

# DISEÑO Y ADMINISTRACIÓN DE REDES

Área de Ingeniería Telemática

**Grado en Ingeniería Informática**  
Cuarto curso. Primer Cuatrimestre.



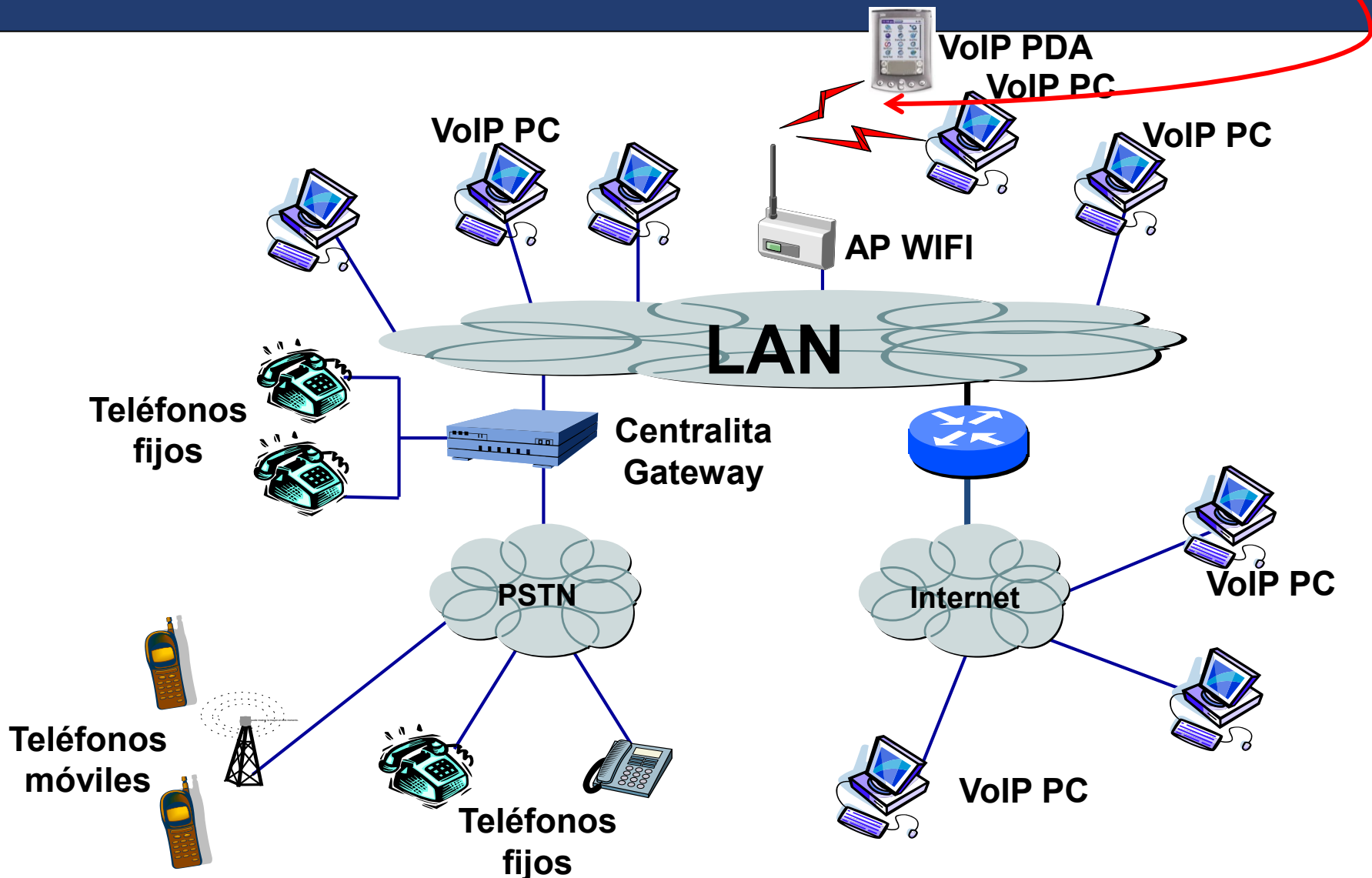
**Departamento de  
Ingeniería Electrónica  
y Comunicaciones**  
**Universidad Zaragoza**<sup>1</sup>

# Casos prácticos

## Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi.

Área de Ingeniería Telemática

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi



# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

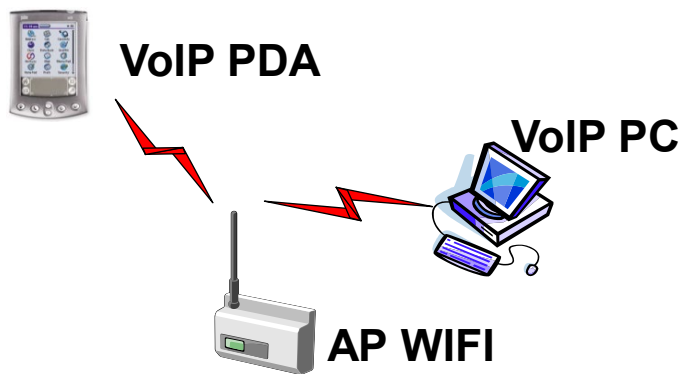
Características que afectan a la eficiencia (en cuanto a capacidad y retardo):

- Modo Infraestructura o Ad-hoc.
- Técnicas de alineamiento de trama MAC.
- Protocolo de acceso al medio compartido CSMA/CA.
- Utilización de control de flujo RTC/CTS.

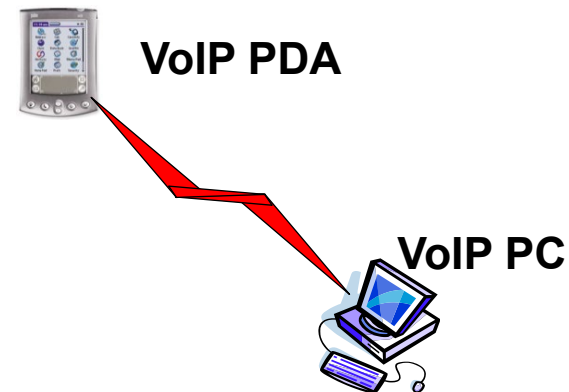
# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Modo Infraestructura o Ad-hoc:

En el caso de que los dos terminales sean WIFI existe duplicación de tramas en modo infraestructura, lo que supone doble ancho de banda y retardo .



Infraestructura



Ad-hoc

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Técnicas de alineamiento de trama MAC:

La cabecera es el doble que en Ethernet.

En total son 34 octetos (variable) más el preámbulo mientras que Ethernet son 18 octetos más el preámbulo.

Trama MAC Ethernet

Preámbulo (8 oct)	Dirección MAC destino (6 oct)	Dirección MAC fuente (6 oct)	Tipo (2 oct)	Datos + PAD (46 a 1500 oct)	CRC (4 oct)
----------------------	----------------------------------	---------------------------------	-----------------	--------------------------------	----------------

Trama MAC WIFI

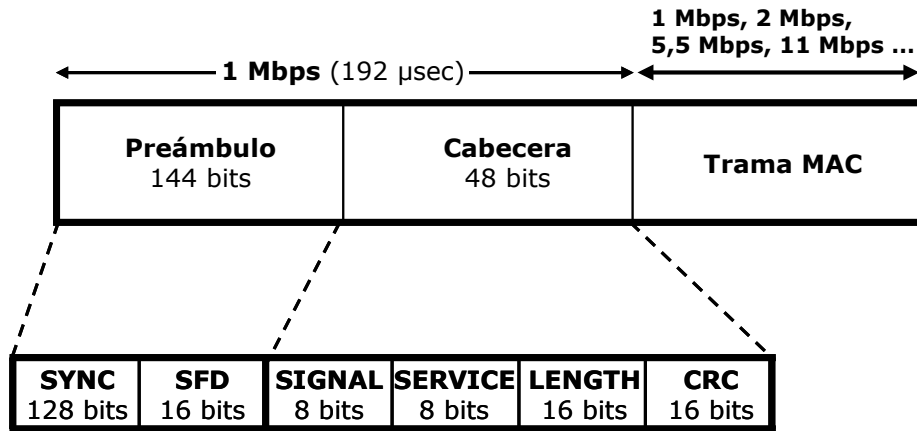
Control 2oct	Duración ID 2oct	Dir MAC1 6oct	Dir MAC2 6oct	Dir MAC3 6oct	Control 2oct	Dir MAC4 6oct	Datos (max 2312 oct)	FCS 4oct
-----------------	---------------------	------------------	------------------	------------------	-----------------	------------------	----------------------	-------------

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

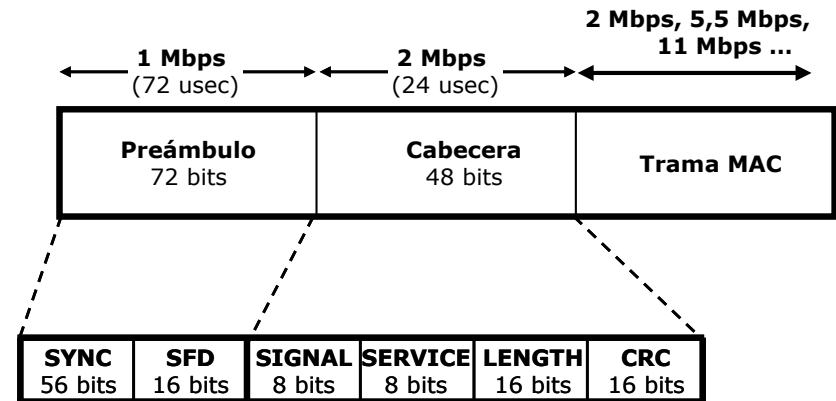
## Técnicas de alineamiento de trama MAC:

El preámbulo es mucho mayor que en Ethernet y además se transmite a baja velocidad.

Existe preámbulo corto y largo.



**Formato largo (obligatorio)**



**Formato corto (opcional)**

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Técnicas de alineamiento de trama MAC:

### **Ejemplo I de WIFI: Alineamiento de trama MAC**

Se quiere establecer conversaciones telefónicas, codificando la voz según la norma G729 (10 octetos de datos cada 10 ms) y encapsulando la información sobre IP, es decir: encapsular los datos sobre RTP (que añade 12 octetos), éste sobre UDP (que añade 8 octetos), todo lo cual se encapsula sobre IP (que añade 20 octetos).

Podemos encapsular en un mismo datagrama IP un número de ventanas  $M$  de 10 ms de señal de voz.

La información se transmite sobre una LAN que consta de dos tramos, uno Ethernet y otro WIFI. La velocidad en Ethernet es de 10 Mbps y en WIFI es de 11Mbps

- 1.- Calcular la capacidad (a nivel MAC Ethernet 10Mbps) utilizada en función de  $M$
- 2.- Calcular la capacidad (a nivel MAC WIFI) utilizada en función de  $M$
- 3.- ¿Cuántas conversaciones de ToIP podemos establecer?



# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Técnicas de alineamiento de trama MAC:

### Ejemplo I de WIFI: Alineamiento de trama MAC

1.- Calcular la capacidad (a nivel MAC Ethernet 10 Mbps) utilizada en función de M.

Calculamos la capacidad como el cociente del número de bit (L) por el tiempo (T) en ser transmitidos

Preámbulo (8 oct)	Dirección MAC destino (6 oct)	Dirección MAC fuente (6 oct)	Tipo (2 oct)	Datos + PAD (46 a 1500 oct)	CRC (4 oct)
----------------------	----------------------------------	---------------------------------	-----------------	--------------------------------	----------------

$$L = (M \cdot 10 + 12 + 8 + 20 + 26 \text{cab} + 12 \text{gap}) \cdot 8 \text{ bit}$$

$$T = M \cdot 10 \text{ ms}$$

$$AB_M = (M \cdot 10 + 12 + 8 + 20 + 26 + 12) \cdot 8 / (M \cdot 10) \text{ms}$$

$$AB_1 = 88 \cdot 8 \text{bit} / 10 \text{ms} = 70,4 \text{ Kbps}$$

$$AB_3 = 108 \cdot 8 \text{bit} / 30 \text{ms} = 28,8 \text{ Kbps}$$

$$AB_5 = 128 \cdot 8 \text{bit} / 50 \text{ms} = 20,48 \text{ Kbps}$$

$$AB_2 = 98 \cdot 8 \text{bit} / 20 \text{ms} = 39,2 \text{ Kbps}$$

$$AB_4 = 118 \cdot 8 \text{bit} / 40 \text{ms} = 23,6 \text{ Kbps}$$

$$AB_6 = 138 \cdot 8 \text{bit} / 60 \text{ms} = 18,4 \text{ Kbps}$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Técnicas de alineamiento de trama MAC:

### Ejemplo I de WIFI: Alineamiento de trama MAC

2.- Calcular la capacidad (a nivel MAC WIFI) utilizada en función de M

¿¿¿Calculamos la capacidad como el cociente del número de bit (L) por el tiempo (T) en ser transmitidos???

En este caso tenemos bit que se transmiten a diferente velocidad.

$T = M \cdot 10 \text{ ms}$  (se mantiene constante)

El cálculo depende de la velocidad de transmisión de la WIFI y del tamaño del preámbulo.

**CWIFI=1 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$L = (M \cdot 10 + 12 + 8 + 20 + 34) \cdot 8 + 192 \text{ bit}$$

$$AB_M = (192 + (M \cdot 10 + 12 + 8 + 20 + 34) \cdot 8) / (M \cdot 10) \text{ ms}$$

$$AB_1 = 192 + 84 \cdot 8 \text{ bit} / 10 \text{ ms} = 86,4 \text{ Kbps}$$

$$AB_6 = 192 + 134 \cdot 8 \text{ bit} / 60 \text{ ms} = 21,1 \text{ Kbps}$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Técnicas de alineamiento de trama MAC:

### Ejemplo I de WIFI: Alineamiento de trama MAC

2.- Calcular la capacidad (a nivel MAC WIFI) utilizada en función de M.

¿Qué pasa cuando la velocidad de datos y preámbulo no coincide?

De las múltiples opciones escogemos el cálculo de la capacidad gastada en relación a la velocidad de datos.

**CWIFI=2 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$L = (M \cdot 10 + 12 + 8 + 20 + 34) \cdot 8 + 192 \cdot 2 \text{ bit}$$

$$AB_M = (192 \cdot 2 + (M \cdot 10 + 12 + 8 + 20 + 34) \cdot 8) / (M \cdot 10) \text{ ms}$$

$$AB_1 = 192 \cdot 2 + 84 \cdot 8 \text{ bit} / 10 \text{ ms} = 105,6 \text{ Kbps}$$

$$AB_6 = 192 \cdot 2 + 134 \cdot 8 \text{ bit} / 60 \text{ ms} = 24,3 \text{ Kbps}$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Técnicas de alineamiento de trama MAC:

### Ejemplo I de WIFI: Alineamiento de trama MAC

2.- Calcular la capacidad (a nivel MAC WIFI) utilizada en función de M

**CWIFI=5,5 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$L = (M*10+12+8+20+34)*8 + 192*5,5 \text{ bit}$$

$$AB_M = (192*5,5 + (M*10+12+8+20+34)*8) / (M*10) \text{ ms}$$

$$AB_1 = 192*5,5 + 84*8 \text{ bit} / 10 \text{ ms} = 172,8 \text{ Kbps}$$

$$AB_6 = 192*5,5 + 134*8 \text{ bit} / 60 \text{ ms} = 35,5 \text{ Kbps}$$

**CWIFI=11 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$L = (M*10+12+8+20+34)*8 + 192*11 \text{ bit}$$

$$AB_M = (192*11 + (M*10+12+8+20+34)*8) / (M*10) \text{ ms}$$

$$AB_1 = 192*11 + 84*8 \text{ bit} / 10 \text{ ms} = 278,4 \text{ Kbps}$$

$$AB_6 = 192*11 + 134*8 \text{ bit} / 60 \text{ ms} = 53,1 \text{ Kbps}$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Técnicas de alineamiento de trama MAC:

### Ejemplo I de WIFI: Alineamiento de trama MAC

3.- ¿Cuántas conversaciones de ToIP podemos establecer?

Las calculamos dividiendo el AB total por el AB que gasta una conversación.

Por cada conversación habrá dos comunicaciones de VoIP.

La respuesta depende de si usamos Ad-Hoc o Infraestructura.

Para Infraestructura cada comunicación se transmite dos veces en caso de que los dos terminales estén en la misma WIFI.

Para el ejemplo supondremos que por cada conversación tenemos un solo terminal WIFI (en Infraestructura).

### CWIFI=1 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps

$$AB_1 = 86,4 \text{ Kbps} \quad N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 1000 / (86,4 * 2) \rfloor = 5$$

$$AB_6 = 21,1 \text{ Kbps} \quad N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 1000 / (21,1 * 2) \rfloor = 23$$

### CWIFI=2 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps

$$AB_1 = 105,6 \text{ Kbps} \quad N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 2000 / (105,6 * 2) \rfloor = 9$$

$$AB_6 = 24,3 \text{ Kbps} \quad N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 2000 / (24,3 * 2) \rfloor = 41$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Técnicas de alineamiento de trama MAC:

### Ejemplo I de WIFI: Alineamiento de trama MAC

3.- ¿Cuántas conversaciones de ToIP podemos establecer?

#### **CWIFI=5,5 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$\begin{array}{ll} AB_1 = 172,8 \text{ Kbps} & N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 5500 / (172,8 * 2) \rfloor = 15 \\ AB_6 = 35,5 \text{ Kbps} & N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 5500 / (35,5 * 2) \rfloor = 77 \end{array}$$

#### **CWIFI=11 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$\begin{array}{ll} AB_1 = 278,4 \text{ Kbps} & N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 11000 / (278,4 * 2) \rfloor = 19 \\ AB_6 = 53,1 \text{ Kbps} & N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 11000 / (53,1 * 2) \rfloor = 103 \end{array}$$

Todos estos resultados se calculan suponiendo que no hay ningún tipo de colisión. Es una situación ideal muy poco (o nada) realista.

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Técnicas de alineamiento de trama MAC:

### Ejemplo I de WIFI: Alineamiento de trama MAC

3.- ¿Cuántas conversaciones de ToIP podemos establecer?

También se podría calcular si conocemos el tiempo ocupado por cada conversación en relación al tiempo total

### **CWIFI=1 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$To_1 = 2 \cdot (192b/1Mbps + (84 \cdot 8b/1Mbps)) = 2 \cdot (192\mu s + 672\mu s) = 2 \cdot 864\mu s$$

$$N_{conversaciones} = \lfloor 10000 / (2 \cdot 865) \rfloor = 5$$

$$To_6 = 2 \cdot (192b/1Mbps + (134 \cdot 8b/1Mbps)) = 2 \cdot (192\mu s + 672\mu s) = 2 \cdot 1264\mu s$$

$$N_{conversaciones} = \lfloor 60000 / (2 \cdot 1264) \rfloor = 23$$

### **CWIFI=11 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$To_1 = 2 \cdot (192b/1Mbps + (84 \cdot 8b/11Mbps)) = 2 \cdot (192\mu s + 61,1\mu s) = 2 \cdot 253,1\mu s$$

$$N_{conversaciones} = \lfloor 10000 / (2 \cdot 253,1) \rfloor = 19$$

$$To_6 = 2 \cdot (192b/1Mbps + (134 \cdot 8b/11Mbps)) = 2 \cdot (192\mu s + 97,4\mu s) = 2 \cdot 289,4\mu s$$

$$N_{conversaciones} = \lfloor 60000 / (2 \cdot 289,4) \rfloor = 103$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

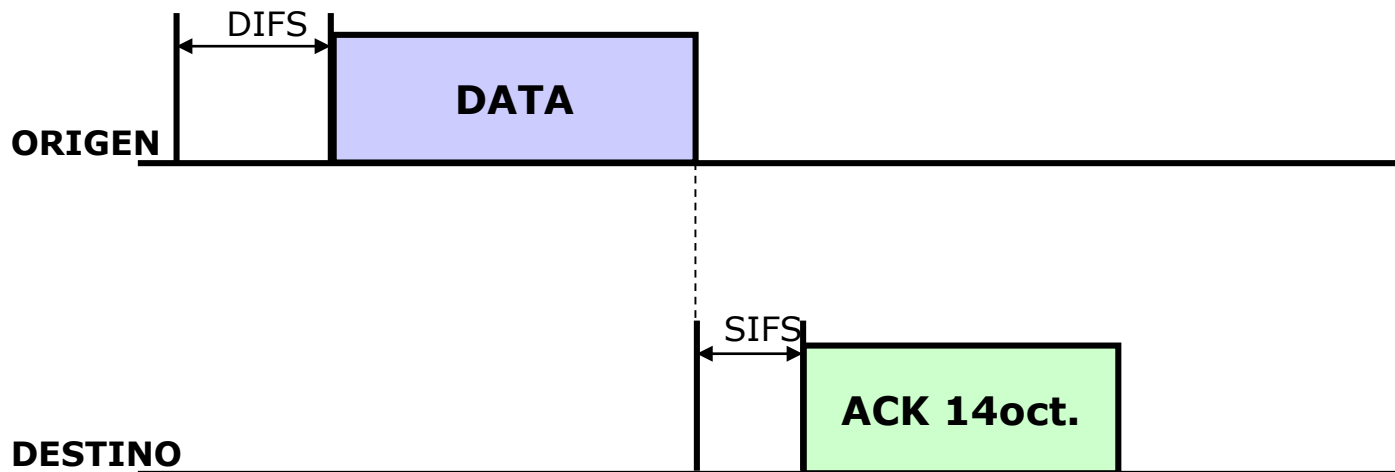
## Protocolo de acceso al medio compartido CSMA/CA (equivalente gap):

El medio radio es compartido por todos los terminales (STA). Por eso, cuando una estación quiere enviar una trama, sondea antes el canal en el que opera para detectar si existe una transmisión en curso.

Cuando el canal queda libre, la STA no transmite inmediatamente, sino que debe seguir sondeando el canal para asegurarse de que sigue libre durante un período de tiempo DIFS (*DCF InterFrame Space*). En ese momento puede transmitir una trama de datos.

Cuando una estación recibe correctamente una trama de datos, espera un tiempo SIFS (*Short Interframe Space*) y manda la confirmación pertinente (ACK).

SIFS (10 $\mu$ s) es más pequeño que DIFS (52 $\mu$ s) para proporcionar prioridad a los envíos de los ACKs respecto a otras STAs que estuviesen a la espera de que el canal quede libre para transmitir sus tramas de datos.





# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

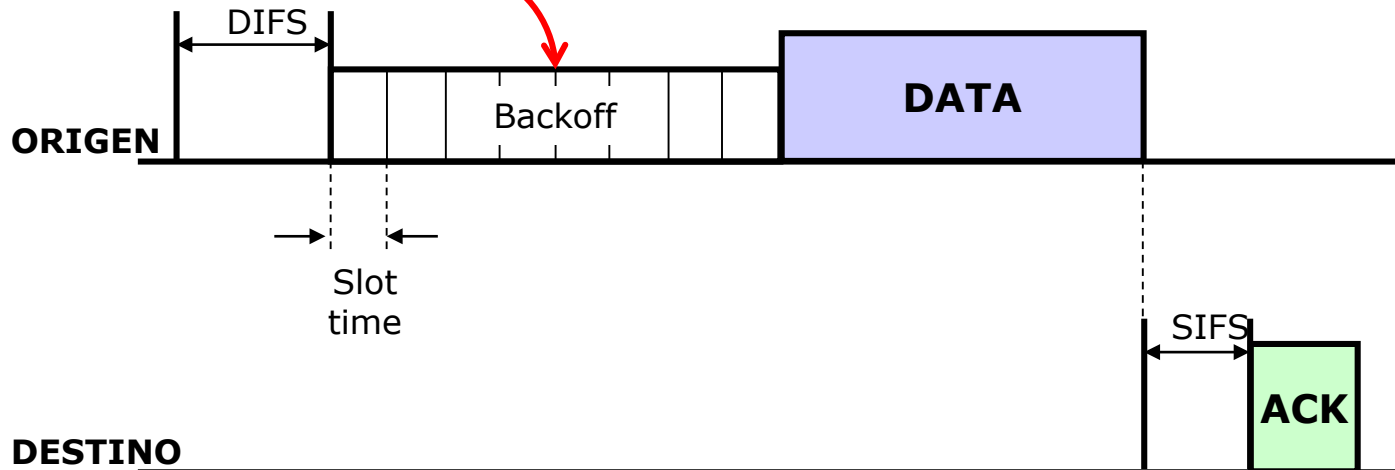
## Protocolo de acceso al medio compartido CSMA/CA:

Además, después de esperar el DIFS no transmite inmediatamente porque provocaría colisiones en el caso de haber más de una estación esperando a transmitir.

Se utilizan los Slots de Contención (20 $\mu$ s para 802.11b). Cada estación que quiere transmitir calcula aleatoria e independientemente un valor entre 0 y 31 (esta cota es variable y puede ser 15, 7 o 3, según prioridad) y espera ese número de *slots* de contención para transmitir.

En caso de producirse colisión porque dos estaciones han escogido el mismo valor, se repite la operación escogiendo un valor entre 0 y 63. Si continúa habiendo colisión se va aumentando la cota máxima hasta un valor de 1023.

Media sin colisiones: 15,5 *slots* (310 $\mu$ s).



# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

Protocolo de acceso al medio compartido CSMA/CA:

## Ejemplo I de WIFI: CSMA/CA

3.- ¿Cuántas conversaciones de ToIP podemos establecer?

También se podría calcular si conocemos el tiempo ocupado por cada conversación en relación al tiempo total.

Tendremos que calcular el tiempo ocupado por los ACK. Depende de la velocidad y del preámbulo.

Su valor para preámbulo largo sería:

$$T_{ACK} = 14 \text{ octetos} * 8 \text{ bit/Vel. Mbps} + 192 \mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Media sin colisiones} &= 15,5 \text{ slots } (310 \mu\text{s}) + 52 \mu\text{s} + 10 \mu\text{s} + T_{ACK} \\ &= 372 \mu\text{s} + T_{ACK} \end{aligned}$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

Protocolo de acceso al medio compartido CSMA/CA:

## Ejemplo I de WIFI: CSMA/CA

3.- ¿Cuántas conversaciones de ToIP podemos establecer?

También se podría calcular si conocemos el tiempo ocupado por cada conversación en relación al tiempo total

**CWIFI=1 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$T_{ACK} = 14 \text{ octetos} * 8 \text{ bit} / 1 \text{ Mbps} + 192 \mu\text{s} = 304 \mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Media sin colisiones} &= 15,5 \text{ slots } (310 \mu\text{s}) + 52 \mu\text{s} + 10 \mu\text{s} + 304 \mu\text{s} \\ &= 372 \mu\text{s} + 304 \mu\text{s} = 676 \mu\text{s} \end{aligned}$$

$$To_1 = 2 * (676 + 192 \text{ b} / 1 \text{ Mbps} + (84 * 8 \text{ b} / 1 \text{ Mbps})) - 310 = 2 * (676 + 864) - 310 = 2770 \mu\text{s}$$

$$N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 10000 / 2770 \rfloor = 3$$

$$To_6 = 2 * (676 + 192 \text{ b} / 1 \text{ Mbps} + (134 * 8 \text{ b} / 1 \text{ Mbps})) - 310 = 2 * (676 + 1264) - 310 = 3570 \mu\text{s}$$

$$N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 60000 / 3570 \rfloor = 16$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

Protocolo de acceso al medio compartido CSMA/CA:

**Ejemplo I de WIFI: CSMA/CA**

3.- ¿Cuántas conversaciones de ToIP podemos establecer?

También se podría calcular si conocemos el tiempo ocupado por cada conversación en relación al tiempo total

**CWIFI=11 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$T_{ACK} = 14 \text{ octetos} * 8 \text{ bit} / 2 \text{ Mbps} + 192 \mu\text{s} = 248 \mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Media sin colisiones} &= 15,5 \text{ slots (310 } \mu\text{s)} + 52 \mu\text{s} + 10 \mu\text{s} + 248 \mu\text{s} \\ &= 372 \mu\text{s} + 248 \mu\text{s} = 620 \mu\text{s} \end{aligned}$$

$$To_1 = 2 * (620 + 192 \text{ b} / 1 \text{ Mbps} + (84 * 8 \text{ b} / 11 \text{ Mbps})) - 310 = 2 * (620 + 253) - 310 = 1436 \mu\text{s}$$

$$N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 10000 / 1436 \rfloor = 6$$

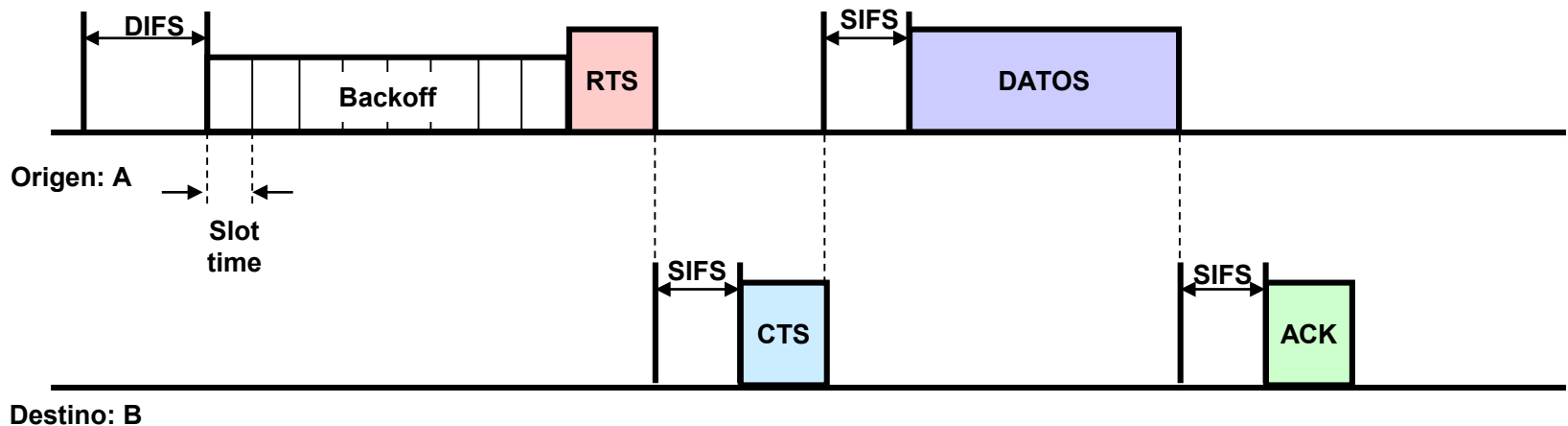
$$To_6 = 2 * (320 + 192 \text{ b} / 1 \text{ Mbps} + (134 * 8 \text{ b} / 11 \text{ Mbps})) = 2 * (620 + 289) = 1508 \mu\text{s}$$

$$N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 60000 / 1508 \rfloor = 39$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

## Utilización de control de flujo RTS/CTS:

Para solucionar mejor el problema del medio radio compartido por todos los terminales se puede aplicar control de flujo RTS/CTS. Cuando una estación quiere transmitir se asegura de que ninguna otra lo está haciendo.



Tendremos que calcular el tiempo ocupado por RTS y CTS. Depende de la velocidad y del preámbulo. Su valor para preámbulo largo sería:

$$T_{\text{RTS}} = 20 \text{ octetos} \times 8 \text{ bit/Vel. Mbps} + 192 \mu\text{s}$$

$$T_{\text{CTS}} = 14 \text{ octetos} \times 8 \text{ bit/Vel. Mbps} + 192 \mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Media sin colisiones} &= 15,5 \text{ slots } (310 \mu\text{s}) + 52 \mu\text{s} + 3 \times 10 \mu\text{s} + T_{\text{ACK}} + T_{\text{RTS}} + T_{\text{CTS}} \\ &= 392 \mu\text{s} + T_{\text{ACK}} + T_{\text{RTS}} + T_{\text{CTS}} \end{aligned}$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

Utilización de control de flujo RTS/CTS:

**Ejemplo I de WIFI: RTS/CTS**

3.- ¿Cuántas conversaciones de VoIP podemos establecer?

También se podría calcular si conocemos el tiempo ocupado por cada conversación en relación al tiempo total

**CWIFI=1 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$T_{ACK} = T_{CTS} = 14 \text{ octetos} \cdot 8 \text{ bit} / 1 \text{ Mbps} + 192 \mu\text{s} = 304 \mu\text{s}$$

$$T_{RTS} = 352 \mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Media sin colisiones} &= 15,5 \text{ slots } (310 \mu\text{s}) + 52 \mu\text{s} + 30 \mu\text{s} + 960 \mu\text{s} \\ &= 392 \mu\text{s} + 960 \mu\text{s} = 1352 \mu\text{s} \end{aligned}$$

$$To_1 = 2 \cdot (1352 + 192 \text{ b} / 1 \text{ Mbps} + (84 \cdot 8 \text{ b} / 1 \text{ Mbps})) - 310 = 2 \cdot (1352 + 864) - 310 = 4122 \mu\text{s}$$

$$N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 10000 / 4122 \rfloor = 2$$

$$To_6 = 2 \cdot (1352 + 192 \text{ b} / 1 \text{ Mbps} + (134 \cdot 8 \text{ b} / 1 \text{ Mbps})) - 310 = 2 \cdot (1352 + 1264) - 310 = 4922 \mu\text{s}$$

$$N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 60000 / 4922 \rfloor = 12$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

Utilización de control de flujo RTS/CTS:

**Ejemplo I de WIFI: RTS/CTS**

3.- ¿Cuántas conversaciones de ToIP podemos establecer?

También se podría calcular si conocemos el tiempo ocupado por cada conversación en relación al tiempo total

**CWIFI=11 Mbps y preámbulo largo a 1Mbps**

$$\begin{aligned}T_{ACK} = T_{CTS} &= 14 \text{ octetos} * 8 \text{ bit} / 2 \text{ Mbps} + 192 \mu\text{s} = 248 \mu\text{s} & T_{RTS} &= 207 \mu\text{s} \\ \text{Media sin colisiones} &= 15,5 \text{ slots} (310 \mu\text{s}) + 52 \mu\text{s} + 10 \mu\text{s} + 703 \mu\text{s} \\ &= 392 \mu\text{s} + 703 \mu\text{s} = 1095 \mu\text{s}\end{aligned}$$

$$To_1 = 2 * (1095 + 192 \text{ b} / 1 \text{ Mbps} + (84 * 8 \text{ b} / 11 \text{ Mbps})) - 310 = 2 * (1095 + 253) - 310 = 2386 \mu\text{s}$$

$$N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 10000 / 2386 \rfloor = 4$$

$$To_6 = 2 * (1095 + 192 \text{ b} / 1 \text{ Mbps} + (134 * 8 \text{ b} / 11 \text{ Mbps})) - 310 = 2 * (1095 + 289) - 310 = 2458 \mu\text{s}$$

$$N_{\text{conversaciones}} = \lfloor 60000 / 2458 \rfloor = 24$$

# Medidas de eficiencia según tecnología: WiFi

Tabla resumen MAC, CSMA/CA y RTS/CTS:

## Ejemplo I de WIFI: MAC, CSMA/CA y RTS/CTS

3.- ¿Cuántas conversaciones de ToIP podemos establecer?

	1 MAC	1 CSMA/CA	1 RTS/CTS	6 MAC	6 CSMA/CA	6 RTS/CTS
1/1	5	3	2	23	16	12
2/1	9			41		
5,5/1	15			77		
11/1	19	6	4	103	39	24