

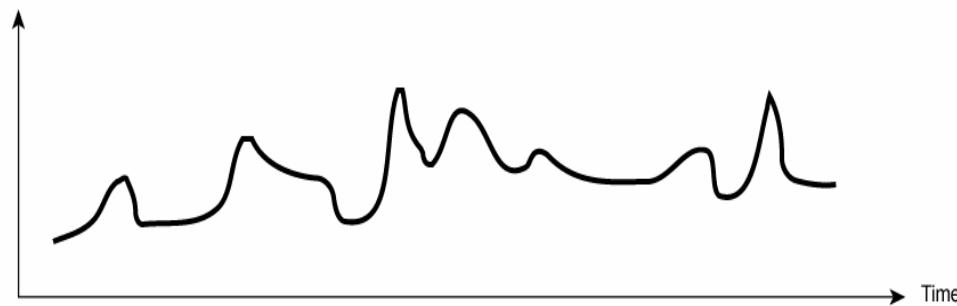
# **TEMA 2: NIVEL FÍSICO. MEDIOS DE TRANSMISIÓN**



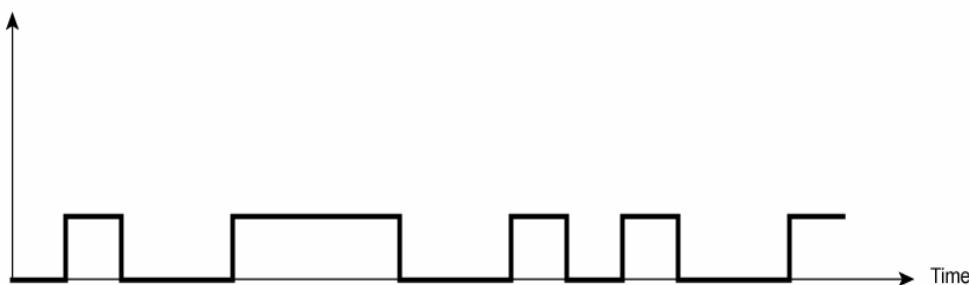
- La transmisión de datos entre emisor y receptor siempre se realiza a través de un **medio de transmisión** que puede ser:
  - **Guiado.** Estos pueden a su vez, ser:
    - Punto a punto.
    - Multipunto.
  - **No Guiado**
- Los medios de transmisión pueden clasificarse, según la forma en que transmiten las señales, en:
  - **Simplex** →
  - **Half-Duplex** → o ←
  - **Full-Duplex** ←→ a la vez

- El éxito de la transmisión depende de :
  - De la **calidad de la señal** que se transmite (ej. potencia del emisor).
  - De las **características del medio** de transmisión.
  - De la **sensibilidad** del receptor.
- Las transmisiones se realizan mediante señales electromagnéticas.
- Estas señales pueden ser *continuas* (analógicas) o *discretas* (digitales).

- **Señal continua o analógica:** su intensidad varía suavemente a lo largo del tiempo y no presenta saltos ni discontinuidades. Ejemplo: voz, temperatura, FM, AM.



- **Señal discreta o digital:** la intensidad sólo toma determinados valores constantes a lo largo del tiempo. Ejemplo: información binaria (1,0)

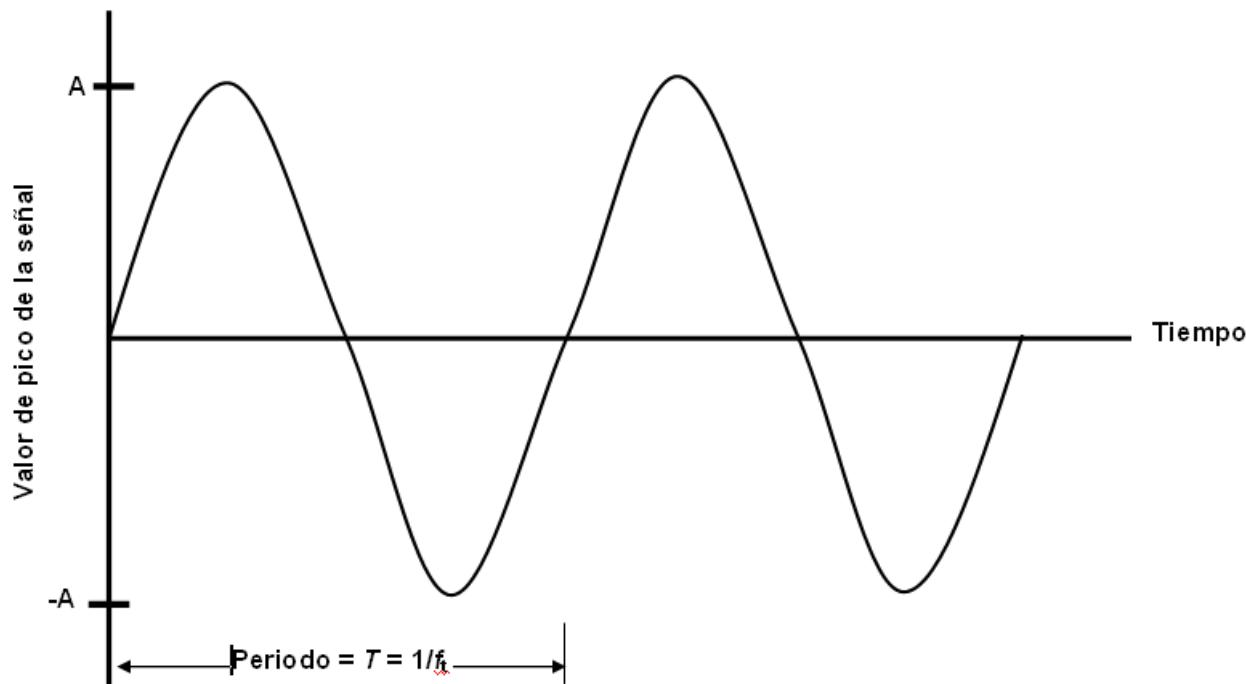


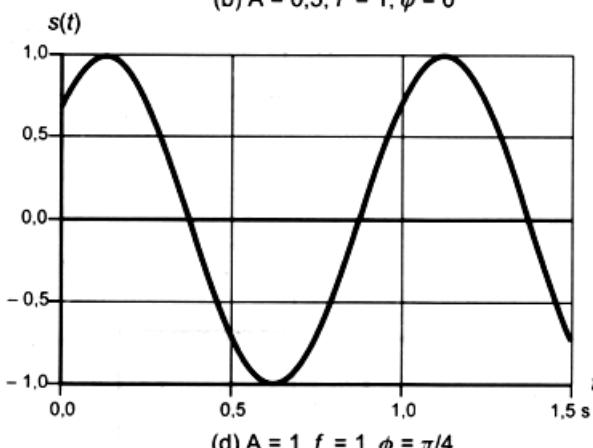
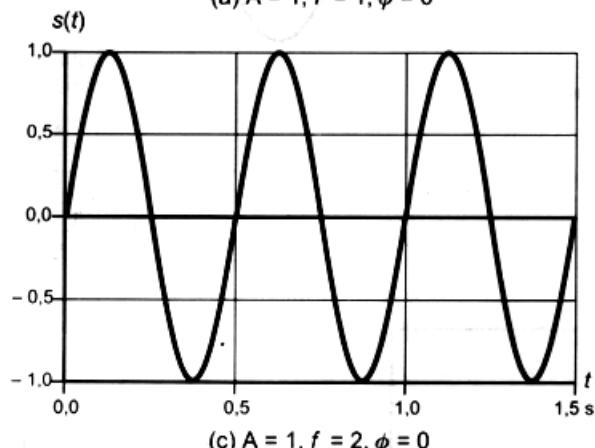
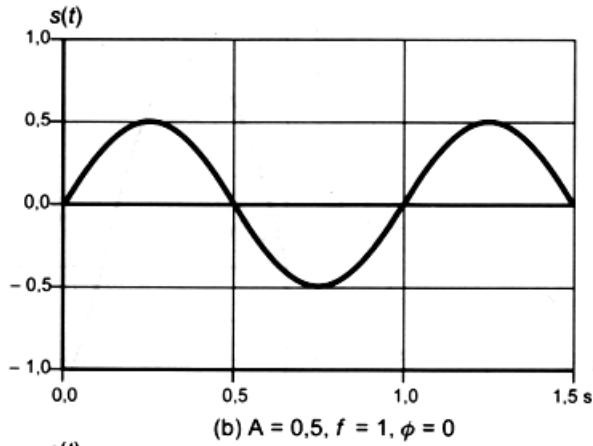
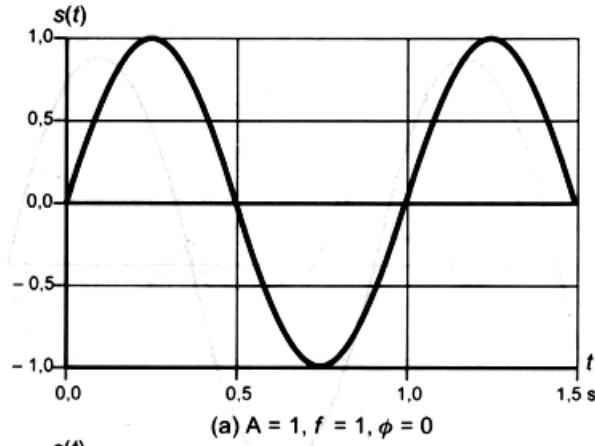
Función periódica: Es una función que se repite a lo largo del tiempo,  $g(t+T) = g(t)$ .

Siendo  $T$  el periodo de la señal, que se define como la cantidad de tiempo transcurridos entre dos representaciones consecutivas de la señal en segundos.

- La función periódica más simple es la función seno:
  - $g(t) = A \operatorname{sen}(2\pi ft + \varphi) = A \operatorname{sen}(2\pi f(t+?) + \varphi)$
  - Siendo  $A$  la amplitud de la señal,  $f$  la frecuencia y  $\varphi$  la fase.
- El periodo,  $T$ , de cualquier señal periódica es el inverso de la frecuencia,  $f$ :  $T = 1/f$ . Se mide en segundos
- La frecuencia es la razón (en ciclos por segundo o Hertzios) a la que la señal se repite.
- La fase es una medida de la posición relativa de la señal dentro de un periodo de la misma. Se mide en grados o radianes.

- Una onda sinusoidal viene determinada por Amplitud, Frecuencia y desFase:





- Se denomina **longitud de onda ( $\lambda$ )** a la distancia que ocupa un ciclo, o lo que es lo mismo, la **distancia entre dos puntos de igual fase en dos ciclos consecutivos, en metros.**
- La longitud de onda está relacionada con el periodo de la señal mediante la fórmula:  $\lambda = v \cdot T$ , siendo  $v$  la velocidad de propagación de la señal y  $T$  el periodo.
- Si el medio es el aire se puede aproximar:  
 $v = c$ ; ( $c = 3 \times 10^8$  m/s), velocidad de la luz en el vacío.

## Descomposición de Fourier:

- Cualquier señal periódica ( $g(t)=g(t+T)$ ) se puede descomponer en una suma (infinita) de funciones periódicas:

Se dice que la señal está compuesta por una serie infinita de armónicos:

- Armónico 1º, frecuencia  $f=1/T$ (amplitudes  $a_1$  y  $b_1$ )
- Armónico 2º, frecuencia  $2f$  (amplitudes  $a_2$  y  $b_2$ )
- .....
- El **armónico n-ésimo** tiene una frecuencia  $f_n$  y una amplitud que viene dada por  $a_n$  y  $b_n$

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f t)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi n f t) dt$$

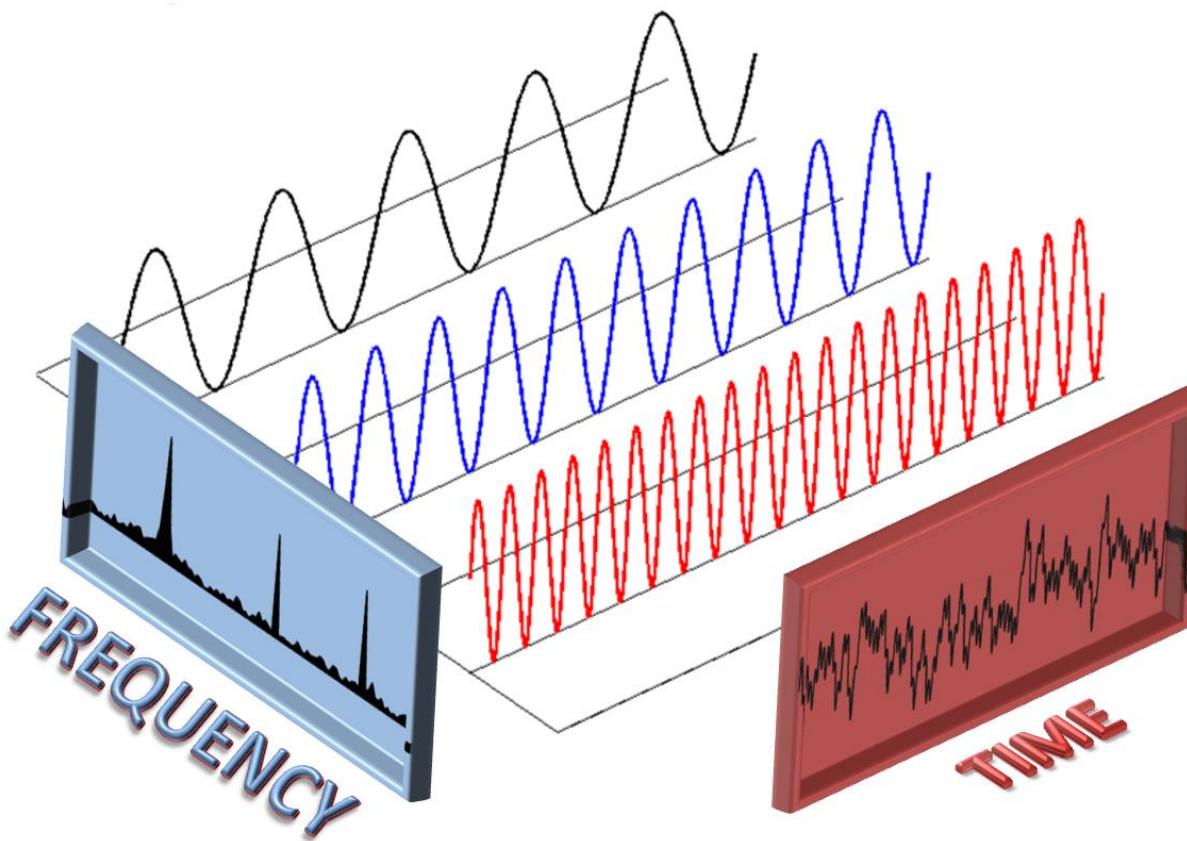
$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi n f t) dt$$

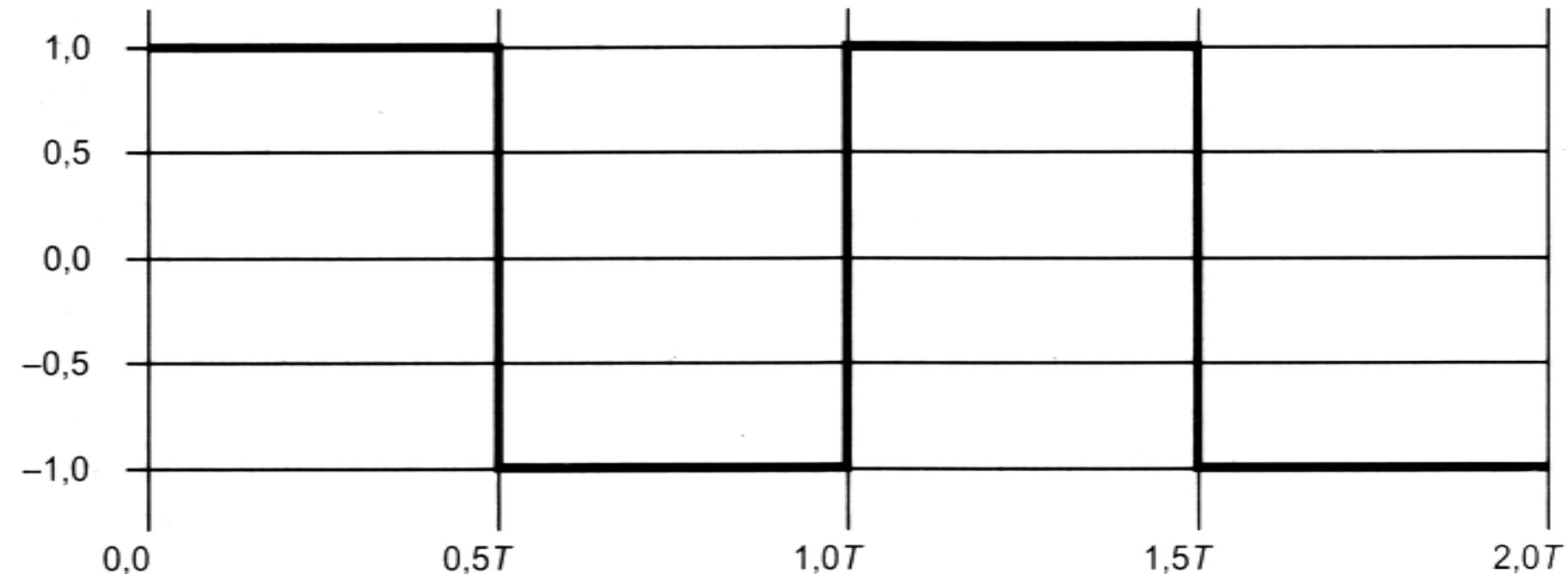
$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

Cuando todas las componentes tienen frecuencias múltiplo de una dada, ésta se denomina frecuencia fundamental.

# Visualización de los armónicos

$$f(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega t - \varphi_n)$$





$$(c) \left(\frac{4}{\pi}\right) \sum \left(\frac{1}{k}\right) \sin(2\pi kf)t$$

Ejemplo descomposición de Fourier de una señal cuadrada:

- Usando sólo el armónico 1

La función cuadrada se aproxima por la siguiente función:

$$g_1(t) = A \operatorname{sen}(2\pi f_1 t)$$

- Usando los armónicos 1 y 3

La función cuadrada se aproxima por la siguiente función:

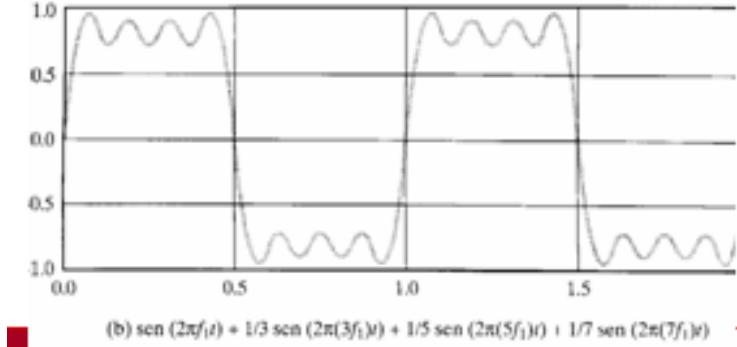
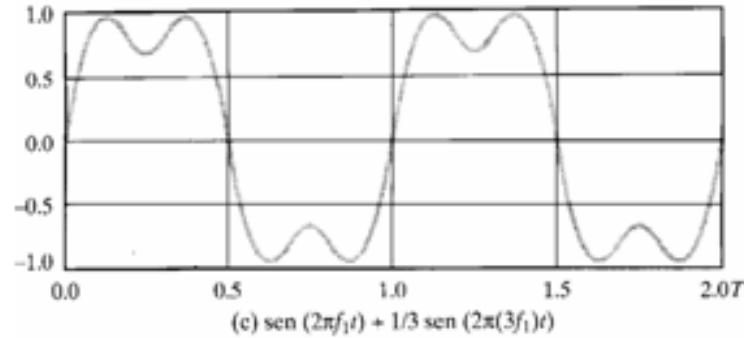
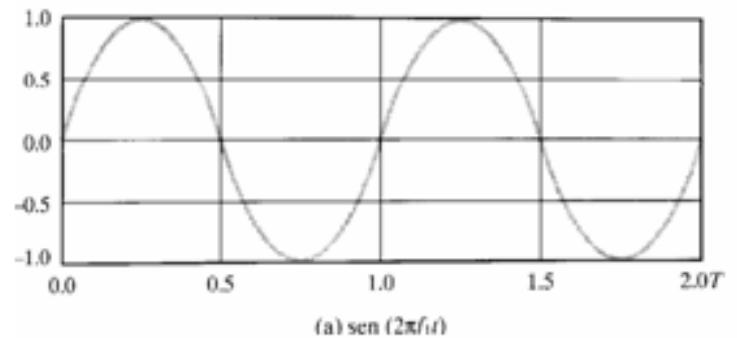
$$g_2(t) = A \operatorname{sen}(2\pi f_1 t) + A/3 \operatorname{sen}(6\pi f_1 t)$$

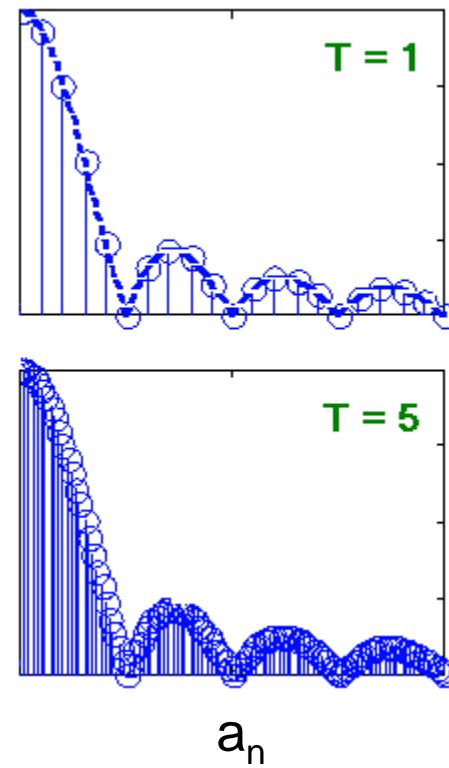
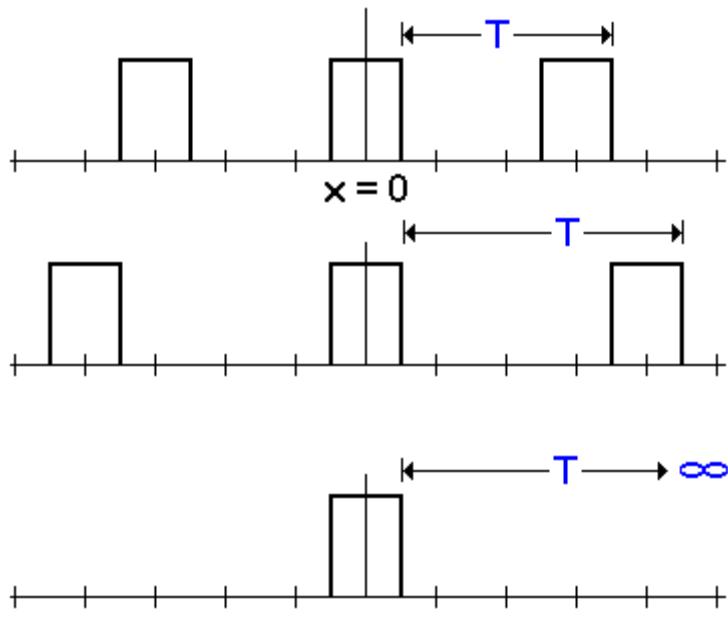
- Usando los armónicos 1, 3 y 5

La función cuadrada se aproxima por la siguiente función:

$$g_3(t) = A \operatorname{sen}(2\pi f_1 t) + A/3 \operatorname{sen}(6\pi f_1 t) + A/5 \operatorname{sen}(10\pi f_1 t)$$

**¿Cuál es el último armónico para conseguir un cuadrado perfecto?**





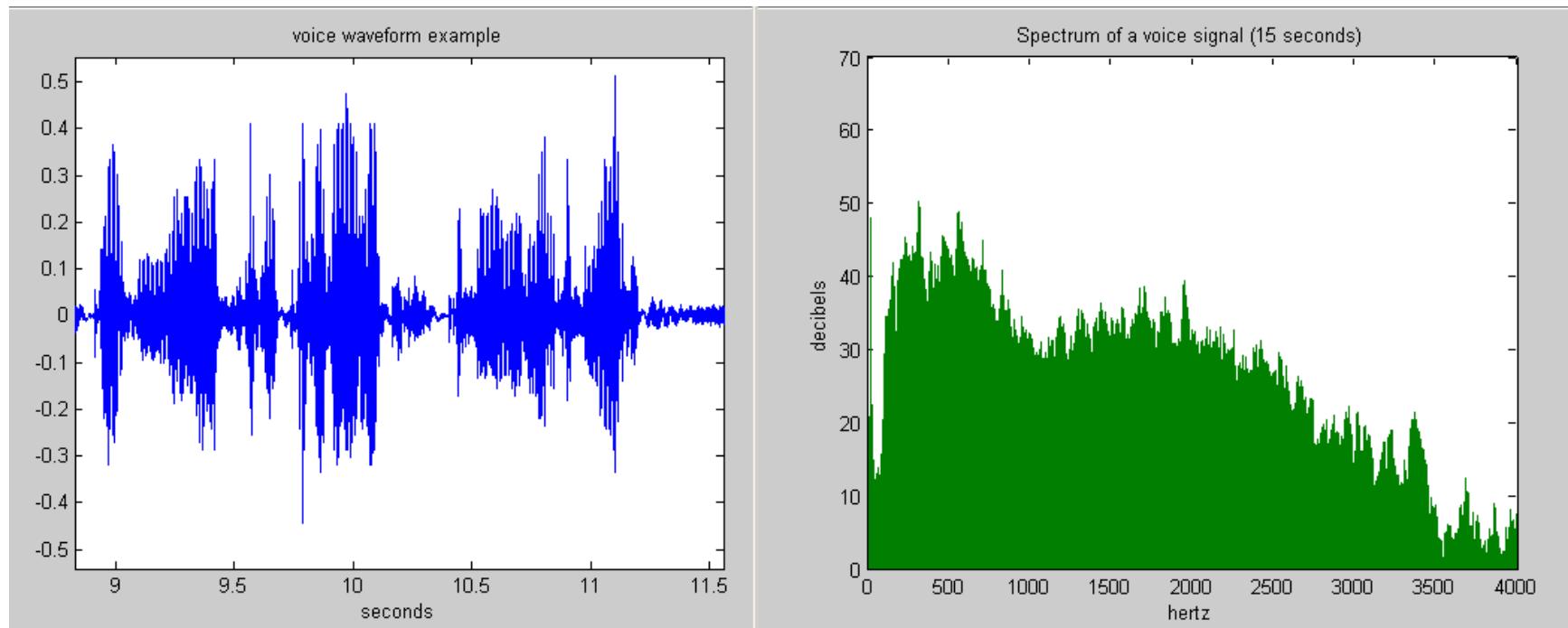
Si la función no es periódica se puede definir un periodo de tamaño infinito ( $T=\infty$ ). El espectro de frecuencias se vuelve **continuo**.

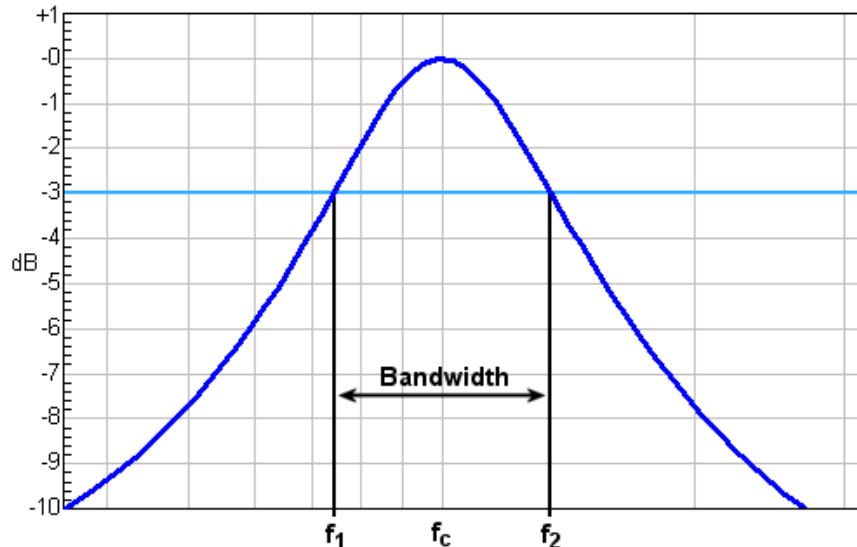
- Se define el espectro de una señal como el conjunto de frecuencias que la constituyen.
- Se define ancho de banda absoluto de una señal como la anchura del espectro.
- Se denomina ancho de banda relativo o simplemente ancho de banda a la banda de frecuencias donde se concentra la mayor parte de la energía de la señal.
- Si una señal contiene una componente de frecuencia cero, esa componente se denomina continua.

Algunos enlaces interesantes:

<http://falstad.com/mathphysics.html>

<http://www.intmath.com/fourier-series/6-line-spectrum.php>





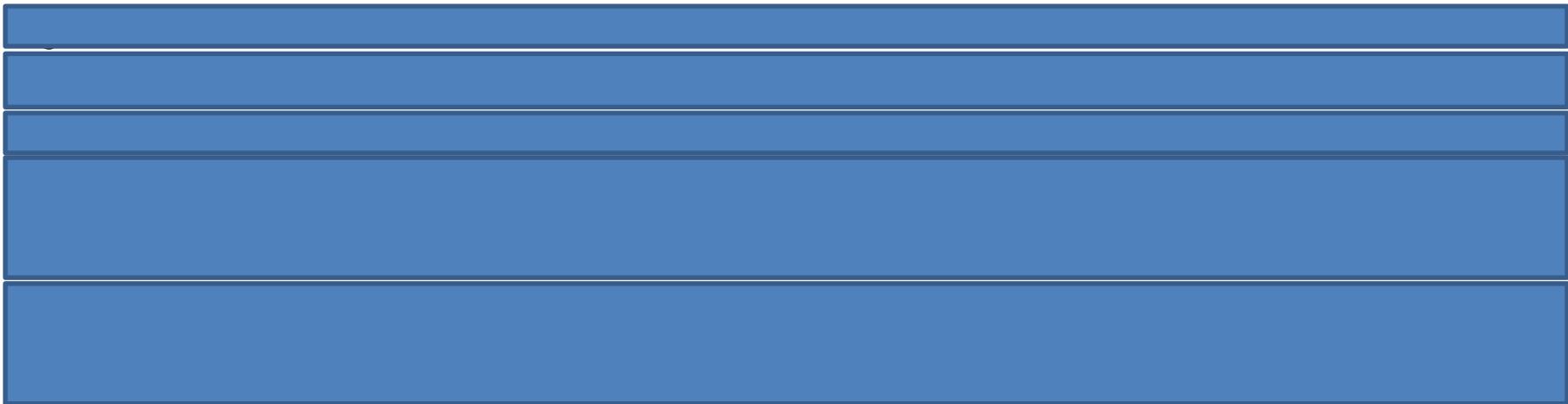
**Ancho de banda** de un medio de transmisión: rango de frecuencias que este medio puede transmitir durante una distancia determinada con una atenuación tolerable:

$$\text{Ancho de banda: } W = f_2 - f_1$$

Siendo:

- f<sub>1</sub> = frecuencia de corte inferior
- f<sub>2</sub> = frecuencia de corte superior.
- Cualquier señal con una frecuencia superior a f<sub>2</sub> o inferior a f<sub>1</sub> será absorbida por el medio de transmisión y no alcanzará su destino.

Ejemplo: Queremos transmitir una señal binaria cuadrada (10101010...) a una velocidad de 5 Mbps:



- **A mayor velocidad de transmisión, mayor es el ancho de banda necesario en el medio de transmisión**
- **A mayor ancho de banda del medio, mayor es la velocidad de transmisión que se puede alcanzar**
- **Ancho de banda y velocidad de transmisión se tratan como términos sinónimos**

- En cualquier medio de transmisión real, la señal que se recibe nunca es exactamente igual a la señal transmitida debido a las perturbaciones que sufre la señal durante su transmisión.
- Las perturbaciones más significativas son:
  - **Atenuación**
  - **Distorsión de atenuación.**
  - **Distorsión de retardo.**
  - **Ruido:**
    - *Diafonía*
    - *Ambiental*
    - *Intermodulación*
    - *Térmico*
    - *Impulsivo*

Unidades de medida para ganancias (amplificación) y pérdidas (atenuación):

- El decibelio es una medida de la diferencia entre dos niveles de potencia.

$$N_{db} = 10 \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$$

- El decibelio-vatio (dBW) se usa cuando se necesita expresar un nivel absoluto de potencia.
  - Se elige como referencia 1 vatio y se aplica la fórmula anterior.
  - ¿Cuánto es 1W expresado en dBW?
  - El valor de una potencia P(dada en W) en dBW es:  $10 \log P$

Potencia(dBW)= $10 \log (\text{Potencia en vatios} / 1 \text{ vatio})$

- El decibelio-miliwatio (dBm) =  $10 \log (P/1 \text{ mW})$
- El decibelio-milivoltio (dBmV) =  $20 \log (\text{Tensión en mV} / 1 \text{ mV})$

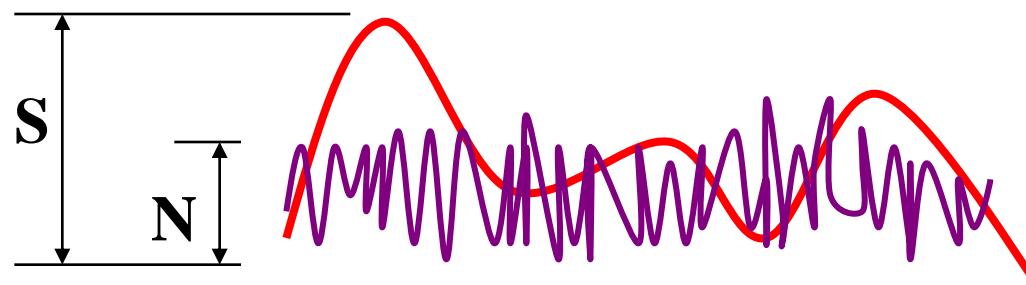
**Atenuación:** Pérdida de potencia entre la señal emitida ( $P_i$  en W) y recibida ( $P_o$  en W), medida en dB.

$$\text{Atenuación} = 10 \log (P_i/P_o)$$



**Signal Noise Ratio:** Es la relación entre la potencia media de una señal “S”, y la potencia del nivel de ruido “N” generalmente expresada en dB.

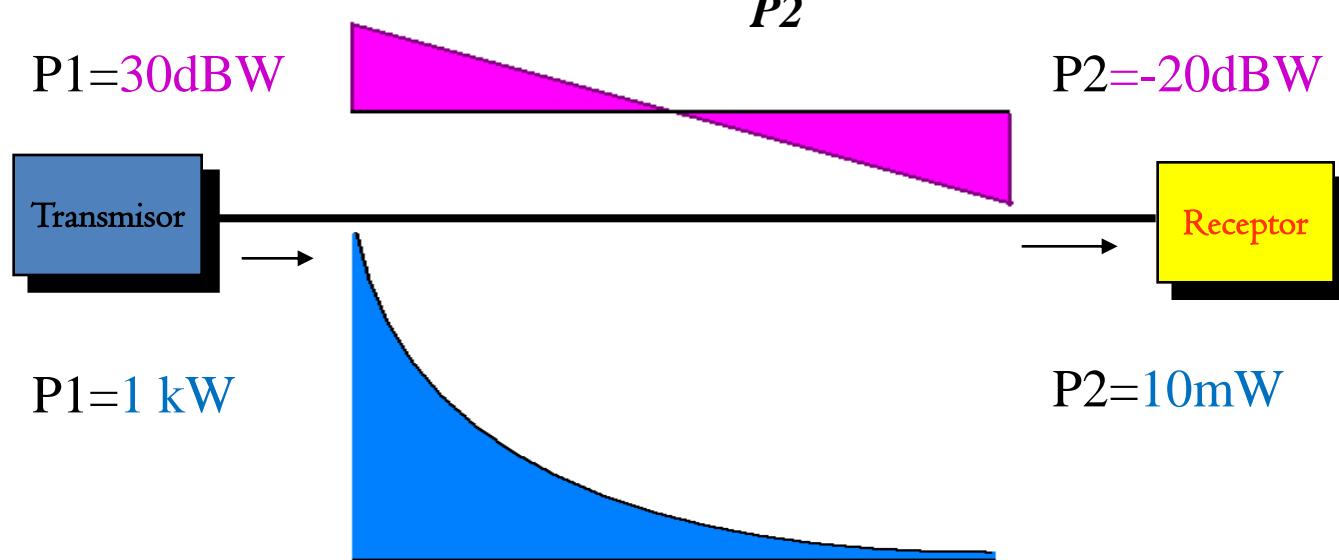
$$SNR = 10 \log (S/N) \text{ dB}$$



## La atenuación:

- La energía de la señal decae con la distancia recorrida
- Para que el receptor pueda detectar e interpretar correctamente la señal recibida, ésta debe tener suficiente energía (“**sensibilidad**”).
- Para resolver este problema: Se suelen utilizar amplificadores o repetidores, que refuerzan la señal cada cierto tiempo.
- Se mide en decibelios (dB). Si denotamos P1 como la potencia de la señal transmitida y con P2 la potencia de la señal recibida, entonces:

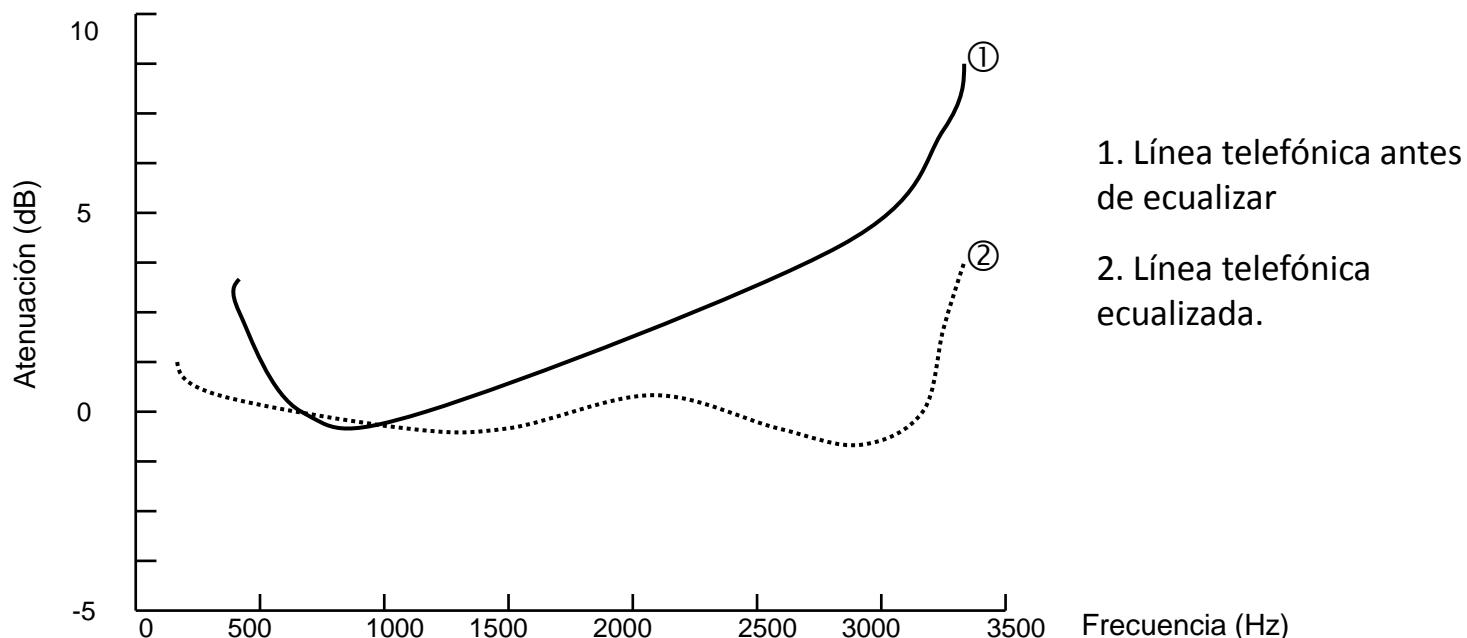
$$\text{Atenuación} = 10 \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \text{dB} = 50 \text{dB}$$



### La distorsión de la atenuación:

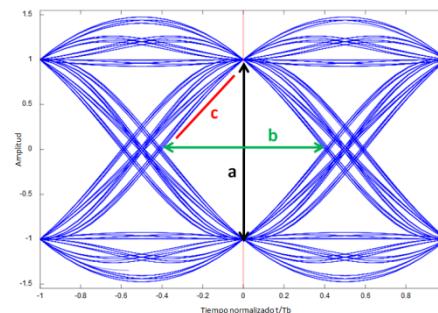
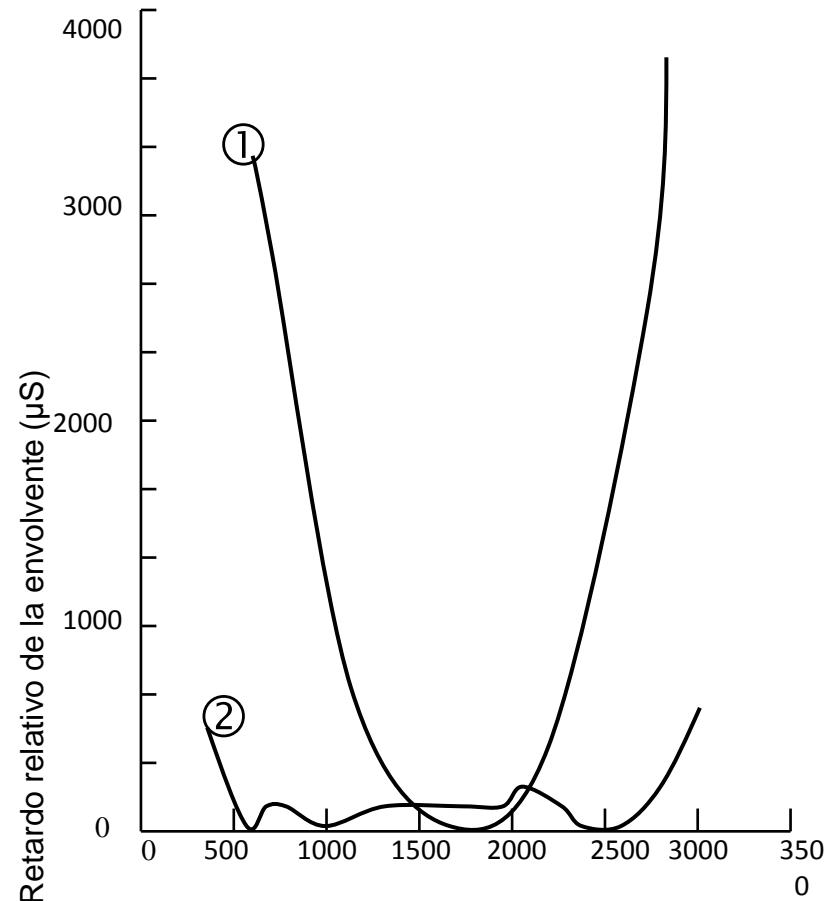
Se debe a la distinta atenuación que sufren las diferentes frecuencias que componen la señal.

- Normalmente, las frecuencias altas se atenúan más que las frecuencias bajas
- La limitación en el ancho de banda de un medio de transmisión se debe a la mayor atenuación que sufren las **altas** frecuencias
- Para resolver el problema: **ecualizadores**. La ecualización consiste en variar la amplificación de la señal en función de su frecuencia.



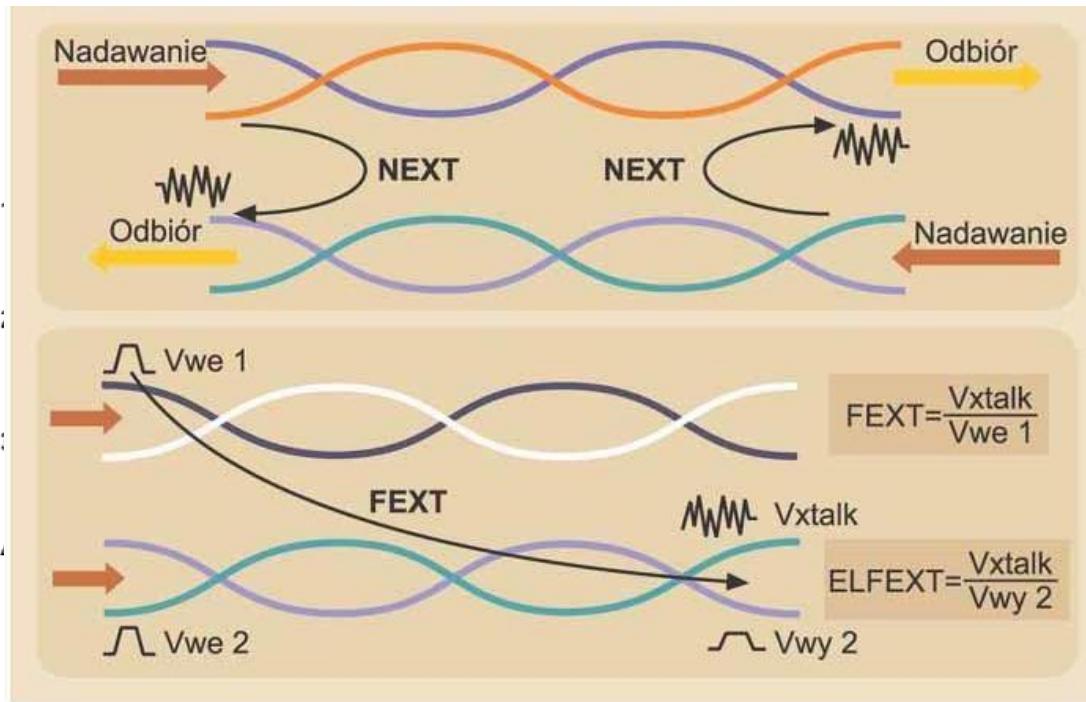
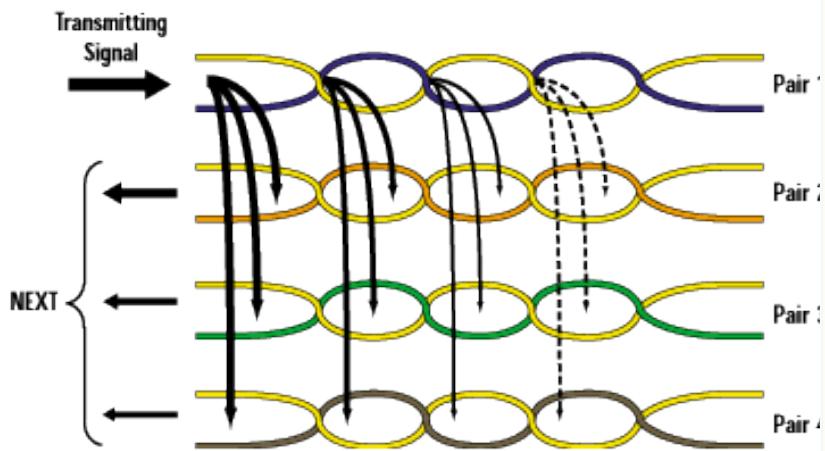
### La distorsión de retardo

- Se debe a que la **velocidad** de propagación de la señal en el medio varía con la frecuencia.
- Para una señal con varias componentes de frecuencia, la velocidad tiende a ser mayor cerca de la frecuencia **central** y disminuye al acercarse a los extremos de la banda.
- La señal recibida está por tanto distorsionada debido a los diferentes retardos en la propagación que sufren las distintas componentes de frecuencia.
- Puede provocar **interferencia entre símbolos** (ISI).



Misma señal  
muestreada  
en dos fases  
diferentes

- **Ruido:** Son las señales no deseadas que se insertan entre el emisor y el receptor.
- Es el principal factor limitante de las comunicaciones.
- Puede clasificarse en:
  - **Ruido térmico:** El debido a la temperatura del medio.
  - **Ruido de intermodulación:** Dos señales en un mismo medio pueden (si hay no linealidades) generar ondas de frecuencias diferentes (suma, diferencia o múltiplo de las iniciales).
  - **Diafonía:** Dos señales en medios diferentes suficientemente próximos pueden inducir ruidos mutuamente: Paradiafonía o NEXT, Telediafonía o FEXT, Paradiafonía agregada PSNEXT...
  - **Ruido impulsivo:** El generado por descargas eléctricas (ESD).
  - **Ruido ambiental:** El generado por emisoras de radio (RFI).



$$\text{Aten} = 10 \cdot \log S/s$$

$$\text{NEXT} = 10 \cdot \log S/r_N$$

$$\text{FEXT} = 10 \cdot \log S/r_F$$

$$\begin{aligned} \text{ACR} &= \text{NEXT} - \text{Aten} \\ \text{ELFEXT} &= \text{FEXT} - \text{Aten} \end{aligned}$$

PSNEXT, PSFEXT todos los conductores con señal

Ruido térmico: Se debe a la agitación térmica de los electrones dentro del conductor. El ruido térmico presente en un ancho de banda de  $W$  hertzios se puede expresar en vatios como:

$$N = k \cdot T \cdot W$$

Siendo:

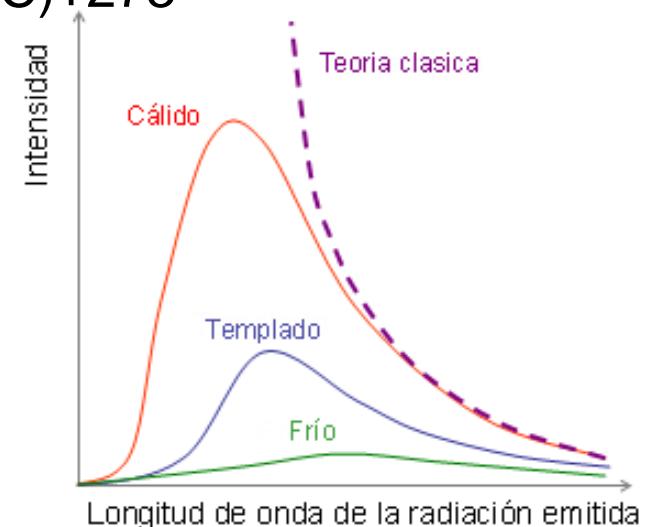
$$k = \text{constante de Boltzmann} = 1.3803 \times 10^{-23} \text{ J/}^{\circ}\text{K}$$

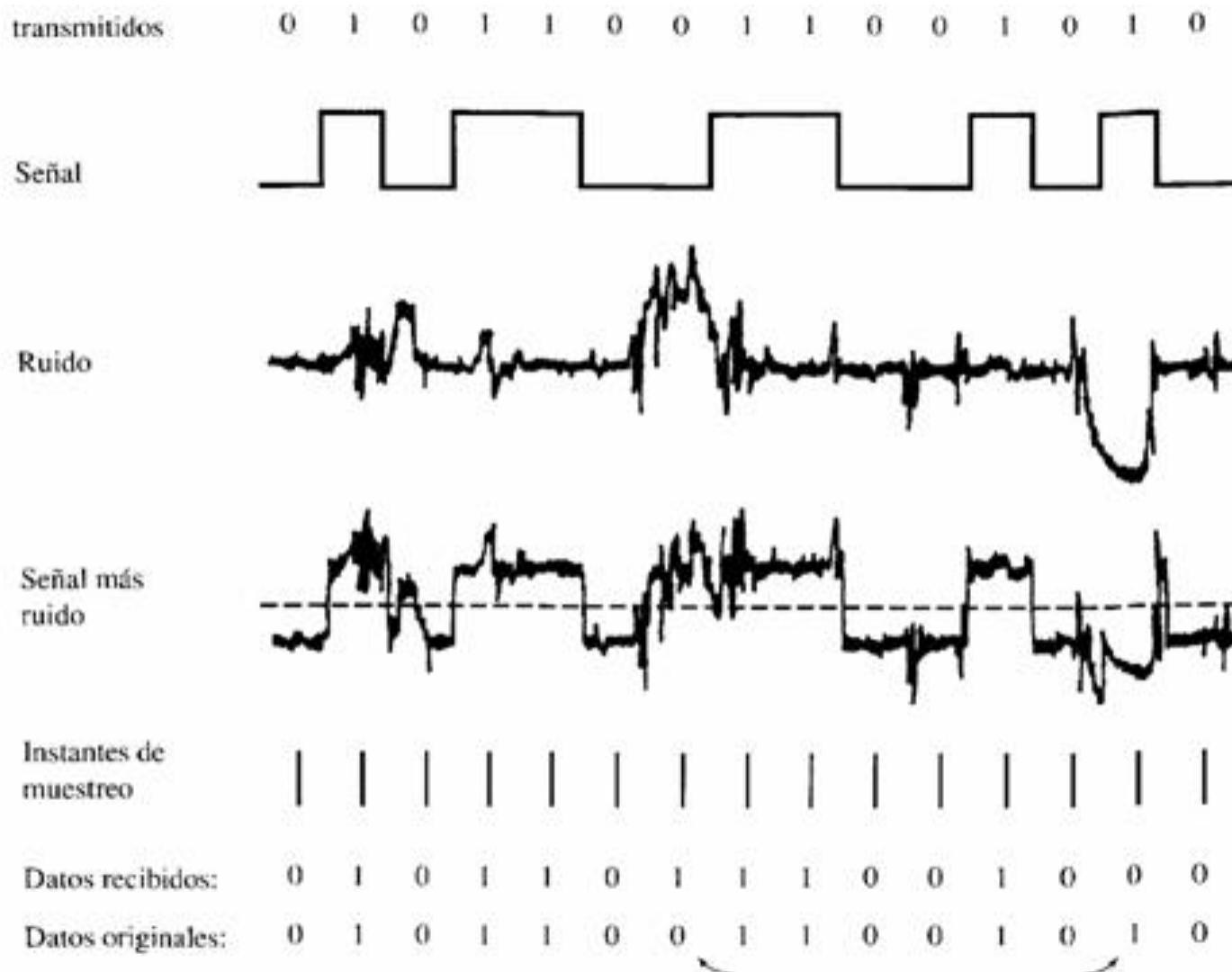
$$T = \text{temperatura, en grados Kelvin, } T(^{\circ}\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

O en decibelios-vatio:

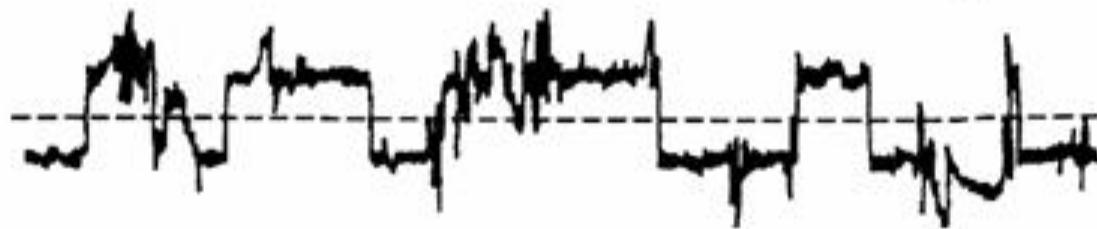
$$N = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log W;$$

$$N = -228.6 \text{ dBW} + 10 \log T + 10 \log T + 10 \log W$$





Señal más ruido

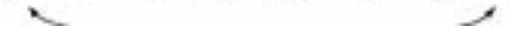


Instantes de muestreo



Datos recibidos: 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0

Datos originales: 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 1 0

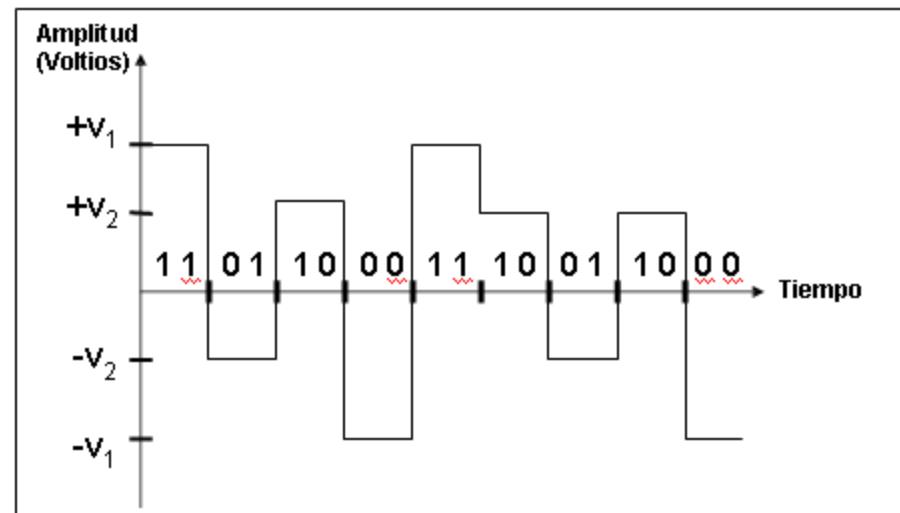


- Capacidad del canal: Velocidad máxima a la que se pueden transmitir los datos en un canal de comunicación.
- Se mide en:
  - bits por segundo (bps). Las unidades son kbps( $10^3$ ), Mbps( $10^6$ ), Gbps( $10^9$ ), Tbps( $10^{12}$ ). También kB ( $1024 \times 8$  bps), MB ( $1024^2 \times 8$  bps), GB ( $1024^3 \times 8$  bps)...
- Depende de:
  - El ancho de banda de la señal transmitida.
  - El nivel medio de ruido a través del camino de comunicación, que devengará una tasa de errores (**BER**: bit error rate).
- Otros conceptos:
  - **Baudio**: número de cambios de la señal por segundo.
  - M: número de estados de la señal posibles.
  - Tasa de transferencia o velocidad de transmisión: Velocidad real que tienen los datos en una transmisión determinada  $\leq$  Capacidad del canal.

- Si un “estado de señal” dura 0.2 segundos **¿A cuántos baudios estoy transmitiendo?**  
5 baudios (5 “estados de señal” / segundo)
- Si sólo tengo 0 y 5 V como “estados de señal” **¿A qué velocidad estoy transmitiendo (bits/segundo)?**  
5 bits/segundo (hay un bit por cada “estado de señal”)
- **¿Y si tengo cuatro estados de señal (-5, -2, +2 y +5V)?**

10 bits/segundo (hay 2 bits por cada “estado de señal” y 5 “estados de señal” por segundo).

- **¿Cuántos “estados de s.” necesito para 15bps?**



- ¿Cuál es la velocidad máxima de transmisión con 6 estados de señal y 2 baudios? ¿Por qué?

- Velocidad en BAUDIOS de una señal: Número de cambios de nivel eléctrico de la señal por segundo
- Transmisión multinivel:
  - $M = n^o$  de niveles de la señal eléctrica
  - $N = \log_2(M)$  bits por nivel
  - $B =$ capacidad del canal en baudios
  - Velocidad de transmisión (bps) =  $V = B * N = B \log_2(M)$
- Ejemplo:

### Transmisión dabit:

$M = 4$  niveles eléctricos,

$N = 2$  bits por nivel

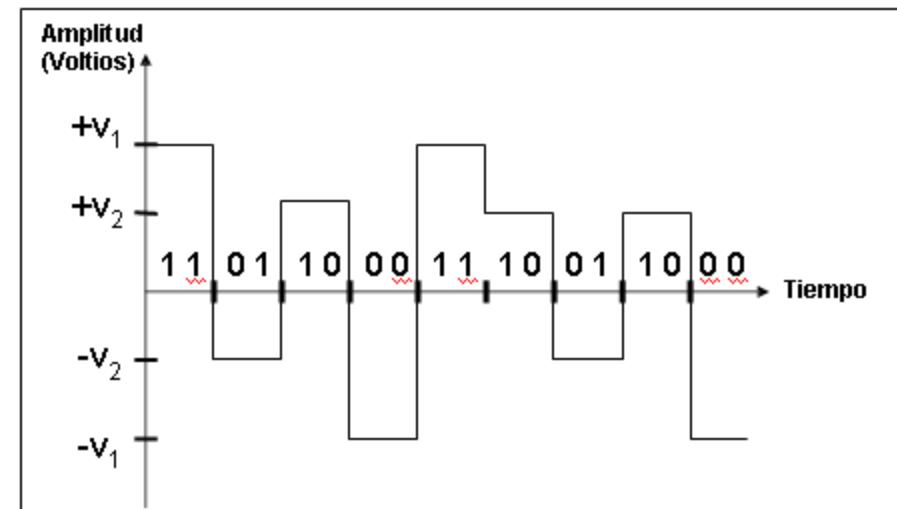
11 +V1

10 +V2

01 -V2

00 -V1

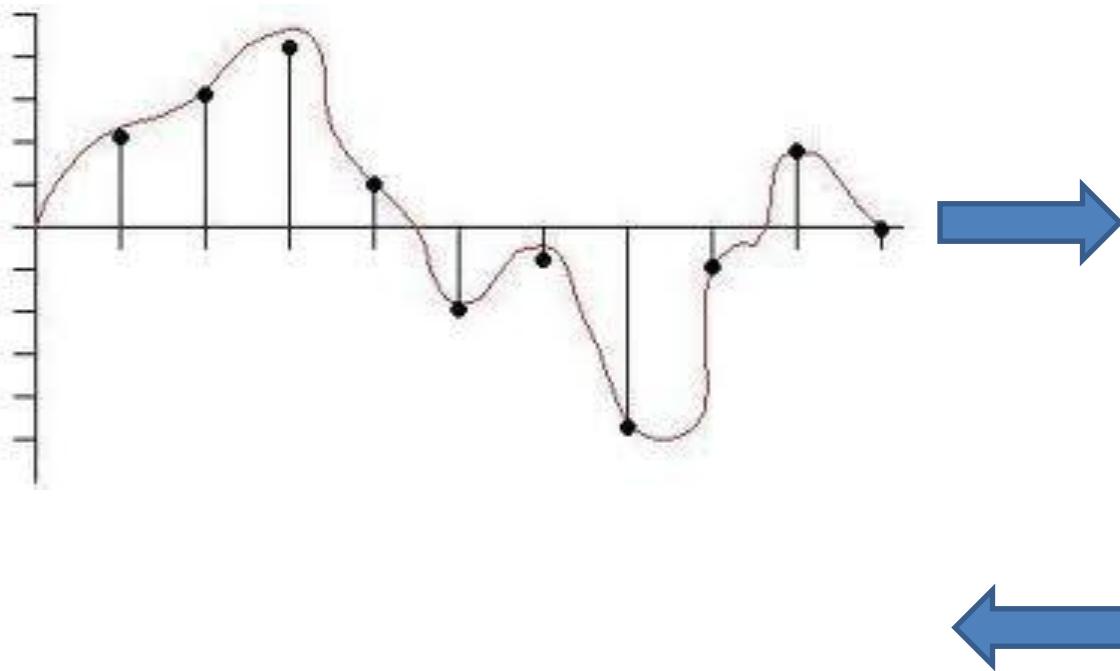
$$V(\text{bps}) = V(\text{baudios}) \times 2$$



Ejemplo: Supongamos un canal de 1200 baudios

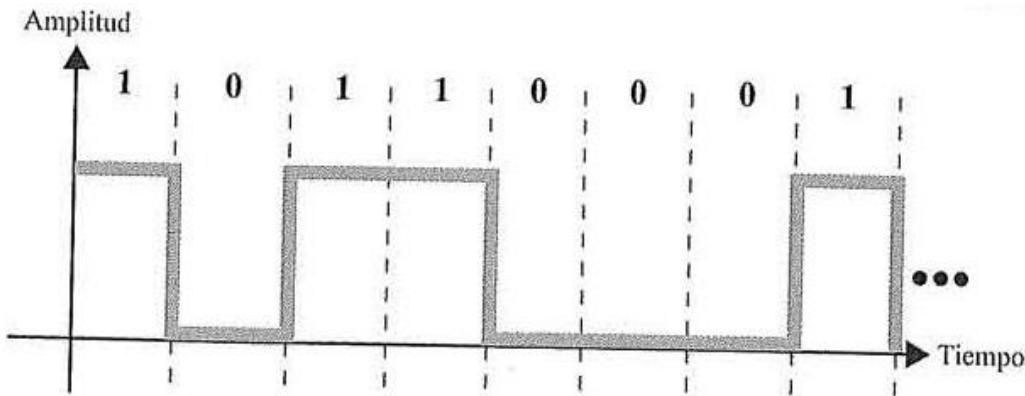
- ¿Cuál es la velocidad de transmisión (en bps) para  $V= 2, 4, 8, 16, 32, 64$  y  $128$  niveles distintos de la señal eléctrica?.

Número de niveles (V)	Nº de bits por nivel (N)	Capacidad en Baudios (B)	Velocidad de transmisión (Nx B)
2	1	1200 baud	1200 bps
4	2	1200 baud	2400 bps
8	3	1200 baud	3600 bps
16	4	1200 baud	4800 bps
32	5	1200 baud	6000 bps
64	6	1200 baud	7200 bps
128	7	1200 baud	8400 bps

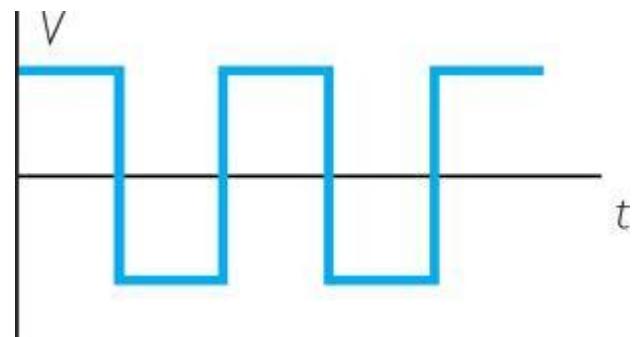


¿Cuánta información  
por segundo?

¿Cuánta información  
por segundo  
necesito para  
reconstruir la señal?



¿Cuál es la frecuencia más elevada presente en esta señal?



- En un canal exento de ruido, según la fórmula de Nyquist, la capacidad del canal viene dada por:

$$C = 2W \log_2 M \text{ (bps)}$$

Siendo:

- W = ancho de banda de la señal (Hz).
- M = Número de niveles de la señal (en digital), o número de estados de señal (en analógico  $M=A \cdot P \cdot F$ )
- C (bps).

- Según Shannon, la capacidad del canal teniendo en cuenta la relación señal-ruido viene dada por:

$$C = W \log_2 \left( 1 + s_w / N_w \right) \text{(bps)}$$

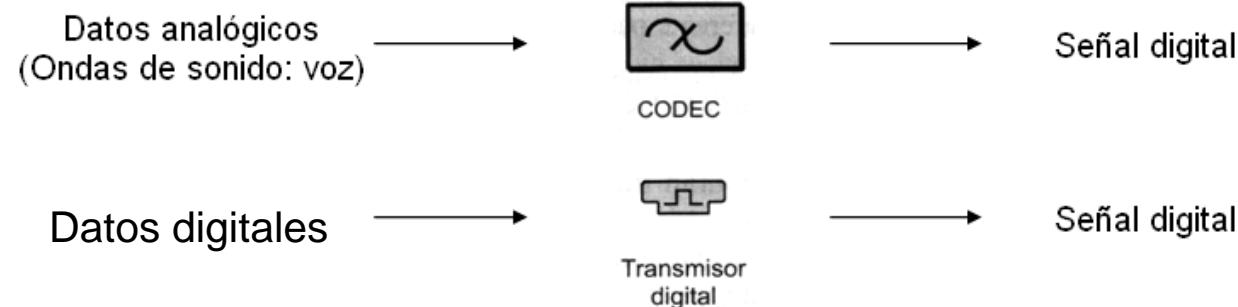
- Esta ley se conoce con el nombre de Shannon-Hartley.
- La relación señal-ruido, en dB, o SNR, se define como:

$$(s_w / N_w)_{dB} = 10 \log \left( \text{potencia de la señal / potencia del ruido} \right)$$

- En la fórmula de la capacidad las potencias de señal y ruido, s y N, vienen dadas en vatios. W, el ancho de banda, en hertzios.



Señales analógicas: representan datos mediante una onda electromagnética que varía continuamente.



Señales digitales: representan datos mediante una secuencia de pulsos y de tensión.

## Datos Analógicos => Señales analógicas

Ejemplo: el teléfono

- Transforma la voz (datos analógicos) en una señal eléctrica similar (señal analógica) que se transmite al receptor que hace la conversión contraria.

En el caso más general (ejemplo: radio o TV)

- Es necesario modular la señal que se quiere enviar mediante otra señal, denominada portadora:
  - Modulación en amplitud (AM)
  - Modulación en frecuencia (FM)
- Necesidad de esta transformación
  - Si no se modulan las señales a transmitir mediante una portadora de un frecuencia mayor, se necesitarían antenas receptoras **enormes**.
  - Las técnicas de modulación permiten la **multiplexación** por división de la frecuencia: se pueden enviar varias señales simultáneamente con una frecuencia portadora distinta, de manera que estas señales no se mezclan y pueden sintonizarse en el receptor de forma individual una de otra.

• Transmisión en banda base: cuando no se modula.

• Transmisión en banda portadora: Señal modulada en una portadora de una única frecuencia.

• Transmisión en banda ancha: Portadoras de distintas frecuencias.

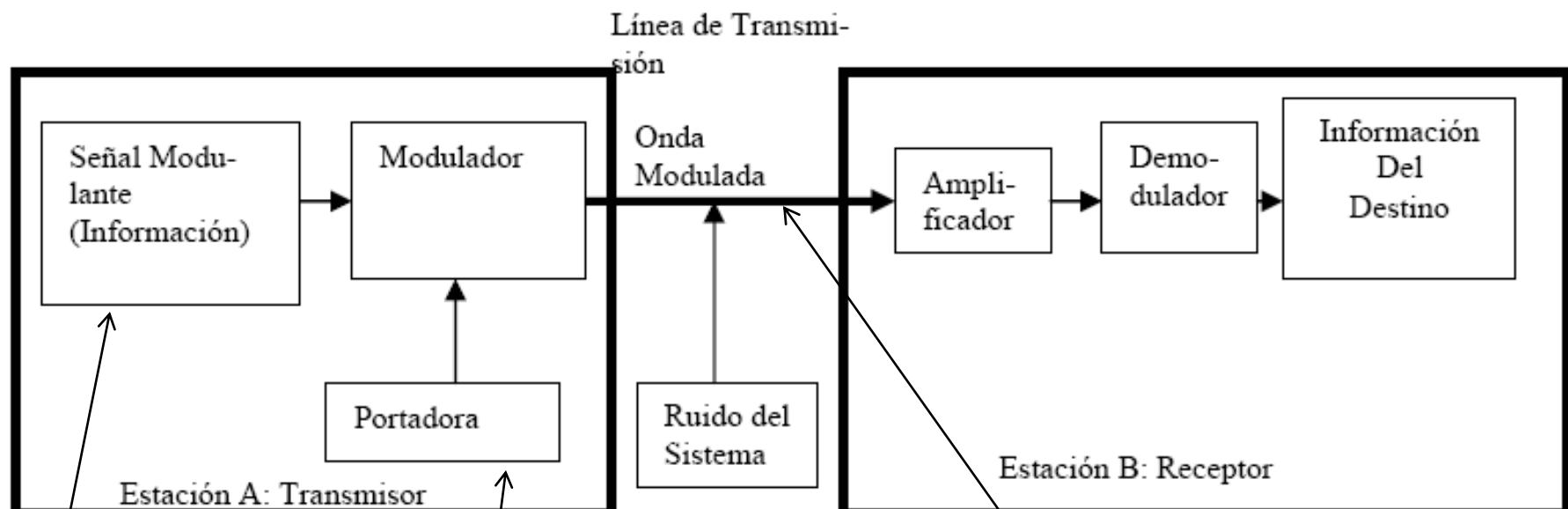
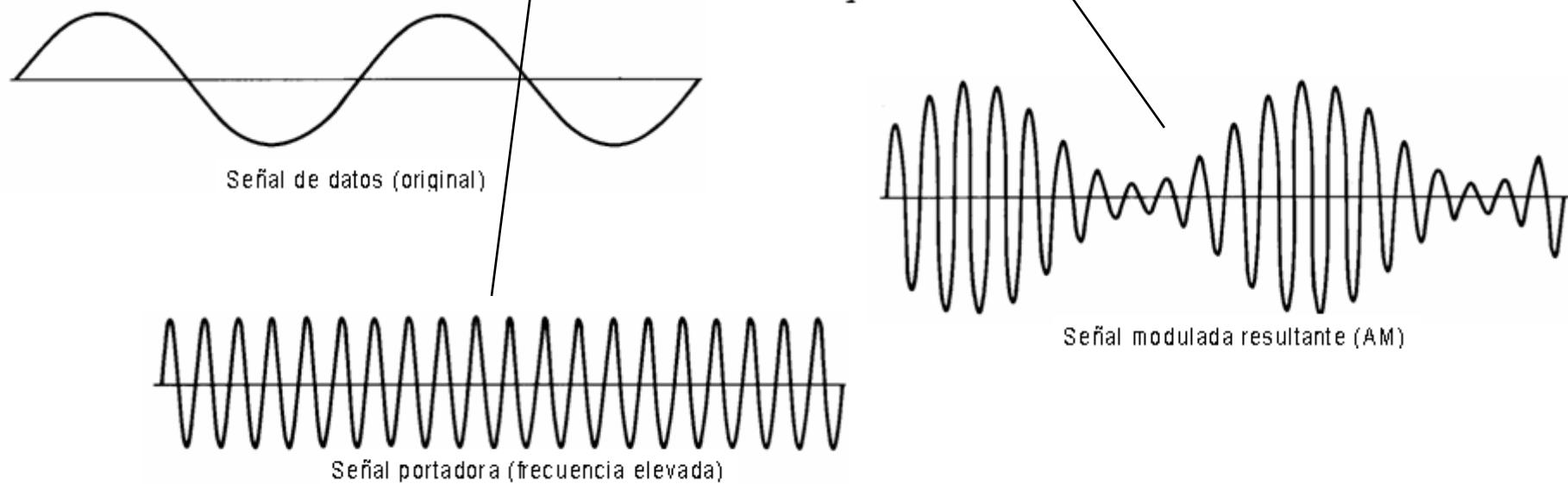


Figura 1-2 Diagrama a bloques del sistema de comunicaciones.



## Datos analógicos => Señales digitales

- Digitalización o **discretización** de datos analógicos
- Para almacenar/procesar/transmitir datos analógicos en un computador
  - Es necesario realizar una digitalización o discretización de estos valores
  - Convertir el dato analógico en una representación digital (binaria)
  - Esta conversión se realiza mediante un **conversor analógico/digital**
- Ejemplo
  - Queremos transformar una señal de tensión procedente de una fuente de voltaje (entre 0,0 y 5,0 Volt.) a una señal digital
  - Podemos utilizar una codificación de 8 bits, discretizando la señal analógica mediante 256 niveles distintos, de manera que:

Valor discreto = 0 (00000000)	Valor analógico = $(0/255) * 5 = 0.00 \text{ V.}$
Valor discreto = 1 (00000001)	Valor analógico = $(1/255) * 5 \approx 0.02 \text{ V}$
Valor discreto = 2 (00000010)	Valor analógico = $(2/255) * 5 \approx 0.04 \text{ V.}$
Valor discreto = 3 (00000011)	Valor analógico = $(3/255) * 5 \approx 0.06 \text{ V.}$
...	
Valor discreto = 255 (11111111)	Valor analógico = $(255/255) * 5 = 5.00 \text{ V.}$

En el caso de un flujo de datos (por ejemplo voz) es necesario

- Tomar muestras de la señal con una determinada frecuencia (**frecuencia de muestreo**).
- **Discretizar** cada una de las muestras para transformar el valor analógico en un valor digital.

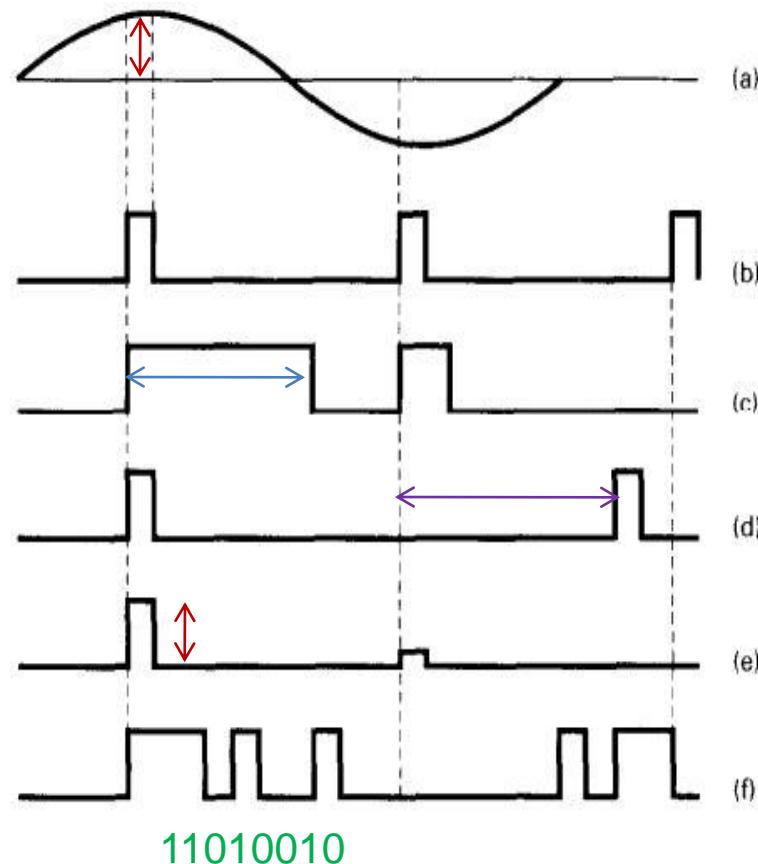
Elección de la frecuencia de muestreo:

- Según el **teorema de Nyquist**, dada una señal analógica cuya componente en frecuencia significativa más alta es  $f$ , la frecuencia de muestreo debe ser mayor o igual que  $2f$  (periodo de muestreo  $T=1/2f$ )
- *Ejemplo:*
  - *Para una señal de voz de 3000 Hz, la frecuencia de muestreo debe ser de 6000 muestras por segundo*
  - *Si cada muestra se digitaliza con 7 bits (128 niveles), el flujo de bits resultante será de 42 kbps*

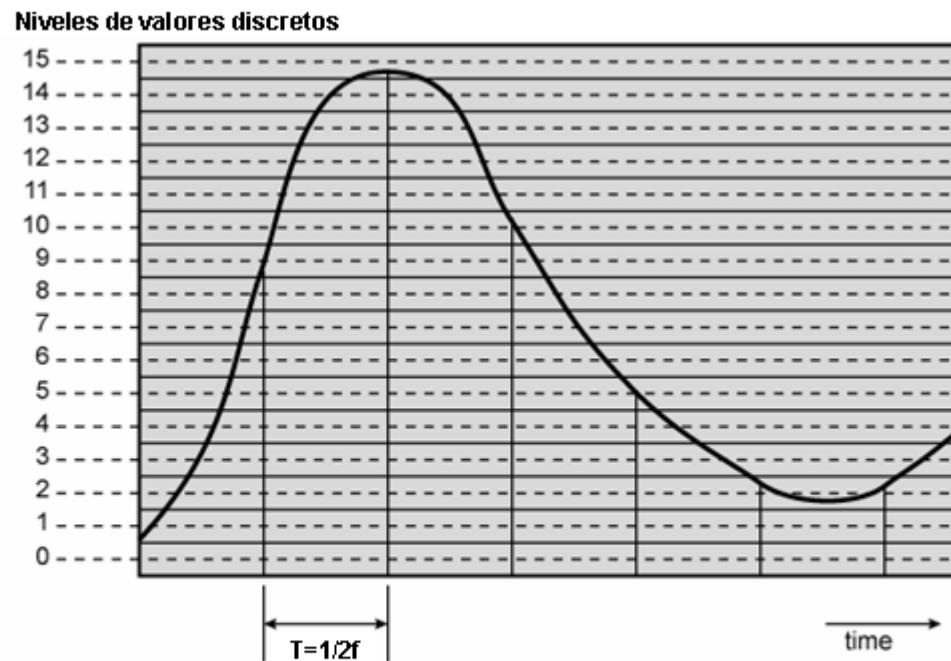
Técnicas de digitalización: PCM, PPM, PWM, PAM

- Modulación por pulsos codificados (PCM, Pulse Coded Modulation)
  - $F_m=8\text{KHz}$
  - 8 bits por muestra
  - $V=64 \text{ Kps}$  (velocidad básica de un canal de voz)

- Señal analógica
- 'tics' de muestreo
- PWM (Modulación por anchura de pulsos)
- PPM (Modulación por posición de pulsos)
- PAM (Modulación por amplitud de pulsos)
- PCM (Modulación por codificación de pulsos)



## Ejemplo PCM



<b>Valor analógico</b>	1.1	9.2	15.2	10.8	5.6	2.8	2.7
<b>Valor discreto</b>	1	9	15	10	5	2	2
<b>Código PCM</b>	0001	1001	1111	1010	0101	0010	0010

## Companding

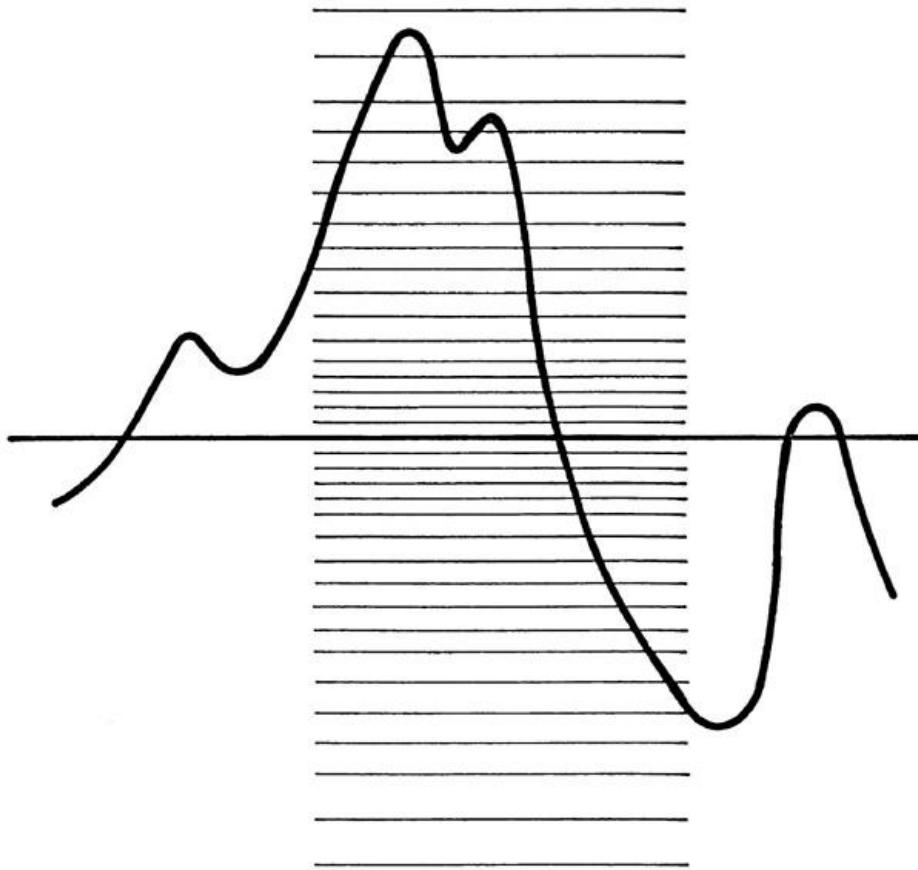
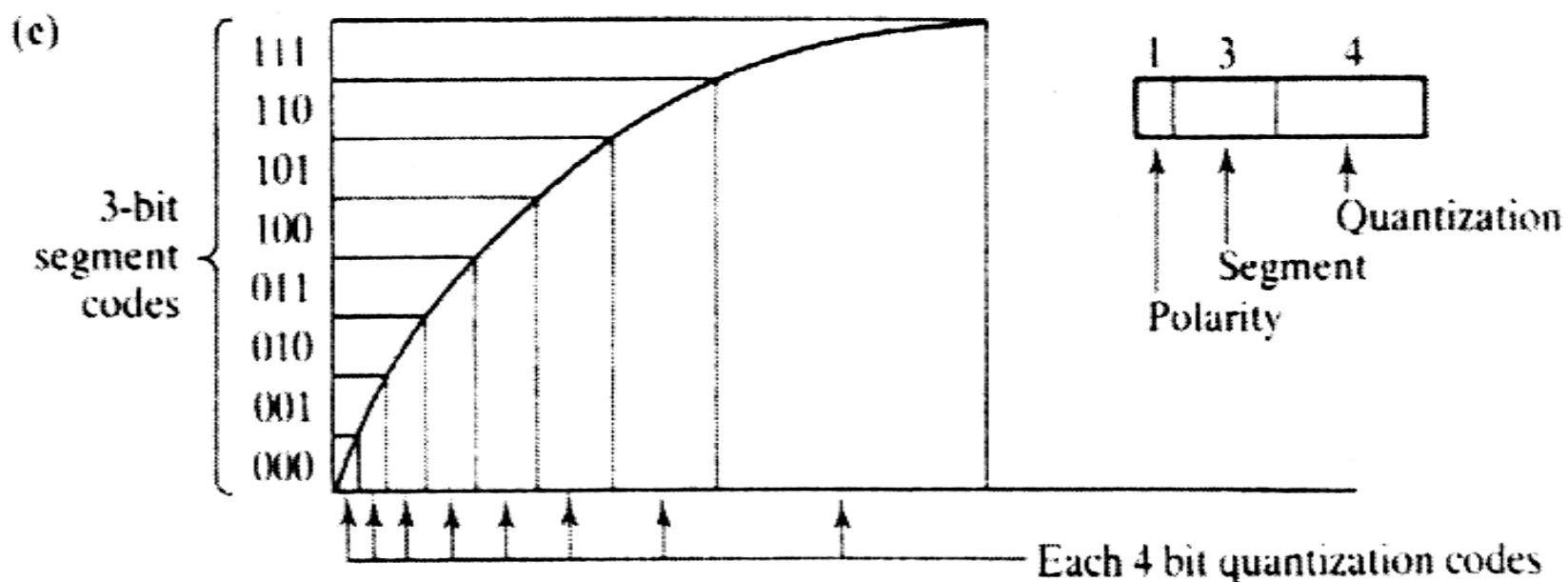


Figure 13. With companding, the distance between quantizing levels is less at low amplitudes than at high amplitudes.

El **companding** es una técnica para mejorar la calidad de la transmisión de voz con los recursos disponibles. Se trata de utilizar una resolución mejor en los niveles bajos de tensión en detrimento de la de los niveles altos.



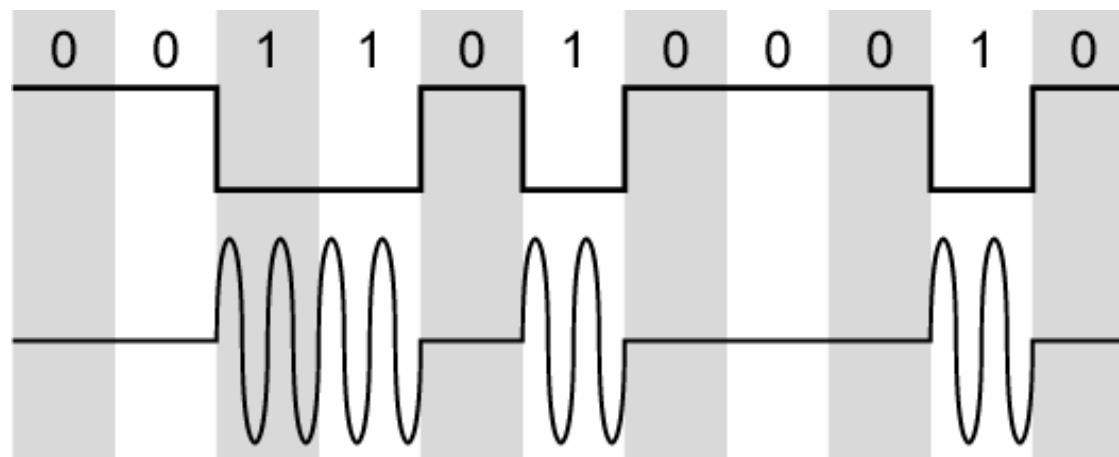
Datos digitales => Señales analógicas

- **MODULACIÓN:** Conversión de información (ej. datos digitales) a una señal analógica
- **DEMODULACIÓN:** Conversión inversa
- Dispositivos que realizan estas transformaciones se denominan **MODEMS** (modulador/demodulador)
- Principales técnicas de modulación:
  - Modulación en amplitud (AM o ASK)
  - Modulación en frecuencia (FM o FSK)
  - Modulación de fase (PM o PSK)
  - Modulación de amplitud en cuadratura (**QAM**) = PSK + ASK

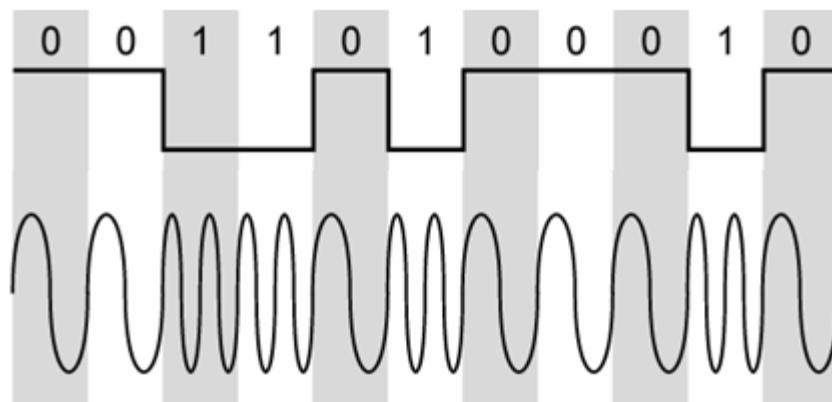
## Utilidad de las técnicas de modulación:

- **Transmisión a través de medios de ancho de banda limitado**
  - Las señales digitales poseen en general un gran número de componentes de frecuencia.
  - En un medio de transmisión con ancho de banda limitado muchas componentes de frecuencia de la señal digital serán absorbidas y la señal llegará de forma ininteligible al destino.
  - Los datos digitales se pueden modular mediante señales analógicas con una frecuencia comprendida dentro del rango de frecuencias del canal.
- **Multiplexación o multiplexión por división de la frecuencia en medios de transmisión de gran ancho de banda.**
  - En lugar de utilizar este ancho de banda para transmitir una señal digital pura a gran velocidad, se puede dividir en varios canales para transmitir varias señales digitales de forma simultánea a una velocidad menor.
  - Para ello es necesario modular las señales digitales mediante señales analógicas de distinta frecuencia

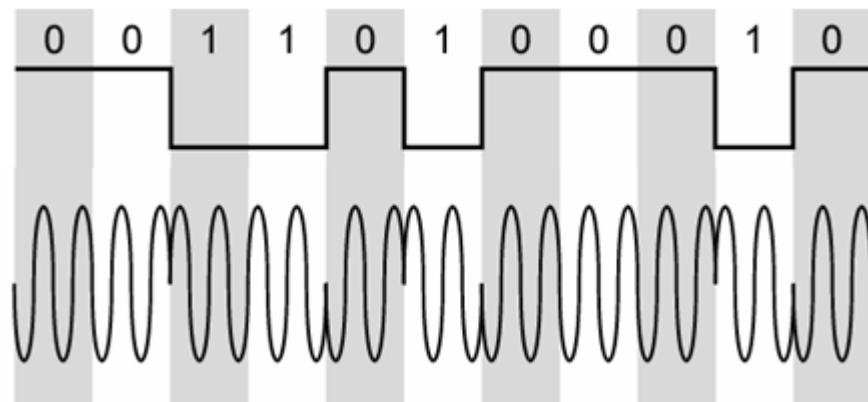
- Modulación en amplitud (AM o ASK). AM = *Amplitude modulation*; ASK = *Amplitude Shift Keying*
- Señal analógica portadora: La señal portadora tiene frecuencia y una fase constante, pero dos niveles de amplitud distintos para representar el 1 y el 0 lógicos



- Modulación en Frecuencia (FM o FSK)
- FM = *Frequency modulation*; FSK = *Frequency Shift Keying*
- La señal analógica portadora tiene una amplitud y una fase constantes, y con dos frecuencias distintas para representar el 1 y el 0 lógico:

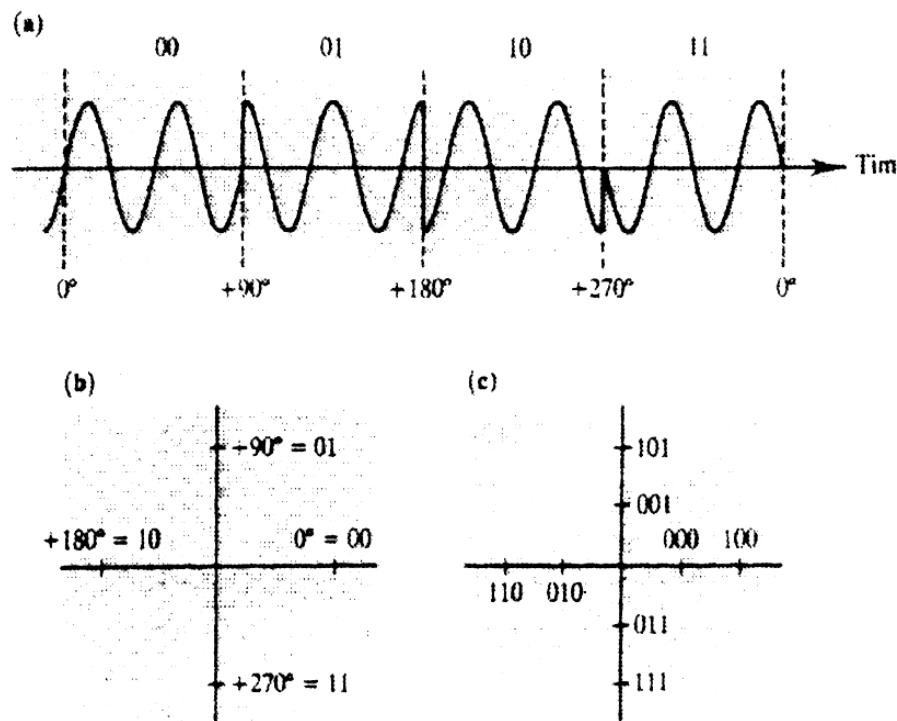


- Modulación en Fase (PM o PSK)
- PM = *Phase modulation*; PSK = *Phase Shift Keying*
- La señal portadora utiliza una amplitud y una frecuencia constantes, pero dos fases distintas para representar el 1 y el 0 lógicos. Por ej., una fase de  $0^\circ$  para el 1 y una fase de  $180^\circ$ = $\pi$  radianes para el 0.



## Modulación de amplitud en cuadratura (QAM, Quadrature Amplitude modulation)

- Se utiliza en algunas normas inalámbricas y en el bucle de abonado en líneas digitales asimétricas ADSL.
- Es una combinación entre **AM** y PSK de 90º entre estados de señal.



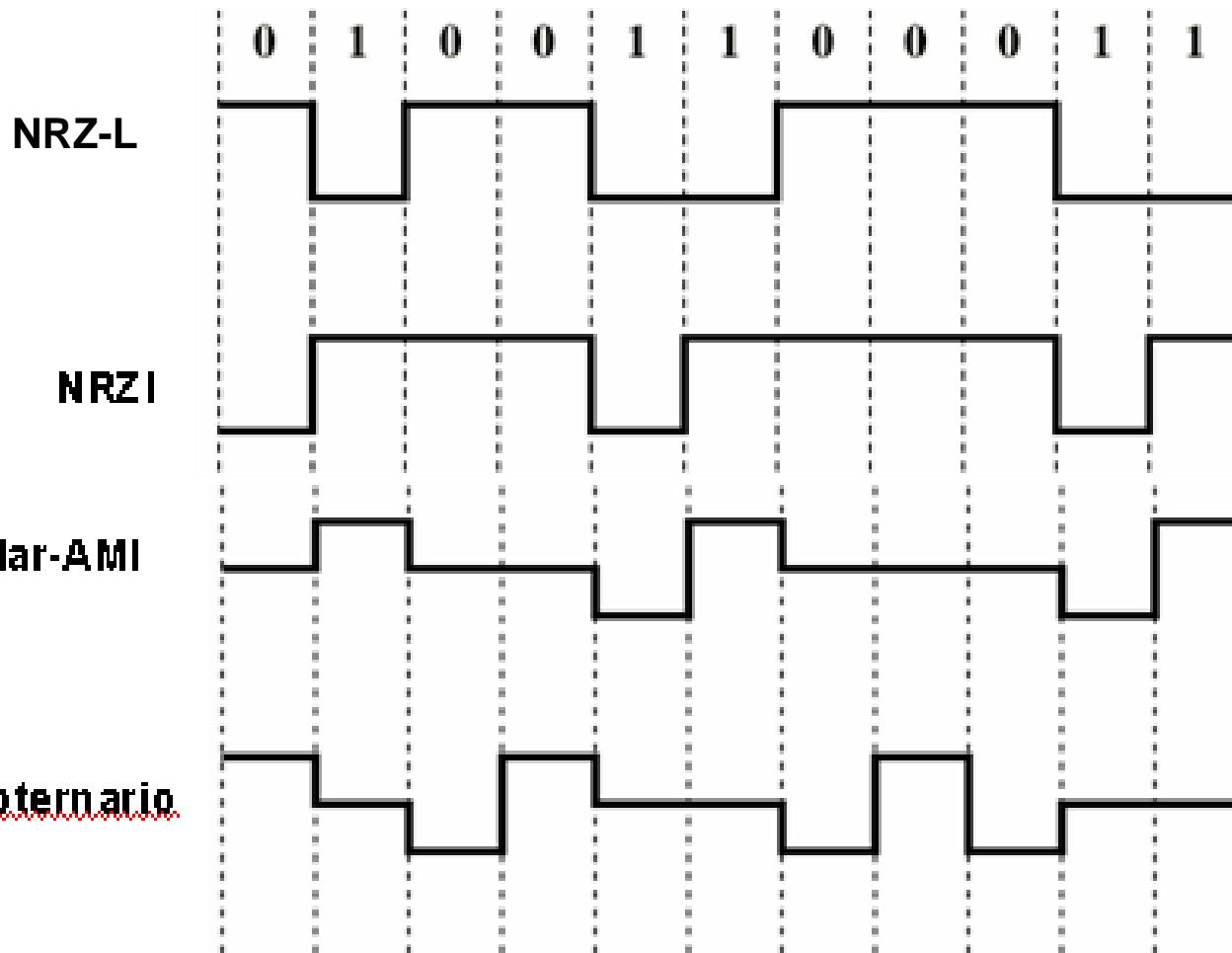
## Datos digitales => Señales Digitales

- Técnicas de codificación básicas

Es necesario convertir los valores binarios (0 y 1) a señales eléctricas adecuadas para el medio de transmisión. Algunas de las técnicas más elementales son:

- **No retorno a cero (NRZ)** Sencillo de implementar. Tiene componente de continua. Difícil sincronización.
  - » 0 = nivel alto (en NRZ-L) / nivel bajo (en NRZ)
  - » 1 = nivel bajo (en NRZ-L) / nivel alto (en NRZ)
- **No retorno a cero invertido (NRZI)** Robusto ante cambios de polaridad.
  - » 0 = no hay transición al comienzo del intervalo (un bit cada vez)
  - » 1 = transición al comienzo del intervalo
- **Bipolar-AMI** Elimina la componente de continua. Más robusto ante errores. Ancho de banda más estrecho.
  - » 0 = no hay señal
  - » 1 = nivel positivo o negativo, alternante
- **Pseudoternaria**
  - » 0 = nivel positivo a negativo alternante
  - » 1 = no hay señal

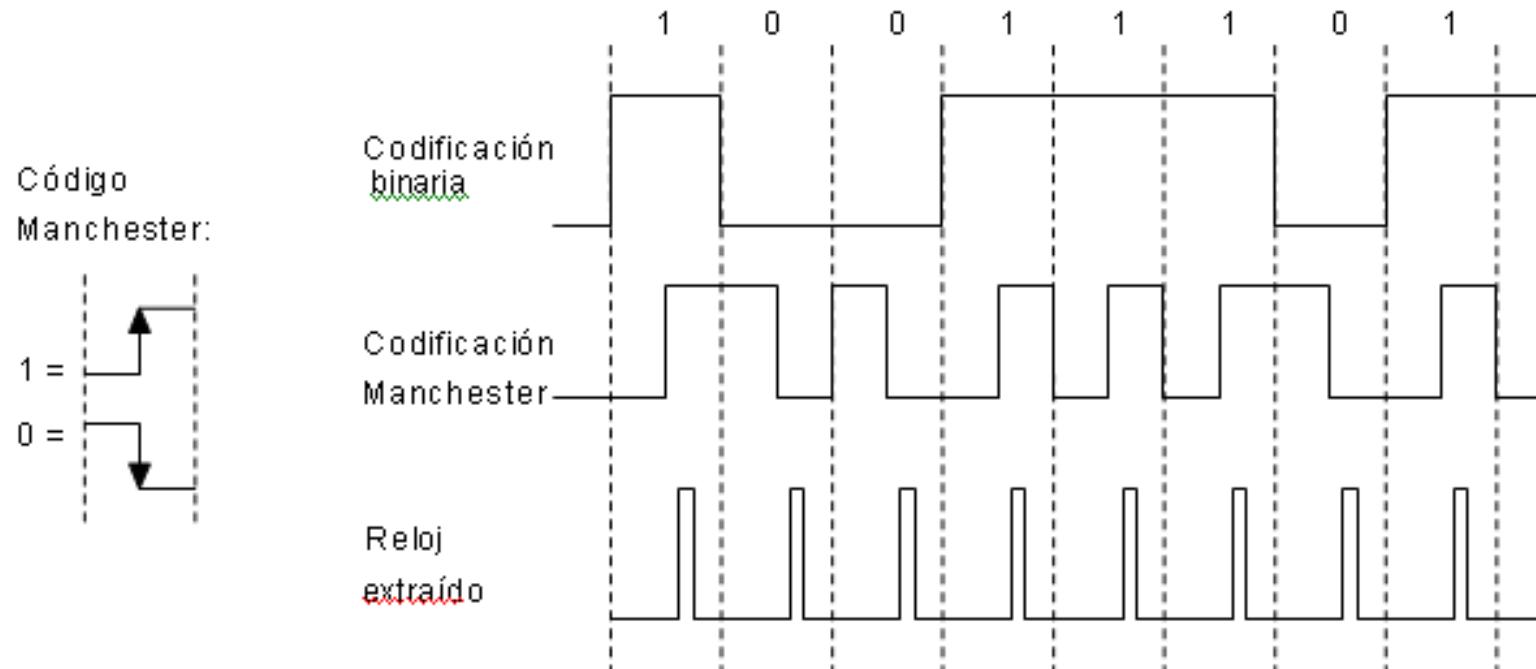
NRZ es justo el inverso de NRZ-L



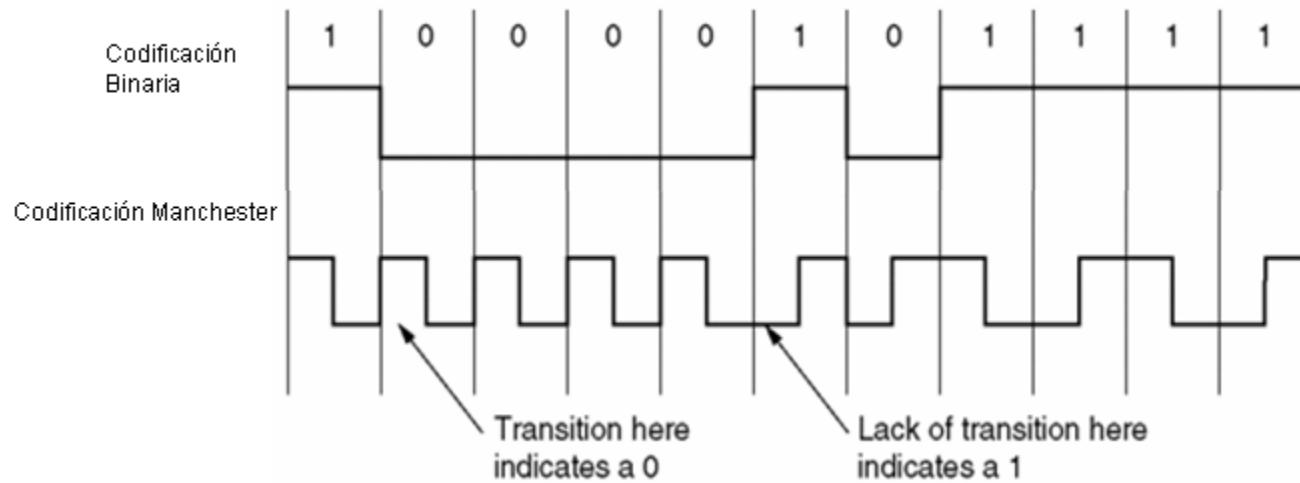
Técnicas que codifican la señal de reloj junto con los datos:

- **Manchester** Asegura la sincronización. Mejor control de errores. Ancho de banda amplio.
  - 0 = transición de alto a bajo a mitad del intervalo
  - 1 = transición de bajo a alto a mitad del intervalo
- **Manchester diferencial** Robusto ante cambios de polaridad
  - Siempre transición a mitad del intervalo
  - 0 = transición al principio del intervalo
  - 1 = ausencia de transición al principio del intervalo
- **Codificación por grupos de código**
  - 4B/5B (4bits en grupos de 5 estados de señal), 5B/6B, 8B/6T, etc.
  - Los grupos de estados de señal (e.s.) se buscan de modo que: se diferencien en al menos dos e.s., tengan baja componente de continua, perfil de frecuencias adecuado...

- Codificación Manchester



- Codificación Manchester Diferencial
  - 0 = Presencia de transición al inicio del intervalo
  - 1 = Ausencia de transición al inicio del intervalo
  - Señal de reloj = Transición en la mitad del intervalo de cada bit



# AAD: Transmite tu código

1. En un pedazo de papel (mínimo A5) escribe en la parte superior (dejando un espacio en blanco lo más amplio posible):
  - a)**Tu nombre.**
  - b)Una secuencia de 10 bits cualquiera: por ejemplo “0110001011”.
  - c)Un sistema de codificación cualquiera de los explicados.
2. Se lo entregas al profesor. 1min

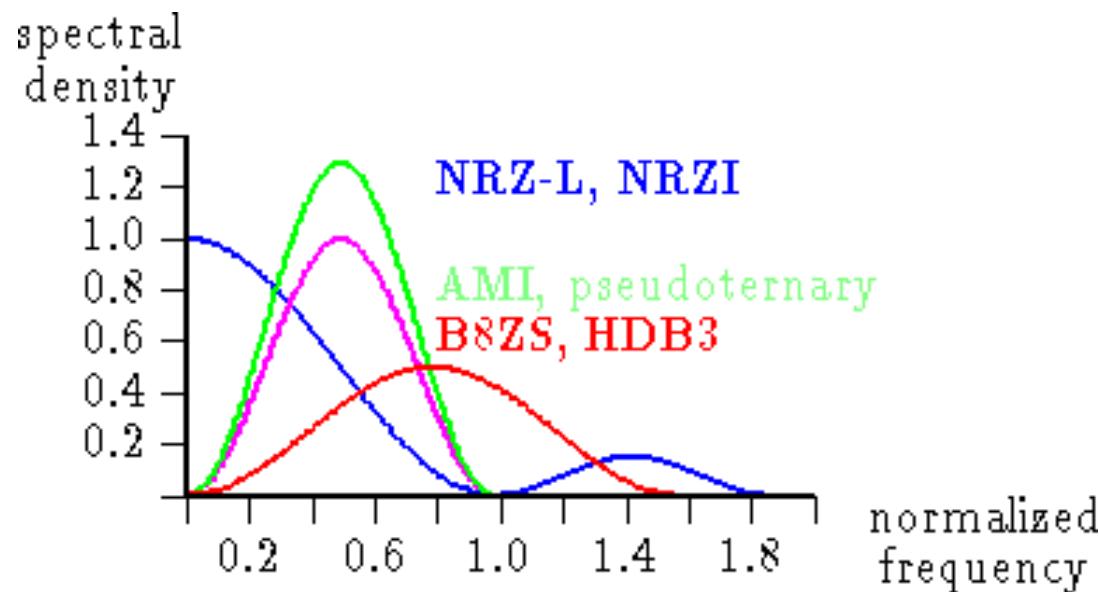
---

3. El profesor te entregará la hoja de un compañero. Y en ella deberás:
  - a)Trazar 3 líneas horizontales y 11 verticales.
  - b)Sobre dichas líneas codificar la secuencia especificada.
  - c)**Escribir tu nombre**
  - d)Entregar la hoja al profesor. 6min

---

4. El profesor te devolverá la hoja del paso 1 codificada por un compañero, sobre la misma deberás corregir cualquier fallo y entregarla de nuevo al profesor. 3min

Representación del espectro de una misma información transmitida bajo los diferentes sistemas de codificación. El rojo correspondería a los sistemas “bifase” (Manchester y Manchester diferencial).



8 Bit	12 Bit	6T
00000000	001101010011	-+00-+
00000001	010011001101	0-++-+0
00000010	010011010011	0--0+-
00000011	010011110100	0-++0-
00000100	001101110100	-+0+0-
00000101	110100001101	+0---+0
00000110	110100010011	+0-0-+
00000111	110100110100	+0--0-
00001000	001101101100	-++0+-
00001001	010011110010	0-++-0
00001010	010011101100	0-+0+-
00001011	010011001011	0-++-0+
00001100	001101001011	-+0-0+
00001101	110100110010	+0-++0
00001110	110100101100	+0-0+-
00001111	110100001011	+0---+0
00010000	010000111011	0---+0+
00010001	000100101111	-0-0++
00010010	000100111011	-0-+0+
00010011	000100111110	-0-++0
00010100	010000111110	0-++0+
00010101	000001101111	--00++
00010110	000001111011	--0+0+
00010111	000001111110	--0++0
00011000	001101001101	-+0-+0
00011001	110010001101	+0-0+0
00011010	001111001101	-++-+0
00011011	111010001101	+00-+0
00011100	111010110010	+00+-0
00011101	001111110010	-+++-0
00011110	110010110010	+0-0+0
00011111	001101110010	-+0+-0
00100000	001111000101	-++-00
00100001	111010110000	+00---
00100010	001101001111	-+0-++
00100011	110010001111	+0-0++
00100100	110010111010	+0-000

8 Bit	12 Bit	6T
00110010	101100010011	0+-0-+
00110011	101100110100	0+-+0-
00110100	110010110100	+-0+0-
00110101	001011001101	-0+-+0
00110110	001011010011	-0+0+-
00110111	001011110100	-0++0-
00111000	110010101100	+-00+-
00111001	101100111010	0+-+--0
00111010	101100101100	0+-0+-
00111011	101100001011	0+-0-+0
00111100	001011110100	-0++0-
00111101	001011101011	-0++-0
00111110	001011110011	-00++0
01000000	000101111011	-000++
01000001	010001101111	0-00++
01000010	010001111011	0-0++0
01000011	001011100111	-00-0+
01000100	010001111110	0-0++0
01000101	001011110011	-00-0+
01000110	010001111100	00-0++0
01000111	001011110011	-00-0++
01001000	000101111100	-00-00+
01001001	010001111110	00-00++
01001010	010001111100	00-0++0
01001011	001011110011	-00-0++
01001100	010001111100	00-00++
01001101	001011110011	-00-00+
01001110	010001111100	00-000+
01001111	001011110011	-00-00++
01010000	001100111101	-00-000
01010001	001100111110	-00-00+
01010010	001100111101	-00-0+
01010011	001100111110	-00-0++0
01010100	110000111110	+-0-++0
01010101	000001110111	-00-0++0
01010110	000001111110	-00-00++
01010111	000001111101	-00-000+
01011000	000001111110	-00-0000
01011001	000001111101	-00-000+
01011010	000001111110	-00-0000
01011011	000001111101	-00-000+
01011100	000001111110	-00-0000
01011101	000001111101	-00-000+
01011110	000001111110	-00-0000
01011111	000001111101	-00-000+
01100000	000001111110	-00-0000
01100001	000001111101	-00-000+
01100010	000001111110	-00-0000
01100011	000001111101	-00-000+
01100100	000001111110	-00-0000
01100101	000001111101	-00-000+
01100110	000001111110	-00-0000
01100111	000001111101	-00-000+
01101000	000001111110	-00-0000
01101001	000001111101	-00-000+
01101010	000001111110	-00-0000
01101011	000001111101	-00-000+
01101100	000001111110	-00-0000
01101101	000001111101	-00-000+
01101110	000001111110	-00-0000
01101111	000001111101	-00-000+
01110000	000001111110	-00-0000
01110001	000001111101	-00-000+
01110010	000001111110	-00-0000
01110011	000001111101	-00-000+
01110100	000001111110	-00-0000
01110101	000001111101	-00-000+
01110110	000001111110	-00-0000
01110111	000001111101	-00-000+
01111000	000001111110	-00-0000
01111001	000001111101	-00-000+
01111010	000001111110	-00-0000
01111011	000001111101	-00-000+
01111100	000001111110	-00-0000
01111101	000001111101	-00-000+
01111110	000001111110	-00-0000
01111111	000001111101	-00-000+

$$3^6 = 726$$

$$2^8 = 256$$

Se escogen las combinaciones que:

-difieren en más de dos estados de señal  
(robustez ante errores).

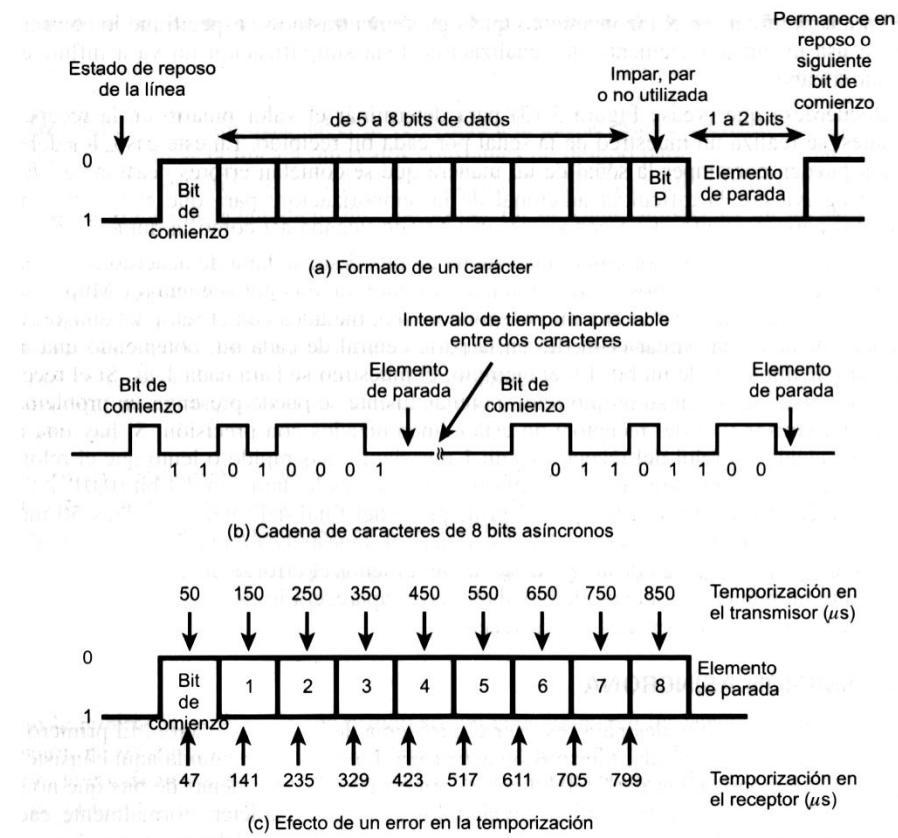
-Mejoran los aspectos de: continua, espectro, sincronización...

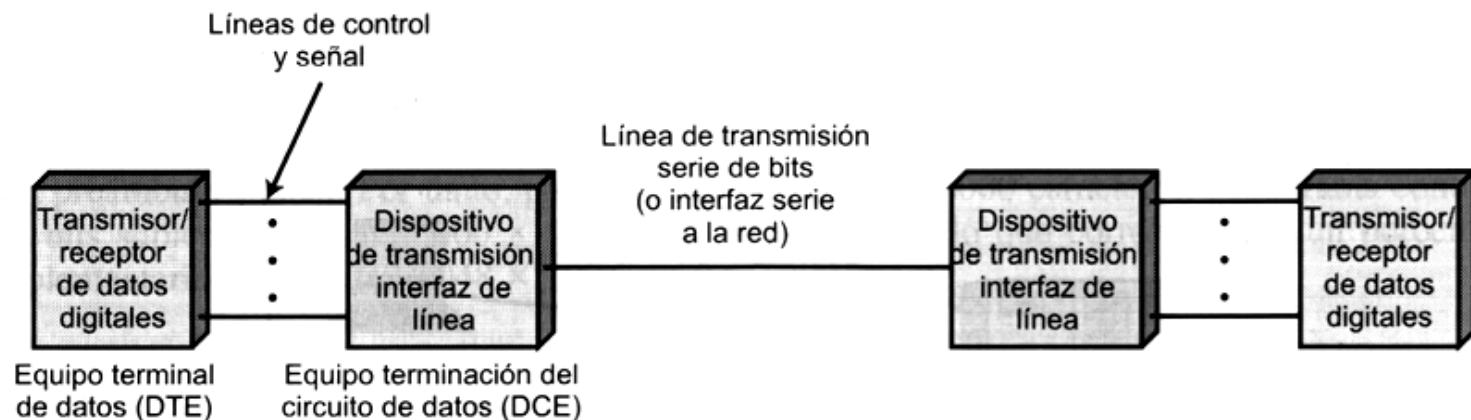
## Transmisión serie asíncrona

- El emisor y el receptor utilizan señales de reloj distintas
- El receptor y el emisor resincronizan sus relojes al inicio de cada carácter
- Con cada carácter se incluyen un bit de start y uno (o varios) bits de stop
- Es útil únicamente a bajas velocidades de transmisión (Kbps)

## Transmisión serie síncrona

- El emisor y el receptor utilizan la misma señal de reloj
- Puede utilizarse una línea independiente para transmitir la señal de reloj en paralelo con los datos o puede codificarse la señal de reloj junto con los datos (codificación Manchester, Manchester diferencial, etc.).
- Es necesaria para transmisión serie a velocidades medias y altas, del orden de Mbps o Gbps

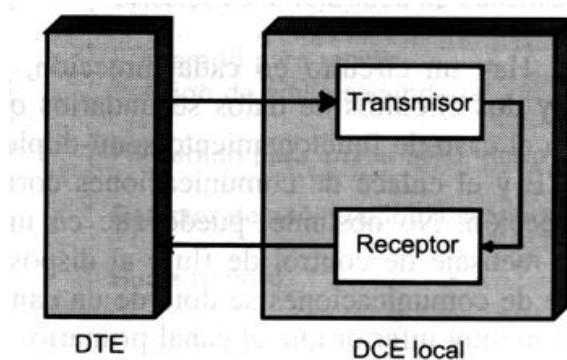




(a) Interfaz genérica al medio de transmisión

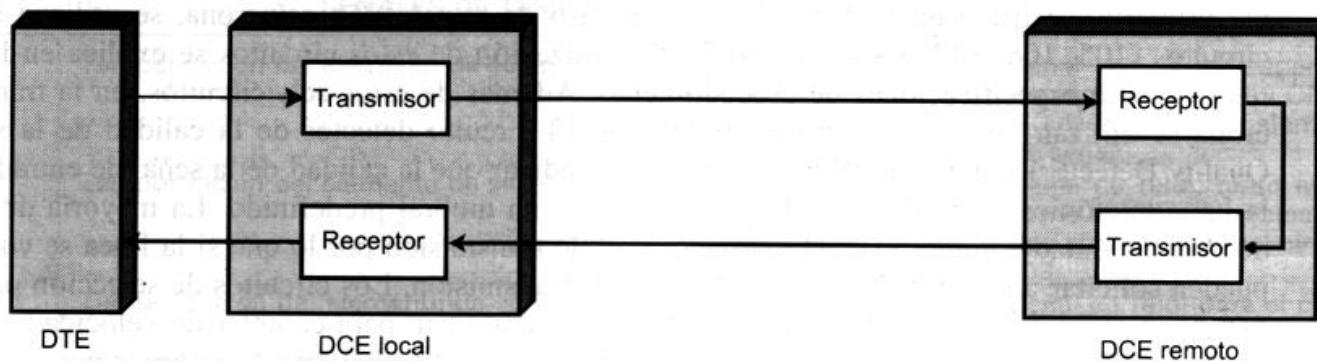


(b) Configuración típica

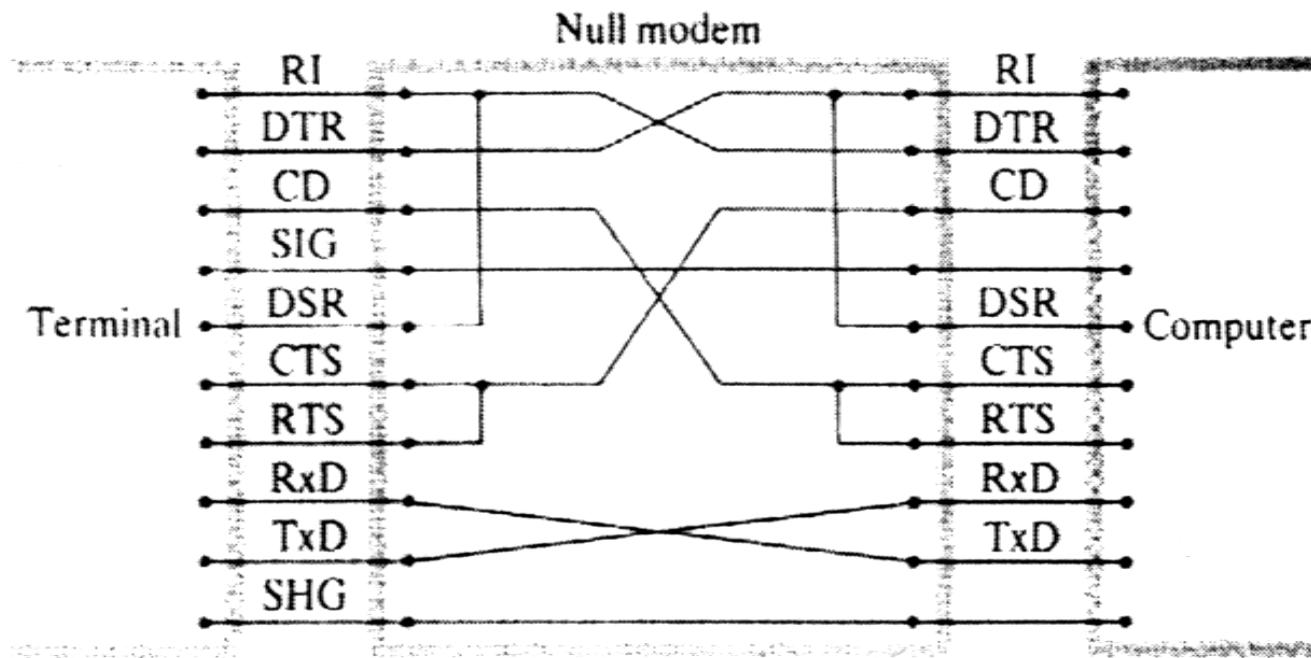


(a) Test del bucle local

En el **bucle local**, el modem conecta internamente transmisión con recepción. En el **remoto** envía una orden al modem remoto para que lo haga él.



(b) Test del bucle remoto



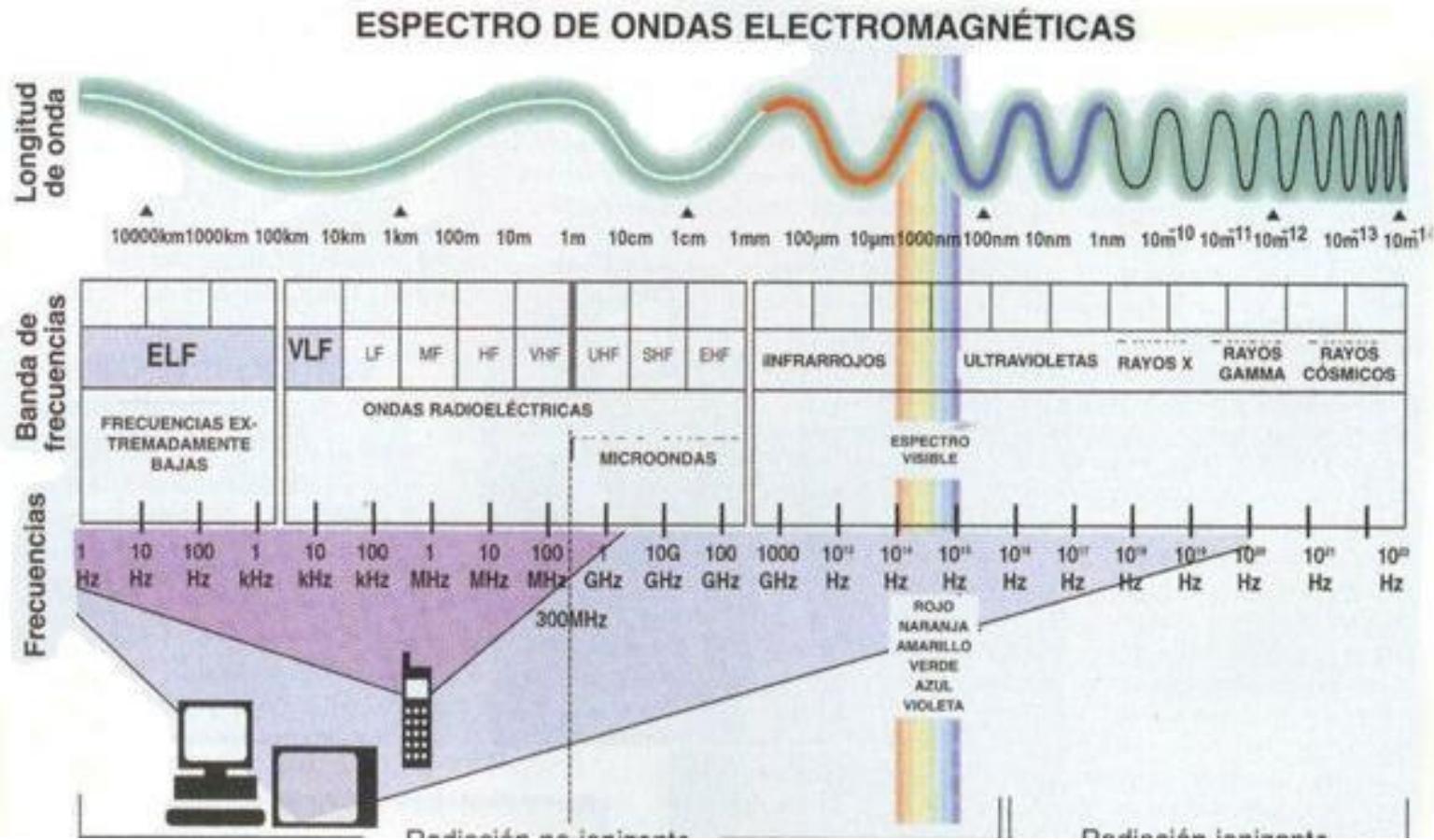
- **Cable “null-modem”:** Cable DB9-DB9 que internamente presenta esta conexión. Sirve para conectar dos DTEs entre sí por el puerto serie sin utilizar la pareja de modems.
- **Cable “roll-over”.** Cable RJ-45-DB9([transpuesto](#)) diseñado para conectar un PC a un puerto denominado “de consola” de un equipo (router, switch) para su configuración.



- Tecnología digital más barata
- Integridad de los datos
- Multiplexación
- Seguridad
- Integración voz/video/datos

## Clasificación de medios de transmisión

- Medios de transmisión guiados o por cable (*wired*)
  - Par trenzado (señales eléctricas por cable de cobre)
    - UTP: par trenzado no apantallado (*unshielded twisted pair*)
    - STP: par trenzado apantallado (*shielded twisted pair*)
  - Cable coaxial (señales eléctricas por cable de cobre)
  - Fibra óptica (señales luminosas)
- Medios de transmisión no guiados o inalámbricos (*wireless*)
  - Radio-frecuencia (RF)
  - Microondas
    - Terrestres
    - Por satélite
  - Infrarrojos (IR)

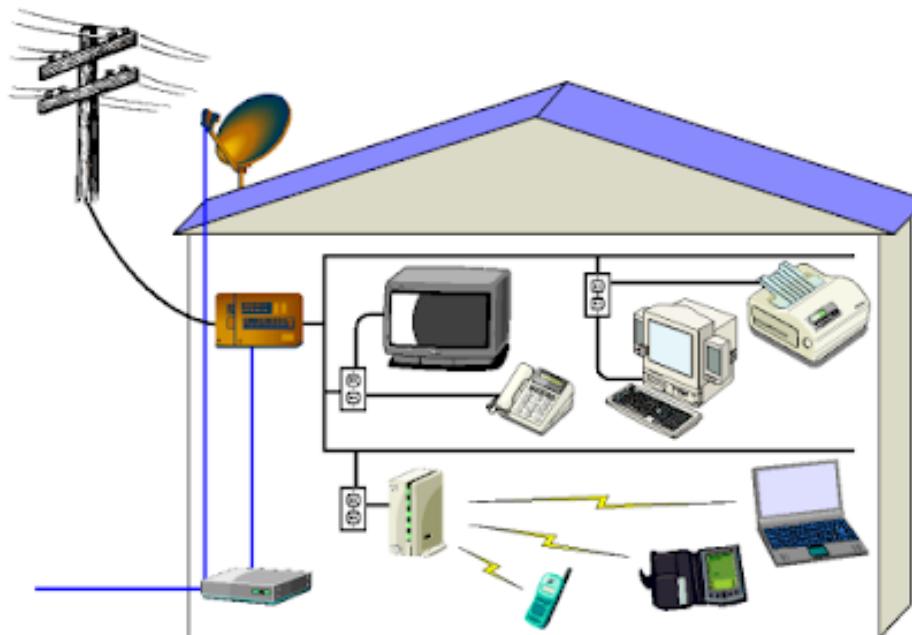


A mayor frecuencia...

Energía, Atenuación, Absorción, Reflexiones, Direccionalidad  
Alcance, Tamaño de antenas.

## PLC (0)

- **Power Line Communications:** Uso del cable de la luz ya instalado
- Ventaja: Coste 0: Cualquier punto de luz se convierte en un acceso al bus de comunicación
- Desventaja: Alta atenuación, presencia de ruidos y bajo W
- Utilidad: Domótica, enlaces LAN

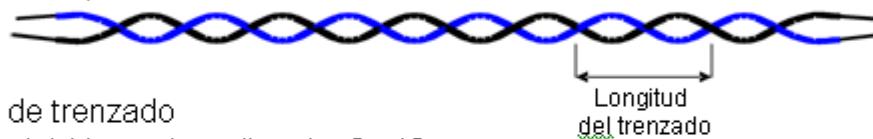


## Par trenzado (1)

- Los conectores más comunes son de tipo RJ-45
- Ventaja: Medio de transmisión muy **económico**
- Desventaja: **Distancias** limitadas. Ejemplo: velocidades entre 10 y 1 Gbps distancia  $\leq 100$  m

Forma del cable

Dos hilos de cobre aislados y entrelazados (trenzados) en forma helicoidal  
El trenzado reduce notablemente los fenómenos de diafonía (interferencias entre pares cercanos)



Longitud típica de trenzado

La longitud del trenzado oscila entre 5 y 15 cm.

Cuanto menor es la longitud de trenzado mayor es la calidad del cable



Agrupamiento

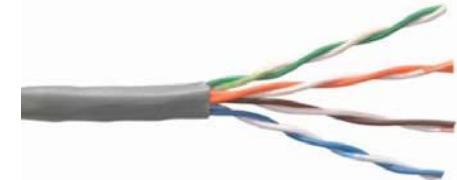
Los cables típicos de par trenzado están formados por mangueras de cuatro pares



## Par trenzado (2). Tipos de par trenzado:

- **Par trenzado no apantallado (UTP o U/UTP)**

- Cables cubiertos únicamente por aislante de PVC
- Más económico y fácil de manipular
- Válido para aplicaciones típicas de telefonía y redes de área local
- Usado en la mayoría de instalaciones de cableado estructurado de edificios



- **Par trenzado semi-apantallado (FTP, ScTP ó F/UTP)**

- Cables cubiertos globalmente por papel de plata
- Apantalla ruidos externos pero no diafonías.
- Puede dar problemas si la instalación es deficiente (conexión a tierra débil)

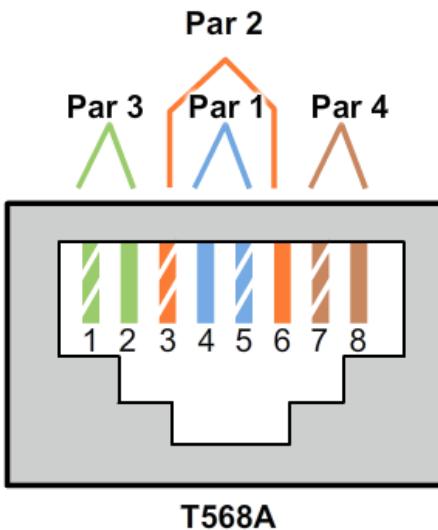


- **Par trenzado apantallado (STP, S-STP, ó S/FTP)**

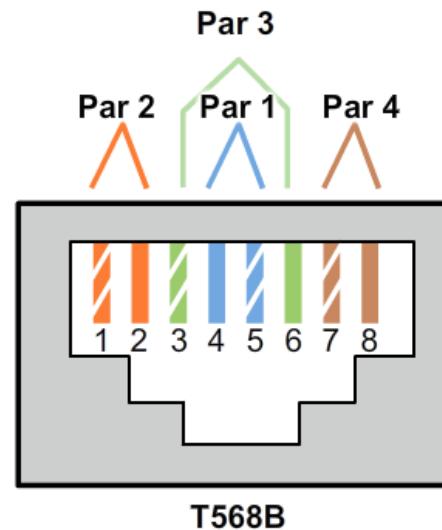
- Cables aislados con PVC y cubiertos por malla metálica externa global y papel de plata para cada par de cables.
- El apantallamiento reduce aún más los fenómenos de interferencias
- Más caro y difícil de manipular
- Válido para transmisión a altas velocidades



Cable	W del cable	Protocolo Ethernet	Velocidad	Ancho de banda
<u>Cat 3</u>	16 MHz	10BASE-T	10 Mbit/s	10 MHz
<u>Cat 5</u>	100 MHz	100BASE-TX	100 Mbit/s	31.25 MHz
<u>Cat 5e</u>	100 MHz	1000BASE-T	1000 Mbit/s	62.5 MHz
		<b>2.5GBASE-T</b>	2500 Mbit/s	100 MHz
<u>Cat 6</u>	250 MHz	<b>5GBASE-T</b>	5000 Mbit/s	200 MHz
<u>Cat 6A</u>	500 MHz	10GBASE-T	10000 Mbit/s	400 MHz
Cat 7	600 MHz			
<u>Cat 8 (30 m)</u>	1600/2000 MHz	25GBASE-T	25000 Mbit/s	1000 MHz
		40GBASE-T	40000 Mbit/s	1600 MHz



T568A

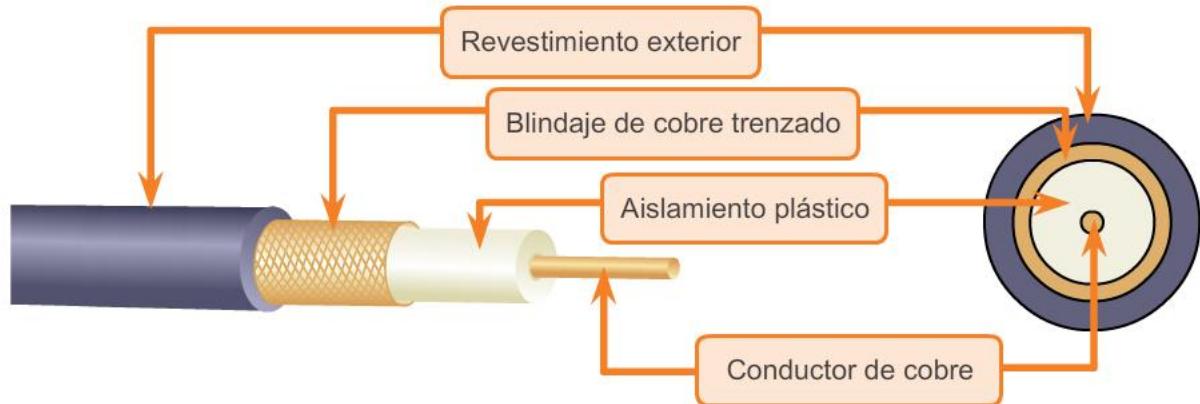


T568B

Tipo de cable	Estándar	Capa de aplicación
Cable directo de Ethernet	Ambos extremos son T568A o T568B.	Conecta un host de red a un dispositivo de red, como un switch o un hub.
Cruzado Ethernet	Un extremo es T568A, el otro extremo es T568B.	<ul style="list-style-type: none"><li>Conecta dos hosts de red.</li><li>Conecta dos dispositivos de red intermedios (un switch a un switch, o un router a un router).</li></ul>
De consola	Propietario de Cisco	Conecta el puerto serie de una estación de trabajo al puerto de consola de un router mediante un adaptador.

## Cable coaxial (1)

- Forma del cable



## Cable coaxial (2)

- Los conectores más utilizados en LAN son de tipo BNC y de 50Ω. En CATV el cable más usado es el de 75 Ω.



- Ventajas e inconvenientes (En comparación con el par trenzado)
  - Mayor inmunidad a ruidos e interferencias externas
  - Mayores distancias y mayor ancho de banda que el par trenzado
  - Mayor coste
  - Más difícil de instalar

## Aplicaciones actuales:

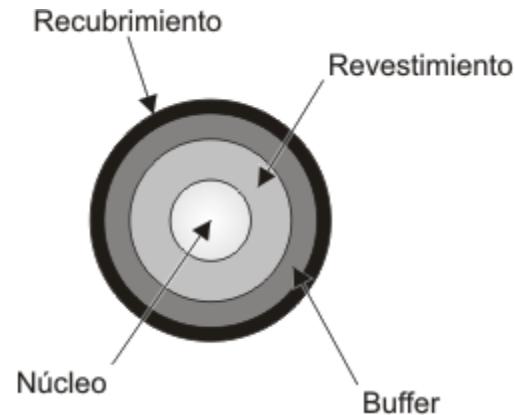
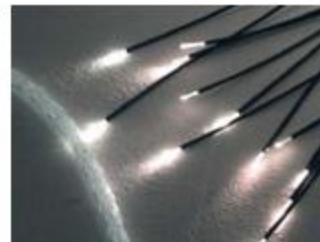
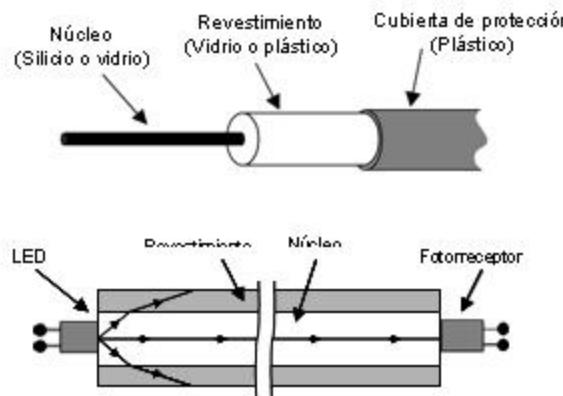
- Distribución de señales de televisión
  - Antena para televisión.
  - Televisión por cable (CATV).
- Distribución de datos local
  - Cablemodems (TV+Teléfono+Internet).
  - Conexión fibra – equipos de datos.

## Aplicaciones antiguas:

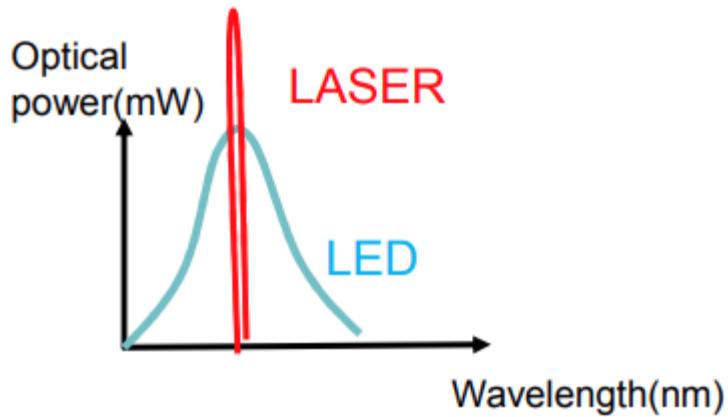
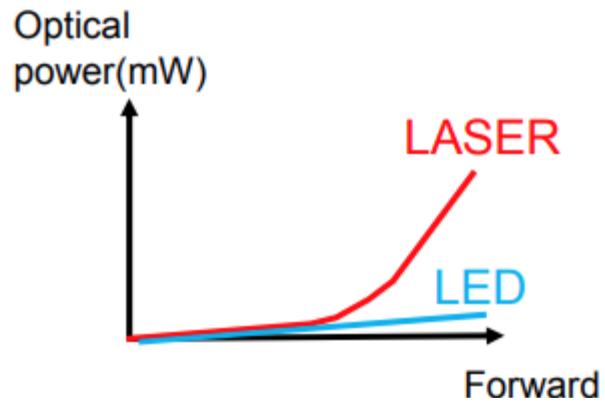
- Telefonía a larga distancia
  - Puede transportar más de 10.000 canales de voz a la vez.
- Redes de área local
  - Redes Ethernet en bus (10Base2 y 10Base5)

## Fibra óptica

- El **LED** (diodo emisor de luz) o **LÁSER** transforma la señal eléctrica en pulsos de luz
  - 1 presencia de pulso de luz
  - 0 ausencia de pulso luz
- La fibra transmite la luz a través del núcleo
  - Núcleo y revestimiento de distinto material (distinto índice de refracción)
  - La luz que incide sobre la interfaz núcleo-revestimiento con un ángulo inferior al ángulo crítico se refleja en el núcleo
  - El resto de la luz se refracta (pérdidas)
- El fotodiodo receptor (**PIN**) transforma la señal luminosa en una señal eléctrica



# Emisión Fibra óptica



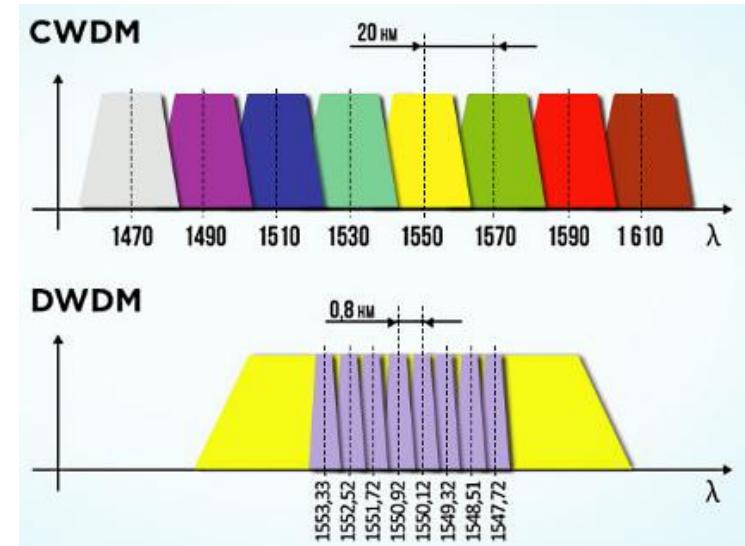
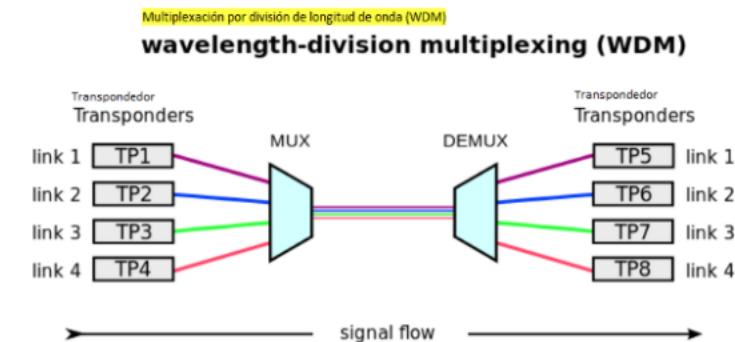
Láser: fotón generado cuando otro toca al electrón: misma fase.

Diferentes tipos: de gas, de diodo, de estado sólido...

Más potencia: mayor alcance

Menor dispersión: gasta menos W

Multiplexión por longitudes de onda (WDM): dos tipos.



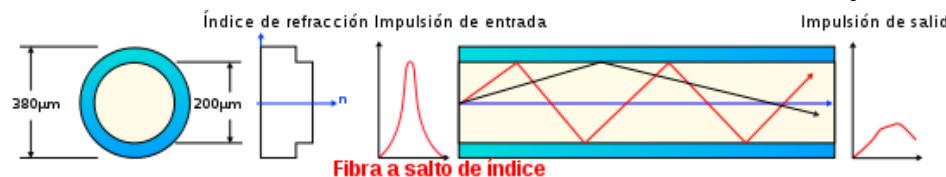
## Tipos de fibra:

- **Multimodo**

- La luz se difunde en múltiples direcciones
- Mayores pérdidas y menores prestaciones
- Más económica y fácil de manipular
- Las hay de índice discreto y de índice gradual.

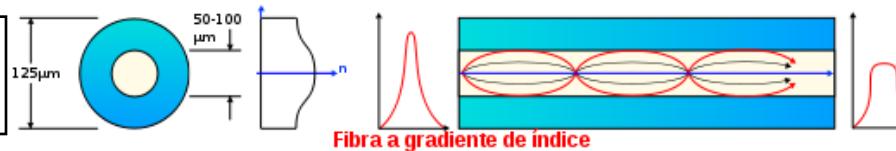
- **Monomodo**

- La luz se difunde prácticamente en línea recta a través del núcleo
- Diámetro del núcleo muy reducido (del orden de la longitud de onda de la luz)
- Menos pérdidas y mayores prestaciones
- Más cara y difícil de manipular

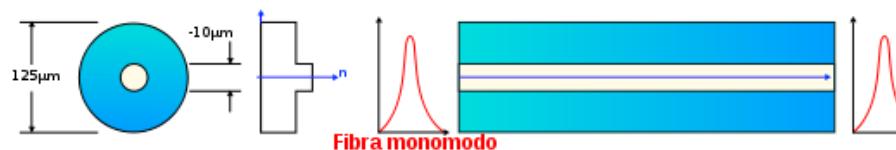


LED: 850 nm o 1310 nm. LAN

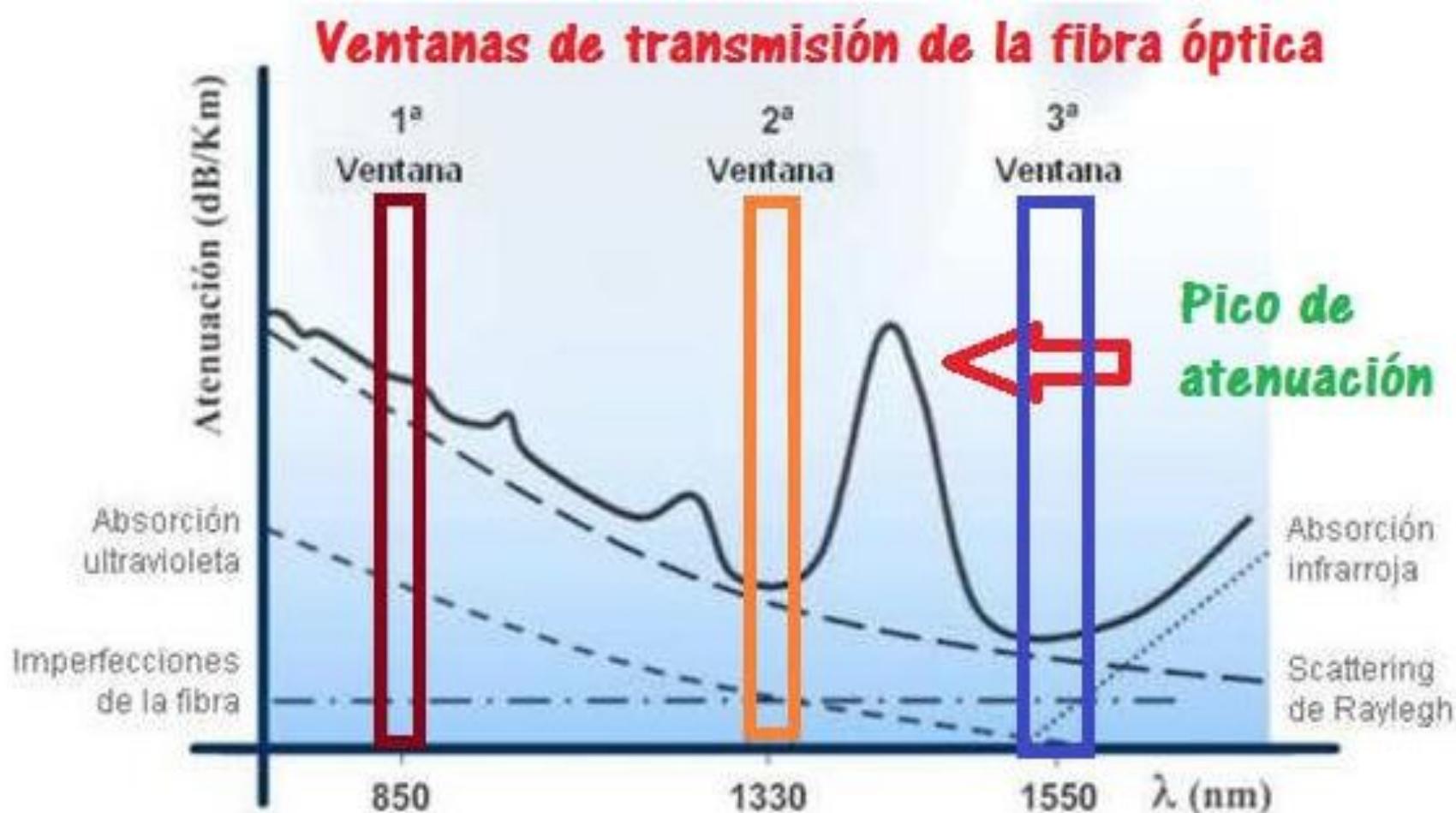
LASER: 1310 nm o 1550 nm. WAN



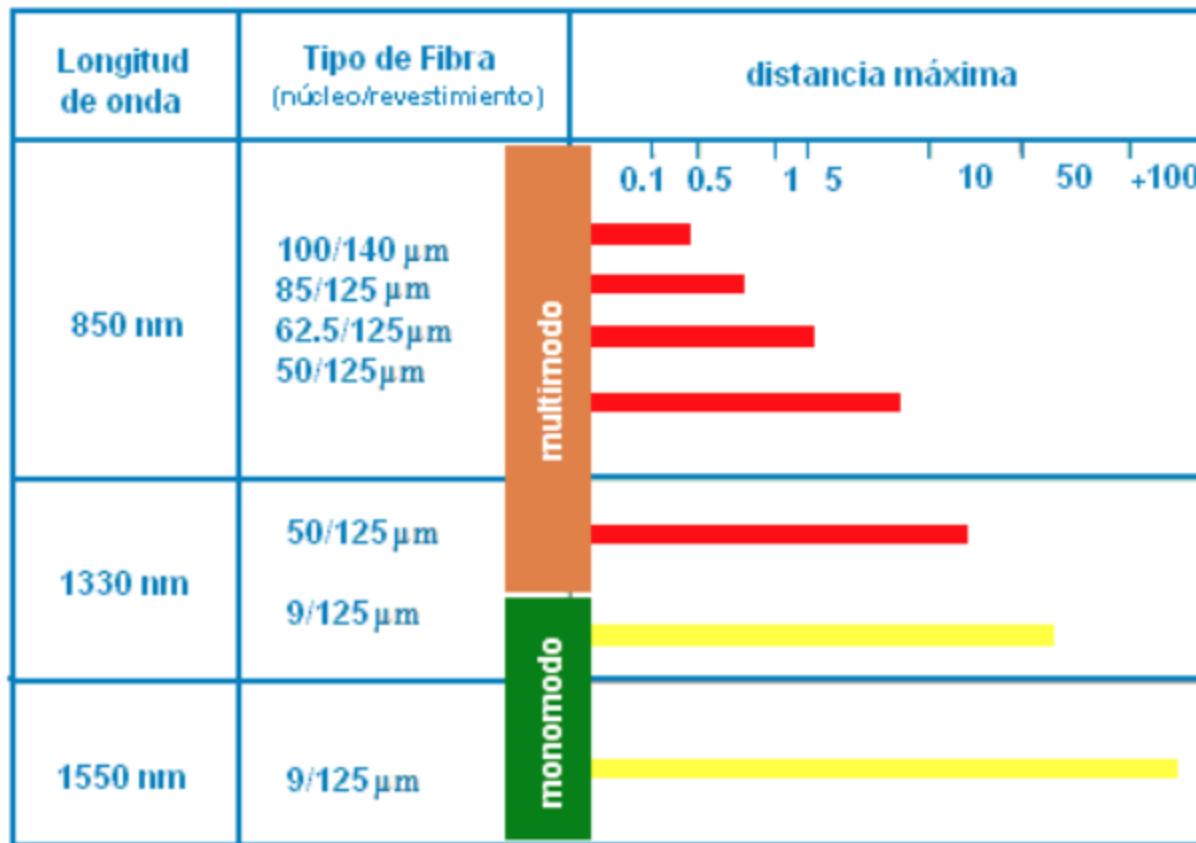
Fotodiodo PIN (P-Intrínseco-N)  
Fotodiodo APD (Avalancha)



# Atenuación por frecuencias en fibra óptica.



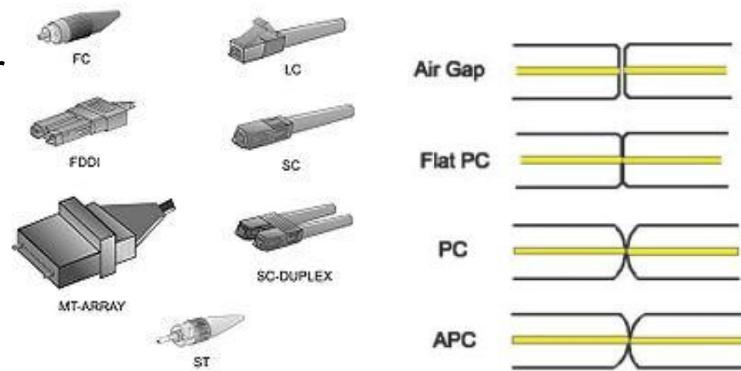
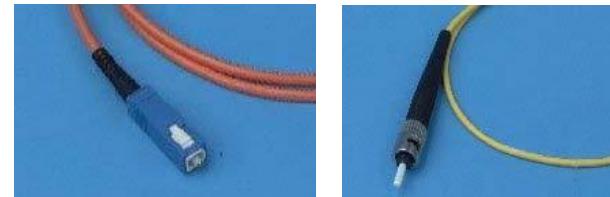
# Usos comunes de las ventanas en fibra óptica.



## Conecadores de fibra óptica:

El conector se define con dos siglas: **tipo de conector-tipo de pulido**. Por ejemplo: **SC-APC**

- Conector ST (Straight Through)
  - Presentado a comienzos del 85 por AT&T
  - FO multimodo
- Conector SC (Single-fiber Coupling)
  - Tiene menos perdida que otros conectores
  - FO monomodo
- Pulidos: Han ido evolucionando, en primer lugar para disminuir las pérdidas, en segundo para atenuar el retorno.



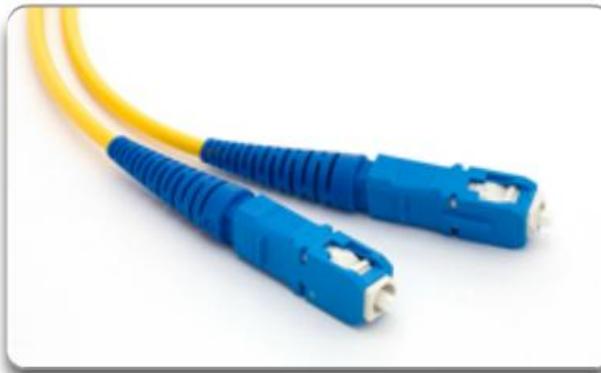
## Agrupamiento de fibras ópticas

- Las fibras ópticas de datos son extremadamente delgadas
  - *Diámetro típico de una fibra: ~125 microm*
  - *Diámetro de un cabello humano: ~100 microm*
- Normalmente se agrupan en mangueras de varias decenas o incluso cientos de fibras





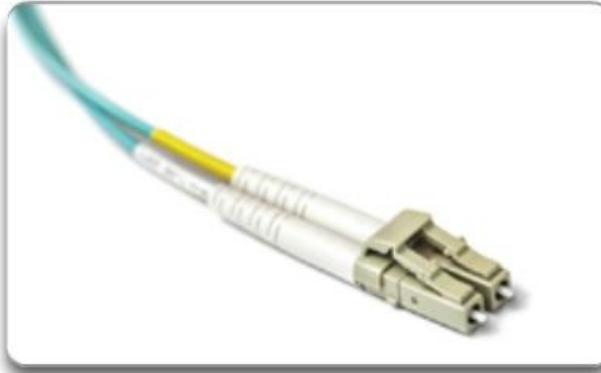
Conectores ST



Conectores SC



Conector LC



Conectores LC multimodo dúplex

## Ventajas de la fibra óptica

- Ancho de banda muy superior a los medios de cobre
- Velocidad teórica de transmisión alcanzable muy elevada (entorno a 50.000 Gbps). En la práctica, la velocidad real de transmisión es mucho menor, limitada por la frecuencia de trabajo de los de los fotoemisores y fotorreceptores:
  - 100 Gbps en distancias cortas.
  - 4 Gbps en distancias largas (300 km).
- Menor atenuación y mayores distancias sin necesidad de repetidores.
- Totalmente inmune a las interferencias electromagnéticas externas
- Los cables de fibra son muy delgados y ligeros. Por tanto la instalación de una red de fibra óptica requiere conductos mucho más reducidos. Se pueden agrupar decenas de fibras en mangueras de reducido diámetro.

## Desventajas de la fibra óptica

- La transmisión de luz es intrínsecamente unidireccional.
- La manipulación de la fibra óptica es muy compleja, por lo que se precisa de mayor especialización y equipos caros (OTDR).
- Los empalmes aumentan la atenuación de forma irreversible.

## Aplicaciones de la fibra óptica:

### Enlaces telefónicos de larga distancia

Hasta 1.500 km

Entre 20.000 y 60.000 canales de voz simultáneos

### Enlaces telefónicos metropolitanos

Longitud media de 12 Km

Hasta 100.000 canales de voz simultáneos

### Bucles de abonado (FTTH, Fiber to the home):

Try Play: Televisión, voz y datos usando fibra

Splitters pasivos (PON)

Iniciativa pública.

### Redes de área local y metropolitana

Usado tradicionalmente en redes MAN (FDDI, DQDB, etc.)

Actualmente se utiliza también en redes LAN Ethernet de alta velocidad

Fast Ethernet - 100 Mbps (100Base-FX)

Gigabit Ethernet - 1 Gbps (1000BASE-SX y 1000BASE-LX)

10Gigabit Ethernet - 10 Gbps

Implementaciones futuras: 100 Gigabit, 1 Terabit y 10 Terabit Ethernet

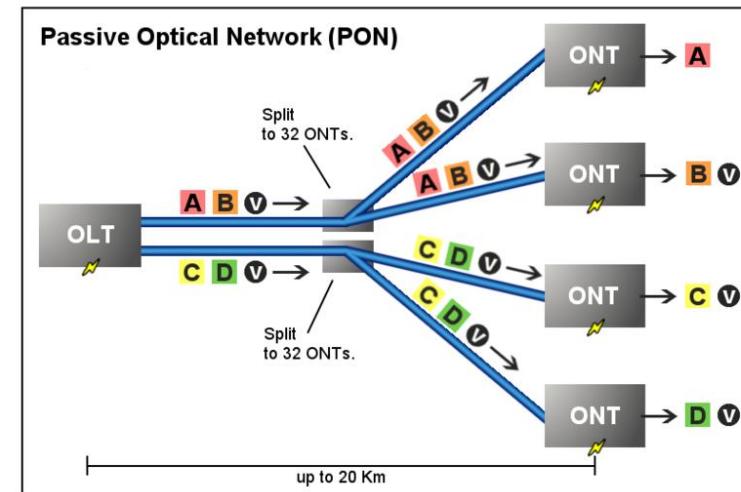
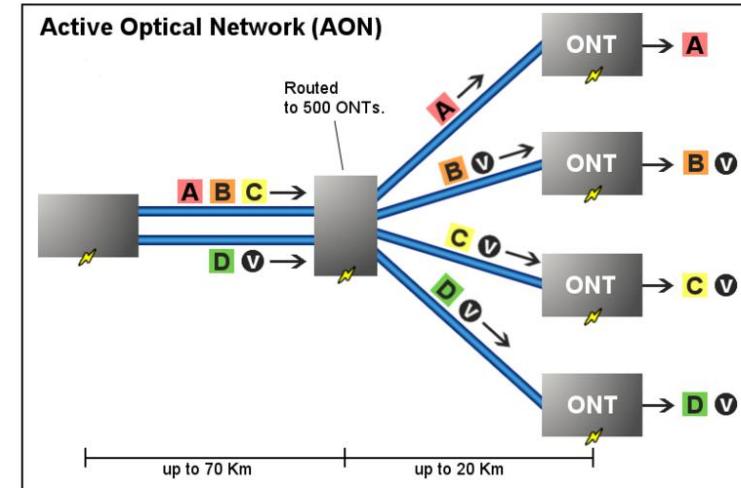
Para llevar la fibra hasta el hogar hay diferentes formas:

**1-Estrella:** fibra individual para cada usuario. Muy cara, pero máxima flexibilidad (futuros protocolos) y capacidad.

## 2-Compartida:

-AON: un multiplexor activo reproduce la señal.

-PON: un multiplexor pasivo (prismas) desglosa la señal. Muy barato.



Key: **A** - Data or voice for a single customer. **V** - Video for multiple customers.

## Medios inalámbricos

### Ondas de radio

Desde 30MHz hasta 1GHz:

Aplicaciones usualmente omnidireccionales (radio, domótica, walkie-talkie, televisión, etc.).

NFC (RFID) en 13,56 MHz

### Microondas

Desde 2GHz hasta 40GHz:

Enlaces punto a punto terrestres de larga distancia

Redes LAN Inalámbricas (WiFi)

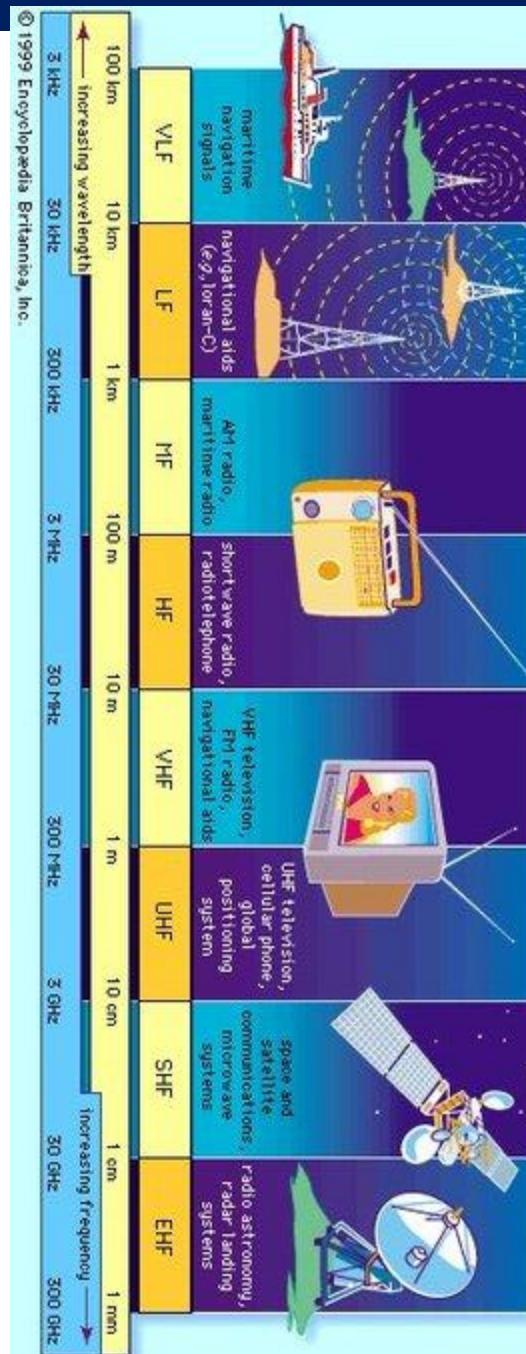
Telefonía móvil (LTE, Wimax, GSM)

Comunicaciones por satélite

### Infrarrojos

Rango de frecuencias comprendido entre  $3 \times 10^{11}$  y  $2 \times 10^{14}$  Hz:

Conexiones locales



# Radio

Bandas de pago (con licencia):

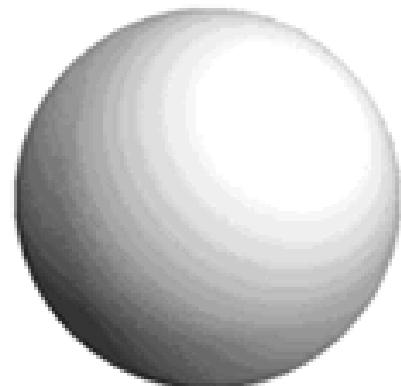
- RadioMódem (200-500MHz): larga distancia. Pago de licencias.
- Frecuencias de radio y televisión (TDT).

Bandas de uso libre (sin licencia):

- Walkie-Talkies: Banda de uso libre.
- Domótica: KNX, Z-Wave, ZigBee, EnOcean...
- NFC (Near Field communications) en 13,56 MHz. Tecnología usada para RFID, pagos, comunicación entre móviles, etc. Distancias inferiores al metro (en tarjetas pasivas, hasta 10m en activas). 106kbps-424Kbps.

**Isotrópicas:** Antenas que irradian la misma energía en cualquier dirección

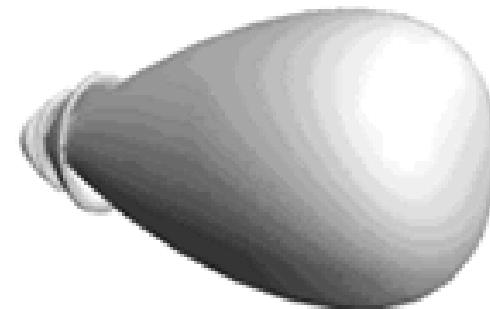
**Anisotrópicas:** Las demás (las reales).



**ISOTRÓPICO**



**OMNIDIRECCIONAL**



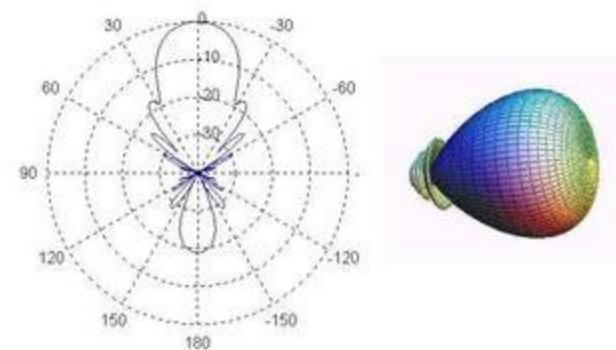
**DIRECTIVO**



**Direccionalidad de una antena:** Para una dirección determinada es la intensidad (potencia/m<sup>2</sup>) que se está entregando en esa dirección en comparación a la de una antena isótropa (**dBi**).

$$d(\theta, \varphi) = I(\theta, \varphi) / I_{iso}$$

$$D(\theta, \varphi) = 10 \log I(\theta, \varphi) / I_{iso}$$

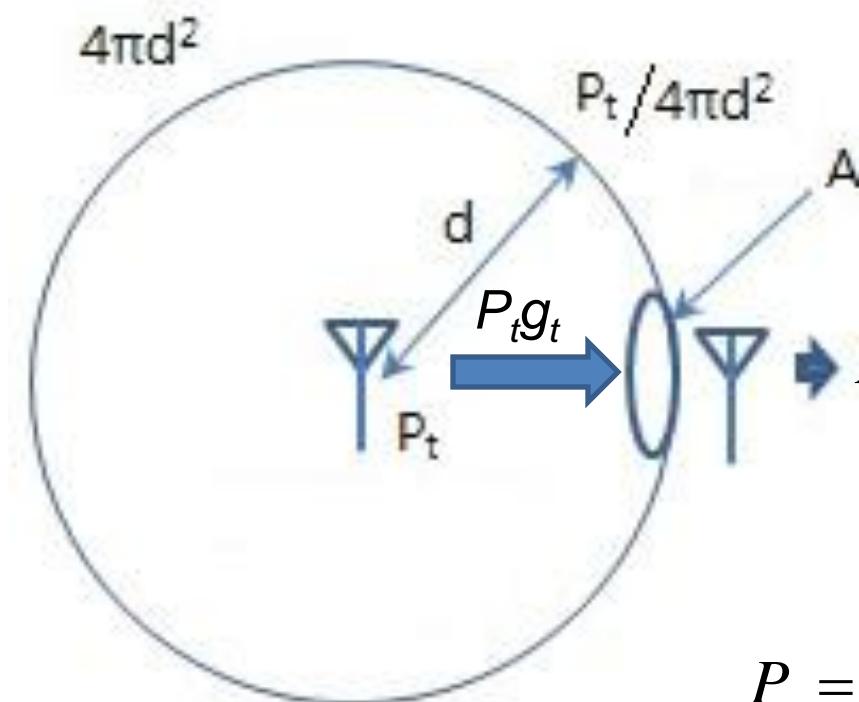


**Ganancia de una antena:** Potencia en la dirección máxima en relación a la potencia con la que se alimenta la antena. Es la direccionalidad pero considerando las pérdidas Joule en la antena.

$$G = 10 \log \eta \cdot I_{max} / I_{iso} \therefore g = \eta \cdot d_{max}$$

**Área específica de una antena:** Área sensible que presenta la antena a las ondas recibidas. Existe una relación directa entre éste área y la direccionalidad de la antena

$$d_{max} = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$



$$P_r = \frac{A_e}{4\pi d^2} g_t P_t \quad A_e = \frac{g_r \lambda^2}{4\pi}$$

$$P_r = \frac{A_e}{4\pi d^2} g_t P_t = \frac{\frac{g_r \lambda^2}{4\pi}}{4\pi d^2} g_t P_t = \frac{\lambda^2 g_r g_t}{(4\pi d)^2} P_t$$

$$Aten = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 10 \log \frac{(4\pi d)^2}{g_t g_r \lambda^2} = 10 \log \frac{(4\pi f d)^2}{g_t g_r c^2}$$

**A igual distancia y antena isotrópica atenúan más las frecuencias... ¿más altas o las más bajas?**

Antena isotrópica significa  $g=1$ . Por tanto la atenuación anterior quedaría:

$$Aten = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 10 \log \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = 10 \log \frac{(4\pi f d)^2}{c^2}$$

A esta atenuación se le llama **Pérdida en el espacio libre** e indica la pérdida que se produce por la dispersión de la señal sin considerar la antena elegida (sin considerar la  $g$ , es decir la direccionalidad).

**Si ahora consideramos un par de antenas (emisora y receptora) con la misma área efectiva ( $A_e$ ) con independencia de las frecuencias, ¿A qué frecuencias se tendrá menor atenuación?**

$$A_e = \frac{g_r \lambda^2}{4\pi} \quad Aten = 10 \log \frac{(4\pi d)^2}{g_t g_r \lambda^2} = 10 \log \frac{d^2 \lambda^2}{A_{et} A_{er}} = 10 \log \frac{d^2 c^2}{A_{et} A_{er} f^2}$$

A mayor frecuencia menor atenuación si el área efectiva se mantiene. El área efectiva es similar al área física de la antena a altas frecuencias (parabólicas). Por eso es la opción preferida en radioenlaces.

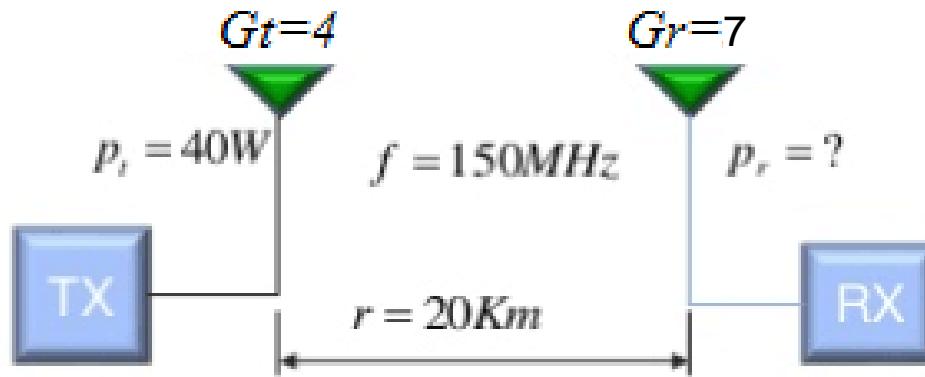
En general, en un problema de transmisión las pérdidas se calculan como sigue:


$$G_t = 10 \log g_t \quad 10 \log \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} \quad G_r = 10 \log g_r$$

The diagram shows two satellite dish antennas facing each other. A horizontal double-headed arrow between them is labeled  $d$ , representing the distance between the antennas. Below the diagram, there is a horizontal bracket with three segments. The first segment on the left has a minus sign (-) under it. The middle segment has a plus sign (+) under it. The third segment on the right has a minus sign (-) under it. The word "Atenuación" (Attenuation) is written in blue text below the middle segment.

Atenuación

## Problema ejemplo (2 puntos).



En un radioenlace con parabólicas, una estación transmite con una potencia de 40 W. La ganancia de la antena emisora es de 4 dBi. La portadora usa una frecuencia de 150 MHz. La estación receptora utiliza una antena con una ganancia de 7dBi, y está separada 20 km de la emisora.

¿Cuál es la atenuación total del enlace?

¿Con qué potencia le llega la emisión?

Solución más simple:

$$Aten = -G_t + 10 \log \frac{(4\pi fd)^2}{c^2} - G_r$$

$$Aten = -4 + 20 \log \frac{4\pi 150 \cdot 10^6 \cdot 20000}{3 \cdot 10^8} - 7$$

$$Aten = -4 + 101'98 - 7 = 90'98 dB$$

$$P_{tdB} = 10 \log 40 = 16'02 dB$$

$$P_{rdB} = P_{tdB} - Aten = 16'02 - 90'98 = -74'96 dB$$

## Solución alternativa:

$$G = 10 \log g \Leftrightarrow g = 10^{G/10}$$

$$g_t = 10^{4/10} = 2,51 \quad g_r = 10^{7/10} = 5'012$$

$$\frac{P_r}{P_e} = G_e G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} = G_e G_r \frac{c^2}{(4\pi f d)^2}$$

$$\frac{P_r}{P_e} = 2'51 \cdot 5'012 \cdot \frac{(3 \cdot 10^8)^2}{(4\pi \cdot 150 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^3)^2} = 12'6 \left( \frac{3}{4\pi \cdot 150 \cdot 200} \right)^2 = 7'98 \cdot 10^{-10}$$

$$\text{Atenuación} = 10 \log \frac{P_r}{P_e} = 10 \log 7'98 \cdot 10^{-10} = -90'98 dB$$

$$P_r = 7'98 \cdot 10^{-10} P_e = 7'98 \cdot 10^{-10} \cdot 40 = 3'19 \cdot 10^{-8} W$$

$$P_r = 10 \log 3'19 \cdot 10^{-8} (W) = -74'96 dB$$

$$P_r = 10 \log 3'19 \cdot 10^{-5} (mW) = -44'96 dBm$$

## Otra solución

$$\frac{P_r}{P_e} = g_e g_r \frac{c^2}{(4\pi f d)^2}$$

$$10\log P_r - 10\log P_e = 10\log g_e + 10\log g_r + 10\log \frac{c^2}{(4\pi f d)^2}$$

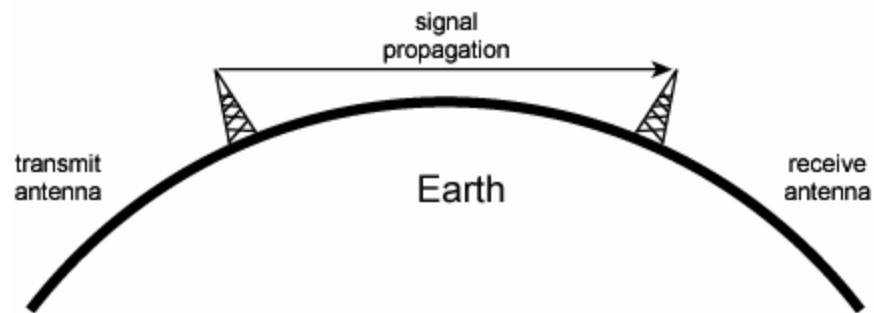
$$P_{rdB} = 10\log 40 + G_e + G_r + 20\log \frac{3 \cdot 10^8}{4\pi 150 \cdot 10^6 \cdot 20000}$$

$$P_{rdB} = 16'02 + 4 + 7 - 101'98 = -74'96 dB$$

$$Aten = 4 + 7 - 101'98 = -90'98 dB$$

## Enlaces punto a punto de larga distancia

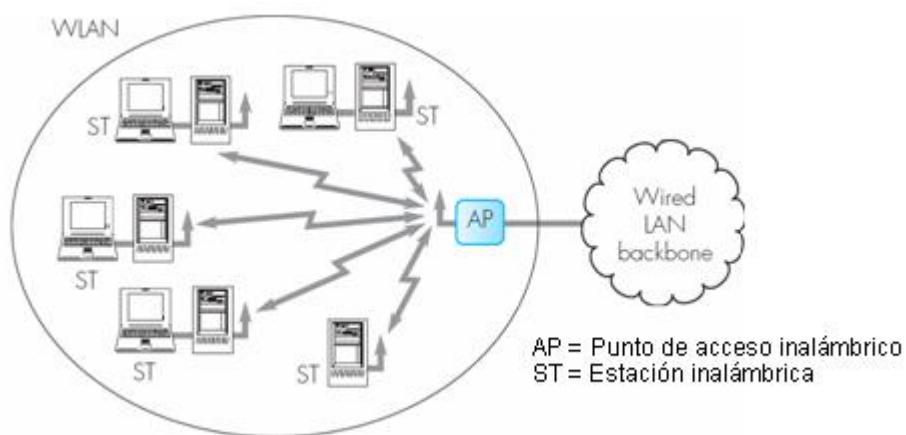
- Antenas parabólicas fijas alineadas.
- Señales muy direccionales.
- Atenuación severa.



Banda (GHz)	Ancho de banda (MHz)	Razón de datos (Mbps)
2	7	12
6	30	90
11	40	90
18	220	274

## Redes LAN inalámbricas (WLAN, *Wireless LAN*). IEEE 802.11 y Bluetooth.

- Antenas omnidireccionales con alcances cortos (50m.)
- Utilizan las bandas de 2,4 GHz y de 5 GHz
- Velocidades de transmisión típicas: 11 Mbps (b), 54 Mbps (a, g) y hasta 600 (80-100 en la práctica) Mbps (n). Futuro incluso 1Gb (ac)



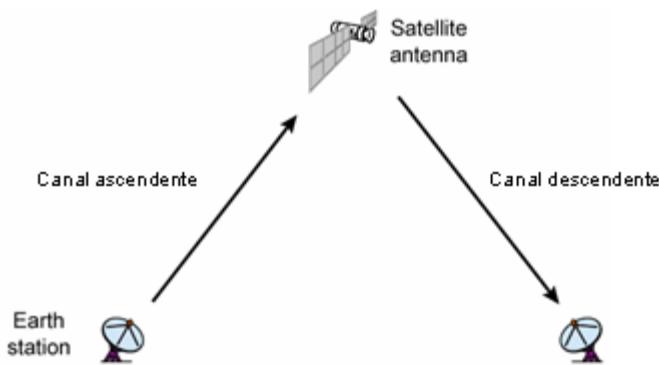
## Redes MAN inalámbricas: redes de telefonía móvil.

- GSM (2G): Banda de 900 MHz y 1,6 GHz. Llamadas y SMS.
  - GPRS(2.5G): Datos 9,6 - 40 kbps.
  - EDGE(2.5G?): 236 kbps
- UMTS (3G): 900 MHz y 2.1 GHz. Datos 384 kbps.
  - WIMAX (IEEE 802.16 MAN): 2,5 y 5,8 GHz. 20Mbps.
  - LTE. 326 Mbps.
- (4G) 1Gbps y 100Mbps en movimiento
- (5G). 20Gbps pico. >20 GHz. Celdas más pequeñas. En la realidad sólo mejoran un 50% 4G.

Los terminales son omnidireccionales y se conectan a puntos de acceso dispuestos regularmente por la ciudad.

## Microondas por satélite

- Un satélite es un repetidor de microondas: recibe la señal en una banda de frecuencia (canal ascendente), la amplifica y la retransmite en otra banda de frecuencia (canal descendente).

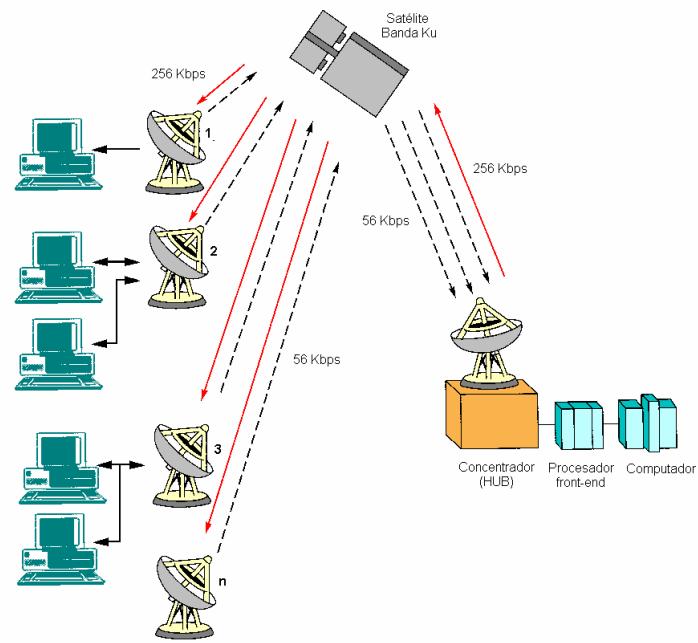


- Se utiliza como enlace entre dos o más estaciones terrestres.
- Permite el acceso desde cualquier lugar del mundo.
- El servicio y el equipo para utilizarlo (antenas) es caro.

- Los satélites deben seguir una **órbita geoestacionaria**, es decir, para que se vean siempre en la misma posición deben girar en una órbita ecuatorial con un periodo de rotación de 24 horas. Esto se traduce en un anillo único a 35.784 km sobre el ecuador.
- Para evitar interferencias entre satélites que trabajan en las mismas frecuencias, debe existir una separación mínima de al menos **2 grados**.
- Esto se denomina una **ranura orbital**
- Debido a la distancia que debe recorrer la señal, la transmisión por satélite presenta un retardo de propagación típico de **0,27 segundos**
- El rango de frecuencias óptimo para la transmisión via satélite es de 1 a 10 GHz. Sin embargo las bandas más usadas son: 4-6 Ghz, 12-14 Ghz y 20-22 Ghz.

## Aplicaciones de los satélites

- **Difusión de TV**
- Enlaces telefónicos de larga distancia
  - Comunicaciones telefónicas entre distintos países y/o continentes
  - En comunicaciones nacionales puede resultar más económico que instalar infraestructura de fibra óptica, sobre todo en países con difícil orografía
- Redes privadas mediante VSAT
  - VSAT significa que el área “iluminada” por el satélite es reducida (very small aperture terminal)
  - Microestaciones terrestres de bajo coste para comunicación por satélite
  - Cada microestación dispone de una antena parabólica de 1 m de diámetro capaz de recibir y también de transmitir datos al satélite
  - Las distintas sedes de la empresa se pueden comunicar por satélite con el servidor central



## Ventajas/desventajas de los infrarrojos con respecto a las microondas

Menor coste de equipos transmisores/receptores de infrarrojos

Menor consumo de potencia

Mayor privacidad

Menor alcance y velocidad de transmisión

Movilidad limitada

## Protocolos abiertos:

**IrDA** (9,6kbps-4Mbps) Estándar asentado entre calculadoras, móviles, impresoras, etc.

**Protocolos propietarios:** mandos de televisores, altavoces inalámbricos, etc.

# INFRARROJOS

## Modos de transmisión:

### **DFIR** (Diffused Infrared) o infrarrojo de haz difuso

Velocidades de transmisión moderadas (1 Mbps).

Adecuado en oficinas de tamaño moderado que no presenten grandes obstáculos (paredes, mamparas, librerías, etc. ), 25 m.

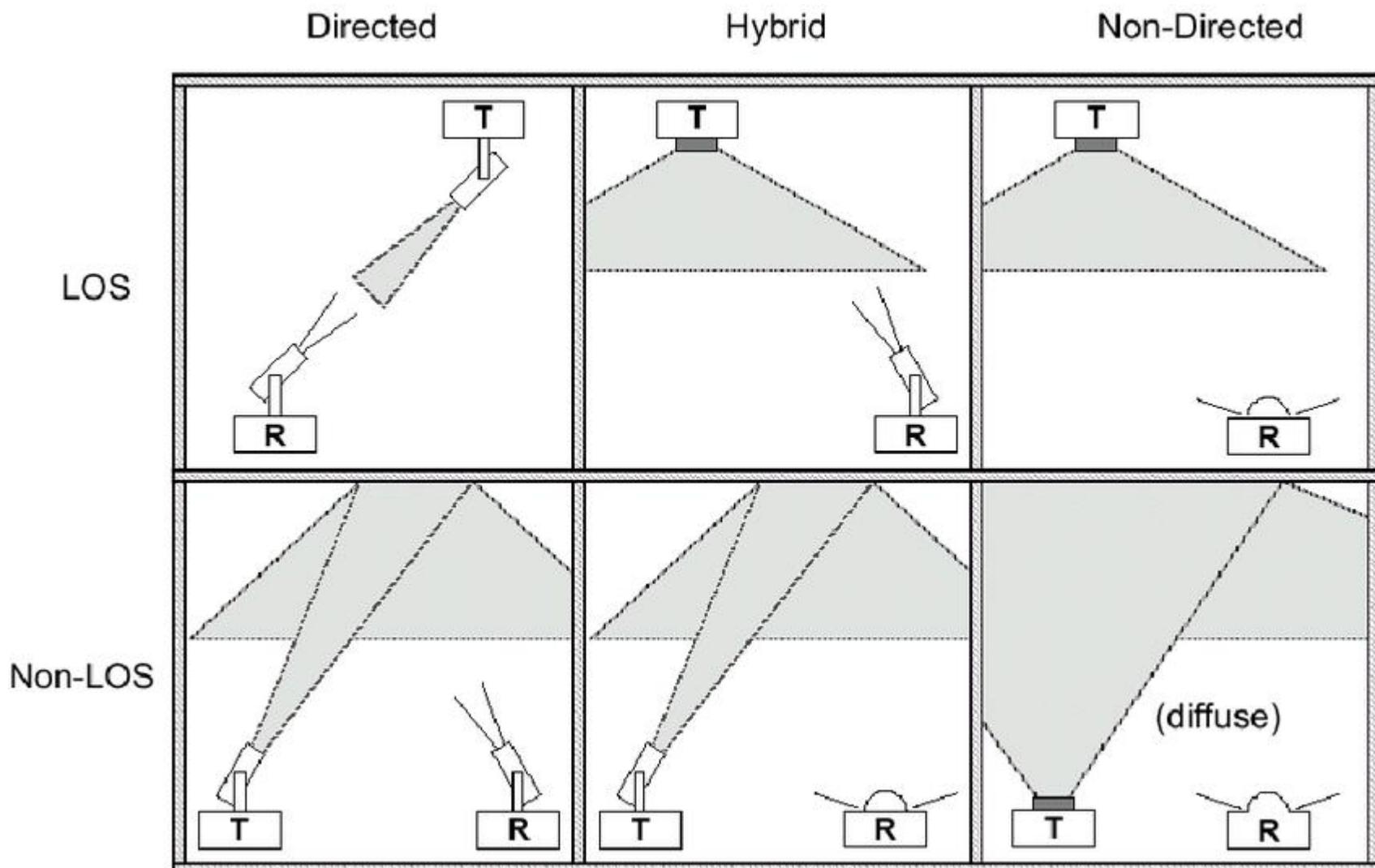
Receptor y transmisor deben estar alineados o pueden aprovechar superficies reflectantes como el techo. Ejemplo: altavoces inalámbricos.

### **DBIR** (Directed Beam Infrared) o infrarrojo de haz directo

Permiten alcanzar mayores velocidades de transmisión (10 Mbps)

No permiten movilidad de los equipos sólo son útiles en aplicaciones que emplean terminales fijos, 60 m.

Esta tecnología (Infrarrojos) y la siguiente (Lifi) se consideran dentro de los sistemas de transmisión óptica en el espacio libre (FSO). Algunas empresas han realizado enlaces ópticos de hasta 30 Mbps salvando distancias de hasta 2,5 km.



## Lifi (light fidelity).

- En ensayos se ha llegado hasta **224 Gbps**
- Puede usar luz visible, ultravioleta e infrarroja.
- Se puede implementar sobre los LED de iluminación del hogar, faros de vehículos, semáforos, comercios...
  - Lifi es una especificación en desarrollo que alcanzaría los **10 Gbps**. De momento, en entornos reales sólo se ha llegado a **1Gbps**.

