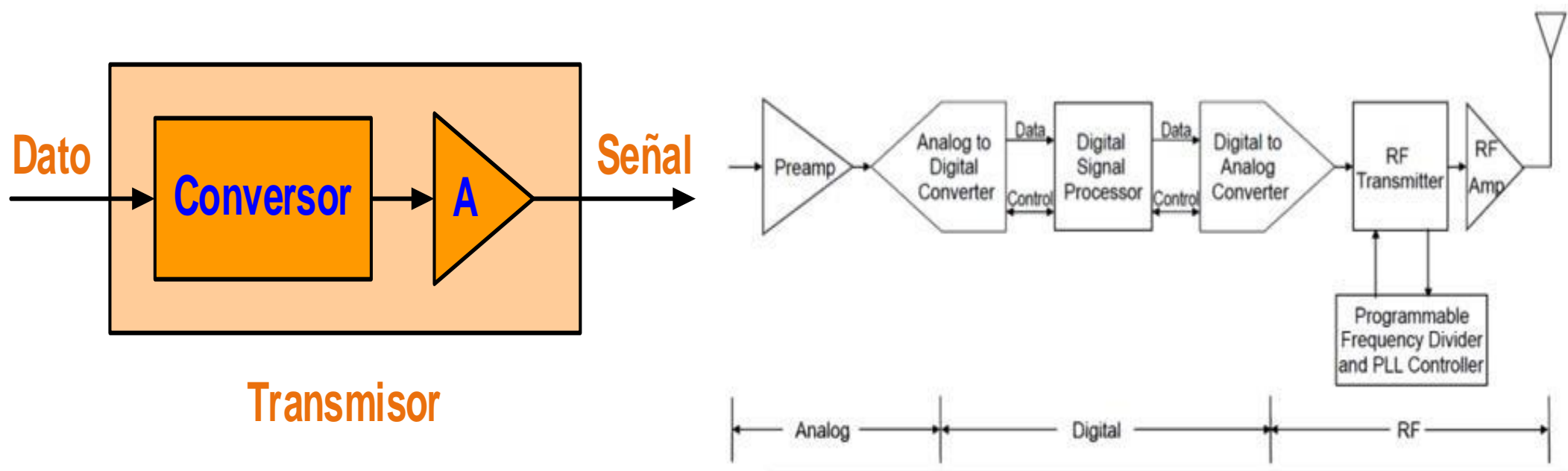
El caso más simple de **señal digital** es una **onda de 2 niveles de tensión** que representan los dos valores binarios.

Se usan distintas técnicas de codificación de los datos para generar la señal digital según las propiedades requeridas (Ejemplo: mayor velocidad de señalización, mínima ocurrencia de error en la detección de la señal, mínimo ancho de banda para una tasa de error dada, etc.).

Conversión de datos en señal

Transmisor: está formado por un **conversor** más un **elemento que potencia la señal (amplificador)** para que atraviese el medio y pueda llegar al otro extremo sin perder inteligibilidad.

Conversor: Parte de un **transmisor** que realiza operación de convertir el dato en señal



Transmisión

Es el proceso por el cual se asegura que una señal viaje desde un origen a un destino. Está relacionado con los dispositivos y las características que debe tener el medio para asegurar una transferencia de datos exitosa. Elementos constitutivos del medio de transmisión: pasivos y activos

- ✓ Elementos pasivos: cable, aire, vacío, agua, ...
- ✓ Elementos activos: dispositivos encargados de repotenciar la señal a lo largo del medio con el fin de que pueda llegar a destino con una intensidad suficiente, de tal forma que el receptor pueda extraer de ella los datos sin errores.

Tipos de Transmisión. Según los elementos pasivos y activos que componen el medio de transmisión, puede ser:

- Transmisión analógica.
- Transmisión digital.

Transmisión analógica

Es realizada por un medio de transmisión que usa amplificadores intermedios cuando el nivel de la señal baja de un cierto valor.

Amplificador

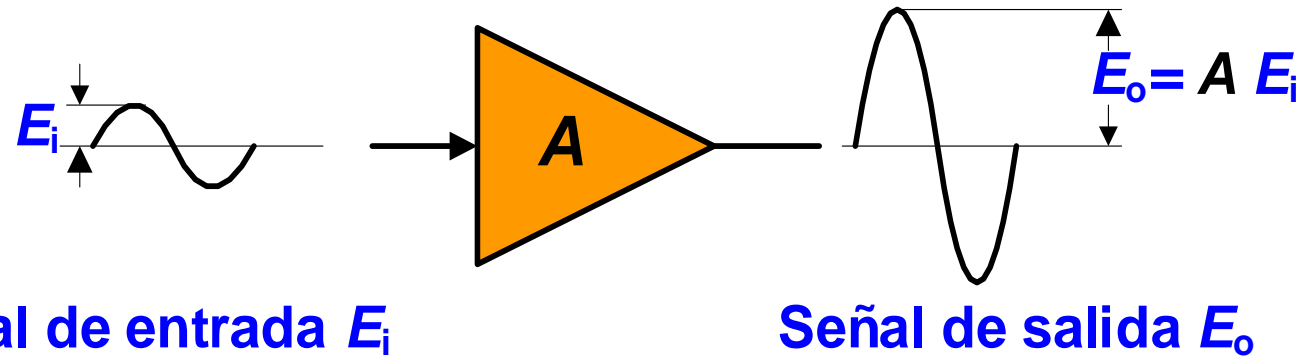
Dispositivo electrónico con la función de inyectarle energía eléctrica (amplificar) a una señal analógica o digital de entrada de bajo nivel con el fin aumentar su intensidad (darle potencia).

La señal así generada está en condiciones de recorrer una cierta distancia por el medio de transmisión.

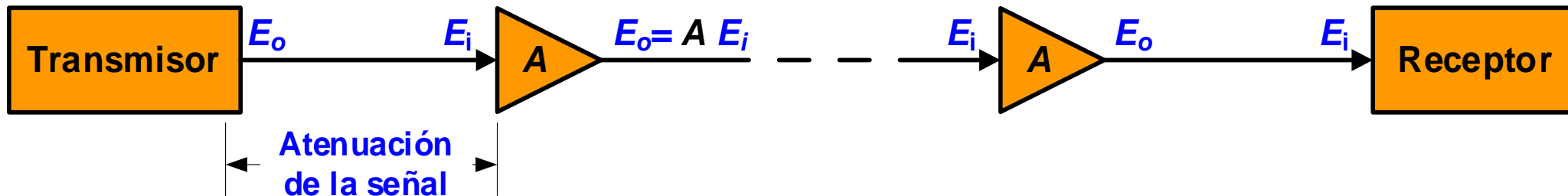
Amplificación (A): es el factor que multiplica el nivel de la señal de entrada al amplificador para intensificarla y enviarla a la línea. La relación entre los niveles de entrada y salida es:

$$E_o = A E_i$$

Transmisión analógica: amplificador



(a) Amplificador.



(b) Amplificadores en cascada en una línea.

Transmisión digital

Requiere que la señal o el dato que ella transporta sean digitales.

De la misma manera que una señal analógica, una señal digital puede ser transmitida sólo a una distancia limitada antes que la atenuación comprometa la integridad del dato.

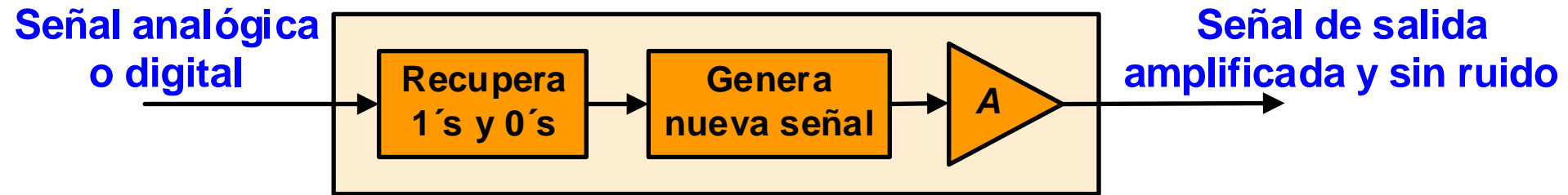
Por ello, para alcanzar grandes distancias se usan repetidores.

Repetidor

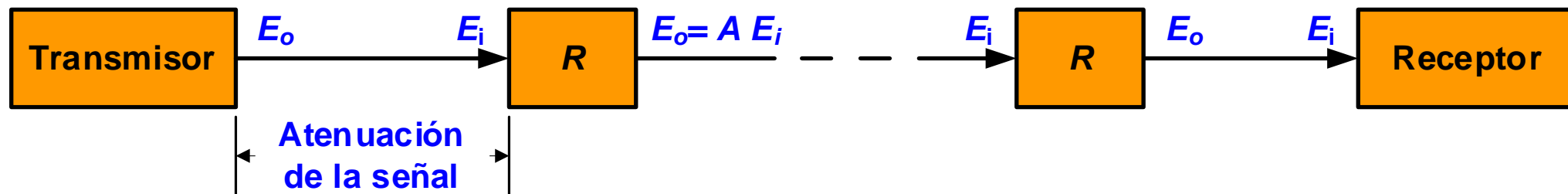
Al igual que el amplificador, el repetidor eleva el nivel de la señal de entrada. Pero, antes realiza la siguiente operación:

- ✓ Recupera el patrón de 1's y 0's de la señal de entrada.
- ✓ A partir de ese patrón, el repetidor genera una nueva señal de salida limpia (sin ruido). Es decir, reconstruye la señal.

Transmisión digital: amplificador



(a) Etapas internas de un repetidor.



(b) Repetidores en cascada en un línea.

Transmisión analógica y digital

Conclusiones

Transmisión digital:

- Tiene que ver con el contenido de la señal porque el uso de repetidores permite extraer el contenido (1's y 0's) de la señal entrante, y luego generar una nueva señal de salida.
- De este modo se logra: superar la atenuación y anular totalmente el ruido.
- Esta técnica también se puede usar con una señal analógica que transporta datos digitales.

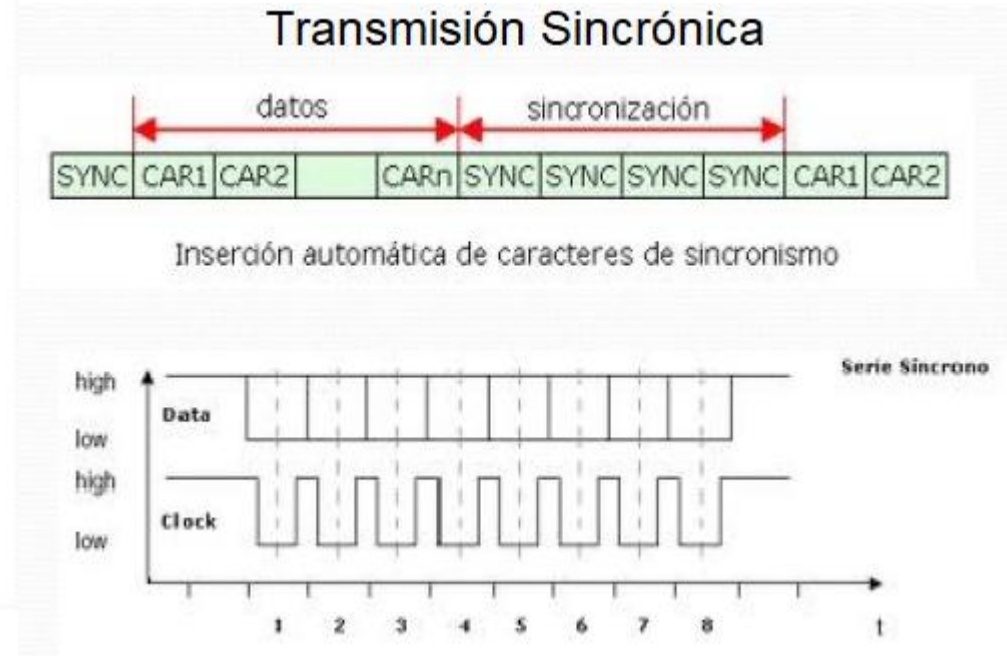
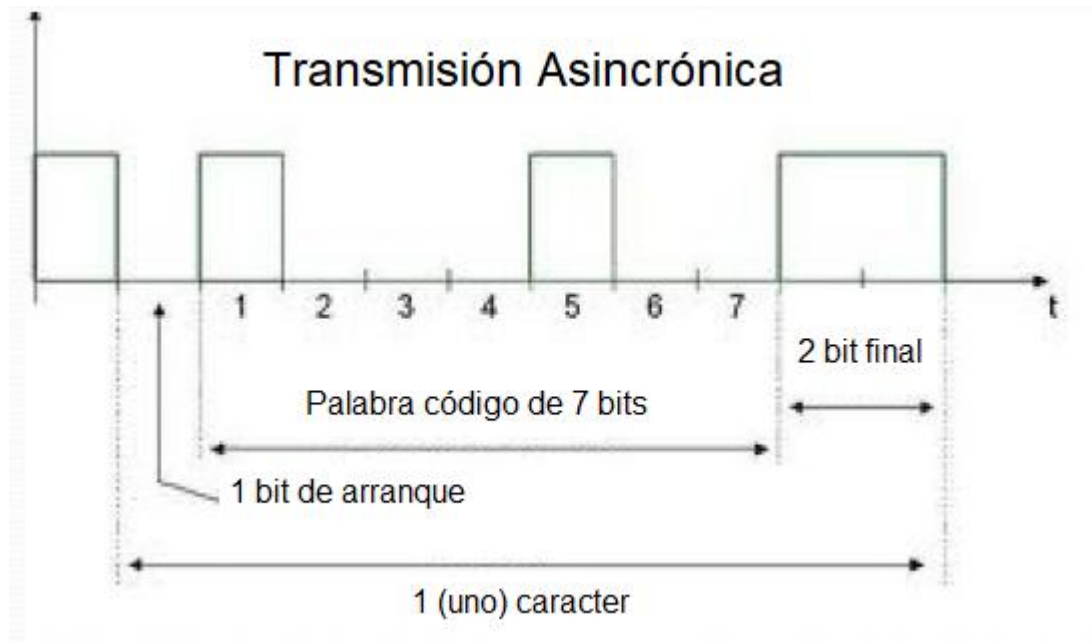
Transmisión Analógica:

- Los amplificadores no tienen capacidad para generar una señal limpia, sólo amplifican la señal con el ruido incluido.

Transmisión analógica y digital: Conclusiones

	Sistema digital	Sistema analógico
Definición	Sistema de manipulación de datos mediante dígitos (números).	Sistema de manipulación de datos físicos representados en valores continuos .
Valores de la señal	Valores discretos (finitos).	Valores continuos (infinitos).
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">• Menor tamaño.• Eficiencia.• Precisión.• Diseño.• Estabilidad	<ul style="list-style-type: none">• Instantaneidad.• Economía.• Fidelidad.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none">• Conversión.• Ancho de banda.• Alteración.	<ul style="list-style-type: none">• Menor tolerancia al ruido.• Degradación de la señal.• Dificultades técnicas.

Transmisión sincrónica y asincrónica



Hacia un mundo digital

- **Desarrollo de la tecnología digital.** El desarrollo de GLSI (Giga Large Scale Integration), millones de componentes por Chip) ha provocado una **caída en el costo y tamaño de los circuitos digitales**. El desarrollo de circuitos analógicos no muestra una reducción similar.
- **Provee integridad al dato.** El uso de repetidores permite **eliminar totalmente el ruido**. No así los amplificadores. Es posible entonces transmitir datos digitales a grandes distancias con solo agregar repetidores.
- **Permite mejor utilización del enlace a bajo costo.** Es cada vez más económico construir enlaces de **muy alto ancho de banda**, (satelitales y de F.O.) para **agrupar muchas señales (multiplexión)** y enviarlas por un **único medio**, utilizando así toda la capacidad del enlace.

Hacia un mundo digital

- Técnica de Multiplexión: costo de implementación más reducido con técnicas digitales que con técnicas analógicas
- Permite la integración de servicios. Convirtiendo a la forma digital tanto datos analógicos como digitales, todas las señales tienen la misma forma.
- Provee seguridad y privacidad. Técnicas de encriptación. Se aplican a datos digitales y a datos analógicos que han sido digitalizados; no así a datos analógicos en estado puro.

Datos, señales, y tipos de transmisión

(a) Datos y Señales

	Señal Analógica	Señal Digital
Dato Analógico	Dos alternativas: (1) señal ocupa el mismo espectro que los datos analógicos (2) datos analógicos están codificados para ocupar una diferente porción del espectro.	Los datos analógicos se codifican usando un códec para producir un flujo de bits digital.
Dato Digital	Los datos digitales se codifican usando un módem para producir señal analógica.	Dos alternativas: (1) la señal consta de dos voltajes niveles para representar los dos valores binarios; (2) digital los datos se codifican para producir una señal digital con propiedades deseadas

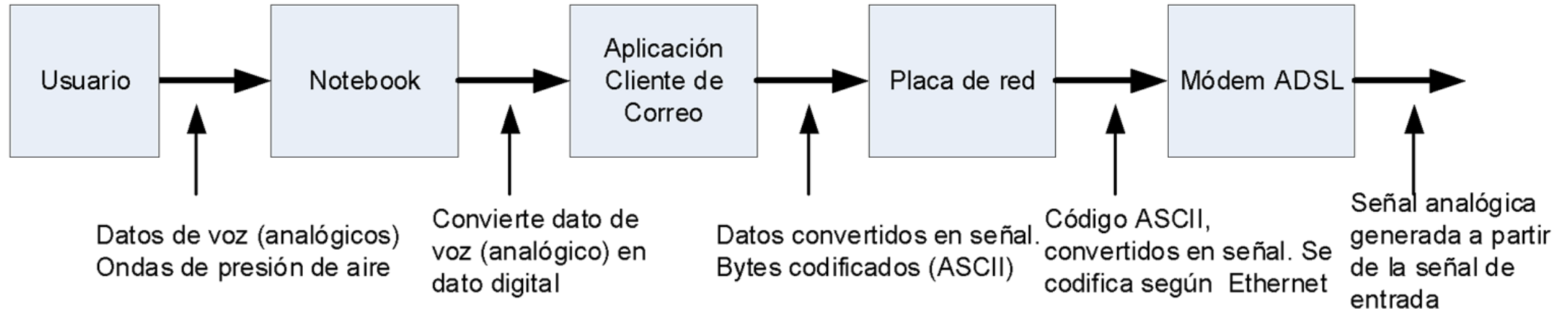
(b) Tratamiento de la Señal

	Transmisión Analógica	Transmisión Digital
Señal Analógica	Se propaga a través de amplificadores; mismo tratamiento si la señal es utilizado para representar datos analógicos o información digital.	Asume que la señal analógica representa digital datos. La señal se propaga a través de repetidores; a cada repetidor, los datos digitales se recuperan de señal de entrada y se utiliza para generar un nuevo análogo señal de salida
Señal Digital	No usado	La señal digital representa un flujo de 1s y 0s, que puede representar datos digitales o puede ser un codificación de datos analógicos. La señal se propaga a través de repetidores; en cada repetidor, flujo de 1s y 0s se recupera de la señal entrante y se utiliza para generar una nueva señal de salida digital.

Ejercicio

Una usuario usa comandos de voz para escribir un texto en una aplicación cliente de correo electrónico.

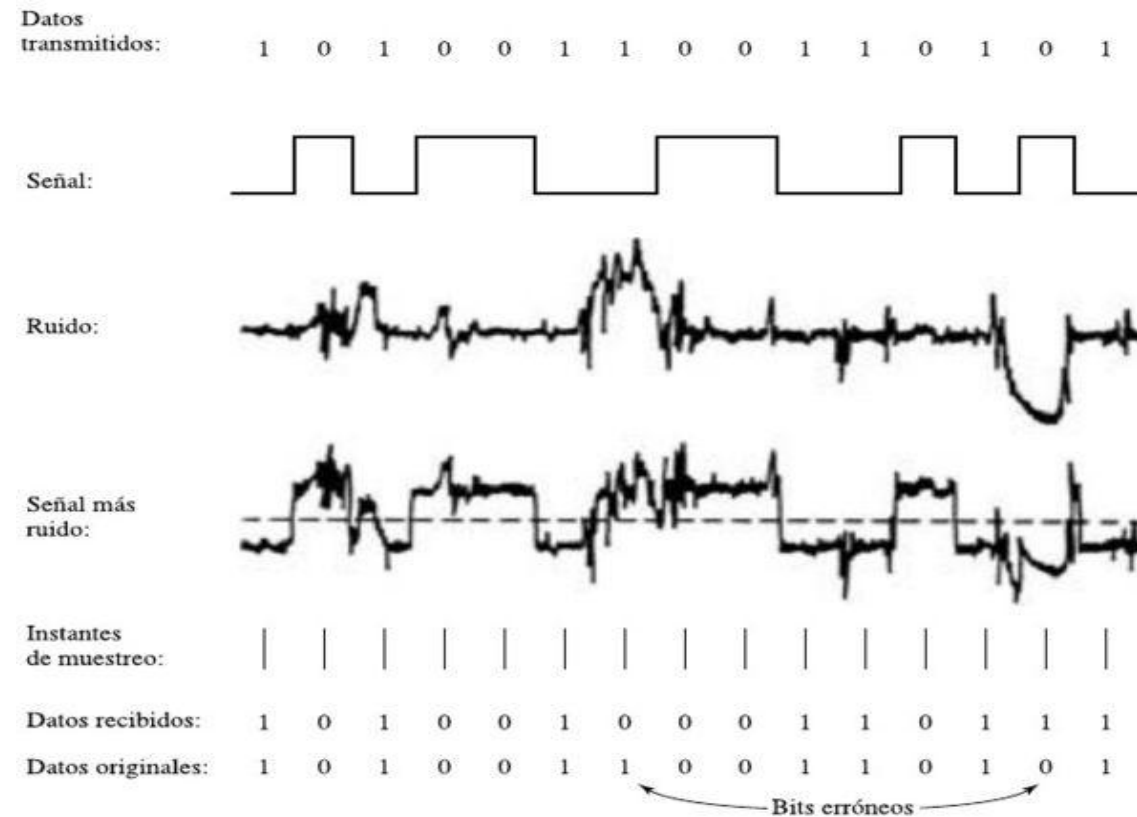
Haga un diagrama en bloques de las transformaciones de datos y señales en este sistema.



B R E A K

Perturbaciones en la transmisión

En todo sistema de comunicación real, la señal recibida es diferente a la señal transmitida. La causa de esa diferencia son las **perturbaciones** en el medio de transmisión que afectan a la señal que circula por él.

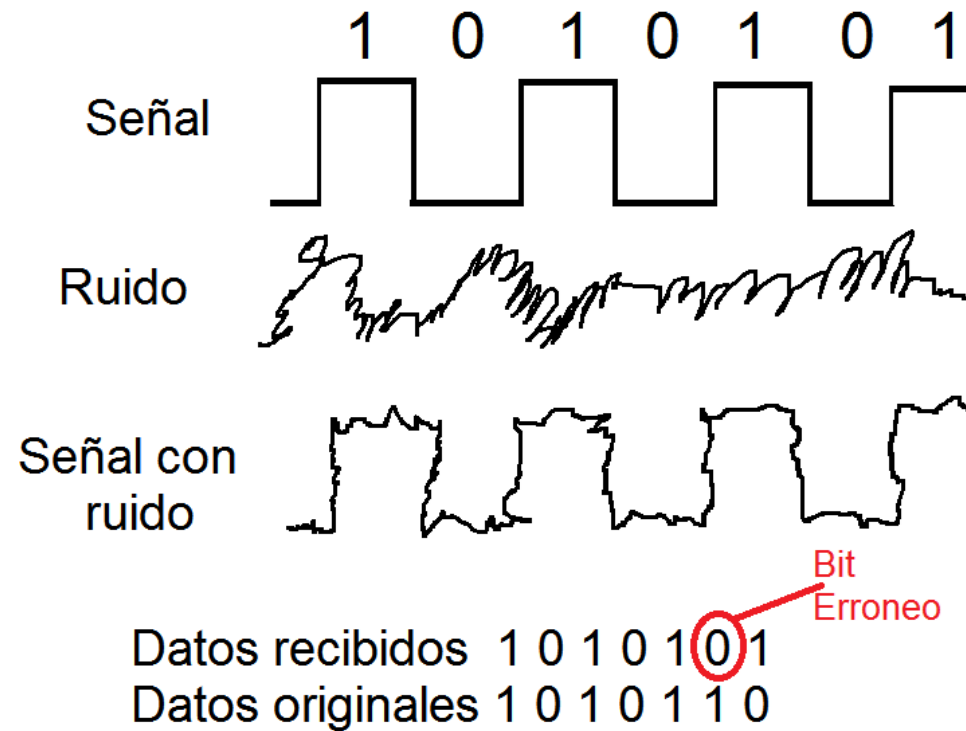


Perturbaciones en la transmisión

Efectos de la perturbación

En las señales **analógicas**: pérdida de inteligibilidad.

En las señales **digitales**: errores en los bits.



Perturbaciones en la señal

Tipos de Perturbación

- Atenuación
- Distorsión por retardo
- Ruido

Atenuación

Atenuación: Es la pérdida de energía. Cuando una señal viaja a través de un medio de transmisión, pierde algo de su energía debido a las imperfecciones o a las características del medio transmisión.

Causas de la Atenuación

Líneas de cobre

La resistencia eléctrica de los conductores. Parte de la energía eléctrica se convierte en calor; por esta razón los cables que llevan señales eléctricas se calientan, si no arden, después de un cierto tiempo. La resistencia aumenta con la frecuencia.

Fibra Óptica

La dispersión de luz, que se produce cuando el rayo de luz choca contra una impureza de la fibra y se dispersa en todas las direcciones, perdiendo energía óptica

Ondas de Radio

El esparcimiento de la onda radiada. La onda pierde energía electromagnética porque se esparce en el espacio. La pérdida aumenta con la distancia y la frecuencia

Atenuación

- ✓ Es deseable que la amplitud de la señal tenga suficiente intensidad para que los circuitos del receptor puedan detectarla e interpretarla; esto es: recuperar los datos que transporta la señal.
- ✓ Es necesario que la señal tenga suficiente nivel de potencia respecto del ruido para que los datos puedan ser extraídos sin errores.

Efecto de la atenuación: produce una disminución de la intensidad de la señal que se va acentuando a medida que se desplaza por el medio.

Para un medio determinado, la atenuación que sufrirá la señal depende de:

- La distancia recorrida en el medio
- El espectro de frecuencia de la señal

Atenuación

Atenuación respecto de la distancia recorrida en el medio

- La señal más se debilita cuando más lejos se encuentra del punto de su emisión (transmisor).
- Para mantener el nivel de la señal deben usarse amplificadores o repetidores intermedios.
- **Equilibrio:** La amplitud de la señal a la salida del transmisor o amplificador o repetidor debe ser fuerte para que tenga buena inteligibilidad, pero no tanto que sature los circuitos produciendo distorsión en la señal generada.

Atenuación

Atenuación respecto de la frecuencia

En todo medio: la atenuación es mayor en frecuencias altas de la señal, lo que produce distorsión (deformación de la señal).

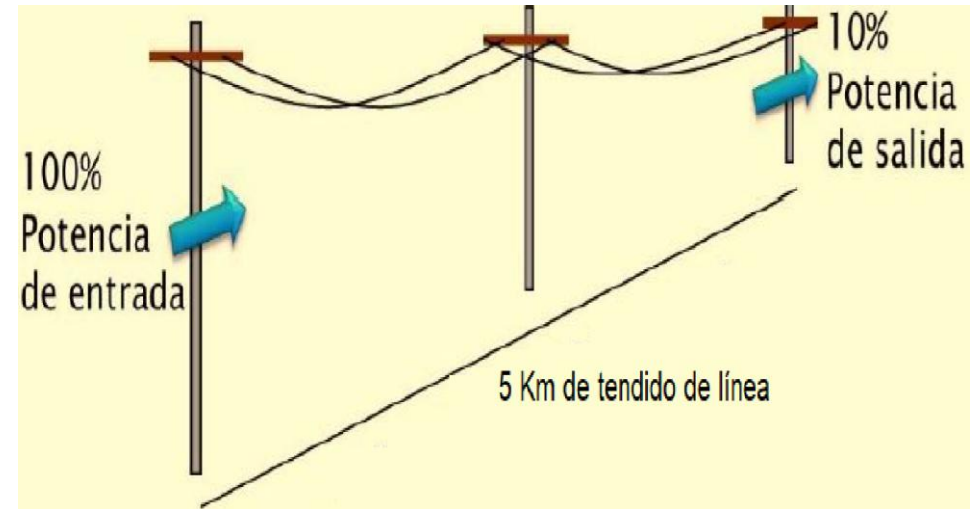
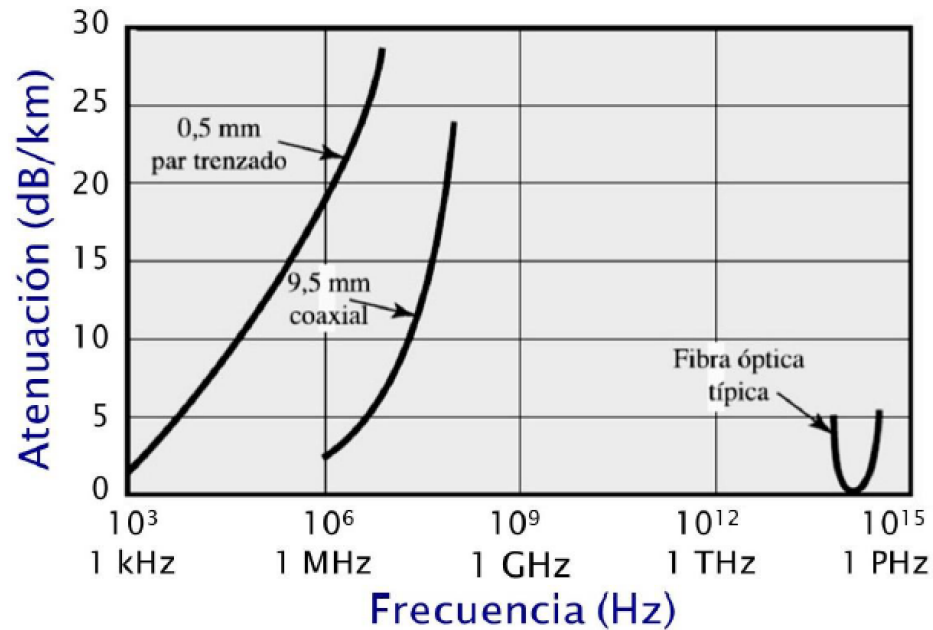
Efecto en Señales Analógicas

- ✓ Produce pérdida de inteligibilidad (pérdida de información): El efecto negativo en señales analógicas es de relevancia especial puesto que el perjuicio es doble: debilitamiento + distorsión
- ✓ Distorsión de la forma de la onda: es producida por la atenuación despareja en las frecuencias componentes. se supera con técnicas de ecualización.
- ✓ En señales analógicas, la información (dato) transportada está íntimamente vinculada a la forma de la onda de la señal.

Efecto en Señales Digitales

- ✓ Es mucho menor que en las analógicas, puesto que aquí no interesa tanto la "pureza" de la forma de onda, sino que se puedan discriminar los 0's y 1's.
- ✓ Además, como se trata de señal digital, se puede usar repetidores para generar señales "limpias".

Atenuación



VALORES DE ATENUACIÓN TÍPICOS

● Para los **medios de transmisión** más comunes utilizados en enlaces punto a punto de larga distancia.

Medio	Rango de frecuencias	Atenuación típica
● Par trenzado	● 0 a 1 MHz	● 3dB/km @ 1 kHz
● Cable coaxial	● 0 a 500 MHz	● 7dB/km @ 10MHz
● Fibra óptica	● 180 a 370 THz	● 0,2 a 0,5 dB/km

Atenuación

Medida de la Atenuación: Decibel (dB)

- Se originó en los Bell Labs, por la necesidad de definir una unidad que diera una idea de la pérdida de potencia (atenuación) obtenida a la salida de una línea telefónica con respecto a la entrada.
- Los primeros sistemas telefónicos usaban líneas abiertas (alambres de acero paralelos de 0.9 mm de diámetro). Se observó que cuando se inyectaba una potencia a la entrada, a una frecuencia de 886 Hz, al cabo de 10 millas la potencia se reducía a 1/10 (a un 10%).
- Esta proporción de 10:1 entre la potencia de entrada y de salida se volvió una unidad de medida: se llamó Bel, en honor al inventor del teléfono Alexander Graham Bell. Se la dividió en unidades más pequeñas que dio origen al Decibel:

Atenuación

Medida de la Atenuación: Decibel

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

A = atenuación, en **dB**.

P_1 = potencia de entrada, en **W**.

P_2 = potencia de salida, en **W**.

El **decibel** queda definido como una relación de dos potencias, luego se lo extiende para relacionar voltajes, corrientes o cualquier otro parámetro.

El valor de A es **negativo** si se ha **atenuado**, y **positivo** si se ha **amplificado**

Atenuación

Medida de la Atenuación: Decibelio Vatio (dBW)

- ✓ Los valores en decibelios se refieren a magnitudes relativas a cambios en magnitud, no a valores absolutos.
- ✓ Puede ser necesario determinar un nivel absoluto de potencia o tensión en decibelios, para facilitar así el cálculo de la pérdida o ganancia con respecto a un valor inicial de señal o valor de referencia
- ✓ **dBW (decibelio-vatio)** se usa frecuentemente en aplicaciones de microondas. Se elige como referencia el valor de **1 W** y se define como **0 dBW**. El nivel absoluto de potencia en dBW es:

$$\text{Potencia}_{\text{dBW}} = 10 \log (\text{Potencia}_W / 1 \text{ W})$$

10 Log X	X
100	10000000000
90	1000000000
80	100000000
70	10000000
60	1000000
50	100000
40	10000
30	1000
20	100
10	10
0	1
-10	0.1
-20	0.01
-30	0.001
-40	0.0001
-50	0.00001
-60	0.000001
-70	0.0000001
-80	0.00000001
-90	0.000000001
-100	0.0000000001

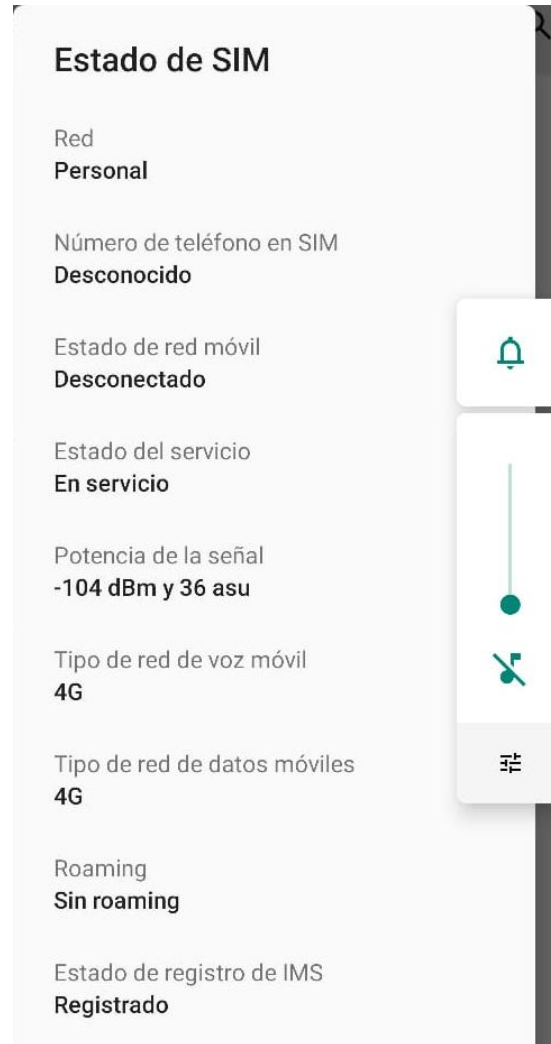
Atenuación

Medida de la Atenuación: Decibelio Milivatio (dBm)

- ✓ El **dBm** (a veces también **dBmW** o **decibelio-milivatio**) es una unidad de medida de relación o **razón** de **potencia** expresada en **decibelios (dB)** relativa a un **milivatio (mW)**
- ✓ Se utiliza en redes de radio, microondas y **fibra óptica** como una medida conveniente de la potencia absoluta de una señal respecto a un milivatio.
- ✓ Por ejemplo, se puede responder la siguiente pregunta: ¿cuántas veces mayor que un mili vatio es una potencia dada?.
- ✓ En algunos casos puede simplificar la medición de la potencia de una señal dado que el instrumento de medición tenga su escala en dBm

$$\text{Potencia}_{\text{dBm}} = 10 \log (\text{Potencia}_W / 1 \text{ mW})$$

Atenuación



Potencia (dBm)	Potencia (W)
-40 dBm	0,0001 mW
-30 dBm	0,001 mW
-20 dBm	0,01 mW
-10 dBm	0,1 mW
0 dBm	1 mW
1 dBm	1,2589 mW
2 dBm	1,5849 mW
3 dBm	1.9953 mW
4 dBm	2,5119 mW
5 dBm	3,1628 mW
6 dBm	3.9811 mW
7 dBm	5,0119 mW
8 dBm	6.3096 mW
9 dBm	7,9433 mW
10 dBm	10 mW
20 dBm	100 mW
30 dBm	1000 mW
40 dBm	10000 mW
50 dBm	100000 mW

Distorsión por retardo

- ✓ Se produce en los medios de transmisión guiada (cables).
- ✓ Es debida a que la velocidad de propagación de la señal por el medio es dependiente de la frecuencia: tiende a ser mayor en las frecuencias centrales y menor en las de los extremos.
- ✓ Este fenómeno hace que las componentes de la señal lleguen en distintos tiempos. El efecto que se nota es que, en la llegada al receptor, las componentes tienen las fases corridas entre sí. Esto produce distorsión (deformación) de la onda de llegada respecto de la de salida.
- ✓ Esta distorsión es particularmente crítica para los datos digitales porque produce interferencia entre bits.
- ✓ Este fenómeno produce limitación en la velocidad máxima de transmisión de los bits.

Ruido

En todo sistema de transmisión de datos, la señal recibida por el receptor es el resultado de la señal transmitida que llega modificada por 2 tipos de perturbaciones:

1. Distorsiones impuestas a la forma de la señal:
 - ✓ Atenuación
 - ✓ Distorsión por retardo
2. Interferencias espurias: son ondas electromagnéticas indeseables que se incorporan a la señal durante el recorrido entre la transmisión y la recepción. Se conocen como ruido.

Tipos de ruido:

- ✓ Térmico
- ✓ Intermodulación
- ✓ Por cruce (*crosstalk*)
- ✓ Impulsivo

Ruido Térmico

- Es generado por la agitación térmica de los electrones en un conductor que produce perturbaciones eléctricas que interfieren con la señal.
- Está presente en todos los dispositivos electrónicos y medios de transmisión y es una función de la temperatura.

$$N_o = kT \text{ (W/Hz)}$$

N_o = densidad de potencia de ruido (en Watts / 1Hz)

k = constante de Boltzman = $1,3803 \times 10^{-23}$ J (Joule)/K (Kelvin)

T = $C^\circ + 273$, temperatura absoluta en grados Kelvin.

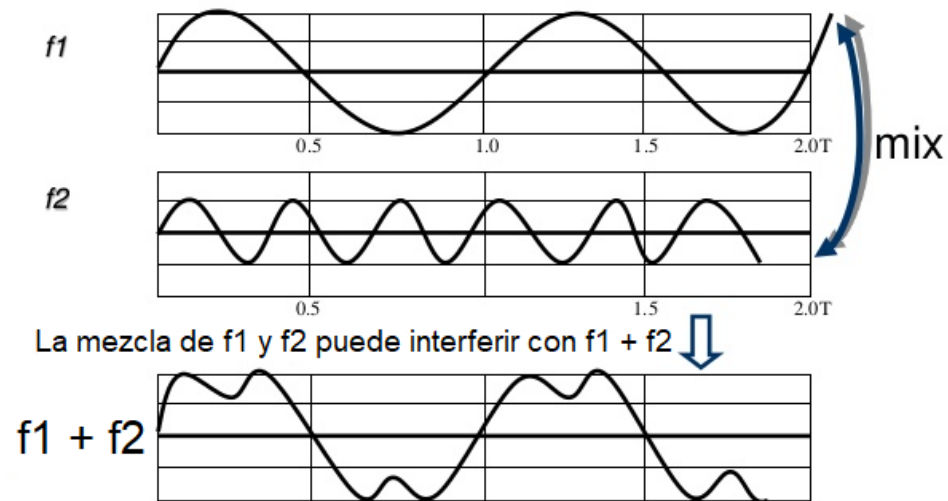
- Por lo tanto, el ruido térmico presente en un determinado ancho de banda B es:

$$N = kTB$$

- El ruido térmico no puede ser eliminado (salvo bajando la temperatura a 0° Kelvin) e incide fuertemente en la performance de los sistemas de comunicación.

Ruido Intermodulación

- Puede aparecer cuando varias señales de distinta frecuencia comparten un mismo medio.
- Se genera cuando existen alinealidades en el transmisor, receptor o en el sistema de transmisión. Las alinealidades generan frecuencias suma o diferencia de dos frecuencias originales, o múltiplos de esas frecuencias.
- Ejemplo, la combinación de las señales con las frecuencias f_1 y f_2 pueden producir una señal con frecuencia $f_1 + f_2$. Esta señal puede interferir con una señal real con frecuencia $f_1 + f_2$.



Ruido Intermodulación

Se considera un amplificador. $s_o = a.s_i$; a = amplificación



Se supone que la señal de entrada es: $s_i = \sin(2\pi f_1 t) + \sin(2\pi f_2 t)$

Caso I: Amplificador lineal: $a = K$ = valor constante

$s_o = a.s_i = K.s_i \rightarrow$ ecuación de una recta al origen. K = pendiente.

$$s_o = K.s_i = K.[\sin(2\pi f_1 t) + \sin(2\pi f_2 t)]$$

Resultado: Se obtiene una señal amplificada en un factor K y sus frecuencias son las mismas que las originales.

Ruido Intermodulación

Caso II: Amplificador no lineal: $a = K_0 + K_1.s_i$

$$s_o = a.s_i = [K_0 + K_1.s_i].s_i = K_0.s_i + K_1.(s_i)^2$$

$$s_o = a.s_i = K_0[\text{sen}(2\pi f_1 t) + \text{sen}(2\pi f_2 t)] + K_1[\text{sen}(2\pi f_1 t) + \text{sen}(2\pi f_2 t)]^2 \quad (1)$$

$$(1) = K_1[\text{sen}^2(2\pi f_1 t) + \text{sen}^2(2\pi f_2 t) + 2.\text{sen}(2\pi f_1 t).\text{sen}(2\pi f_2 t)] =$$

$$K_1[1 - 1/2\cos(2\pi(2f_1)t) - 1/2\cos(2\pi(2f_2)t) + \cos(2\pi(f_1 - f_2)t) + \cos(2\pi(f_1 + f_2)t)]$$

Resultado:

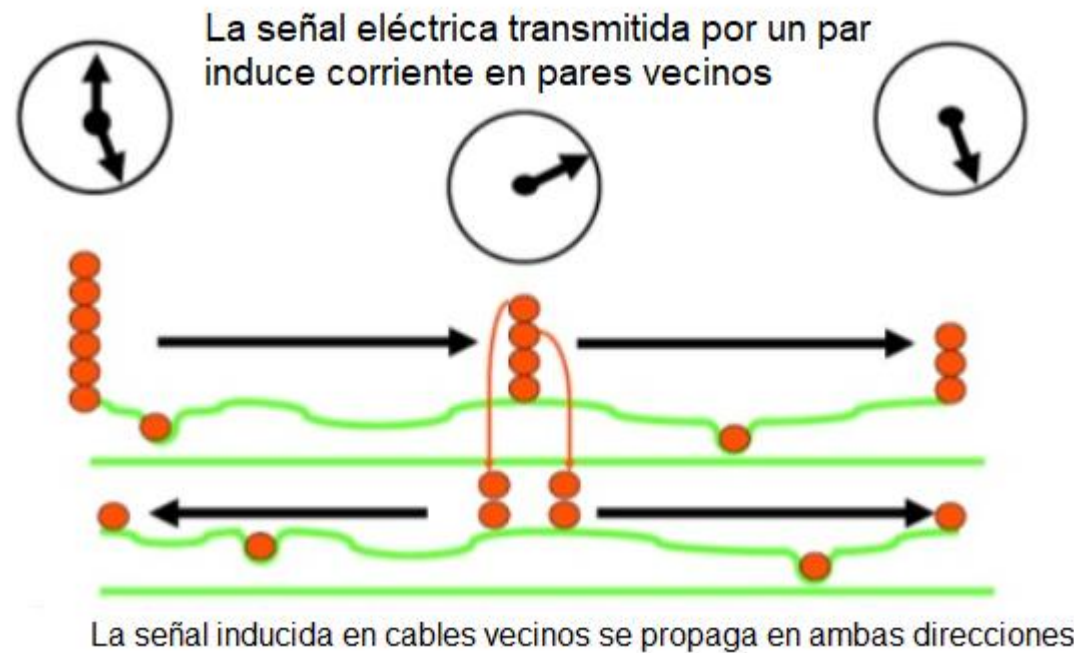
Las frecuencias originales son: f_1 y f_2

Las frecuencias generadas por la alinealidad son: $f_1, f_2, 2f_1, 2f_2, (f_1 - f_2)$ y $(f_1 + f_2)$

Menos f_1 y f_2 , el resto son frecuencias espurias.

Ruido por cruce (crosstalk)

- ✓ En un medio en el que hay varios cables en forma de manojo (cable telefónico multipares), el ruido por cruce es una interferencia de la señal que circula por un par sobre la señal que circula por otro par.
- ✓ Se debe al acoplamiento eléctrico de distintas señales
- ✓ Es común en conversaciones telefónicas.



Ruido Impulsivo

- ✓ Todos los tipos de ruido vistos anteriormente son razonablemente **predecibles**; es decir, sus **magnitudes** son aproximadamente **constantes** y están **presentes todo el tiempo**.
- ✓ Es posible **cuantificarlos** y determinar su **incidencia en la calidad de la señal** permitiendo así evaluar la **performance** cuando se diseña un sistema de comunicación.
- ✓ **Ruido impulsivo**: no es continuo ni previsible porque es debido a una perturbación electromagnética externa.
 - Se presenta en forma de **ráfagas de pulsos de corta duración** y, generalmente, de **gran amplitud**. Su **ocurrencia aleatoria** en el tiempo.
 - Es generado por **fluorescentes**, **motores eléctricos** en el momento de arranque, **soldadores eléctricos**, **pérdidas en aisladores** de la red eléctrica, etc.

Ruido Impulsivo

- ✓ El perjuicio que causa es menor en las señales analógicas que en las digitales.
- ✓ Por ejemplo: en señales de voz se siente como crepitaciones o chasquidos de corta duración, pero no afectan demasiado la inteligibilidad de la información.
- ✓ En las señales digitales, en cambio, el ruido impulsivo es la principal fuente de error en la comunicación.

Ejemplo: un espiga de tensión puede tener gran amplitud y una duración de 0,01s. Esto no afecta a la inteligibilidad de la voz, mientras que a una señal que transmite bits a razón de 10.000 bps, le puede borrar 100 bits en los 0,01 s.

En la Figura 4.5.3.1 de “Notas acerca de redes y comunicaciones – Parte 1” , se presenta un ejemplo típico de un ruido compuesto por un relativamente moderado ruido térmico más ocasionales espigas de ruido impulsivo.

Capacidad de Canal

Es la **velocidad** a la que se pueden **transmitir** los **datos**

Conceptos relacionados con la capacidad de canal:

1. **Velocidad de datos:** Es la velocidad expresada en **Bits/Seg (Bps)**, a la que se pueden transmitir los datos.
2. **Ancho de banda:** Es el ancho de banda de la señal transmitida que estará limitado por el transmisor y por la naturaleza del medio de transmisión, se mide en **Ciclos/Seg (Hz)**.
3. **Ruido:** Nivel medio del ruido a través del camino de transmisión.
4. **Tasa de errores:** Es la razón a la que ocurren los errores, considerándose un error cuando se recibe un 1, habiéndose transmitido un 0 o viceversa.

Capacidad de Canal

- ✓ El objetivo de máxima es el siguiente, para un ancho de banda determinado, es deseable conseguir la mayor velocidad de transmisión de datos posible sin que se supere una tasa de error permitida por el protocolo.
- ✓ EL mayor inconveniente que existe para lograr el objetivo planteado, es la existencia del ruido
- ✓ Para estudiar las implicancias del ruido, se analizará:
 - Ancho de banda de NYQUIST.
 - Capacidad de SHANNON.

Capacidad de Canal: Ancho de banda de Nyquist

Nyquist supone en su teorema un canal exento de ruido:

- ✓ Si la velocidad de transmisión de la señal es $2W$, entonces una señal con frecuencias no superiores a W es suficiente para conseguir la velocidad planteada.
- ✓ Dado un ancho de banda de W , la mayor velocidad que se puede conseguir es $2W$.
- ✓ Si las señales a transmitir son binarias (2 niveles de tensión), la velocidad de transmisión de datos que se puede lograr con W Hz es de $2W$ bps.

Ejemplo: Un canal de voz se utiliza con un módem para transmitir datos digitales, el ancho de banda del canal es de 3100 Hz, por lo tanto la capacidad del canal es $c=2W= 6200$ bps.

Capacidad de Canal: Ancho de banda de Nyquist

1. Si se utilizan señales con más de 2 niveles, cada elemento de señal puede transmitir mas de 1 bit:

Ejemplo: En una señal con 4 niveles de tensión, cada elemento de las misma podrá representar 2 bits.

2. La fórmula de Nyquist para señales multinivel es:
 - $C = 2W \log_2 M$
 - M: Número de señales discretas o niveles de tensión.
 - Si $M = 8$, la capacidad del canal será: $C = 18.600$ bps.
 - Duplicar el ancho de banda duplica la velocidad de transmisión, si se mantiene todas las demás condiciones

Capacidad de Canal: Capacidad de Shannon

- Dado un nivel de ruido, cuánto mayor es la velocidad de transmisión, mayor es la tasa de errores, puesto que más bits se ven afectados (los bits se hacen más cortos al aumentar la velocidad de transmisión)
- Dado un nivel de ruido, incrementando la energía de la señal se mejoraría la recepción de los datos en presencia de ruido, la relación señal /ruido (SNR o S/N) se mide en el receptor y se expresa en decibelios:
 - $(S/N)_{dB} = 10 \log_{10} (\text{Potencia de la señal}/\text{Potencia del Ruido})$
 - Este valor es importante en las transmisiones digitales dado que establece la mayor velocidad de transmisión que se puede conseguir

Capacidad de Canal: Capacidad de Shannon

Según Shannon, la capacidad máxima del canal con ruido es:

$$C = W \log_2 (1 + (S/N)), \text{ donde}$$

C = Capacidad del canal expresado bps

W = Ancho de banda del canal expresado en Hz.

Ejemplo: Un modem transmite datos digitales sobre un canal de voz; $W = 3100$ Hz; $(S/N) = 30 \text{ dB} = 1000:1$, la capacidad del canal será:

$$C = 3100 \log_2 (1 + 1000) = 30.894 \text{ bps.}$$

Este valor es el máximo aún teórico, no totalmente práctico, ya que sólo se ha considerado el ruido blanco.

Capacidad de Canal: Capacidad de Shannon

Para tener en cuenta:

- ✓ Para un nivel de ruido dado podría parecer que la velocidad de transmisión se podría aumentar incrementando tanto la energía de la señal, como así también el ancho de banda del canal
- ✓ Sin embargo al aumentar la energía de la señal lo hacen también las no linealidades del sistema dando lugar al ruido intermodulación
- ✓ Y también, dado que el ruido se ha supuesto blanco, cuanto mayor sea el ancho de banda, más ruido se introducirá al sistema, por lo tanto cuando aumenta B , disminuye SNR

Capacidad de Canal: Relación Nyquist - Shannon

Ejemplo de la relación entre las fórmulas de Nyquist y Shannon

El espectro de un canal está entre los 3 MHz y 4 MHz, mientras que la $SNR_{dB} = 24$ dB:

$$W = 4 \text{ MHz} - 3 \text{ MHz} = 1 \text{ MHz}$$

$$SNR_{dB} = 24 \text{ dB} = 10 \log_{10} (SNR)$$

$$SNR = 251$$

De acuerdo a la fórmula de Shannon:

$$C = W \log_2 (1 + (S/N)) = 10^6 \times \log_2 (1+251) \approx 10^6 \times 8 = 8 \text{ Mbps.}$$

Este es el límite teórico difícil de alcanzar

Entonces uso Nyquist para calcular el número de niveles de señalización para lograrlo:

$$C = 2W \times \log_2 (M), \text{ esto es } 8 \times 10^6 = 2 \times (10^6) \times \log_2 (M)$$

$$4 = \log_2 M, \text{ por lo tanto, } M = 16.$$

Capacidad de Canal: Relación Nyquist - Shannon

Ejemplo de la relación entre las fórmulas de Nyquist y Shannon

Punto 5 - Si Ud tiene un canal de 20Mhz y utiliza 4 niveles de tensión distintos posibles. Cual seria la capacidad teórica para el canal en bps.

Como pide la capacidad teórica, se usa la fórmula de nyquist para señales multinivel.

$$C = 2 \times B \times \log_2(N)$$

C es la capacidad del canal en bits por segundos

B es el ancho de banda en Hertz

N es el número de niveles de tensión

por lo tanto:

$$C = 2 \times 20 \times 10^6 \times \log_2(4)$$

$$C = 2 \times 20 \times 10^6 \times 2$$

$$C = 80 \text{ Mbps}$$

Punto 6 - Si el canal del ejercicio anterior tuviese una relación señal ruido de 100 a 1 cuál sería la capacidad teórica según Shanon

La fórmula de Shannon $C = B \times \log_2(1+SNR)$

Donde SNR es la relación señal - ruido (100 a 1, que se puede expresar como 100)

$$C = 20 \times 10^6 \times \log_2(1+100)$$

$$C = 20 \times 10^6 \times 6.6582$$

$$C = 133.164 \times 10^6$$

$$C = 133.164 \text{ Mbps.}$$

Temas a tratados

1. Tipos de datos, señales y transmisión
2. Perturbaciones en las señales
3. Capacidad de canal

Fin Módulo 4