

TEMA 3:

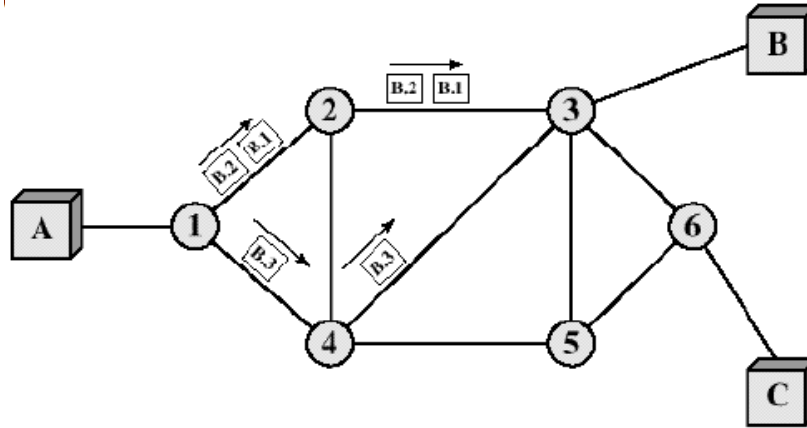
**SISTEMAS DE CONMUTACIÓN DE
PAQUETES**

Índice del tema:

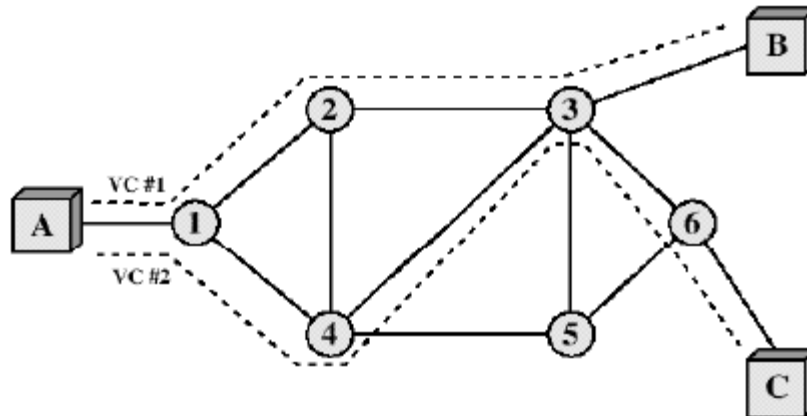
1. INTRODUCCIÓN
2. SISTEMAS DE COLAS. MODELOS M/G/1, M/M/1 Y M/D/1
3. MULTIPLEXORES ASÍNCRONOS
4. EVALUACIÓN DEL GoS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL TEOREMA DE JACKSON
5. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ETHERNET
6. ARQUITECTURAS DE CONMUTACIÓN

1. Introducción

◆ Modo Datagrama

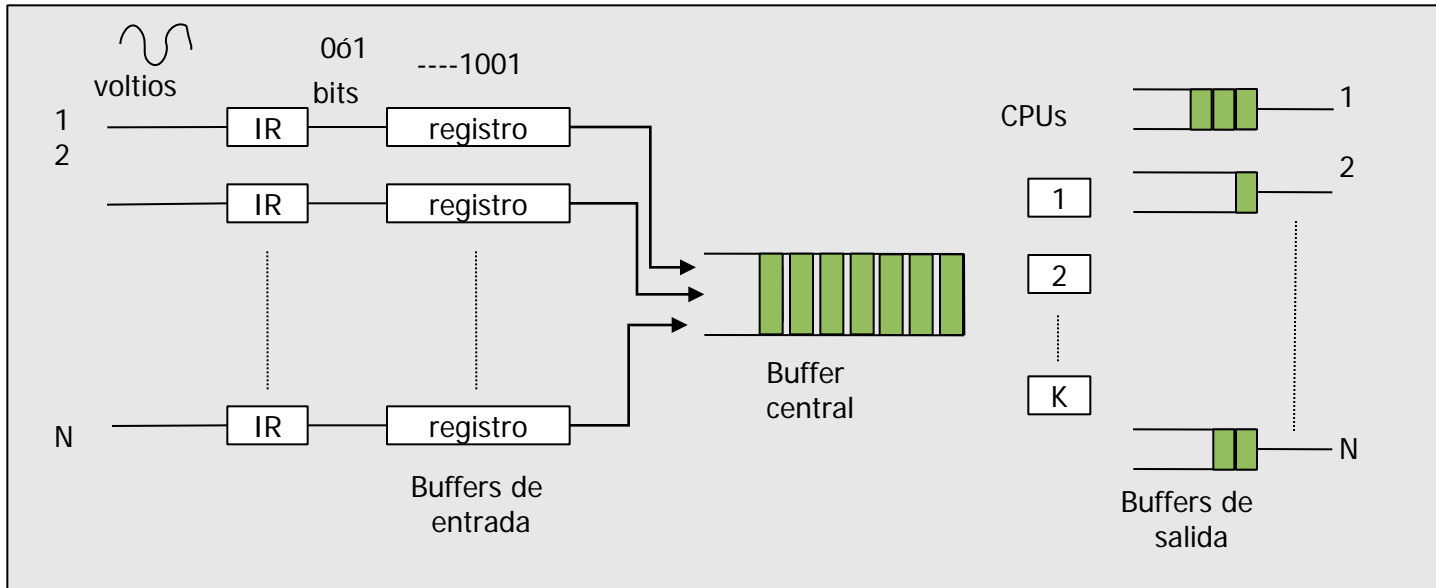
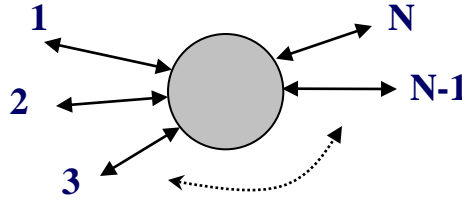


◆ Modo Circuito Virtual



1. Introducción

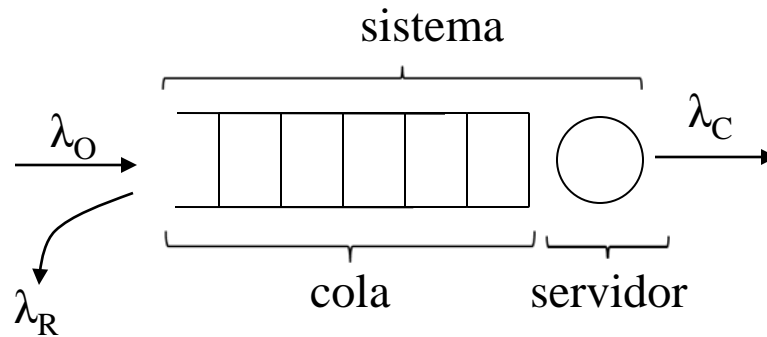
◆ Diagrama de nodo conmutador



Índice del tema:

1. INTRODUCCIÓN
2. **SISTEMAS DE COLAS. MODELOS M/G/1, M/M/1 Y M/D/1**
3. MULTIPLEXORES ASÍNCRONOS
4. EVALUACIÓN DEL GoS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL TEOREMA DE JACKSON
5. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ETHERNET
6. ARQUITECTURAS DE CONMUTACIÓN

2. Sistemas de colas



◆ Notación de Kendall: A/B/n/K/S/X

- A: Proceso de llegadas
- B: Distribución del tiempo de servicio
 - ◆ M: Markov. Intervalos de tiempo exponenciales: proceso de llegadas de Poisson, tiempos de servicio distribuidos exponencialmente
 - ◆ D: Determinista. Intervalos de tiempo constantes
 - ◆ G: General. Distribución arbitraria de los intervalos de tiempo
- N: Número de servidores
- K: Capacidad del sistema = N° servidores + tamaño de la cola
- S: Tamaño de la población
- X: Disciplina de la cola (FIFO)

◆ Ejemplos: Erlang-B: M/M/m/m, Engset: M/M/m/m/S

2. Sistemas de colas



Parámetros:

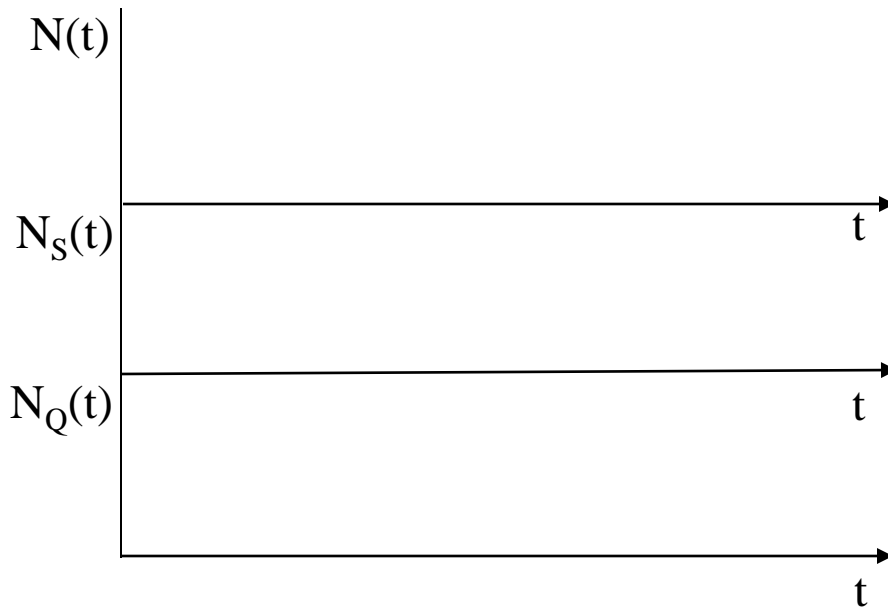
- N : Número medio de unidades dentro del sistema
- N_Q : Número medio de unidades en cola
- N_S : Número medio de unidades en servicio = TC
- T : Tiempo medio de estancia en el sistema
- W : Tiempo medio de espera en cola
- $1/\mu$: Tiempo medio de servicio
- P_Q : Probabilidad de que una petición sea encolada

$$N = N_Q + N_S \qquad T = W + \frac{1}{\mu}$$

2. Sistemas de colas

◆ Ejemplo

UNIDAD	LLEGADA	W	$1/\mu$	T	SALIDA
1	1		4		
2	2		1		
3	4		2		
4	7		3		



- W:
- $1/\mu$:
- T:
- N:
- N_s :
- N_Q :
- P_Q :

2. Sistemas de colas

◆ Condición de estabilidad:

- Un sistema de colas es estable si la capacidad del sistema no crece indefinidamente
- En el caso en que la capacidad de la cola es infinita

$$\lambda_R = 0 \quad \lambda_O = \lambda_C = \lambda$$

- ¿Qué restricciones deben satisfacer λ y μ para que se pueda asegurar que el tamaño de la cola no va a crecer indefinidamente?

$$\lambda < \mu$$

- Se define el factor de utilización (ρ) como la relación entre la tasa a la cual entra trabajo en el sistema y el tiempo que consumirá ese elemento en el servidor

- Si sólo tenemos un servidor $\rho = \lambda \cdot \frac{1}{\mu}$

- Si hay m servidores

$$\rho = \frac{\lambda \cdot \frac{1}{\mu}}{m}$$

- Para sistemas de un solo servidor la condición de estabilidad

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$$

2.1. Modelo M/G/1

◆ Fórmula P-K

$$W = \frac{\lambda \cdot E[t_s^2]}{2 \cdot (1 - \rho)}$$

$$C_{t_s}^2 = \frac{\text{var}[t_s]}{E[t_s]^2} = \frac{E[t_s^2] - E[t_s]^2}{E[t_s]^2} \Rightarrow E[t_s^2] = (1 + C_{t_s}^2) \cdot E[t_s]^2$$

$$W = \frac{\lambda}{2 \cdot (1 - \rho)} \cdot (1 + C_{t_s}^2) \cdot E[t_s]^2$$

◆ A partir de W se pueden obtener el resto de parámetros

$$T = W + \frac{1}{\mu}$$

$$N = \lambda \cdot T$$

$$N_s = \lambda \cdot \frac{1}{\mu}$$

$$N_Q = \lambda \cdot W$$

2.2. Modelo M/M/1

- ◆ En este caso, el tiempo de servicio se encuentra distribuido exponencialmente y como vimos en el Tema 1

$$m_2 = E[t_s^2] = \frac{2}{\mu^2}$$

- ◆ Por lo tanto, a partir de la fórmula P-K

$$W = \frac{\lambda \cdot E[t_s^2]}{2 \cdot (1 - \rho)} = \frac{\lambda \cdot 2}{2 \cdot \mu^2 \cdot (1 - \rho)} = \frac{\rho}{\mu \cdot (1 - \rho)}$$

$$T = W + \frac{1}{\mu} = \frac{\rho}{\mu \cdot (1 - \rho)} + \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu \cdot (1 - \rho)}$$

$$N = \lambda \cdot T = \frac{\lambda}{\mu \cdot (1 - \rho)} = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

2.2. Modelo M/M/1

$$N_Q = \lambda \cdot W = \lambda \cdot \frac{\rho}{\mu \cdot (1 - \rho)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

$$N_S = TC = \lambda \cdot \frac{1}{\mu} = \rho$$

◆ Para que sea estable

$$\rho < 1$$

2.3. Modelo M/D/1

- ◆ En este caso, el tiempo de servicio es constante

$$t_s = cte = \frac{1}{\mu} \rightarrow E[t_s] = \frac{1}{\mu} \rightarrow E[t_s^2] = \left(\frac{1}{\mu}\right)^2$$

- ◆ Por lo tanto, a partir de la fórmula P-K

$$W = \frac{\lambda \cdot E[t_s^2]}{2 \cdot (1 - \rho)} = \frac{\lambda}{2 \cdot \mu^2 \cdot (1 - \rho)} = \frac{\rho}{2 \cdot \mu \cdot (1 - \rho)}$$

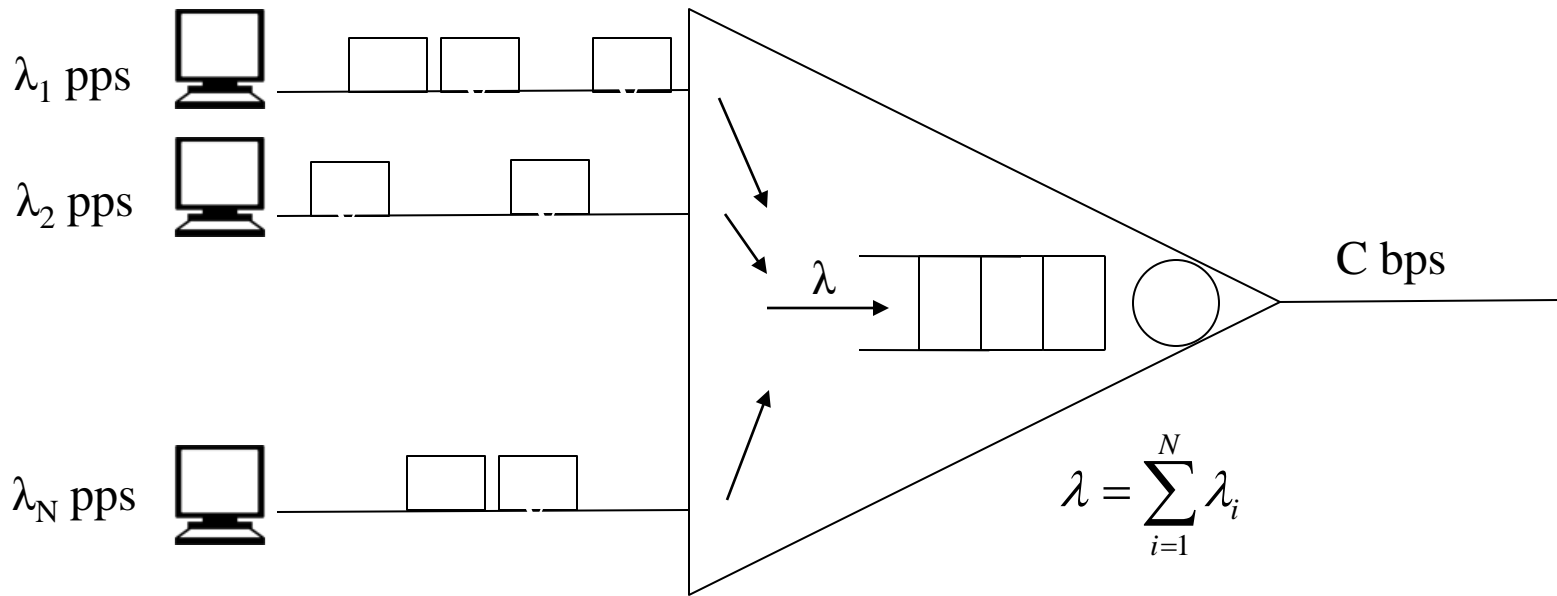
$$T = W + \frac{1}{\mu}$$

$$N = \lambda \cdot T$$

Índice del tema:

1. INTRODUCCIÓN
2. SISTEMAS DE COLAS. MODELOS M/G/1, M/M/1 Y M/D/1
- 3. MULTIPLEXORES ASÍNCRONOS**
4. EVALUACIÓN DEL GoS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL TEOREMA DE JACKSON
5. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ETHERNET
6. ARQUITECTURAS DE CONMUTACIÓN

3. Multiplexores asíncronos



- ◆ En cuanto al tiempo de servicio $\tilde{t}_s = \frac{L}{C}$
 - L constante \rightarrow M/D/1
 - L exponencial \rightarrow M/M/1
 - L general \rightarrow M/G/1

- ◆ Por lo tanto, el tiempo medio de servicio

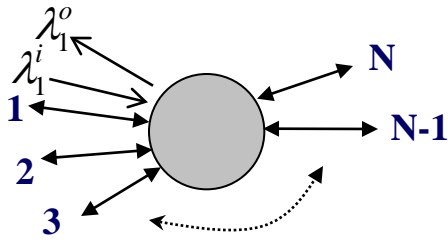
$$\frac{1}{\mu} = \bar{t}_s = \frac{\bar{L}}{C}$$

Índice del tema:

1. INTRODUCCIÓN
2. SISTEMAS DE COLAS. MODELOS M/G/1, M/M/1 Y M/D/1
3. MULTIPLEXORES ASÍNCRONOS
4. **EVALUACIÓN DEL GoS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL TEOREMA DE JACKSON**
5. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ETHERNET
6. ARQUITECTURAS DE CONMUTACIÓN

4. Evaluación del GoS

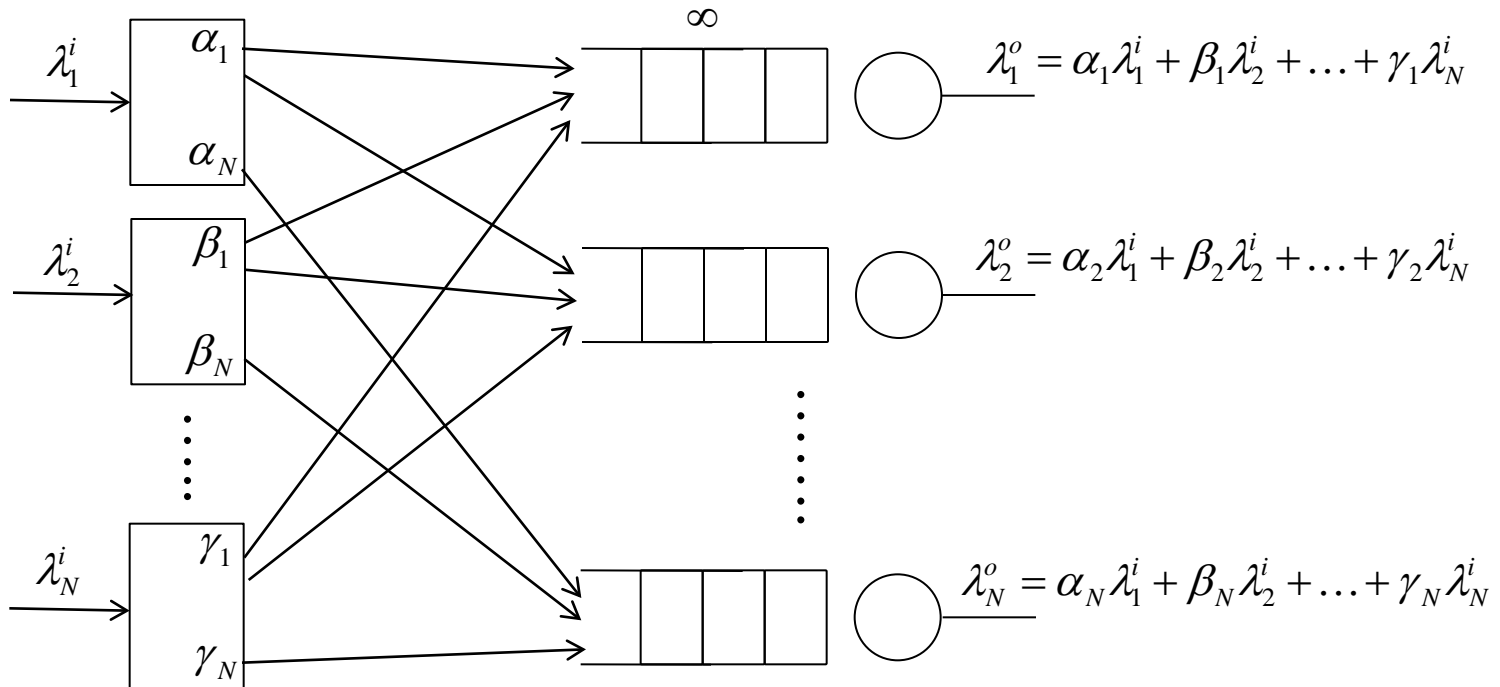
◆ Diagrama de nodo conmutador



$$\sum_{j=1}^N \lambda_j^i = \sum_{j=1}^N \lambda_j^o$$

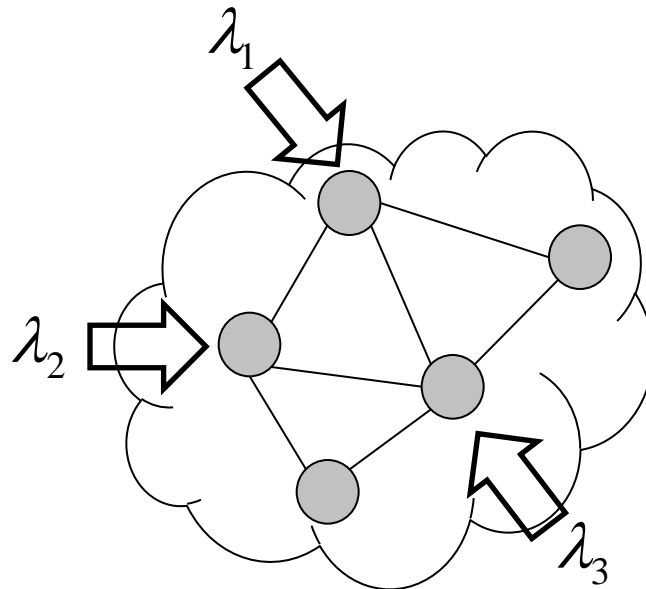


Ley de conservación del flujo



4. Evaluación del GoS

- ◆ Teorema de Jackson para redes abiertas de colas
 - Una red de colas es un sistema donde existen varias colas y los paquetes van fluyendo de una cola a otra
 - En las redes abiertas los paquetes entran por un extremo de la red (el nodo origen) y salen por otro (el nodo destino) tras recibir el servicio demandado
 - Teorema de Jackson: En las **redes abiertas de colas** si las tasas de llegada a los nodos y los tiempos de servicio son variables aleatorias independientes (proceso de llegadas de Poisson y tiempos de servicios exponenciales), entonces los nodos pueden modelarse independientemente unos de otros como colas M/M/1



Índice del tema:

1. INTRODUCCIÓN
2. SISTEMAS DE COLAS. MODELOS M/G/1, M/M/1 Y M/D/1
3. MULTIPLEXORES ASÍNCRONOS
4. EVALUACIÓN DEL GoS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL TEOREMA DE JACKSON
- 5. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ETHERNET**
6. ARQUITECTURAS DE CONMUTACIÓN

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Ethernet es una tecnología que fue inicialmente concebida para interconectar equipos próximos dentro de una red de área local (*Local Area Network, LAN*)
- ◆ Se encuentra normalizada por el IEEE en el estándar IEEE 802.3
- ◆ El ámbito de los estándares IEEE 802 va desde el nivel de enlace de datos hasta el medio físico



- ◆ Otros estándares IEEE 802:
 - ◆ IEEE 802.11: Redes inalámbricas WLAN
 - ◆ IEEE 802.15: Bluetooth
 - ◆ IEEE 802.16: Redes WIMAX

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Principales características de IEEE 802.3:
 - La topología típica de una LAN es en bus o en estrella
 - El medio físico es compartido por todos los terminales
 - En un momento dado sólo un terminal puede estar transmitiendo un paquete, recibéndolo todos los demás. En caso contrario se producirían colisiones de paquetes
 - Por esta razón, el ancho de banda utilizado en el medio físico también es compartido
 - El mecanismo que soluciona la posibilidad de acceso simultáneo al medio físico de varios terminales es de CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*)
 - La comunicación es "Half-Duplex", ya que todos los terminales no pueden transmitir y recibir información en el mismo instante

5. Sistemas de conmutación Ethernet

◆ Trama Ethernet:

- La entidad de información se llama "trama"



- Preámbulo: Contiene una secuencia de bits usada para sincronizar y estabilizar el medio físico antes de iniciar la transmisión de datos. El patrón del preámbulo es:
10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010
- SOF (*Start Of Frame*) – Inicio de Trama: Campo con el patrón: 10101011. Indica que el siguiente bit será el más significativo la dirección MAC de destino
- Dirección de destino: Cada estación examina este campo para determinar si debe aceptar la trama
- Dirección de origen: La estación que deba aceptar la trama conoce por este campo la dirección de la estación origen con la cual intercambiará datos
- Tipo: Identifica el protocolo nivel de red
- Datos: Es la información recibida del nivel de red (la carga útil)
- FCS (*Frame Check Sequence*) – Secuencia de Verificación de Trama: Contiene una CRC. El emisor lo calcula usando todo el contenido de la trama y el receptor lo recalcula y lo compara con el recibido

5. Sistemas de conmutación Ethernet

◆ Direcciones Ethernet:

- La dirección Ethernet es de 48 bits y corresponde con la identidad de la interfaz hardware
- Además del direccionamiento *Unicast* (a un terminal concreto), se pueden enviar paquetes con dirección destino *Multicast* (grupo de terminales, primer bit a '1' y el resto identifican al grupo) y *Broadcast* (todos los terminales conectados a la red, todos los bits de dirección a '1')
- La dirección *unicast* normalmente está grabada en una memoria ROM de la NIC (Network Interface Card) de cada terminal:
 - ◆ Los 23 primeros bits (comenzando por el segundo, ya que el primero está fijado a '0') son definidos por el IEEE y asignados a cada fabricante de NICs
 - ◆ Los 24 últimos son definidos por el fabricante y asignados a cada NIC individual

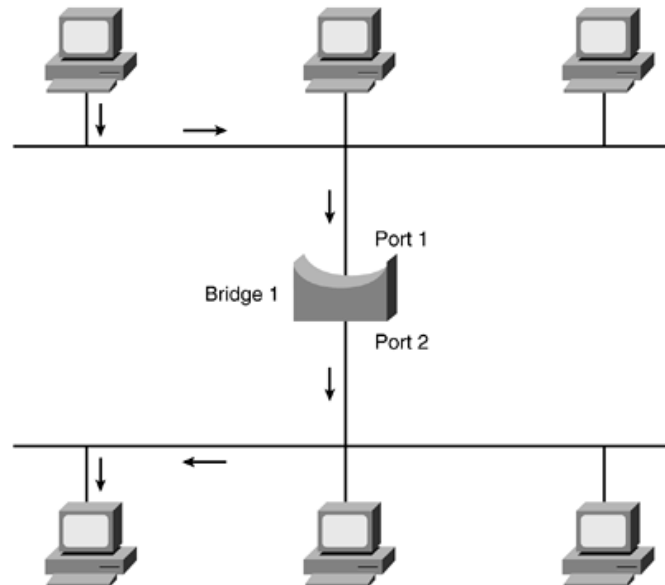
5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Evolución de las especificaciones:
 - IEEE 802.3 (año 1983): 10BASE5 10 Mbit/s sobre cable coaxial grueso (thicknet). Longitud máxima del segmento 500 metros
 - 802.3a (año 1985): 10BASE2 10 Mbit/s sobre cable coaxial fino (thinnet). Longitud máxima del segmento 185 metros
 - 802.3i (año 1990): 10BASE-T 10 Mbit/s sobre par trenzado no blindado (UTP). Longitud máxima del segmento 100 metros
 - 802.3j (año 1993): 10BASE-F 10 Mbit/s sobre fibra óptica. Longitud máxima del segmento 1000 metros
 - 802.3u (año 1995): 100BASE-TX, 100BASE-T4, 100BASE-FX Fast Ethernet a 100 Mbit/s con auto-negociación de velocidad
 - 802.3z (año 1998): 1000BASE-X Ethernet de 1 Gbit/s sobre fibra óptica
 - 802.3ab (año 1999): 1000BASE-T Ethernet de 1 Gbit/s sobre par trenzado no blindado
 - 802.3ae (año 2003): 10GBASE-SR, 10GBASE-LR Ethernet a 10 Gbit/s sobre fibra óptica
 - Con 10 Gigabit Ethernet se comienza a difuminar la frontera entre las Redes de Área Local y las redes de transporte
 - De hecho, los objetivos de 10 Gigabit Ethernet son los de proporcionar servicios de transporte (*backbone*) a las redes LAN actuales

5. Sistemas de conmutación Ethernet

◆ Puentes (*Bridges*)

- Son dispositivos inteligentes que permiten conectar tanto LAN iguales como heterogéneas. Operan en la capa de enlace de datos
- Supongamos que utilizamos un puente para conectar las LAN A y B:
 - ◆ El puente examina continuamente todas las tramas que se transmiten en el medio,
 - ◆ Acepta las tramas dirigidas a la LAN B y usa el protocolo de la red B para retransmitir estas tramas
 - ◆ Realiza el mismo proceso con el tráfico de A a B
- Existen varias estrategias para implementar el enrutamiento:
 - ◆ Enrutamiento estático: Es la opción más simple. Consiste simplemente en proporcionar tablas de encaminamiento preconfiguradas a todos los puentes de la red
 - ◆ Algoritmo de árbol de extensión (*Spanning Tree*). El mecanismo de encaminamiento es dinámico y se adapta a las condiciones de la red



5. Sistemas de conmutación Ethernet

◆ Algoritmo de Spanning Tree

- Es una especificación del grupo IEEE 802.1d
- Permite desarrollar automáticamente una tabla de encaminamiento y actualizarla en respuesta a los cambios en la topología
- Consiste en tres mecanismos: reenvío de tramas, aprendizaje de direcciones y resolución de bucles

◆ Reenvío de tramas

- Un puente mantiene una base de datos para cada puerto conectado a una LAN. La base de datos indica las direcciones de las estaciones a las que hay que dirigir la trama por ese puerto
- Cuando se recibe una trama el puente decide si se reenvía de la siguiente manera:
 - ◆ Busca en la base de datos si la estación a la que va dirigida la trama aparece en algún puerto, excepto por aquel por el que acaba de llegar
 - ◆ Si la estación aparece en algún puerto y no está bloqueado (parte del proceso de resolución de bucles, se verá mas adelante) se transmite por ese puerto
 - ◆ Si la estación no aparece en ningún puerto, se retransmite por todos los puertos excepto por el que acaba de llegar. Esto es parte del proceso de aprendizaje que veremos a continuación.

5. Sistemas de conmutación Ethernet

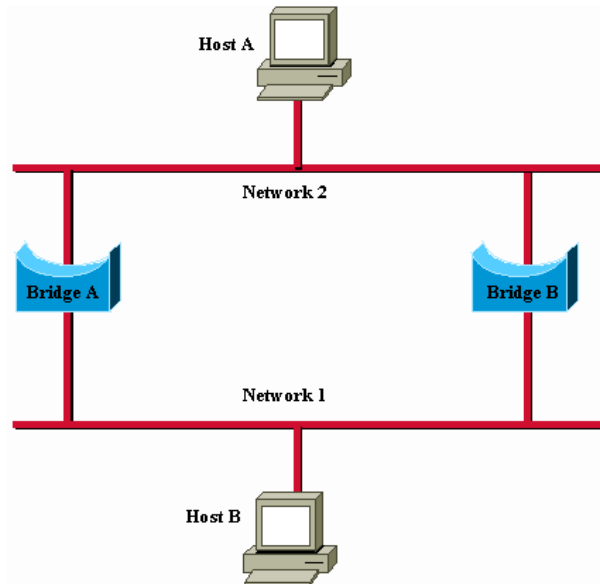
◆ Aprendizaje de direcciones

- Es necesario un mecanismo para resolver las direcciones y evitar que la base de datos tenga que ser cargada manualmente en el puente. El mecanismo más usado es el que se conoce como aprendizaje hacia atrás (*Backward Learning*). Consiste en lo siguiente:
 - ◆ Cuando una trama llega a un puerto es evidente que la trama proviene de ese segmento. Por lo tanto, se actualiza la base de datos y se añade una entrada diciendo que la dirección origen de la trama recibida debe encaminarse por el puerto por el que acaba de llegar
 - ◆ Cada entrada en la base de datos se acompaña de un temporizador. Si el contador expira, se elimina el elemento de la base de datos. Cada vez que se recibe una trama se reinicia el temporizador
 - ◆ Cuando la dirección destino de una trama no aparece en la base de datos, se reenvía por todos los puertos excepto por el que acaba de llegar. Esto se conoce como inundación (*flooding*). De este modo nos aseguramos que la trama llegará a su destino y a la vez permitimos que avance el proceso de aprendizaje del resto de puertos de la red

5. Sistemas de conmutación Ethernet

◆ Bucles entre puentes

- El principal inconveniente es la posible aparición de bucles cerrados en las rutas hacia distintos destinos
- Observemos en la figura. Si en t_0 la estación A transmite una trama, le llegará a los dos puentes
- Si las tramas son reenviadas por los puentes con una pequeña diferencia de tiempo, a la estación B le llegarán duplicadas
- Adicionalmente, el proceso de *backward learning* no funcionará correctamente porque los puentes verán una trama de la estación A que les llega por dos puertos diferentes



5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Algoritmo de Spanning Tree
 - Para solucionar el problema de los bucles se usa el algoritmo *spanning tree*, basado en la teoría de grafos
 - Este algoritmo convierte una topología con enlaces redundantes en una topología en árbol. Para ello se inhabilitan algunos enlaces. Esta inhabilitación no es física sino lógica (los enlaces quedan bloqueados)
 - La creación del *spanning tree* se realiza mediante el intercambio de mensajes de configuración entre los puentes, según el protocolo STP (*Spanning Tree Protocol*)

5. Sistemas de conmutación Ethernet

◆ Switches

- Al principio los bridges tenían únicamente dos interfaces, ya que por restricciones tecnológicas no podían conmutar datagramas entre varios interfaces a la vez
- En 1990 la tecnología de semiconductores permitió realizar bridges con más de dos interfaces, permitiendo la conmutación simultánea entre varios dominios de colisión, a este dispositivo se le llamó switch
- Un switch consiste básicamente en una matriz de conmutación, con medios de almacenamiento y lógica de decisión
- Normalmente está implementado en hardware y suele ser un dispositivo muy rápido
- Cuando una trama llega a un puerto, el switch examina la dirección destino y la reenvía por el puerto correspondiente hacia ese destino
- El funcionamiento es similar al de un puente pero tiene una diferencia fundamental: el switch es capaz de conmutar en paralelo. Esto quiere decir que simultáneamente pueden llegar varias tramas a un puerto del switch y él las conmutará a los puertos correspondientes. Por supuesto, si ambas fueran dirigidas al mismo destino, una de ellas tendría que esperar de alguna manera

5. Sistemas de conmutación Ethernet

◆ Switches

- Las consecuencias del modo de funcionamiento de los switches son las siguientes:
 - ◆ Se pueden conmutar simultáneamente varias conexiones siempre que el puerto de salida sea distinto
 - ◆ Los switches suelen aprovechar los dos pares de la Ethernet convencional para la transmisión simultánea en ambos sentidos, de manera que obtenemos una Ethernet “Full-Duplex”
 - ◆ Es necesario implementar un mecanismo de control de flujo. El mecanismo concreto viene especificado en el protocolo IEEE 802.3x. Consiste en el envío de tramas PAUSE que indican el tiempo que debe parar la transmisión el equipo que las recibe
 - ◆ Los switches introducen latencia en la red. Hay que distinguir dos tipos de retardos:
 - Retardo de conmutación. El tiempo que tarda el switch en decidir el puerto de salida y conmutar la trama
 - Retardo asociado a un bloqueo. Cuando dos tramas van dirigidas a una misma dirección una de ellas deberá esperar
 - ◆ Habitualmente usan el algoritmo de Spanning Tree

5. Sistemas de conmutación Ethernet

◆ Switches

- Un switch puede realiza la conmutación de las tramas de tres maneras:
 - ◆ Conmutación por método de corte (*cut-through*). El switch examina la dirección destino de la trama en cuanto ésta va entrando por un puerto. Una vez determinada la dirección destino, la trama es automáticamente conmutada a ese puerto
 - ◆ Almacenamiento y reenvío (*store-and-forward*). La trama se almacena completamente en el switch. Se comprueba la integridad de los datos (mediante el CRC). Si la trama es correcta, se reenvía por el puerto adecuado
 - ◆ Conmutación sin fragmentos (*fragment-free*). Espera a recibir los primeros 64 bytes de la trama. Si los recibe, significa que no habrá colisiones en ese puerto. En ese momento reenvía la trama

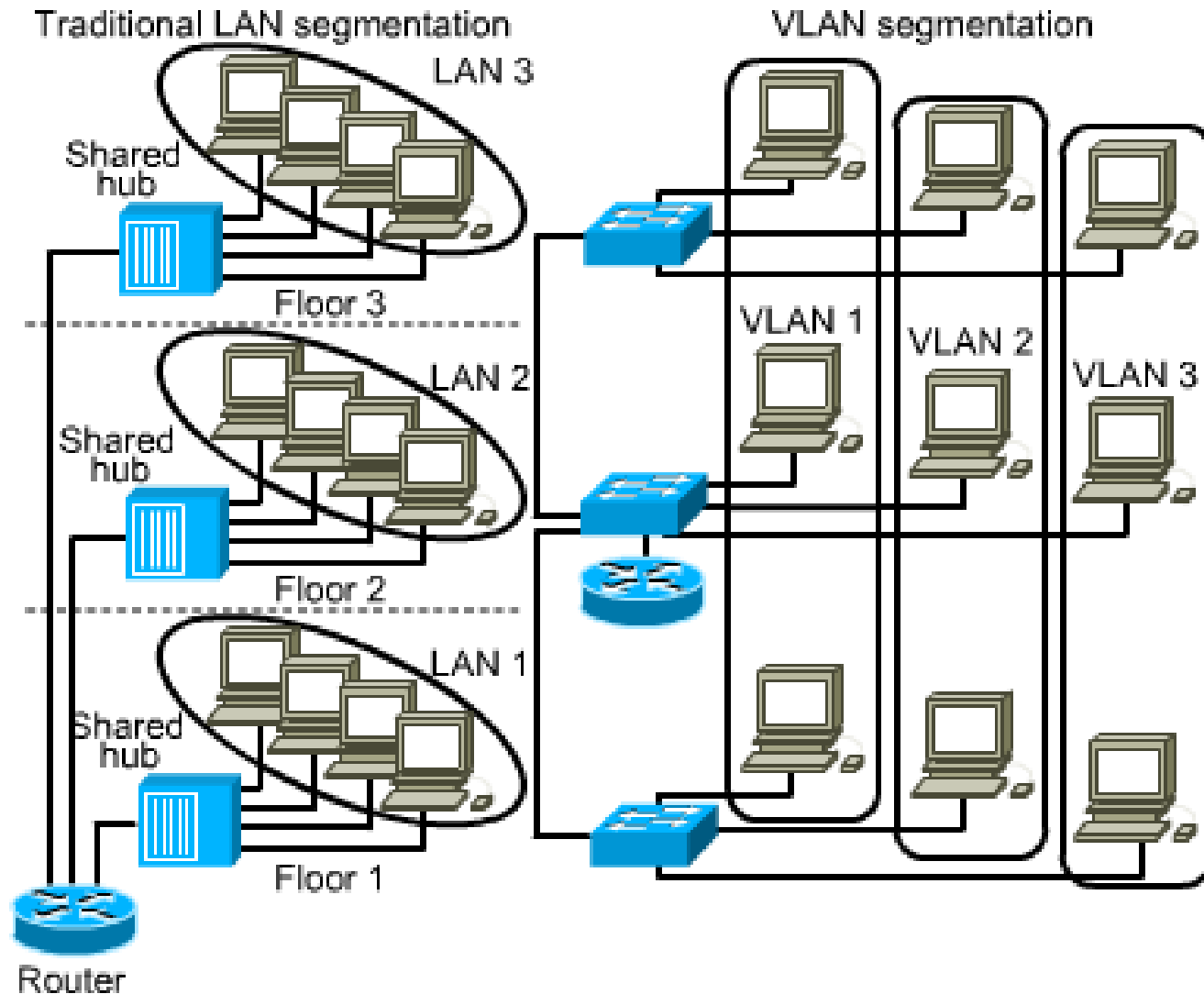
5. Sistemas de conmutación Ethernet

◆ Redes de Área Local Virtuales

- Todos los usuarios conectados a una LAN se encuentran en la misma red física. Dos problemas:
 - ◆ Tráfico Ethernet *broadcast* aumenta con el número de usuarios
 - ◆ No es posible filtrar el tráfico a nivel IP entre usuarios de la misma LAN
- La situación habitual es la siguiente:
 - ◆ Usuarios de distintos tipos (p.e. distintos departamentos)
 - ◆ Existencia de recursos (p.e. servidores) comunes, que deben ser accedidos por todos los usuarios
 - ◆ Existencia de recursos específicos, cuyo acceso suele ser más habitual por usuarios de un tipo (p.e. servidor del departamento de ventas, accedido principalmente por los usuarios de este departamento)
 - ◆ Políticas de seguridad respecto al tráfico de entrada/salida, control de acceso de usuarios a los recursos
 - ◆ Consecuencia: el tráfico entre determinados dispositivos debe atravesar un router IP, para poder aplicar las políticas de control necesarias
 - ◆ Consecuencia: necesidad de distribuir a usuarios en redes LAN Ethernet distintas, interconectadas por routers

5. Sistemas de conmutación Ethernet

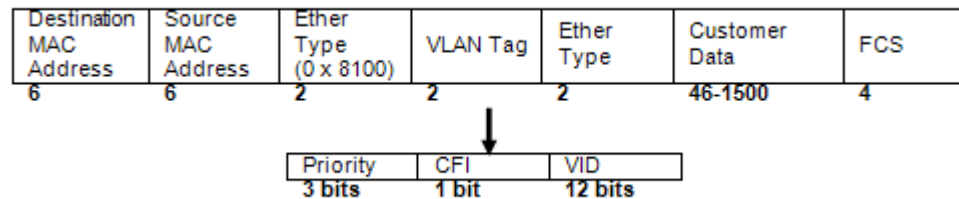
◆ Redes de Área Local Virtuales



5. Sistemas de conmutación Ethernet

◆ Redes de Área Local Virtuales

- Mecanismo actual: norma 802.1Q implementada en los *switches* Ethernet
 - ◆ Esta norma permite distribuir a los usuarios conectados al mismo *switch*, en redes LAN distintas (Virtual LAN)
 - ◆ El tráfico interno de una VLAN no es conmutado a usuarios pertenecientes a VLANs distintas
 - ◆ El tráfico de una VLAN dirigido a otra VLAN debe ser transmitido al router
 - ◆ Consecuencia: Es posible distribuir usuarios en redes físicas distintas, sin necesidad de conectarlos a *switches* Ethernet distintos
- Formato de la trama



- Cabecera 802.1Q:
 - ◆ 3 bits: prioridad de la trama Ethernet (0...7)
 - ◆ 1 bit: CFI (*Canonical Format Indicator*). A 1 si existen otros campos de opciones presentes
 - ◆ 12 bits: VLAN ID. Identificador de VLAN a la que pertenece esta trama (VLAN a la que pertenece el usuario que ha generado esta trama)

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Procesamiento switches 802.1Q
 - El procesamiento 802.1Q realizado por los switches, en su forma completa, es altamente complicado
 - ◆ Contempla la posibilidad de intercambiar información 802.1Q con otras redes (p.e. FDDI), capacidad de filtrado de tráfico, configuración dinámica y/o estática...
 - ◆ Sin embargo, muchos dispositivos no implementan toda la funcionalidad
 - ◆ Nosotros describiremos un esquema simple del proceso
 - Definiciones:
 - ◆ Trama etiquetada: Trama Ethernet con cabecera 802.1Q
 - ◆ Trama no etiquetada: Trama Ethernet convencional, sin cabecera 802.1Q
 - ◆ Valores de VLAN ID reservados:
 - 0: Null VLAN ID. Indica que la trama no pertenece a ninguna VLAN. Este valor no debe emplearse
 - 1: Valor por defecto empleado en aquellos entornos con una única VLAN definida
 - FFF: Reservado. No debe emplearse

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Procesamiento switches 802.1Q
 - 1º fase: determinación de pertenencia y prioridad de la trama recibida
 - ◆ Trama etiquetada: Pertenencia = VLAN ID trama recibida, prioridad = campo prioridad de la cabecera 802.1Q
 - ◆ Trama convencional: Mecanismo de determinación de pertenencia, depende del dispositivo:
 - *Port-based VLAN*: La VLAN viene determinada por el puerto de entrada de la trama. El *switch* mantiene una tabla interna (tabla PVID, *Port-VLAN identifier*) [puerto de entrada ; VLAN ID]
 - *MAC-based VLAN*: La VLAN viene determinada por la MAC origen de la trama. El *switch* mantiene una tabla interna [MAC ; VLAN ID]
 - *Protocol-based VLAN*: Para tramas Ethernet, que encapsulen datagramas IP, la VLAN viene determinada por el tipo de protocolo de transporte encapsulado dentro del datagrama (indicado por el campo IP.proto de la cabecera IP).
 - Otras posibilidades (que incluyen procesamiento de capa 4). P.e. pertenencia en función de puerto TCP
 - Nota: Los mecanismos de determinación de prioridad suelen ser análogos a los de determinación de pertenencia

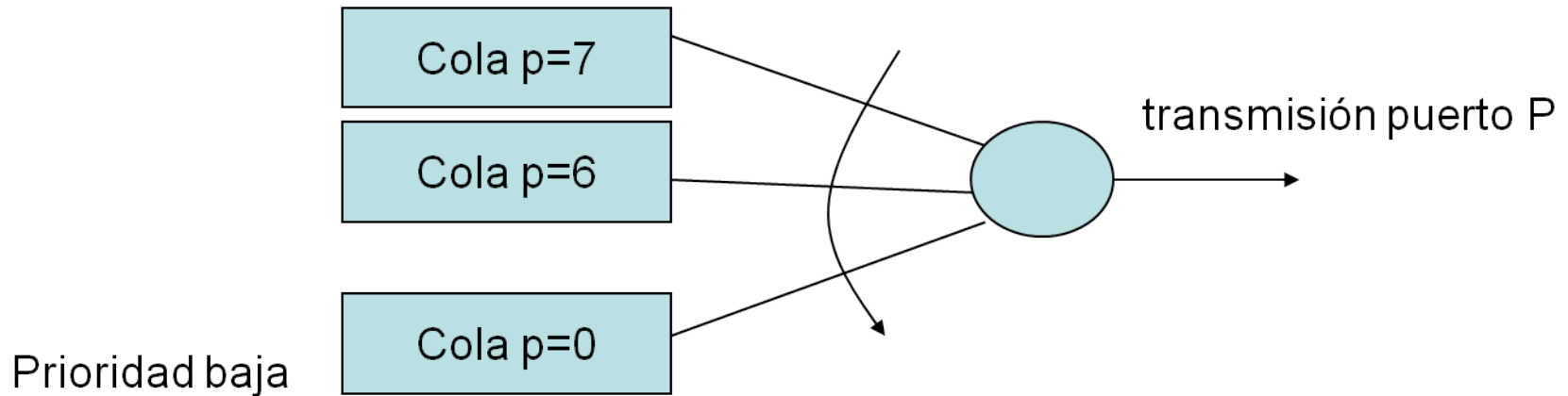
5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Procesamiento switches 802.1Q
 - 2º fase: Proceso de determinación del puerto de salida (P_{out}) de la trama.
 1. Se observa la dirección MAC de destino (MAC_d) de la trama
 - *Broadcast*: P_{out} elegibles = todos los puertos del *switch*, salvo el de entrada de la trama
 - Si no: búsqueda en la tabla FDB (*Forwarding Database*) [MAC ; puerto].
 - P_{out} elegible = el indicado en la tabla FDB
 - Si no se encuentra MAC_d en la tabla => P_{out} elegible = todos los puertos, salvo el de entrada
 2. Para cada P_{out} elegible, se comprueba si ese puerto puede transmitir tráfico de la VLAN a la que pertenece la trama
 - Se basa en una tabla (tabla *member set*) que asocia para cada VLAN, el conjunto de puertos por los que se alcanzan dispositivos de esa VLAN
 - Tabla *member-set* [VID ; Conjunto de puertos]

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Procesamiento switches 802.1Q
 - 3º fase: política de gestión de colas.
 - ◆ Se observa el campo "prioridad" p de la trama. Idealmente, el tráfico de prioridades distintas se sitúa en colas distintas. Las colas son atendidas dando preferencia a las de prioridad más alta
 - ◆ En general: los *switches* separan el tráfico en un número menor de colas (p.e. 2 colas, $p=0...3$ cola 0, $p=4..7$ cola 1)

Prioridad alta



5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Procesamiento switches 802.1Q
 - 4º fase: formato de trama de salida. Para cada trama, debe determinarse si se transmite con el formato etiquetado (802.1Q), o no etiquetado. En éste último caso, la información de prioridad y pertenencia de la trama, es eliminada
 - Esto es así ya que el dispositivo conectado a ese puerto del *switch* puede no ser capaz de procesar tramas 802.1Q (p.e. muchas tarjetas de red)
 - En general, esto se configura en una tabla [Puerto ; 802.1Q sí/no]
 - La norma especifica que esta configuración puede variar en función de la VLAN a la que pertenece la trama. P.e. dos tramas salientes por el mismo puerto, pueden transmitirse una en formato etiquetado y otra en formato no etiquetado, en función de la VLAN a la que pertenecen

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Ethernet en Redes de Transporte
 - La limitación del alcance físico de Ethernet en redes de cobre restringió la aplicación de Ethernet en redes de transporte
 - Tras la aparición de las interfaces Ethernet ópticas, con un alcance notablemente superior, los proveedores fueron capaces de aplicar la tecnología Ethernet directamente en sus redes
 - Las tramas Ethernet transportan prácticamente cualquier protocolo
 - IP es el protocolo dominante hoy en día, y se ha adaptado bien para ser transportado sobre Ethernet
 - Internet es una única gran comunidad
 - Ethernet, por otra parte, proporciona conectividad entre un restringido conjunto de interfaces de red
 - Uno de los objetivos de la evolución de Ethernet es permitir conectividad global entre conjunto determinados de interfaces cliente, a través de Ethernet

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Provider Bridges - PB (IEEE 802.1ad) (año 2005)
 - Los proveedores de servicio comenzaron a utilizar VLANs para ofrecer servicios de nivel 2 entre emplazamientos de clientes
 - Los clientes también utilizaban sus propias VLANs para ofrecer calidad de servicio y gestión simplificada a nivel de enlace de datos
 - Esto condujo a un conflicto en el uso de VLANs, ya que esta capacidad era explotada simultáneamente por los proveedores de servicio y los clientes
 - Cuando un proveedor ofrecía un servicio VLAN al cliente, el proveedor tendría que satisfacer las propiedades de la VLAN del cliente
 - Estas situaciones condujeron a la propuesta de un número de soluciones para preservar las características del cliente
 - La solución que ganó una aceptación general consiste en apilar las cabeceras 802.1Q, creando la cabecera *Q-in-Q*

5. Sistemas de conmutación Ethernet

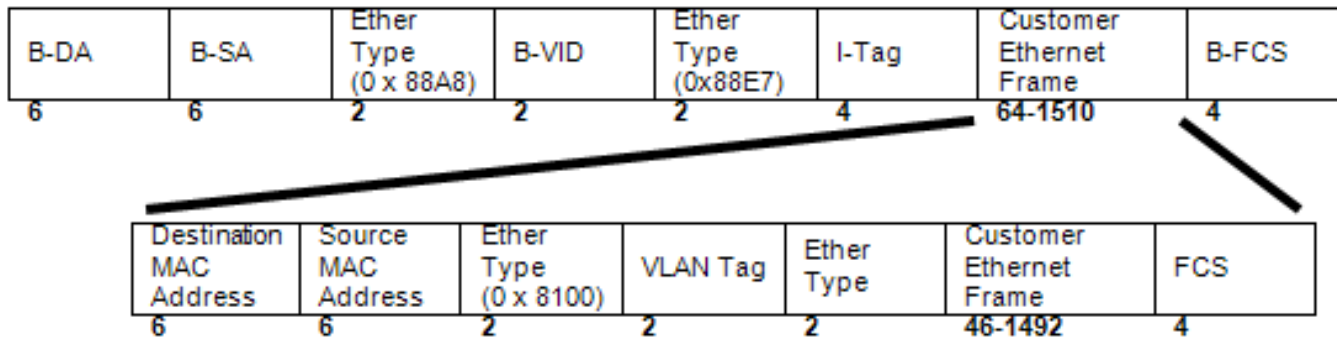
◆ Provider Bridges - PB (IEEE 802.1ad) (año 2005)

Destination MAC Address	Source MAC Address	Ether Type 0 x 8100 0 x 9100 0 x 9200 0 x 9300	S-VLAN	Ether Type 0 x 8100 0 x 9100 0 x 9200 0 x 9300	C-VLAN	Ether Type	Customer Data	FCS
6	6	2	2	2	2	2	46-1500	4

- Apilar las VLANs, para distinguir una VLAN cliente (C-VLAN) de una VLAN de servicio (S-VLAN), permite a una red de un proveedor administrar sus propio espacio de VLANs mientras se transportan otras VLANs de redes cliente de forma transparente
- Sin embargo, todavía permanecen dos problemas de escalabilidad:
 - ◆ Sólo se le proporcionan al proveedor 4096 VLANs de servicio
 - ◆ Aunque las C-VLAN son aisladas del dominio del proveedor, el direccionamiento MAC todavía es visible dentro del espacio S-VLAN, por lo que los conmutadores del proveedor necesitan aprender y reenviar las direcciones de los clientes

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Provider Backbone Bridges - PBB (IEEE 802.1ah) (año 2008)
 - Mientras se desarrollaba el estándar IEEE 802.1ad, se estuvo debatiendo la posibilidad de la encapsulación completa
 - PBB permite la encapsulación completa de la topología del cliente y la identificación del servicio
 - Con este propósito se definió una nueva cabecera Ethernet:



5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Provider Backbone Bridges - PBB (IEEE 802.1ah) (año 2008)
 - Los principales campos son:
 - ◆ Componente *backbone*:
 - Dirección destino *backbone* (B-DA) (6 bytes)
 - Dirección origen *backbone* (B-SA) (6 bytes)
 - EtherType 0x88A8 (2 bytes)
 - Identificador VLAN *Backbone* (B-VID) (2 bytes)
 - ◆ Encapsulación del servicio:
 - EtherType 0x88E7 (2 bytes)
 - Instance Tag (I-TAG) (4 bytes): Contiene parámetros de calidad de servicio y el identificador del cliente (I-SID) (3 bytes)

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Provider Backbone Bridges with Traffic Engineering PBB-TE (IEEE 802.1Qay) (año 2009)
 - Este estándar se centra en el transporte de tramas dentro de la red
 - Sustituye el protocolo STP por un camino pre-establecido y orientado a la conexión configurado por el usuario
 - Una red PBB-TE está compuesta de dos tipos de dispositivos, los switches *edge* y los switches *backbone*
 - Los switches *edge* son la interfaz entre la red del cliente y la red del proveedor de servicio
 - Este dispositivo es responsable de la encapsulación y desencapsulación de las tramas Ethernet del cliente
 - Las tramas son conmutadas dentro de la red PBB-TE en función de la dirección destino B-DA y del identificador de VLAN backbone (B-VID). El campo I-Tag se usa para identificar niveles de QoS, así como al cliente, mediante el SID
 - El switch *backbone* es responsable del encaminamiento de las tramas utilizando las rutas predefinidas de acuerdo al B-VID

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Provider Backbone Bridges with Traffic Engineering PBB-TE (IEEE 802.1Qay) (año 2009)
 - El usuario debe configurar todos los switches *edge* en las tablas de encaminamiento utilizando un software de gestión externo
 - Las tramas con direcciones MAC destino que no aparecen en la tabla son eliminadas
 - También son eliminadas las tramas broadcast
 - En PBB-TE, ya que el STP está deshabilitado y las rutas son configuradas por los operadores, la resistencia de la red a fallos en los caminos es un asunto importante
 - La red puede contener al menos dos caminos, un *working path* y un *protection path*
 - El *working path* es el camino principal tomado por las tramas en una operación normal
 - El *protection path* es un camino de *backup* tomado por las tramas en caso de que el camino principal se rompa

5. Sistemas de conmutación Ethernet

- ◆ Provider Backbone Bridges with Traffic Engineering PBB-TE (IEEE 802.1Qay) (año 2009)
 - La asignación de los caminos se basa en el B-VID asignado a las tramas durante su encapsulación en los switches *edge*. Por lo tanto, el operador de red debe determinar las VLANs principales y de protección, así como configurar las rutas que cada VLAN debe tomar en la red
 - En PBB-TE, los fallos de los caminos son detectados mediante los mensajes CFM (*Connectivity Fault Management*) de 801.1ag
 - Cuando un dispositivo *backbone* no recibe un mensaje CFM después de un intervalo específico, se asume un fallo en el enlace. Las tramas son entonces automáticamente enviadas por el camino de protección en 50 ms
 - Por lo tanto, los tiempos de recuperación de PBB-TE están dentro de los 50 ms, requisito de las redes de transporte tradicionales

Índice del tema:

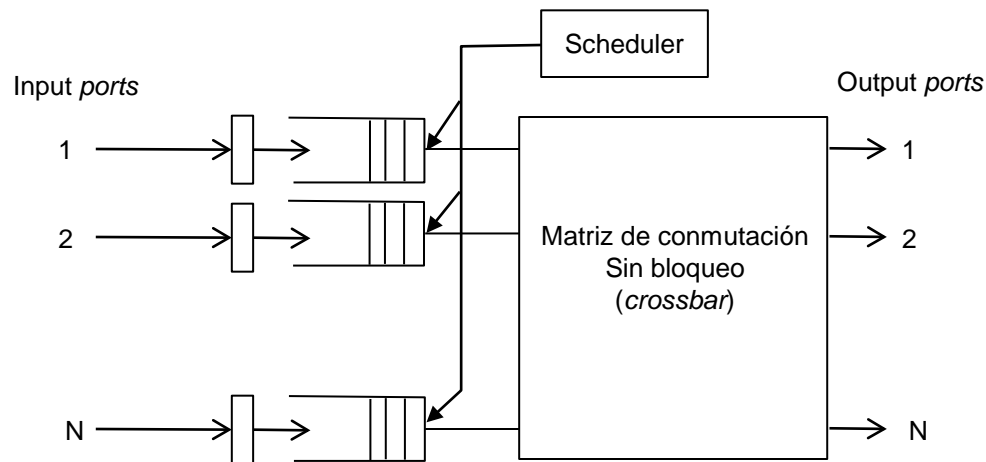
1. INTRODUCCIÓN
2. SISTEMAS DE COLAS. MODELOS M/G/1, M/M/1 Y M/D/1
3. MULTIPLEXORES ASÍNCRONOS
4. EVALUACIÓN DEL GoS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL TEOREMA DE JACKSON
5. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE CONMUTACIÓN ETHERNET
- 6. ARQUITECTURAS DE CONMUTACIÓN**

6. Arquitecturas de conmutación

- ◆ Tipos de conmutadores:
 - Conmutadores con colas a la entrada
 - Conmutadores con colas a la salida
 - Conmutadores VOQ

6. Arquitecturas de conmutación

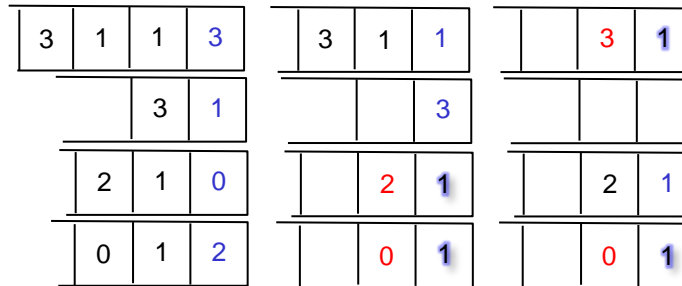
- ◆ Conmutadores con colas a la entrada
 - Los paquetes son almacenados en las colas de entrada a medida que van llegando
 - Posteriormente son encaminados hacia sus respectivos puertos de salida mediante una matriz de conmutación sin bloqueo (por ejemplo, *crossbar*)
 - El planificador (*scheduler*) es el encargado de decidir cuáles de los paquetes ubicados en la cabecera de la cola se conmutarán.



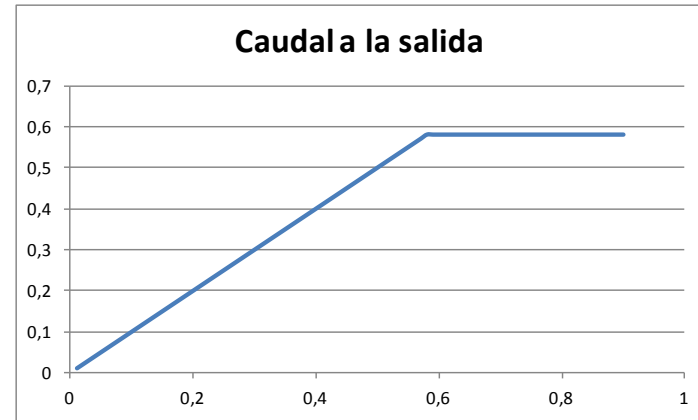
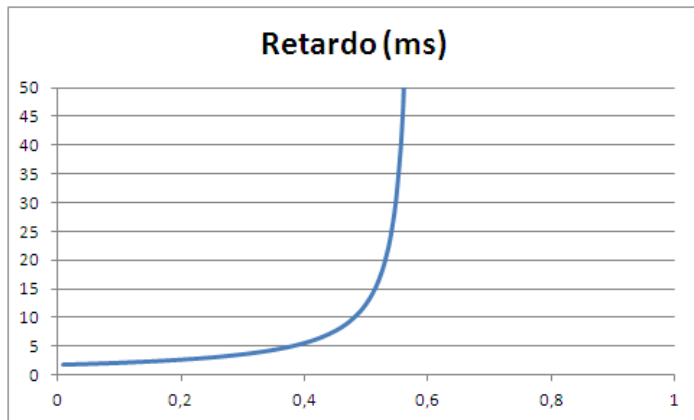
6. Arquitecturas de conmutación

◆ Conmutadores con colas a la entrada

- Head of Line (HOL) *Blocking*: es el efecto causante de que el caudal (*throughput*) máximo quede limitado a $2-\sqrt{2} \approx 58\%$



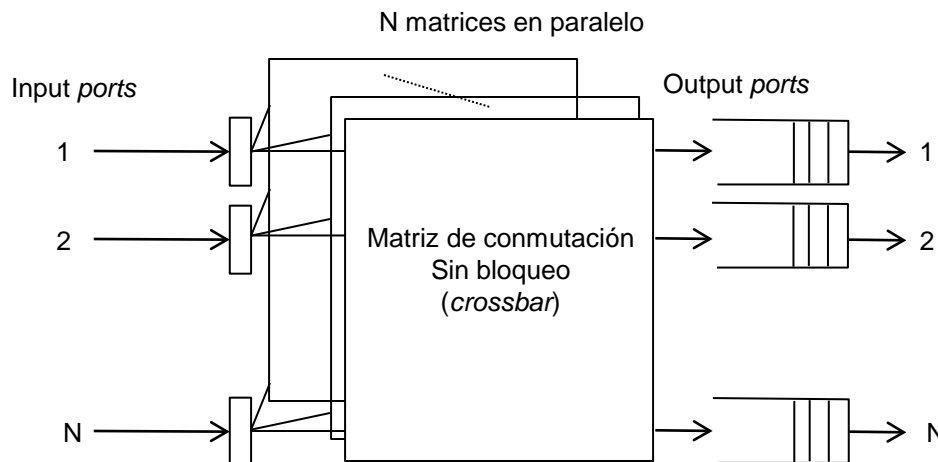
- Cuando la carga de las líneas de entrada alcanza este valor, el sistema se hace inestable
- La velocidad de la memorias coincide con la capacidad de los enlaces de entrada/salida



6. Arquitecturas de conmutación

◆ Conmutadores con colas a la salida

- Los paquetes son encaminados hacia sus respectivos puertos de salida mediante una matriz de conmutación sin bloqueo (por ejemplo, *crossbar*) capaz de operar a una velocidad N veces superior a la capacidad de los enlaces de entrada/salida
- Posteriormente, los paquetes son almacenados en las colas de salida. Éstas debe ser capaces de operar a una velocidad N veces superior a la capacidad de los enlaces de entrada/salida
- El planificador no es necesario
- Constituyen los sistemas de conmutación óptimos; es decir, ninguna arquitectura de conmutación tiene mejores prestaciones que ésta

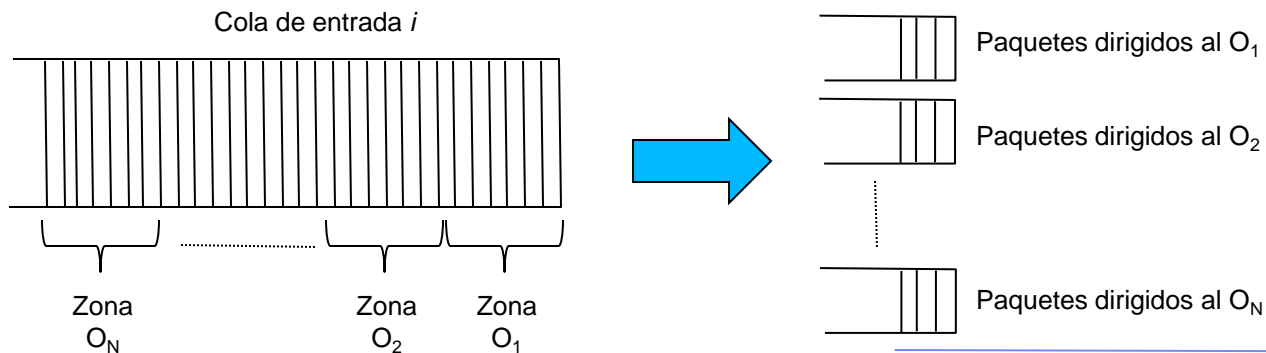


$$W = \frac{N-1}{N} \frac{\rho}{2(1-\rho)}$$

6. Arquitecturas de conmutación

◆ Conmutadores *Virtual Output Queue (VOQ)*

- Son sistemas de conmutación con colas a la entrada, pero el planificador las gestiona de tal manera que parece que se trate de un sistema con colas a la salida
 - ◆ Los paquetes son almacenados en las colas de entrada a medida que van llegando
 - ◆ Posteriormente son encaminados hacia sus respectivos puertos de salida mediante una matriz de conmutación sin bloqueo (por ejemplo, *crossbar*)
 - ◆ El planificador (*scheduler*) es el encargado de decidir cuáles de los paquetes ubicados en la cola se conmutarán
- Cada cola de entrada reserva una cierta cantidad de memoria para cada uno de los puertos de salida. Es como si en cada cola de entrada hubiera N colas asociadas cada una de ellas a los N puertos de salida



6. Arquitecturas de conmutación

◆ Conmutadores *Virtual Output Queue* (VOQ)

- El planificador es la “pieza” clave de estos sistemas de conmutación. Existen schedulers capaces de proporcionar un caudal del 100%. A mayor complejidad del planificador, mejores prestaciones y mayor coste de implementación.
- La matriz de conmutación sin bloqueo (por ejemplo, *crossbar*) debe operar a una velocidad menor que N veces la capacidad de los enlaces de entrada/salida
- Las colas deben operar a una velocidad menor que N veces la capacidad de los enlaces de entrada/salida

