

Capa física – Introducción

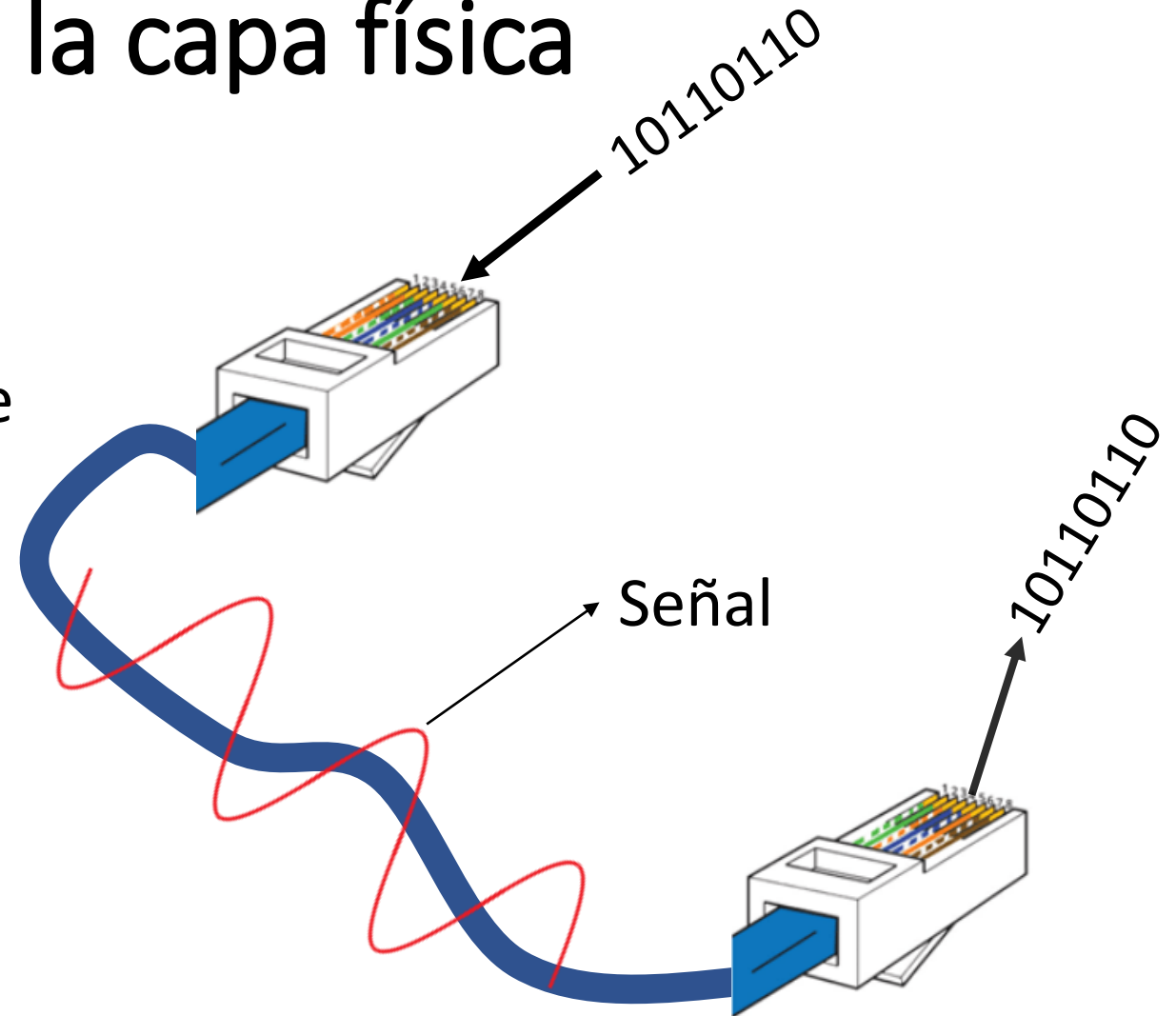
¿Dónde estamos en el modelo?

APLICACIÓN
TRANSPORTE
RED
ENLACE
FÍSICA

- Comenzamos de abajo hacia arriba.
- Iniciando en la capa física

Alcance de la capa física

- Cómo las señales (eléctricas, lumínicas, inalámbricas) son usadas para transmitir los bits de un mensaje a través de un medio
- Requerimos enviar bits (señal digital)
- **Representación de bits** en señales análogas



Modelo simple de un enlace físico

- Nos permite trabajar con una abstracción del enlace físico
 - Tasa o *rate* (o ancho de banda, capacidad) medida en bits/s.
 - Retardo o *delay* medido en segundos.
 - Tiempo que le lleva a una señal cruzar de un extremo a otro
 - Tipo de difusión y tasa de error, entre otras.
 - P. Ej.: Algunos enlaces inalámbricos son *broadcast*.
 - P. Ej.: Fibra óptica tiene baja tasa de error, WiFi altas tasas de error



Características deseables | reales

- Deseables
 - Mover entre dos extremos tantos datos como **sea posible**
 - Instantáneamente
 - Sin pérdida
 - Sin error
- Reales (algunas impuestas por los medios físicos de Tx)
 - Restricción al **Throughput**
 - Cantidad de datos que pueden ser transferidos por unidad de tiempo
 - Retardos
 - Pérdida

Retardo – Delay

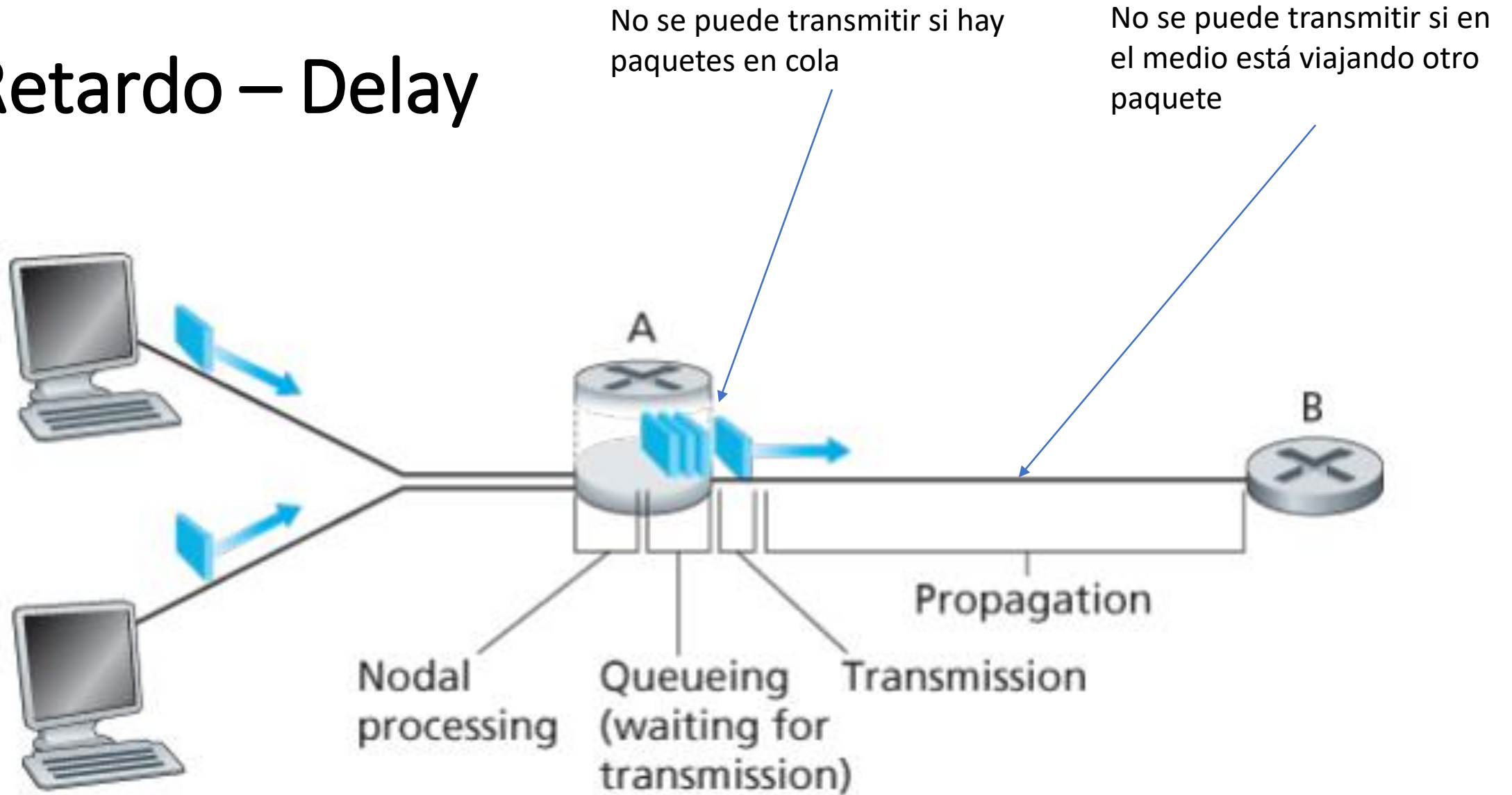
- Un paquete sufre **retardo** a lo largo de su viaje entre el nodo origen y el nodo destino

- Retardo por procesamiento
- Retardo por encolamiento
- Retardo de transmisión
- Retardo de propagación



Retardo total = Latencia

Retardo – Delay



Retardo – Delay

- **Retardo por procesamiento**

- Examinar encabezados y determinar rutas de salida
- Chequeo de control de detección/corrección de errores
- Otros controles (p. ej.: seguridad) añaden más retardo
- Depende de la velocidad de procesamiento en los nodos
- Nodos de alta velocidad orden de microsegundos

Retardo – Delay

- **Retardo por encolamiento**

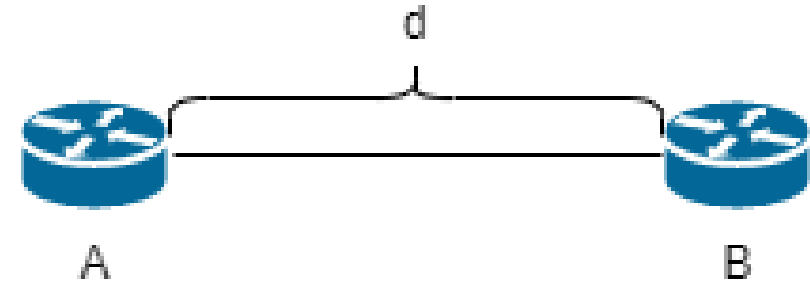
- Los paquetes siempre llegan a una cola de una interfaz física
- Si no hay cola, se transmiten inmediatamente
- Tráfico pesado → Colas largas → Tiempo de espera elevado
- Usualmente del orden de los microsegundos y milisegundos

Retardo – Delay

- Retardo de transmisión

- L (bits): Longitud en bits del paquete
 - M (bits): En otros libros también así.
- R bits/s: Tasa de transmisión del enlace entre los extremos
 - Ancho de banda del canal
- Retardo de transmisión: L/R
 - En otros libros M/R
- **La cantidad de tiempo requerido para poner todos los bits sobre el enlace de transmisión.**

Retardo – Delay



- **Retardo de propagación**

- Cada bit se propaga a la velocidad del enlace
- Depende del medio físico de propagación
- Usualmente en el rango

$2 \times 10^8 \text{ m/s}$ hasta $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

- Un poco menos que la velocidad de la luz
- Es igual a la distancia entre dos nodos dividido la velocidad de propagación del medio
 - d/s

Retardo – Delay

- Retardo de **transmisión**
 - Tiempo que le toma a un nodo poner en el enlace un paquete
 - Está en función de la **longitud en bits** del mensaje
 - Está en función de la tasa de transmisión
- Retardo de **propagación**
 - Está en función de la distancia entre los nodos
 - Tiempo que le toma a un bit propagarse de un extremo a otro
 - **No tiene** que ver con la **longitud en bits** del mensaje
 - **No tiene** que ver con la tasa de transmisión del enlace

Latencia $\frac{M}{R} + D$

Tiempo que toma **transmitir** un mensaje de **un extremo a otro**

$\frac{M}{R}$

Retardo de transmisión $\frac{M}{R}$

- Tiempo que toma poner un mensaje de **M-bits** en el cable

D

Retardo de propagación D

- Tiempo que le toma a los bits propagarse en el medio
- Depende del medio.
- Depende de la longitud del medio.

$$\text{Latencia } \mathbf{L} = \frac{M}{R} + D$$

- Retardo de transmisión $\frac{M}{R}$

$$\text{Retardo de transmisión} = \frac{M(\text{bits})}{\text{Rate} \left(\frac{\text{bits}}{s} \right)} = \frac{M}{R} (s)$$

Latencia $L = \frac{M}{R} + D$

- **Retardo de propagación D**

- Propagación de la velocidad de la luz.
 - En un cable de cobre: $2,3 \times 10^8 \text{ m/s}$
 - En Fibra óptica: $2,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ (depende del material de la F.O)
 - En el vacío: $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$D = \boxed{\text{Longitud}} \times \frac{2}{3} C$$

← Largo del medio en donde la señal tiene que ser propagada

Unidades de medida en redes de datos

- Usualmente hablamos de transmitir un mensaje de 32**KB** sobre un canal de 10 **Mbps**.

$$32 \times 2^{10} \times 8 \text{ Bits a una tasa de } 10 \times 10^6 \text{ Bits/s}$$

- En redes de datos usualmente hablamos de **Kbps**, **Mbps**, **Gbps**, etc., cuando se hace referencia a la **capacidad** de un canal de datos.
 - **Kbps** $\rightarrow 1 \times 10^3 \text{ Bits/s.} \rightarrow 1000 \text{ Bits/s.}$
 - **Mbps** $\rightarrow 1 \times 10^6 \text{ Bits/s.} \rightarrow 1000000 \text{ Bits/s.}$
 - **Gbps** $\rightarrow 1 \times 10^9 \text{ Bits/s.} \rightarrow 1000000000 \text{ Bits/s.}$
 - 10 **Gbps** $\rightarrow 10 \times 10^9 \text{ Bits/s.} \rightarrow 10000000000 \text{ Bits/s.}$

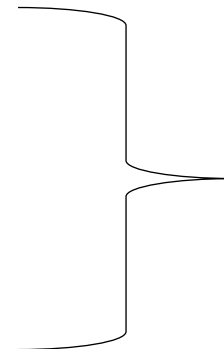
Unidades de medida computadores

- Sistema ISO/IEC 80000-13

- 1 Byte → 8 Bits
- 1 Kibibyte (KiB) → 2^{10} → 1.024 Bytes
- 1 Mebibyte (MiB) → 2^{20} → 1.048.576 Bytes
- 1 Gibibyte (GiB) → 2^{30} → 1073.741.824 Bytes

- Sistema internacional

- 1 Byte → 8 Bits.
- 1 Kilobyte (KB) → 10^3 Bytes.
- 1 Megabyte (MB) → 10^6 Bytes.
- 1 Gigabyte (GB) → 10^9 Bytes.



En la práctica
Mencionamos estos
para referirnos a los
valores de arriba

Unidades de medida de tiempo

- 1 Segundo $\rightarrow 1000\text{ms}$
- 1 Milisegundo $\rightarrow 1\text{ms} = 1 \times 10^{-3}\text{s} = 0,001\text{s}$
- 1 Microsegundo $\rightarrow 1\mu\text{s} = 1 \times 10^{-6}\text{s} = 0,000001\text{s}$
- 1 Nanosegundo $\rightarrow 1\text{ns} = 1 \times 10^{-9}\text{s} = 0,000000001\text{s}$

Unidades de medida en redes de datos

- Prefijos más comunes

Prefijo	Exponente	Prefijo	Exponente
K(ilo)	10^3	M(illi)	10^{-3}
M(ega)	10^6	μ(micro)	10^{-6}
G(iga)	10^9	n(nano)	10^{-9}

- **IMPORTANTE**

- Usar potencias de 10 para *rates*
- Usar potencias de 2 para tamaño de datos en almacenamiento
 - 1 Mbps = 1000000 bps
 - 1 KB = 2^{10} Bytes = 1024 Bytes

Ejemplos de latencia

- ¿De cuánto es la **latencia** de transmitir un mensaje de **1250 Bytes** sobre un modem telefónico de **56 Kbps** con un retardo de promedio de propagación de **5ms**?

- $M = 1250 \text{ Bytes} \times 8 = 10000 \text{ bits}$
- $D = 5 \text{ ms} = 5 \times \frac{1}{10^3} = 5 \times 10^{-3} = 0.005 \text{ s}$
- $R = 56 \text{ Kbps} \times 10^3 = 56000 \frac{\text{bits}}{\text{s}}$

$$L = \frac{M}{R} + D = \frac{10000 \text{ bits}}{56000 \frac{\text{bits}}{\text{s}}} + 0.005 \text{ s} = 0.184 \text{ s} = 184 \text{ ms}$$

Retardo de propagación

De donde viene casi toda la latencia del mensaje

Ejemplos de latencia

- ¿De cuánto es la **latencia** de transmitir el mismo mensaje (**1250 Bytes**) pero sobre un enlace de banda ancha de **10 Mbps** con un retardo promedio de propagación de **50 ms**?

- $M = 1250 \text{ Bytes} \times 8 = 10000 \text{ bits}$

- $D = 50 \text{ ms} = 50 \times \frac{1}{10^3} = 50 \times 10^{-3} = 0.05\text{s}$

- $R = 10 \text{ Mbps} \times 10^6 = 10000000 \frac{\text{bits}}{\text{s}}$

$$L = \frac{M}{R} + D = \frac{10000 \text{ bits}}{10000000 \frac{\text{bits}}{\text{s}}} + 0.05\text{s} = 0.051\text{s} = 51\text{ms}$$

De donde viene casi toda la latencia del mensaje

Sobre la latencia

- Enlaces con **alto retardo de propagación** de señal implican más latencia para la transmisión
 - El retardo de propagación depende **de la longitud** que tiene que recorrer la señal de un extremo al otro.
- Enlaces con **poco rate** (ancho de banda) implican más latencia para la transmisión
 - Poca **capacidad** de transporte de información.
- En la latencia alguno de los dos componentes domina la medida como en el ejemplo anterior.

Producto del retardo por el ancho de banda

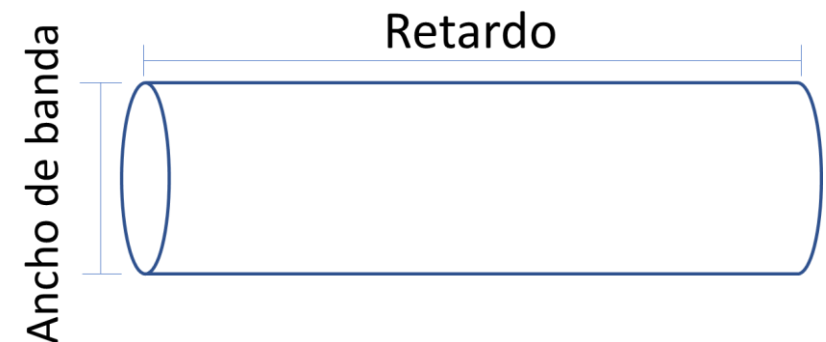
- Pensar en que los mensajes ocupan espacio en el cable.
- Representa el número de **bits** que pueden estar en tránsito a través del canal **en un momento dado**.

Retardo de propagación

$$BD = \boxed{R} \times \boxed{D}$$

Tasa de transmisión

- Pequeño en LANS
- Grande en canales de gran capacidad *fat pipes*
 - P. Ej.: canales submarinos
 - Más retardo, pero más ancho de banda



Producto del retardo por el ancho de banda

- ¿Cuánta información es capaz de transmitir un enlace de **56 Kbps** con un retardo promedio de **87 μ s** a una distancia típica de **10km**?
 - $D = 87\mu s \times \frac{1}{10^6} = 8.7 \times 10^{-5} s$
 - $R = 56 \text{ Kbps} \times 10^3 = 56000 \frac{\text{bits}}{s}$
 - $BD = R \times D = 56000 \frac{\text{bits}}{s} \times (8.7 \times 10^{-5} s) = 4.872 \approx 5 \text{ bits}$
 - Un módem de **56 Kbps** con un **RTT** promedio de **87 μ s** a una distancia típica de **10 km** es capaz de transmitir en un momento dado solo 5 bits de información
- Retardo de propagación

Throughput

- Medida de rendimiento efectivo (**real**) de un canal

$$\text{Throughput} = \frac{M}{L}$$

→ Mensaje en bits
→ Latencia

- Tiempo de transferencia o **latencia**

Retardo de propagación

$$L = D + \frac{M}{R}$$

Retardo de transmisión

Throughput

Retardo de propagación

- Suponga que se desea descargar un archivo de **1 MB** sobre un canal de **1 Gbps** con un **RTT de 100 ms**. Calcular el *throughput* del canal.

- $M = 1 \text{ MB} \times 2^{20} \times 8 = 8388608 \text{ bits}$

- $R = 1 \text{ Gbps} \times 10^9 = 10000000000 \frac{\text{bits}}{\text{s}}$

- $D = 100\text{ms} \times \frac{1}{10^3} \text{ s} = 0.1\text{s}$

- $\frac{M}{R} = \frac{8388608 \text{ bits}}{10000000000 \frac{\text{bits}}{\text{s}}} = 0.0008388608 \text{ s} = 8.388608 \times 10^{-4} \text{ s}$

- $L = 0.1\text{s} + (8.388608 \times 10^{-4} \text{ s}) = 0.1008388608 \text{ s}$

- $\text{Throughput} = \frac{8388608 \text{ bits}}{0.1008388608 \text{ s}} = 83185683 \frac{\text{bits}}{\text{s}} \approx 83 \text{ Mbps}$

¡Y no un 1Gbps como se piensa!

Medida throughput sin congestión de canal

```
C:\Users\jmunoz\Downloads\iperf-3.1.3-win32\iperf-3.1.3-win32>iperf3.exe -c 192.168.111.1
Connecting to host 192.168.111.1, port 5201
[ 4] local 192.168.111.2 port 43892 connected to 192.168.111.1 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00      sec    112 MBytes   942 Mbits/sec
[ 4] 1.00-2.00      sec    112 MBytes   939 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.00      sec    112 MBytes   943 Mbits/sec
[ 4] 3.00-4.00      sec    113 MBytes   944 Mbits/sec
[ 4] 4.00-5.00      sec    113 MBytes   945 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.00      sec    112 MBytes   942 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.00      sec    112 MBytes   940 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.00      sec    112 MBytes   943 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.00      sec    112 MBytes   941 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.00     sec    112 MBytes   942 Mbits/sec
-- -- -- -- --
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 4] 0.00-10.00     sec    1.10 GBytes   942 Mbits/sec
[ 4] 0.00-10.00     sec    1.10 GBytes   942 Mbits/sec

iperf Done.
```

¿De cuánto es el ancho de banda?

¿De cuánto el *throughput*?

sender
receiver

¿De cuánto es el PDU?

Medida throughput con congestión de canal

```
C:\Users\jmunoz\Downloads\iperf-3.1.3-win32\iperf-3.1.3-win32>iperf3.exe -c 192.168.111.1
Connecting to host 192.168.111.1, port 5201
[ 4] local 192.168.111.2 port 43888 connected to 192.168.111.1 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00    sec   79.5 MBytes  665 Mbits/sec
[ 4] 1.00-2.00    sec   77.5 MBytes  652 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.00    sec   71.6 MBytes  600 Mbits/sec
[ 4] 3.00-4.00    sec   71.4 MBytes  599 Mbits/sec
[ 4] 4.00-5.00    sec   72.2 MBytes  606 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.00    sec   72.4 MBytes  607 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.00    sec   71.1 MBytes  597 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.00    sec   72.0 MBytes  604 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.00    sec   72.8 MBytes  611 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.00   sec   72.6 MBytes  609 Mbits/sec
- - - - -
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 4] 0.00-10.00   sec   733 MBytes  615 Mbits/sec
[ 4] 0.00-10.00   sec   733 MBytes  615 Mbits/sec
```

¿De cuánto es el ancho de banda?

¿De cuánto el *throughput*?

sender receiver

Es el mismo PDU, sin embargo, note que sobre los mismos intervalos de tiempo hay menos capacidad

Medida throughput sin congestión de canal

- En el servidor, abrir dos conexiones.
 - `iperf3 -s -p 5201`
 - `iperf3 -s -p 5202`
- Medir ancho de banda sin saturación y deducir ancho de banda.
 - `iperf3 -c <IP Servidor> -t 60 -p 5201`
 - `iperf3 -c <IP Servidor> -n 1G -p 5201`
- En el cliente iniciar saturación de canal en puerto 5202
 - `iperf3 -c <IP Servidor> -t 60 -p 5202 <-P 10>`
- En el cliente medir al mismo tiempo en puerto 5201
 - `iperf3 -c <IP Servidor> -p 5201`

En general...

- El ancho de banda **NO** es una medida de velocidad. ¡Qué NO!
- El ancho de banda es una medida teórica de **capacidad** de un canal de datos.
- La velocidad de un canal está determinada por.
 - Latencia: retardo de propagación + retardo de transferencia + retardo por encolamiento.
 - **Congestión.**
 - Reúso: canales sobrevendidos.
 - Ancho de banda como características físicas del medio.
- Ojo con las medidas de los **ISP**.
- El ancho de banda de un canal es **invariable**, lo que varía es la **velocidad** con la que se puede enviar y recibir datos.

Referencias

- Tanenbaum, Andrew S., and D. Wetherall. *Redes De Computadoras*. 5th ed., Pearson Educación De México, 2012.
- Wetherall, David J. *Computer Networks 2-1 Physical Layer Overview*. <https://www.youtube.com/watch?v=TIxBLseL4LI>