

Tiempo Real en Redes de Comunicaciones

1. Conceptos Básicos de Redes de Comunicaciones

-Definiciones. Componentes. Características.
Topología. Medio físico. Modelos de
Comunicación.

2. Sistemas de Comunicaciones de Nivel Bajo

-Introducción a los buses de campo. Bus AS-I.

3. Sistemas de Comunicaciones de Nivel Medio

-Bus Profibus.

4. Sistemas de Comunicaciones de Nivel Alto

-Tiempo Real en Ethernet.

1. CONCEPTOS BÁSICOS DE REDES DE COMUNICACIONES

1.1. Introducción

Definición. Clases de redes y aplicaciones. Componentes básicos. Características.

1.2. Topología de Redes

Influencia. Tipos.

1.3. Medio Físico

Tipos. Control de acceso al medio. Modos de transmisión.

1.4. Modelos de Comunicación

Modelos de la comunicación. Modelo OSI. Modelo MAP/TOP.

1.1. INTRODUCCIÓN

Definición:

- Soporte de comunicación para la interconexión de dispositivos, con varios objetivos:
 - Compartir recursos hardware (p.ej.: impresoras, discos, tarjetas de E/S, etc.).
 - Compartir recursos software (p.ej.: compiladores, bases de datos, cpus, etc.).
 - Mejorar la eficiencia de aplicaciones mediante la distribución.
- Cuando existen dispositivos interconectados y *autónomos*, existe un sistema distribuido.

Clases de Redes de Comunicaciones:

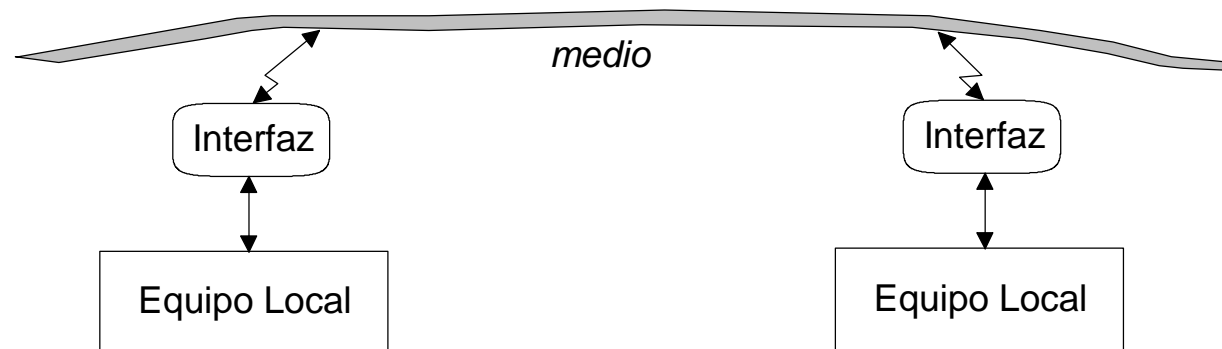
- Bus de circuito impreso*. Interconecta distintos circuitos integrados en una o varias placas de circuito impreso. Usado cuando una función no puede ser implantada mediante un circuito integrado (p.ej.: tarjetas de vídeo, placas madre de ordenador).
- Bus de campo*. Interconecta distintos dispositivos de adquisición de datos y de control de sensores y actuadores, usualmente en entornos industriales. Optimizados para el tiempo real.
- Red de área local (LAN)*. Interconecta sistemas (usualmente ordenadores) en un área restringida (0,1 Km a 10 Km).
- Red de área extendida (WAN)*. Interconecta varias LANs en un área usualmente nacional.
- Red de área global*. Interconecta varias WANs (p.ej.: internet).

Aplicaciones de las Redes de Comunicaciones:

- Automatización de oficinas.
- Control de procesos.
- Procesamiento distribuido.

Elementos de una Red:

- Medio físico de transmisión*: pista impresa, cable coaxial, par trenzado, fibra óptica, canal de radio, vía satélite, etc.
- Protocolos de comunicación*: de acceso al medio, de enlace con otros interfaces, de acceso a la red, de supervisión de comunicaciones, etc.
- Dispositivos interconectados*: ordenadores, circuitos integrados, autómatas, etc.
- Dispositivos auxiliares*: tarjetas de red, puentes, pasarelas, repetidores, concentradores, etc.



1.2. TOPOLOGÍAS DE RED

Definición:

-Configuración geométrica de las conexiones entre los elementos de la red.

-La topología condiciona:

- a) Flexibilidad para añadir o quitar elementos a la red.
- b) Repercusión de los fallos en el comportamiento de la red.
- c) Flujo de información que puede transitar sin interferencias, y retardos que pueden aparecer.

-Topologías más típicas: *estrella*, *anillo*, *bus*.

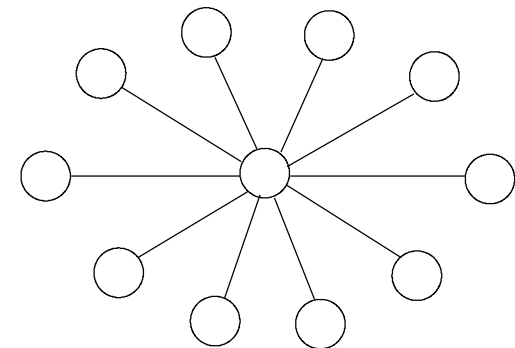
Redes en Estrella:

-Un nodo central controla todas las comunicaciones.

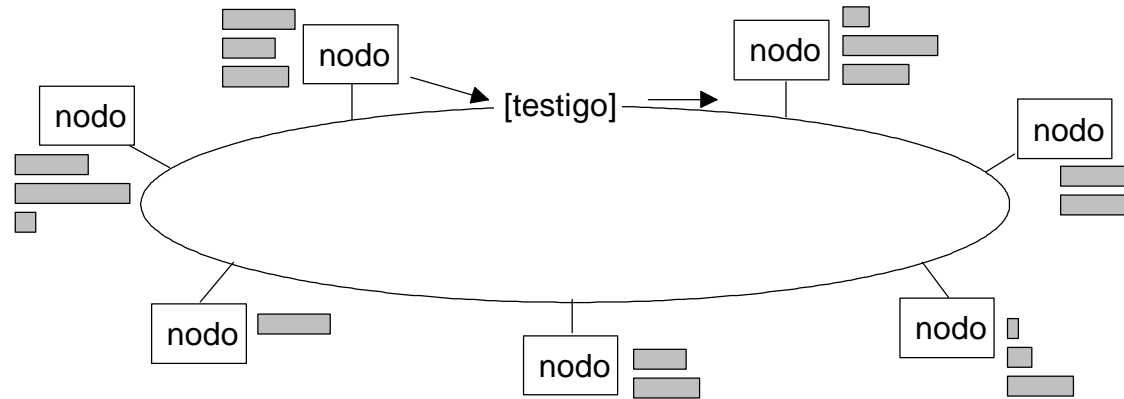
-Buena a).

-Buena b) excepto si falla el nodo central.

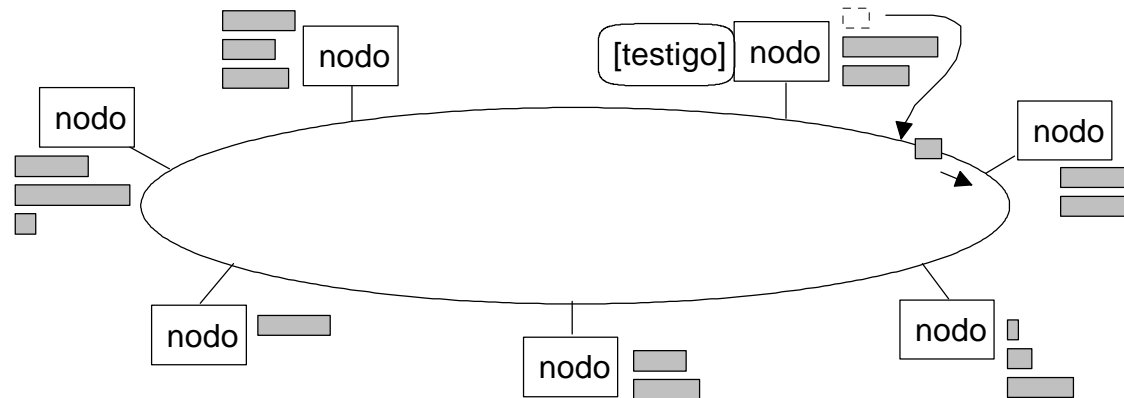
-Buena c) porque existen cables dedicados para cada nodo.



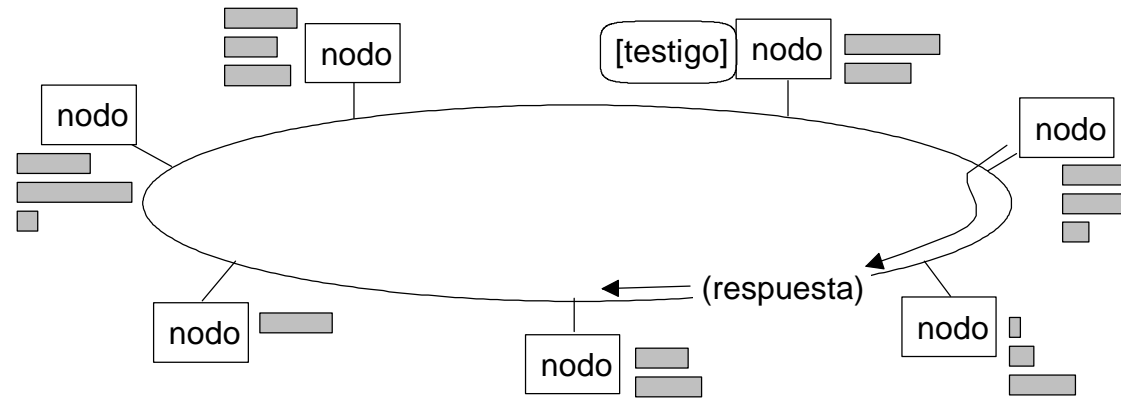
-Paso de testigo en anillo (recomendación IEEE 802.5):



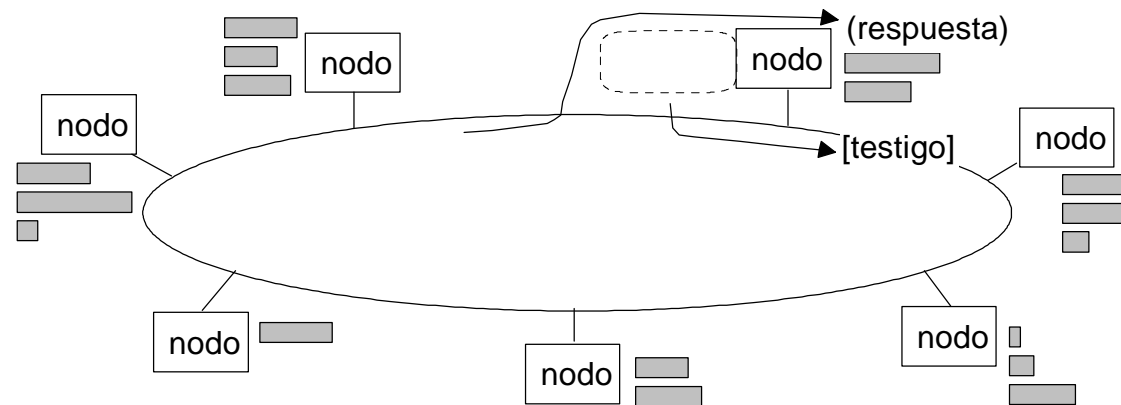
a) Paso de testigo



b) Transmisión de mensajes por el medio físico



c) Recepción de mensajes y transmisión de respuesta por el medio físico



d) Recepción de respuesta y liberación del testigo por el medio físico

-*Variante*: mensaje de respuesta con indicación de prioridad y reserva, para liberar el testigo hacia el que haya reservado y tenga mayor prioridad.

-Paso de testigo en bus (recomendación IEEE 802.4):

-Igual que en anillo, pero la existencia de un anillo lógico implica la reestructuración de las direcciones lógicas en caso de incremento o decremento de nodos conectados al bus.

-Además, los mensajes no pasan de uno a otro, sino que están simultáneamente disponibles en todo el bus -> el testigo debe contener la dirección lógica del destino.

-Retardo de transmisión sólo depende de la velocidad del medio, no del número de nodos.

-Características de los métodos de control de acceso por paso de testigo:

-Eficientes cuando hay gran cantidad de datos, ya que la coordinación entre nodos requiere poco esfuerzo.

-Proporcionan reparto equitativo del acceso al medio.

-Evitan interferencias entre estaciones.

-Interfaces con el medio baratos.

-Se puede acotar el tiempo máximo de posesión del testigo -> de posesión del medio.

-Sin restricciones en los accesos durante la posesión del testigo.

-Permiten conectar nodos de muy diverso tipo.

Control de acceso por Contienda (CSMA/CD, IEEE 802.3):

-Cada nodo usa el medio físico cuando lo desee. Los conflictos que aparezcan se resuelven en el momento en el que ocurren.

-CSMA: *Carrier Sense Multiple Access*. Cada nodo mira el medio físico cuando quiere usarlo. Si no está siendo utilizado por nadie, lo usa. Si está ocupado, espera hasta que sea liberado.

Problema: la velocidad de transmisión es finita -> más de un nodo puede ver libre el medio físico y usarlo al mismo tiempo. El problema puede detectarse al no recibir respuesta tras la transmisión (grandes retardos).

-CD: *Collision Detect*. Cada nodo es capaz de detectar que se ha producido una colisión durante su transmisión. En ese caso, espera un tiempo aleatorio y vuelve a intentar tomar posesión del medio.

Modos de transmisión por el medio físico:

-Banda Base.

- Las señales eléctricas se transmiten sin modular, usando ondas cuadradas de dos estados eléctricos para diferenciar los dos valores binarios.
- Interfaces de conexión al medio físico simples y baratos.

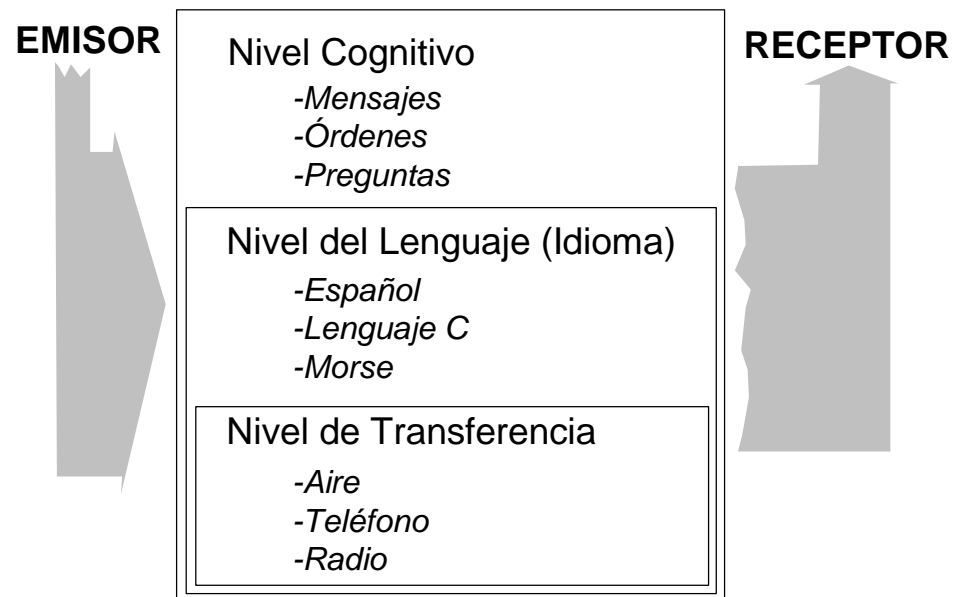
-Banda Ancha.

- Las señales eléctricas se transmiten moduladas.
- Interfaces de conexión al medio físico complejos (módems).
- Posibilidad de utilizar más de un canal en el mismo medio físico, mediante multiplexación en frecuencia (p.ej.: TV).
- Se necesitan canales distintos para emisión y recepción.
- Alta velocidad de transmisión y fiabilidad.

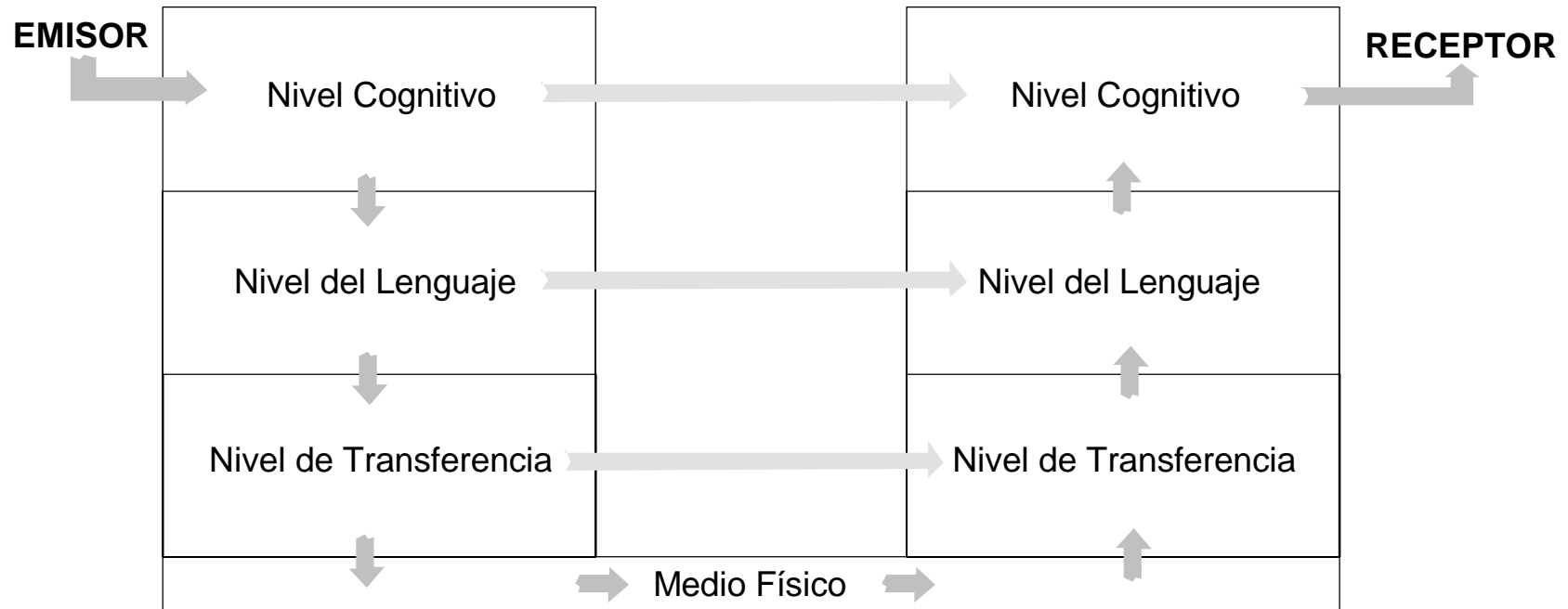
1.4. MODELOS DE COMUNICACIÓN

Modelos Genéricos de la Comunicación:

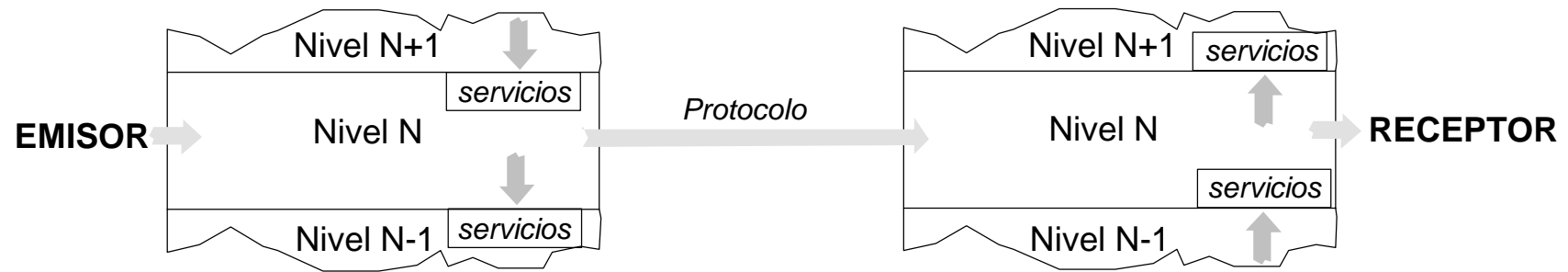
-Modelo genérico de comunicación:



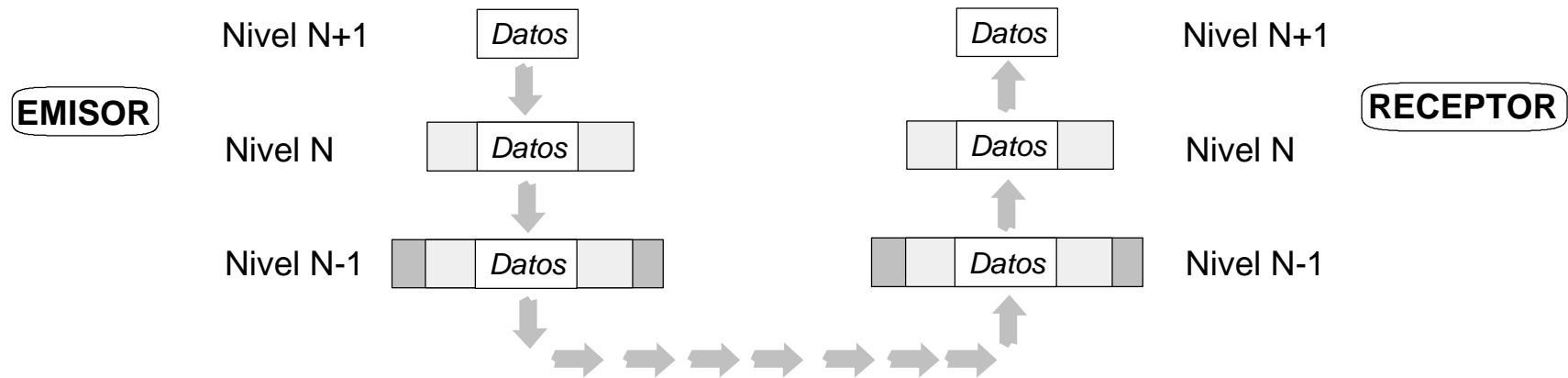
-Modelo genérico de comunicación con niveles:



-Comunicaciones virtuales por nivel:

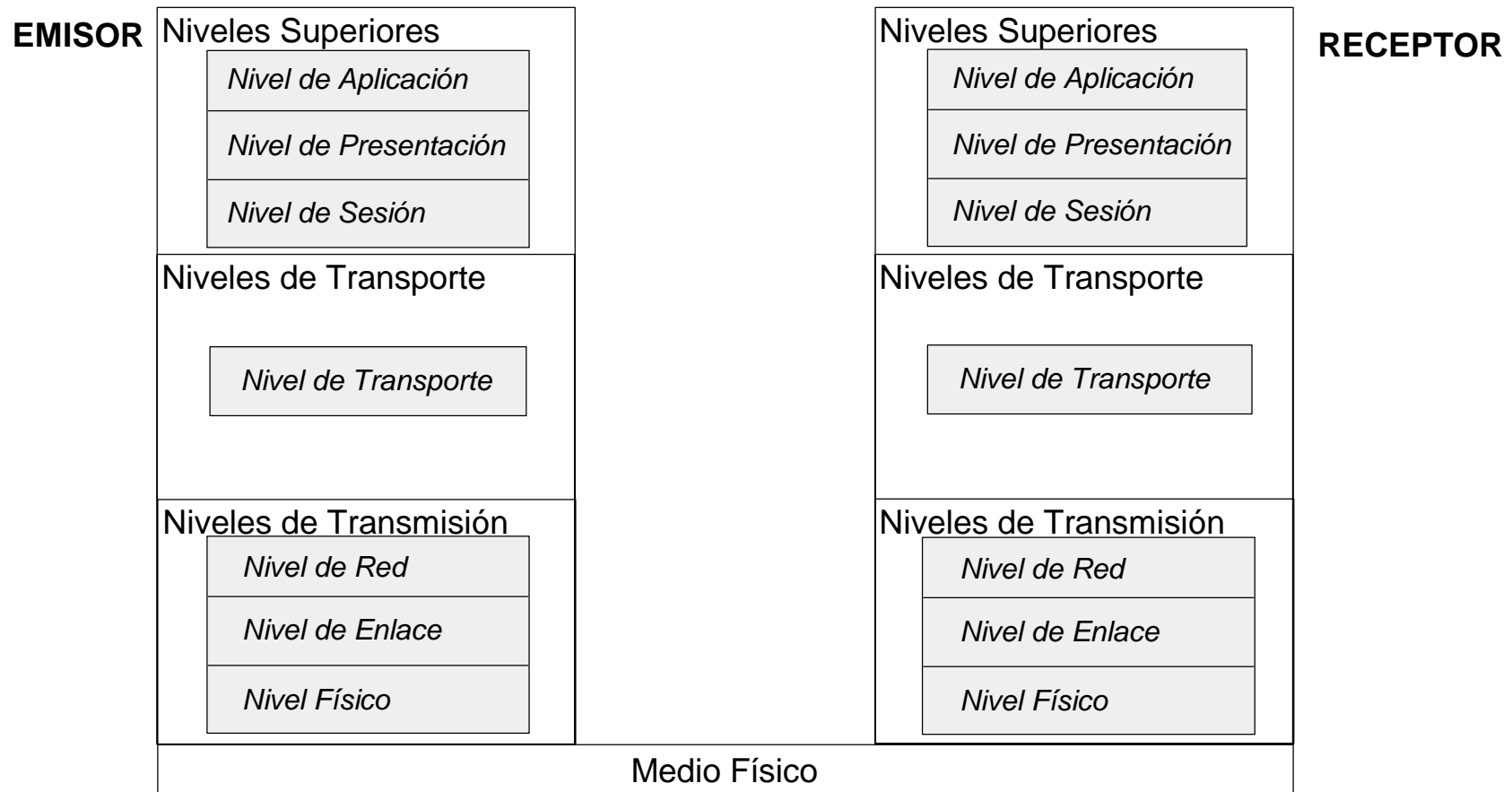


-Flujo de datos por nivel (encapsulamiento de paquetes):



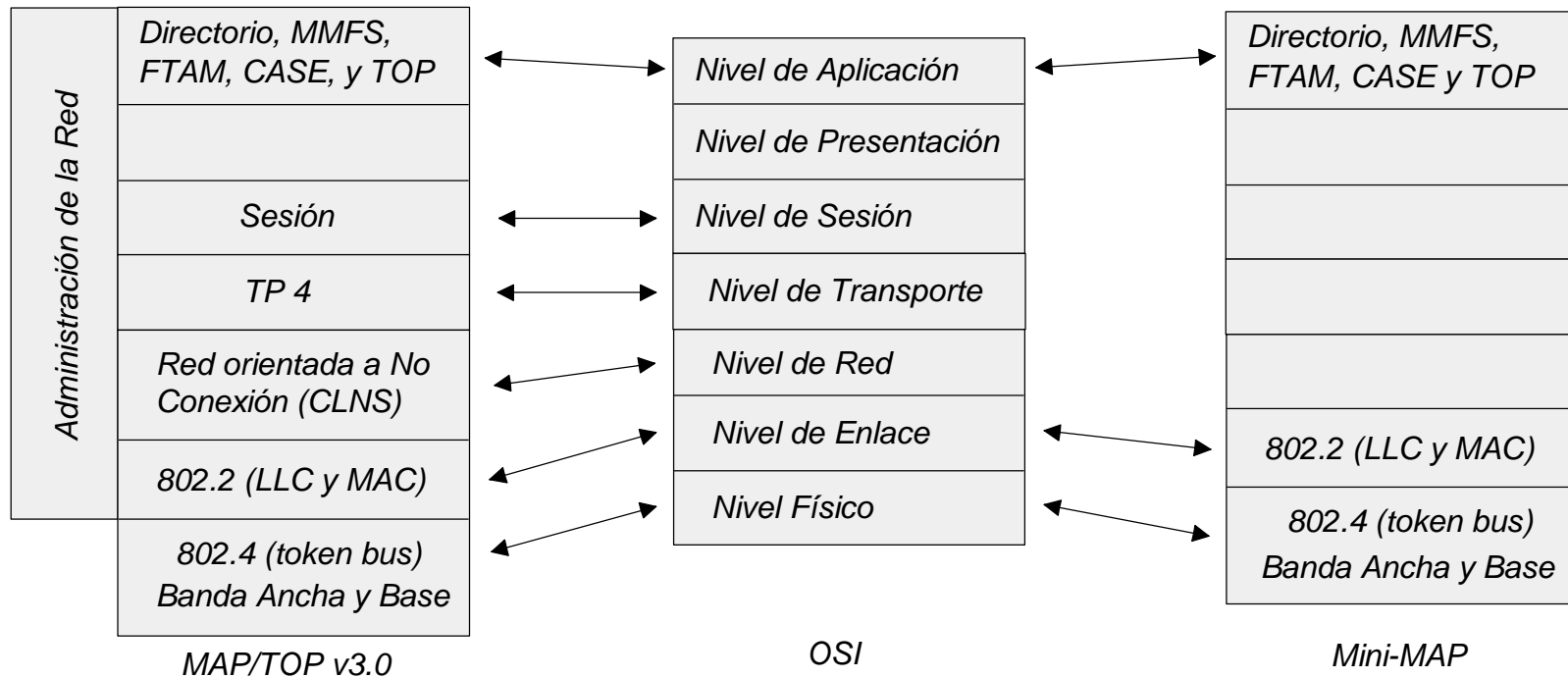
Modelo OSI:

Modelo OSI (Open System Interconnection) de ISO (International Standards Organization) para las comunicaciones:



Modelo MAP/TOP:

- Modelo para aplicaciones en entornos de fabricación (MAP - Manufacturing Automation Protocol) y de oficinas (TOP - Technical and Office Protocol).
- Una versión de MAP (EPA) está siendo usada para la industria de control de procesos.
- Ethernet (802.3 para CSMA/CD) está siendo incluida en el estándar.



2. SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE NIVEL BAJO

2.1. Introducción a los Buses de Campo

Buses de Campo. Definición. Ventajas. Tipos de datos utilizados. Perfiles de Dispositivos. Métodos de Comunicación.

2.2. Bus AS-i

Características generales. Ventajas. Estructura Interna.

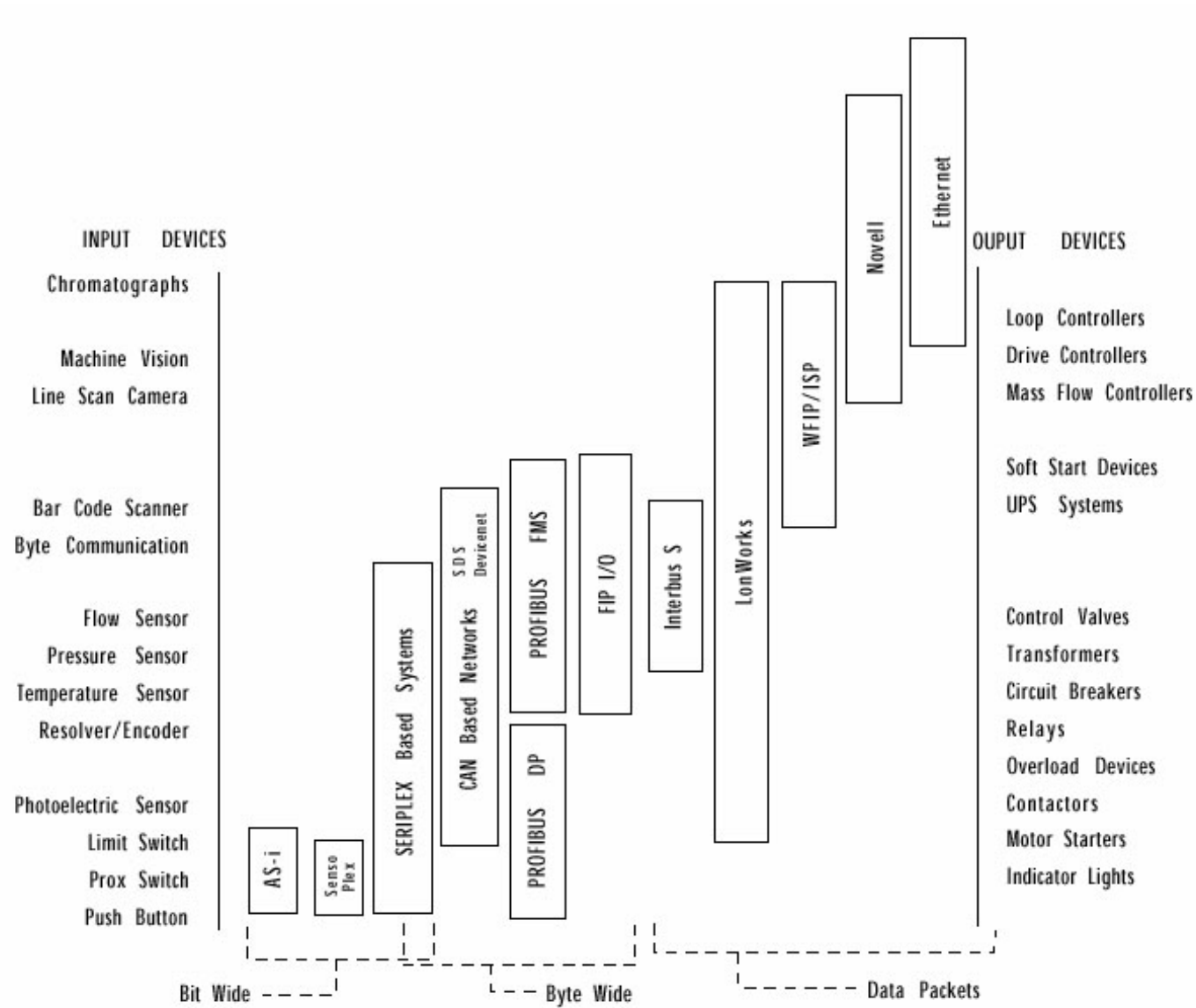
2.1. INTRODUCCIÓN A LOS BUSES DE CAMPO

Bus de Campo:

- Sistema de comunicaciones que interconecta distintos dispositivos de adquisición de datos y de control de sensores y actuadores, usualmente en entornos industriales.
- Se usan normalmente para transmitir información entre sistemas de automatización (ordenadores, autómatas, etc.) y dispositivos de campo (sensores, actuadores, etc.).

Ventajas:

- Reducción del número de cables respecto a sistemas de comunicaciones clásicos.
- Robustez frente a interferencias y ruidos.
- Fácil ampliación de componentes.
- Conectividad de componentes muy diversos.
- Comunicaciones en tiempo real.



Tipos de datos que transitan por un bus de campo:

-*Datos de Proceso*. Son señales que actúan directamente sobre el sistema controlado (válvulas, variables de proceso, controladores, etc.). Deben ser muestreados y/o actualizados cíclicamente y en tiempo real.

-*Parámetros o Mensajes*. Datos que ajustan, monitorizan y programan dispositivos inteligentes. No necesitan un muestreo cíclico continuo, sino por demanda. Paquetes de datos más grandes que en el caso anterior.

Perfiles de Dispositivos:

-Descripción completa de un dispositivo utilizando sus datos de proceso y/o los parámetros y mensajes implicados.

-Ejemplos: módulos de E/S digital, módulos de E/S analógica, servomecanismos, control de motores, controladores de posición, controladores de robots, etc.

Métodos de Comunicación:

- Strobe*. Petición de información por parte de un dispositivo maestro y envío por parte de dispositivos esclavos. Ejemplo: sensores.
- Polling*. Envío de salidas a los esclavos y recepción de entradas de los mismos.
- Cambio de estado*. El dispositivo no transmite información hasta que no cambia de estado internamente. Ejemplo: sistemas discretos.
- Cíclico*. El dispositivo envía datos a la red en un tiempo prefijado, cíclicamente.
- Configuración*. Métodos para transmitir información de configuración de los dispositivos.
- Programación*. Métodos para transmitir programas para los dispositivos programables.
- Test*. Métodos para comprobar el bus y los dispositivos conectados.

2.2. BUS AS-i (Actuator/Sensor-Interface)

Características Generales:

- Sistema de transmisión de datos y órdenes estándar a sensores y actuadores.
- Desarrollado en Alemania y actualmente implantado por numerosas empresas europeas.
- La asociación AS-I homologa los productos que se adhieren al estándar de conexión, que deben ir asociados a un perfil funcional.



Ventajas:

- Permite una fácil descentralización de las funciones inteligentes relacionadas con sensores y actuadores.
- Cableado sencillo entre los dispositivos.
- Fácil mantenimiento de las conexiones.
- Modularidad.
- Modificaciones del sistema con coste reducido.

Estructura Interna:

- Bus para sensores y actuadores del tipo todo o nada.
- Topología libre (línea, anillo, estrella, árbol, etc.).
- Tiempo máximo de respuesta de menos de 5ms para un máximo de 31 dispositivos conectados.
- Posible conexión a autómatas programables o a buses de nivel superior (p.ej., Profibus).
- El bus se gestiona desde un equipo maestro (p.ej.: módulo de un autómata) conectado a dispositivos esclavos (sensores/actuadores).
- Máximo de 31 esclavos para un maestro.
- Un único cable autocicatrizante que porta señales y alimentación.
- Velocidad de transferencia de datos de 167 Kbits/seg.
- Longitud máxima de un segmento de red: 100 metros. Ampliable mediante repetidores.
- Cualquier dispositivo puede ser cambiado por otro con el mismo perfil:
 - Perfiles de dispositivos maestros:
 - De lectura/escritura de entradas/salidas.
 - De modificación de parámetros de los esclavos.
 - De testeo del bus.
 - Perfiles de dispositivos esclavos: constan de identificador más configuración de entrada/salida.

3. SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE NIVEL MEDIO

3.1. Bus Profibus

Características generales. Características técnicas. Tipos de Profibus.

3.2. Profibus-DP

Características.

3.3. Profibus-FMS

Características.

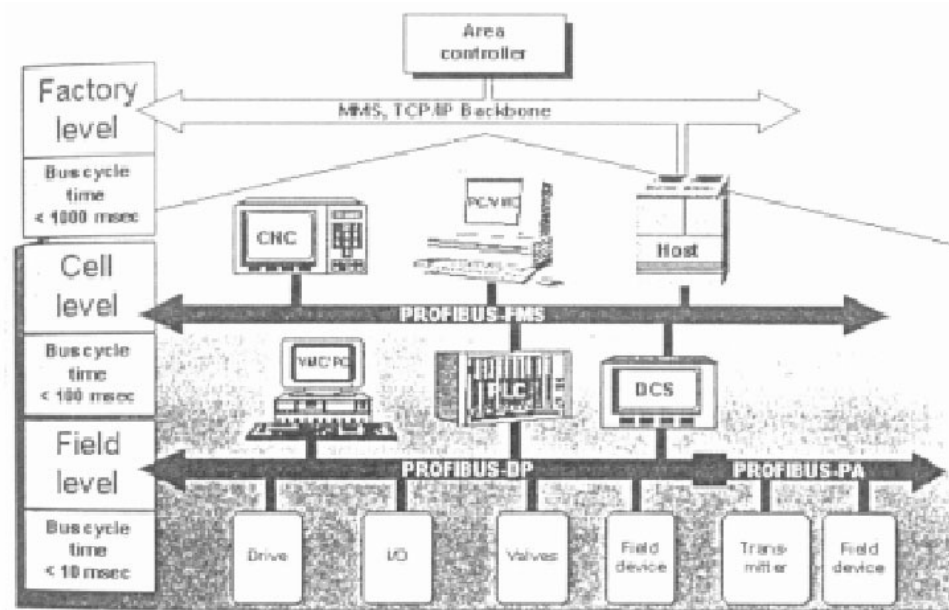
3.4. Profibus-PA

Características.

3.1. BUS PROFIBUS

Características Generales:

- Creado por un conjunto de empresas entre 1987 y 1990, y asociado a la norma DIN 19245.
- Actualmente consta de tres partes o tipos de bus: FMS, DP y PA.
- Muy extendido por todo el mundo y sobre todo por Europa.
- Permite interconexión de máquinas desde nivel bajo (sensores, actuadores) hasta nivel medio-alto (ordenadores, autómatas, etc.).



Características Técnicas:

- Método de acceso al medio mediante paso de testigo.
- Velocidad de transferencia máxima de 12 Mbit/seg.
- Medio de transmisión eléctrico (par trenzado apantallado) u óptico (fibra óptica).
- Máximo número de dispositivos: 126.
- Amplitud de cobertura: 9'6 Km eléctrico, >100 Km óptico.
- Topología: línea, árbol, estrella, anillo.

Tipos de Profibus:

- Profibus DP (Periferia Descentralizada)*. Tiempos de reacción pequeños; pequeñas cantidades de datos a transferir; aplicación a equipos de campo (sensores, actuadores, etc.).
- Profibus FMS (Especificación de Mensajes para Bus de Campo)*. Interconexión de autómatas, supervisores de procesos, PCs, etc.; comunicación orientada a objetos; aplicación a nivel de celda de fabricación.
- Profibus PA (Automatización de Procesos)*. Conexión de equipos en entornos peligrosos bajo autómatas programables, PCs, etc.; datos y alimentación en un único cable; seguridad de las comunicaciones; aplicación a niveles de campo y celda.

4. SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE NIVEL ALTO

4.1. Introducción a redes IP.

4.2. Protocolos para tiempo real en redes IP.

Protocolo RTP. Protocolo RTPC. Protocolo RTSP.

4.3. Servicios de tiempo real en redes IP.

*Servicios Diferenciados. Servicio Premium. Servicio Asegurado.
Servicio Olímpico.*

4.4. Enrutamiento con calidad de servicio en redes IP.

Tecnología MPLS.

4.5. Ingeniería del Tráfico.

Encaminamiento con restricciones.

4.1. INTRODUCCIÓN A REDES IP

-Ethernet fue inventada en 1970 por Xerox y estandarizada en 1978 por Xerox, Intel y DEC.

-Existe una norma que la describe: IEEE 802.3.

-Ethernet consiste básicamente en el medio físico y en el método de acceso al medio (CSMA/CD), por lo tanto sólo ocupa los niveles físico y de enlace en el modelo OSI.

-Velocidad de transmisión de 10 Mbps, y actualmente de 100 Mbps.

-Topología de bus: todos los interfaces reciben las transmisiones efectuadas a través del bus y seleccionan los paquetes que deben ser pasados a la computadora, descartando los demás.

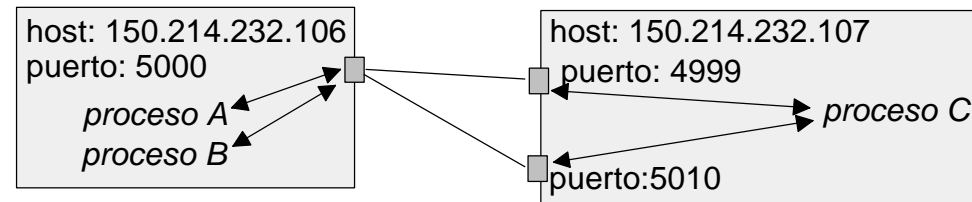
-A cada interfaz ethernet le es asignada, en el momento de su fabricación y de manera única, una dirección entera de 48 bits conocida como dirección ethernet o dirección física (distinta de dirección IP).

Protocolos de nivel de red (IP, IPv6):

- A nivel de red, las comunicaciones se basan en paquetes (también llamados *datagramas*).
- IP permite enviar paquetes especificando la forma deseada de enrutado: por la vía menos congestionada, por la vía más corta, o por la vía más segura, sin garantizar que eso vaya a cumplirse.
- Permite especificar el número máximo de nodos que visita un paquete antes de eliminarlo.
- Longitud máxima de un paquete: 64Kb.
- El protocolo IPv4 o simplemente IP (Internet Protocol) asigna a cada máquina una o varias direcciones únicas de 4 bytes, expresables en notación punto (p.ej.: 150.214.232.107).
- Clases de direcciones IP (división según red y nodo):
 - Clase A. 7 bits para red, 3 bytes para el nodo -> 128 redes con 16 millones de nodos c.u.
 - Clase B. 14 bits para la red, 2 bytes para el nodo -> 16384 redes con 65536 nodos c.u.
 - Clase C. 21 bits para la red, 1 byte para el nodo -> 2 millones de redes con 256 nodos c.u.
 - Clase D. 28 bits para multicasting. Clase E. 27 bits reservados para uso futuro.
- El campo nodo puede rellenarse todo a 0 (para referirse a la red) o todo a 1 (para hacer broadcast a todos los nodos de la red).
- El campo red puede rellenarse todo a 1 para indicar la red a la que el nodo que hace la operación pertenece. El campo de red se solicita al NIC (Network Information Center).
- La dirección especial 127.0.0.0 hace un loopback sin acceder a la red (se usa para testeo).
- Principal inconveniente del protocolo IP: las direcciones IP son limitadas.
- Solución: IP *next generation*, actualmente IPv6. Provee: 128 bits para direcciones, soporte para transmisión de vídeo en tiempo real, y mejoras en las características ya existentes en IPv4.

Protocolo de nivel de transporte (TCP):

- El protocolo TCP (Transport Control Protocol) permite establecer conexiones seguras (sin pérdida ni duplicación de datos) entre nodos.
- Puede implantarse sobre IP o sobre otros protocolos de red.
- El flujo de datos a través de una conexión puede verse como un flujo ordenado de bytes, llamado *circuito virtual*.
- El usuario emisor envía datos hacia una conexión TCP, en trozos de longitud variable. El protocolo los recibe y los almacena hasta alcanzar un tamaño dado (normalmente, un datagrama), y luego los envía al destino. El trozo de bytes que pueden almacenarse se llama *segmento*.
- Hay mecanismos para forzar a enviar el segmento antes de que haya sido rellenado.
- Las conexiones son full-dúplex (emisión y recepción independientes).
- Se permiten múltiples destinos u orígenes (procesos) en una misma conexión.
- En cada nodo de red se pueden definir puntos extremos de conexión a los que pueden referirse los procesos remotos para establecer conexiones. Un punto extremo consta de la dirección IP del nodo más un número de puerto. Una conexión se define como una pareja de puntos extremos (en la misma máquina o no). Varias conexiones pueden referirse a los mismos extremos, independientemente.



-Mecanismos para control de flujo y de errores:

-El emisor envía un segmento y activa un temporizador.

-El receptor recibe el segmento y envía una señal de reconocimiento.

-Si el emisor no recibe la señal de reconocimiento en un tiempo máximo, reenvía el segmento.

-Esta técnica puede ser enriquecida con un pipeline para aprovechar el ancho de banda de la red (técnica de la ventana deslizante).

-El tamaño de la ventana puede hacerse dinámico mediante sincronizaciones entre el emisor y receptor referentes al número de bytes que aún pueden enviar/recibir.

-Los segmentos contienen un número de secuencia que permite reconstruirlos en el orden adecuado en el nodo receptor.

-Para evitar la congestión en la red, los nodos usan temporizadores para monitorizar la tasa de datos presentes en ella, y ajustan sus parámetros a ésta. Por ejemplo, un gateway puede imponer un retardo grande que haga que los nodos que emiten hacia allí dejen de hacerlo por un tiempo.

4.2. PROTOCOLOS PARA TIEMPO REAL EN REDES IP

Protocolo de Transporte en Tiempo Real(RTP):

- El emisor fija una marca de tiempo en cada paquete indicando cuándo se debe reproducir.
- El receptor usa las marcas de tiempo para reproducir los datos con las mismas características temporales que usó el emisor.
- Las marcas de tiempo también se usan para sincronizar distintos flujos de datos (sonido + vídeo)
- La sincronización no la realiza RTP, sino el nivel de aplicación.
- RTP funciona sobre UDP.
- Son necesarias marcas de secuencia para recomponer el orden de los paquetes.
- Agrega información sobre el formato de los datos, la codificación y compresión empleadas, y la identificación de la aplicación origen del flujo.

Protocolo de Control de Tiempo Real (RTCP):

-Protocolo acompañante del RTP para controlar la sesión.

-Tipos de paquetes RTCP:

-Informes del Receptor. Los receptores los envían para informar de la calidad de recepción (paquetes recibidos, perdidos, marcas de tiempo, etc.).

-Informes del Emisor. Incluyen calidad de emisión, contadores de paquetes enviados, sincronización entre diferentes medios (audio, vídeo,...), etc.

-Otros. Descripciones de las fuentes de datos, indicaciones de fin de participación, funciones específicas de las aplicaciones, etc.

-Servicios de RTCP:

-Monitorización de la calidad del servicio y control de congestión. Permite a todos conocer la calidad de las transmisiones y ajustarse a la misma.

-Identificación de fuente. Identificación del usuario y de la aplicación (nombre, etc.).

-Escalado de información. Posibilidad de cambiar la frecuencia de las comunicaciones RTCP para redes muy congestionadas (límite de uso de RTCP: 5% del tráfico total).

Protocolo de Flujos (*Streaming*) de Tiempo Real (RTSP):

- Permite dividir flujos de datos en trozos que pueden procesarse mediante pipelining para no esperar a la recepción completa.
- Se usa para transmisión de contenidos multimedia en tiempo real.
- Permite el acceso secuencial a los trozos del flujo: pausa, rebobinado, avance rápido...
- Métodos que permite: configuración de cliente y servidor, recuperación de información sobre un flujo, envío de datos, pausas, reconexión a otro servidor, grabación, etc.

4.3. SERVICIOS DE TIEMPO REAL EN REDES IP

Servicios Diferenciados:

-Aprovechan el campo sin uso “Type of Service” de los mensajes IPv4 para clasificar los paquetes según las necesidades de tiempo real.

-El campo DS (Differentiated Service) ofrece tres clases de servicios:

-*Premium*. Para flujos de tiempo real.

-*Asegurado*. Para poca pérdida de paquetes.

-*Olimpico*. Para división escalada de servicios en tres prioridades.

-El tipo de servicio se contrata con el proveedor de internet, tanto estáticamente (mensuales) como dinámicamente (por paquete).

Servicio Premium:

- Ofrece bajo retardo de paquetes para usuarios con tasas fijas de transmisión.
- El exceso de tráfico por encima de la tasa contratada se retrasa mediante técnicas de encolado para favorecer al que no excede la tasa.
- Ideal para telefonía por internet y videoconferencia.
- Los flujos Premium tienen prioridad sobre cualquier otro flujo de servicio diferenciado.
- La calidad se puede mantener mientras el tráfico Premium sea minoría en la red.

Servicio Asegurado:

- Orientado a servicios fiables (sin fallos) a pesar de congestiones.
- También se da peor servicio a los paquetes que excedan el ancho de banda contratado.
- Todos los paquetes se encolan. Cuando el tamaño de la cola está por debajo de cierto nivel, todos los paquetes son enviados. Cuando supera ese nivel, pero está por debajo de un segundo nivel, sólo los paquetes de salida son descartados (aleatoriamente). Cuando supera el segundo nivel (congestión), se descartan paquetes de entrada y salida.
- El servicio se provee en base a la detección de congestiones en la red.

Servicio Olímpico:

- Dispone de tres niveles: oro, plata y bronce.
- El nivel bronce equivale a la calidad de servicio IP clásica.
- El resto ofrecen calidad de servicio creciente.

4.4. ENRUTAMIENTO CON CALIDAD DE SERVICIO EN REDES IP

Tecnología MPLS (*Multiprotocol Label Switching*):

- Permite el envío rápido de paquetes mediante un enrutamiento especial: cada paquete lleva una etiqueta por la que se determina a qué nodo será reenviado en cada salto de enrutamiento.
- Los enrutadores son nodos especiales denominados LSR (label switched routers).
- El camino que sigue un paquete con una etiqueta inicial se denomina LSP (label switched path).
- Dependiendo de la dirección IP de destino del paquete, los requisitos de calidad del servicio, y el estado de la red, al ingreso en la red MPLS al paquete se le asigna una etiqueta. Esto se calcula desde atrás hacia adelante, previamente.
- Cada LSR redirige el paquete hacia otro LSR según indique su etiqueta, posiblemente cambiando la etiqueta.
- FEC (clase de equivalencia de reenvío - forwarding equivalence class): conjunto de paquetes del mismo tipo que se envían por el mismo LSP.
- Los paquetes tienen un tiempo de vida.

4.5. INGENIERÍA DEL TRÁFICO

-Disciplina que estudia las maneras de enrutar el tráfico de una red de datos para que el uso de la misma sea óptimo.

-Causas de las congestiones de la red:

-Necesidad inevitable de cursar más tráfico del físicamente soportable por cierto enlace.

-Mala distribución del tráfico, que congestiona unas rutas y deja otras libres.

-Causa última: mal enrutamiento, que sólo depende de un parámetro (longitud de ruta), haciendo que demasiados paquetes usen los mismos caminos, apareciendo la congestión.

-Solución: **encaminamiento con restricciones**. Se basa en considerar más de un parámetro a optimizar (congestión, disponibilidad, calidad de servicio, seguridad, tarifación, etc.).

-Implicaciones del encaminamiento con restricciones:

-Los nodos enrutadores necesitan conocer el estado de la red -> mayor sobrecarga de tráfico.

-La optimización de la ruta requiere mayor tiempo de proceso -> soluciones aproximadas.