
GUÍA DE ESTUDIO TEMA 3.

MEDIOS Y MODOS DE TRANSMISIÓN.

ACCESO AL MEDIO.

OBJETIVOS

- Presentar los conceptos asociados a las limitaciones que imponen los medios físicos a la difusión de señales electromagnéticas.
- Ampliar los conocimientos sobre Multiplexación y Modulación.
- Presentar los conceptos relacionados con el acceso al medio.
- Todo lo anterior en relación con las comunicaciones industriales.

CONCEPTOS BÁSICOS

- Medios físicos
 - Inalámbricos: antenas, radioenlaces terrestres y satélites espaciales.
 - Cables
 - Metálicos
 - Fibra óptica
 - Híbridos
 - Mixtos
- Ancho de banda
 - De una señal
 - De un medio de transmisión
- Canalización de señales
- Tipos de señales
 - Banda base
 - Espectro ampliado
 - Ultra banda ancha
- Servicios en banda ancha
- Factor de mérito ancho de banda x distancia

CONCEPTOS BÁSICOS

- Ecuación de Shannon $C = W \cdot \log_2(1+S/N)$
- Espectro electromagnético
 - Ondas
 - Electromagnéticas
 - Campos
- Ondas electromagnéticas senoidales
 - Frecuencia
 - Período
 - Amplitud
 - **Longitud de onda λ**
- **Bandas de frecuencia:** clasificación de las ondas según su frecuencia y λ
- **Espectro electromagnético:** clasificación de las ondas en grupos de λ , en vez de frecuencias.
 - El conjunto de todas las bandas de frecuencia
- Interferencias

BANDAS DE COMUNICACIÓN Y APLICACIONES

- Aplicaciones de las bandas de comunicación del espectro electromagnético: Agrupaciones por λ y dentro de éstas, las bandas de frecuencia que abarcan:

- Radiofrecuencia :

$$\lambda \in (10.000 \text{ km}, 10\text{cm})$$

- Microondas

$$\lambda \in (10\text{cm}, 1\text{mm})$$

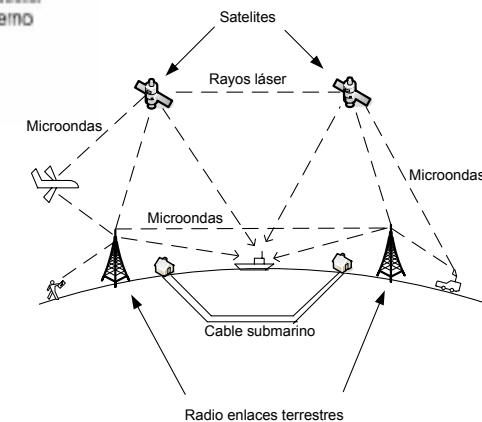
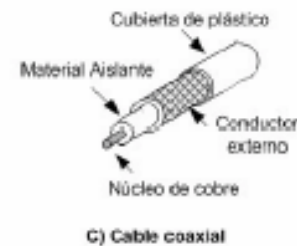
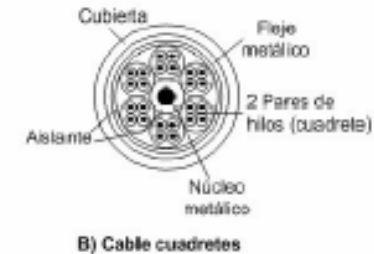
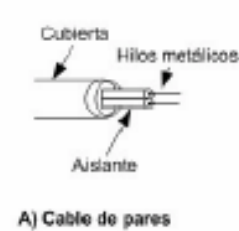
- Banda óptica

$$\lambda \in (1\text{mm}, 10\text{nm})$$

Nº	Nombre	Margen	Medios	Aplicaciones
3	VF Banda vocal	300 Hz – 3 kHz	• Cables de pares	• Telefonía y audio • Datos (ETD y ETCD)
4	VLF Muy baja frecuencia	3 – 30 kHz	• Cables de pares • Radio: Onda larga	• Navegación submarina (Sónar) • Navegación de superficie
5	LF Baja frecuencia	30 – 300 kHz	• Cables de pares • Radio: Onda larga	• Ultrasonidos • Navegación: Ayudas y radiofaros • Com. industriales
6	MF Frecuencia media	300 kHz – 3 MHz	• Cable coaxial • Radio: Onda media	• Radiodifusión (AM) • Defensa civil • Onda pesquera
7	HF Alta frecuencia	3 – 30 MHz	• Cable coaxial • Radio: Onda corta	• Radiotelefonía móvil • Radioaficionados • Comunicaciones militares (ionosfera)
8	VHF Muy alta frecuencia	30 – 300 MHz	• Cable coaxial • Radio: Ondas métricas	• Televisión en VHF • Radiodifusión (FM) • Control de tráfico aéreo • Com. móviles
9	UHF Ultra alta frecuencia	300 MHz – 3 GHz	• Guía de onda • Radio: Ondas decimétricas	• Televisión en UHF • Radiolocalización (Radar) • Telemetría espacial • Telefonía móvil aut.
10	SHF Super alta frecuencia	3 – 30 GHz	• Guía de onda • Microondas	• Comunicaciones espaciales (satélites) • Radioenlaces de microondas • Radiolocalización (Radar)
11	EHF Extremadamente alta frecuencia	30 – 300 GHz	• Guía de onda • Microondas	• Radioastronomía • Com. ferroviarias • Sist. Experimentales
12 a 16	Infrarrojo Luz visible Ultravioleta	0,3 – 4 · 10 ¹⁴ Hz 4 – 7,7 · 10 ¹⁴ Hz 7,7 · 10 ¹⁴ – 3 · 10 ¹⁶ Hz	• Fibras ópticas • Rayos láser	• Comunicaciones ópticas

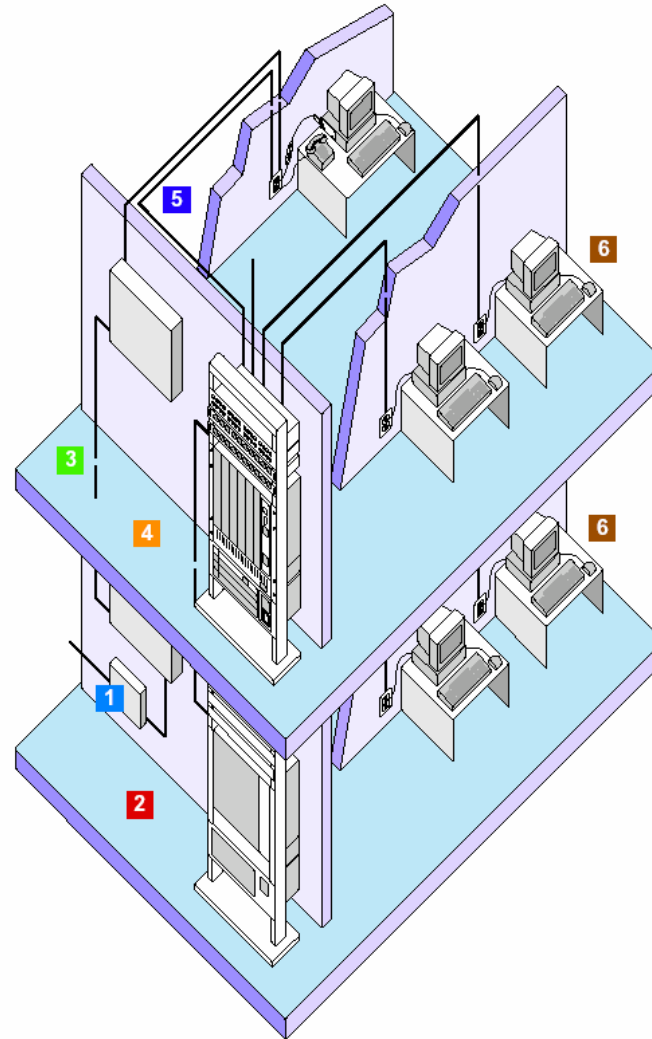
CONDUCTORES METÁLICOS

- Cable de pares: parejas de conductores metálicos separados por aislante. Para reducir la diafonía se trenzan.
 - Apantallados: STP, FTP.
 - Sin apantallar: UDP.
- Cable de cuadretes: cables de pares agrupados de dos en dos.
- Cable coaxial: dos conductores cilíndricos separados por un aislante y protegidos por una cubierta externa.
- Guíaonda: tubo metálico rectangular o circular destinado a soportar señales electromagnéticas de elevada frecuencia (microondas). Se utilizan en radioenlaces.



CONDUCTORES METÁLICOS

- **Cableado estructurado**
 1. S.Campus
 2. Sala de equipos:
Distribuidor de campus,
distribuidor de edificios.
 3. S.Vertical
 4. Distribuidor de planta.
 5. S.Horizontal
 6. Área de trabajo: tomas
terminales (rosetas)



CONDUCTORES METÁLICOS

■ **Certificación**

- ISO: Clase A, B, C, D, E y F
- TIA: Categoría 3, 5, 5e y 6
- Parámetros:
 - Atenuación
 - Pérdida de retorno = señal reflejada/señal transmitida
 - Diferencia de retardo entre pares
 - Diafonía
 - Relación atenuación/diafonía (ACR)
 - Suma de la ACR de todos los pares (ACR-PS)
 - NEXT
 - NEXT-PS
 - FEXT
 - FEXT-PS
 - ELFEXT
 - ELFEXT-PS
- Cables libres de halógenos y retardante a llama
- Cables UDP, STP y FTP.

FIBRAS ÓPTICAS

■ Características

- **Absorción:** la señal óptica se debilita a medida que avanza a lo largo del material. $\text{Atenuación (dB)} = 10 \cdot \log (P_e/P_s)$
- **Reflexión:** desviación del haz de fotones en sentido contrario al de la propagación en la frontera entre dos medios.
 $\text{Sen } \theta = (N_n^2 - N_c^2)^{1/2}$,, $\theta \equiv$ apertura numérica=ángulo de rebote.
- **Refracción:** desviación de la dirección del haz de fotones cuando se cambia de medio.
 $N = C_v/C_m$,, N:índ.refracción
- **Dispersión:** cambio del índice de refracción según λ

■ Ventajas

- Elevado ancho de banda > 1 Gbps
- Baja atenuación
- Ausencia de emisiones electromagnéticas
- Seguro (material dieléctrico)
- Poco peso y volumen

FIBRAS ÓPTICAS

- Tipos de modos/fibra
 - **Monomodo:** concentran el haz de fotones en una sola trayectoria que se propaga según el eje del núcleo.
 - **Multimodo:** el índice de refracción de la fibra varía con el radio.
 - De salto de índice: $N = f(r)$ es discreto
 - De salto gradual: $N = f(r)$ es continuo.
 - Fibras típicas: $125/50 \Rightarrow d=125 \mu\text{m}$ cubierta/ $50 \mu\text{m}$ núcleo
- Retardos en la fibra:
 - **Dispersión modal:** La luz viaja en trayectorias diferentes para cada modo en una fibra.
 - **Dispersión cromática:** limitación que el material de la fibra y su forma de fabricación ejercen sobre la propagación del haz de fotones. Combinación de:
 - **Dispersión material:** consecuencia de que $N_i=f(\lambda_i)$
 - **Dispersión de guionda:** consecuencia de que $N=f(r)$
 - **Dispersión de modo de polarización:** los vectores de campo eléctrico y magnético de la onda se desfasan como consecuencia del cambio de N_x y N_y del material con la distancia (eje Z). Más importante para $v > 10\text{Gbps}$.

MULTIPLEXACIÓN Y MODULACIÓN

- La necesidad de convertir señales analógicas en digitales y viceversa surge cuando se tienen que enviar señales digitales a través de redes analógicas.
- Conceptos previos (vistos en temas anteriores):
 1. **Señal analógica** = conjunto infinito de valores = señal continua.
 - Señal analógica simple = onda senoidal → amplitud, frecuencia, longitud de onda (λ) y fase.
 - Señal analógica periódica irregular: compuesta por un número infinito de señales senoidales puras, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia de la señal periódica fundamental. Cada una de estas frecuencias se denomina *componente espectral* o *armónico*.

MULTIPLEXACIÓN Y MODULACIÓN

- ❑ El ancho de banda de la señal analógica = conjunto de todas las frecuencias de su espectro (caracterización de la señal).
- ❑ Distorsión de la señal analógica en su transmisión:
 - Pérdida de algún armónico \Rightarrow reducir ancho de banda
 - Ruido externo \Rightarrow relación señal-ruido (S/N) \Rightarrow cuanto mayor sera S/N mejor calidad de la señal en recepción.
- ❑ Transmisión adecuada \Rightarrow
 - Ancho banda (medio) \geq ancho de banda (señal)
 - Medio sin ruido o alta S/N
- ❑ Se usan diferentes medios de transmisión en el transporte de las señales analógicas en función de su ancho de banda.

MULTIPLEXACIÓN Y MODULACIÓN

- 2. Señal digital** = conjunto finito de valores en un intervalo de tiempo = señal discreta.
- ❑ Señal digital simple = onda cuadrada → amplitud, frecuencia y fase.
 - ❑ Información digital = combinación de ceros y unos.
 - ❑ Caracterización de la señal:
 - Velocidad (bps): en lugar de ancho de banda
 - Tasa de error de bit (BER) que introduce el medio para esa velocidad: en lugar de la relación señal-ruido.
- **Canalización** ⇒ compartición del medio por varias señales (+eficaz).

MULTIPLEXACIÓN

- **Multiplexación** \equiv procedimientos de asignación de canales en un medio físico.
- Mux.por división en el espacio (SDM):
 - Asigna a cada señal digital un cable de salida distinto del de entrada para cambiar su ruta física, en el que dispone de todo su ancho de banda.
 - Equipo electrónico mux.SDM \approx central de conmutación telefónica.
- Mux.por división en el tiempo (TDM):
 - Asigna a cada señal digital un tiempo limitado de transmisión (canal TDM) en el medio físico, durante el cual dispone de todo el ancho de banda.
 - Síncrona: se recorren todos los canales en orden
 - Asíncrona: se recorren los canales en orden estadístico basado en la existencia de señales en ellos.

MULTIPLEXACIÓN

- Mux.por división de frecuencia (FDM):
 - Fraccionamiento del ancho de banda en canales (canal FDM), de tal forma que a cada canal se le asigna una señal de información distinta durante todo el tiempo.
Utiliza procedimientos de modulación: asigna a cada señal una portadora analógica, cuyo ancho de banda se sitúa en un determinado canal.
 - Equipo electrónico mux.FDM: tantos moduladores como canales tenga el medio físico. (Ej: difusión tv).
- Mux.por división de frecuencia ortogonal (OFDM):
 - Cada canal se divide en varias subportadoras de frecuencias más bajas, y se transmiten por ellas datos en paralelo. Elimina la superposición de bits en el receptor (interferencia intersímbolo) ocasionada por el retardo que se produce porque la señal recorre diversos caminos entre el emisor y el receptor para conseguir altas velocidades (Mbps) con buena relación S/N.

MULTIPLEXACIÓN

- Mux. densa por división de longitud de onda (DWDM):
 - FDM para redes de fibra óptica. En lugar de referirse a frecuencias, se utilizan longitudes de onda.
 - Densa = las portadoras ópticas se separan entre sí mediante “canales de guarda” muy estrechos que no transportan información \Rightarrow fuerte empaquetamiento de canales en el medio físico.
- Mux. por división de código (CDM):
 - Combinación TDM, FDM y técnicas de transmisión de “espectro ampliado”
 - Espectro ampliado: expanden el ancho de banda de la señal por encima del necesario y ocupan todo el ancho de banda del medio físico \Rightarrow mejora S/N.
 - El receptor recupera la información correlacionando la señal recibida con una réplica de la señal utilizada para ampliar la información.

MULTIPLEXACIÓN

- División de código porque la señal de ampliación se genera mediante un código aleatorio compartido entre el emisor y el receptor, propio de cada usuario del medio.
 - Salto de frecuencia (FH): la secuencia aleatoria (código) representa los valores de frecuencia de la portadora (FDM) que se van sucediendo en el tiempo (TDM).
 - Secuencia Directa (DS): la secuencia aleatoria (código) representa los valores de amplitud de la portadora que se van sucediendo en el tiempo.
- Aplicación: telefonía móvil celular: compartición del ancho de banda asignando a cada usuario de una zona de cobertura (célula), un código de ampliación distinto.
- WCDM: multiplexación por división de código en banda ancha, en la que las asignaciones de ancho de banda dentro de un canal pueden ser cambiadas de forma independiente.

MODULACIÓN

- Modificación sistemática de amplitud, frecuencia o fase de la señal (analógica o digital) en el medio físico, llamada *portadora*, por la señal que contiene la información, llamada *moduladora*.
- **Modulación en banda base:** las señales en el medio físico tienen las mismas frecuencias que las de la señal moduladora.
 - **Polar sin retorno a cero (NZR):** el uno y el cero se representan por un nivel de valor A y $-A$ elegido de un juego de señales $S1(t)$ y $S2(t)$.
 - **Manchester y Manchester Diferencial:** la representación del uno y el cero se realiza mediante la misma transición de niveles A y $-A$ o $-A$ y A . En Manchester Diferencial, el uno se representa sin transición inicial y el cero con transición inicial.
 - **Inversión de Marca Alternativa (AMI):** tres niveles, dos para el uno y uno para el cero.
 - **Duobinario:** tres niveles, pero utilizando criterios de paridad en la codificación del uno.

MODULACIÓN

- **Modulación en banda ancha:** combinaciones según las señales portadora y moduladora sean analógicas o digitales¹.
 1. **Moduladora analógica con portadora analógica:** las variaciones en la amplitud de la moduladora analógica afectan a:
 - La amplitud de la portadora \equiv **Modulación de amplitud (AM)**.
 - La frecuencia de la portadora \equiv **Modulación de frecuencia (FM)**.
 - La fase de la portadora \equiv **Modulación de fase (PM)**.
 2. **Moduladora analógica con portadora digital:** las variaciones en la amplitud de la moduladora analógica suponen cambios en los parámetros de la portadora digital:
 - Infinitos \equiv Parámetro continuo \Rightarrow las variaciones de amplitud de la moduladora afectan en la portadora digital a:
 - La amplitud \equiv **Modulación de impulsos en amplitud (PAM)**
 - La frecuencia \equiv **Modulación de impulsos en anchura (PDM)**
 - La fase \equiv **Modulación de impulsos en fase (PPM)**

¹. Moduladora digital con portadora digital no se utiliza

MODULACIÓN

- Finitos \equiv Parámetro discreto \Rightarrow **Modulación por impulsos codificados (PCM)**: cada valor de amplitud de la moduladora está representado en la portadora digital por una combinación de bits de tamaño fijo.
 - La señal moduladora se muestrea a una frecuencia doble de su ancho de banda (Nyquist)
 - A cada muestra se le asigna un nivel (cuantificación) discreto en un margen de valores con n-bits (2^n niveles posibles).

3. **Moduladora digital con portadora analógica**: dos opciones en cuanto a que la acción se realice “bit a bit” o “multibit”.

- **Bit a bit**: a cada estado de modulación de la portadora le corresponde un bit de información. Cada característica de la portadora analógica presenta dos posibles valores, uno de los cuales se asigna al “0” y otro a “1”.
 - **Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)**:
 - “0” de la portadora = amplitud nula
 - “1” de la portadora = amplitud máxima constante no nula a frecuencia fija.

MODULACIÓN

- ❑ **Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK):** existe un juego de frecuencias de la portadora senoidal para cada nivel lógico de la moduladora digital.
- ❑ **Modulación por desplazamiento de fase (PSK):** para cada nivel de la moduladora digital existe un juego de fases de la portadora analógica de frecuencia y amplitud máxima constantes.
- ❑ **Desplazamiento de fase binaria (BPSK):** no asigna cambio de fase al “0” en la portadora analógica, mientras que al “1” lo va alternando con valores de fase “0°” y “180°” en la portadora.
- **Multibit:** N valores de características de la portadora analógica (amplitud, frecuencia y fase) se asignan a combinaciones de n-bits de la moduladora digital.
 - ❑ **Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK):** asigna combinaciones de 2 bits de la moduladora digital a uno de cuatro valores de fase en la portadora analógica (0°, 90°, 180°, 270°)
 - ❑ **Modulación de amplitud de cuadratura (QAM):** asigna a las combinaciones de 4, 6 y 8 bits de la moduladora digital, valores de fase y amplitud en la portadora analógica.

MULTIPLEXACIÓN.MODULACIÓN:APLICACIONES

1. Redes de cable CATV y PLC

- Redes fijas de comunicación de uso público con cobertura superior a las MAN.
- Mercado: difusión de contenidos multimedia, servicios de acceso a Internet, transmisión de datos en banda ancha y telefonía fija.
- Plan de frecuencias que canaliza directamente el cable coaxial de TV dentro de su ancho de banda haciendo una partición para el canal de retorno (usuario-red) de 5 MHz a 50 MHz y en el canal de envío (red-usuario) de 55 MHz a 850 MHz.
- Topología: estrella
- Encamamiento: difusión
- Medio físico: fibra óptica en troncal y coaxial en la instalación \equiv red híbrida fibra-coaxial (HFC).

2. Redes de cable xDSL

- Redes fijas de uso público con cobertura MAN para telefonía analógica.
- Mercado:servicios de acceso a Internet y de transmisión de datos a través de los pares de abonado.
- Plan de frecuencias que canaliza directamente el par de cobre dentro de su ancho de banda (1,1 MHz) con particiones para el canal de voz (4 kHz), comunicación usuario-red y red-usuarios. Si las particiones son iguales \Rightarrow xDSL simétricas.
- Distancia abonado-central < 5 km.
- Opciones de acceso al lazo de abonado por otros operadores no dominantes: acceso indirecto, desagregado y compartido.

MULTIPLEXACIÓN.MODULACIÓN:APLICACIONES

3. Buses de campo

- Conexión serie digital que permite la transferencia de datos entre elementos primarios de automatización (instrumentos de campo), que realizan funciones de medida y control, y elementos de automatización y control de más alto nivel.
- Satisface los dos primeros niveles del modelo OSI (físico y enlace) y el último (aplicación), teniendo además un nivel que se ocupa de la gestión de los anteriores.
- Ventajas:
 - Bajo coste de instalación y mantenimiento.
 - Disminución del cableado.
 - Escalabilidad de red sencilla y económica.
 - Tiempo real.
 - Soportan un elevado tráfico de información elemental
 - Integridad de la transmisión con baja tasa de errores.
 - Posibilidad de redundancia en el medio.
 - Adecuados para la aplicación en entornos severos y peligrosos.

MULTIPLEXACIÓN.MODULACIÓN:APLICACIONES

- Buses de campo. Características
 - Mensajes cortos
 - Tpo.respuesta \in (100ms, 5 ms) = tiempo real
 - Fiabilidad alta
 - Distancias \in (200 m, 2 km). 1000 m sin repetidores.
 - Velocidad < 1 Mbps (fibra: 5 Mbps y 12 Mbps)
 - Medio físico: Cable de pares trenzados y apantallados, cable coaxial o fibra óptica.
 - Topología: Bus serie.
 - Tipo de modulación: Banda base
 - Método de acceso al medio: Fundamentalmente es centralizado por sondeo, aunque también se utilizan métodos distribuidos (paso de testigo) y probabilistas (contienda).
 - Número de equipos de proceso conectables: Variable (de 10 a 100) según el medio físico utilizado.

ACCESO AL MEDIO Y CAPA DE ENLACE

- Capa de Enlace (OSI)
 - Estructuración y sincronización de las tramas (PDU)
 - Detección de errores (bits erróneos)
 - Control de errores: detectar la recepción de tramas e implementar mecanismos de recuperación y reclamo.
 - Control de flujo.
 - Control de acceso al medio: control de colisiones.
- Subcapa LLC (Control de Enlace lógico) y Subcapa MAC (Control de Acceso al Medio).
- Servicios con/sin confirmación.
- Servicios orientados/no a conexión.
- Protocolos orientados a nodos: orientados a conexión con confirmación.
- Protocolos orientados a mensajes: sin conexión

ESTRUCTURA DE TRAMA

- **Trama:** Unidad básica de transmisión = secuencia de bits estructurada en campos.



- Sincronización de tramas:
 - Por tiempo: espacio inactivo entre tramas.
 - Por tamaño: campo de control para especificar el tamaño de la trama.
 - Por delimitadores: bits de inicio y final de trama.
- Los protocolos para entornos industriales tienen capacidad menor.
- Los protocolos especifican dos tipos de tramas:
 - De datos: transportan información en operación normal.
 - De control: etapas de configuración y parametrización. En operación normal: control de flujo y errores.

DETECCIÓN DE ERRORES

- **Códigos de palabras:** codifican las palabras de los datos a enviar con más bits de los necesarios que sirven para la detección de errores.
 - Bit de paridad: añadir “unos” hasta que el número total de “1” sea par o impar. No sirve para corregir.
 - Distancia Hamming (d_m) entre cualquier pareja de palabras del código:
 - Detecta t -errores □ $d_m = t+1$
 - Detecta y corrige t -errores □ $d_m = 2t+1$
 - Añade muchos bits redundantes y no es muy costoso por lo que no se utiliza en comunicaciones industriales.

DETECCIÓN DE ERRORES

- **Códigos de tramas:** aplican operaciones lógicas o algebraicas a todos los bits de la trama o a un subconjunto. El resultado se añade como campo de control de errores.
 - Códigos de secuencia de comprobación de tramas (Checksum): sumar el contenido de los bytes de la trama (sin delimitadores) y aplicar al resultado una operación binaria.
 - Códigos de comprobación de redundancia cíclica (CRC):
 - Sea una trama M de k -bits.
 - Se genera una secuencia F de n -bits.
 - Se envían una trama T de $(k+n)$ -bits que es exactamente divisible por un patrón P de $(n+1)$ -bits.
 - El receptor divide T/P y si el resto es 0 □ no hay error CRC detectan errores de 1 y 2 bits.
- Checksum y CRC se implementan con un registro de desplazamiento y lógica de puertas XOR

CONTROL DE ERRORES

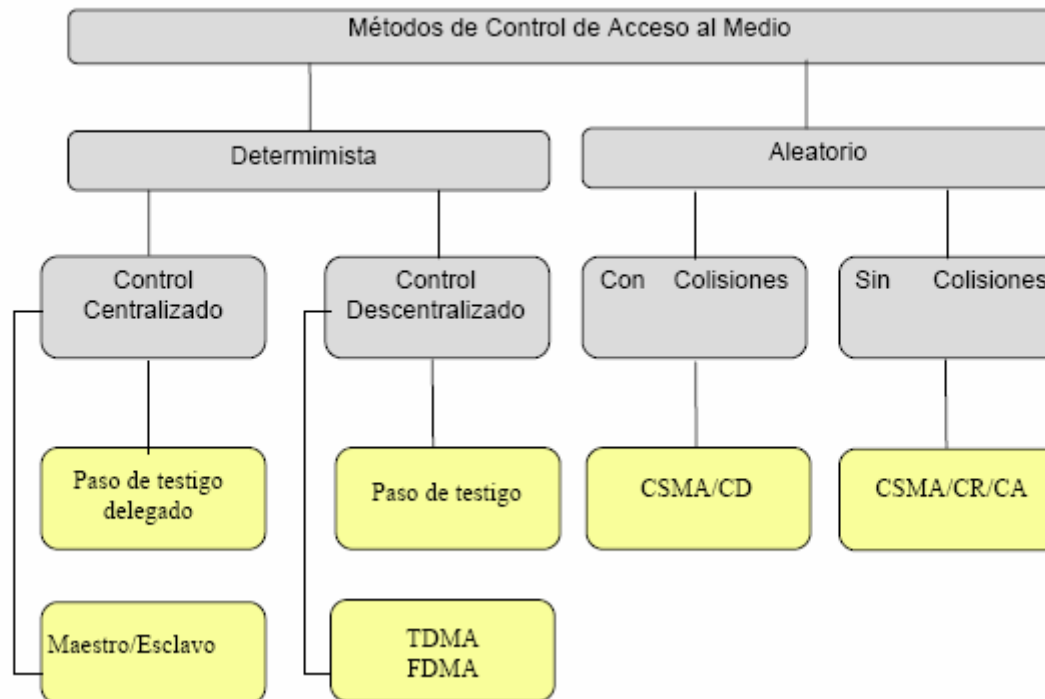
- En la transmisión de las tramas □ retransmisión
 - Trama perdida
 - Trama incorrecta
- Tipos de mecanismos para control de errores:
 - Pasivos:
 - Emisor envía datos y espera confirmación de recepción durante un tiempo fijo.
 - Si el receptor detecta error o no llegan, no transmite confirmación.
 - Si expira el tiempo máximo de confirmación □ retransmisión
 - Existen mecanismos para detectar en recepción mensajes ya recibidos cuando hay problemas con la confirmación.
 - Tiempo máximo de confirmación fijo; no sirve para difusión broadcast.
 - Activos (PAR): técnicas de solicitud de repetición automática.
 - Señalización de errores (protocolos orientados a mensajes que se desconoce el receptor): el receptor, al detectar un error, transmite un mensaje de error que será visto por el emisor, que comienza la retransmisión.

CONTROL DE FLUJO

- Estrategia para asegurar que el emisor no satura al receptor.
- Evitar desbordamiento de búfer y/o sobre escritura de datos del búfer.
- Mecanismos Pasivos:
 - “Para y Espera”: el emisor envía un mensaje y no envía otro hasta que no recibe confirmación positiva.
 - Ventana deslizante: transmisión y confirmación de mensajes por grupos.
 - Apropriados para protocolos orientados a nodo.
 - Los mecanismos pasivos de control de errores hacen también el control de flujo.
- Métodos Activos: el receptor envía un aviso cuando detecta la sobrecarga.
 - Apropriados para protocolos orientados a mensaje.

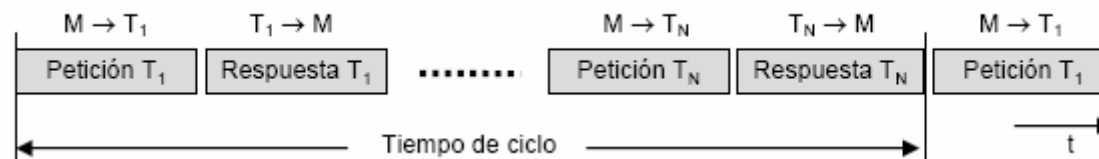
CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

- Métodos para arbitrar qué emisor accede al medio en cada momento y evitar colisiones.
- En sistemas de comunicaciones industriales:



CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

- **Maestro/esclavo:** Determinista. Control centralizado. El nodo maestro consulta de forma cíclica al resto de nodos esclavos. Modo petición-respuesta.

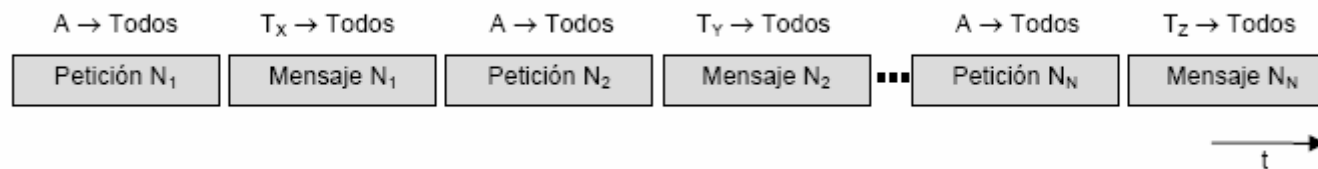


Latencia máx = f(long.trama, velocidad, n°esclavos)

- 👍 Simplicidad
- 👍 Determinismo sobre el tiempo máximo de latencia
- 👎 Se consulta a todos los esclavos, aunque no lo requieran.
- 👎 Si falla el maestro, el sistema falla.
- 👎 Toda la comunicación pasa por el maestro.
- 👎 Existen protocolos que dividen el tiempo de ciclo en dos subciclos y en el segundo se permite comunicación esclavo-esclavo.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

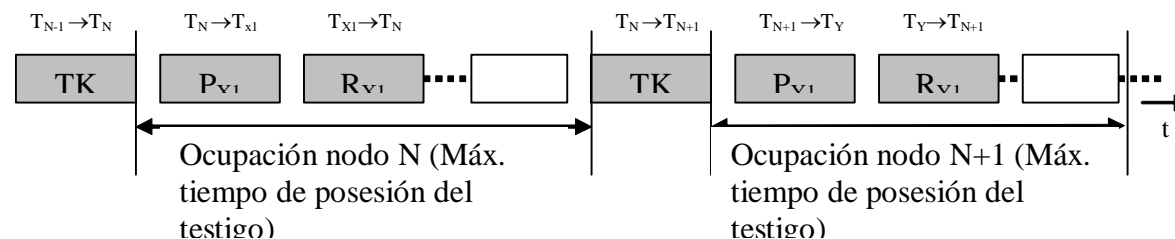
- **Paso de testigo delegado:** Determinista. Control centralizado. El nodo maestro transmite un mensaje de petición (testigo) con el identificador del nodo al que se delega el acceso al bus (variable). Al acabar, el control vuelve al maestro. El maestro consulta las variables según una planificación temporal prefijada.



- 👉 Permite intercambio arbitrario entre nodos.
- 👉 Si falla el maestro, el sistema falla.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

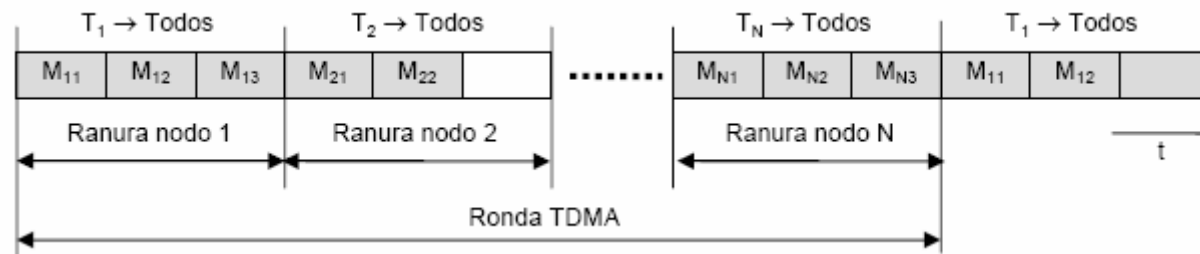
- **Paso de testigo:** Determinista. Control descentralizado. El derecho de acceso al bus se pasa de nodo a nodo a través de la transmisión de un mensaje específico, llamado testigo. El nodo que tiene el testigo transmite durante un tiempo fijo (de posesión de testigo). Al acabar el tiempo o los datos, el testigo se pasa al nodo siguiente.



Latencia máx = f(tiempo de posesión de testigo, n°nodos)

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

- **Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA):** Determinista. Control descentralizado. Se reservan ranuras temporales exclusivas a los nodos, según una planificación temporal predefinida. En cada ranura se pueden enviar un número máximo de mensajes y, si no hay más datos, el resto del tiempo se desperdicia. Es un sistema productor/consumidor sincronizado orientado al mensaje.

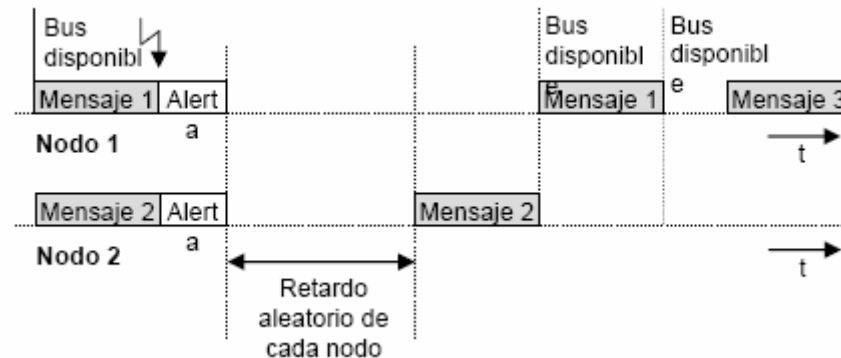


Latencia máx = $f(\text{n}^\circ \text{mensajes, velocidad, n}^\circ \text{nodos})$

- FDMA: similar pero en lugar de hacerse ranuras temporales, se hacen bandas de frecuencia.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

- **CSMA/CD:** Aleatorio con colisiones. Todos los nodos tienen el mismo derecho de acceso al bus, por lo que hay que detectar y resolver las colisiones. En este protocolo, se introducen en los nodos tiempos de espera aleatorios antes de la retransmisión.



- Para entornos industriales: protocolo Ethernet industrial. Hay varios mecanismos para mejorar el determinismo: usar un protocolo maestro/esclavo por encima, aumentar la velocidad de transmisión, controlar la carga del bus, utilizar conmutadores, prioridades, ranuras temporales.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

- **CSMA/CR/CA:** Aleatorio sin colisiones. Se evita la colisión gracias a una fase previa de arbitraje en la que se determina que el nodo con más prioridad gana el acceso al bus.

EVALUACIÓN DE REDES

- Los protocolos de comunicaciones para entornos industriales tienen que proporcionar latencias deterministas en el tiempo de transmisión de mensajes.
- Latencia = f(estructura de trama, velocidad, n° nodos, método de control de acceso al medio) □ evaluar los protocolos.
- La codificación de las tramas determina el rendimiento:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{bits útiles}}{\text{bits enviados}}$$

EVALUACIÓN DE REDES

- Los protocolos de comunicaciones para entornos industriales tienen que proporcionar latencias deterministas en el tiempo de transmisión de mensajes.
- Latencia = f(estructura de trama, velocidad, n° nodos, método de control de acceso al medio) □ evaluar los protocolos.
- La codificación de las tramas determina el rendimiento:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Bits útiles}}{\text{Bits enviados}}$$

- Otros parámetros:

$$\text{Tpo. propagación} = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad de propagación}}$$

$$\text{Tpo. transmisión} = \frac{\text{n° bits}}{\text{velocidad de transmisión (bps)}}$$

CONCLUSIONES

- Un correcto diseño de red implica conocer los distintos medios físicos existentes para poder seleccionarlos adecuadamente en función de la aplicación.
- Los mecanismos de multiplexación y modulación son necesarios para convertir señales analógicas en digitales y viceversa surge cuando se tienen que enviar señales digitales a través de redes analógicas.
- Los mecanismos de acceso al medio para entornos industriales tienen que ser deterministas.
- Necesitan control y detección de errores y control de flujo para garantizar fiabilidad y eficiencia.