

## Red "switchheada"

- Redundancia
  - Confiabilidad, disponibilidad
  - Costos
  - Pero quizás también, inestabilidad
    - Por ejemplo, un simple *ARP request* puede generar una tormenta de broadcast y afectar la *performance* de los *switches* de toda la red
    - Algo similar puede ocasionar un *unicast*
    - Precisamos una solución que evite los *loops* pero sin perder las bondades de la redundancia
  - En capa de enlace no existe el concepto de TTL
- *Spanning-Tree Protocol (STP)*: Protocolo de gestión de capa de enlace que pone a disposición la redundancia de caminos pero previene de posibles *loops* en la red de *switches* (posible origen de duplicación de mensajes)

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-1

---

---

---

---

---

---

---

---

## Protocolo *Spanning-Tree (STP)*

- El objetivo es que en cada instante exista un solo camino activo entre dos *switches*
  - Que existan *loops* físicos pero no lógicos
- Se define un árbol a través del cual se alcanza a todos los *switches* pero el árbol se "poda" de tal forma que algunos puertos quedan bloqueados a la espera de algún cambio topológico y los restantes puertos están en estado forwarding
- Algunos comentarios
  - Protocolo transparente a los usuarios
  - Radia Perلمان → IEEE 802.1D
  - "Protocolo de árbol de expansión"
  - Referencias en la bibliografía
    - Secciones 4.4 o 4.7 "del Tanenbaum"
    - Sección 5.6 "del Kurose & Ross"

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-2

---

---

---

---

---

---

---

---

## VLAN: Virtua/LAN

- Empresa con *k* departamentos
  - 1 red LAN por departamento
    - Agrupar lógicamente usuarios de la red y recursos conectados a puertos definidos administrativamente
    - Broadcast
    - Seguridad
    - Carga
- En los 90's: *k* redes LAN independientes significaba instalar *k* hubs (como mínimo)
- Luego, se incorporaron los *switches*
- Ahora: *k* redes LAN, técnicamente puede significar simplemente instalar 1 *switch*

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-3

---

---

---

---

---

---

---

---

## VLAN: Virtual LAN (más)

- IEEE 802.1Q
- Permite crear "switches virtuales" en uno o más switches y de esa forma separar dominios de *broadcast* (más pequeños)
- Se debe definir:
  - Cantidad
  - Nombre de cada una ("color")
  - Miembros de cada una
- En cada puerto del switch, una sólo VLAN posible, salvo en los *trunks*

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-4

---

---

---

---

---

---

---

---

## Capa de Enlace

- 5.1 Introducción y servicios
- 5.2 Detección y corrección de errores
- 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- 5.4 Direccionamiento de Capa de Enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Switches de Capa de Enlace
- 5.7 PPP

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-5

---

---

---

---

---

---

---

---

## Enlace de Datos Punto a Punto

- un emisor, un receptor, un enlace: más fácil que un enlace *broadcast*:
  - no se requiere *Medium Access Control*
  - no se necesita direccionamiento MAC explícito
  - p.e., enlace discado
- protocolos *point-to-point* más populares:
  - PPP: *Point-to-Point Protocol*
  - HDLC: *High level Data Link Control*

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-6

---

---

---

---

---

---

---

---

## PPP (RFC 1547, 1661, 1962, 2153)

- **Requerimientos de diseño de PPP:** RFC 1547
  - simple
  - **entramado de paquete:** encapsulado del datagrama de capa de red en una trama de capa de enlace
  - **transparencia:** debe poder llevar cualquier patrón de bit en el campo de datos (incluso los vinculados al *framing*)
  - **multiplexación:** porta datos de capa de red de cualquier protocolo (no solamente IP) al mismo tiempo
    - posibilidad de demultiplexar
  - **detección de error** (no corrección)
  - **estado de la conexión:** detectar y señalar a la capa de red sobre falla en el *link*
  - **negociación de la dirección de la capa de red:** un *endpoint* puede configurar la dirección de red del otro
  - **posibilidad de negociación de opciones**
  - **posibilidad de compresión de datos**

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## No requerimientos de PPP

- corrección/recuperación de errores
- control de flujo
- entrega de tramas en orden (secuenciamiento)
- no hay necesidad de soporte de enlaces multipunto (p.e., *polling*)

Recuperación de errores, control de flujo, re-ordenamiento de datos son relegados a las capas superiores

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-8

---

---

---

---

---

---

---

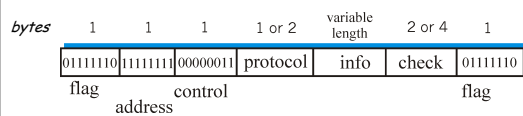
---

---

---

## Trama de Datos de PPP (RFC 1662)

- **Flag:** delimitador (*framing*); sincronización de trama
- Se pueden no enviar lo siguientes campos
  - **Address:** no hace nada; uso futuro
  - **Control:** no hace nada; uso futuro
- **Protocol:** protocolo de capa superior a quien debe ser entregada la trama (ej., LCP, NCP, IP, etc)



Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-9

---

---

---

---

---

---

---

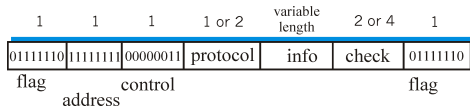
---

---

---

## Tramas de Datos de PPP

- ❑ **Info:** datos de la capa superior que son llevados; 1500 bytes máximo o negociable
- ❑ **Check:** detección de errores con *Cyclic Redundancy Check*



Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-10

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Byte Stuffing ("relleno")

- ❑ No es algo exclusivo de PPP
- ❑ requerimiento de "transparencia de los datos": el campo de datos debe permitir incluir el patrón de la *flag* <01111110>
  - **P:** se recibe <01111110>, ¿es datos o *flag*?
- ❑ **Transmisor:** agrega ("stuffs") un byte de relleno <01111101> (byte de escape) extra antes de cada byte <01111110> de *datos*. Idem si aparece el byte de escape.
- ❑ **Receptor:**
  - Reacciona a la aparición de <01111110> o <01111101> respetando lo anterior
  - un único <01111110>: byte *flag*

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-11

---

---

---

---

---

---

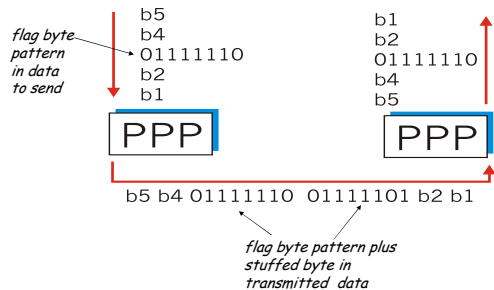
---

---

---

---

## Byte Stuffing



Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-12

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Protocolo de Control de PPP Link Control Protocol

- antes de intercambiar datos de la capa de red, los *peers* de la capa de enlace deben configurar el enlace y algunas cosas relacionadas con la capa de red
- **configurar enlace PPP**
  - máx. long. de trama
  - uso o no de autenticación
    - protocolo
  - *testing* de la calidad de la línea
  - compresión de *header*

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Protocolos de Control de PPP Network Control Protocol

- **configuración de aspectos de capa red**
- NCP para IP: IPCP
  - asignación de dirección IP
  - asignación de direcciones de servidores DNS

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-14

---

---

---

---

---

---

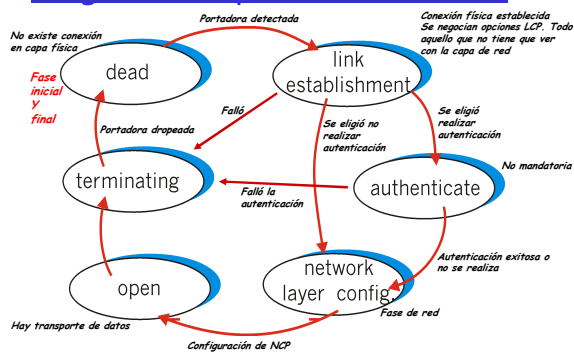
---

---

---

---

## Diagrama simplificado de fases




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Virtualización en Internet

- En la evolución del estudio de capa de enlace:
- Cable que conecta dos computadoras → múltiples computadoras conectadas por un cable compartido y ese "cable" puede ser el aire → infraestructura de switches
- Por lo tanto, hemos ido agregando "complejidad" en el canal de interconexión, pero para los hosts sigue siendo "la capa de enlace entre nodos adyacentes"
- En el caso de PPP utilizado en el acceso discdo a Internet, se virtualiza completamente la red telefónica ("es un cable")

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-16

---

---

---

---

---

---

---

---

## ATM y MPLS

- Las redes ATM y MPLS (circuitos virtuales, conmutación de paquetes, con sus formas propias de paquetes y técnicas de *forwarding*) se pueden ver como tecnologías de capa de enlace que interconectan dispositivos IP.
  - ATM: *Asynchronous Transfer Mode*
  - MPLS: *Multiprotocol Label Switching*

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-17

---

---

---

---

---

---

---

---

## Asynchronous Transfer Mode: ATM

- Estándar de los 80's para alta velocidad (desde 155Mbps hasta 622 Mbps y más); arquitectura *Broadband Integrated Service Digital Network*
  - ex-ATM Forum, ex-MFA Forum, ahora IP/MPLS Forum, e ITU
- **Objetivo:** transporte integrado y *end-to-end* de voz, video y datos
- Principales características
  - soporta diversos modelos de servicio (CBR, VBR, ...)
  - reúne requerimientos de QoS de voz y video (versus el modelo *best effort* de Internet)
  - *packet-switching* (paquetes de longitud fija, llamados "celdas") utilizando una arquitectura de red de circuitos virtuales
  - Servicio orientada a conexión (*Virtual Channel o Virtual Circuit*)
  - 3 capas: AAL, ATM y PHY

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-18

---

---

---

---

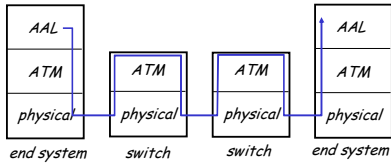
---

---

---

---

## Arquitectura ATM



- **ATM Adaptation Layer:** sólo en el borde de la red ATM
  - Servicios: detección de errores, segmentación y re-ensamblado (SAR en inglés) de los datos
  - Sin mucha rigurosidad, análogo a la capa de transporte de Internet
  - Sobre ella, por ejemplo, IP
- **ATM layer:** "network" layer
  - Switching de celdas
- **physical layer**
  - Según el medio físico

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-19

---

---

---

---

---

---

---

---

---

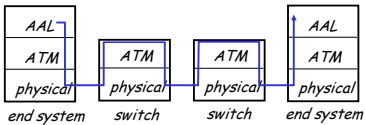
---

---

---

## ATM Adaptation Layer (AAL)

- **ATM Adaptation Layer (AAL):** "adapta" las capas superiores (IP o aplicaciones ATM nativas) a la capa ATM de abajo
- AAL está presente **solamente** en los **end systems**, no en los **switches**
- Los PDUs de la capa AAL son fragmentados en múltiples celdas ATM



Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-20

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

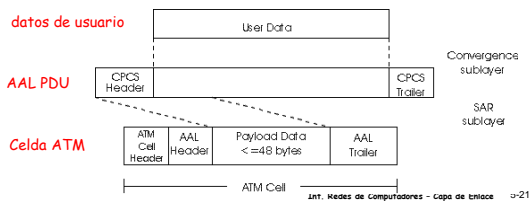
---

---

## ATM Adaptation Layer (AAL), más...

Diferentes "sabores" de capas AAL, dependiendo de la clase de servicio ATM:

- **AAL1:** para servicios CBR (*Constant Bit Rate*), p.e. E1, T1
- **AAL2:** para servicios VBR (*Variable Bit Rate*), p.e., MPEG video
- **AAL5:** para datos (p.e., datagramas IP)



Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-21

---

---

---

---

---

---

---

---

---

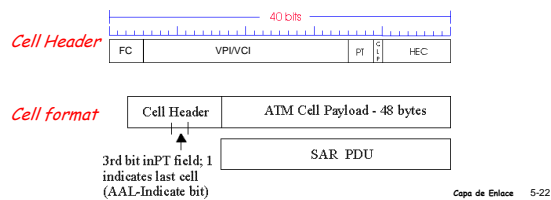
---

---

---

## Capa ATM: celda ATM

- Encabezado de 5 bytes
- Carga útil de 48 bytes
  - ¿Por qué?: payload pequeño -> corto retardo de creación de la celda; para voz digitalizada
  - semisuma de 32 y 64



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Encabezado de la celda ATM

- FC:** Control de flujo
  - Sólo se utiliza en el borde de la red
- VPI/VCI:** *Virtual Path ID / Virtual Channel ID*
  - Uno por cada VC
  - 24 bits
  - VPI: camino; 8 bits
  - VCI: un VC; 16 bits
  - cambia de *link* a *link* a través de la red (*label switching*)
- PT:** *Payload Type* (p.e. celda de gestión, celda de datos)
- CLP:** *Cell Loss Priority bit*
  - CLP = 1 implica celda de baja prioridad, puede ser descartada si hay congestión
- HEC:** *Header Error Checksum*
  - Cyclic Redundancy Check
  - Detección y algunas correcciones



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Capa ATM: Circuitos Virtuales

- transporte VC:** celdas llevadas en VC desde el origen al destino
  - establecimiento de llamada
  - cada paquete lleva identificador de VC (no ID de destino)
  - cada *switch* en el camino entre el origen y el destino mantiene el "estado" para cada conexión que pasa por él
  - enlace, recursos de conmutación (ancho de banda, *buffers*) pueden ser reservados al VC; para tener una comportamiento *circuit-like*
- Permanent VCs (PVCs)**
  - conexiones larga vida; estáticas
  - Establecimiento: *provisioning*
  - típicamente: encaminado "permanente" entre *routers* IP
- Switched VCs (SVC):**
  - establecidos dinámicamente
  - signaling* entre el *host* y el *switch* ATM
  - Protocolo de señalización PNNI (*Private Network to Network Interface*)
  - VPI/VCI para control

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## ATM VCs

- **Ventajas de ATM VC:**
  - *Performance* de QoS garantizada para la conexión mapeada al VC (ancho de banda, retardo, *jitter*)
- **Desventajas de ATM VC:**
  - un PVC entre cada pareja origen/destino: no escala
  - SVC introduce la latencia del establecimiento de la llamada, *overhead* de procesamiento para conexiones de corta vida

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-25

---

---

---

---

---

---

---

---

## Capa ATM

**Servicio:** transportar celdas a través de la red ATM

- análogo a la capa de red IP
- servicios muy diferentes a los de la capa de red IP

- **CBR: Constant Bit Rate**
  - Velocidad constante fija y retardo máximo
  - Reserva de recursos
- **VBR: Variable Bit Rate**
  - Aplicaciones sensibles al tiempo (retardo y *jitter*)
  - Velocidad pico y promedio
  - Pueden haber ráfagas
  - Reserva de recursos
- **ABR: Available Bit Rate**
  - Velocidad pico y mínima de celdas
  - Reserva de recursos
- **UBR: Unspecified Bit Rate**
  - Retardos variables y ciertas tasas de pérdidas
  - No hay reserva de recursos ni toma en cuenta la congestión

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-26

---

---

---

---

---

---

---

---

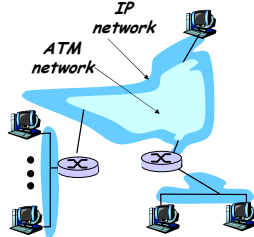
## ATM: ¿capa de red o capa de enlace?

**Visión:** transporte *end-to-end*: "ATM desde el *desktop* al *desktop*"

- ATM es una tecnología de red

**Realidad:** utilizado para conectar los routers del *backbone* IP

- "IP over ATM"
- ATM como una capa de enlace *switched*, conectando routers IP



Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-27

---

---

---

---

---

---

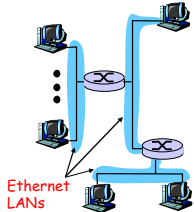
---

---

## IP sobre ATM

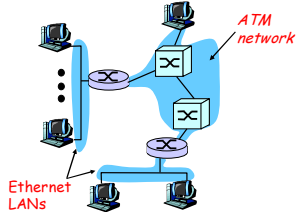
### IP Clásico

- 3 "redes" (p.e., segmentos LAN)
- direcciones MAC (802.3) e IP



### IP sobre ATM

- reemplaza "red" (p.e., segmento LAN) con red ATM
- direcciones ATM e IP



Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-28

---

---

---

---

---

---

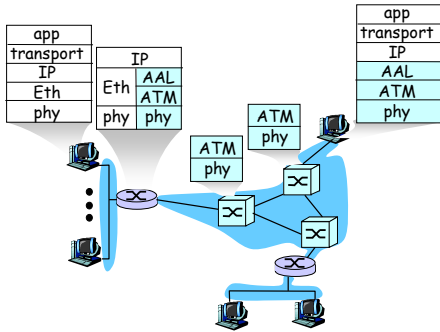
---

---

---

---

## IP sobre ATM



Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-29

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Viaje de datagrama en red IP sobre ATM

- **en el host origen:**
  - La capa IP mapea entre las direcciones destino IP y ATM (utilizando ARP)
  - Pasa los datagramas a AAL5
  - AAL5 encapsula los datos, segmenta en celdas y las pasa a la capa ATM
- **red ATM:** mueve celdas a través de VC hacia el destino
- **en el host destino:**
  - AAL5 re-ensambla las celdas en el datagrama original
  - si CRC OK, el datagrama es pasado a IP

Int. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-30

---

---

---

---

---

---

---

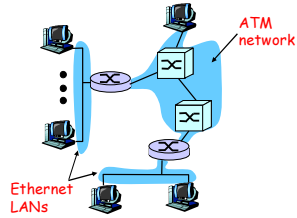
---

---

---

## IP sobre ATM

- datagramas IP dentro de PDUs de ATM AAL5
- de direcciones IP a direcciones ATM
  - igual que de direcciones IP a direcciones MAC 802.3
  - protocolo ATMARP (RFC 2225)



Int1. Redes de Computadores - Capa de Enlace 5-31

---

---

---

---

---

---

---

---