REDES DE DATOS

Facultad de Ingeniería

Capítulo 4. Capa de Enlace

4.1 Hand-Shaking

4.2 Transmisión Asíncrona y Síncrona

4.3 Analizar el funcionamiento de HDLC y SDLC

4.4 Protocolo ALOHA

4.5 Control de Acceso al Medio (MAC): CSMA/CD y CA y Token Ring

4.6 Protocolo LLC y MAC del estándar IEEE 802.2

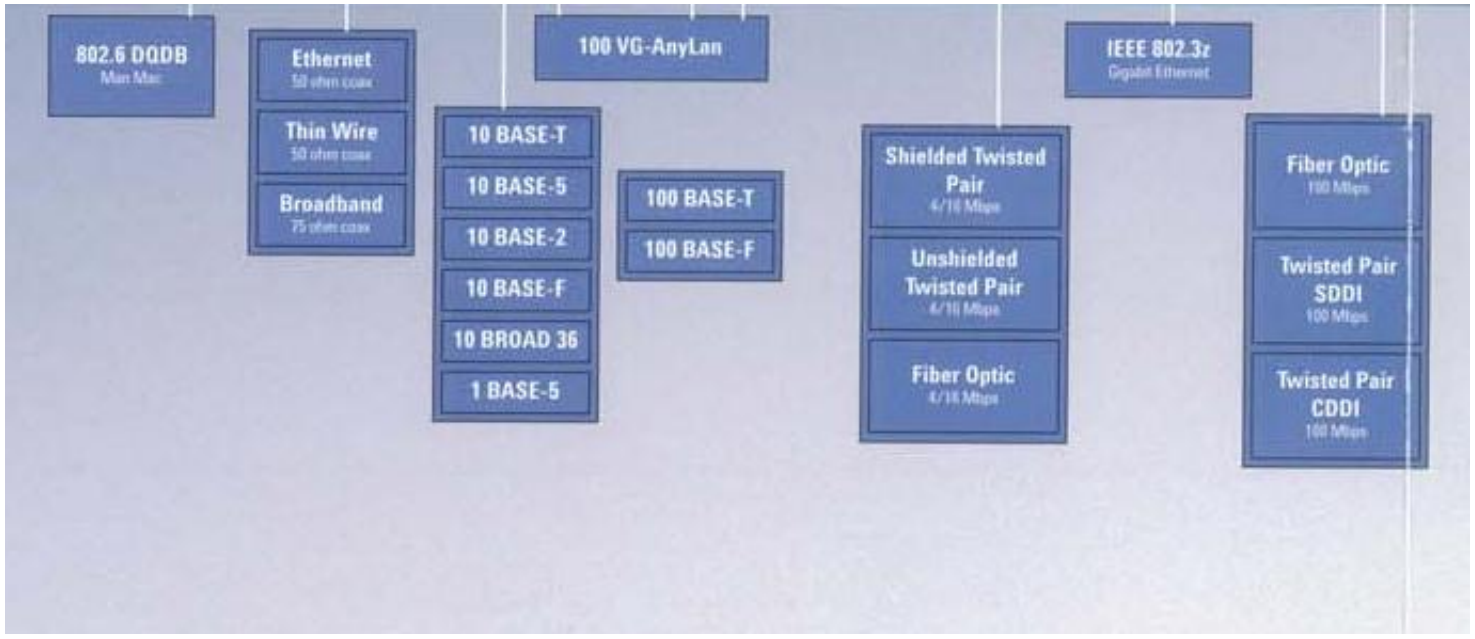
4.7 Puentes (Bridges)

4.8 Técnicas de Conmutación (Mensajes, Paquetes y Circuitos)

4.9 X.25

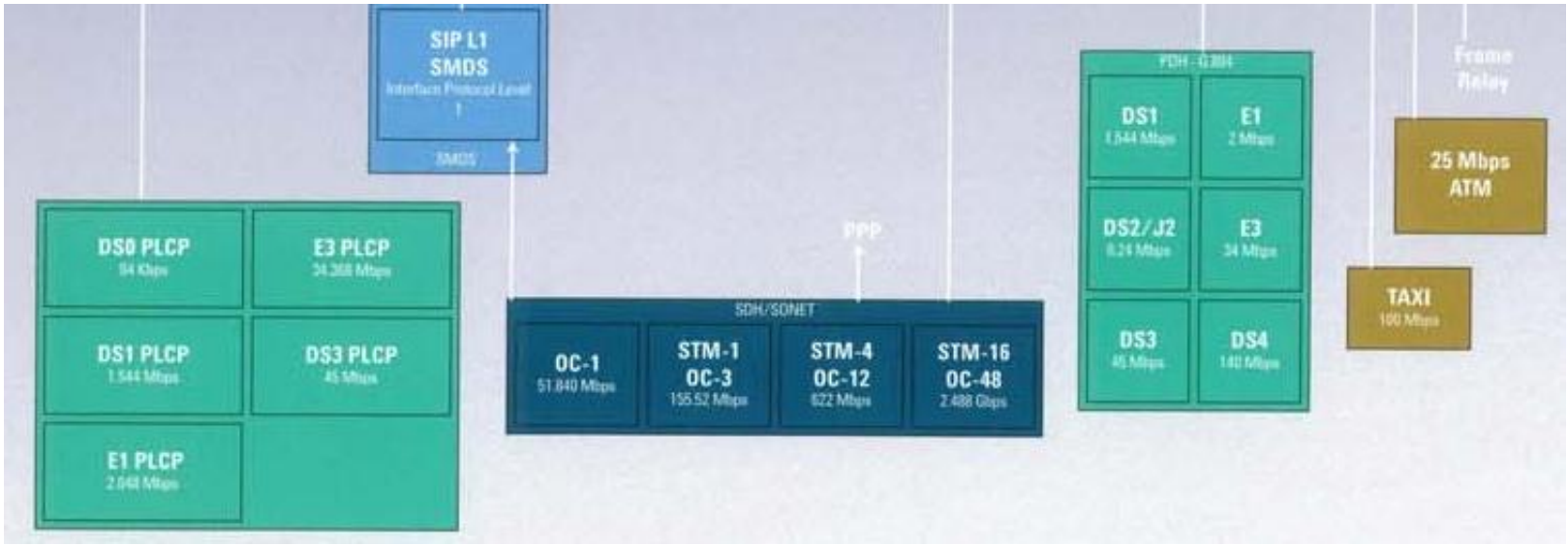
4.10 Equipo Activo (Switch y tarjeta de Red [NIC])

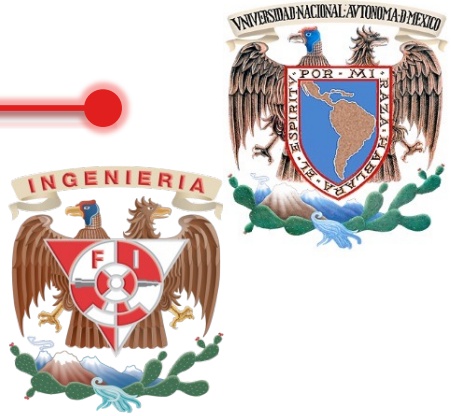
ANTECEDENTES (Capa Física)



ANTECEDENTES (Capa Física)

ANTECEDENTES (Capa Física)





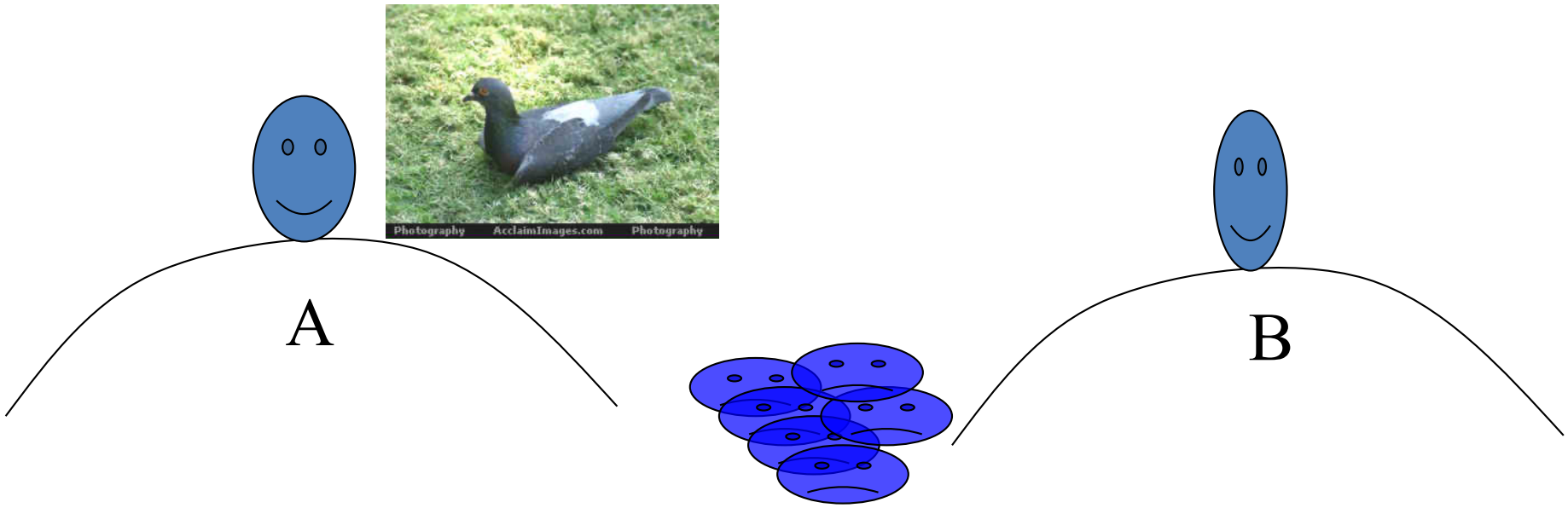
EL PARADIGMA DE ACUERDO

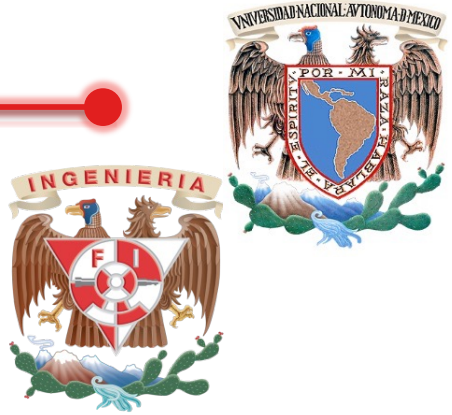
Consenso del Ataque Coordinado

ATAQUE COORDINADO

UNA ABSTRACCIÓN IMPORTANTE

- Un par de generales aliados A y B tienen que ponerse de acuerdo para atacar simultáneamente o no atacan.
- Pueden únicamente comunicarse vía una paloma; la pérdida del mensaje es posible





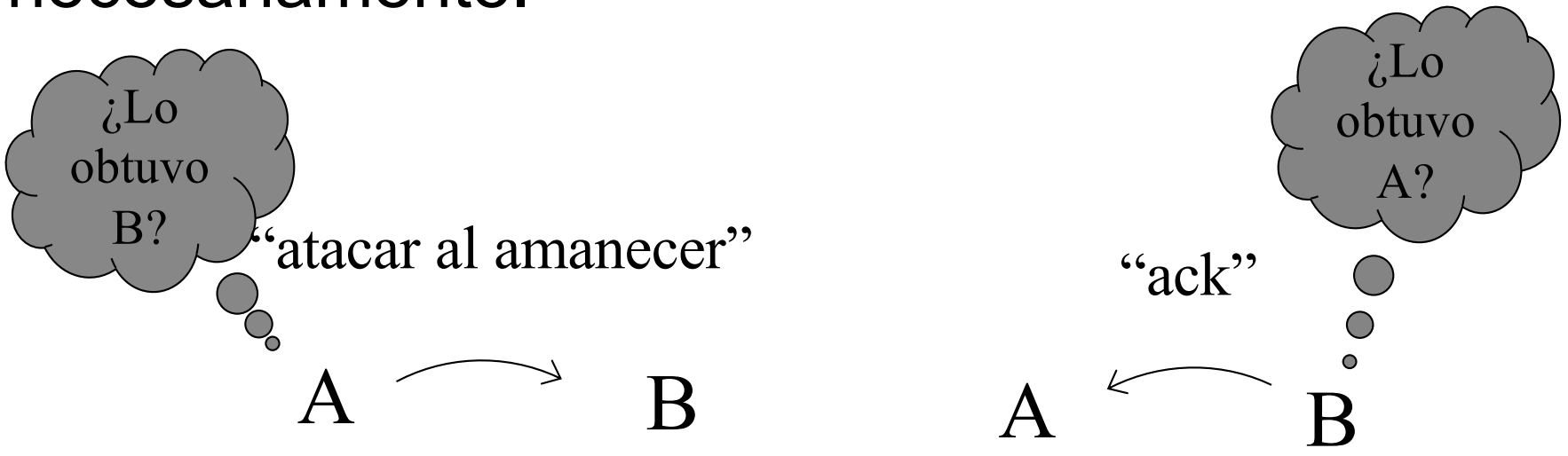
DIFICULTAD: INCERTIDUMBRE

- Supongamos que el general A envía el mensaje a B “atacar al amanecer”

- El general A no gana si ataca solo. A no sabe si B ha recibido el mensaje. B entiende el predicamento de A, así que B envía un reconocimiento ó confirmación (ACK o acknowledgment) para el “acuerdo”.

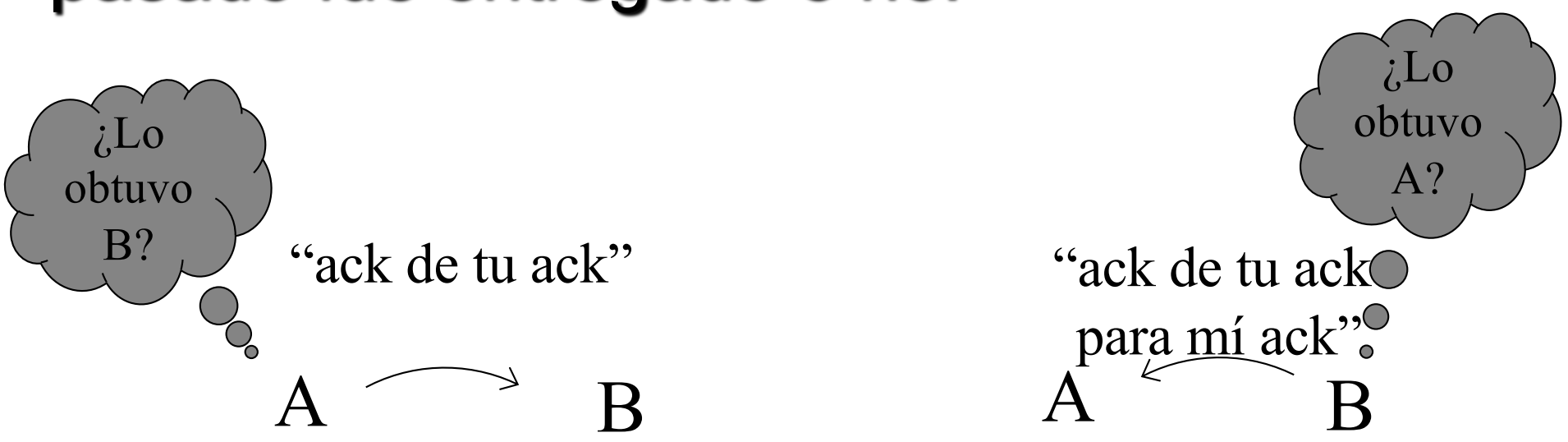
IMPOSIBLE

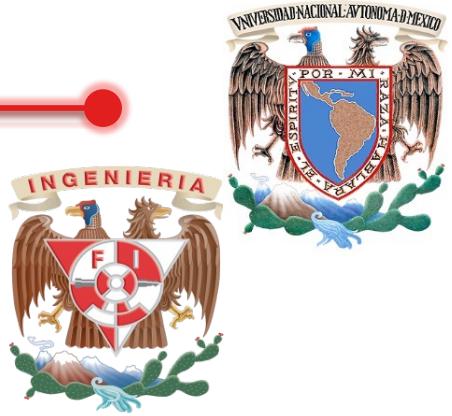
Teorema: Asume que esta comunicación no es fiable. Cualquier protocolo que garantice que si uno de los generales ataca, entonces el otro hace al mismo tiempo, es un protocolo en el cual ninguno de los dos generales ataca necesariamente.



NUNCA TERMINA

Hay siempre incertidumbre del tiempo en el que el mensaje pasado fue entregado o no.





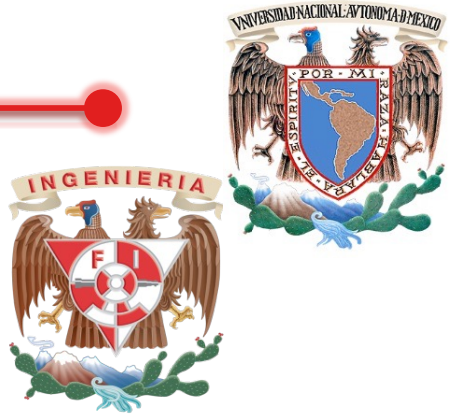
4.1 Hand-Shaking

En telecomunicaciones el apretón de manos (hand-shaking) es un proceso automatizado de negociación que fija dinámicamente parámetros de un canal de comunicaciones establecido entre dos entidades antes de que se haga la comunicación normal sobre el canal. El apretón de manos se puede utilizar para negociar los parámetros incluyendo los cuales sea aceptable al equipo.

El apretón de manos permite conectar sistemas o el equipo relativamente heterogéneos sobre un canal de comunicaciones sin la necesidad de la intervención humana con los parámetros del sistema.

4.1 Hand-Shaking (continuación)

Un ejemplo clásico del apretón de manos es el de los módems, que negocian típicamente los parámetros de la comunicación por un breve período donde una conexión primero se establece, y utiliza después de eso esos parámetros para proporcionar la transmisión informativa óptima sobre el canal en función de su calidad y capacidad. (que es realmente un sonido que cambia cada 100 veces cada segundo) los ruidos de "chillido" que hacen algunos módems con salida hacia el altavoz inmediatamente después de que se establece una conexión es el hecho de que los sonidos de los módems en ambos extremos se enganchan a un procedimiento del apretón de manos; una vez que se termine el procedimiento, se silencia el altavoz.



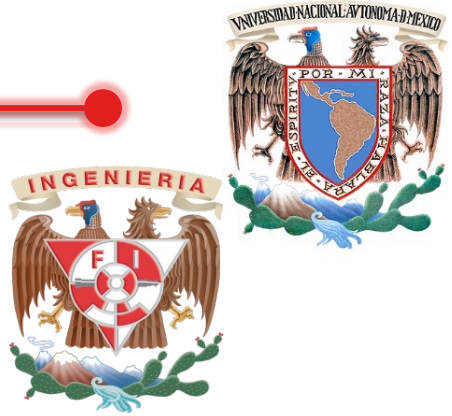
4.2 Transmisión Asíncrona y Síncrona

Definición (Terminología de Comunicaciones)

Comunicación Asíncrona. Cada dato de caracteres es codificado como una cadena de bits y los caracteres son separados por un bit "iniciador de carácter" y un bit de fin.

Comunicación Síncrona. Los bits de inicio y paro no son usados. Grupos de bits son separados usando el mecanismos de cronometro (reloj). Esto es, las estaciones envían y reciben estando en "sincronización" con cada una.

Protocolo. Es un conjunto de reglas especificas relacionados al formato y tiempo de los datos transmitidos entre dos dispositivos.

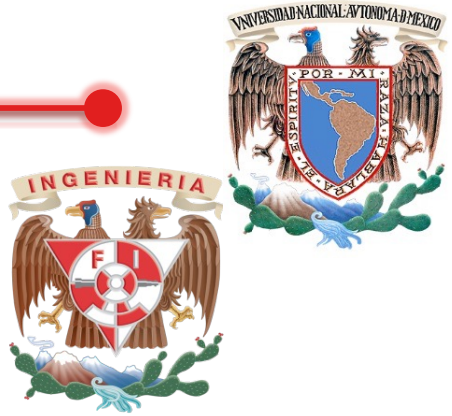


Detección y Corrección de Errores. Técnicas que permiten a una estación detectar datos corruptos e iniciar una "retransmisión".

Ancho de Banda. Una medida de rendimiento para el procesamiento de datos. La capacidad para transmitir información de un sistema de transmisión, típicamente se mide en Megabits por segundo (Mbps) en ambientes LAN.

Paquetes/Frames/Datagramas. Un paquete de datos con información de cabeceras es típicamente, direcciones fuente y destino, información de corrección de errores, secuencia de números y otra información.

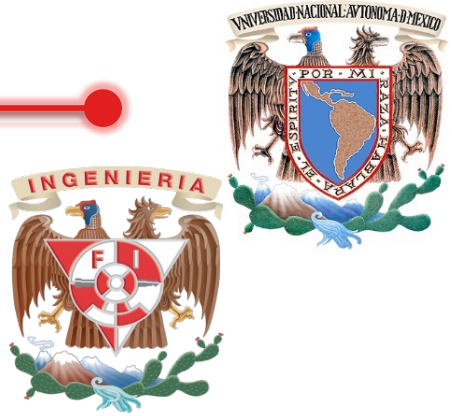
Flujo de bits. Una serie de números binarios (1's y 0's), representan el mensaje comunicado.



Capa de Enlace de Datos. Es la responsable de proveer una transmisión confiable desde un dispositivo a otro y tener "proteger" las capas superiores para que no se preocupen desde el canal físico de transmisión. Esta capa concierne con la transmisión de paquetes libre de errores entre los dispositivos de red.

Provee

Servicios	Framing (Encapsulamiento)
Técnica de Detección y Corrección de Errores (FEC, CRC)	Control de Flujo (ARQ, Stop and Wait, Selective Repeat, Go back N)



Servicios (LLC)

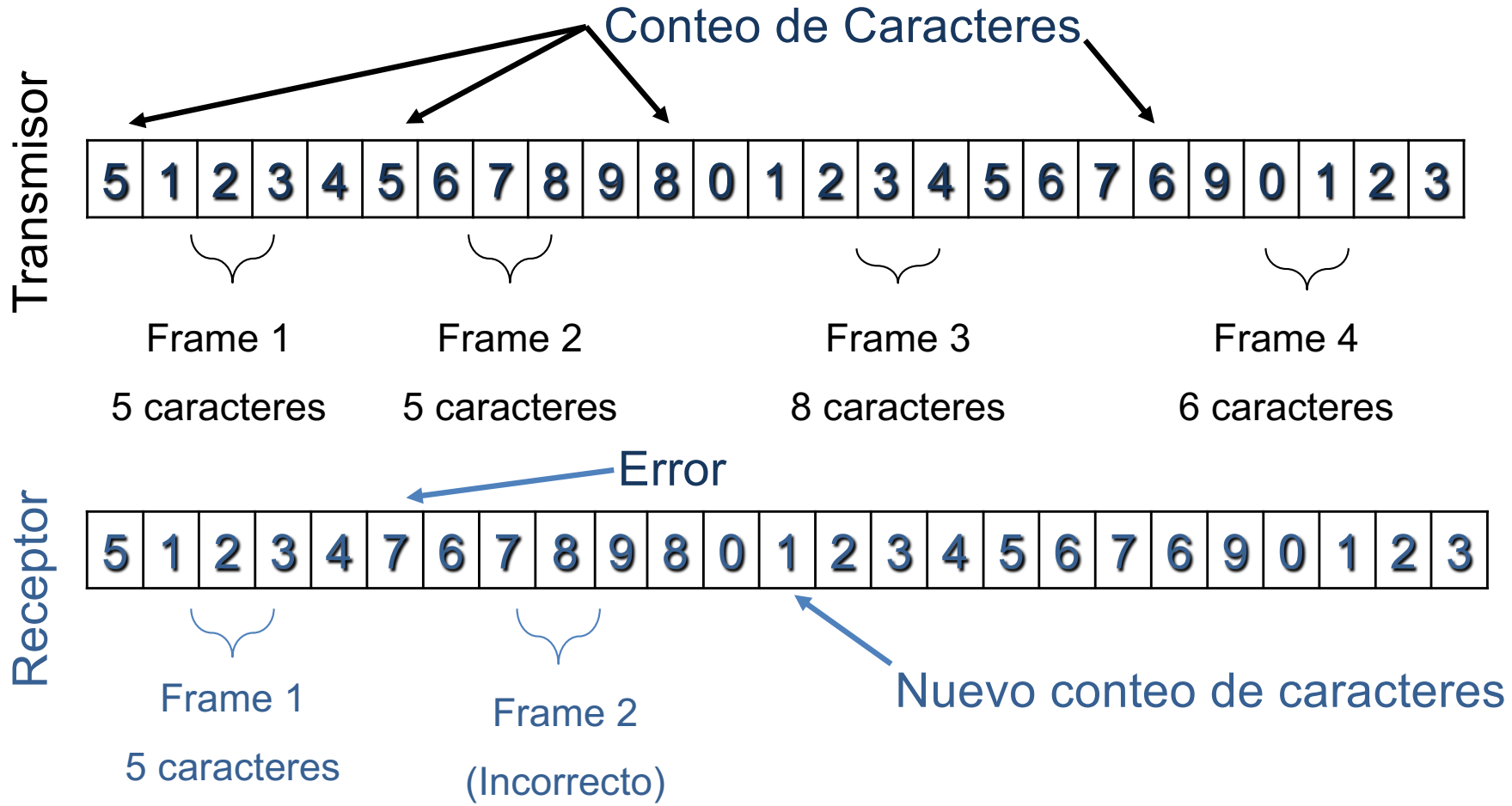
Servicios sin conexión y sin acuse de recibo. El transmisor manda tramas al destino. Uso. si la frecuencia de errores es muy baja o el tráfico es de tiempo real (voz).

Servicio sin conexión y con acuse de recibo. El receptor manda un acuse de recibo al transmisor por cada frame recibido.

Servicio orientado a conexión con acuse de recibo. Provee un flujo confiable de bits. Se establece conexión antes de enviar datos. Los frames se enumeran y todos se reciben una vez y en orden correcto.

Framing (Encapsulamiento)

1. Por conteo de caracteres en los Frames



2. Por sincronización de caracteres ASCII (STX,ETX, DLE)

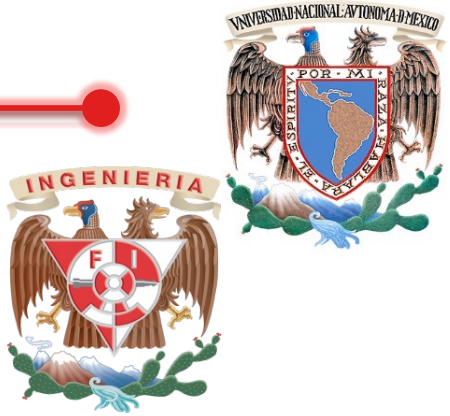
Datos enviados por la capa de red	A	DLE	B			
Datos enviados después del relleno de caracteres por la capa de enlace de datos	STE	DLE	A	DLE	DLE	B
Datos pasados a la capa de red del lado del receptor	A	DLE	B			

DLE Adicional

DLE: Data Link Escape

STX: Start of Text

ETX: End of Text



3. Por sincronización usando un byte indicador

Byte indicador 01111110

Las cadenas de 11111

Se sustituyen en 111110

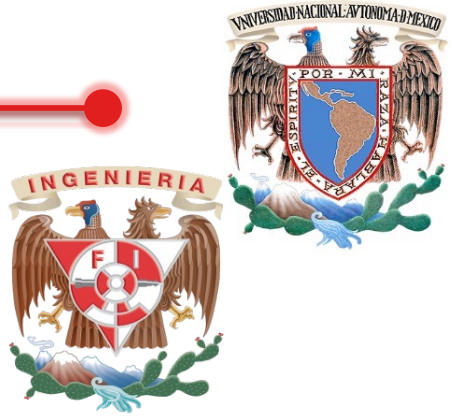
Datos originales 0110111111111111111110010

111110 111110 111110

Datos Transmitidos 01111110 0110 111110 111110 111110 10010 01111110

Datos recuperados 0110111111111111111110010

En el receptor



Técnicas de detección y corrección de errores

Control de errores

ARQ

Detección de errores

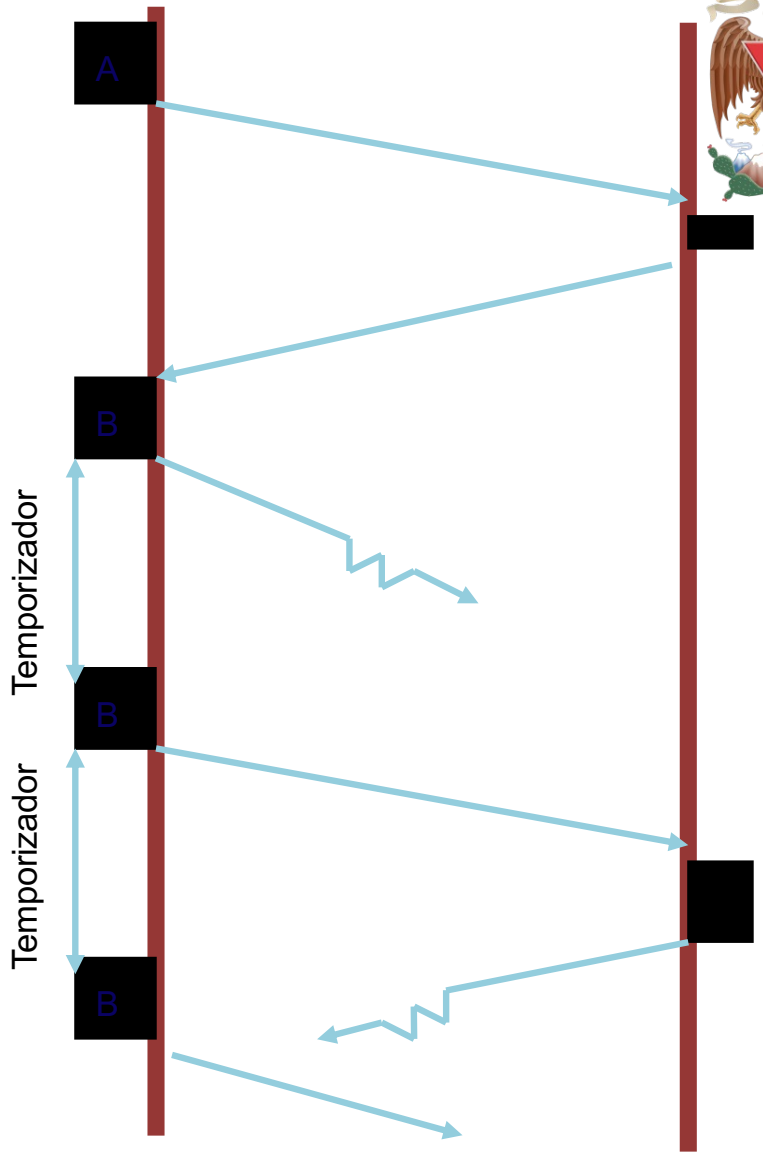
Confirmación positivas (Acuse de recibido, ACK)

Confirmaciones negativas (NACK)

Retransmisiones después de activarse el temporizador (timeout)

ARQ (Automatic Repeat Request)

FEC (Foward Error Correction)



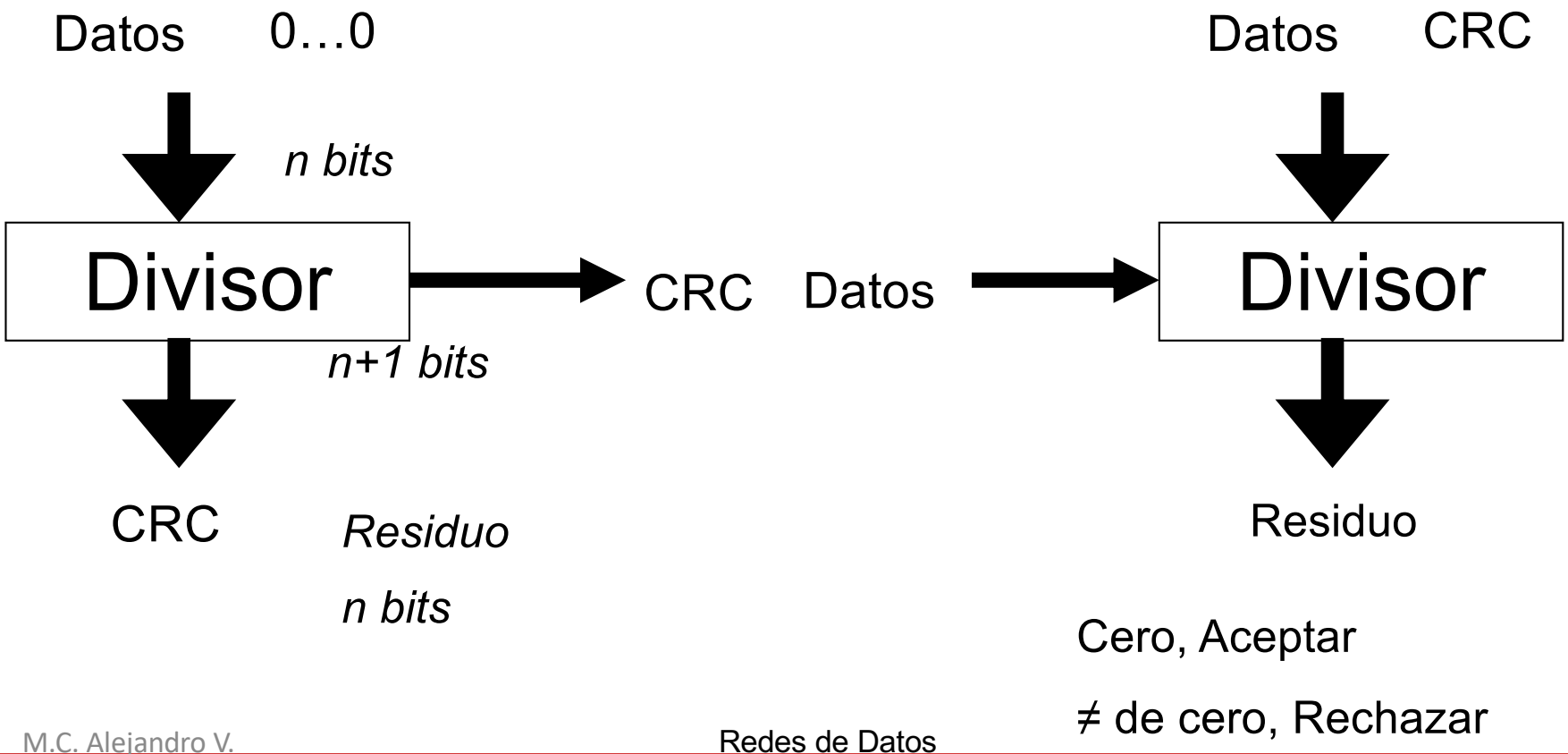
Técnicas de Detección y Corrección de Errores

Block Sum Check (Bloque de Verificación de Carácter)

Carácter	Bits de Carácter							Bits de Paridad
1	1	0	0	1	1	0	0	1
2	0	0	1	1	1	0	1	0
3	0	1	1	0	0	0	0	0
4	1	1	0	1	0	1	1	1
5	1	0	1	0	1	0	1	0
6	0	0	1	1	0	0	0	0
7	1	1	0	0	0	0	1	1
Bcc	0	1	0	0	1	1	0	1

Verificación de paridad en dos coordenadas

CRC. Verificación de Redundancia Cíclica (Cyclic Redundancy Check)



CRC

D= Mensaje en bits D=1101011011 Datos

1) Se multiplica D por 2^n

Para n=4 2^nD=11010110110000

Datos 0…0

2) El divisor "P" debe ser de n+1 bits y es de valor predeterminado

Para n = 4 P=10011 Divisor

3) Se hace la división usando Mod 2 Aritmético (sin acarreos)

$$P \rightarrow \quad 10011 \overline{)\, 11010110110000} \quad \leftarrow 2^nD$$

1100001010 →Q

1110 →R (CRC)

Q=1100001010 R=1110 (R debe ser de n-bits)

4) El mensaje que se envía es:

T=2^nD+R=11010110111110

CRC	Datos

5) El mensaje recibido es nuevamente dividido por "P"

$$P \rightarrow \quad 10011 \overline{)\, 11010110111110} \quad Q$$

$$0 \rightarrow R$$

6) Si el residuo de esta división es 0, entonces se acepta el Frame, de lo contrario se rechaza

Representación de un Polinomio como un Divisor

$$x^7 + x^5 + x^2 + x + 1$$

1 0 1 0 0 1 1 1

Este formato es útil para la representación y se debe a estas dos razones:

- Provee un mecanismo corto de representación
- Puede ser usado para presentar el concepto matemático (fuera del alcance de esta clase)

Los polinomios seleccionados deben tener al menos las siguientes propiedades:

No debe ser divisible por x → Garantiza que los errores de ráfagas de longitud igual al grado del polinomio sean detectados

Debe ser divisible por (x+1) → Garantiza que todos los errores de ráfaga que afecten un número impar de bits sean detectados

No se puede elegir x (10 binario) ó x^2+x (110 binario) como polinomios porque ambos son divisibles por x

Pero si se puede elegir x+1(11 binario) ya que este no es divisible por x pero si por x+1. Igual pasa con x^2+1

Existen polinomios estándares usados en los protocolos utilizados para generar CRC

CRC-12 $x^{12}+x^{11}+x^3+1$

CRC-16 $x^{16}+x^{13}+x^2+1$

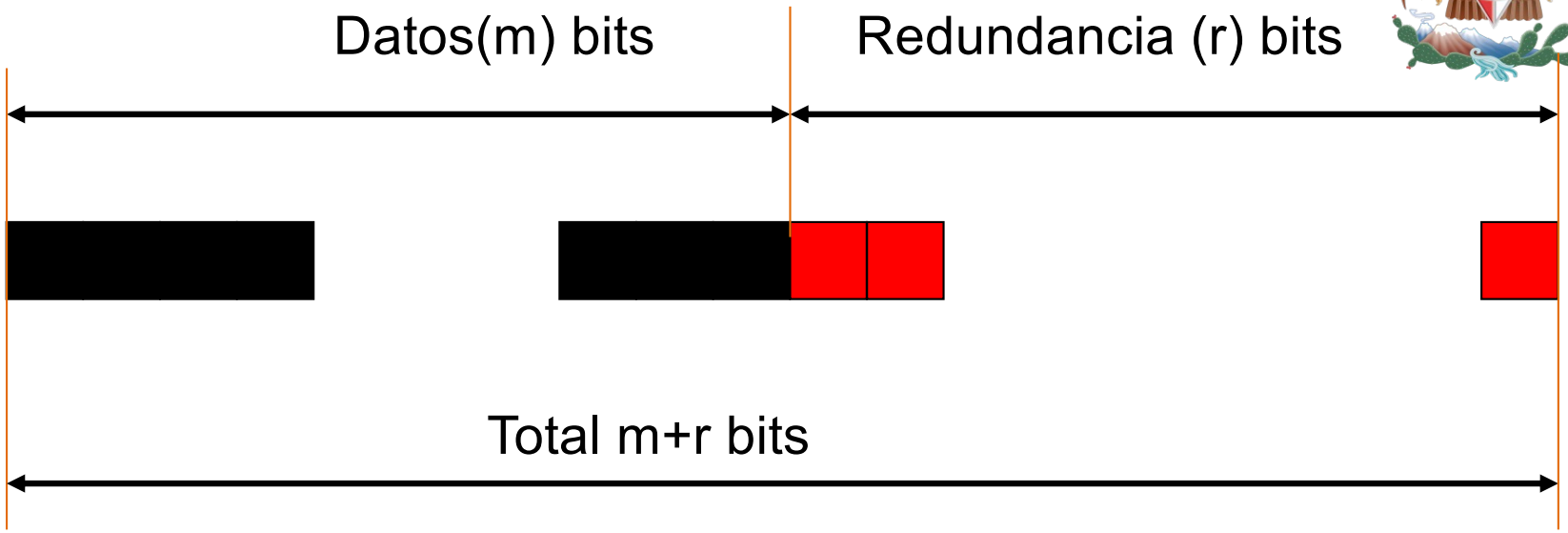
CRC-ITU-T $x^{16}+x^{12}+x^5+1$

WAN's (HDLC)

CRC-32 $x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^2+x+1$

LAN's

Correción de Errores (Códigos Hamming para FEC)



Para calcular el número de bits de redundancia (r) requeridos para corregir un número dado de bits de datos (m). Es necesario encontrar la relación entre m y r, dada por:

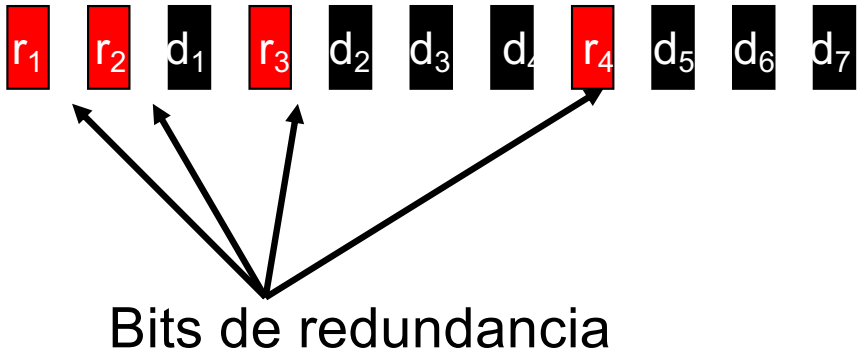
$$2^n \geq m + r + 1$$

Para m = 7 bits

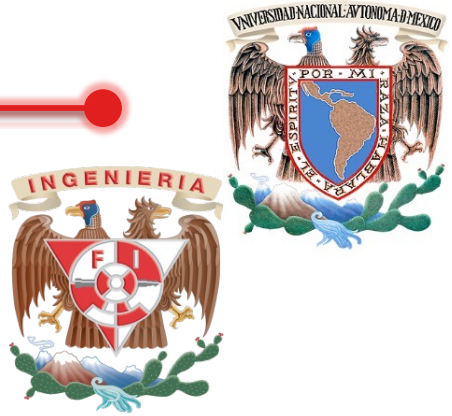
Con n=4 → $2^4 \geq 7+4+1$

Posicionando los bits de redundancia

Ejemplo. 7 bits representativos de un código ASCII, requieren 4 bits de redundancia, los cuales pueden ser añadidos al final o distribuidos dentro de la secuencia de bits a ser transmitida



Los bits de redundancia se colocaron en las posiciones 1,2,4 y 8
¿Qué tiene en común dichas posiciones?



Calculando el valor de los bits de redundancia

Cada bit de redundancia es en si la paridad (par/impar) de una combinación de "k" bits de datos, dada por:

$$b_1+b_2+b_3+\ldots..+b_n=B$$

Las combinaciones usadas para determinar el valor de cada bit de redundancia, para una secuencia de datos de 7 bits, está dada por:

r_1 bits: 1,3,5,7,9,11 → 3(1+2=3),5(1+4=5),7(1+2+4=7),9(1+8=9),11(1+2+8=11)

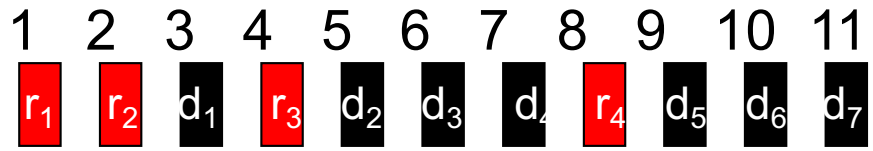
r_2 bits: 2,3,6,7,10,11

r_4 bits: 4,5,6,7

r_8 bits: 8,9,10,11

Ejemplo. Dado el carácter ASCII, H=1001000=$d_1d_2d_3d_4d_5d_6d_7$

Se aplica el código Hamming para paridad par.



r_1 bits: 1,3,5,7,9,11

r_2 bits: 2,3,6,7,10,11

r_4 bits: 4,5,6,7

r_8 bits: 8,9,10,11

No. Bits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Cantidad
Hamming	r_1	r_2	1	r_4	0	0	1	r_8	0	0	0	
Para r_8								0	0	0	0	0
Para r_4				1	0	0	1					2
Para r_2		0	1			0	1			0	0	2
Para r_1	0		1		0		1		0		0	2
Final	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	3

Ejemplo. Dado el carácter ASCII, a=1100001 con paridad par y corregir su error

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
r_1	r_2	d_1	r_3	d_2	d_3	d_4	r_4	d_5	d_6	d_7

r_1 bits: 1,3,5,7,9,11

r_2 bits: 2,3,6,7,10,11

r_4 bits: 4,5,6,7

r_8 bits: 8,9,10,11

No. Bits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Cantidad
Hamming	r_1	r_2	1	r_4	1	0	0	r_8	0	0	1	
Para r_8												
Para r_4												
Para r_2												
Para r_1												
Final												

Ejemplo. Dado el carácter ASCII, a=1100001 con paridad par y corregir su error

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
r_1	r_2	d_1	r_3	d_2	d_3	d_4	r_4	d_5	d_6	d_7

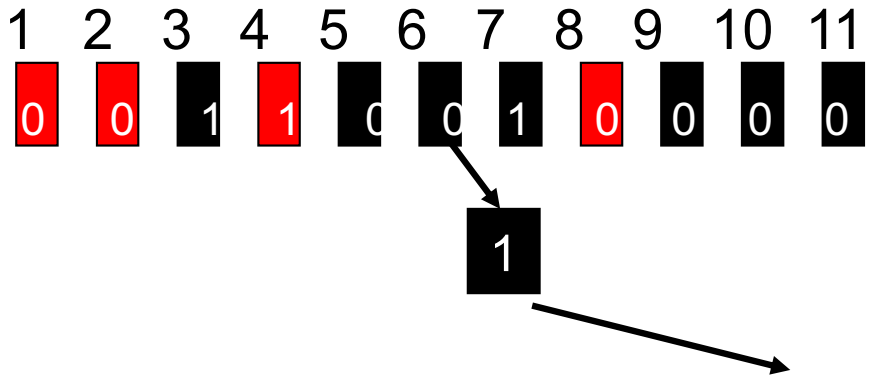
r_1 bits: 1,3,5,7,9,11

r_2 bits: 2,3,6,7,10,11

r_4 bits: 4,5,6,7

r_8 bits: 8,9,10,11

No. Bits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Cantidad
Hamming	r_1	r_2	1	r_4	1	0	0	r_8	0	0	1	
Para r_8								1	0	0	1	2
Para r_4				1	1	0	0					2
Para r_2		0	1			0	0			0	1	2
Para r_1	1		1		1		0		0		1	4
Final	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	6



r_1 bits: 1,3,5,7,9,11

r_2 bits: 2,3,6,7,10,11

r_4 bits: 4,5,6,7

r_8 bits: 8,9,10,11

No. Bits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Cantidad
Hamming	r_1	r_2	1	r_4	0	1	1	r_8	0	0	0	
Para r_8								0	0	0	0	0
Para r_4				1	0	1	1					2
Para r_2		0	1			1	1			0	0	3
Para r_1	0		1		0		1		0		0	2
Final	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	3

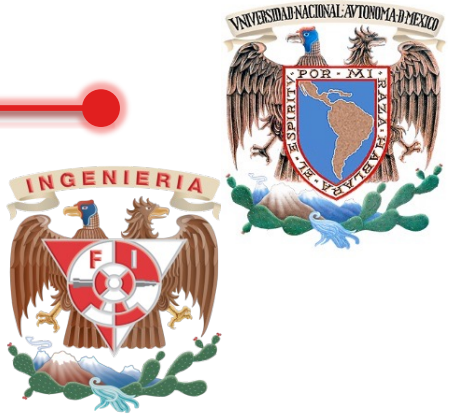
Corrección de Errores con el código Hamming

Secuencia Original: 01001100011

r_1	r_2	d_3	r_4	d_5	d_6	d_7	r_8	d_9	d_{10}	d_{11}
0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1

Secuencia error: 01001110011

1. Comprobación de la cadena por paridad de la redundancia (r_1,r_2,r_4 y r_8) con *XOR*



Se comprueba paridad $r_1 = d_3 \underline{XOR} d_5 \underline{XOR} d_7 \underline{XOR} d_9 \underline{XOR} d_{11}$

$r_1 = 0 \underline{XOR} 1 \underline{XOR} 1 \underline{XOR} 0 \underline{XOR} 1 = 1$

Se comprueba paridad $r_2 = d_3 \underline{XOR} d_6 \underline{XOR} d_7 \underline{XOR} d_{10} \underline{XOR} d_{11}$

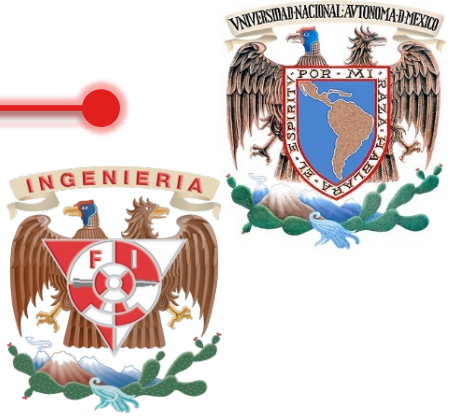
$r_2 = 0 \underline{XOR} 1 \underline{XOR} 1 \underline{XOR} 1 \underline{XOR} 1 = 0$

Se comprueba paridad $r_4 = d_5 \underline{XOR} d_6 \underline{XOR} d_7$

$r_4 = 1 \underline{XOR} 1 \underline{XOR} 1 = 1$

Se comprueba paridad $r_8 = d_9 \underline{XOR} d_{10} \underline{XOR} d_{11}$

$r_8 = 0 \underline{XOR} 1 \underline{XOR} 1 = 0$



2. De acuerdo con la información recibida

$$R' = r_1 r_2 r_4 r_8 = 0100$$

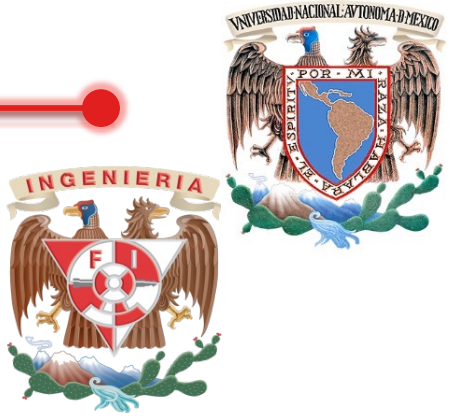
3. De acuerdo con la información reconstruida

$$R'' = r_1 r_2 r_4 r_8 = 1010$$

4. Verificar el valor de R' *XOR* R'' = 0 = E

0100 XOR 1010 = 1110 = 7 ¿Porqué?

$$r_1 r_2 r_4 r_8 = 1110 \text{ o bien } r_8 r_4 r_2 r_1 = 0111$$



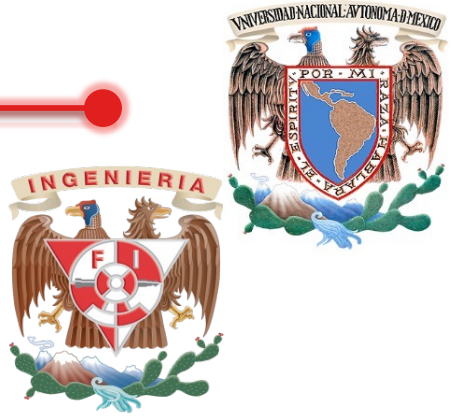
5. Checar el valor 7 que es d_4

Secuencia error: 01001110011

^ ^^ ^ ^^ ^^ ^ ^ ^

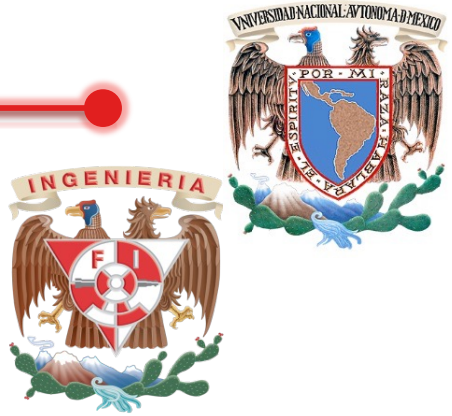
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Como E es distinto de cero, esta claro que la información es errónea. Si se “asume” que hay un solo bit erróneo, es el número 7, es decir d_4



Tarea. Definir ejemplos de FEC: Reed-Solomon, Golay,BCH y Viterbi.

Definición y ejemplo de cada uno.



Control de Flujo

Necesario para no saturar al receptor

Se realiza normalmente a nivel de “transporte” y a veces en la capa de enlace

Utiliza retroalimentación

- Requiere canal semi o full duplex
- No se utiliza en emisores broadcast/multicast

Suele ir unido a la corrección de errores

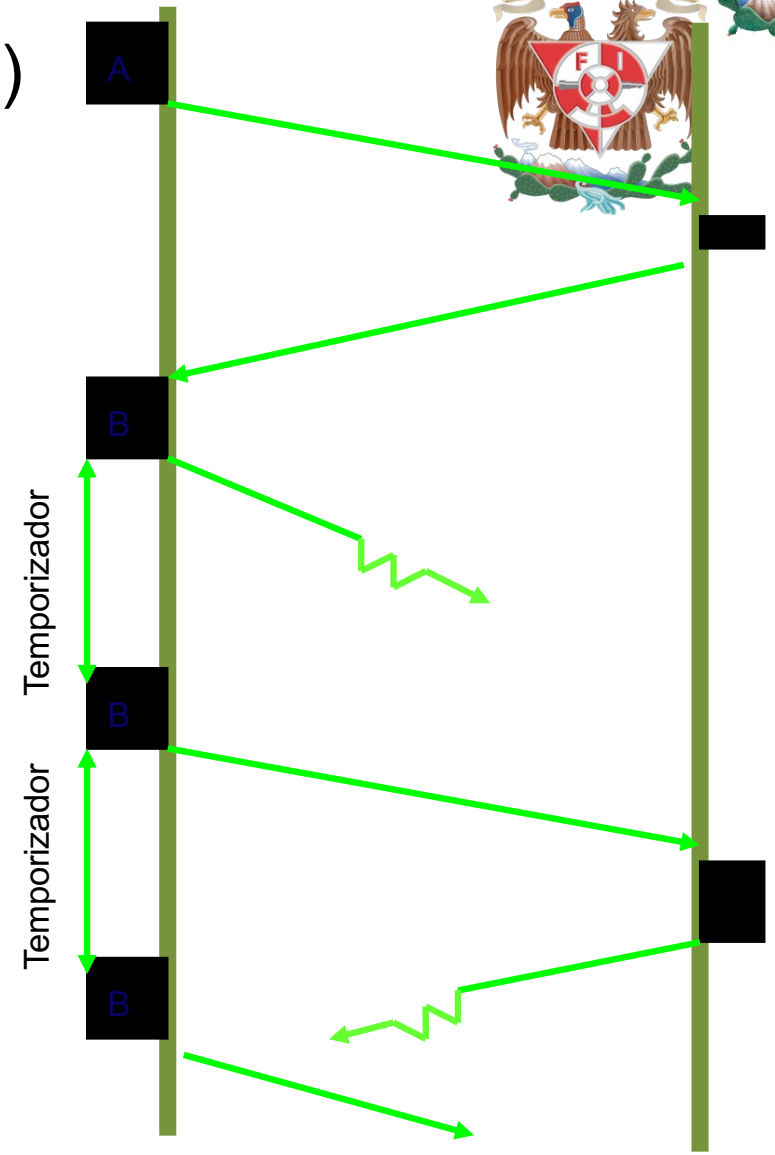
No debe limitar la eficiencia del canal

Automatic Repeat Request (ARQ)

- Detección de errores
- Confirmación positivas (Acuse de recibo, ACK)
- Confirmaciones negativas (NACK)
- Retransmisiones después de activarse el temporizador (timeout)

Versiones

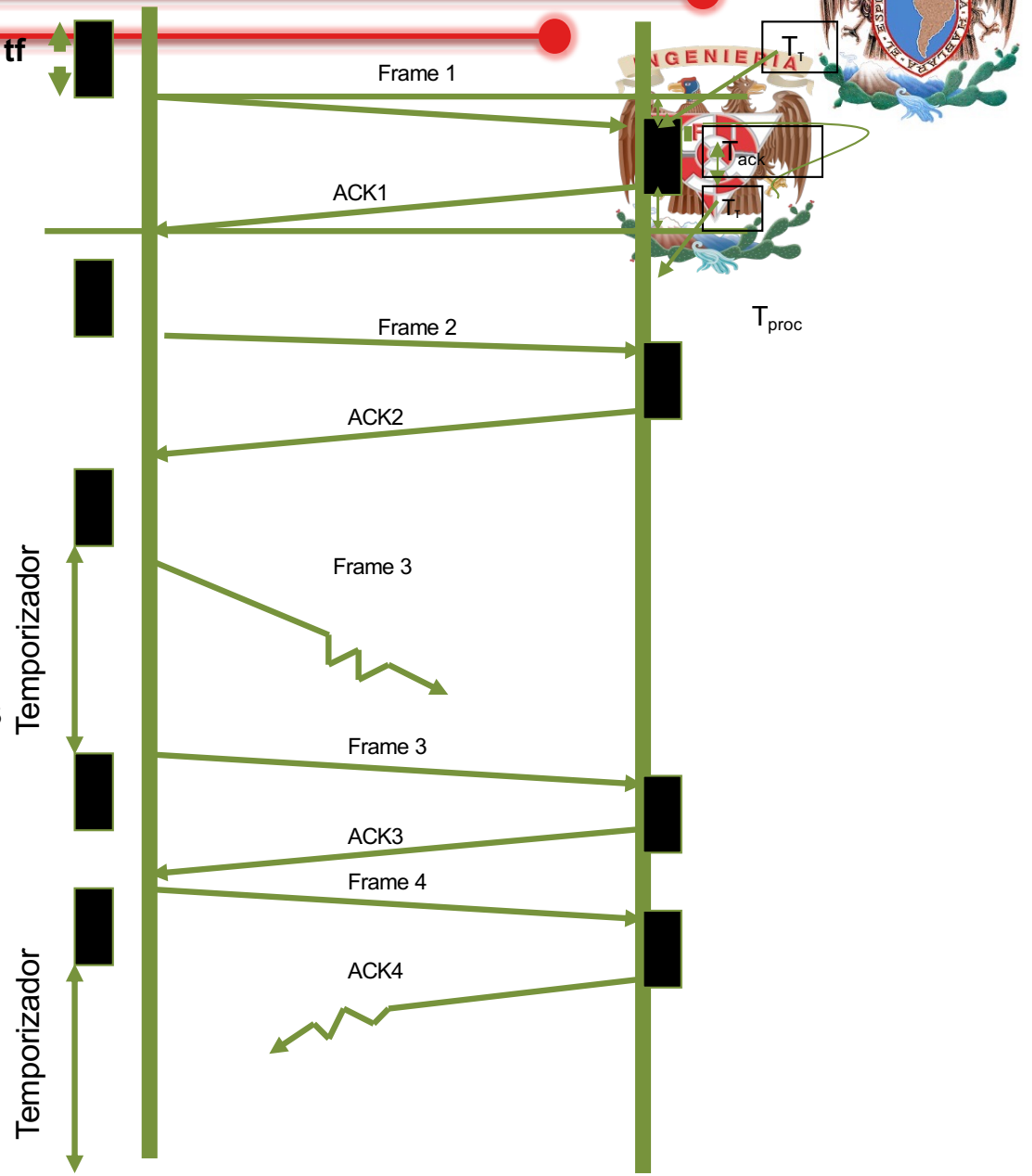
- Stop and Wait (ARQ) “Parada y Espera”
- Ventana Deslizante
  1. Go back N (ARQ) “Vuelta para Atrás”
  2. Selective Repeat (ARQ) “Rechazo Selectivo”



STOP & WAIT

Características

- Protocolo Simplex: Ideal, buffers infinitos
- Stop & Wait: mas sencillo
- Impide un uso eficiente de los enlaces
- Mejoras al protocolo simplex
  - -ACK
  - -TIMEOUTS
  - -NUMERACIÓN



Control de Flujo: Stop & Wait

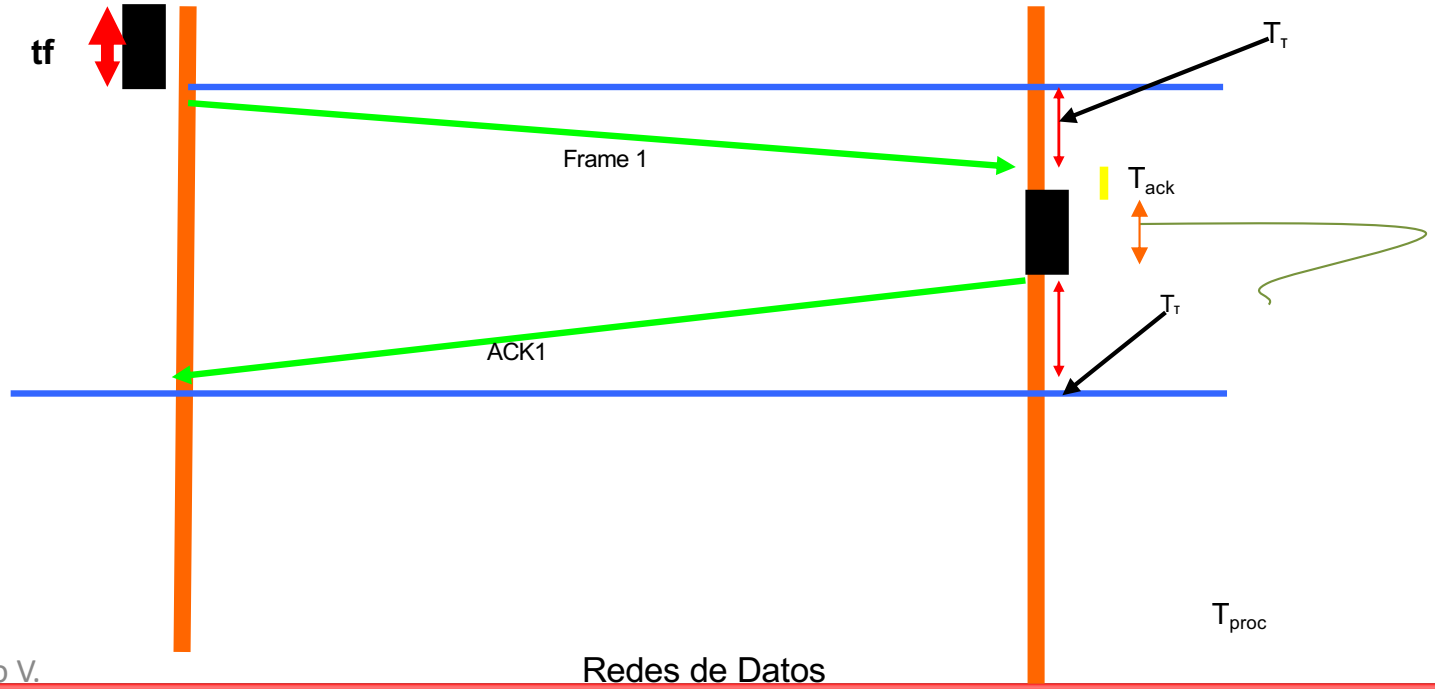
Donde:

T_f= Tiempo del procesamiento del Frame

T_T=Tiempo de Propagación del frame en el medio de transmisión

T_{proc}= Tiempo del procesamiento en el receptor

T_{ack}= Tiempo del procesamiento del ACK



Utilización (eficiencia)

Sin errores y se transmite una vez se representa por

$$U = \frac{T_f}{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}}$$

Si $T_{proc}=0$ y $T_{ack}=0$

$$U = \frac{T_f}{T_f + 2T_\tau + 0 + 0}$$

$$U = \frac{T_f}{T_f + 2T_\tau}$$

Donde

$$a = \frac{T_\tau}{T_f}$$

a es el coeficiente de acoplamiento

$$U = \frac{1}{1 + 2a}$$

La eficiencia del canal cuando se transmite una vez y sin errores.

Utilización (eficiencia)

Con errores

$$U = \frac{T_f}{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack} + N(T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack})}$$

Si $T_{proc}=0$ y $T_{ack}=0$

Como resultado $$U = \frac{1}{1 + 2a + N(1 + 2a)}$$

Donde ***N*** se calcula a través de probabilidad de error en el canal

Si P_b es la probabilidad de error en un bit → la probabilidad de error del frame es:

$$P_{ef} = 1 - (1 - P_b)^L$$

→ $1\text{-}P_{ef}$ es la probabilidad de que la trama se reciba correctamente

1 Frame ---------- > $1\text{-}P_{ef}$

N ---------- > P_e

$$N = \frac{P_{ef}}{1 - P_{ef}}$$

Dado la eficiencia $$U = \frac{1}{1 + 2a + N(1 + 2a)}$$

$$U = \frac{1}{1 + 2a + [\frac{P_{ef}}{1 - P_{ef}}](1 + 2a)}$$

$$U = \frac{1}{(1+2a)(1+[\frac{P_{ef}}{1-P_{ef}}])}$$

$$U = \frac{1}{(1+2a)(\frac{1-P_{ef}+P_{ef}}{1-P_{ef}}])}$$

$$U = \frac{1}{(1+2a)(\frac{1}{1-P_{ef}})}$$

$$U = \frac{1-P_{ef}}{(1+2a)}$$

La eficiencia del canal cuando se transmite varias veces (con errores)

$$U = \frac{1 - P_{ef}}{(1 + 2a)}$$

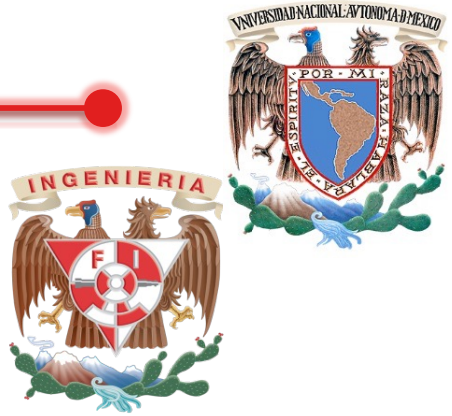
Utilización (eficiencia)

Con errores

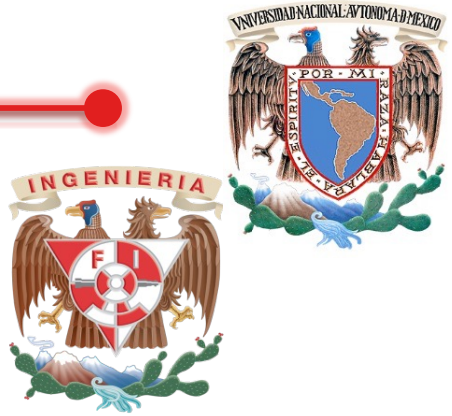
$$U = \frac{T_f}{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack} + N(T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack})}$$

Si $T_{proc} \neq 0$ y $T_{ack} \neq 0$

Como resultado **Ejercicio**



Tarea. Eficiencia Stop & Wait sin errores, transmisión solo una vez y los tiempos $T_{proc} \neq 0$ y $T_{ack} \neq 0$

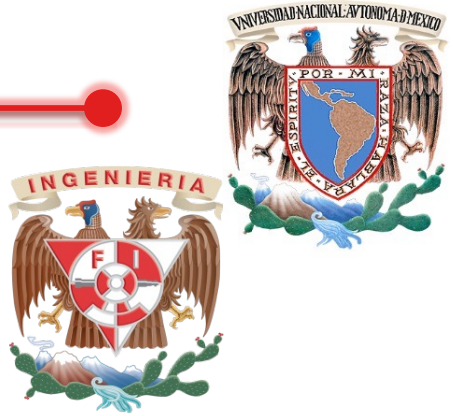


Ejercicio. Una serie de tramas de 1000 bits se transmiten usando el protocolo de parada y espera (Stop & Wait). La capacidad del Canal (C) tiene una tasa de transmisión de datos de 1 Mbps. El tiempo de T_{ack} y T_{proc} son despreciables. Calcular la utilización del canal para los siguientes medios de transmisión, sin considerar la probabilidad de error del canal

a) Un medio de UTP de 100 mts de largo, $Vel_{_prop_medio}$= 0.59

b) Una línea privada (leased line) de 200 kms de largo. $Vel_{_prop_medio}$= 0.67

c) Un enlace satelital de 50000 km.



Solución

El tiempo T_f se calcula por $$T_f = \frac{L}{C}$$

L Es la trama de bits a enviar

C Capacidad del canal (también representado por R)

$$T_\tau = \frac{\ell}{vel_{prop} * vel_{luz}}$$

ℓ Es la longitud del enlace

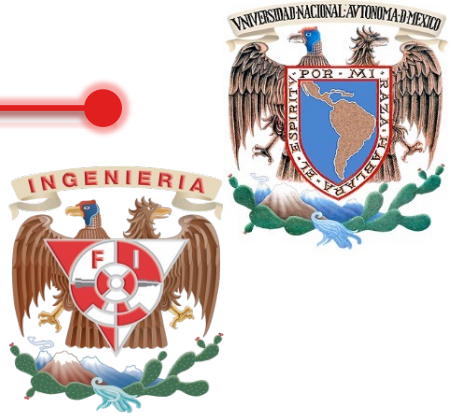
Solución

a) Un medio de UTP de 100 mts de largo, $Vel_{_prop_medio} = 0.59$

L=1000 bits C ó R = $1x10^6$ bps $T_{proc}=0$ $T_{ack}=0$ N=0

$$U = \frac{1}{1+2a} \qquad a = \frac{T_\tau}{T_f} \qquad T_f = \frac{L}{C} \qquad T_\tau = \frac{\ell}{vel_{prop} * vel_{luz}}$$

$$T_f = \frac{1000}{1x10^6} = 1x10^{-3}[s] \qquad T_\tau = \frac{100}{(0.59)*(3x10^8)} = 0.564x10^{-6}[s]$$



$$a = \frac{0.564x10^{-6}}{1x10^{-3}} = 0.564x10^{-3}$$

$$U = \frac{1}{1+2(0.564x10^{-3})}$$

Eficiencia del Stop & Wait ejercicio a

$$U = 0.99887 = 99.88\%$$

b) Una línea privada (leased line) de 200 kms de largo, $Vel_{_prop_medio} = 0.67$

L=1000 bits C ó R = $1x10^6$ bps $T_{proc}=0$ $T_{ack}=0$ N=0

$$U = \frac{1}{1+2a} \qquad a = \frac{T_\tau}{T_f} \qquad T_f = \frac{L}{C} \qquad T_\tau = \frac{\ell}{vel_{prop} * vel_{luz}}$$

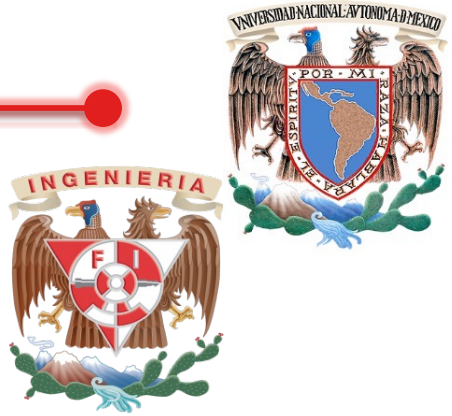
$$T_f = \frac{1000}{1x10^6} = 1x10^{-3}[s] \qquad T_\tau = \frac{200x10^3}{(0.67)*(3x10^8)} = 0.99x10^{-3}[s]$$

$$a = \frac{0.99x10^{-3}}{1x10^{-3}} = 0.9950$$

$$U = \frac{1}{1+2(0.9950)}$$

Eficiencia del Stop & Wait ejercicio b

$$U = 0.334 = 33.44\%$$

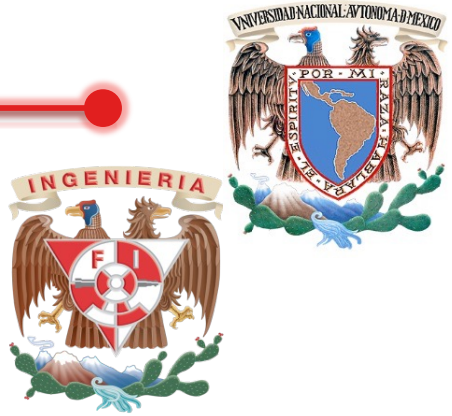


c) Un enlace satelital de 50000 km.

L=1000 bits C ó R = 1x10^6 bps T_{proc}=0 T_{ack}=0 N=0

$$U = \frac{1}{1+2a} \qquad a = \frac{T_\tau}{T_f} \qquad T_f = \frac{L}{C} \qquad T_\tau = \frac{\ell}{vel_{prop} * vel_{luz}}$$

$$T_f = \frac{1000}{1x10^6} = 1x10^{-3}[s] \qquad T_\tau = \frac{50000x10^3}{(1)*(3x10^8)} = 0.166[s]$$



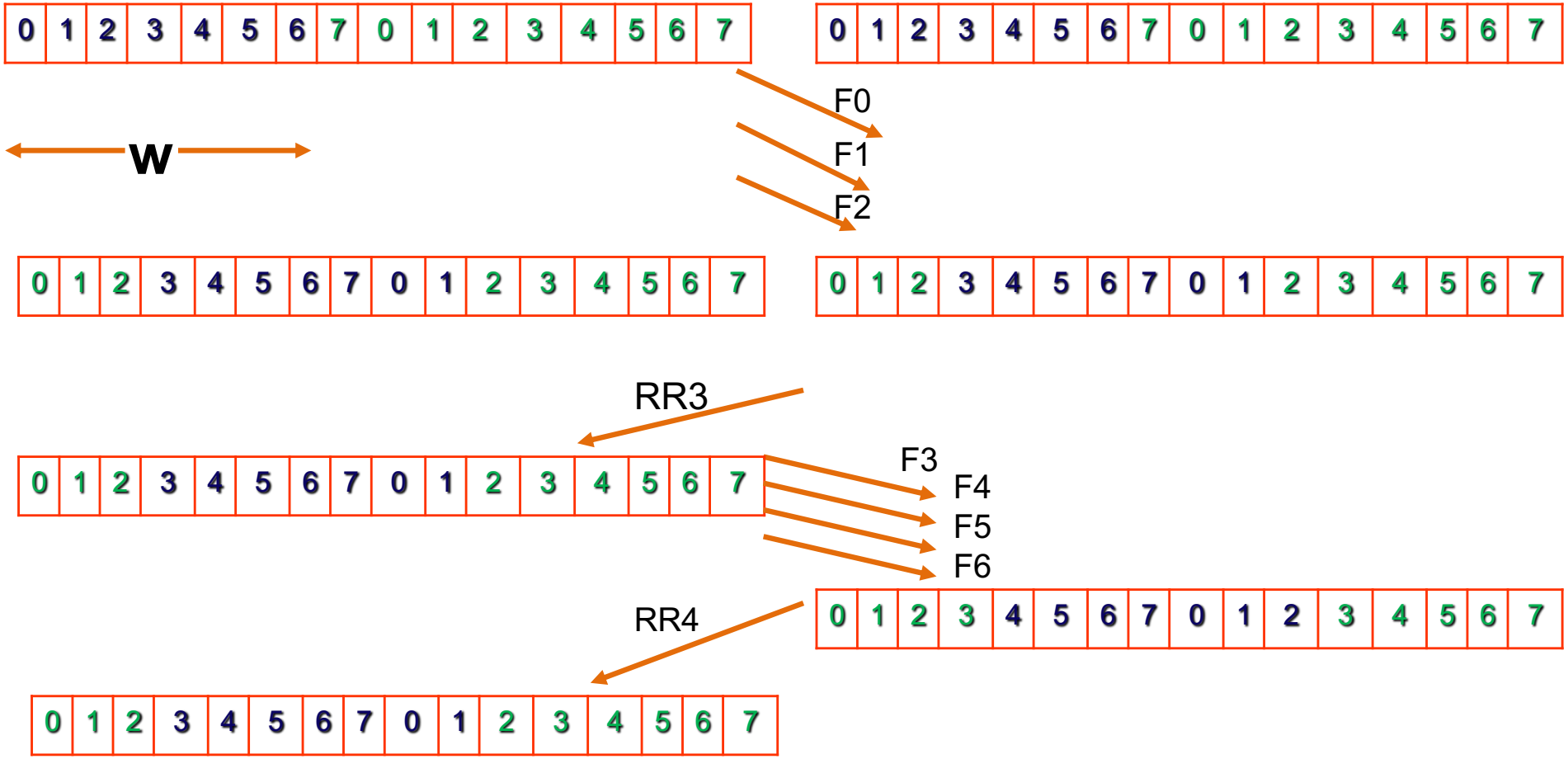
$$a = \frac{.1666}{1x10^{-3}} = 166$$

$$U = \frac{1}{1 + 2(166.666)}$$

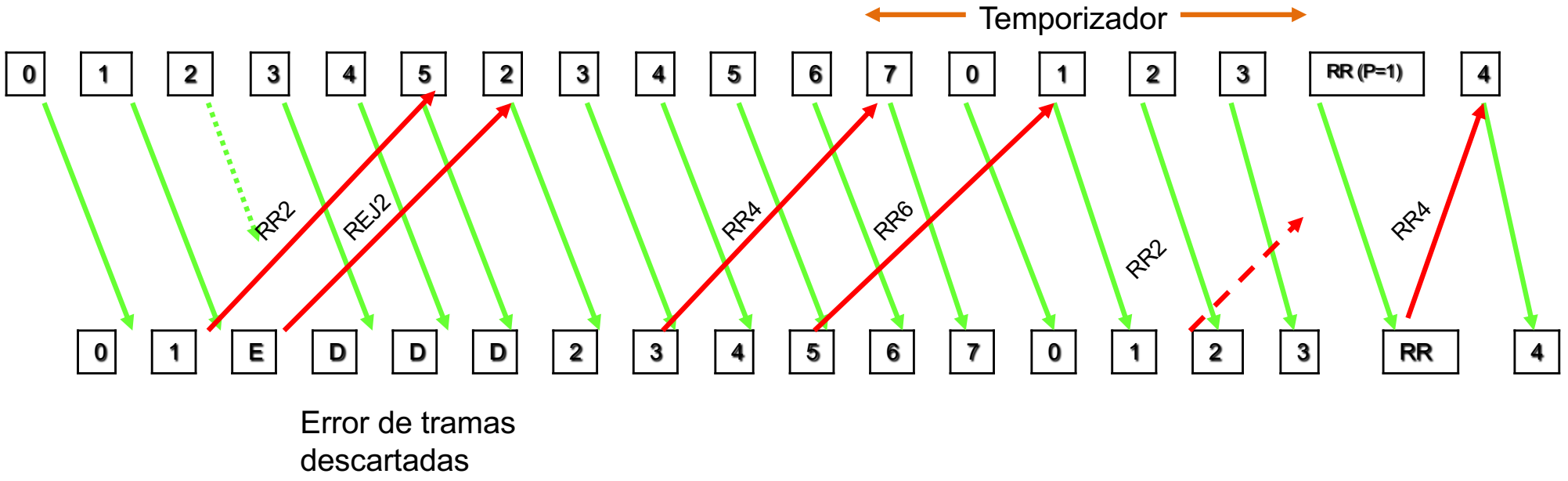
Eficiencia del Stop & Wait ejercicio b

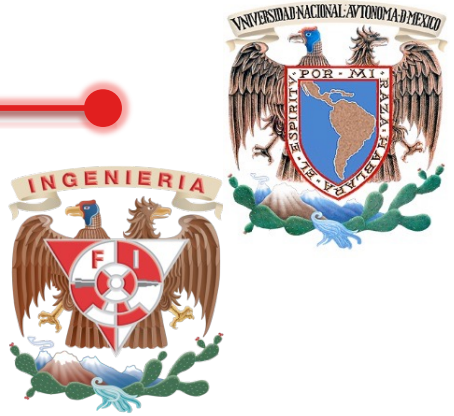
$$U = 2.99x10^{-3} = 0.29\%$$

Ventana Deslizante



Go back N (vuelta para atrás)





Go back N

$$U = \frac{T_f * W}{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack} + \frac{P_{ef}}{1 - P_{ef}} * (T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}) * (W)}$$

1) Sin errores: N=0, T_{proc}=0 y T_{ack}=0

$$U = \frac{T_f * W}{T_f + 2T_\tau + 0 + 0 + \frac{P_{ef}}{1 - P_{ef}} * (T_f + 2T_\tau + 0 + 0) * (W)}$$

$$U = \frac{W}{(1+2a)}$$

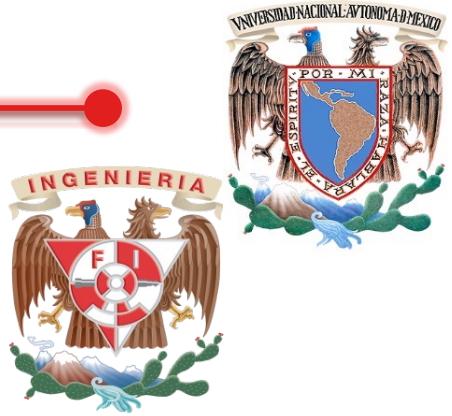
2) Con errores: $T_{proc}=0$ y $T_{ack}=0$

Si w < 1+2a

$$U = \frac{W(1-P_{ef})}{(1+2a)*(1+P_{ef}(W-1))}$$

Si w ≥ 1+2a, se usa w=1+2a

$$U = \frac{1-P_{ef}}{(1+P_{ef})*(W-1)}$$



3) Sin errores: $T_{proc} \neq 0$ y $T_{ack} \neq 0$

$$U = \frac{T_f * W}{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack} \frac{P_{ef}}{1 - P_{ef}} * (T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}) * (W)}$$

$$b = \frac{T_{proc} + T_{ack}}{T_f}$$

$C = T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}$

Si $w < 1 + 2a + b < c$

$$U = \frac{W}{(1 + 2a + b)}$$

Si $w \geq 1 + 2a + b \geq c$

$$U = 1$$

4) Con errores: $T_{proc} \neq 0$ y $T_{ack} \neq 0$

$$U = \frac{T_f * W}{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack} + \frac{P_{ef}}{1 - P_{ef}} * (T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}) * (W)}$$

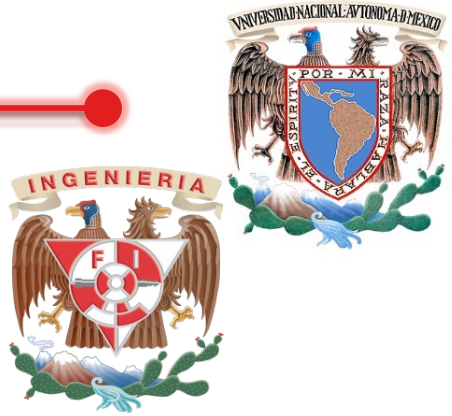
$$C = \frac{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}}{T_f}$$

Si w < C

$$U = \frac{W(1 - P_{ef})}{C[1 + P_{ef}(w - 1)]}$$

Si w ≥ C

$$U = \frac{1 - P_{ef}}{1 + P_{ef}(w - 1)}$$



Ejercicio. Una serie de tramas de 1000 bits se transmiten usando el protocolo de vuelta para atrás (Go back N). Calcular la utilización del canal para los siguientes medios de transmisión, si la probabilidad de error de un bit es 10^{-5}.

a) Un medio de UTP de 100 mts de largo con ventana W=2, $Vel_{_prop_medio}$= 0.59 a 1 Mbps.

b) Una línea privada 10 km de largo. $Vel_{_prop_medio}$= 0.67 a 200 Mbps. Con ventana W=7

c) Un enlace satelital de 50000 km que transmite a 2 Mbps y tiene una ventana W=127

a) Un medio de UTP de 100 mts de largo con ventana W=2, $Vel_{_prop_medio}$= 0.59 a 1 Mbps.

$P_b=10^{-5}$ $T_{proc}=0$ y $T_{ack}=0$ R=1 Mbps L=1000 bits y l=100mts

Encontrar w con respecto a 1+2a

$$T_f = \frac{1000}{1x10^6} = 1x10^{-3}[s] \quad T_\tau = \frac{100}{(0.59)*(3x10^8)} = 0.564x10^{-6}[s]$$

$$a = \frac{0.564x10^{-6}}{1x10^{-3}} = 0.564x10^{-3}$$

$1+2a=1+2(0.564x10^{-3})=1.01128$

W=2 w≥1+2a

a) Un medio de UTP de 100 mts de largo con ventana W=2, $Vel_{_prop_medio}$= 0.59 a 1 Mbps.

$$U = \frac{1 - P_{ef}}{(1 + P_{ef}) * (W - 1)}$$

$$P_{ef}=1-(1-P_b)^{L}=1-(1-10^{-5})^{1000}=0.00995$$

$$U = \frac{1 - 0.00955}{(1 + 0.00955) * (2 - 1)} = 1 = 100\%$$

b) Una línea privada 10 km de largo. Vel$_{_prop_medio}$= 0.67 a 200 Mbps. Con ventana W=7

$P_b=10^{-5}$ $T_{proc}=0$ y $T_{ack}=0$ R=200 Mbps L=1000 bits y l=10000 mts

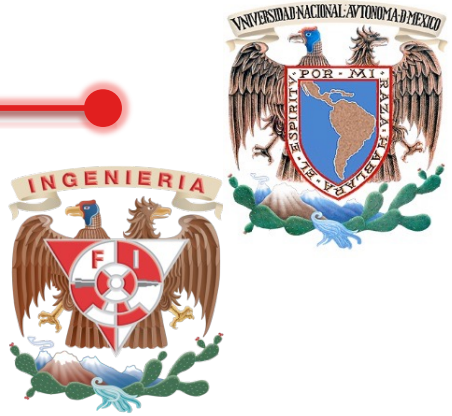
Encontrar w con respecto a 1+2a

$$T_f = \frac{1000}{200x10^6} = 5x10^{-6}[s] \qquad T_\tau = \frac{10x10^3}{(0.67)*(3x10^8)} = 49.75x10^{-6}[s]$$

$$a = \frac{49.75x10^{-6}}{5x10^{-6}} = 9.950$$

1+2a=1+2(9.950)=20.908

W=7 w<1+2a

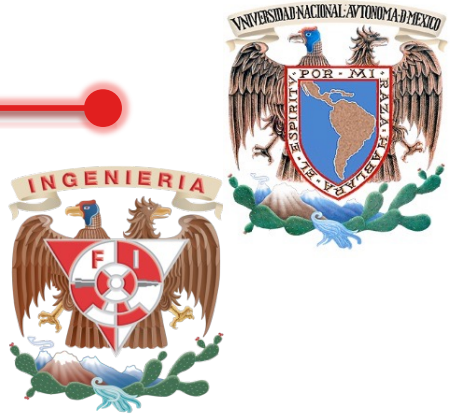


$$U = \frac{W(1-P_{ef})}{(1+2a)*(1+P_{ef}(W-1))}$$

$P_{ef}=1-(1-P_b)^L=1-(1-10^{-5})^{1000}=0.00995$

$$U = \frac{7*(1-0.00955)}{(1+2(9.9950))*(1+0.00955*(7-1))}$$

$$U = \frac{6.93315}{20.99*(1.0573)} = 0.3124 \quad \text{U=31.24\%}$$



c) Un enlace satelital de 50000 km que transmite a 2 Mbps y tiene una ventana W=127

$P_b=10^{-5}$ $T_{proc}=0$ y $T_{ack}=0$ R=2 Mbps L=1000 bits y l=50000 kms

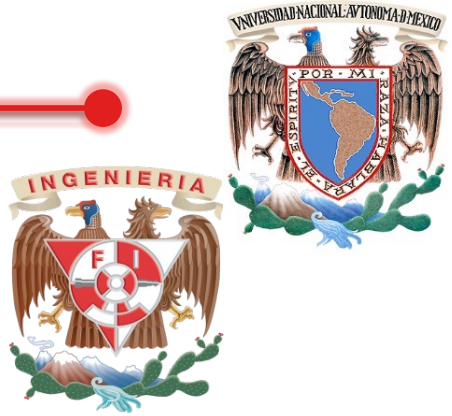
Encontrar w con respecto a 1+2a

$$T_f = \frac{1000}{2x10^6} = .5x10^{-3}[s] \qquad T_\tau = \frac{50000x10^3}{(1)*(3x10^8)} = 0.1666[s]$$

$$a = \frac{0.1666}{.5x10^{-3}} = 333.333$$

1+2a=1+2(333.333)=667.6666

W=127 w<1+2a



$$U = \frac{W(1-P_{ef})}{(1+2a)*(1+P_{ef}(W-1))}$$

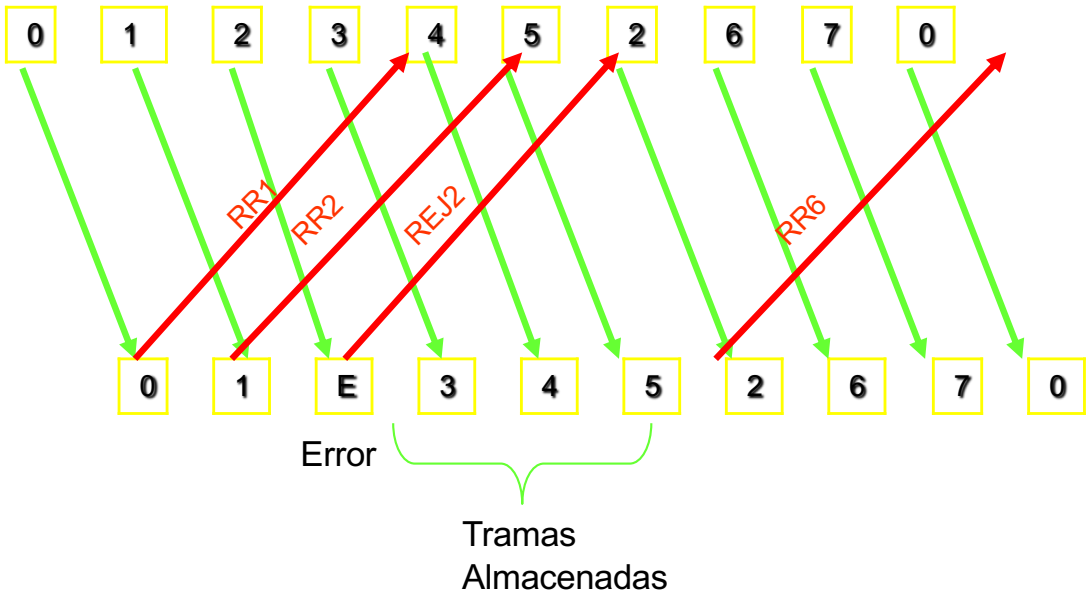
$P_{ef}=1-(1-P_b)^{L}=1-(1-10^{-5})^{1000}=0.00995$

$$U = \frac{127*(1-0.00955)}{(667.66)*(1+0.00955*(126))}$$

$$U = \frac{125.73635}{1504.577} = 0.0835$$

U=8.35%

Selective Repeat (Rechazo Selectivo)



Selective Repeat (Rechazo Selectivo)

$$U = \frac{T_f * W}{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack} + \frac{P_{ef}}{1 - P_{ef}} * (T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}) * (W)}$$

1) Sin errores: N=0, T_{proc}=0 y T_{ack}=0

$$U = \frac{T_f * W}{T_f + 2T_\tau + 0 + 0 + \frac{P_{ef}}{1 - P_{ef}} * (T_f + 2T_\tau + 0 + 0) * (W)}$$

$$U = \frac{W}{(1+2a)}$$

2) Con errores: $T_{proc}=0$ y $T_{ack}=0$

Si w < 1+2a

$$U = \frac{W(1-P_{ef})}{(1+2a)}$$

Si w ≥ 1+2a, se usa w=1+2a

$$U = 1 - P_{ef}$$

3) Sin errores: $T_{proc} \neq 0$ y $T_{ack} \neq 0$

$$U = \frac{T_f * W}{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack} + \frac{P_{ef}}{1 - P_{ef}} * (T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}) * (W)}$$

$$b = \frac{T_{proc} + T_{ack}}{T_f}$$

$C = T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}$

Si $w < 1 + 2a + b < c$

$$U = \frac{W}{(1 + 2a + b)}$$

Si $w \geq 1 + 2a + b \geq c$

$$U = 1$$

4) Con errores: $T_{proc} \neq 0$ y $T_{ack} \neq 0$

$$U = \frac{T_f * W}{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack} + \frac{P_{ef}}{1 - P_{ef}} * (T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}) * (W)}$$

$$C = \frac{T_f + 2T_\tau + T_{proc} + T_{ack}}{T_f}$$

Si w < C

$$U = \frac{W(1 - P_{ef})}{C}$$

Si w ≥ C

$$U = 1 - P_{ef}$$

Ejercicio. Una serie de tramas de 1000 bits se transmiten por un enlace de 100 km, a la velocidad de 20 Mbps. Si el enlace tiene una propagación de $2x10^8$ m/s y un BER=$4x10^{-5}$.Calcula la utilización del canal para los siguientes protocolos de enlace

a) Parada y espera

b) Vuelta para atrás con W=10

c) Rechazo selectivo con W=10

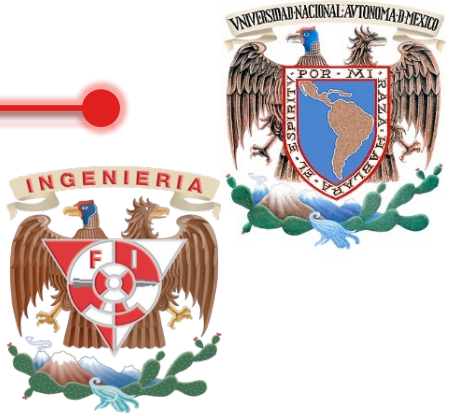
d) Rechazo selectivo en una línea privada de 10 kms de largo. Tasa de Transferencia 200 Mbps, BER=$1x10^{-3}$ W=7 T_{proc}=1ms L_{ack}=100 bytes

a) Parada y espera

$$U = \frac{1 - P_{ef}}{1 + 2a} \qquad a = \frac{T_\tau}{T_f} \qquad T_f = \frac{L}{C} \qquad T_\tau = \frac{\ell}{vel_{prop} * vel_{luz}}$$

$$T_f = \frac{1000}{2x10^6} = 50^{-6}[s] \qquad T_\tau = \frac{100x10^3}{2x10^8} = 0.5x10^{-3}[s]$$

$$P_{ef}=1-(1-P_b)^L=1-(1-4x10^{-5})^{1000}=3.921x10^{-2}$$

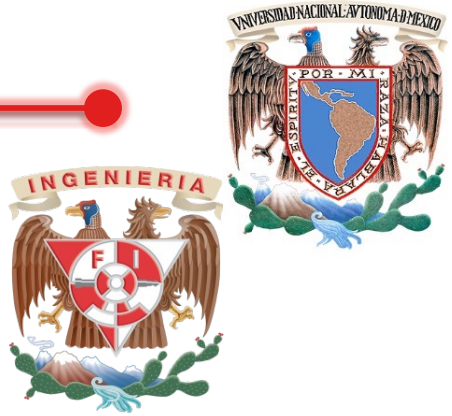


$$a = \frac{0.5x10^{-3}}{50x10^{-6}} = 10$$

$$U = \frac{1 - 3.921x10^{-2}}{1 + 2(10)}$$

Eficiencia del Stop & Wait ejercicio a

$$U = 0.0457 = 4.57\%$$



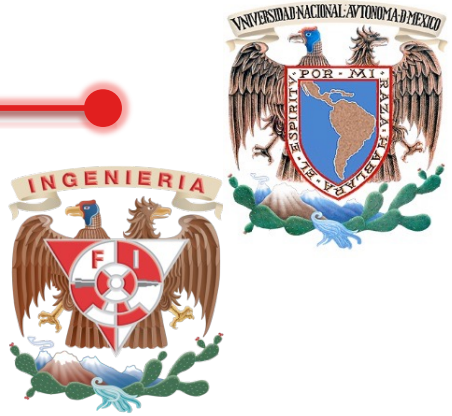
b) Vuelta para atrás con W=10

Encontrar w con respecto a 1+2a

1+2a=1+2(10)=21 W=10 w<1+2a

$$U = \frac{W(1-P_{ef})}{(1+2a)*(1+P_{ef}(W-1))}$$

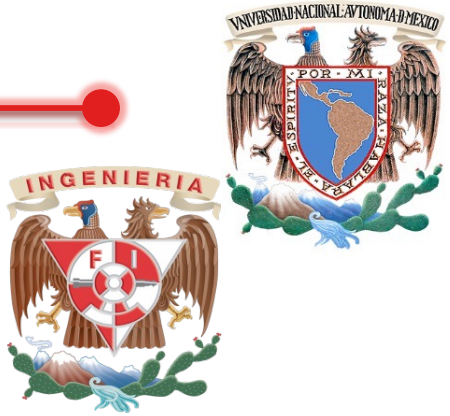
$P_{ef}=1-(1-P_b)^L=1-(1-4x10^{-5})^{1000}=0.0392$



$$U = \frac{10 * (0.96079)}{(21) * (1 + 3.92x10^{-2} * (9))}$$

$$U = \frac{9.6079}{28.4106} = 0.3381$$

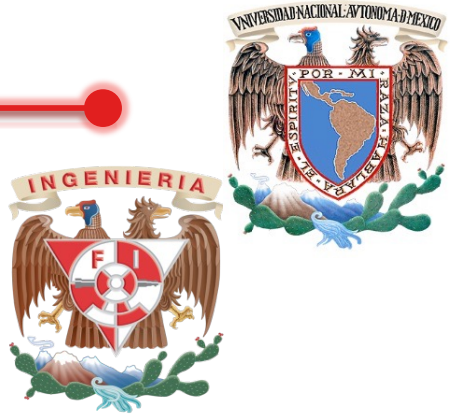
$$U = 0.3381 = 33.81\%$$



c) Rechazo selectivo con W=10

$$U = \frac{W(1-P_{ef})}{(1+2a)} = \frac{10(1-3.92x10^{-2})}{1+2(10)}$$

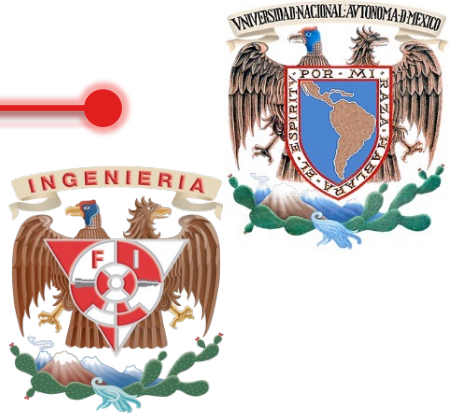
$$U = \frac{9.6079}{21} = 0.4575 = 45.75\%$$



d) Rechazo selectivo en una línea privada de 10 kms de largo. Tasa de Transferencia 200 Mbps, BER=$1x10^{-3}$ W=7 T_{proc}=1ms L_{ack}=100 bytes

Ejercicio

U=3.12%



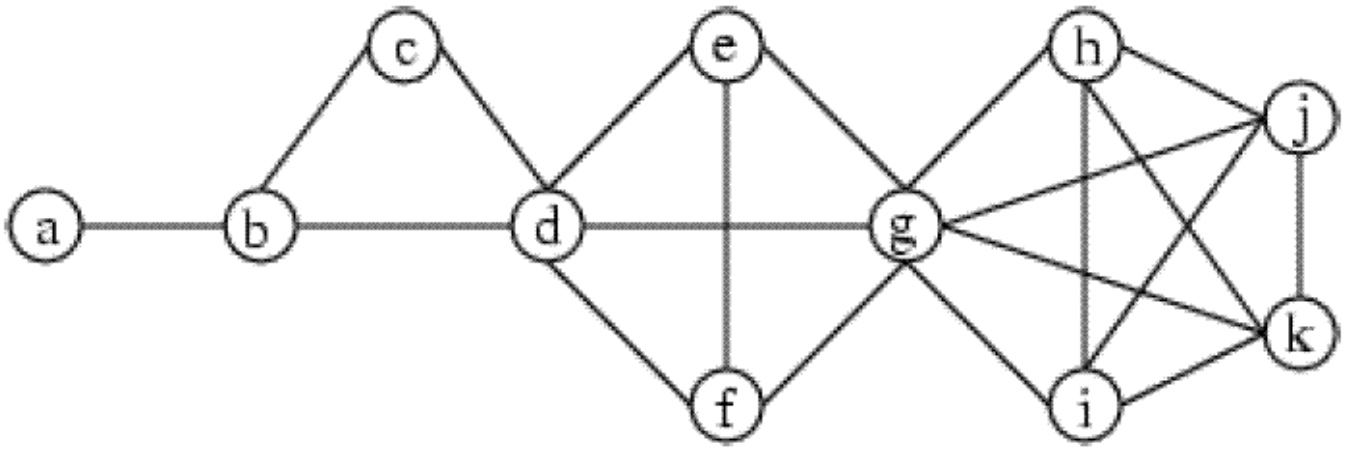
Colisiones Tardías

Colisión. Evento normal en un red **"Ethernet"** que indica que dos o más dispositivos están transmitiendo de forma simultánea datos en una red compartida, lo que resulta en la destrucción de esos datos.

Colisión de recepción, colisión recibida. Colisión detectada por el dispositivo que no se encuentra activamente transmitiendo. Al ser detectada por un puerto de repetidor Ethernet, éste envía una señal a los otros puertos del repetidor.

Colisión fantasma. Fenómeno que se produce en los sistemas de par cruzado Ethernet donde el dispositivo de transmisión detecta una colisión inexistente. Estas condiciones falsas pueden venir provocadas por una diafonía excesiva o una interferencia electromagnética.

Colisiones Tardías

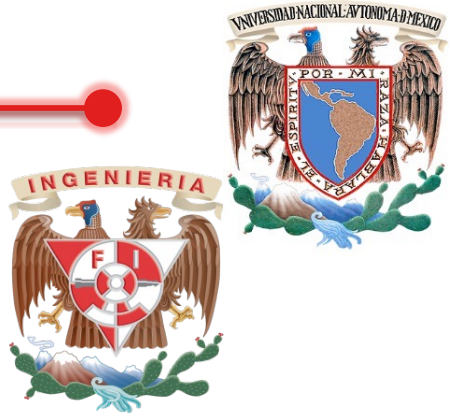


Ethernet CSMA/CD a 10 Mbps, enviando un paquete y confirmando (ACK)

L=5 km, l= 64 bytes

$$T_\tau = \frac{5x10^3}{(0.65)*(3x10^8)} = 25.64[\mu s] \quad T_f = \frac{(64)(8)}{10x10^6} = 51.2[\mu s]$$

El bit cero se tarda 25.6x10-6 [s] en llegar al destino B. Se detecta la colisión y manda el bit "cero" hacia A, entonces se tarda 25.6x10-6[s] y con ello son 51.2x10-6[s] y eso es igual a Tf (tiempo que procesa todos los bits). Esto es igual a que la estación A esta transmitiendo el bit 511. A entonces detecta la colisión y entonces manda el JAM, por lo tanto es una colisión tardía.



4.3 Analizar el funcionamiento de HDLC y SDLC

HDLC (High Level Data Link Protocol). Protocolo de Enlace de Datos de Alto Nivel.

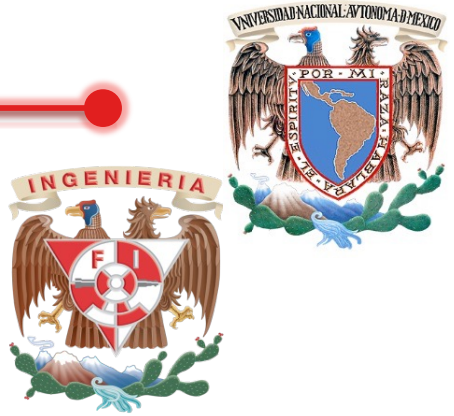
Familia de Protocolos HDLC

HDLC es un estándar ISO que deriva del SDLC

Protocolo de Ventana deslizante muy completo

Prácticamente todos los protocolos de enlaces actuales son subconjuntos de HDLC

PPP	LLC (IEEE 802.2)	LAP-B: x.25
LAPM: modems	LAP-D: ISDN	LAP-F: Frame Relay



HDLC (High Level Data Link Protocol)

Utiliza un campo de las tramas para implementar funciones de control

Transmisión bidireccional simultánea

Usa ventana deslizante

Trabaja de modo transparente (para el usuario) la inserción de bits.

Formato del Frame HDLC

8	8	8/16	≥0	16 ó 32	8
01111110	Dirección (11111111)	Control	Datos	CRC $x^{16}+x^{12}+x^5+1$	01111110

N(S) No. de secuencia a enviar

N(R) No. de secuencia a recibir

P/F: Poll/Final Bit

Información (para datos)

1	3	1	3
0	N(S)	P/F	N(R)

Supervisión (errores/flujo)

2	2	1	3
1 0	S	P/F	N(R)

- 00-Receiver Ready RR
- 01-Receiver Not Ready RNR
- 10-Reject, REJ (Go back N)
- 11- Selective Repeat- SREJ

Enumeración (Establecer conexión)

2	2	1	3
1 1	M	P/F	M

Elaboración de tramas HDLC

1. Concatenar campos “Dirección”, control e información
2. Calcular el CRC
3. Realizar el relleno de bits (añade un cero despues de cinco unos)
4. Añadir los delimitadores de inicio y final (01111110)

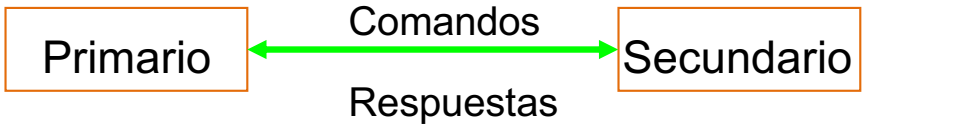
Funcionamiento de HDLC

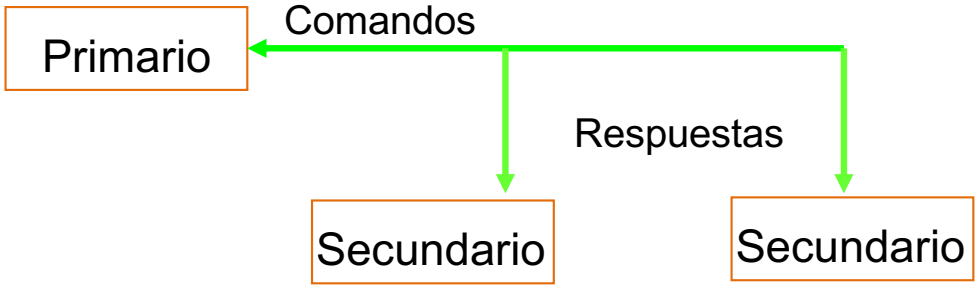
¿Qué pasa sí en la transmisión desaparecen los últimos bytes (el CRC) de una trama?

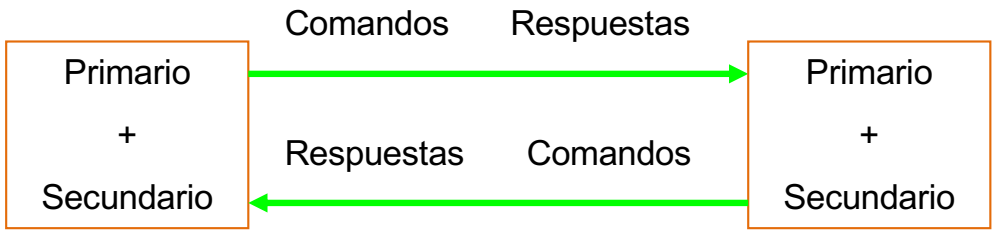
¿Qué pasa sí una trama se altera y aparece en ella la secuencia 011111110?

¿Qué pasa si el flujo de datos se altera y aparece un delimitador entre dos tramas?

Topologías WAN: HDLC







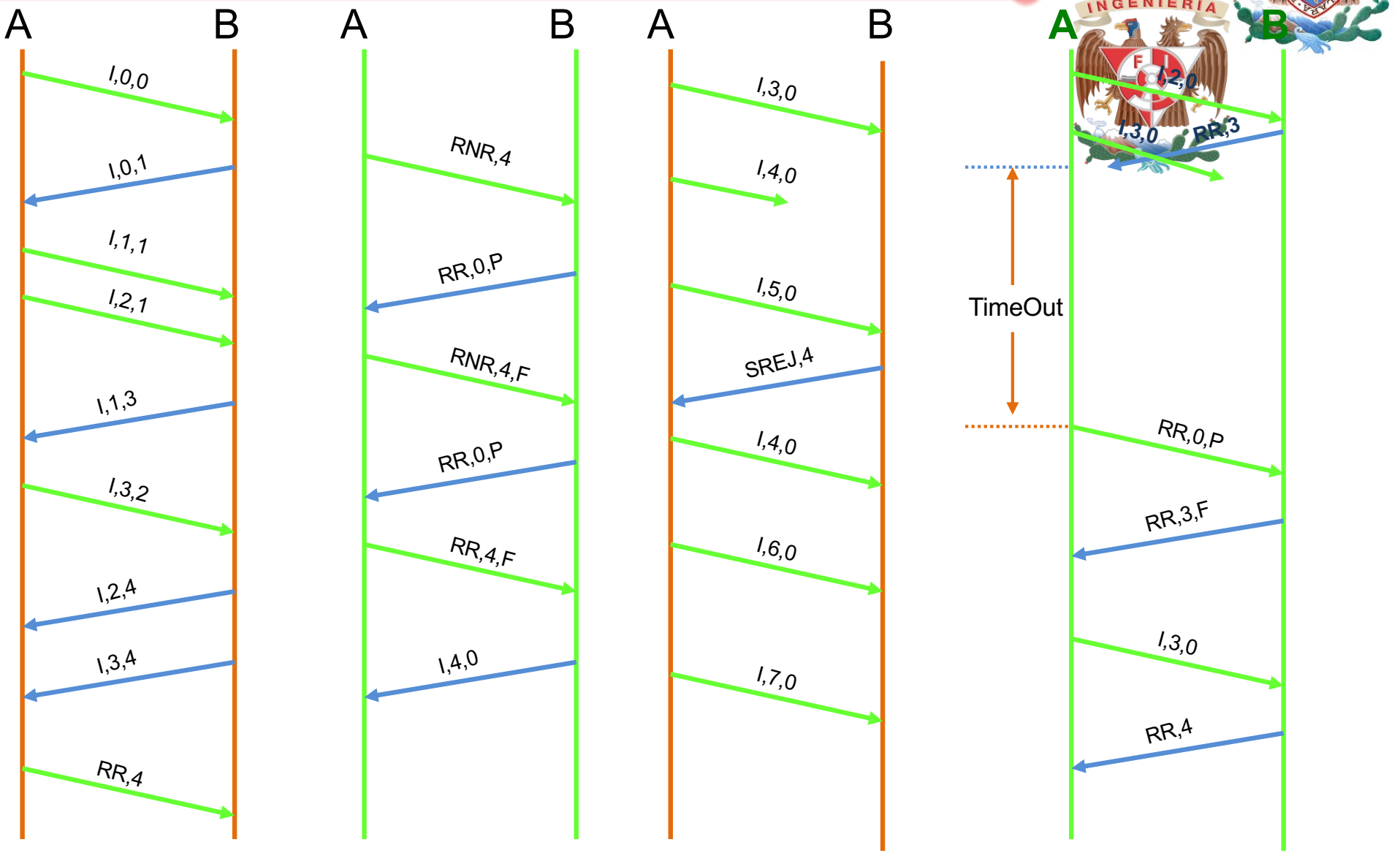
Configuraciones del enlace

- **No balanceada**. Una estación primaria y una ó mas secundarias. Full-duplex o semi-duplex
- **Balanceada**. Dos estaciones combinadas. Full-duplex o semi-duplex

Modos de transferencia

1. Respuesta Normal (NRM). Configuración no balanceada. La secundaria responde a la primaria.
2. Balanceado asíncrono (ABM). Configuración balanceada. Cualquier estación balanceada puede iniciar la transmisión.
3. Respuesta Asíncrona (ARM). Configuración no balanceada. La estación secundaria puede iniciar la transmisión.

Capa de Enlace



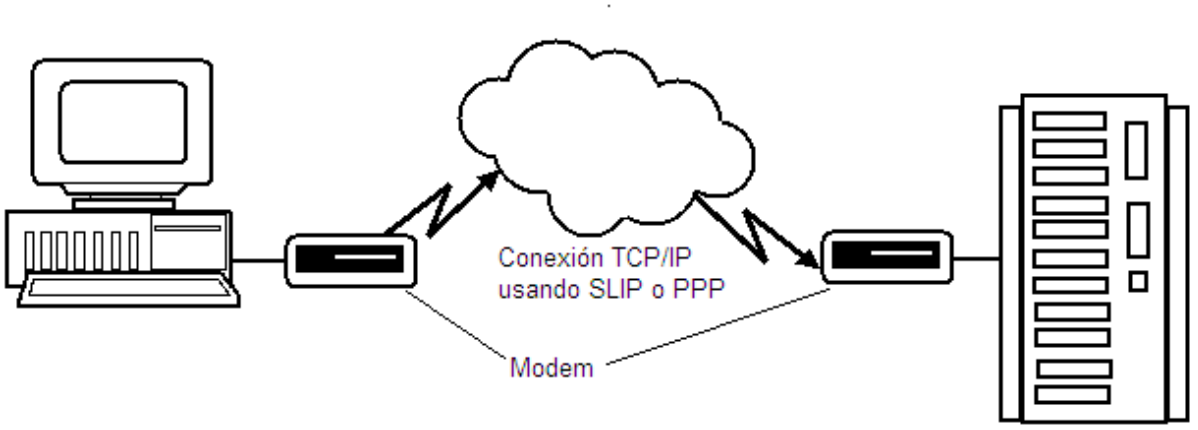
a) Tx. Duplex b)Condición Ocupado c)Rechazo d)Temporizador

WAN (PPP)

PPP. Protocolo Punto a Punto (Protocol Point to Point)

Protocolo de enlace típico de Internet. Se utiliza en:

- Líneas dedicadas punto a punto
  - Conexiones conmutadas analógicas o digitales
  - Conexiones de alta velocidad sobre enlaces SONET/SDH
- Funciona de manera síncrona y asíncrona
- Es múltiprotocolo



Formato del Frame PPP

1 byte	1 byte	1 byte	1 ó 2 byte	Variable	2/4 bytes	1 byte
Delim 01111110	11111111	00000011	Protocolo	Datos Default: 1500	CRC	Delim 01111110

La trama siempre tiene un número entero de bytes

El campo dirección no se utiliza, siempre vale 11111111

El campo control casi siempre vale 00000011 (sin ACK, trama no numerada)

Se negocia omitir dirección de control (compresión de cabeceras)

El protocolo puede ser: LCP, NCP, IP, IPX ó AppleTalk

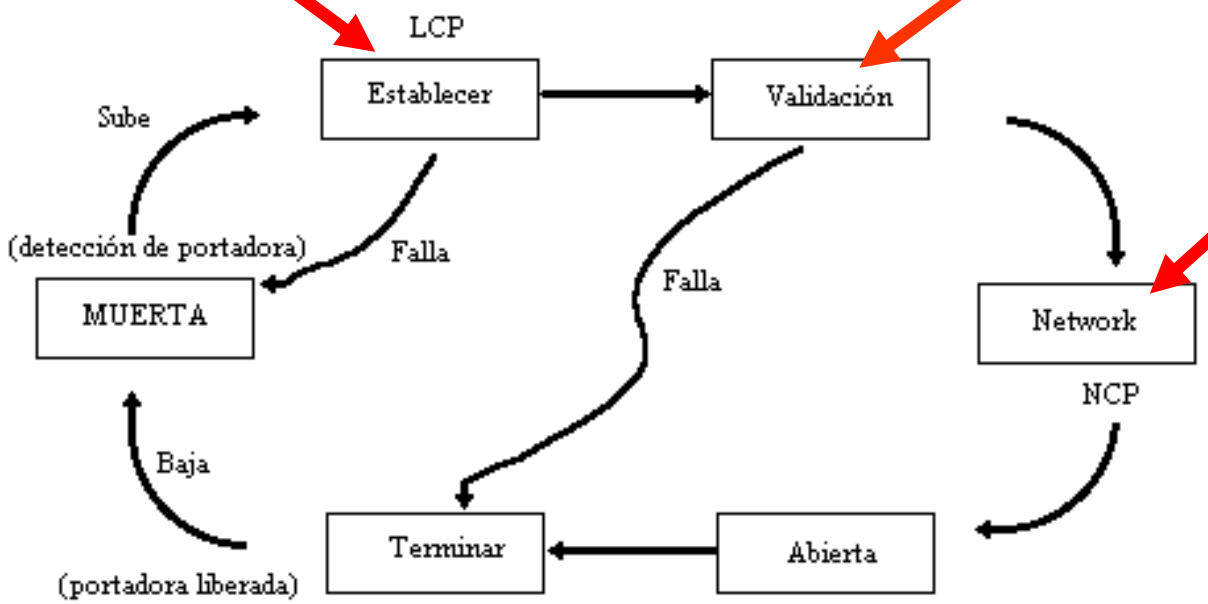
Componentes de PPP

LCP (Link Control Protocol). Negocia parámetros del nivel de enlace en el inicio de la conexión:

-Supresión de campos de dirección y control.

-Uso de protocolos confiables.

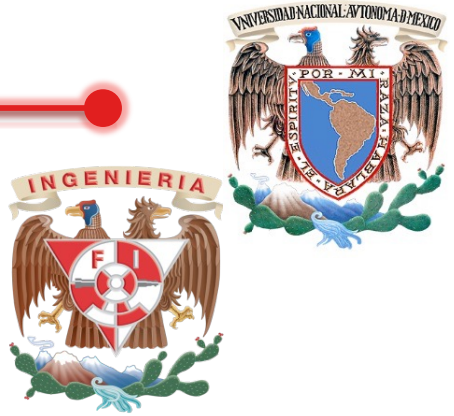
Chap.Autentica al usuario



NCP (Network Control Protocol). Negocia parámetros de nivel de red:

-Protocolos soportados

- Asignación dinámica de IP (TCP/IP)



Otras Topologías WAN

LAPB (Link Access Procedure, balanced)

1. HDLC en modo balanceado (ABM). Parte de la norma ITU-T x.25.
2. Enlace punto a punto de una red de conmutacíón de paquetes.

LAPD (Link Access Procedure, Canal D)

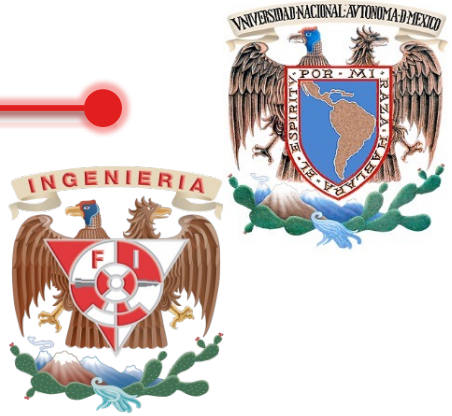
1. Desarrollo de la ITU-T como recomendación para ISDN, que usa ABM
2. Usa número de secuencias de 7 bits, CRC-16
3. Dirección de 16 bits con dos subdirecciones que identifican dispositivos físicos y usuarios lógicos

Frame Relay

1. Usa el protocolo LAPF (Link Access Procedure Frame)
2. Usa número de secuencias de 7 bits, CRC-16
3. Dirección de dos, tres y cuatro bytes para indentificar la conexión lógica.
4. No tiene campos para control de flujo ni errores

ATM (Asynchronous Transfer Mode)

1. ATM esta basado en un formato de tramas (frames) completamente nuevo, denominado celdas, reduciendo la cantidad de procesamiento necesario.



Tarea

Definición y cabeceras y protocolos del SDLC

4.4 Protocolo ALOHA

4.5 Control de Acceso al Medio (MAC)

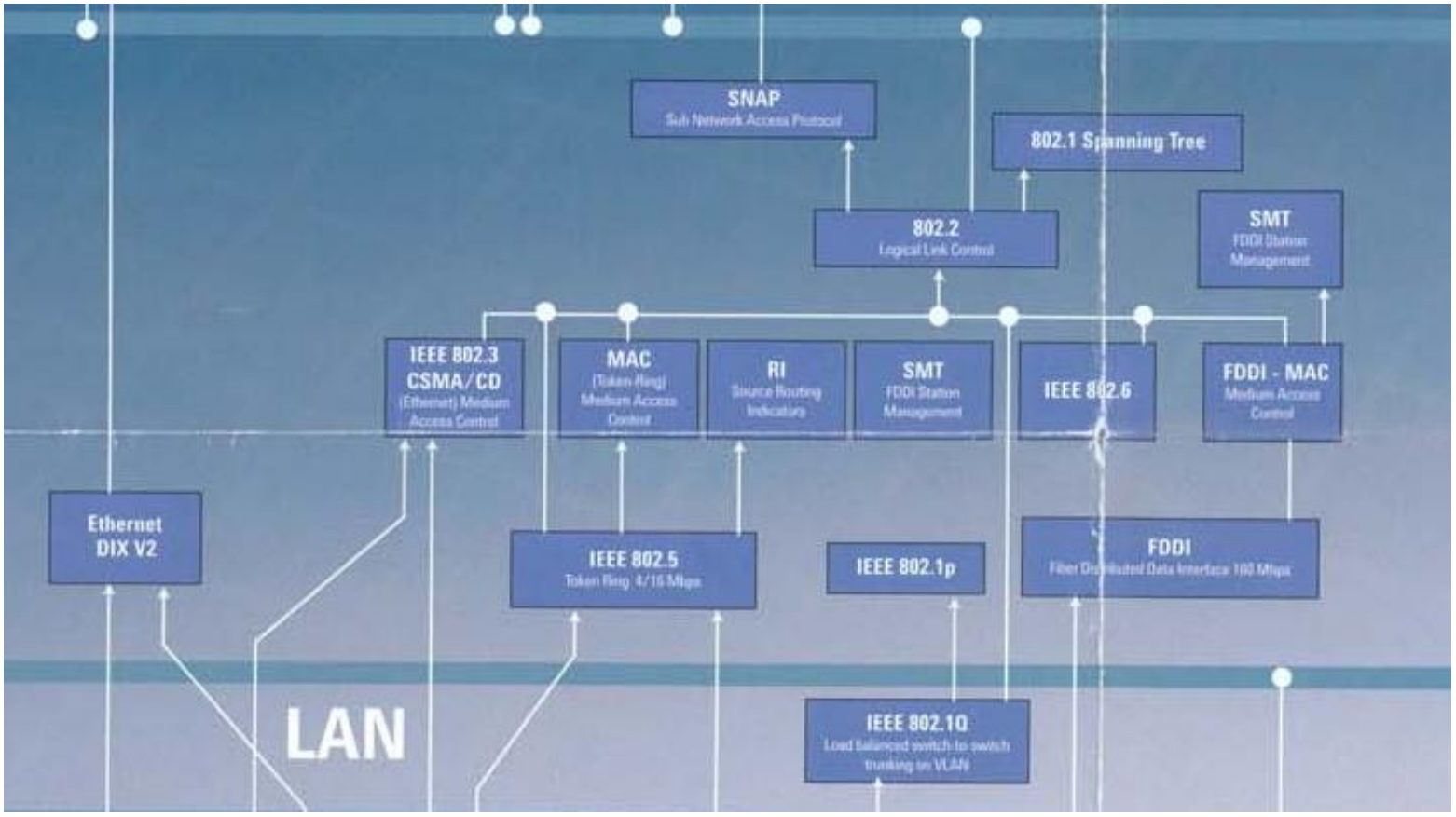
CSMA/CD y CA y Token Ring

Uno de los factores que cualquier red debe definir es el protocolo de control de acceso al medio (Medium Access Control). En este tipo de protocolo, el asunto **clave** es la manera de determinar quien puede usar el canal y como es la competencia por el. Se analizará los principales protocolos MAC en redes distribuidas

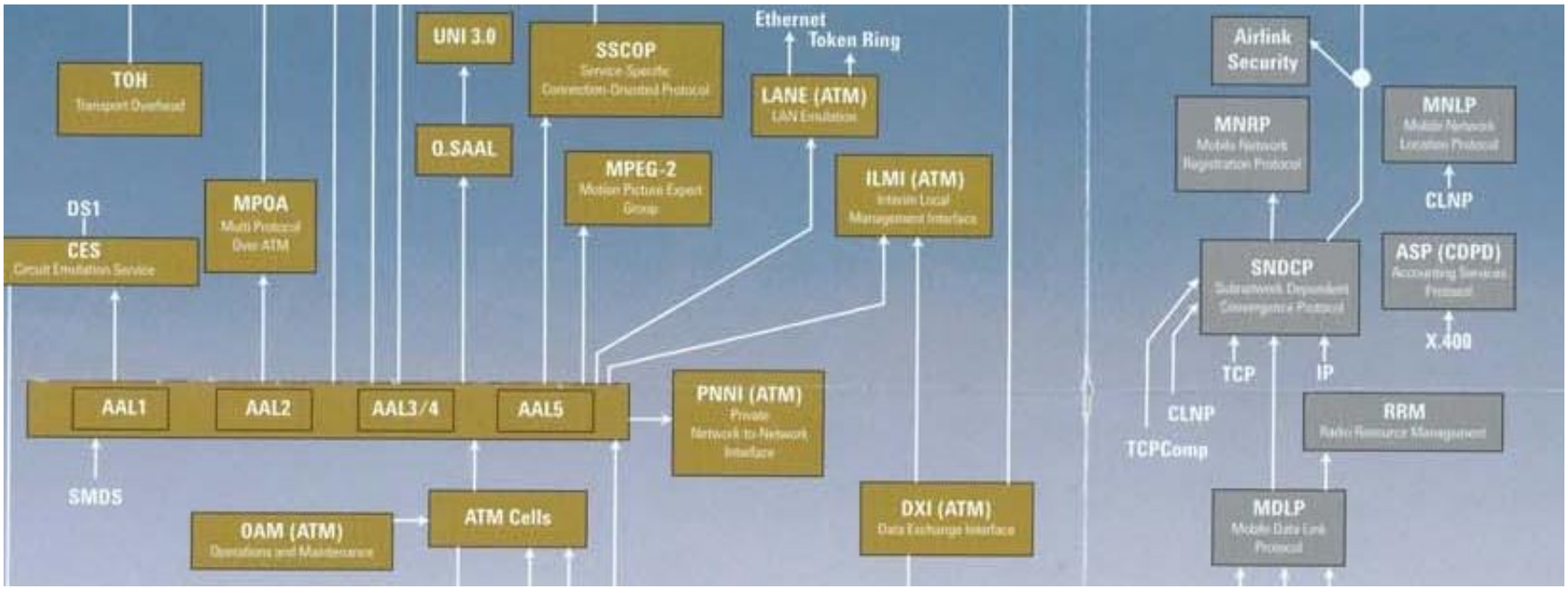
Se define la forma en que un usuario coloca los datos en la red y toma los datos del “medio de transmisión”.

Una vez que los datos se están moviendo en la red, los métodos de acceso ayudan a regular el flujo del tráfico de la red

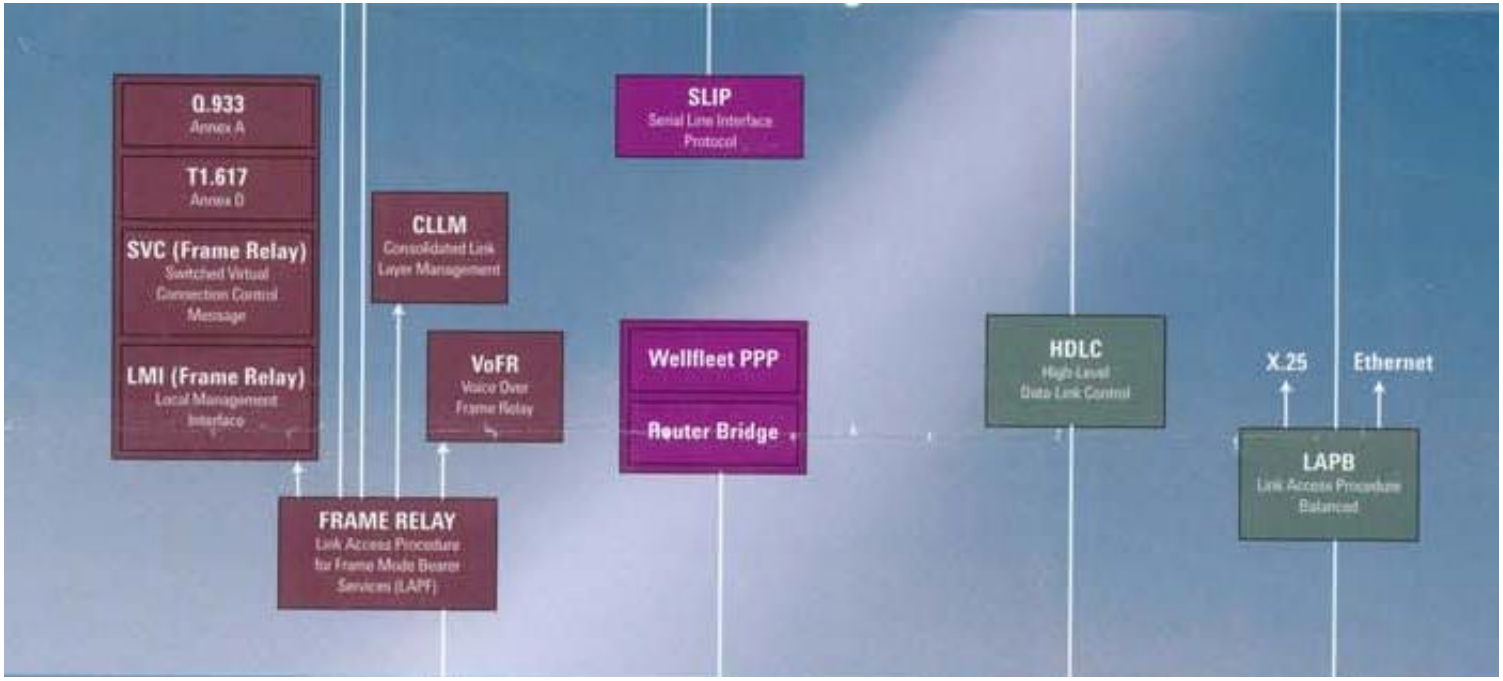
Capa de Enlace



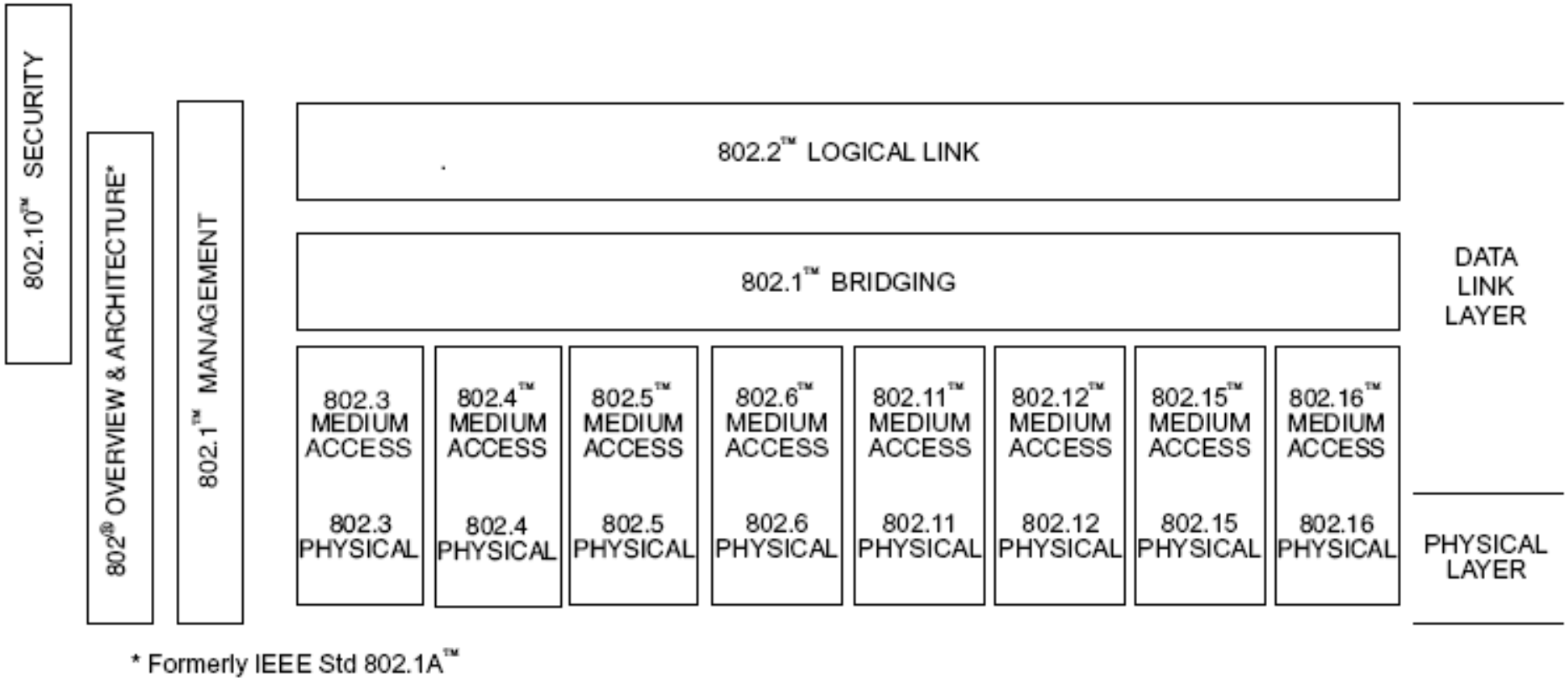
Capa de Enlace

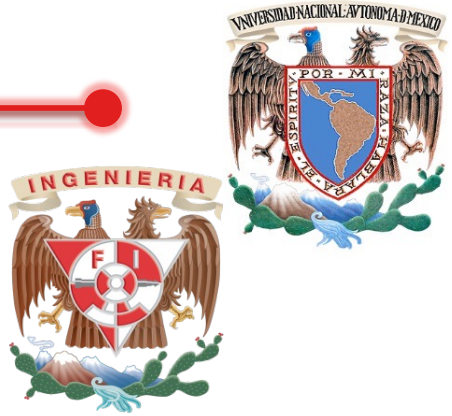


Capa de Enlace



Estandar IEEE 802





Estandar IEEE 802

IEEE 802.1 Protocolos de Alto Nivel

IEEE 802.2 Control de Enlace Lógico

IEEE 802.3 Ethernet (CSMA/CD)

IEEE 802.4 Token bus (disuelto)

IEEE 802.5 Token Ring

IEEE 802.6 Redes de Área Metropolitana (MAN, disuelto)

IEEE 802.7 Redes LAN de banda Ancha usando cable coaxial (disuelto)

IEEE 802.8 LAN con Fibra óptica (disuelto)

IEEE 802.9 Redes LAN y Servicios Integrados (disuelto)

IEEE 802.10 Seguridad e interoperabilidad en LAN (disuelto)

Estandar IEEE 802

IEEE 802.13 Cat.6 - 10Gb LAN (nuevo comite)

IEEE 802.14 Cable modems (disuelto)

IEEE 802.15 Wireless PAN

IEEE 802.15.1 (Bluetooth certificación)

IEEE 802.15.4 (ZigBee certificación)

IEEE 802.16 Acceso Inalámbrico en Banda Ancha (WiMAX certificación)

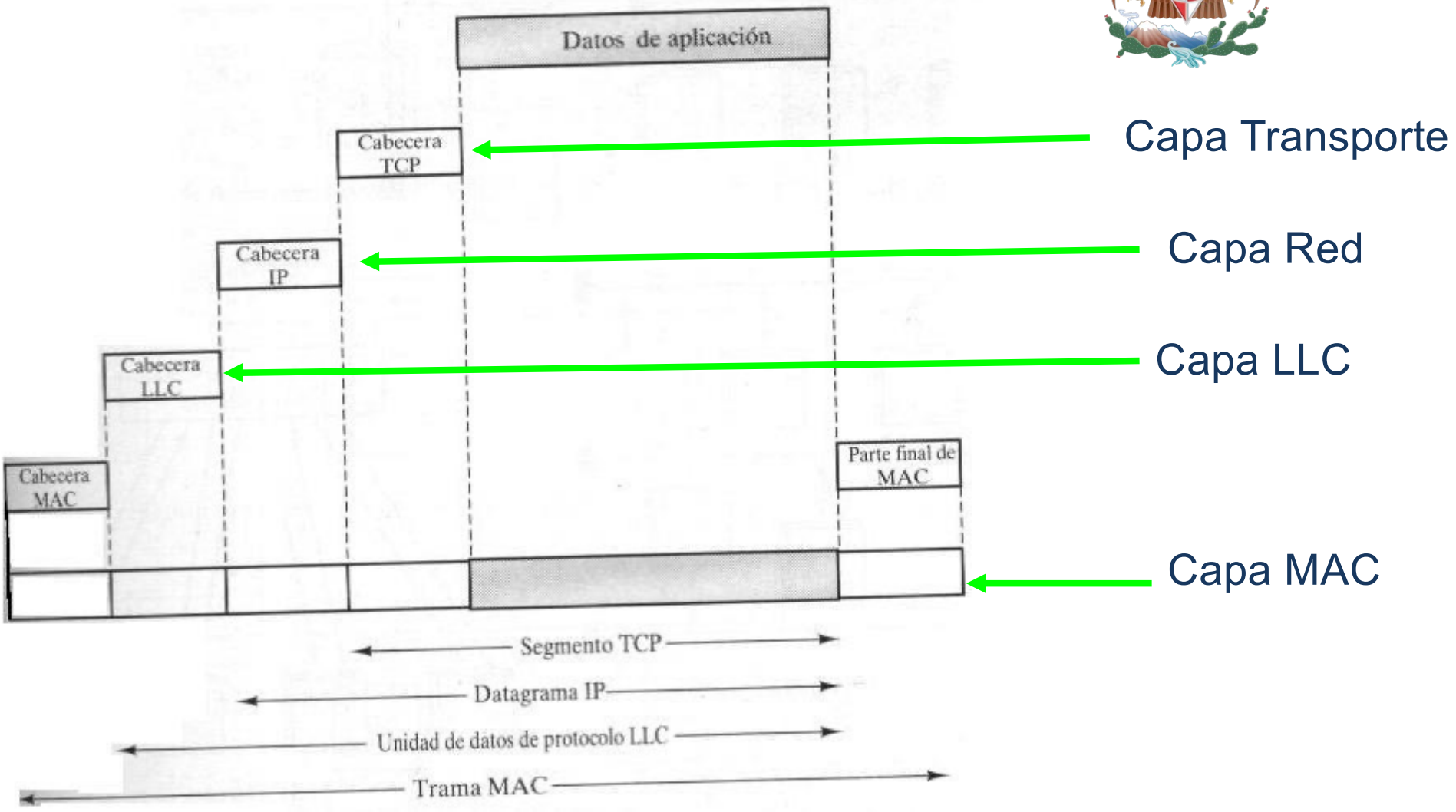
IEEE 802.20 Acceso Inalámbrico Móvil en Banda Ancha

IEEE 802.22 Redes de Área Regional Inalámbrica

IEEE 802.11 Wireless LAN (Wi-Fi certificación)

IEEE 802.12 Prioridad de Demanda

Capa de Enlace



Acceso Distribuido

- Protocolos sin detección de portadora → Aloha puro, Aloha ranurado
- Protocolos con detección de portadora → CSMA-1 persistente, CSMA no persistente, CSMA-p persistente
- Protocolos con detección de portadora y detección de colisiones → CSMA/CD
- Protocolos con detección de portadora y anulación de colisiones → CSMA/CA

Acceso Controlado

- Método de paso de testigo → Token Passing (Token Ring)
- Sistemas de Reservación → TDMA
- Sistemas de Acceso Concurrente → CDMA

ALOHA Puro

Aloha es una técnica sencilla y una disputa sencilla entre las estaciones. Tiene varios puntos débiles, utilizando el 18% del canal cuando crecen los nodos y aumentan las colisiones.

Cuando una estación dispone de una trama a transmitir lo hace, pasando después a escuchar al medio durante un tiempo igual al máximo retardo de propagación posible de ida y vuelta a través de la red (dos veces el tiempo que tarda el envío de una trama entre las dos estaciones más separadas) mas un pequeño tiempo.

Aloha Puro

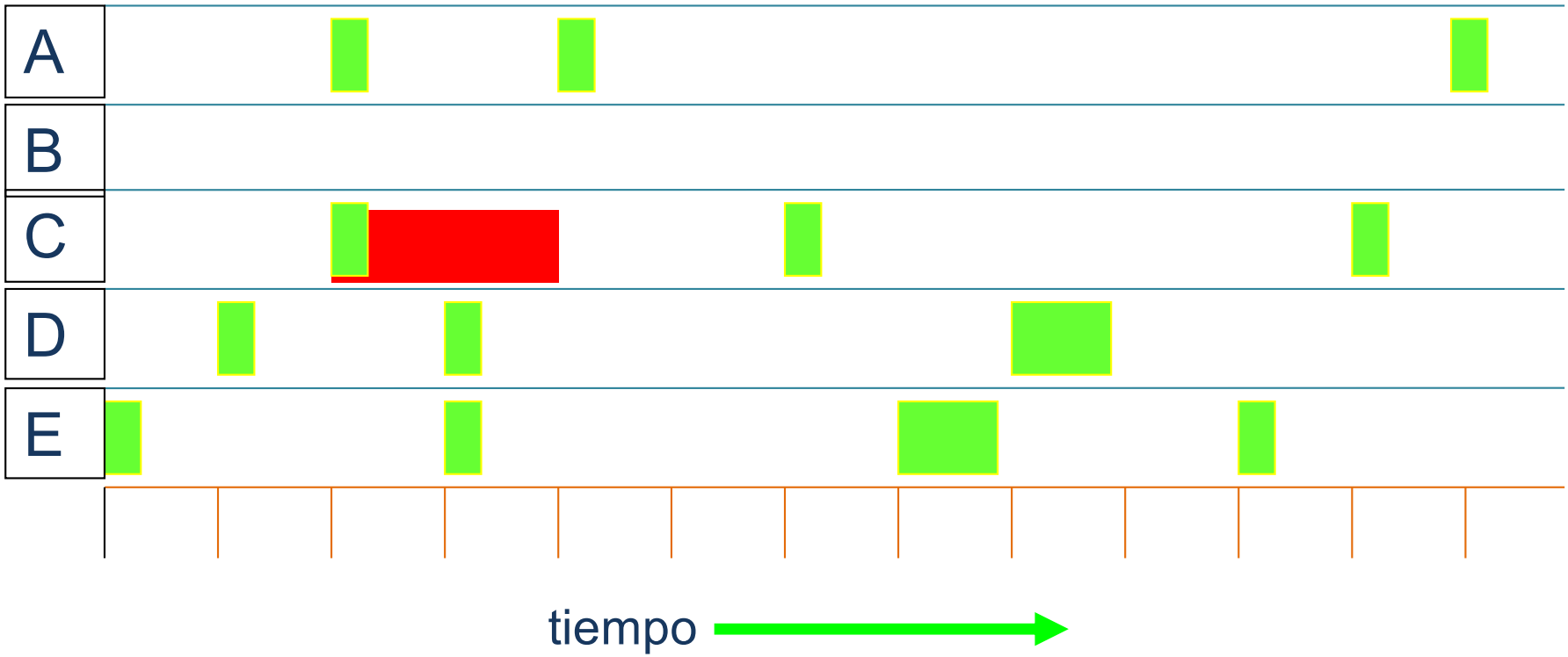
ALOHA Ranurado

Aloha ranurada es un esquema donde se organiza el canal de manera uniforme (usando ranuras) y de igual tamaño en tiempo para así transmitir de manera constante la trama, siendo necesario el uso de un reloj central u otra técnica para la sincronización de las estaciones.

Su eficiencia máxima es del 37%

Aloha Ranurado

Tiempo inutilizado por colisiones



Aloha Puro y Aloha Ranurado

Rendimiento

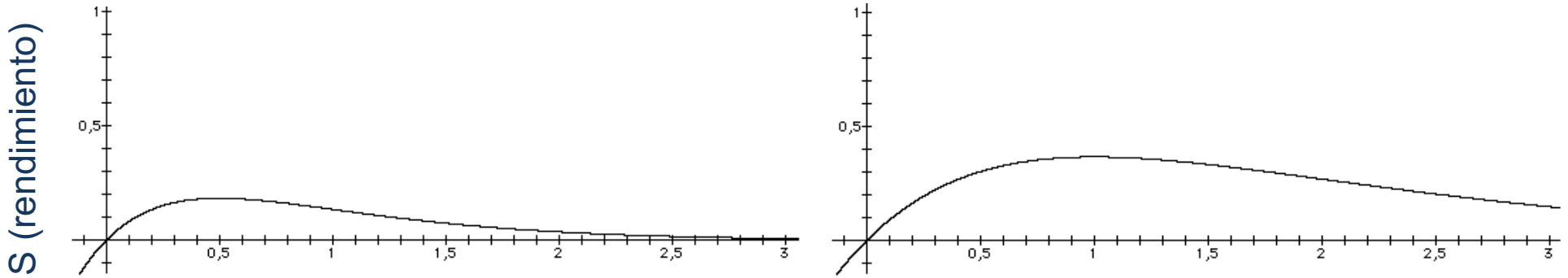
Supone que se realiza una distribución de Poisson

Aloha puro: max 18.4% al 50% de la utilización

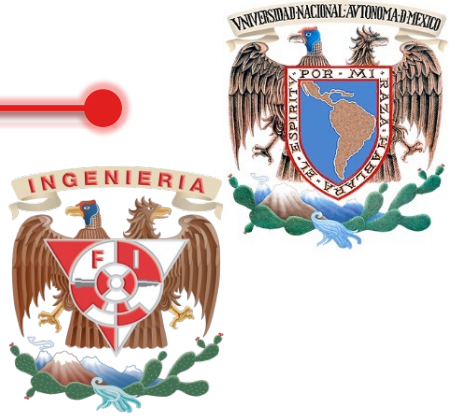
$S=Ge^{-G}$

Aloha ranurado: max 36.8% al 100% de la utilización

$S=Ge^{-2G}$



Densidad de tráfico inyectado en la red



CSMA

Manejando estas dos técnicas y viendo la subutilización del canal, se desarrolla la técnica CSMA (Carrier Sensitive Multiple Access), donde una estación que desea transmitir, debe de escuchar al medio de transmisión por lo que tenemos las siguientes consideraciones

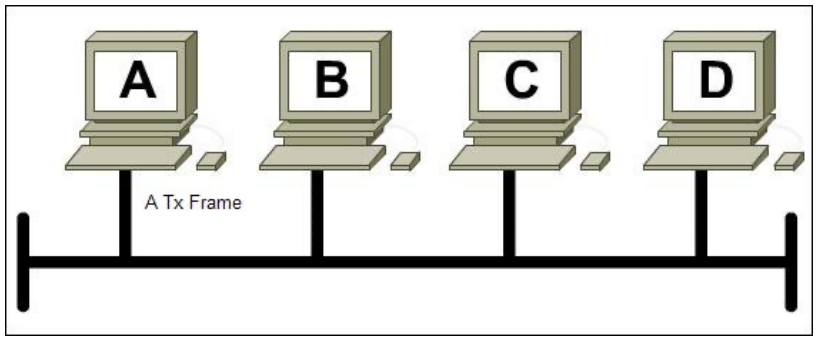
1. Se transmite, si el medio se encuentra libre, sino se aplica la regla 2.

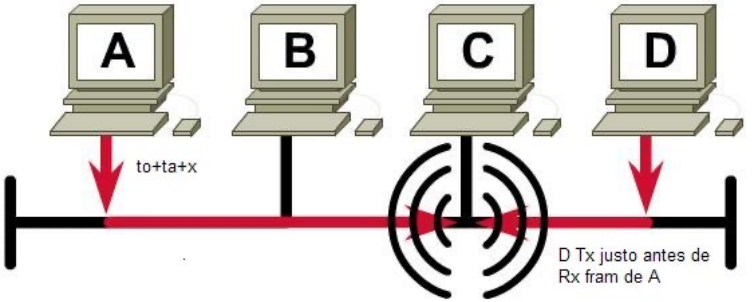
2. Si el medio esta ocupado, continua escuchando hasta que el canal se detecte libre, entonces se transmite inmediatamente.

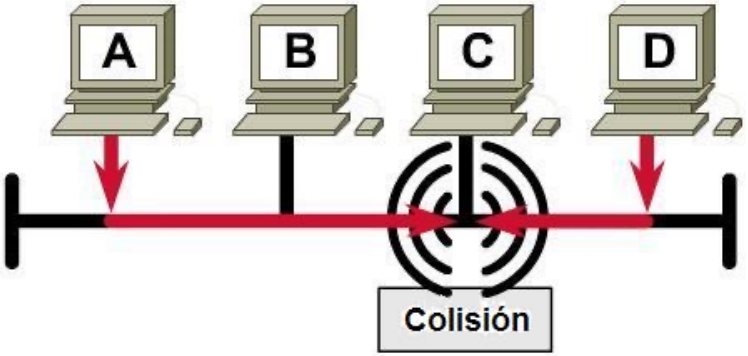
Se producirá una colisión si dos o mas estaciones están en espera de transmitir. Solo tras la colisión se reorganizan las cosas.

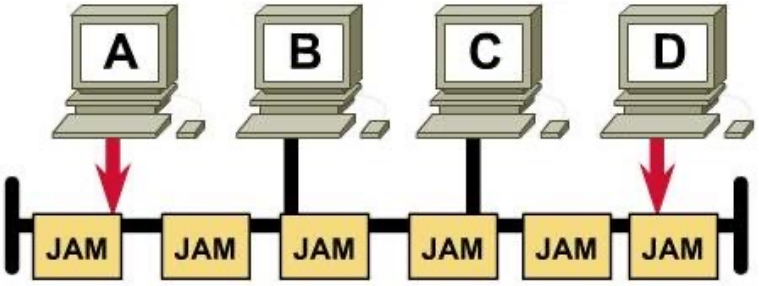
Si existe una colisión se debe transmitir una señal de perturbación (JAM) para asegurar que todas las estaciones detecten la colisión.

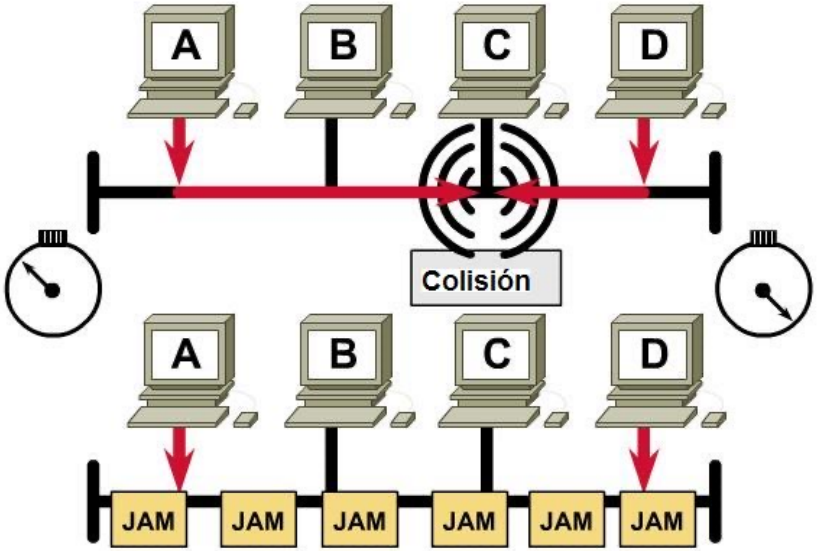
Cronología de una Colisión











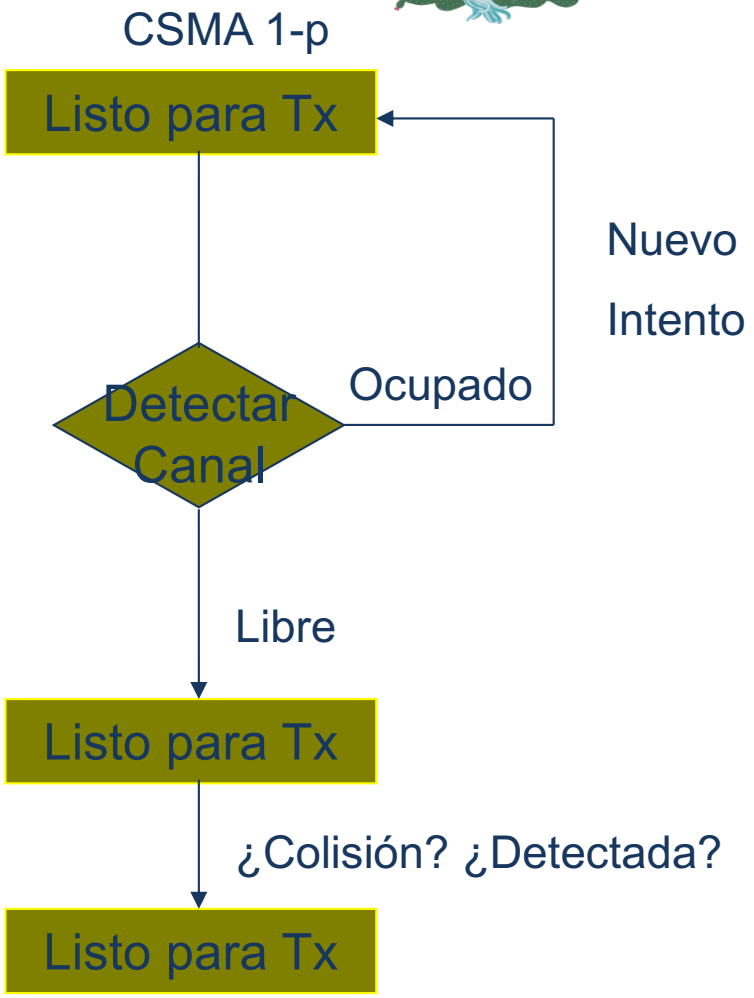
CSMA 1-persistente

Funcionamiento

Estación censa el canal, sí esta libre transmite el frame; caso contrario sigue censando hasta que se libere y cuando lo hace envía un frame

- Si hay muchos nodos en la red y el canal está ocupado, la colisión es casi segura al liberarse

- Rendimiento del 55% al 100% de utilización (Distribución de Poisson)

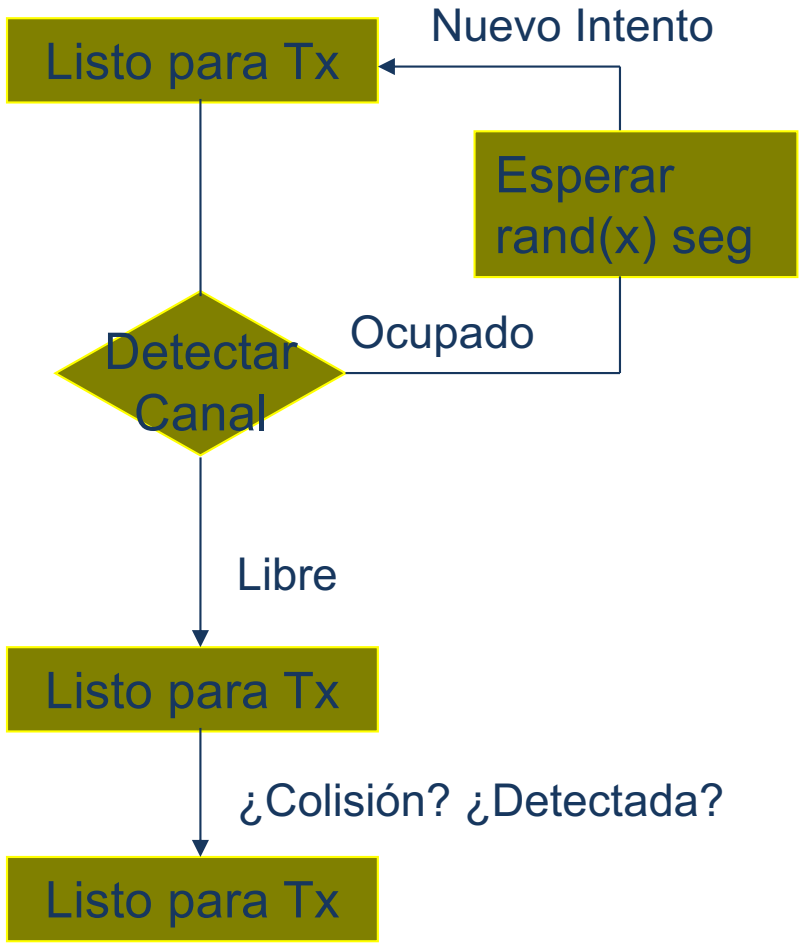


CSMA no-persistente

Funcionamiento

Estación censa el canal, sí esta libre transmite el frame; en caso contrario se espera un tiempo aleatorio y vuelve a censar repitiendo el algoritmo.

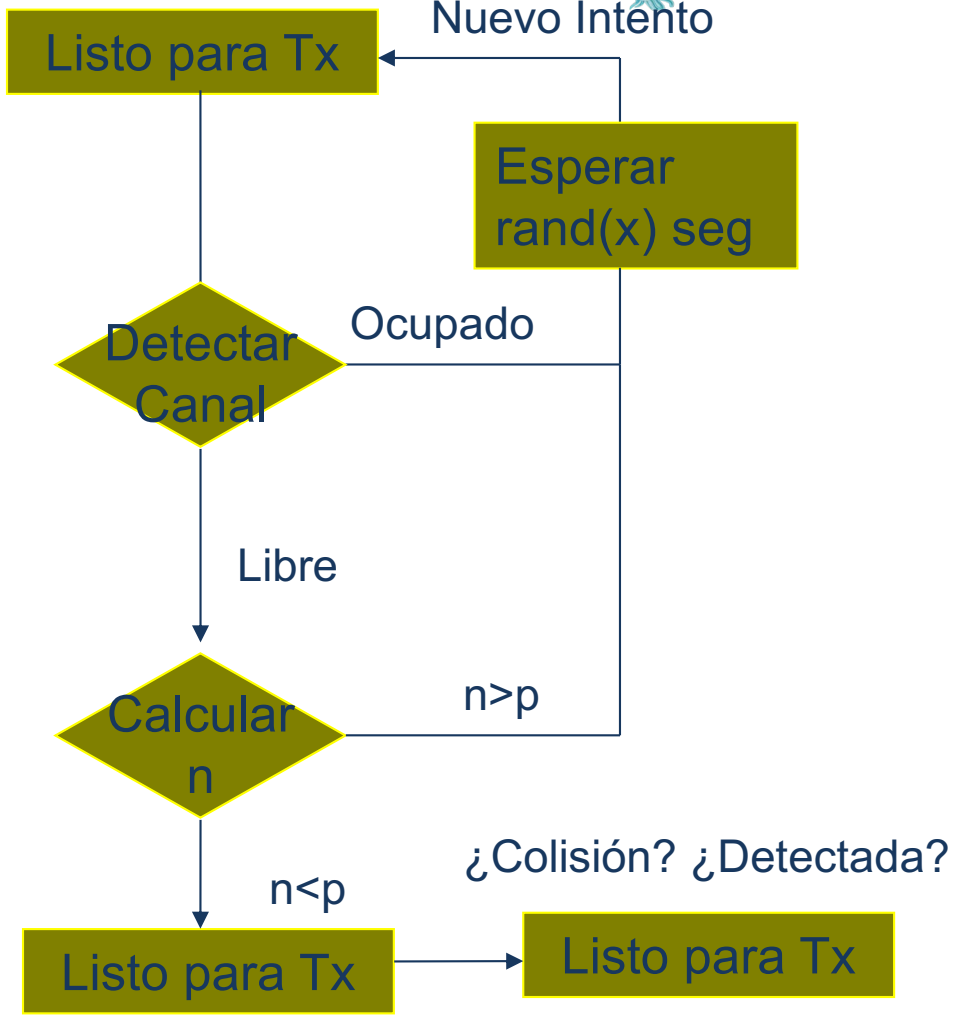
- Agrega aleatoriedad mejorando a CSMA-1p



CSMA p-persistente

Funcionamiento básico

Estación censa el canal, sí esta libre se calcula un ***n***, si n<p transmite el frame, en caso contrario se espera un tiempo aleatorio y se vuelve a censar repitiendo el algoritmo.



- Agrega mas aleatoriedad y esto mejore con los otros CSMA

Aunque CSMA es más eficiente que Aloha puro y ranurado es también ineficiente. Cuando se colisionan dos tramas, el medio permanece libre durante la transmisión de ambas. Por ello se realiza la técnica de

CSMA/CD (Carrier Sensitive Multiple Access/Collision Detection)

1. La estación transmite si el medio esta libre, sino aplica la regla 2.

2. Si el medio se encuentra ocupado, la estación continua escuchando hasta que se encuentra libre el canal, en cuyo caso transmite inmediatamente.

3. Si se detecta una colisión durante la transmisión, las estaciones transmite una señal corta de interferencia (JAM) para asegurarse que todas las estaciones “sepan” la producción de la colisión y cesen de transmitir.

4. Después de transmitir la señal de interferencia (JAM) se espera una cantidad de tiempo aleatorio tras lo que se intenta a transmitir de nuevo.

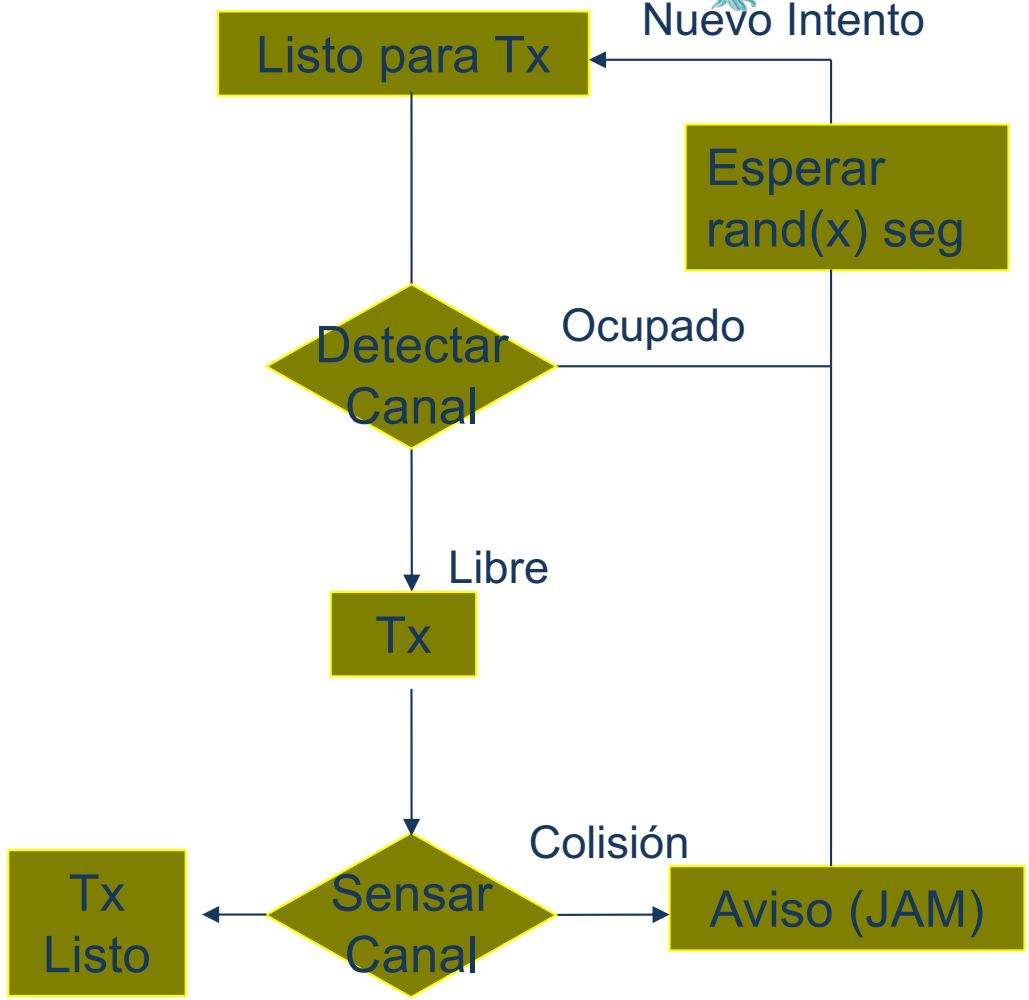
CSMA/CD

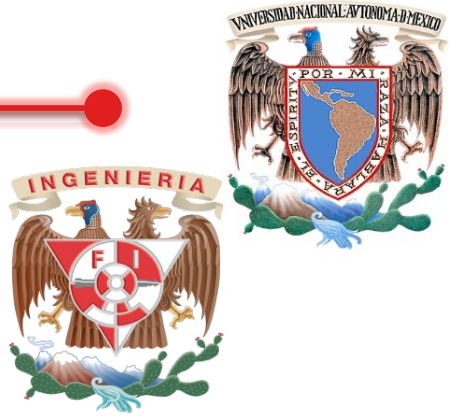
Funcionamiento básico

Estación censa el canal, sí esta libre transmite el frame; en caso contrario se espera un tiempo aleatorio y se vuelve a censar repitiendo el algoritmo. Una vez transmitido el frame se censa el canal para detectar colisiones. En caso de existir una, se avisa con una señal.

Una colisión se producirá si dos o mas nodos Tx al mismo tiempo o separados un instante de tiempo tal que la señal Tx no haya llegado al otro nodo (Período de Contienda)

Los estados de una red CSMA/CD son: **Libre, Transmisión y Colisión**





CSMA/CD

Exponential Backoff Algorithm

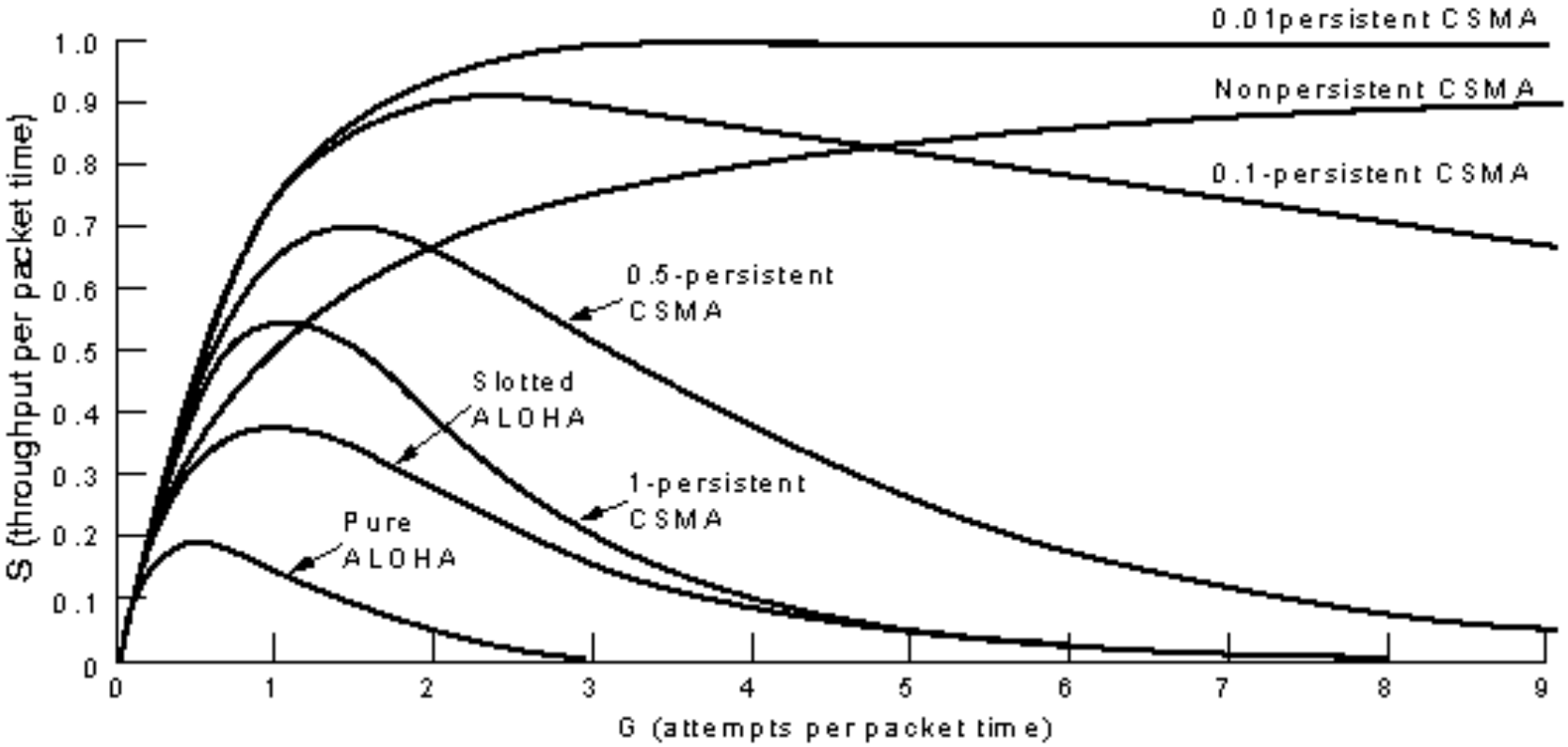
4. Después de transmitir la señal de interferencia (JAM) se espera una cantidad de tiempo aleatorio tras lo que se intenta a transmitir de nuevo.

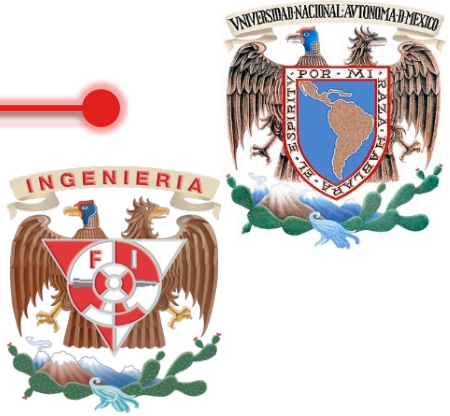
Algoritmo exponencial binario que trunca a 10 Mbps para la espera de un tiempo aleatorio

```
if(intentos transmisión < 16){
    k=min(intentos transmisión, 10)
    r= random [0,2^k-1]
    esperar(r*2τ)
}
else
    MAC-ExcessiveCollisionError
```

Núm Intento	Rango Intervalo	Tiempo (µs)	Retardo Medio (µs)	Retardo Acumulado (µs)
0	0	0	0	0
1	0-1	0-51.2	25.6	25.6
2	0-3	0-153.6	76.8	102.4
3	0-7	0-358.4	179.2	281.6
4	0-15	0-768.0	384.0	665.6
5	0-31	0-1587.2	793.6	1459.2
6	0-63	0-3225.6	1612.8	3072.0
7	0-127	0-6502.4	3251.2	5323.2
8	0-255	0-13056	6528	12851.2
9	0-511	0-26163.2	13081	25932.8
10	0-1023	0-52377.6	26188.8	52121.6
11	0-1023	0-52377.6	26188.8	78310.4
12	0-1023	0-52377.6	26188.8	104499.2
13	0-1023	0-52377.6	26188.8	130688.0
14	0-1023	0-52377.6	26188.8	156876.8
15	0-1023	0-52377.6	26188.8	183065.6
16	Se descarta			

Rendimiento (CSMA vs Aloha)





Redes de Área Local (LAN)

Características

- Generalmente de tipo broadcast
- Inicialmente el cableado era propiedad del usuario
- Diseñadas inicialmente para transporte de datos

Ejemplo de las redes LAN's "mas populares"

Ethernet (IEEE 802.3):1,10,100 Mbps y 1 y 10 Gbps

Token Ring (IEEE 802.5): 1, 4, 6,100 y 155 Mbps

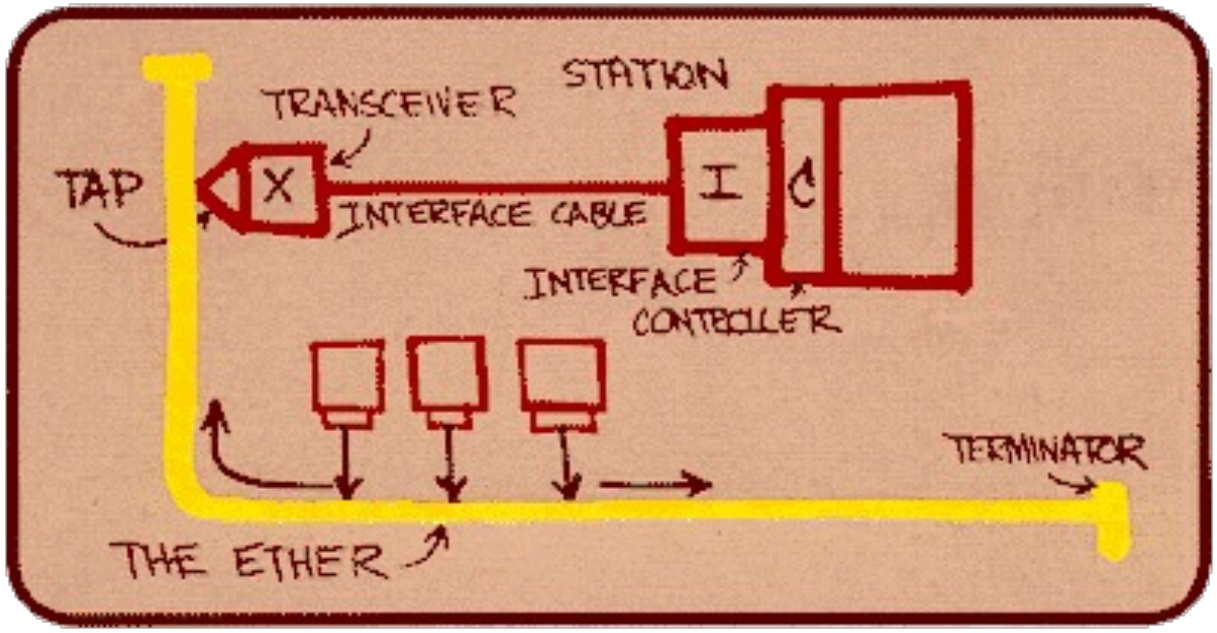
FDDI: 100 Mbps

LANE: 155, 622 Mbps

WLAN (IEEE 802.11): 1, 2,5.5,11,22, 54 Mbps

VGAnyLAN (Voice Grade) 100 Mbps

Ethernet (CSMA/CD)



Metcalfe M. Robert, diagrama para la presentación de Ethernet, 1976

Historia de Ethernet

1980. Estandarización del cable coaxial grueso, 10Base5

1982. Aparece el cable coaxial delgado.

1984. Primeros productos de ethernet sobre fibra óptica.

1985, Estandarización del cable coaxial delgado, 10Base2 Ethernet sobre cable UTP, sistemas de cableado.

1989. Estandarización del FOIRL (Enlace de fibra óptica entre repetidores/hubs)

1990. Estandarización del 10BaseT

1991. Estándares EIA/TIA 568/9

1993. Estandarización 10BaseF

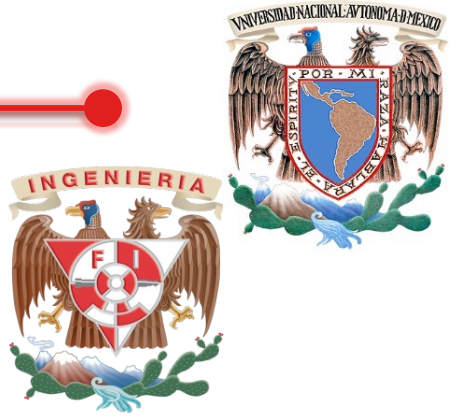
1995. Estandarización Fast Ethernet (100BaseTx, 100BaseT4, 1000BaseFx)

1996. 100BaseT y enlace de fibra óptica son de uso común

1998. 100BaseT llega a ser un elemento común entre LAN's

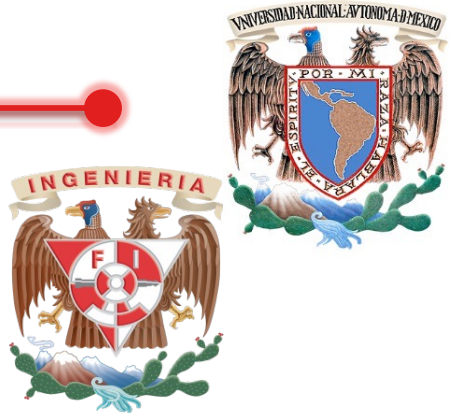
1998. Estandarización de Gigabit Ethernet sobre fibra óptica

2001. IEEE802.11 y Gigabit Ethernet son comunes en las LAN's



Tipos de Cable y caracteristicas

Características	10Base5	10Base2	10BaseF	10BaseT
Longitud(m)	Máximo 500	Máximo 185	Máximo 2000	Máximo 100
Tipo de Cable	Coaxial	Coaxial	Fibra óptica	UTP
Capacidad Tx(Mbps)	10	10	10	10
Nodos	100	30	2	2
Espacio % nodos	2.5	0.5	-	-
Diámetro del cable (mm)	10	5	0.125	0.45
Impedancia	50	50	-	100
Vel. de Prog. del cable	0.77-0.83	0.67-0.77	0.65-0.77	0.59-0.63
Codificación	Manchester	Manchester	Manchester	Manchester



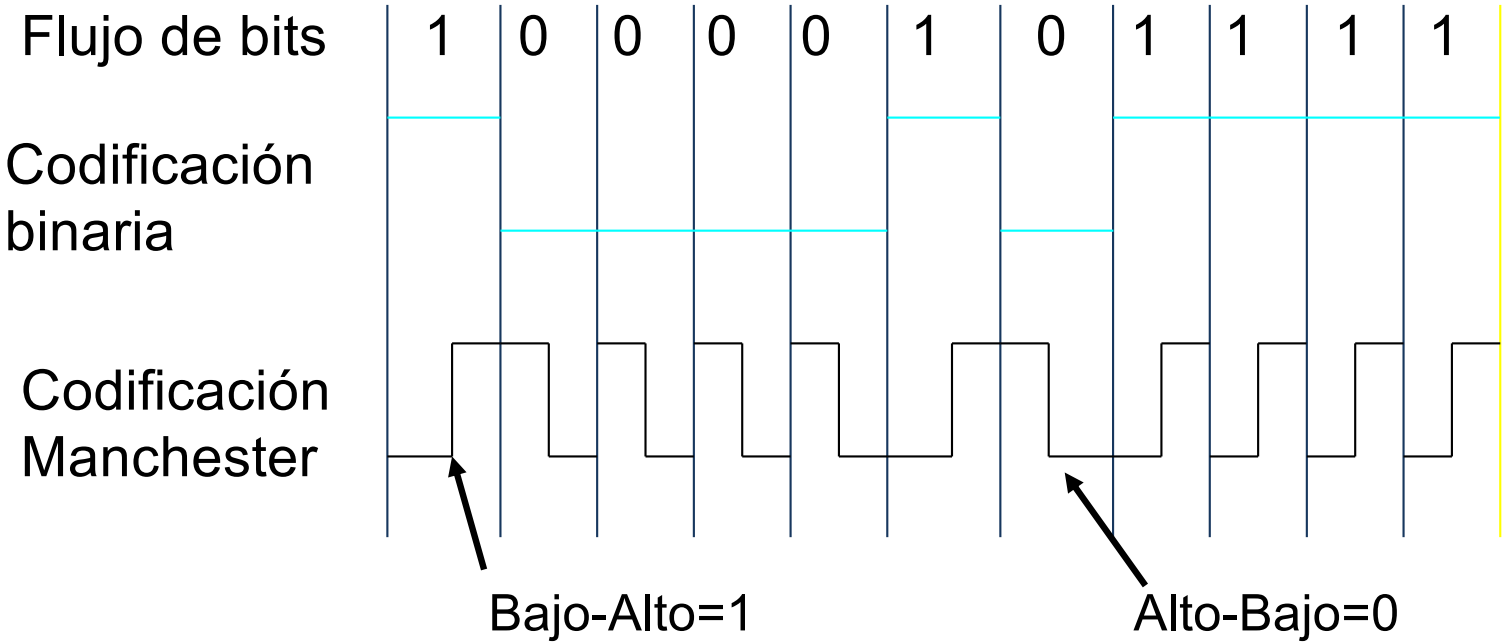
Ventajas

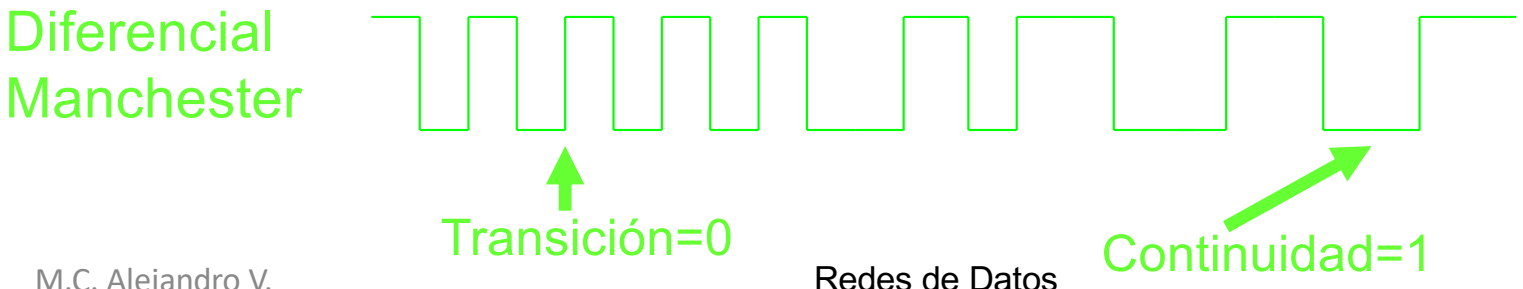
- Simplicidad del algoritmo.
- Implementación sencilla, bajo coste y fiabilidad.
- Técnica suficientemente probada.
- Buen rendimiento hasta determinado nivel de carga

Desventajas

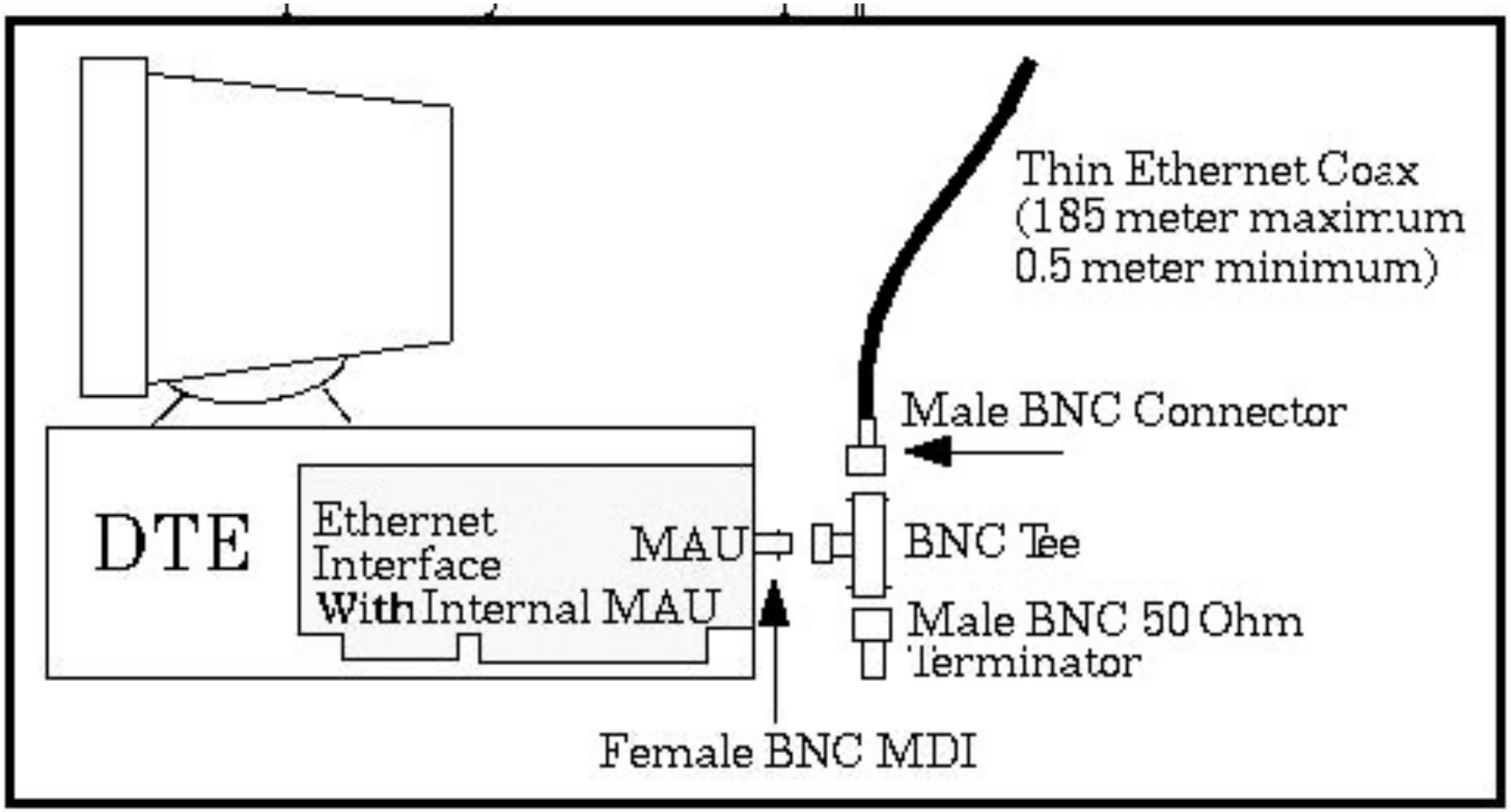
- Técnica LIFO ante colisiones.
- Difícil distinción entre ruido y colisiones.
- La atenuación complica la detección de colisión.
- No permite la administración de prioridades.
- Rendimiento pobre conforme aumenta la carga.

Codificación Manchester

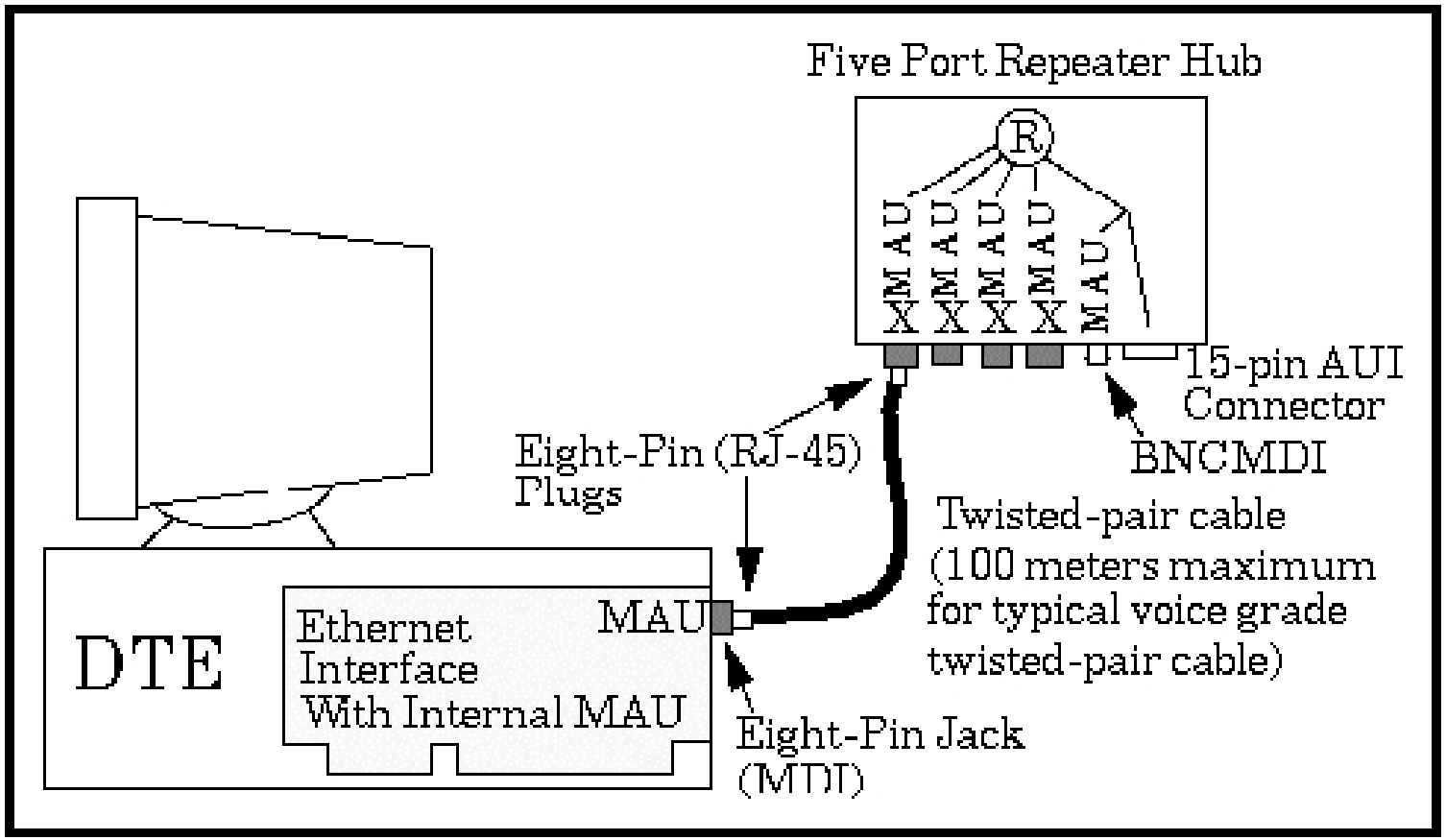




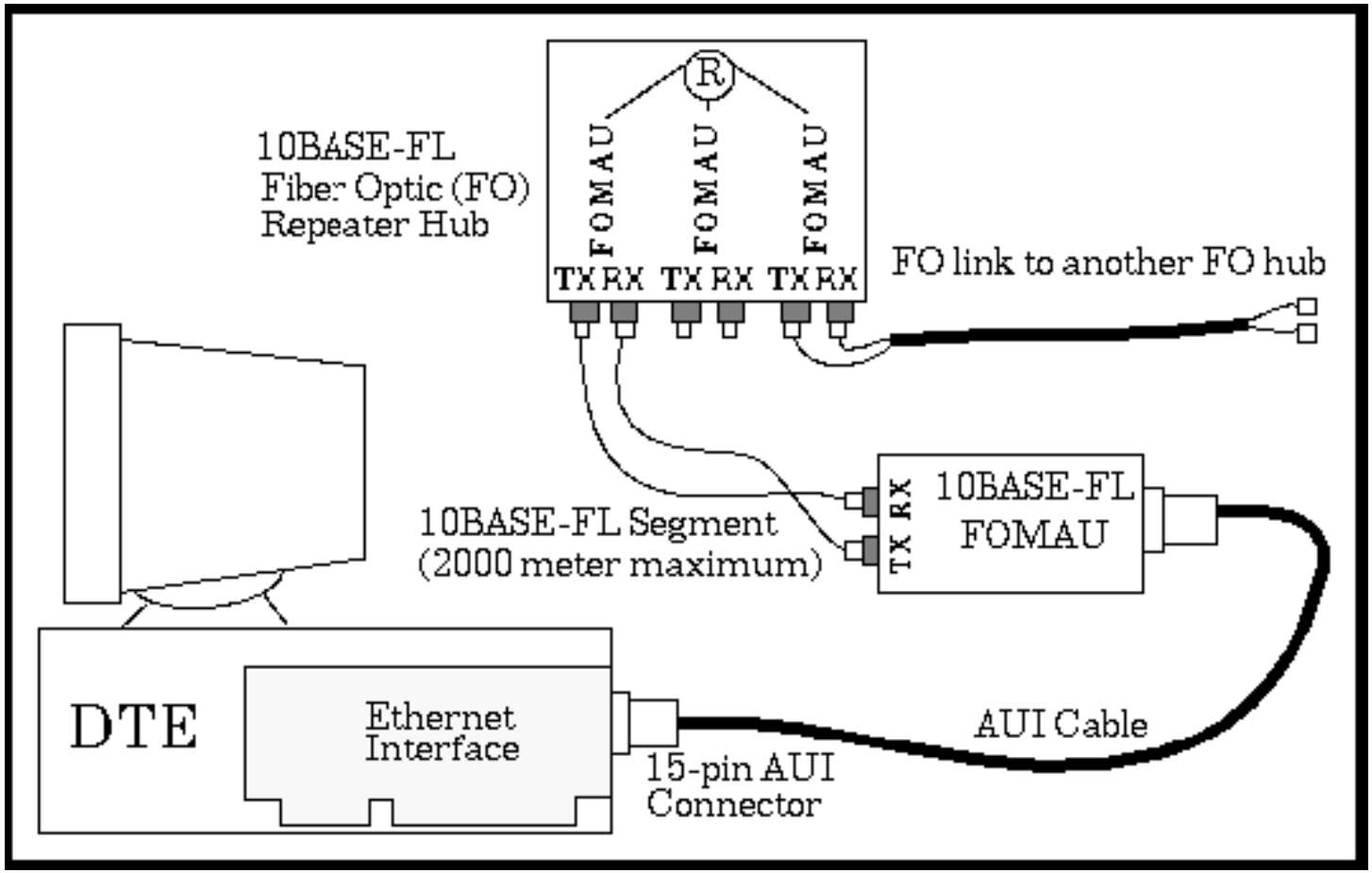
Conexión Ethernet 10Base2



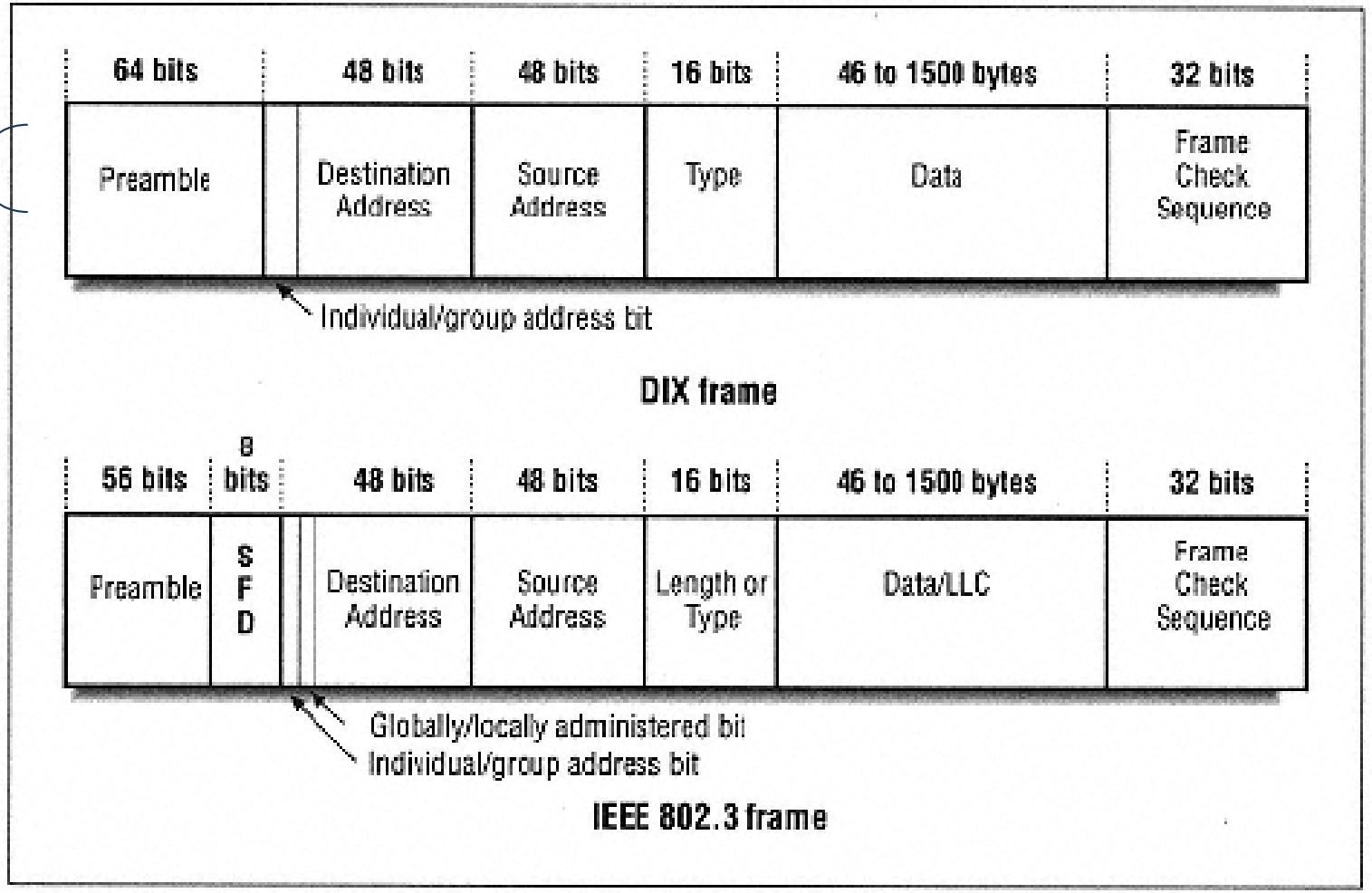
Conexión Ethernet 10BaseT



Conexión Ethernet 10BaseF



Frame MAC:
Ethernet o DIX
(Digital Intel Xerox)



Frame MAC:
IEEE 802.3

Los campos de las tramas son los siguientes

Preámbulo. El campo consta de 7 bytes que son usados para permitir al circuito PLS alcanzar el estado constante de la sincronización con el tiempo de la trama recibida. El patrón del preámbulo es:

10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010

Campo delimitador de inicio de trama (SFD). El campo SFD es la secuencia 10101011. Sigue inmediatamente al patrón de preámbulo e indica el inicio de la trama.

Campos de Dirección. Cada trama MAC contendrá dos campos de dirección: la dirección origen y la dirección de destino, en ese orden. El campo de la dirección de origen específica la(s) direccion(es) destino a la cual la trama es enviada. La dirección origen identifica la estación para el cual la trama fue iniciada. La representación de cada dirección se puede ver en la siguiente figura

I/G = 0 INDIVIDUAL ADDRESS
I/G = 1 GROUP ADDRESS
U/L = 0 GLOBALLY ADMINISTERED ADDRESS
U/L = 1 LOCALLY ADMINISTERED ADDRESS

De una manera desglosada se ve

0	1	2 23	24 47
I/G	U/L	No. de Bloque	Dispositivo ID

Broadcast= FF FF FF FF FF FF

I/G= 0 Dirección Individual (punto a punto)

I/G= 1 Dirección de Grupo (multicast)

U/L=0 Dirección Única (Administrada globalmente)

U/L=1 Dirección Local (Administrada localmente)

No. de Bloque

08004E BICC Data Network

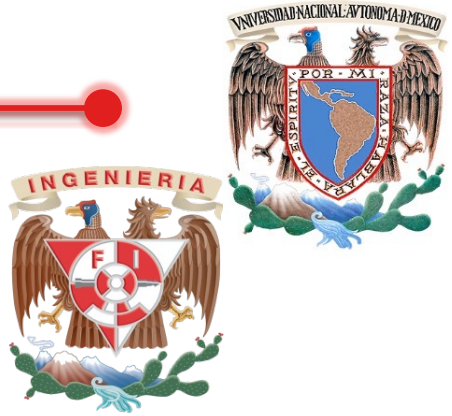
08002B Digital

080090 Retix

080020 Sun

080002 Brigdes

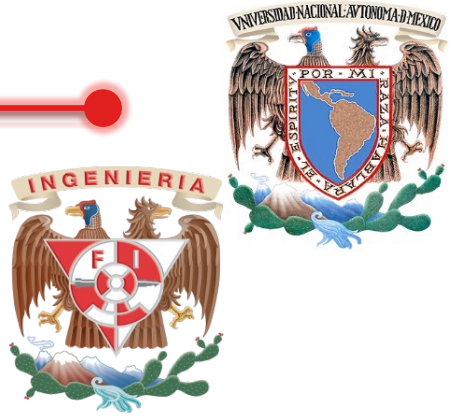
02608C 3com



Cada campo de dirección contiene 48 bits de longitud. Mientras el IEEE 802 especifica de 16 o 48 bit de direcciones, no es puesta en practica y el IEEE 802.3 utiliza direcciones de 16 bits. El uso de 16 bits de dirección es específicamente excluido por este estándar.

El primer bit (LSB) es usado en el campo de dirección destino como un bit designado al tipo de dirección para identificar a dirección destino cualquier como una dirección de grupo o una individual. Si este bit es cero (0), indicará que el campo de dirección contiene una dirección individual. Si este bit es 1, indicará que este campo de dirección contiene una dirección de grupo que no identifica o identifica a 1 o más o incluso a todas las estaciones conectadas a la LAN. En la dirección origen el primer bit esta reservado y puesto a cero.

El segundo bit se usará para distinguir entre las direcciones administradas localmente o globalmente. Para las direcciones administradas globalmente (o U de Universal), el bit esta puesto a 0. Si una dirección es para asignarse localmente, entonces se pondrá 1. Note que para las direcciones de broadcast esta también a 1.



Cada bit de cada campo de dirección estará transmitiendo primero el bit menos significativo.

La subcapa de dirección MAC es uno de los dos tipos:

- Dirección Individual. La dirección asociada con una estación particular en la red.
- Dirección de Grupo. La dirección multidestino, asocia con uno o más estación que están en la red. Estos dos géneros de dirección multicast:

  1. Dirección Grupo de Multicast. Una dirección asociada por la convención de alto nivel con un grupo de estaciones lógicamente relacionadas.

  2. Direcciones Broadcast. Una distinción, las direcciones multicast predefinida que siempre denota es poner todas las estaciones de una LAN.

Campo de Longitud/Tipo. Este campo consta de 2 bytes tomando dos significados, dependiendo del valor número valorado. Para la evaluación numérica. El primer byte es el byte más significativo de este campo.

Si el valor de este campo es menor o igual al valor de la máxima trama válida entonces el campo de tipo/longitud indica el número bytes de los del cliente MAC contenidos en el campo subsecuente de la trama.

Si el valor de este campo es mayor o igual a 1536 en decimal (0600 hexadecimal) entonces el campo de longitud/tipo indica el protocolo del cliente MAC. La interpretación de longitud y tipo de estos campos son mutuamente excluyentes.

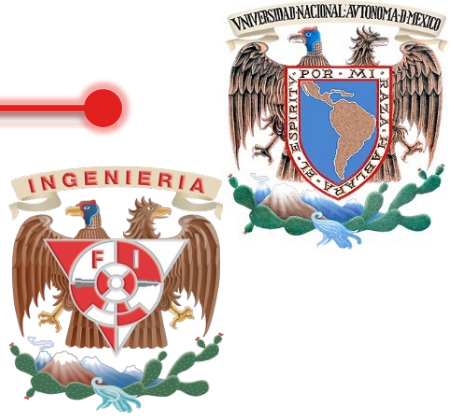
Capa de Enlace

ETHERTYPE	ORGANIZATION / ADDRESS	PROTOCOL
0000 - 05DC	IEEE802.3 Length Field UNITED STATES	Protocol unavailable
0101 - 01FF	Xerox (Experimental) Webster NY UNITED STATES	Protocol unavailable
0201	Xerox PUP Addr Trans Webster NY UNITED STATES	Protocol unavailable
0400	Nixdorf Panderborn GERMANY	Protocol unavailable
0500	University of Berkeley Computer Science Department 570 Evans Hall, University of California Berkeley CA 94720 UNITED STATES	Protocol unavailable
0500	Sprite RPC UNITED STATES	Protocol unavailable
600	Xerox NS IDP Webster NY UNITED STATES	Protocol unavailable
0660 - 0661	DLOG Olching GERMANY	Protocol unavailable
0800	Xerox UNITED STATES IPv4	Internet Protocol Version Hornig, C., "A Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks," RFC-Internet Society, Apr. 1984. http://www.ietf.org/rfc/rfc894.txt

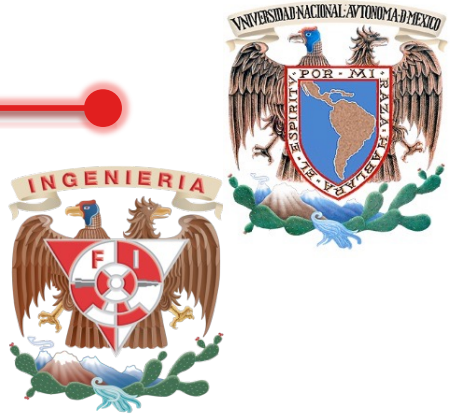
Capa de Enlace

ETHERTYPE	ORGANIZATION / ADDRESS	PROTOCOL
80FF	Nortel Networks 8200 Dixie Rd.Ste. 100Brampton Ontario CANADA	Protocol unavailable.
8100	IEEE 802.1 11a Poplar Grove Sale Cheshire M33 3AX UNITED KINGDOM	IEEE Std 802.1Q – Customer VLAN Tag Type
8145 - 8147	Vrije Universiteit De Boelelaan 1081 10181 HV Amsterdam NETHERLANDS	EtherType used by the Amoeba Distributed Operating System protocols
86DD	University SC ISI IPv6 UNITED STATES	Internet Protocol Version 6 Crawford, M., "Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks," RFC-2464,Internet Society, Dec. 1998. http://www.ietf.org/rfc/rfc2464.txt
86DF	USC-ISI Martina Del Rey CA UNITED STATES	Experimental (www.postel.org) (touch@postel.org)
8847 - 8848	Cisco Systems 1414 Massachusetts Ave. Boxborough MA 01719 UNITED STATES	8847: MPLS (multiprotocol label switching) label stack -unicast reference: RFC 3032 URL:ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc3032

Capa de Enlace



ETHERTYPE	ORGANIZATION / ADDRESS	PROTOCOL
885b	Philips Medizin Systeme Boblingen GmbH Hewlett-Packard-Strasse 2 Boeblingen 71034 GERMANY	This EtherType is used for real-time communication between medical devices
886b	Bay NetworksPO Box 58185 Santa Clara CA 95052-8185 UNITED STATES	Nortel Networks proprietary protocol
888e	IEEE 802.1 11a Poplar Grove Sale Cheshire M33 3AX UNITED KINGDOM	IEEE Std 802.1X - Port-based network access control
88ed	Meshcom Technologies, Inc Meritullinkatu 1 C Helsinki 00170 FINLAND	Meshcom Mesh Protocol (MMP). www.meshcom.com
88ee	Metro Ethernet Forum 19900 MacArthur Blvd. Suite 810 Irvine CA 92612 UNITED STATES	Ethernet Local Management Interface (E-LMI). http://www.metroethernetforum.org/TechSpec.htm(The document number is "MEF 16.")



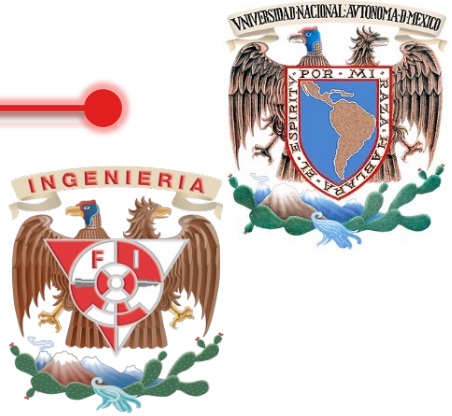
Campo de Datos y PAD. El campo de datos contiene una secuencia de *n* bytes. Los datos completos transparentes están provistos en el sentido que cualquier secuencia arbitraria de los valores de bytes puede aparecer en el campo de datos hasta un número máximo específico por la implantación del estándar que es usado. Un tamaño de trama mínimo es requerido para que la operación del protocolo CMSA/CD sea correcto y esta especificado por la implantación particular del estándar.

Si es necesario, el campo de datos es extendido para agregar bits extras (esto es un pad) en unidades de bytes después del campo de datos pero la prioridad para calcular y agregar el FCS. El tamaño del PAD, como cualquier es determinado por el tamaño del campo de datos proporcionado por el cliente MAC y el mínimo tamaño de la trama y el tamaño de los parámetros de dirección de la implantación en particular. El máximo tamaño del campo de los datos esta determinado por el tamaño máximo de la trama y el tamaño de los parámetros de la implantación en particular.

Campo de la Secuencia del Verificación de Trama (FCS, Frame Check Sequence). Un chequeo de redundancia cíclica (CRC) es usado por los algoritmos transmisor y receptor para generar un valor CRC para el campo FCS. El campo FCS contiene 4 bytes (32 bits) del valor CRC (Chequeo de Redundancia Cíclica).

El valor es calculado como una función que contiene de la dirección origen, dirección destino, longitud, datos LCC y PAD (que esto es, todos los campos excepto el preámbulo, SFD, FCS, y extensión). La codificación esta definida por la siguiente función polinomial:

$$G(x)=x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{2}+x+1$$



Tarea. Encontrar las direcciones MAC de todas las empresas que fabrican interfaces de Red

Ejemplos de Direcciones MAC IEEE de 48 bits

Broadcast	1	1	1111111111111111 1111111111111111	
Multicast Local	1	1	Grupo Multicast Local (46 bits)	
Multicast Global	1	0	Fabricante (22 bits)	Grupo Multicast (24 bits)
Unicast Local	0	1	Grupo Local (46 bits)	
Unicast Global	0	0	Fabricante (22 bits)	Dir. del Nodo (24 bits)

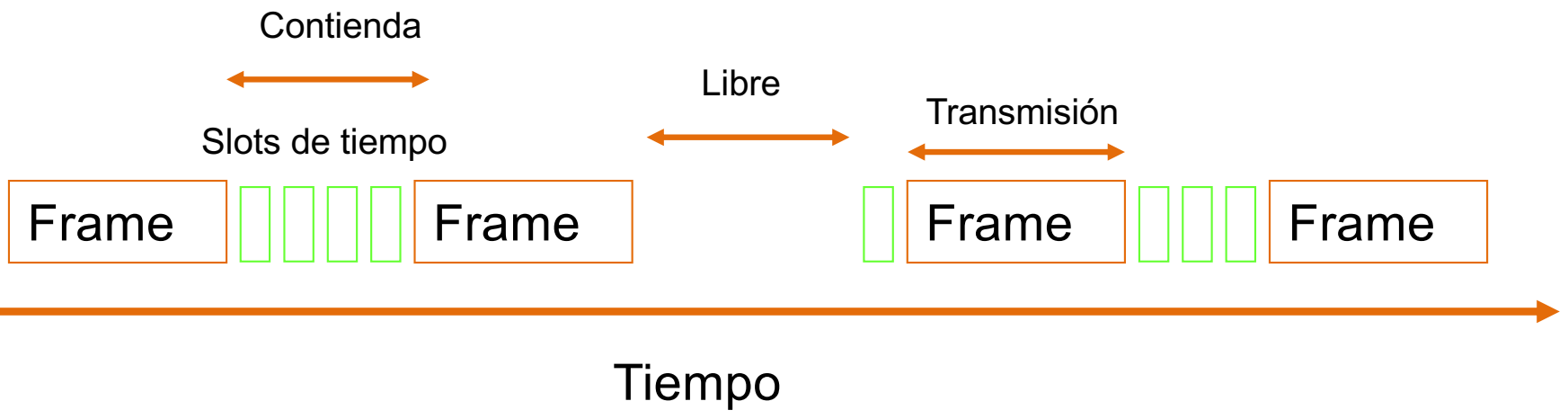
Funcionamiento de Ethernet IEEE 802.3

- Las redes Ethernet se basan en el protocolo CSMA/CD
- Las redes Ethernet tienen tres estados

  Red Libre: No hay transmisión

  Red en contienda: Existe riesgo de colisión (solo ocurre en los primeros 51.2 µs de Tx)

  Red en transmisión: No existe riesgo de colisión



Colisiones

En IEEE 802.3 es fundamental no superar los 512 bits (64 bytes) de retardo máximo de ida y vuelta (51.2 μs)

El diámetro máximo es de 5 km

Si estas reglas no se cumplen se producen colisiones no detectadas o “colisiones tardías”

Diseño de Redes Ethernet

Dos sistemas de diseño:

-Modelo 1. Reglas genéricas

-Modelo 2. Cálculo Detallado

En la mayoría de las redes se usa el Modelo 1

Para el Modelo 2 hay que sumar el retardo de cada componente (repetidor, cable, entre otros) tomando los valores estándar o del fabricante.

Reglas de Diseño de Ethernet Modelo 1. Reglas Genéricas

Distancia máxima ≤ 3km

Máximo número de segmentos ETE ≤ 5

Máximo 3 redes bus A y dos redes bus P

Longitud FOIRL 1000 m (enlace de F.O.)

10BaseFL 2000 m

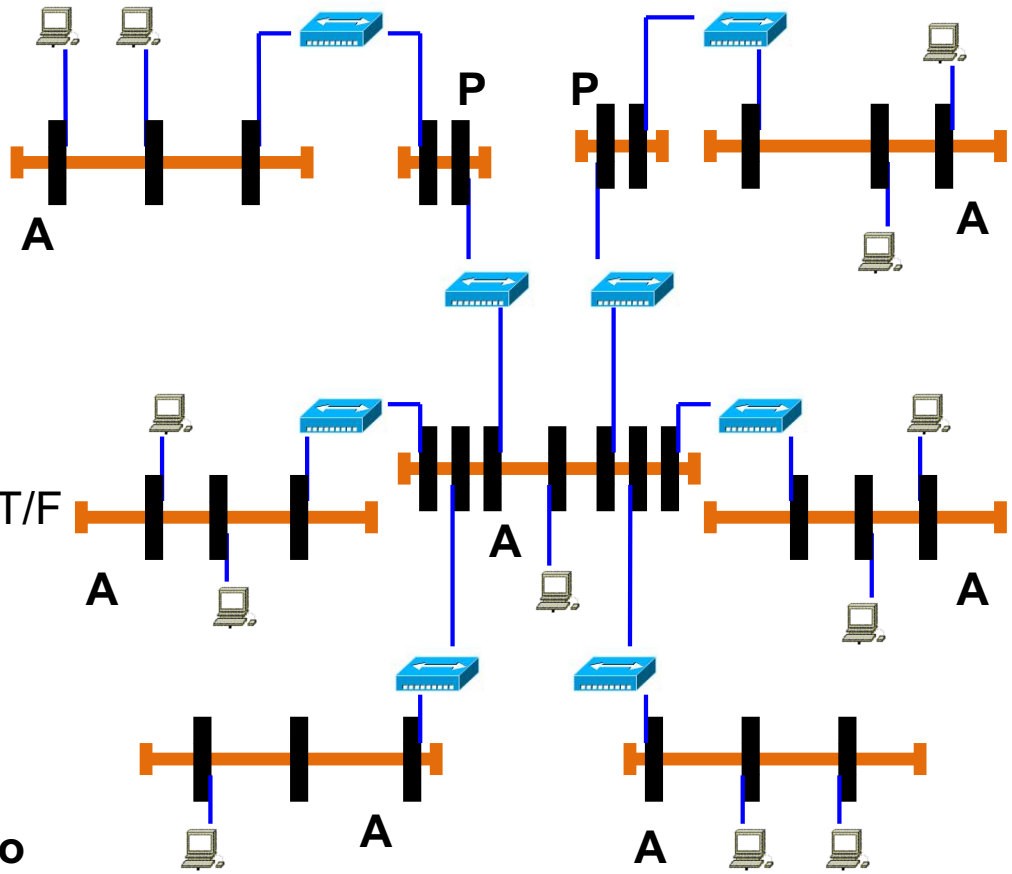
Máximo 4 repetidores ETE

Máximo 2 repetidores ETE usando 100BaseT/F

La distancia de tipo bus P ≤ 500 m

Máxima longitud de AUI ≤ 50 m

Máximo no. de Nodos ≤ 1024



A. Bus Activo

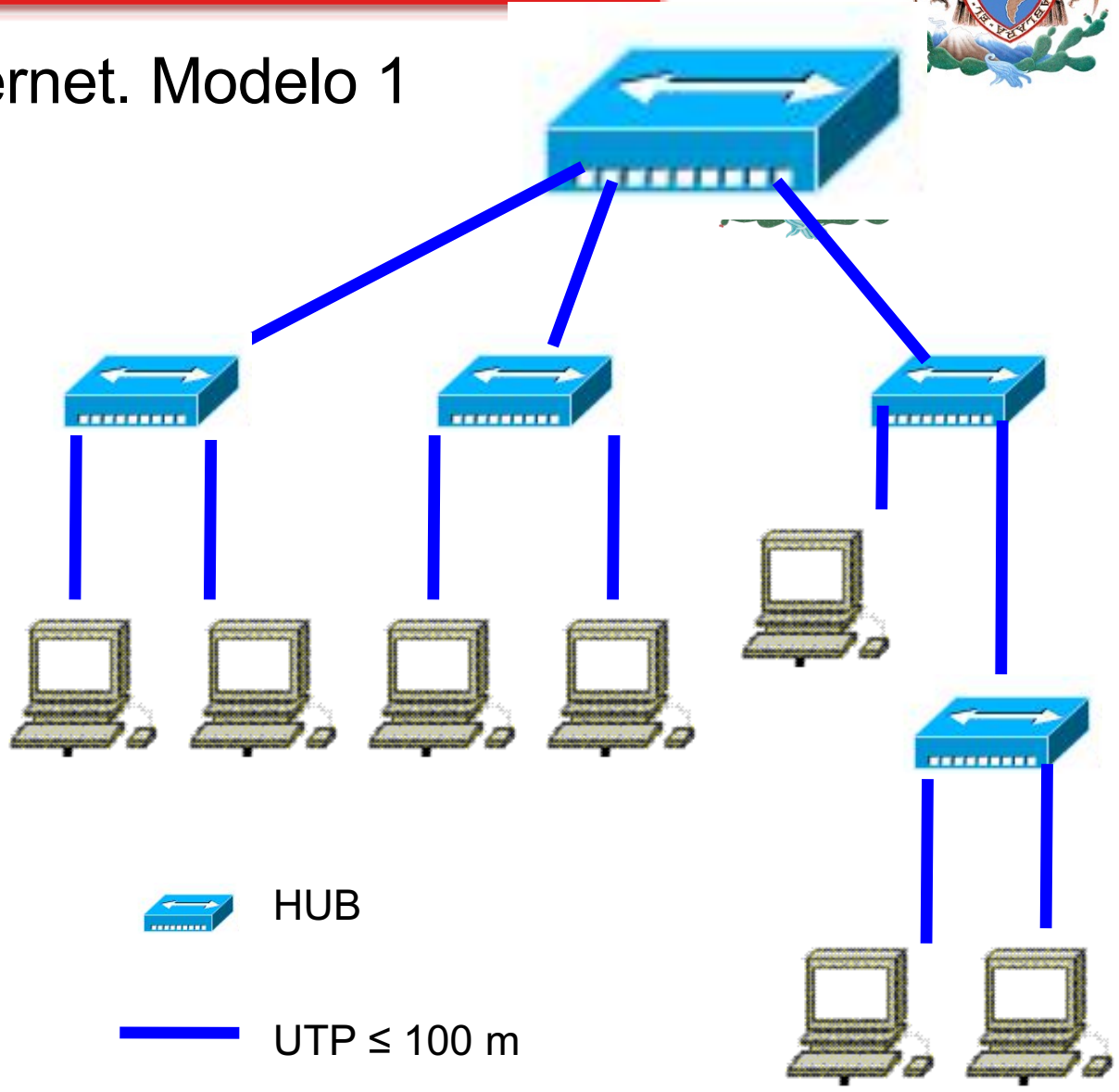
P. Bus Pasivo

Reglas de Diseño Ethernet. Modelo 1

Distancia máxima ≤ 3km

Máximo número de segmentos ETE ≤ 5

Máximo no. de Nodos ≤ 1024



Es una configuración correcta con el Modelo 1

Reglas de Diseño Ethernet. Modelo 2

Max Retardo RTD ≤ 512 bits ó 51.2 µs, (64 bytes)

MAXRTD = 2*(2*(NICDelay)+CableDelay+DispoActivoDelay+SafetyFactor)

SafetyFactor→ 5 bits

Retardo del Cable

$$T_\tau = \frac{\ell}{vel_{prop} * vel_{luz}}$$

Retardo del dispositivo (NIC,Repetidor, HUB) depende del fabricante

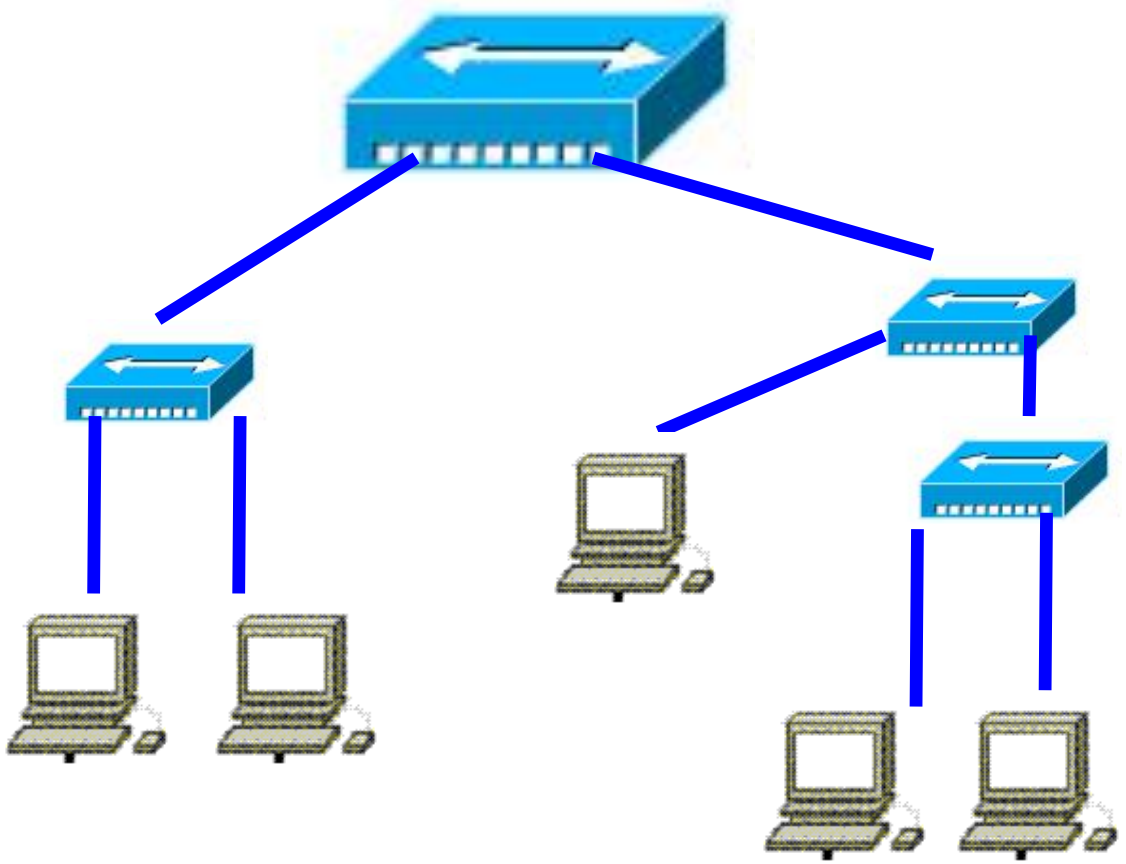


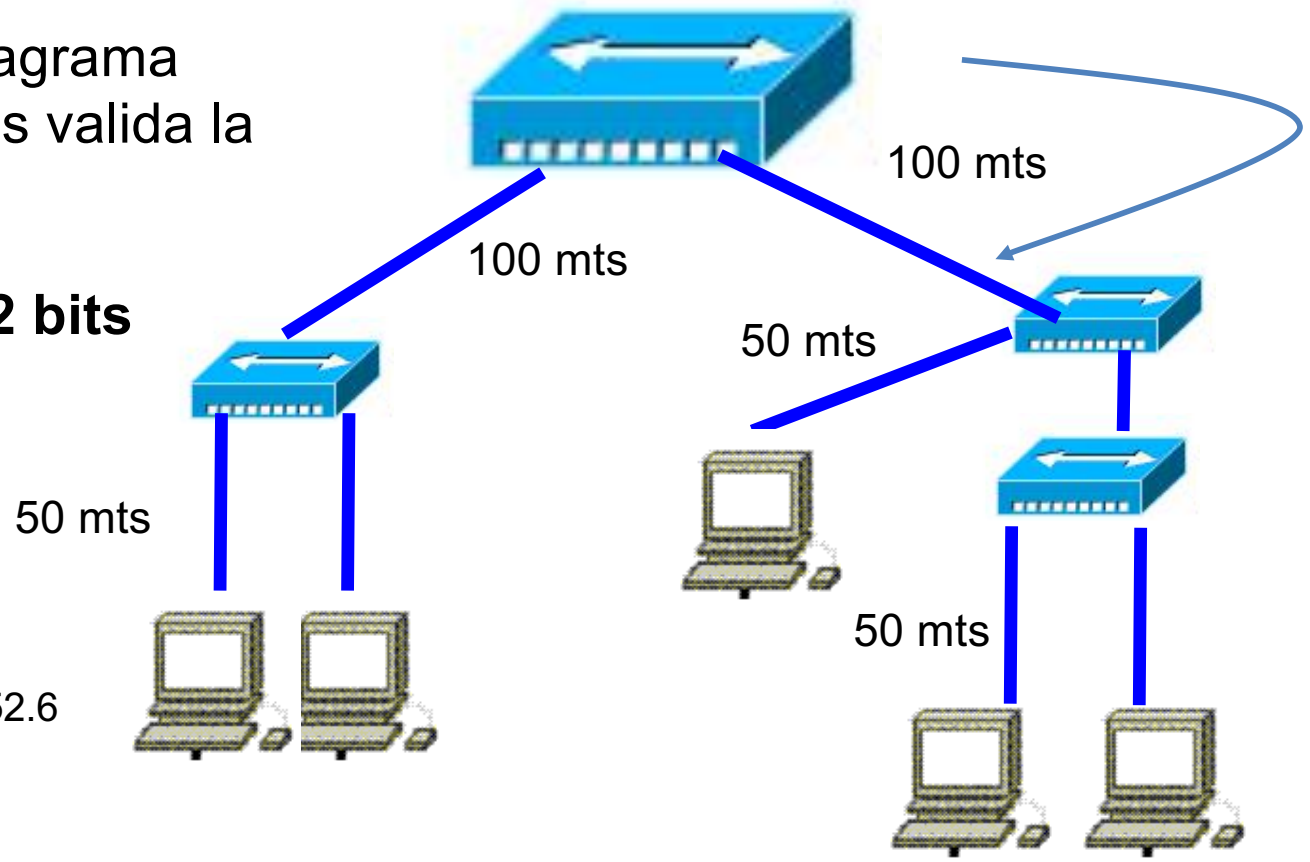
Tabla de Retardo de NIC's, Repetidores y Enlaces

Cable/Dispositivo		Retardo(μs)	Retardo(bits)
Ethernet NIC	UTP	1.525	15.25
	Coaxial	1.175	11.75
	Fibra	1.225	12.25
HUB (repetidor)	UTP	4.2	42
	Coaxial	4.65	46.5
	Fibra	3.35	33.5
Cable UTP	Categoría 3	0.00555 por metro	0.0555 por metro
	Categoría 4	0.00555 por metro	0.0555 por metro
	Categoría 5	0.00565 por metro	0.0565 por metro
Cable STP (IBM tipo 1)		0.00565 por metro	0.0565 por metro
Cable Coaxial 10Base2		0.00498 por metro	0.0498 por metro
Cable Coaxial 10Base5		0.00433 por metro	0.0433 por metro
Fibra Optica 10BaseF/FIORL		0.00512 por metro	0.0512 por metro

Reglas de Diseño Ethernet. Modelo 2

Ejemplo: Considere el diagrama de la figura e indique si es valida la configuración

Max Retardo RTD ≤ 512 bits



2 NIC=2(15.25)=30.5 bits

400(0.0565)=22.6 bits

4(42)=168 bits

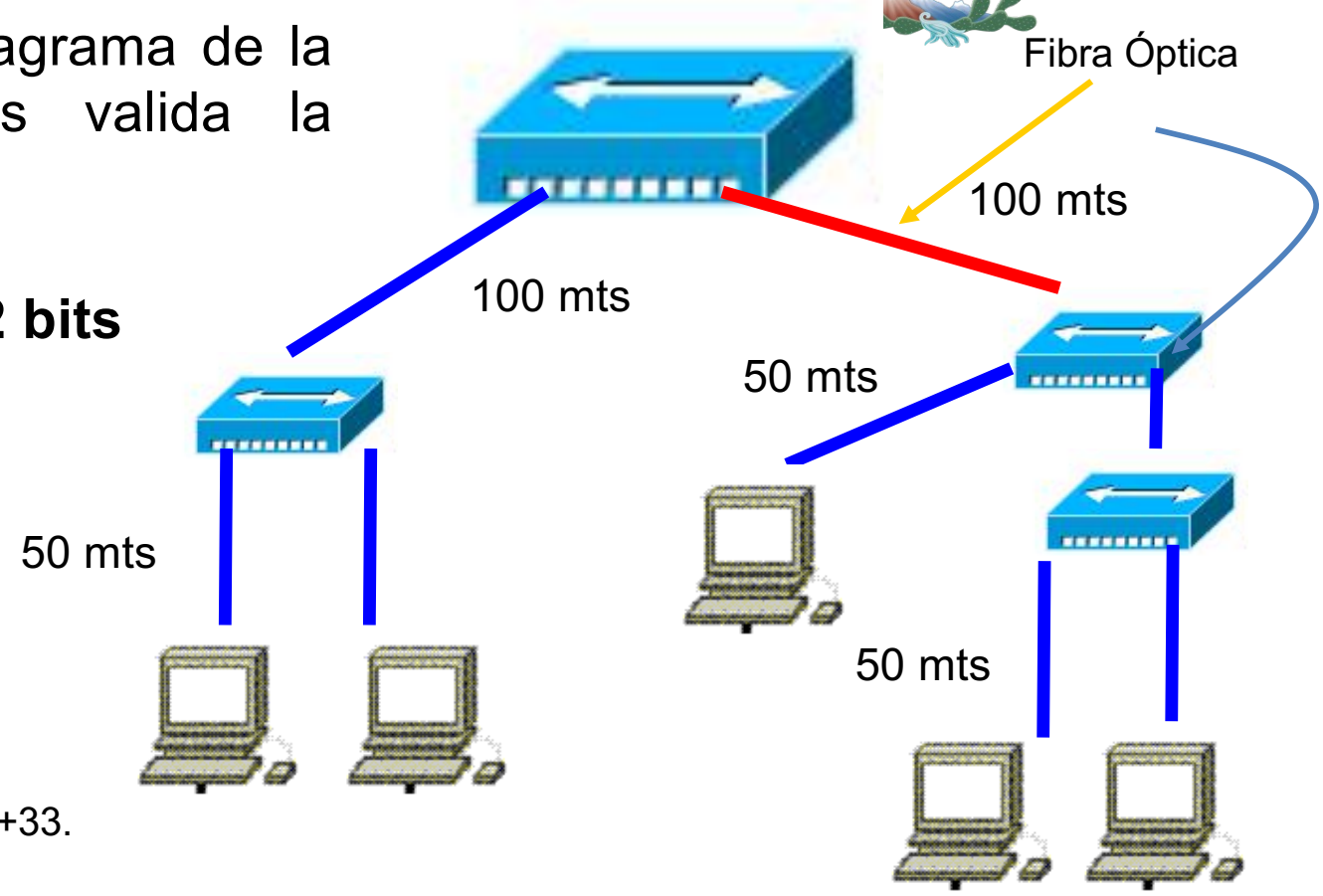
MAXRTD=2(30.5+22.6+168+5)=452.6

MAXRTD 452.6 <512

MAXRTD = 2*(2*(NICDelay)+CableDelay+DispoActivoDelay+SafetyFactor)

Reglas de Diseño Ethernet. Modelo 2

Ejemplo: Considere el diagrama de la figura e indique si es valida la configuración



Max Retardo RTD ≤ 512 bits

2 NIC=2(15.25)=30.5 bits

300(0.0565)=16.95 bits

100(0.0512)=5.12 bits

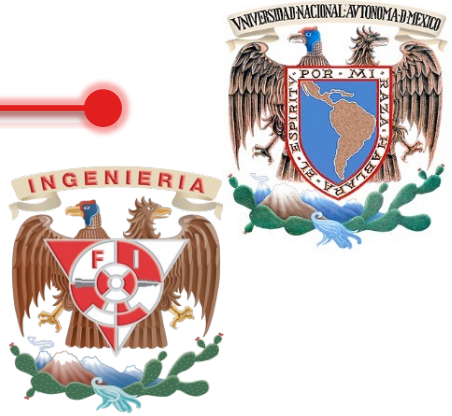
3UTP=3(42)=126 bits

1F.O=33.5bits

MaxRTD=2(30.5+16.95+5.12+126+33.5+5)=434.14 bits

MAXRTD 434.12 <512

MAXRTD = 2*(2*(NICDelay)+CableDelay+DispoActivoDelay+SafetyFactor)



Colisiones

- Mejor minimizarlas pues reduce el rendimiento
- Recordar: son un evento normal en CSMA/CD
- El riesgo de colisión solo se da en los primeros 64 bytes.
- Los frames grandes colisiones menos
- En caso de colisión, los reintentos se producen en intervalos aleatorios cada vez mayores (Algoritmo de BackOff)

Ethernet Rendimiento

$$U = \frac{T_f}{T_f + 2T_\tau N_c} = \frac{1}{1 + 2aN_c}$$

Nc=Número promedio de contenciones (Intentos Tx) = f(No. de estaciones, Probabilidad de Tx) → f(N,P)

P→ Probabilidad de Tx → (1-P)

Entonces la probabilidad de que una sola estación intente transmitir es (P_1)

$P_1 = NP(1-P)^{N-1}$. La Probabilidad es máxima cuando $P --> \frac{1}{N} => P_1 = (1 - \frac{1}{N})^{N-1}$

Por lo tanto el No. promedio de contenciones para transmitir exitosamente un frame es:

$$N_c = \sum_{i=0}^{\infty} i P_1 (1 - P_1)^i \quad => \quad N_c = \frac{1 - P_1}{P_1} = \frac{1 - NP(1-P)^{N-1}}{NP(1-P)^{N-1}}$$

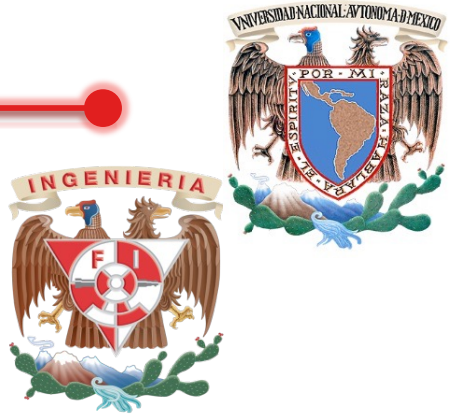
Si N_C ↑↑ y P → 1/N $N_c = \frac{1-(1-1/N)^{N-1}}{(1-1/N)^{N-1}}$

a=Factor de Acoplamiento $a = \frac{T_\tau}{T_f}$

Aplicando el Límite $\lim_{x->0} = (1-1/x)^{x-1} -> \frac{1}{e}$

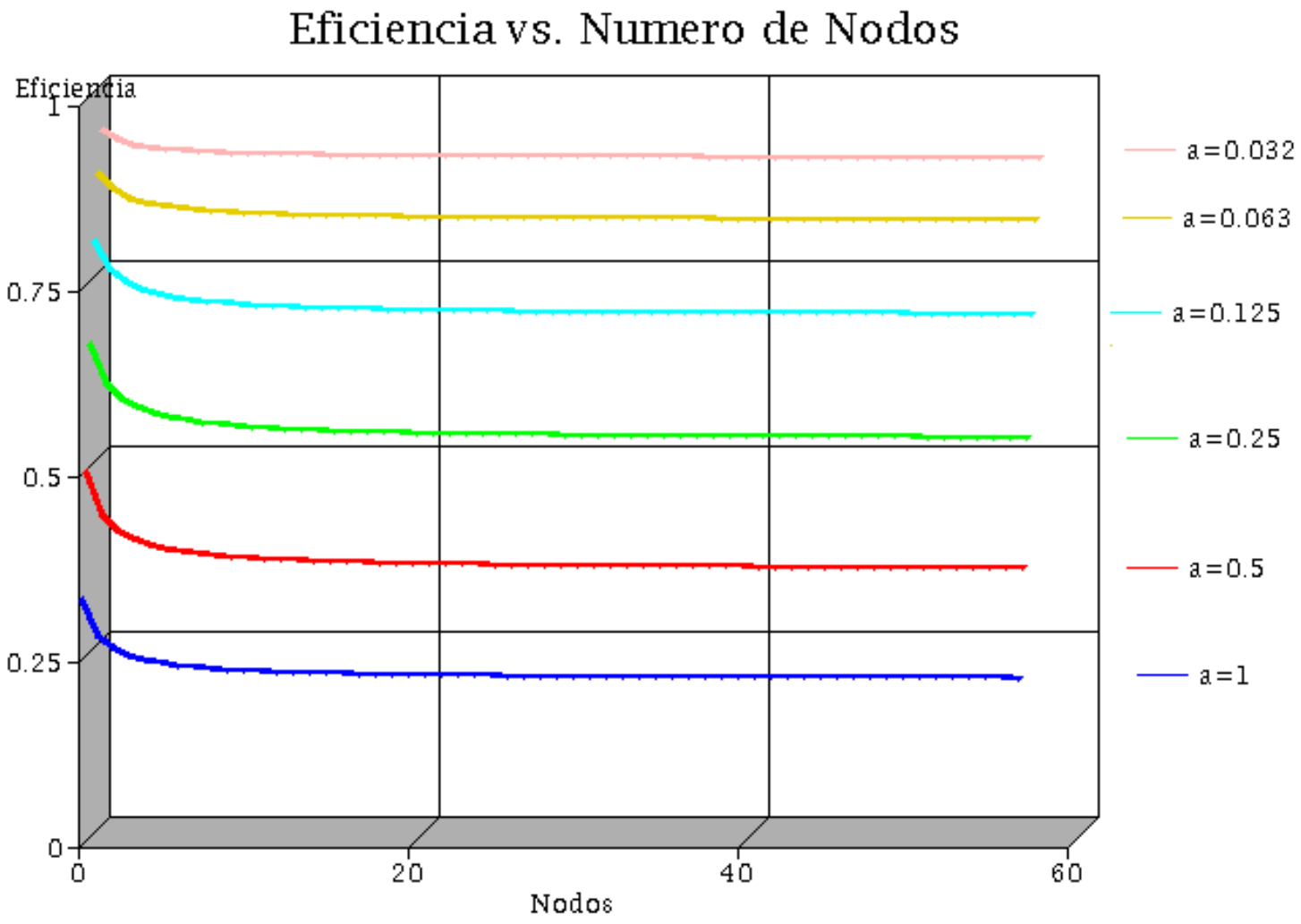
$$N_c = \frac{1-1/e}{1/e} = e-1 = 1.718$$

Por lo tanto $U = \frac{1}{1+2aN_c} = \frac{1}{1+3.44a}$

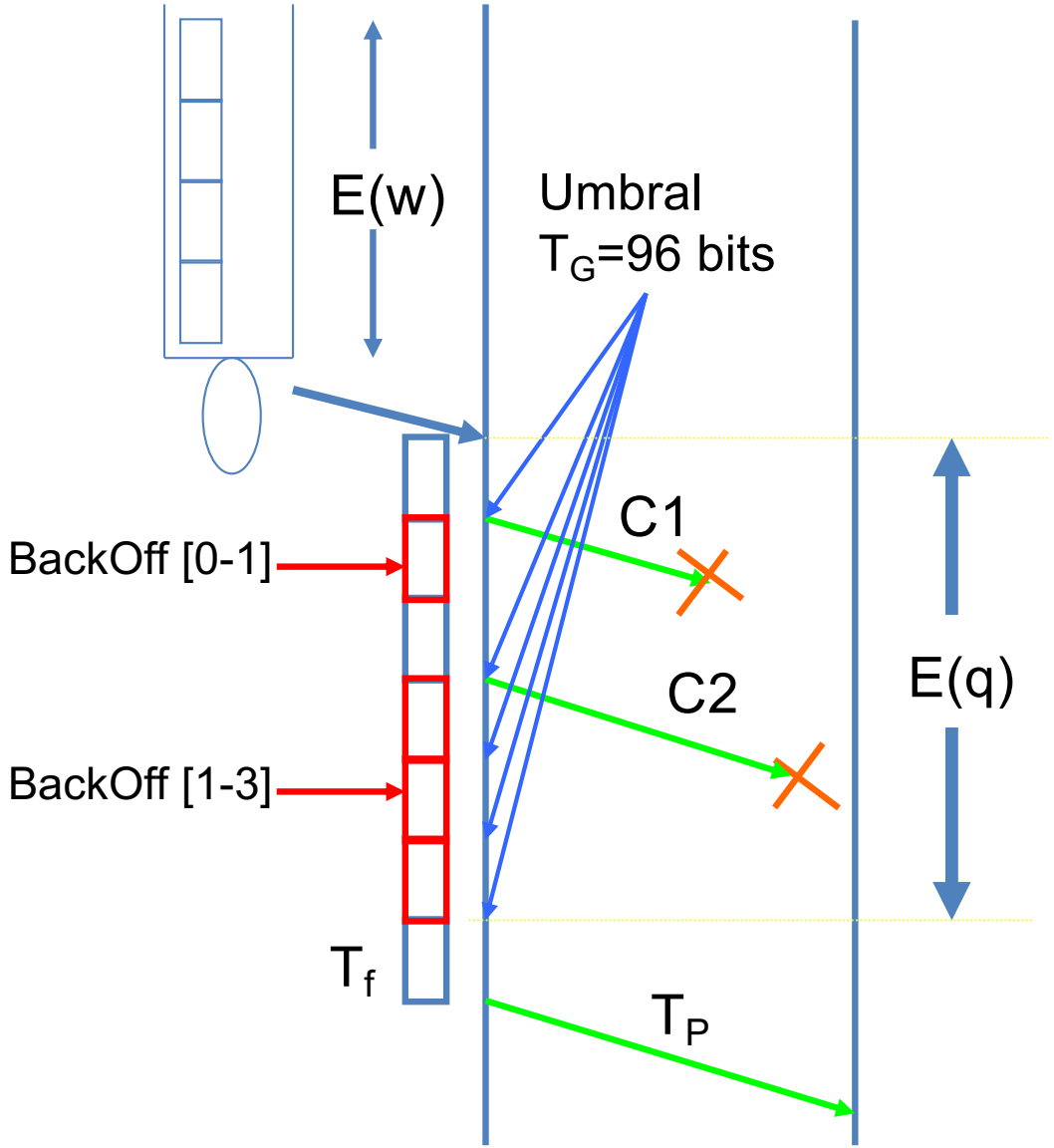


Ethernet Rendimiento

Nodos	1.0	0.5	0.25	0.125	0.063	0.032
1	0.333333333	0.5	0.66666666666	0.8	0.88809946554	0.93984962137
2	0.285714241	0.444444391462	0.61538456459	0.76190472297	0.86393085841	0.92592590795
3	0.267326732	0.421875	0.59340659340	0.74482758620	0.85275724641	0.91936801609
4	0.257545290	0.409600024414	0.58115779982	0.73510411154	0.84629778884	0.91554131793
5	0.251468538	0.401877524108	0.57334184648	0.72882043754	0.8420851521	0.91303146698
6	0.247325640	0.396569480241	0.56791944239	0.72442426190	0.83911982886	0.91125797765
7	0.244319606	0.392695903778	0.56393632337	0.72117555548	0.83691885764	0.90993799078
8	0.242038815	0.389744366359	0.56088641306	0.71867678309	0.8352203517	0.90891722007
9	0.240248850	0.387420396631	0.55847585572	0.71669490890	0.83386971690	0.90810418713
10	0.238806724	0.385543151548	0.55652276310	0.71508464417	0.83277005455	0.90744136081


Eficiencia vs. Numero de Nodos
Eficiencia
1
0.75
0.5
0.25
0
0
20
40
60
Nodos
a=0.032
a=0.063
a=0.125
a=0.25
a=0.5
a=1

Ethernet Rendimiento



$$E(w)+T_f+T_P+E(q)$$

Ethernet Rendimiento

Calculo del Retardo $$E(T)_{MAC} = t_p + t_f + E(w) + E(q)_t$$

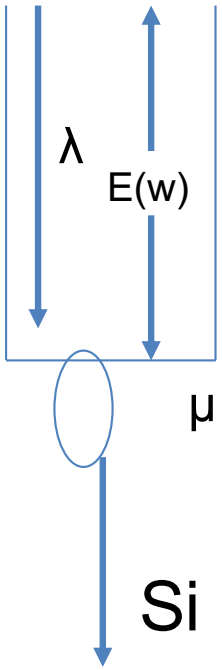
t_p: Tiempo de propagación

t_f: Tiempo de Tx (procesamiento) del Frame

E(w):Tiempo de Espera en la Cola (M/G/1)

E(q):Tiempo Tx. Frame es exitosamente

E(w):Tiempo de Espera en la Cola (M/G/1)



$$E(w) = \frac{\lambda_M \overline{x^2}}{2(1-\rho)}$$

λ=Tasa de llegada por usuario [paq/seg]

μ=Tasa de Servicio

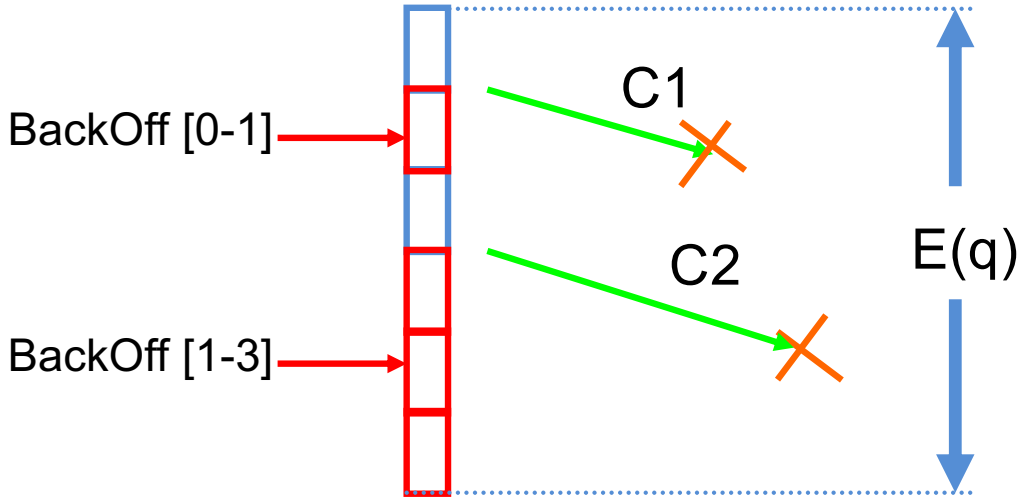
$$\lambda_M = N\lambda$$

Si ½ de nodos activos →

$$\rho = \frac{\lambda_M / 2}{\mu} = \frac{\lambda_M}{2\mu} = \frac{\lambda_M t_f}{2}$$

$$E(w) = \frac{\lambda_{M/2} \overline{x^2}}{2(1-\rho)} = \frac{\lambda_M \overline{x^2}}{4(1-\rho)}$$

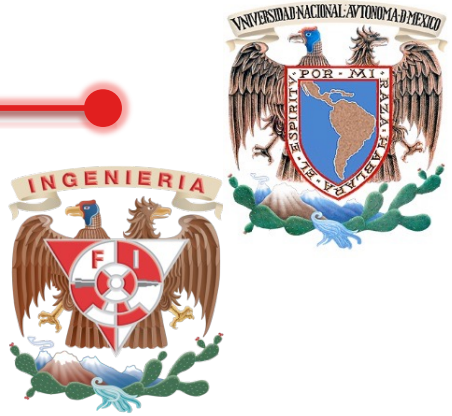
E(q):Tiempo Tx. Frame es exitosamente



$E(q)_T$=Contención$_t$1+Contención$_t$2+….+ Contención$_t$i

Contención$_t$=backoff+canal_ocupado$_t$+canal_vacio$_t$+Detección_contención$_t$

Contención$_t$=B_t+t_f+T_g+2t_p



Calculo del retardo $\overline{B_t} = \frac{t_p}{2}\sum_{x=0}^{c-1} 2^x$

Entonces $E(q)_t = \{\frac{t_p}{2}\sum_{x=0}^{c-1} 2^x\} + c[t_f + t_G + 2t_p]$

Por lo tanto, el retardo en una red CSMA/CD esta dado por la siguiente expresión

$$E(T)_{MAC} = t_p + t_f + \frac{\lambda_M \overline{x^2}}{4(1-\rho)} + c[t_f + t_G + 2t_p] + \{\frac{t_p}{2}\sum_{y=0}^{c-1} 2^y\}$$

Donde T_G=96 bits $\rho = \frac{\lambda_M / 2}{\mu} = \frac{\lambda_M}{2\mu} = \frac{\lambda_M t_l}{2}$ $t_f = \frac{L*8}{R}$ $t_p = \frac{l}{vel_prop * vel_luz}$

$\lambda_M = N\lambda$ C=No. de intentos de Transmisión (Tx)

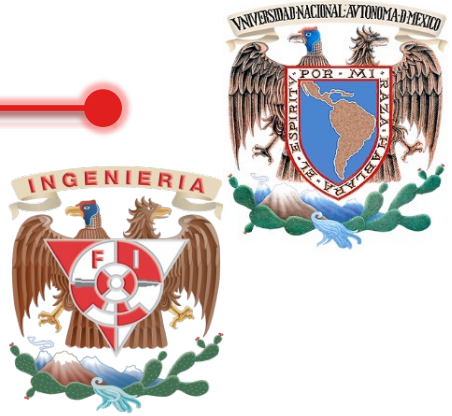
Calculo del retardo

En conclusión, para poder modelar una red Ethernet, se requiere la entrada de los siguientes parámetros

- λ, L, I, M

- El sistema CSMA/CD (10Base5,10Base2, 10Broad36, 10BaseF, 10BaseT,100BaseFx)

Ejercicio. Obtenga el retardo del protocolo MAC para un enlace 10Base5, la longitud de la red se expande por una zona de 200 mts, el tamaño de los mensajes son de 1024 bytes y hay 100 nodos en la red transmitiendo en promedio 2 paq/seg cuando están activos. La constante de propagación para este tipo de enlace es 0.77 y la contención es de C=2



l= 200 mts 10Base5 L=1024 bytes N=100

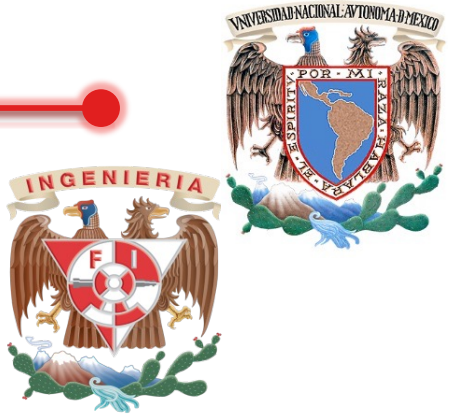
$Vel_{prog}=0.77$ C=2 $\lambda = 2 paq/seg$

$$t_f = \frac{L}{R} = \frac{(1024)*8}{10x10^6} = 819.2x10^{-6}[s] \qquad tp = \frac{l}{vel_{prog} * vel_{luz}} = \frac{200}{0.77*(3x10^8)} = 0.865x10^{-6}[s]$$

$$t_f = \bar{x}; \bar{x}^2 = (819.2x10^{-6})^2 = 0.6171x10^{-6}[s^2]$$

$$\rho = \frac{\lambda_M t_f}{2} = \frac{N*\lambda*t_f}{2} = \frac{(100)(2)(819.2x10^{-6})}{2} = 81.92x10^{-3}[paq]$$

$$\frac{\lambda_M * \bar{x}^2}{4(1-\rho)} = \frac{(2)(100)*(0.6171x10^{-6})}{4(1-81.92x10^{-3})} = 36.48x10^{-6}[s]$$

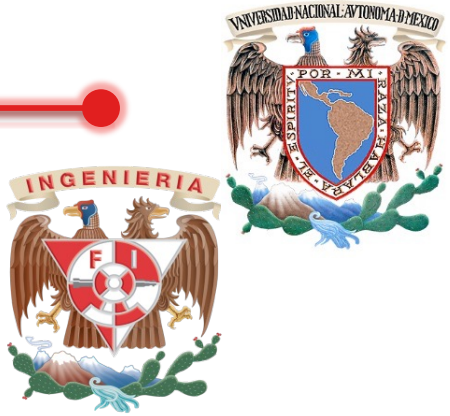


$$\frac{t_p}{2}\sum_{x=0}^{c-1}2^x = \frac{tp}{2}[2^0+2^1] = \frac{0.865x10^{-6}}{2}(3) = 1.297x10^{-6}[s]$$

$$E(T)_{MAC} = t_p + t_f + \frac{\lambda_M \overline{x^2}}{4(1-\rho)} + c[t_f + t_G + 2t_p] + \{\frac{t_p}{2}\sum_{y=0}^{c-1}2^y\}$$

$E(T)_{MAC}=0.865x10^{-6}+819.2x10^{-6}+36.48x10^{-6}+2(819.2x10^{-6}+9.6x10^{-6}+2[0.865x10^{-6}]$
$)+1.297x10^{-6}$

$$E(T)_{MAC}=2.515x10^{-3}[s]$$



Fast Ethernet (100 BaseT → 100 Mbps)

1988: Van Jacobson obtiene 8 Mbps TCP

1992: Grand Junction inventa Fast Ethernet

1992: IEEE crea un grupo para el estudio de alta velocidad con dos propuestas:

- Ethernet x 10 = Fast Ethernet
- 100 VG-AnyLAN (IEEE 802.12)

1995: El estándar Fast Ethernet (802.3u) esta basado en FDDI

Fast-Ethernet

Medio	Cable	Distancia	Pares	Codif.	Costo
100BaseT4	UTP cat 3,4,5	100m	4	8B/6T	Medio
100BaseT2	UTP 3	100m	2	PAM 5x5	Medio
100BaseTx	UTP 5	100m	2	4B/5B (NRZI)	Bajo
100BaseFx	F.O. 2da ventana	2km	1		Alto

Clase	Sistemas	Retardo	No. Hubs
Hub Clase I	Multisistema: TX/FX/T4	0.7useg	1
100BaseT2	UTP 3	100m	2
100BaseTx	UTP 5	100m	2
100BaseFx	F.O. 2da ventana	2km	1

Fast Ethernet

Codificación a 100 Mpbs

Se utiliza 4B/5B

Usa 5 bits y solo existen 16 simbolos válidos

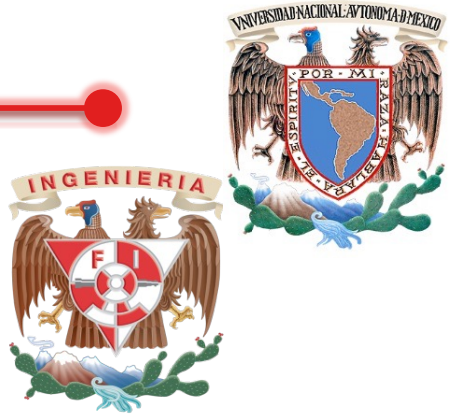
Eficiencia: 4 bits en 5 baudios, 4/5 =0.8

Manchester: 1 bit en 2 baudios: ½ = 0.5

La mayor eficiencias permite usar frecuencia menores (125 Mbaudios frente a 200 Mbaudios)

Topología: Estrella

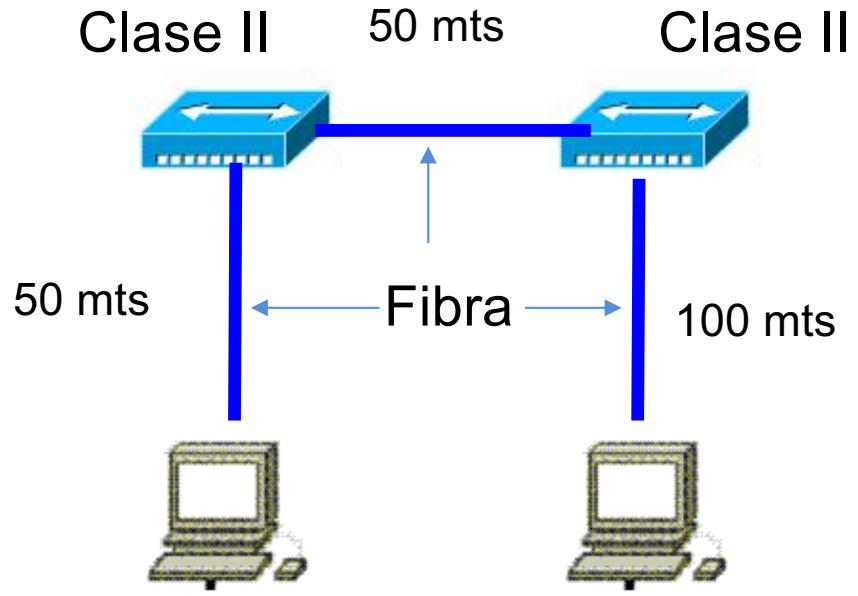
Cadena de 4 bits	Simbolo de 5 bit
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101



Retardos en los dispositivos y cables: 100BaseTx

Cable/Dispositivo	Retardo(us)	Retardo(bits)
Fast Ethernet NIC	0.25	25
Fast Ethernet Switch port	0.25	25
Repetidor Clase I (Hub)	0.70	70
Repetidor Clase II (Hub)	0.46	46
UTP Cable (por cada 100 mts)	0.55	55
Fibra óptica multimodo (100 mts)	0.50	50

Ejemplo. Considere el diagrama de la siguiente figura e indique si es una configuración válida:



200 mts fibra=2(50)=100 bits

2 NIC's =2(25)=50 bits

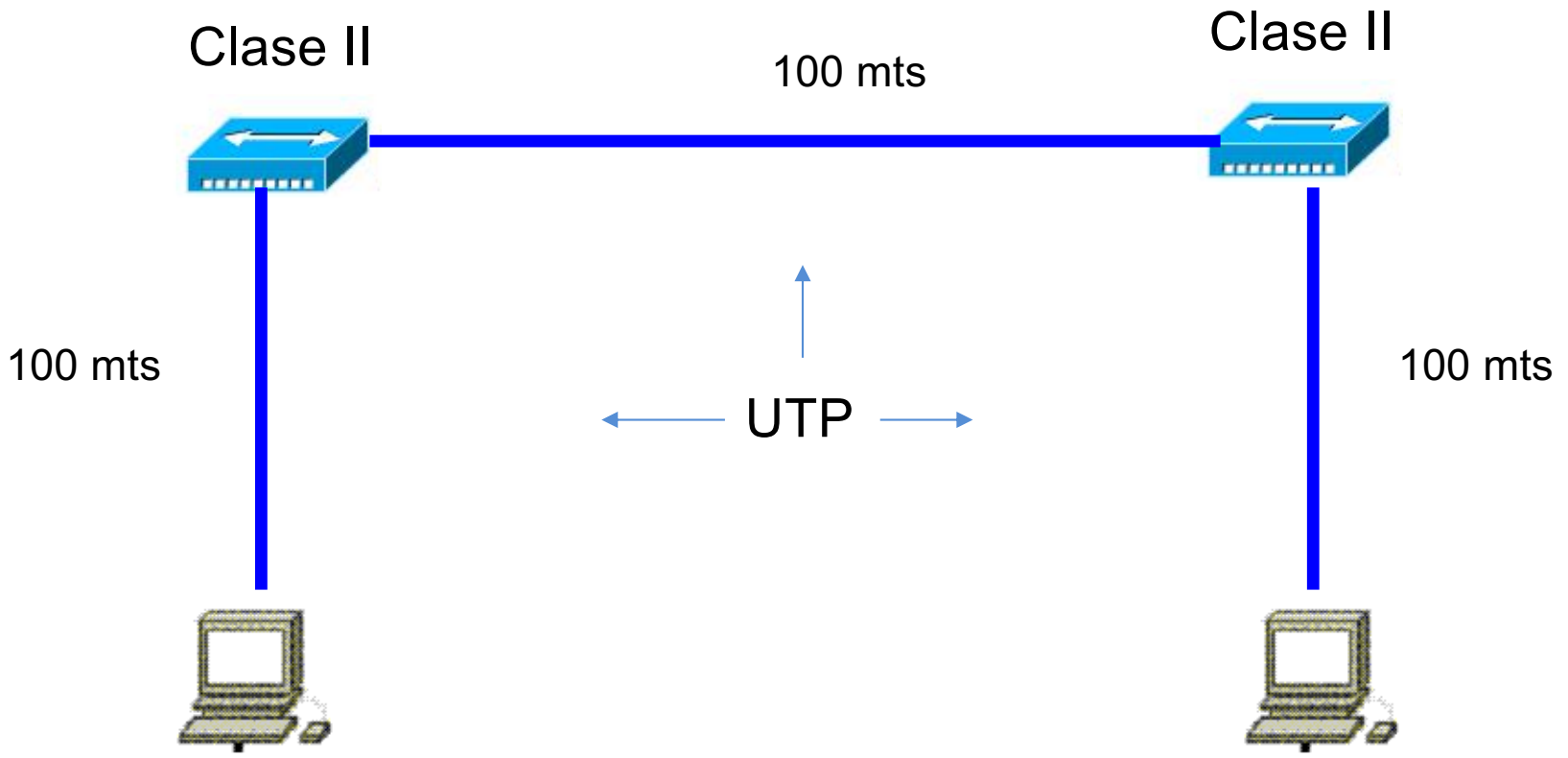
2 HUB Clase II =2(46)=92

RTD=2(50+100+92+5)=2(247)=494 bits

Max RTD = 494 ≤ 512 bits

CONFIGURACIÓN VALIDA

Ejercicio. Indique si es válida la configuración de la siguiente figura



Fast Ethernet, subcapa MAC

En Ethernet/802.3 debe detectar colisión

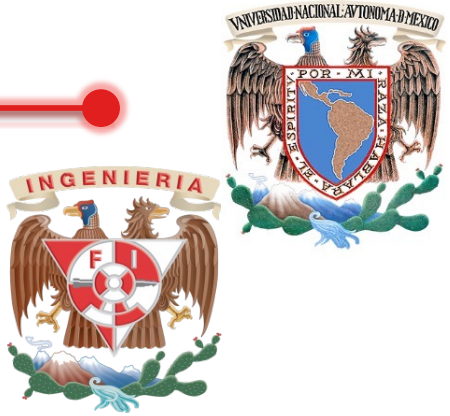
Para ello existe un tamaño de frame mínimo

Fast Ethernet mantiene los mismos frames

Lo único que cambia es la velocidad de operación, lo que crea un diámetro menor

Aumenta 10 veces la velocidad, disminuye en 10 veces el diámetro

Fast Ethernet agrega autonegociación



Giga Ethernet

Se repite la experiencia de Fast Ethernet

Oct 1995: Se crea un grupo para el GE

1997: Se separa 1000BaseT del resto de GE

1998: Estándar 802.3z (GE) nivel físico basado en Fibra óptica (1000 BaseSX/LX)

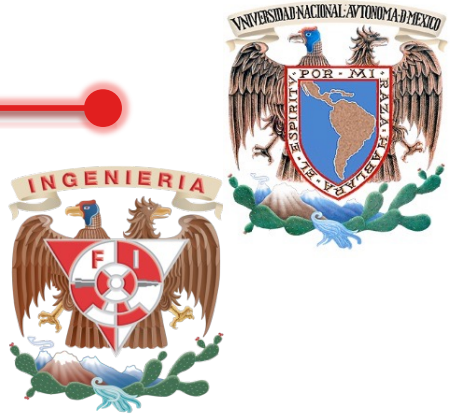
1999: Se aprueba 802.3ab (1000BaseT)

2000: Se crea GET para 10 GB Ethernet

Giga Ethernet

Estándar	Tipo de Fibra	Diametro	Rango mínimo mts
100BaseSX	MM	62.5	2
100BaseSX	MM	50	2
1000BaseLX	MM	62.5	2
1000BaseLX	MM	50	2
1000BaseLX	SM	9	2

Medio	Cable	Distancia	Pares	Costo
1000Base T	UTP 5e	100 mts	4	Medio
1000 Base X	STP 5	25 mts	2	Medio
1000 Base SX	Fibra óptica	500 mts	1	Medio
1000 Base LX	Fibra óptica	5 km	1	Alto



Gigabit Ethernet (Codificación)

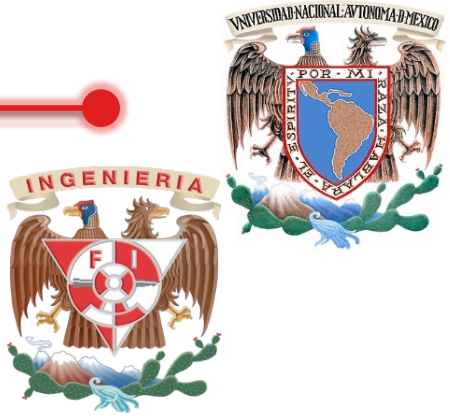
Medio	Codificación	Pares	Frecuencia	Categ Mín
1000BaseT	**PAM 5x5**	**4**	**125**	**5E**
1000Base SX/LX	**8B/10B (NRZI)**	**1**	**1250**	**F.O.**

En Fibra (1000baseSX, 1000BaseLX) se usa 8B/10B

Misma frecuencia que 4B/5B (0.8)

Mayor redundancia que 4B/5B; de los 1024 grupos posibles se eligen 2^8=256

Inconveniente: si hay un error se pierden 8 bits (frente a 4 en el caso de 4B/5B)



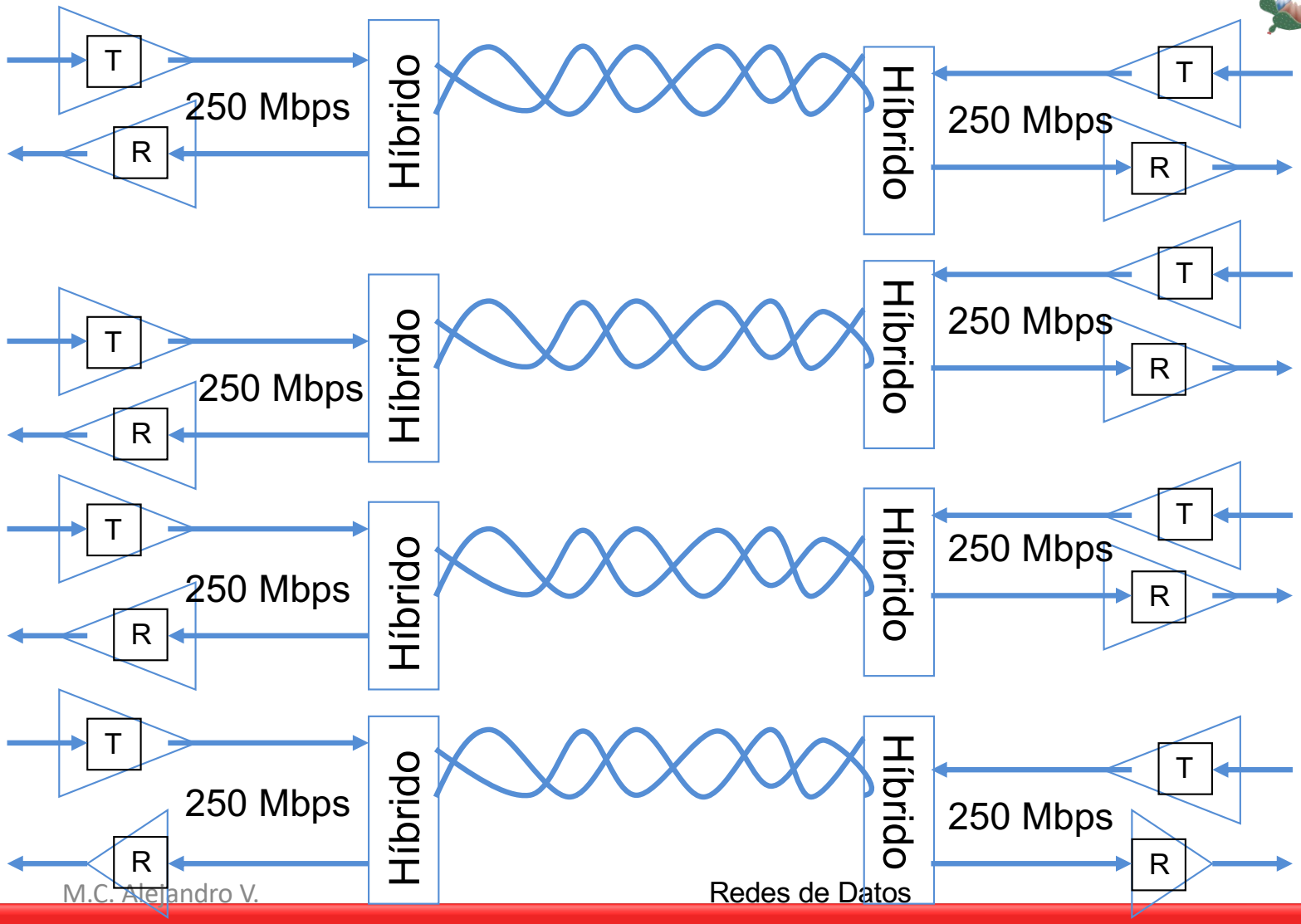
En 1000BaseT se aplican tres trucos:

1. Repartir tráficos en los 4 pares (250 Mbps c/u)

2. Usa circuitos híbridos para TX simultáneamente por cada par full duplex

3. Se codifica en PAM 5x5. Los baudios se agrupan de dos en dos; de las 25 combinaciones posibles se eligen 16 (64%) 2 bits/baudio, eficiencia 2.

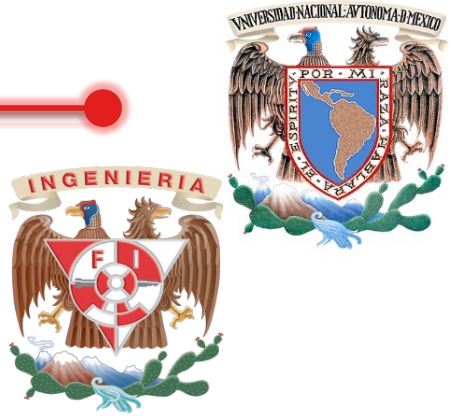
Transmisión dual-duplex en 1000BaseT



Cuatro pares

250 Mbps por par 2 bits/simb

125Msib/s



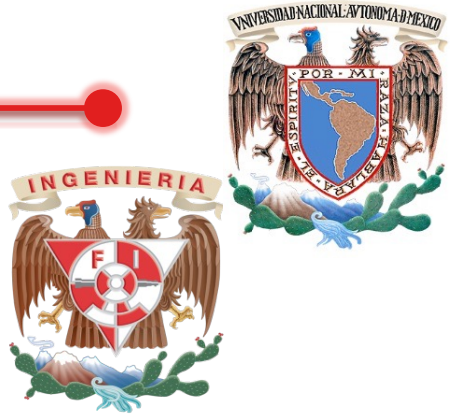
Gigabit Ethernet . Subcapa MAC

•En Ethernet y Fast Ethernet no debe superarse los 512 bits de RTD (51.2 us y 5.1 us). Diámetro max: 4 km (Ethe) y 412m (FasEthe)

•En GE con 512 bits el diámetro máximo serían 30 metros. El frame se amplia a 512 bytes (4096 bits, 4.096 us) con la "extensión de la portadora". Diámetro máximo 330 mts.

•Si estas reglas no se cumplen se pueden producir colisiones no detectadas y "colisiones tardías"

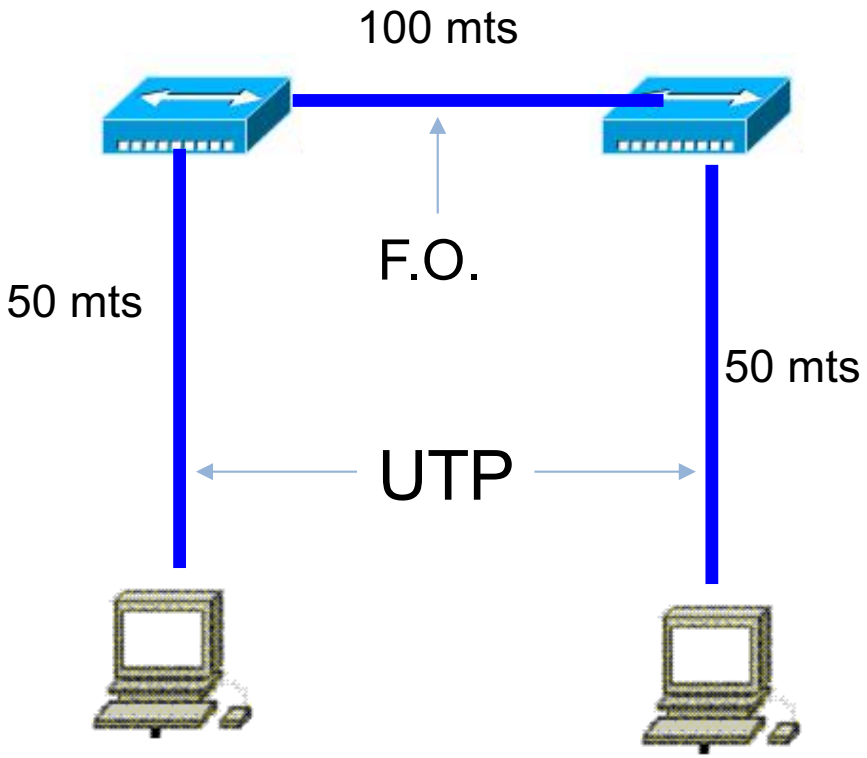
•Gigabit Ethernet aumenta el tamaño del trame mínimo. Esto aumenta el riesgo de colisión y disminuye el rendimiento porque hay más relleno.

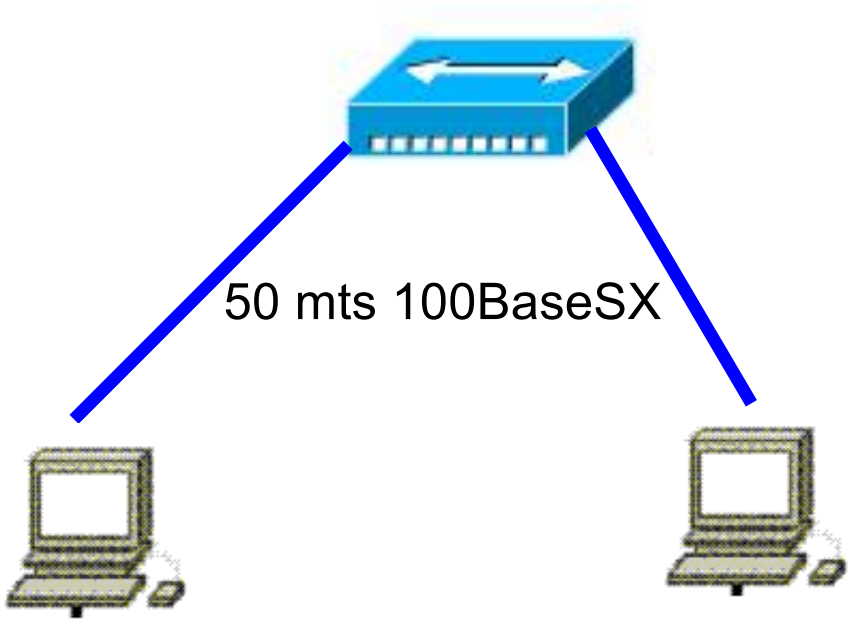


Retardo de los dispositivos y cables

Dispositivo Activo/Pasivo	Retardo (us)	Retardo (bits)
Gigabit NIC	0.432	432
Repetidor (HUB)	0.488	488
UTP o STP (por cada 100 mts)	0.550	550
Fibra óptica multimodo (por cada 100 mts)	0.500	500

Ejercicio. Indique si las siguientes configuraciones son válidas





Token Ring (IEEE 802.5)

La principal ventaja del anillo es la flexibilidad al control de acceso que suele ofrecer.

El anillo funciona con la técnica de rotación circular (round-robin).

La principal desventaja del anillo usando Token Ring son los requisitos de mantenimiento del anillo. La pérdida del Token impide posteriores utilizaciones del anillo y la duplicidad del Token pueden interrumpir también el funcionamiento del anillo. Por ello se debe seleccionar una estación como “monitora” y otra como “insertora” del token.

Características

Garantiza el tiempo de retardo máximo

Libre de Colisiones

Produce una red determinística

Topología lógica y física de Anillo

Buen Rendimiento de Carga

Permite garantizar un cierto BW

Permite prioridades

Medio Físico

- Cables STP y UTP (cat. 3 y 5)
- Codificación Manchester Diferencial
- Topología Física de anillo colapsado
- Velocidades de 4 a 16 Mbps
- Máximo no. de nodos 72 (4 Mbps) y 250 (16 Mbps)
- Anillo puede ser simple o doble

Protocolo MAC para topología en anillo

La estación puede detectar su dirección en el tráfico.

En general, una estación:

- Lee cualquier paquete que circula por la red
- Lo retransmite después de un retardo de varios bits

La transmisión es controlada por el Token. El token:

- Es un bit o conjunto de bits dedicados con estado libre y ocupado

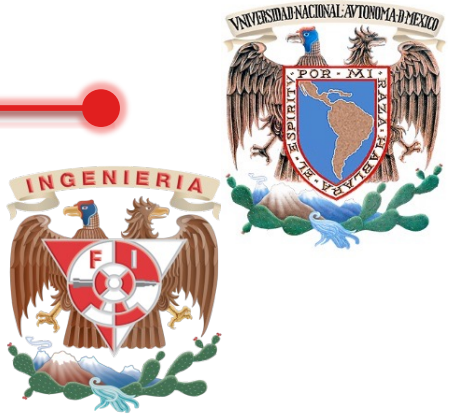
Si ninguna estación emite, circula un token libre por el anillo.

Cuando una estación tiene que emitir:

- Espera a que le llegue el token libre
- Cambia uno de los bits del testigo y lo convierte en inicio de trama
- La trama da una vuelta completa y se absorbe en la transmisión emisora
- Mientras no hay token disponible el resto de las estaciones esperan
- Si la transmisión acaba, la estación introduce un nuevo testigo

En condiciones de baja carga, presenta cierta ineficiencia

En condiciones de alta carga, funciona como un sistema de turno rotatorio



IEEE802.5 Formato de la Trama

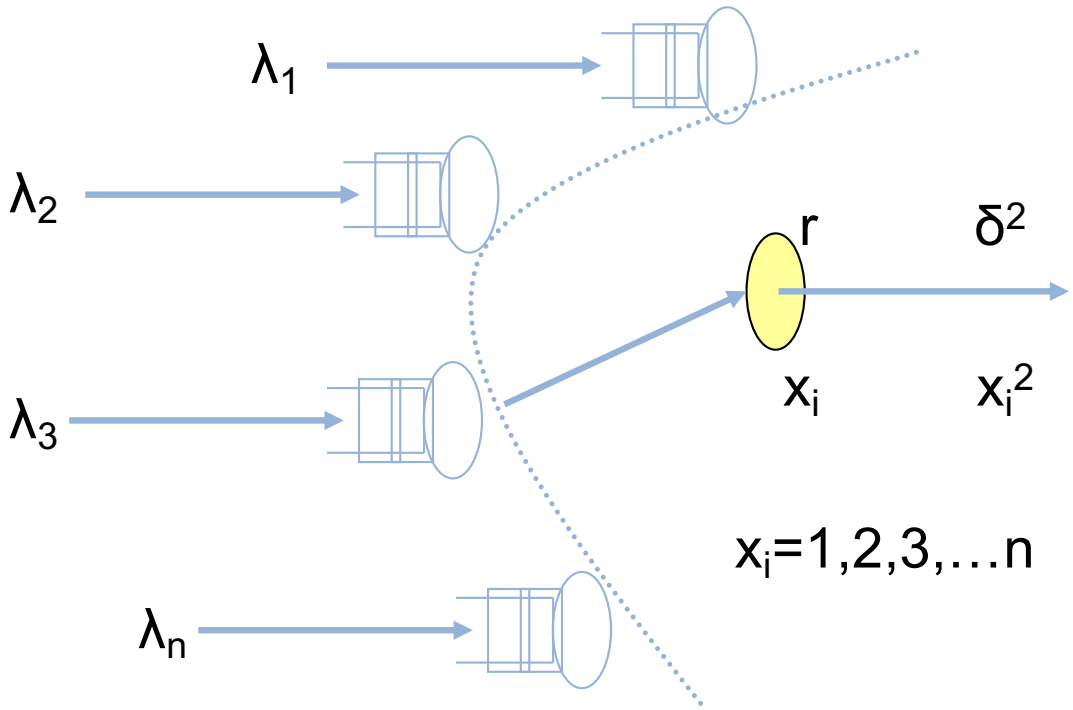
8	8	48	48		32	8	24
Inicio Frame	Control	Dirección Destino	Dirección Origen	Datos	CRC	Fin Frame	Status

Formato del Token

8	8	8
Inicio Frame	Control de Acceso	Fin del Frame

- 3 bits prioridad
- 3 bits reservación
- 1 bit Token
- 1 bit Monitoreo (para detectar las rotaciones del Frame)

Cálculo del Retardo



r: Tiempo de rotación del token "i" a "i+1"

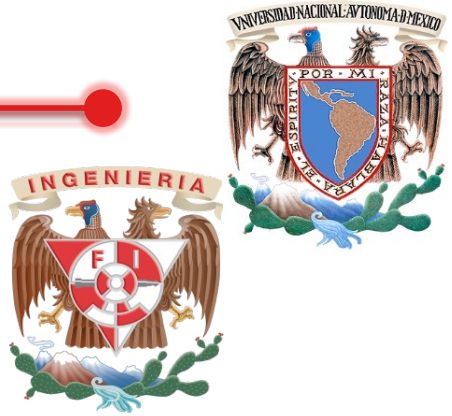
δ^2 : varianza de r

x: Tiempo de servicio

x^2: segundo momento de x (tiempo de servicio)

Utilización del Token $\rho_i = \lambda_i x_i$

Utilización de la red $\rho = \sum_{i=1}^{n} \rho_i$



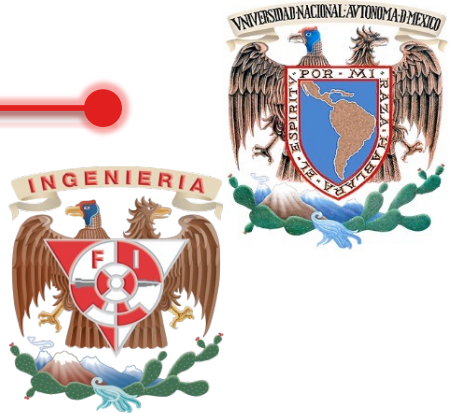
En Token Ring se "**supone**" que es un sistema homogéneo por lo que

$$\rho_i = \lambda x \qquad \sum_{i=1}^{N} \rho_i^2 = \sum_{i=1}^{N} \lambda^2 x^2 = N\lambda^2 x^2 \qquad \delta^2 = r^2$$

Condición de estabilidad $$\rho - 1, \max(\lambda_i) * N * r < \rho - 1$$

El tiempo promedio de espera en la cola está dada por

$$E(w) = \frac{1-\rho-\rho_i}{1-\rho-\lambda_i r} \frac{1-\rho}{(1-\rho)\rho + \sum_{i=1}^{N} p_i^2} \{ \frac{\rho}{2(1-\rho)} \sum_{i=1}^{N} \lambda_i x_i^2 + \frac{N\rho\delta^2}{2r} + \frac{r}{2(1-\rho)} \sum_{j=1}^{N} \rho_j (1-\rho_j) \}$$



Sustituyendo valores y variables

$$E(w) = \frac{1-\rho-\lambda x}{1-\rho-\lambda r}\frac{1-\rho}{(1-\rho)\rho+N\lambda^2 x^2}\{\frac{\rho}{2(1-\rho)}\lambda_i x_i^2 + \frac{N\rho r}{2} + \frac{rN\lambda x}{2(1-\rho)}(1-N\lambda x)\}$$

Donde r = N_{bits}+$RetardoMonitoreo_{bits}$+(Retardo del Cable * C)

RetardoMonitoreo=30 bits para C= 4Mbps

RetardoMonitoreo=56 bits para C= 16Mbps

Cálculo del Retardo

Por lo tanto, el tiempo de retardo total de la cola Token Ring MAC, esta dado por la suma del tiempo de espera en la cola, el tiempo de transmisión de los mensajes, el tiempo de propagación entre la estación fuente y la estación receptora en la red LAN, entonces:

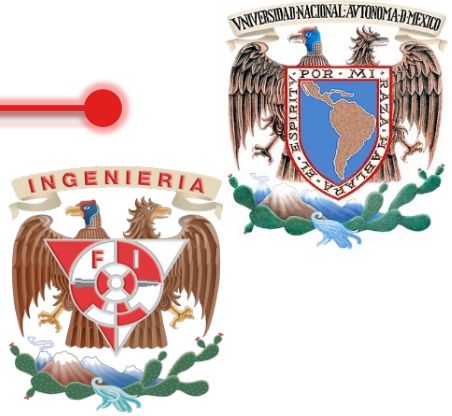
$$E(T)_i=E(w)_i+t_p+(N*r)/2$$

Si consideramos que:

$$\lambda_i = \lambda; \rho = N * \rho_i; x_i = x; x_i^2 = x^2; d^2 = r^2$$

Por lo tanto E(T)i=E(T)

$E(T)=E(w)+t_p+(N*r)/2$



Ejercicio. Calcular el retardo dado para Token Ring:

Tasa de llegada= 5 [paq/seg]=λ C=4Mbps l=1000 mts

L=1000 bytes vel_{prop}=0.65 usuario 60=N

$$t_p = \frac{l}{vel_{prog} * vel_{luz}} = \frac{1000}{0.65 * (3x10^8)} = 5.12[\mu s]$$

RC=$(5.12x10^{-6})*(4x10^6)$=20.51 bits

r=N_{bits}+Monitoreo+$Retraso_{Cable}$=60+30+20.51=110.51 bits

$$r = \frac{110.51}{4x10^6} = 27.62[\mu s]$$

$r^2=d^2$=763.27[ps]

$$t_f = x = \frac{L}{R} = \frac{1000}{4x10^6} = 2x10^{-3}[s]$$

$x^{(2)}=x^2=(2x10^{-3})^2$

$=4x10^{-6}[s]$

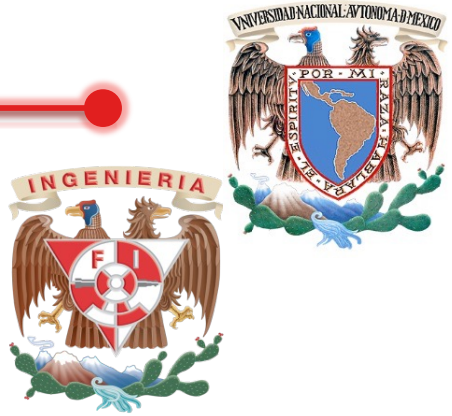
$$\rho = N\rho_i = N\lambda x = (60)(5)(2x10^{-3}) = 0.6$$

$$\frac{1-\rho+\lambda x}{1-\rho-\lambda r} = \frac{1-(0.6)+5(2x10^{-3})}{1-(0.6)+5(27.62x10^{-6})} = \frac{0.41}{0.399} = 1.025$$

$$\frac{1-\rho}{(1-\rho)\rho+N\lambda^2x^2} = \frac{1-0.6}{(1-0.6)*0.6+(60)(5)^2(2x10^{-3})^2} = \frac{0.4}{0.399} = 1.025$$

$$\frac{\rho N\lambda x^2}{2(1-\rho)} = \frac{(0.6)(60)(5)(4x10^{-6})}{2(1-0.6)} = \frac{0.72x10^{-3}}{0.8} = 0.9[ms]$$

$$\frac{N\rho r}{2} = \frac{(60)(0.6)(27.62x10^{-3})}{2} = 0.497x10^{-3}$$



$$\frac{rN\lambda x(1-\lambda xN)}{2(1-\rho)} = \frac{(27.62x10^{-6})(60)(5)(2x10^{-3})(1-(5(2x10^{-3})60))}{2(1-0.6)} = 8.294x10^{-6}$$

$E(w)=(1.025)(1.62)\{9x10^{-4}+0.497x10^{-3}+8.294x10^{-6}\}=2.33x10^{-3}$

$$\frac{N*r}{2} = \frac{(60)27x10^{-6}}{2} = 0.8286x10^{-3}$$

$E(T)=E(w)+t_p+N*r/2=2.33x10^{-3}+5x10^{-6}+0.8286x10^{-3}=3.1673x10^{-3}=3.16$ [ms]

$E(T)=3.16$ [ms]

FDDI

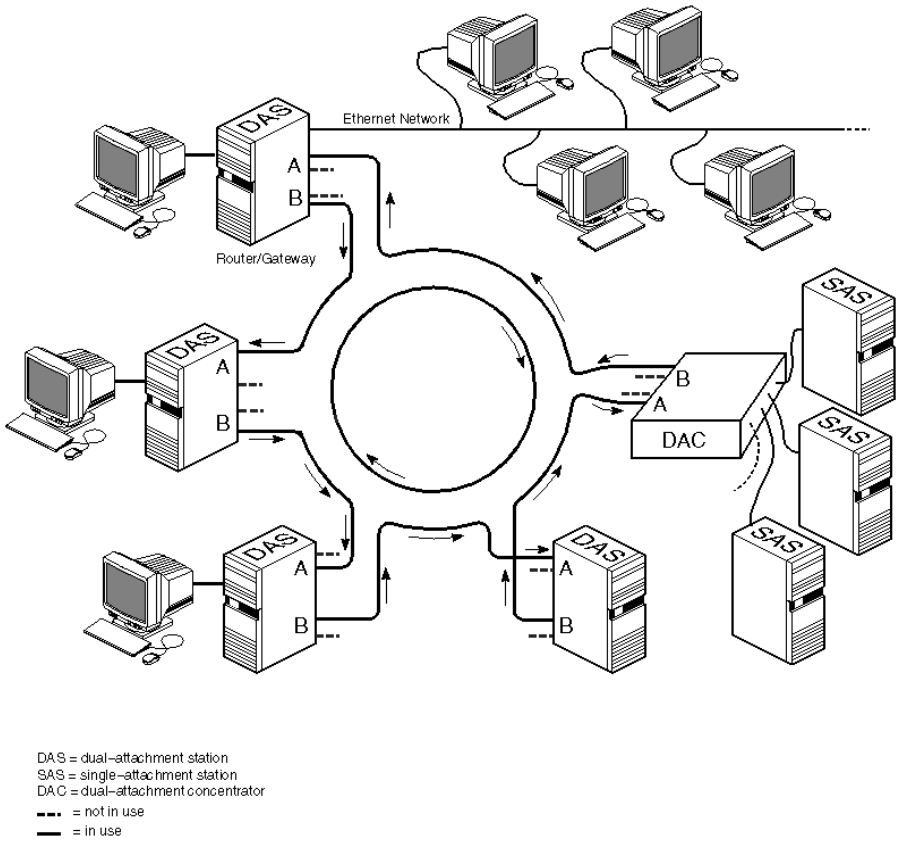
(Fiber Distributed Data Interface)

FDDI es un esquema en anillo con token y es muy análogo a IEEE 802.5 diseñado para aplicaciones LAN y MAN.

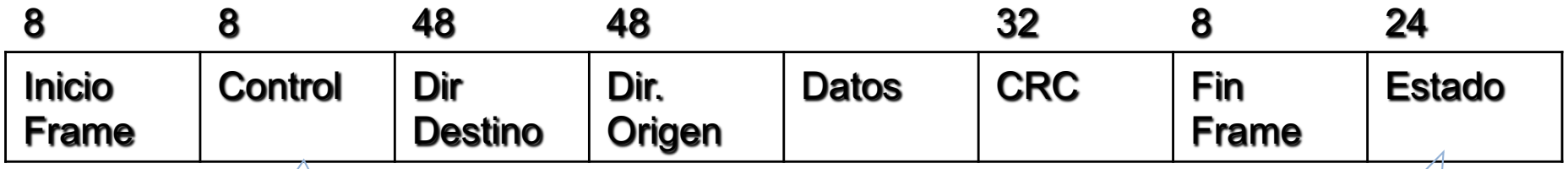
- Estándar ANSI y luego ISO, opera para backbones en LAN's
- Opera a 100 Mbps sobre fibra
- Utiliza Token Passing
- Utiliza anillo Doble
- Actualmente ha sido desplazado del mercado por Fast Ethernet como solución de backbone

Medio Físico

- Fibra óptica multimodo o UTP cat 5
- Topología anillo doble o estrella
- Codificación 4B/5B
- Velocidad a 100 Mbps
- Soporta hasta 500 estaciones
- Hasta 2 km. de distancia entre nodos
- Límite de 200 km de fibra
- Acepta como medio físico cable coaxial y par trenzado



Formato de la Trama



Trama sincrona o asíncrona. Direcciones de 48 o 16 bits Si hay o no token

El receptor indica al transmisor sobre como fue la recepción

Utiliza Token Passing

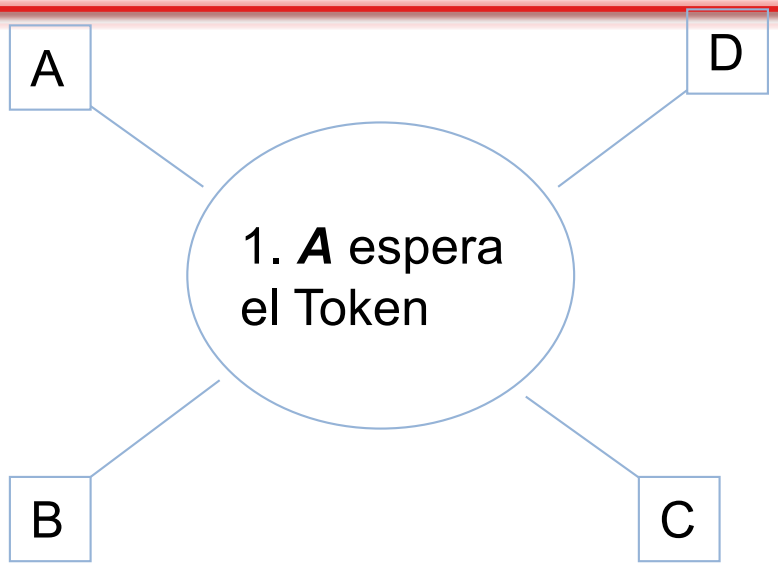
El Frame es muy similaral Token Ring/IEEE 802.5

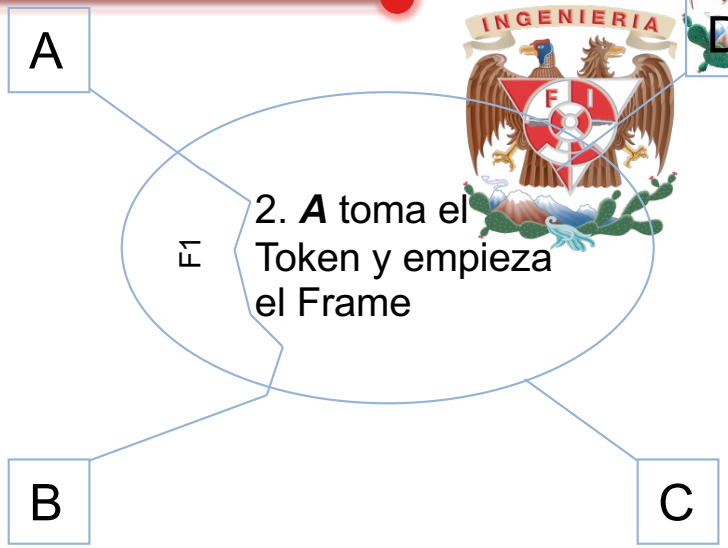
Utiliza direcciones MAC IEEE

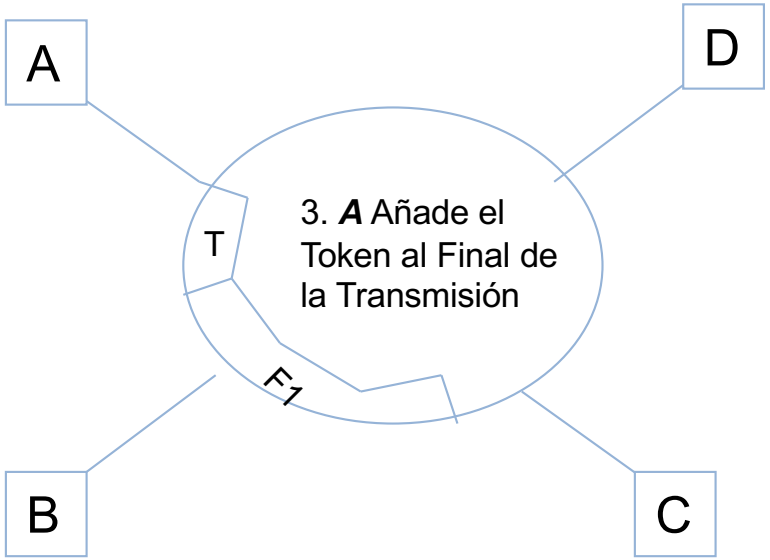
El protocolo MAC FDDI básico es fundamentalmente el mismo que el IEEE 802.5, pero existe dos diferencias:

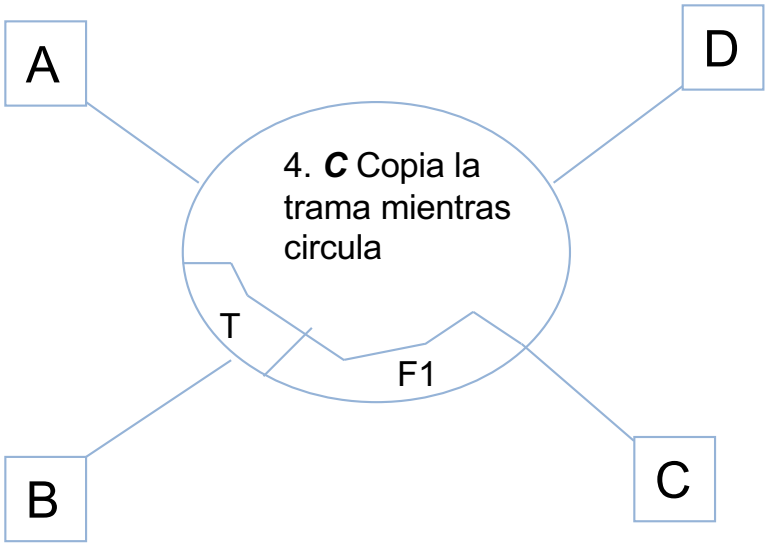
1. FDDI, una estación que espera un Token lo toma cancelado (No repitiendo) la transmisión del mismo en cuanto reconoce que se trata de una trama de token. Tras la recepción completa del token capturado, la estación comienza a transmitir una o mas tramas.

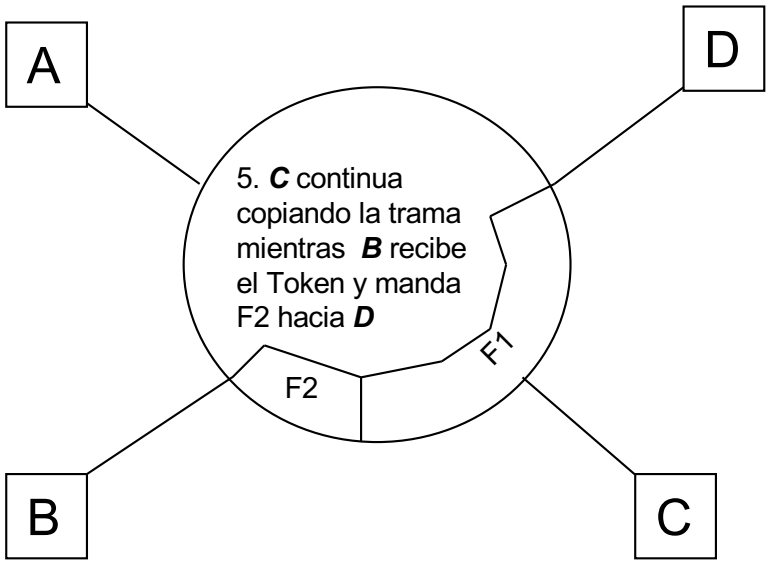
2. En FDDI, una estación que ha transmitido tramas de datos libera un nuevo token en cuanto completa la transmisión, incluso si no ha comenzado a recibir su propia transmisión.

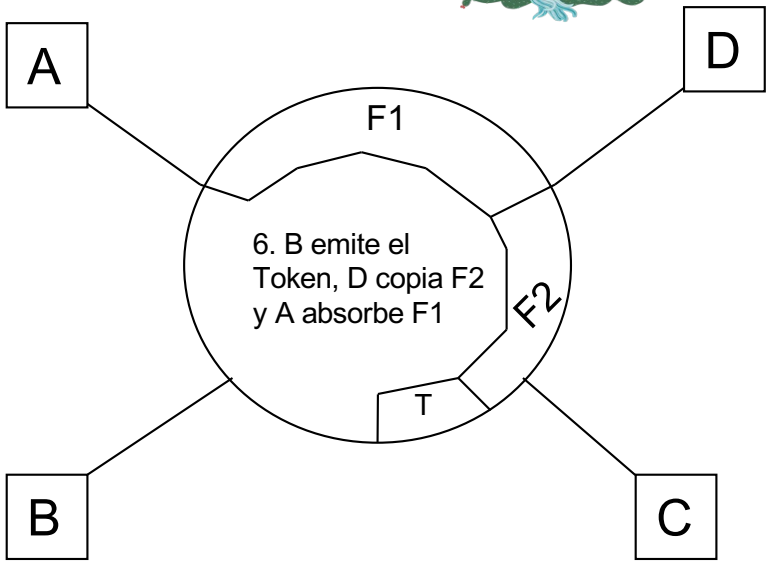

A
D
1. A espera el Token
B
C


A
D
F1
2. A toma el Token y empieza el Frame
B
C


A
D
T
3. A Añade el Token al Final de la Transmisión
F1
B
C


A
D
4. C Copia la trama mientras circula
T
F1
B
C


A
D
5. C continua copiando la trama mientras B recibe el Token y manda F2 hacia D
F1
F2
B
C


A
D
F1
6. B emite el Token, D copia F2 y A absorbe F1
F2
T
B
C

Rendimiento

Para 3 estaciones

$$U = \frac{3(T-P)}{3T+P}$$ Delay=2T+2P

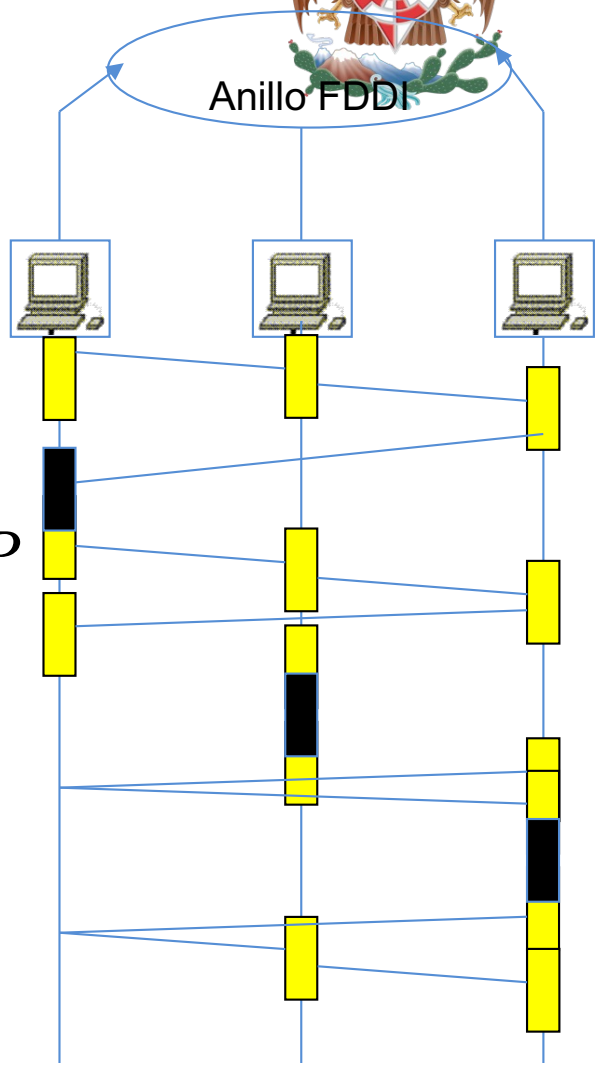
Por lo tanto para N Estaciones

$$U = \frac{N(TTRT-P)}{N(TTRT)+P} \qquad Delay = (N-1)TTRT + 2P$$

$P_{(propagación\ del\ medio)}$=Distancia*$Vel_{prop}$+RE*N

TTRT=Target Token Rotation Time, constante

RE=Retardo de las Estaciones



Ejercicio. Calcular la utilización y el retardo de un sistema FDDI, considerando las siguientes características. El anillo cuenta con 16 estaciones y tiene 20 km de fibra, la luz se propaga a 5.08 μs/km. A través del medio y el valor de TTRT es 5ms.

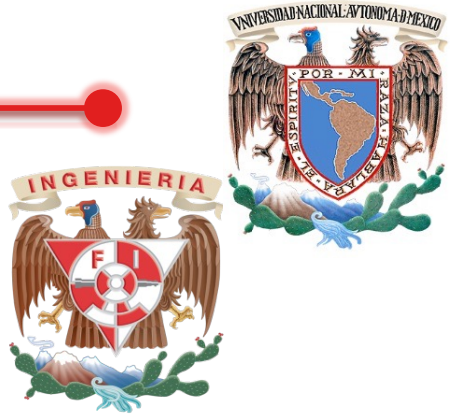
Para el cálculo P (propagación del medio) se debe considerar el retardo causado por cada estación (1 μs) y la latencia del cable.

$P=(20)(5.08x10^{-6})+(1x10^{-6})(16)=117.7x10^{-6}[s]$

$D=(16-1)(5x10^{-3})+(2*117.7x10^{-6})=75.235x10^{-3}[s]$

$$U=\frac{(16)(5x10^{-3}-117.7x10^{-6})}{16(5x10^{-3})+117.7x10^{-6}}=\frac{78.11x10^{-3}}{80.1177x10^{-3}}=0.97494$$

U=97.494%



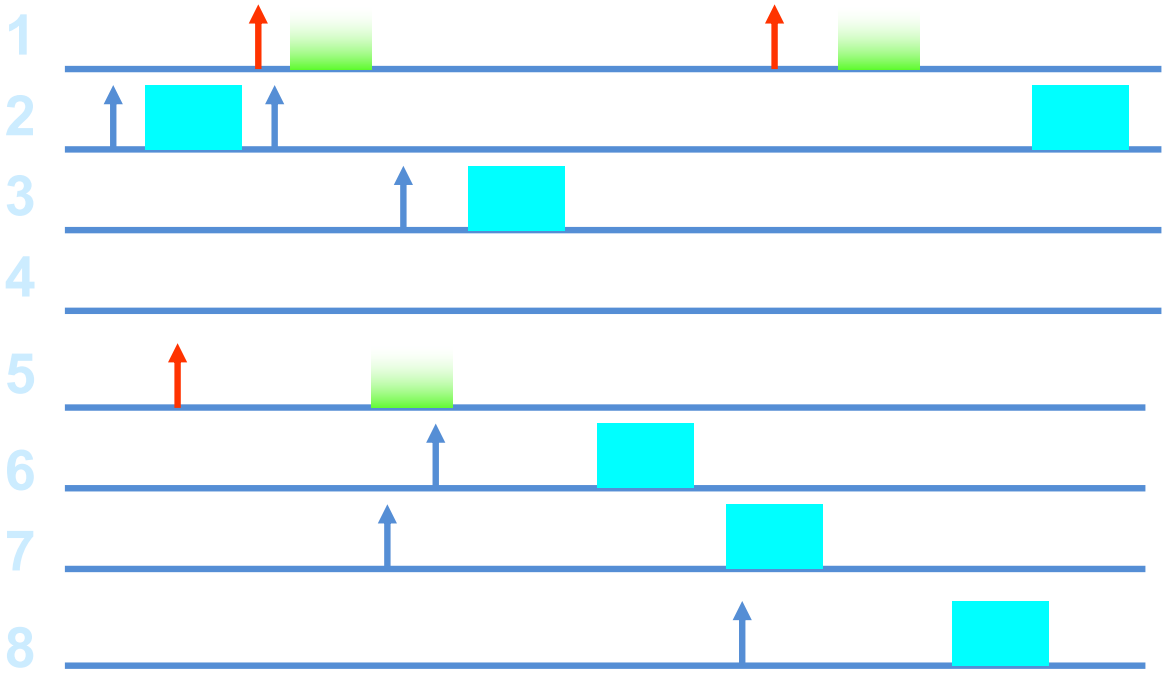
100 VG-AnyLAN

VG (Voice Grade) AnyLAN. Admisión de múltiples tipos de tramas LAN.

Al igual que 100BaseT, 100VG-AnyLAN esta pensada para ser una ampliación a 100 Mbps de la red Ethernet a 10Mbps y para admitir tipos de IEEE802.3

100 VG-AnyLAN usa un nuevo esquema MAC, conocido la prioridad de demanda, con el fin de terminar el orden en que los nodos comparten la red. Dado que esta especificación no utiliza CSMA/CD, sino se ha normalizado en un nuevo grupo de trabajo en 802.12

La topología de una red VG-AnyLAN es una estrella jerárquica. La configuración mas simple consta de un único centro (“ HUB ”) y varios dispositivos conectados. Son posibles estructuras mas complejas, en las que existen un único centro raíz, o uno ó mas centro de nivel 2; un centro nivel 2 puede disponer de centros subordinados del nivel 3 y así sucesivamente hasta una profundidad arbitraria.



0. Alta →1

Baja →1

1. Alta →1 Espera: 5,1

Baja →2 Petición:1,5

2. Alta →1 Espera: 5

Baja →2 Petición:2

3. Alta →5 Espera:

Petición:2,7,3 y 6

Baja →2 N Petición:3,6,7 y 2

4. Alta →1 Espera: 5,1

Baja →2 Petición:1,5

5. Alta →5 Espera: 7 y 2

Baja →6 Petición:8

6. Alta →5 Espera: 8 y 2

Baja →6 Petición:1

7. Alta →1 Espera: 8 y 2

Baja →7 Petición:-

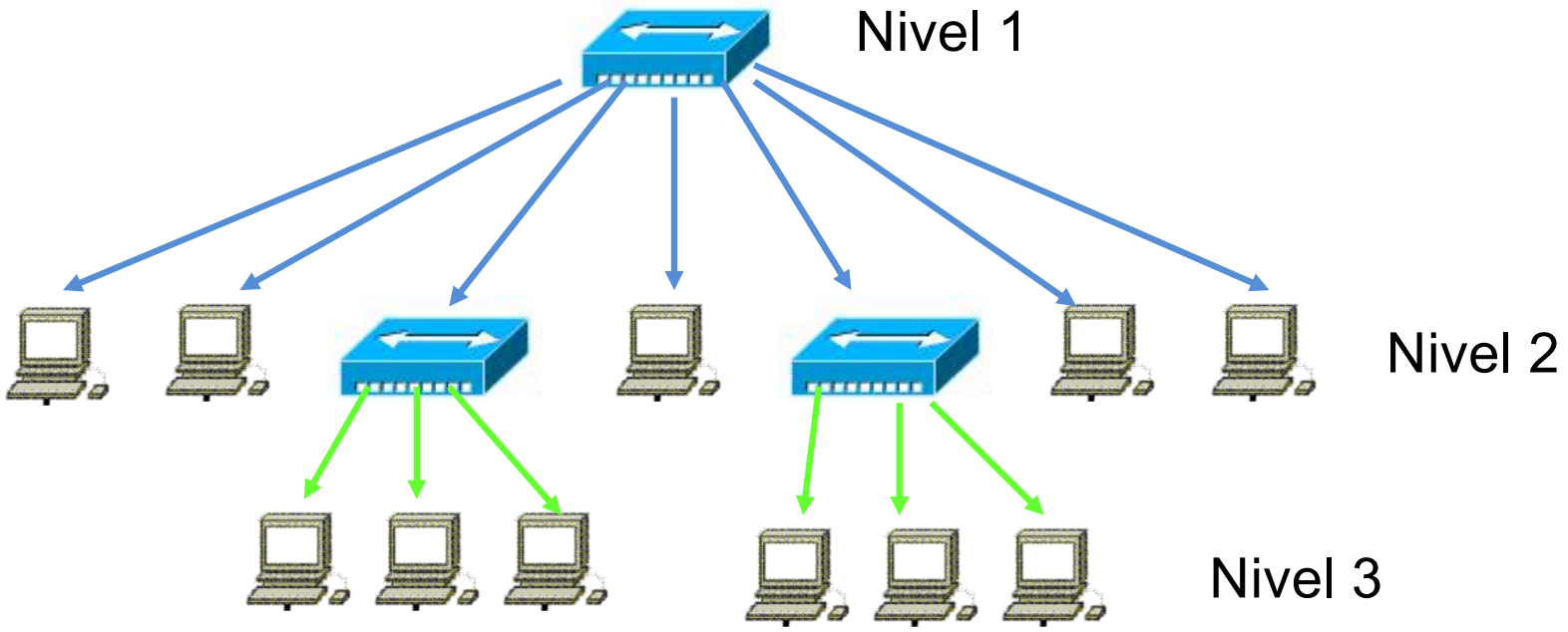
8. Alta →1 Espera: 2

Baja →8 Petición:-

9. Alta →1 Espera: -

Baja →2 Petición:-

Arquitectura VG-AnyLAN



4.6 Protocolo LLC y MAC del estándar IEEE 802.2

Control de Enlace Lógico (LLC)

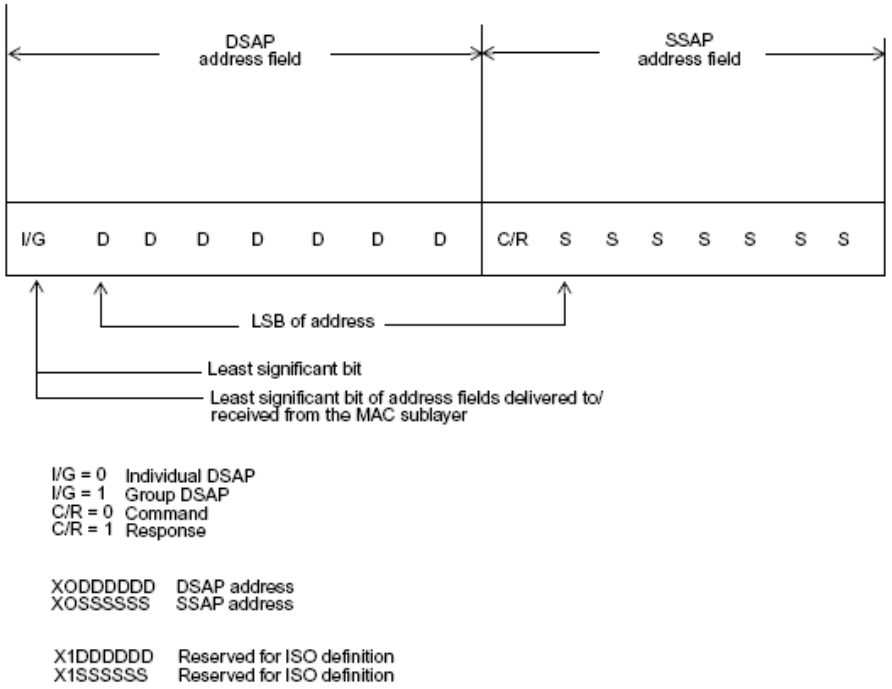
La subcapa de control de enlace lógico (LLC) de la capa de enlace de datos administra las comunicaciones entre dispositivos sobre un solo enlace en una red. LLC está definido en las especificaciones de IEEE 802.2 (siguiente figura). LLC soporta servicio orientado a conexión y servicio orientado a no conexión, ambos, usados por los protocolos de las capas más altas.

El formato PDU (Protocol Data Unit) de LLC es como se muestra a continuación:

LLC

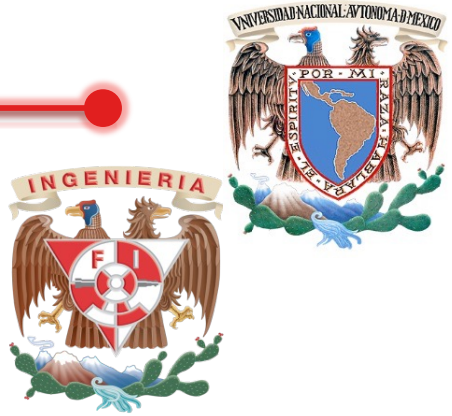
DSAP address	SSAP address	Control	Information
8 bits	8 bits	8 or 16 bits	M*8 bits

Cada PDU contiene dos campos de dirección: DSAP (Destination Services Access Point) y SSAP (Source Services Access Point) en ese orden. Cada campo de dirección contiene una dirección. El campo de la dirección DSAP identificará uno o mas servicios de punto de acceso para lo cual la información del campo LLC es previsto. El campo de la dirección SSAP identifica el servicio especifico del punto de acceso para el cual la información del campo LCC fue iniciado.



Cada campo de dirección contiene 1 byte.

Cada campo de dirección contiene 7 bits de la dirección actual y un bit que será usada en el campo de la dirección DSAP como cualquier dirección individual o un grupo de direcciones (llamado el bit designado para el tipo de dirección) y en el campo de dirección SSAP identifica que el PDU de LLC es un comando o respuesta (llamado el bit de identificación comando/respuesta).



LLC

El bit designado para el tipo de elección será localizado en la posición del bit menos significativo del campo de dirección DSAP. Si este bit está en “0”, indicará que la dirección es una dirección individual DSAP. Si el bit es “1”, indicará que la dirección es una dirección de grupo DSAP que no identifica a ninguno, uno o más o incluso a todos los servicios de puntos de acceso que están en servicio por la entidad LLC.

El bit de identificación comando/respuesta será localizado en el bit menos significativo del campo de dirección SSAP. Si este bit es “0”, indicará que es el PDU es un comando. Si es “1” entonces indicará que es una respuesta.

Formato del Frame LLC

8	8/16	≥0	16 ó 32
Dirección (11111111)	Control	Datos	CRC $x^{16}+x^{12}+x^5+1$

N(S) No. de secuencia a enviar

N(R) No. de secuencia a recibir

P/F: Poll/Final Bit

Información (para datos)

1	3	1	3
0	N(S)	P/F	N(R)

Supervisión (errores/flujo)

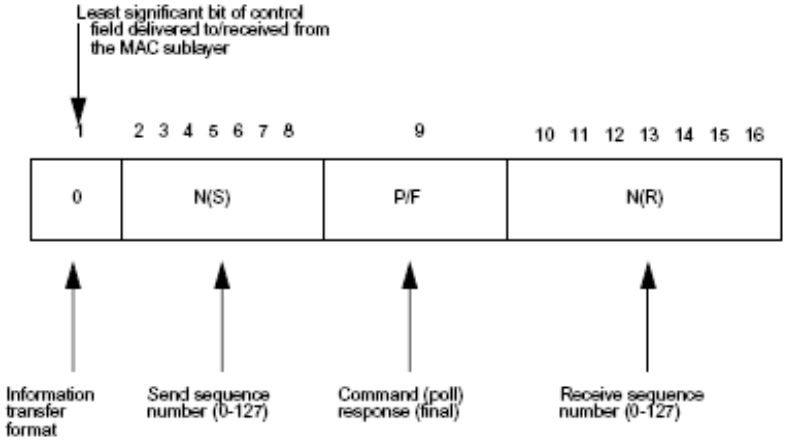
2	2	1	3
1 0	S	P/F	N(R)

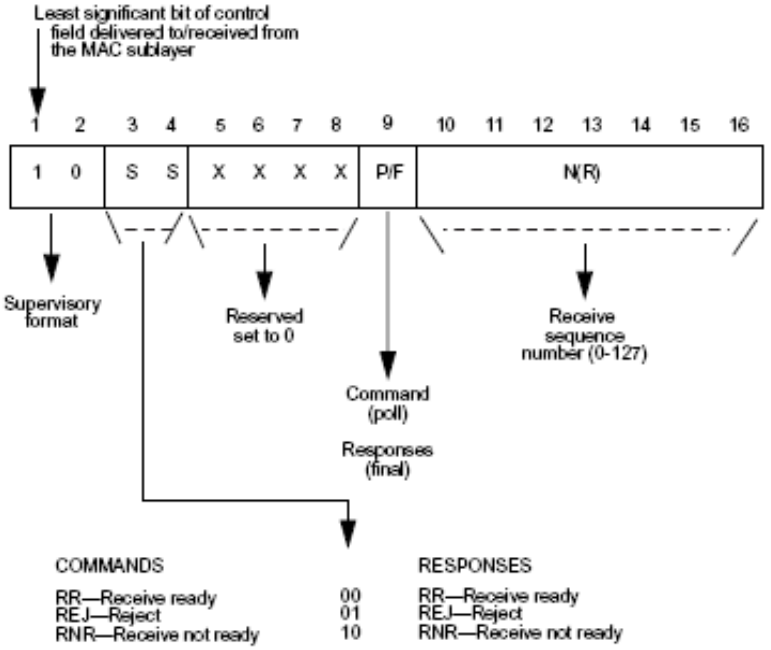
- 00- Receiver Ready RR
- 10- REJ- Reject
- 10- RNR – Receive Not Ready

Enumeración (Establecer conexión)

2	2	1	3
1 1	M	P/F	M

LLC


Least significant bit of control field delivered to/received from the MAC sublayer
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
0
N(S)
P/F
N(R)
Information transfer format
Send sequence number (0-127)
Command (poll) response (final)
Receive sequence number (0-127)


Least significant bit of control field delivered to/received from the MAC sublayer
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
1 0
S S
X X X X
P/F
N(R)
Supervisory format
Reserved set to 0
Command (poll)
Responses (final)
Receive sequence number (0-127)
COMMANDS
RR—Receive ready
REJ—Reject
RNR—Receive not ready
00
01
10
RESPONSES
RR—Receive ready
REJ—Reject
RNR—Receive not ready

4.6.3 ESTÁNDARES IEEE 802.11

REDES INALÁMBRICAS 802.11

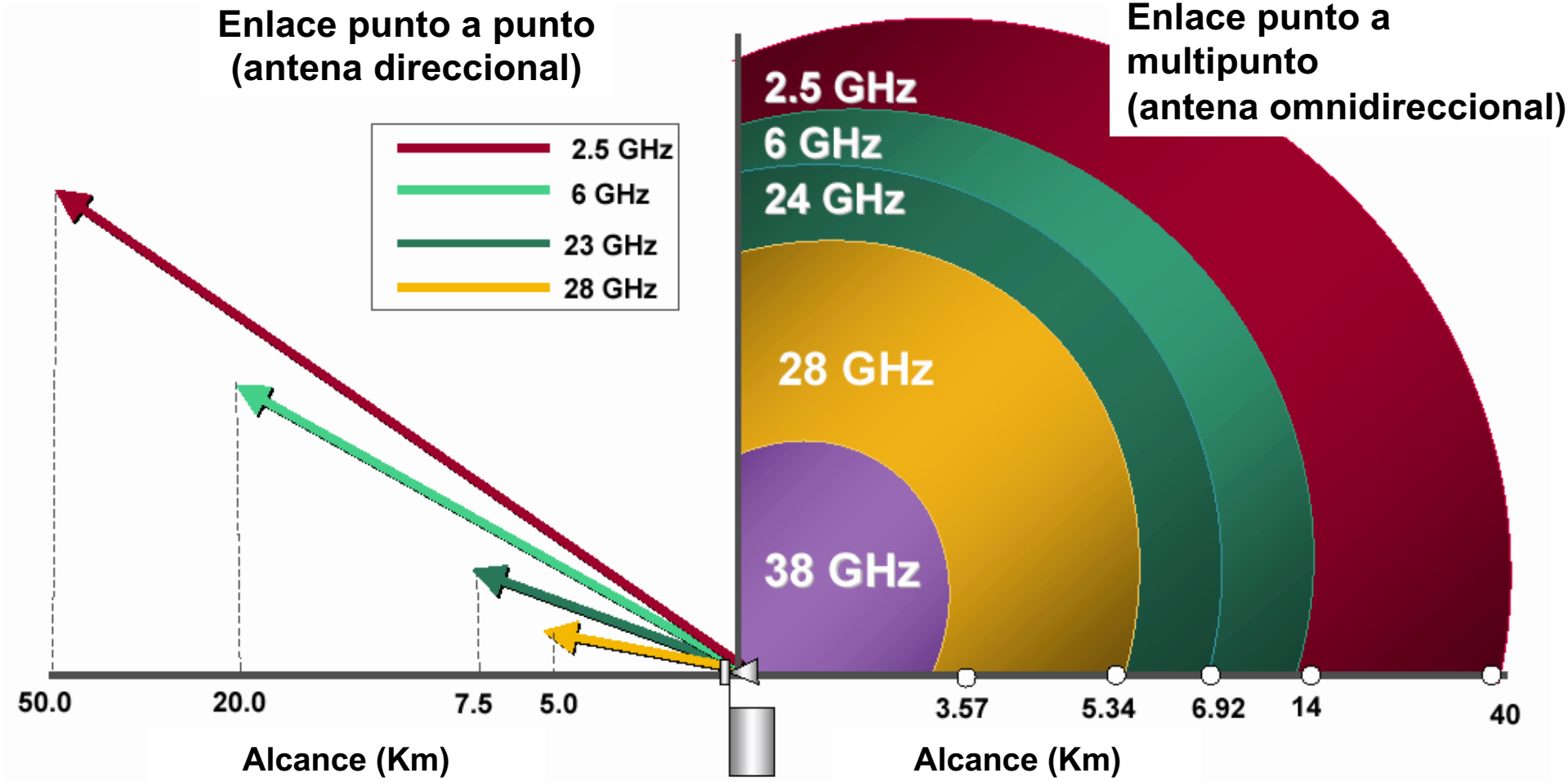
- Comparación tecnologías inalámbricas móviles, historia y Modelo de Referencia
- Nivel físico
- Arquitectura y Nivel MAC
- Diseño de redes
- Puentes inalámbricos
- IP móvil

COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS MÓVILES

Tipo de red	WWAN (Wireless WAN)	WLAN 99 (Wireless LAN)	WLAN 97 (Wireless LAN)	WPAN (Wireless Personal Area Network)
Estándar	GSM/GPRS/UMTS	IEEE 802.11a y 802.11b	IEEE 802.11	IEEE 802.15 (Bluetooth)
Velocidad	9,6/170/2000 Kb/s	11-54 Mb/s	1-2 Mb/s	721 Kb/s
Frecuencia	0,9/1,8/2,1 GHz	2,4 y 5 GHz	2,4 GHz e Infarrojos	2,4 GHz
Rango	35 Km	70 m	150 m	10 m
Técnica radio	Varias	DSSS	FHSS y DSSS	FHSS
Itinerancia (roaming)	Sí	Sí	No	No
Equivalente a:	Conexión telefónica (módem)	LAN de media-alta velocidad	LAN de baja velocidad	Cables de conexión

Alcance en función de la frecuencia

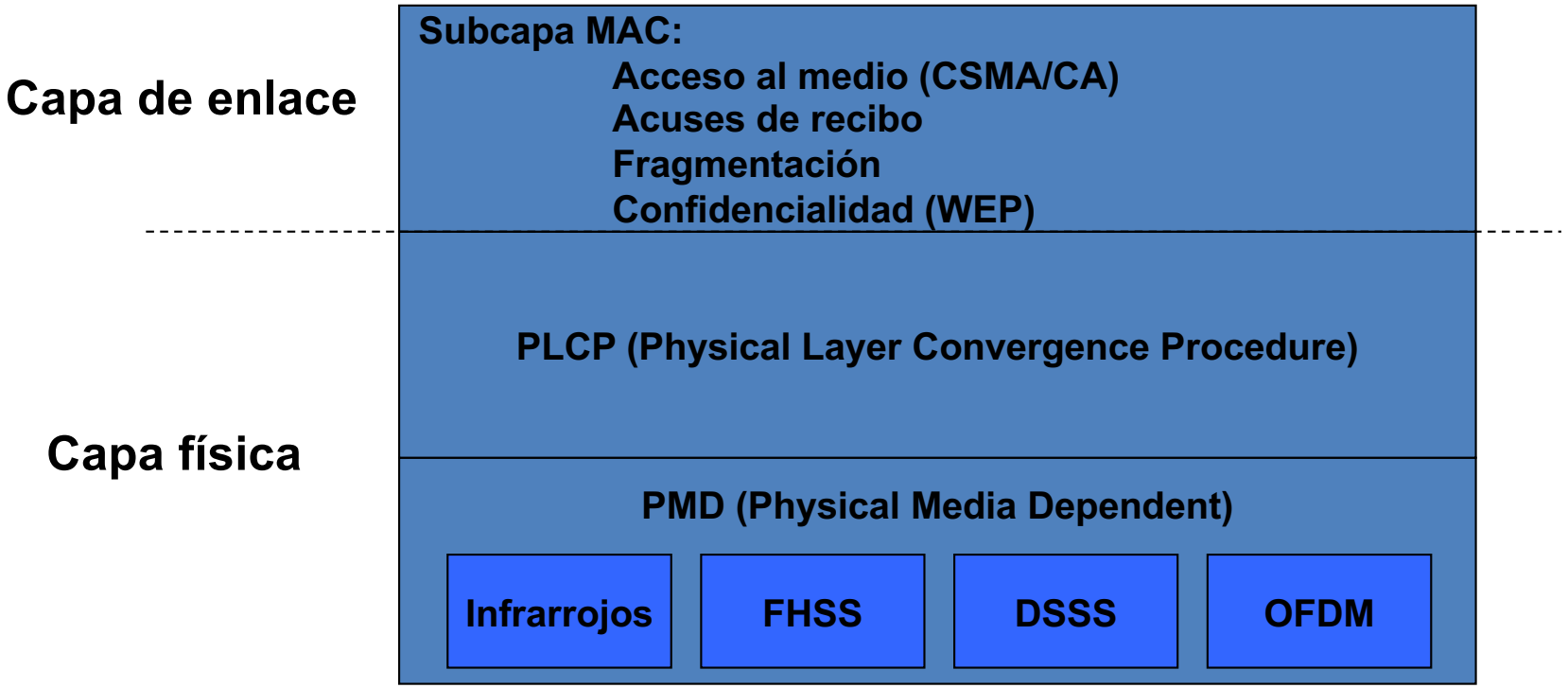
Las frecuencias altas se atenúan más.
Por tanto a mayor frecuencia menor alcance

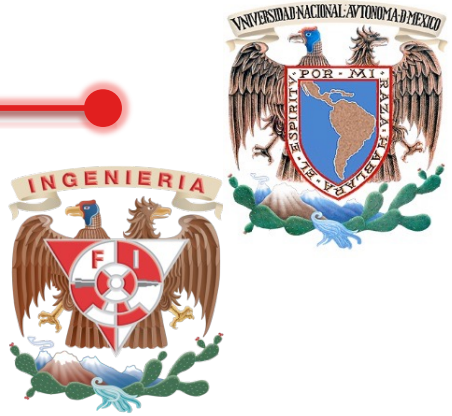


HISTORIA DE LAS WLANS

Fecha	Evento
1986	Primeras LANs inalámbricas. 860 Kb/s. Banda de 900 MHz (no disponible en Europa)
1993	Primeros sistemas propietarios de 1 y 2 Mb/s en banda de 2,4 GHz
7/1997	El IEEE aprueba estándar 802.11. 1 y 2 Mb/s. Banda de 2,4 GHz e infrarrojos
1998	Primeros sistemas pre-estándar 802.11b (11 Mb/s a 2,4 GHz)
9/1999	El IEEE aprueba suplementos 802.11b (hasta 11 Mb/s en 2,4 GHz) y 802.11a (hasta 54 Mb/s en 5 GHz, no disponible en Europa)
12/2001	Primeros productos comerciales 802.11a
12/2001	Publicación borrador 802.11e (QoS en WLANs)
2º sem. 2002 (est.)	Publicación borrador 802.11g (hasta 54 Mb/s en 2,4 GHz)

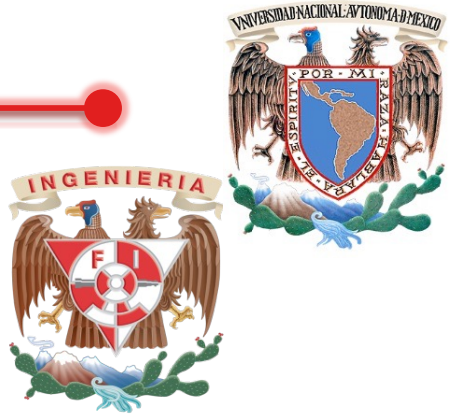
MODELO DE REFERENCIA DE 802.11





REDES INALÁMBRICAS 802.11

- Comparación tecnologías inalámbricas móviles, historia y Modelo de Referencia
- Nivel físico
- Arquitectura y Nivel MAC
- Diseño de redes
- Puentes inalámbricos
- IP móvil



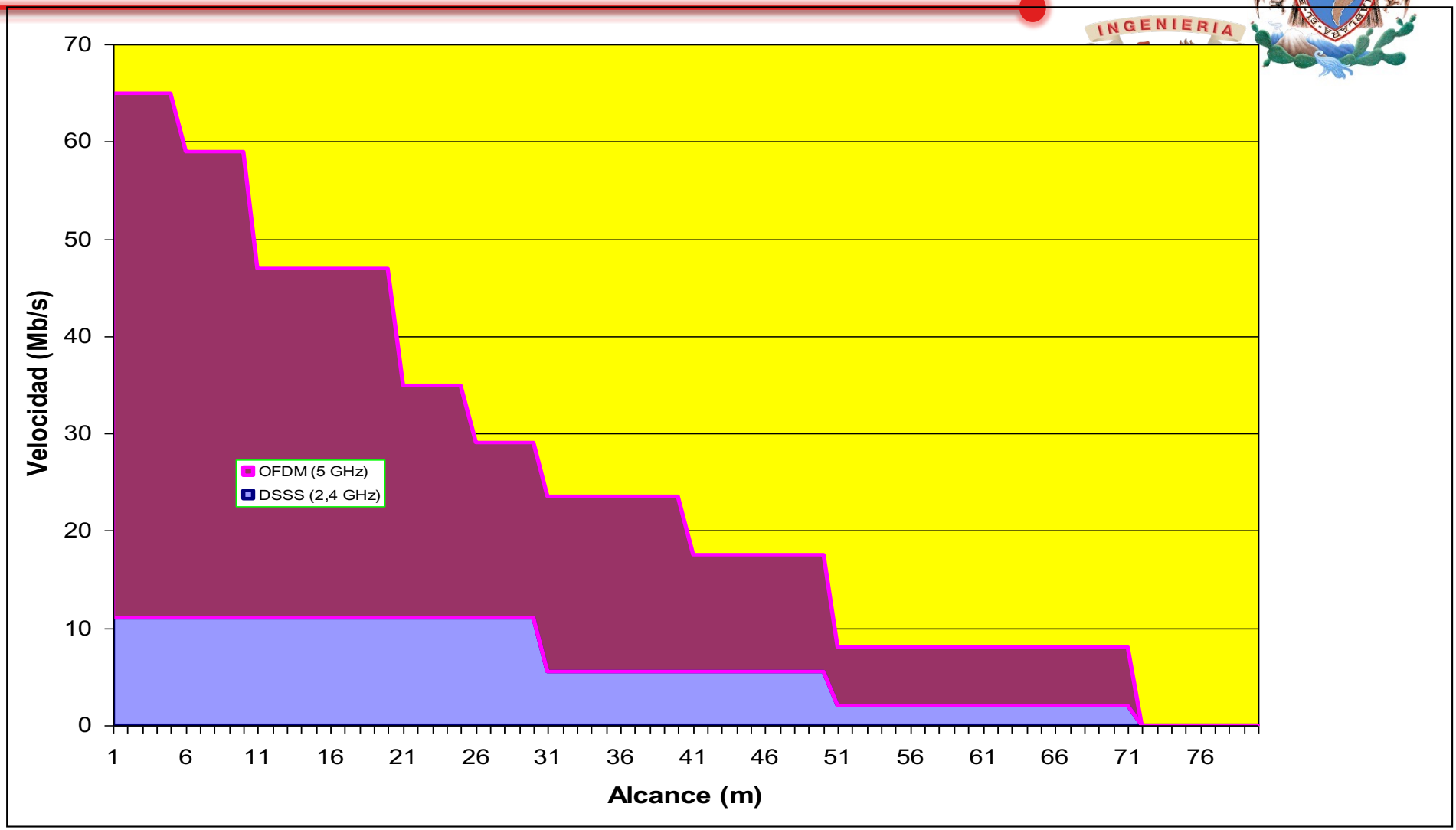
NIVEL FÍSICO EN 802.11

- **Infrarrojos**: solo válido en distancias muy cortas y en la misma habitación
- **Radio**:
  - **FHSS** (Frequency Hoping Spread Spectrum): Sistema de bajo rendimiento, poco utilizado actualmente.
  - **DSSS** (Direct Sequence Spread Spectrum): Buen rendimiento y alcance. El más utilizado hoy en día.
  - **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing): Máximo rendimiento pero usa banda de 5 GHz, solo regulada actualmente en EEUU.
- Los equipos que utilizan diferentes sistemas no pueden interoperar entre sí

MEDIOS DEL NIVEL FÍSICO EN 802.11

Nivel físico	Infrarrojos	FHSS	DSSS	OFDM
Banda	850 – 950 nm	2,4 GHz	2,4 GHz	5 GHz
Velocidades*	1 y 2 Mb/s (802.11)	1 y 2 Mb/s (802.11)	1 y 2 Mb/s (802.11) 5,5 y 11 Mb/s (802.11b)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mb/s (802.11a)
Alcance (a vel. Max.)	20 m	150 m	30 m	5 m
Utilización	Muy rara	Poca. En desuso	Mucha	Poca. Creciente
Características	No atraviesa paredes	Interferencias Bluetooth y hornos microondas	Buen rendimiento y alcance	Máximo rendimiento

Velocidad en función del alcance para 802.11

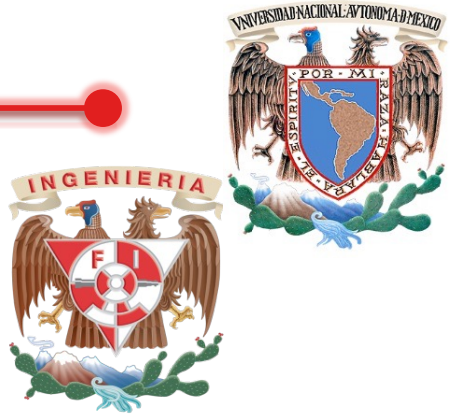


- **Valores medios para interior en ambientes de oficina.**
- **En exteriores los alcances pueden ser hasta cinco veces mayores.**
- **El alcance real depende del entorno.**
- **Los equipos se adaptan automáticamente a la máxima velocidad posible en cada caso**

Espectro radioeléctrico

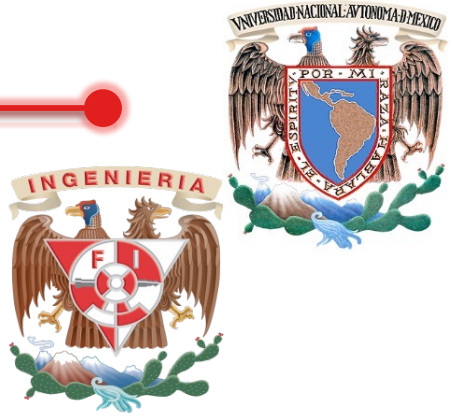
- La mayor parte del espectro radioeléctrico está regulada por la ITU-R y se requiere licencia para emitir
- La ITU-R divide el mundo en tres regiones, Europa es la región 1. Cada una tiene una regulación diferente de las frecuencias (http://www.itu.int/brfreqalloc/). Algunos países tienen normativas propias más restrictivas (ver p. ej. http://www.setsi.mcyt.es).
- Como no sería práctico pedir licencia para cada WLAN el IEEE decidió asignar para esto unas bandas sin licencia llamadas ISM (Industrial-Scientific-Medical) pensadas para este tipo de aplicaciones.
- Algunas bandas ISM están restringidas a ciertas regiones.

Banda	Anchura	Uso en WLAN
13 553 – 13 567 kHz	14 kHz	No
26 957 – 27 283 kHz	326 kHz	No
40.66 – 40.7 MHz	40 kHz	No
902 – 928 MHz*	26 MHz	Sistemas propietarios antiguos (solo en EEUU y Canadá)
2 400 – 2 500 MHz	100 MHz	802.11, 802.11b, 802.11 g
5 725 – 5 875 MHz	150 MHz	802.11 a
24 – 24.25 GHz	250 MHz	No



BANDA 2,4 GHZ PARA 802.11 SEGÚN REGIONES

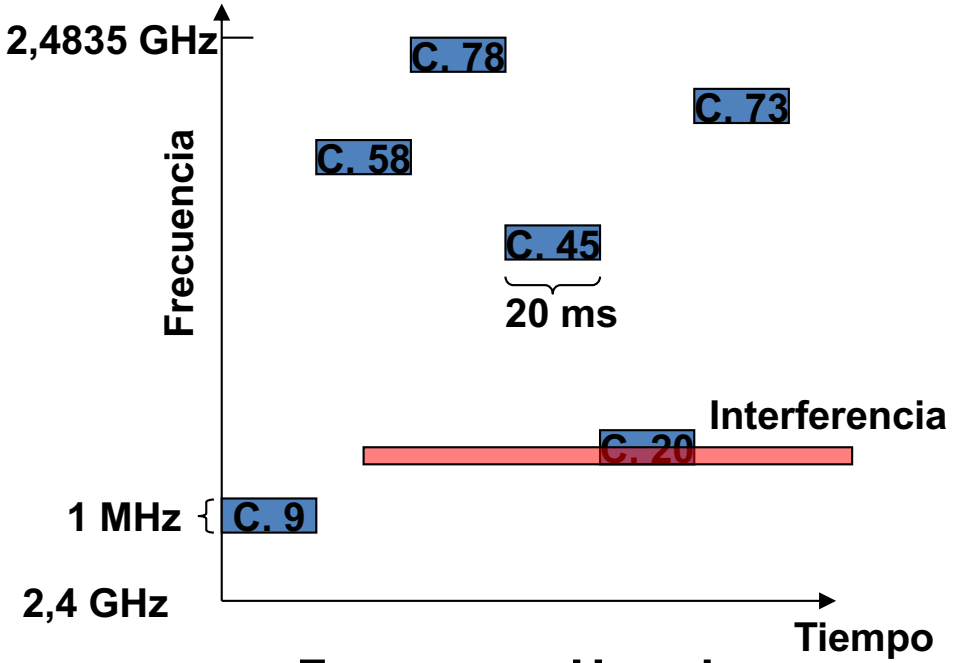
Región ITU-R	Rango	Potencia máxima
1: Europa (excepto España)	2,4000 – 2,4835 GHz	100 mW
Francia	2,4465 – 2,4835 GHz	100 mW
España	2,445 – 2,475 GHz	100 mW
2: EEUU y Canadá	2,400 – 2,4835 GHz	1000 mW
3: Japón	2,471 – 2,497 GHz	10 mW/MHz



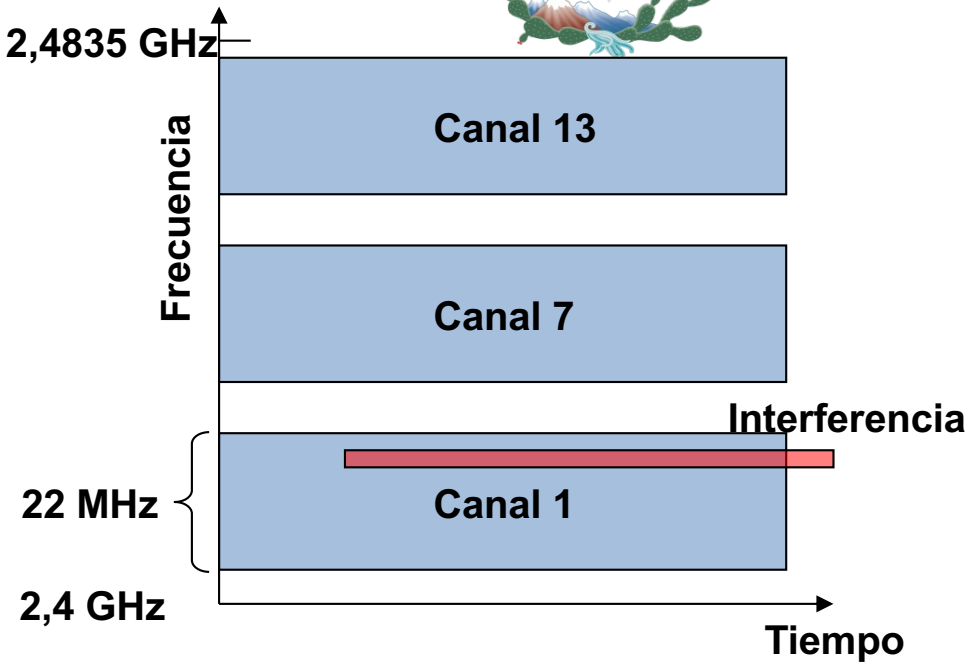
ESPECTRO DISPERSO

- Para reducir la interferencia en la banda de 2,4 GHz las emisiones de más de 1 mW se han de hacer en espectro disperso
- Hay dos formas de hacer una emisión de espectro disperso:
  - Frecuency Hopping (salto de frecuencia). El emisor va cambiando continuamente de canal. El receptor ha de seguirlo.
  - Direct Sequence (secuencia directa). El emisor emplea un canal muy ancho. La potencia de emisión es similar al caso anterior, pero al repartirse en una banda mucho mas ancha la señal es de baja intensidad (poca potencia por Hz).

FREQUENCY HOPPING *VS* DIRECT SEQUENCE



Frequency Hopping

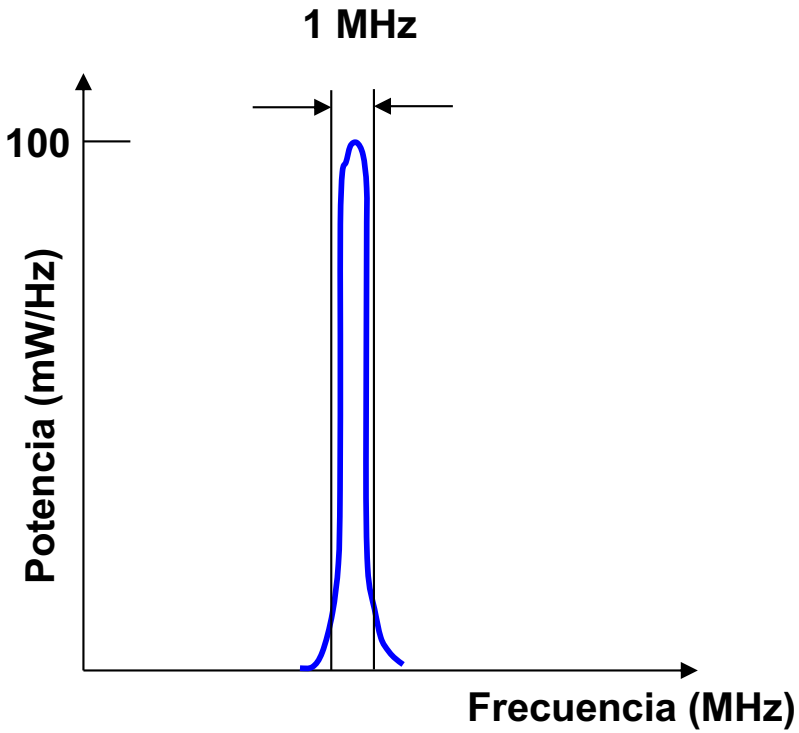


Direct Sequence

- El emisor cambia de canal continuamente (unas 50 veces por segundo)
- Cuando el canal coincide con la interferencia la señal no se recibe; la trama se retransmite en el siguiente salto

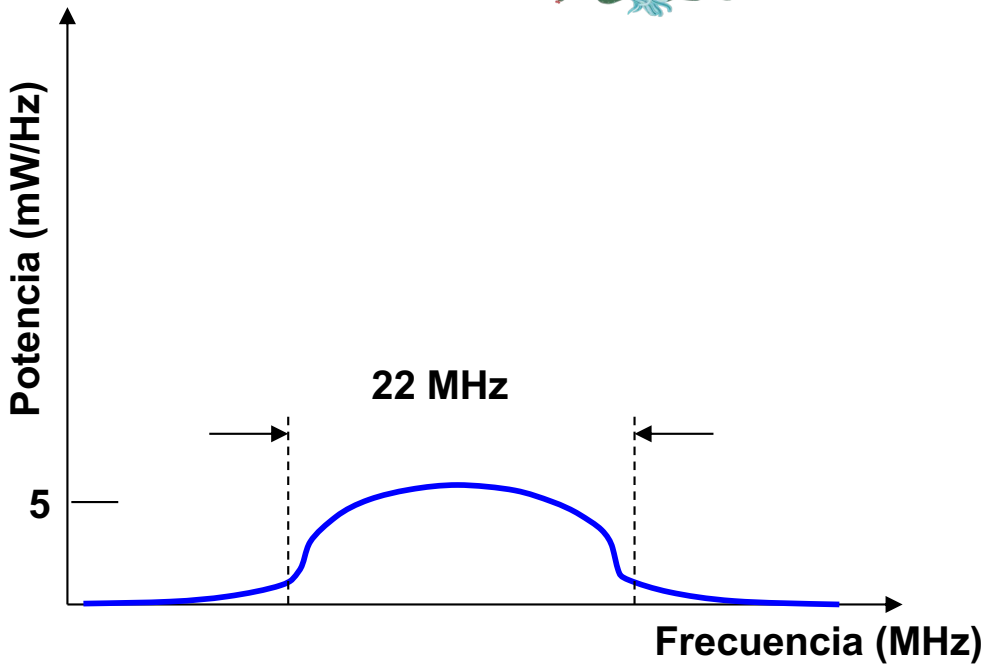
- El canal es muy ancho; la señal contiene mucha información redundante
- Aunque haya intereferencia el receptor puede extraer los datos de la señal

Frequency Hopping *vs* Direct Sequence



Frequency Hopping

Señal concentrada, gran intensidad
Elevada relación S/R
Área bajo la curva: 100 mW



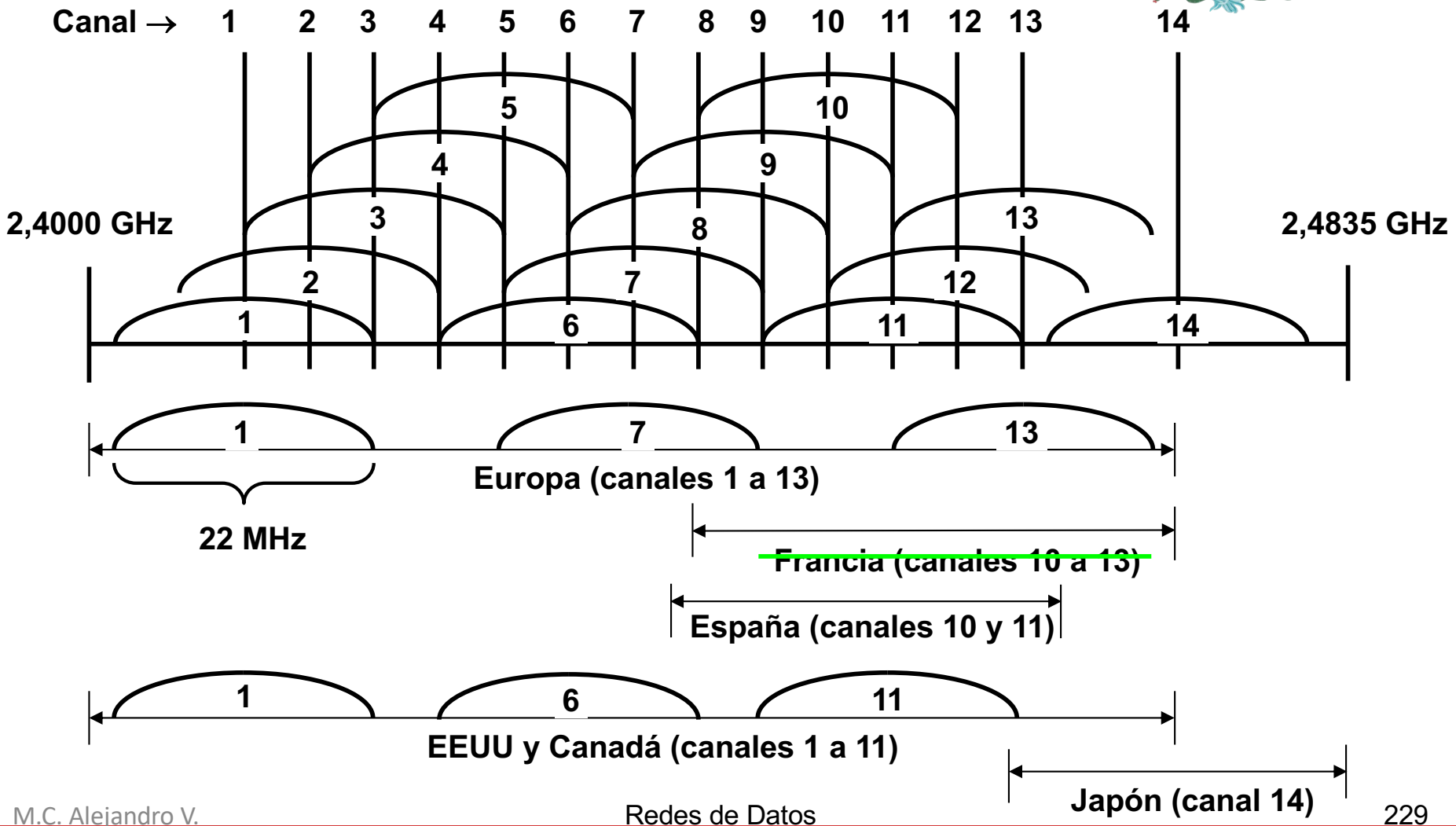
Direct Sequence

Señal dispersa, baja intensidad
Reducida relación S/R
Área bajo la curva: 100 mW

CANALES DSSS A 2,4 GHZ

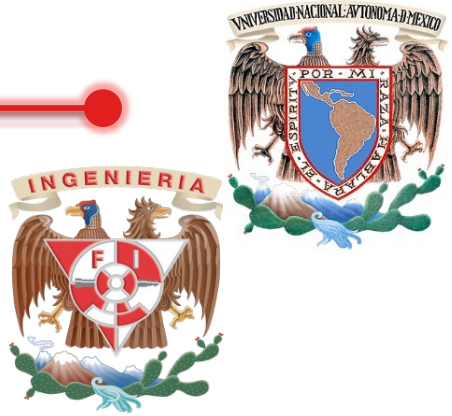
		Región ITU-R o país				
Canal	Frecuencia (MHz)	EEUU y Canadá	Europa	España	Francia	Japón
1	2412	X	X	-	-	-
2	2417	X	X	-	-	-
3	2422	X	X	-	-	-
4	2427	X	X	-	-	-
5	2432	X	X	-	-	-
6	2437	X	X	-	-	-
7	2442	X	X	-	-	-
8	2447	X	X	-	-	-
9	2452	X	X	-	-	-
10	2457	X	X	X	X	-
11	2462	X	X	X	X	-
12	2467	-	X	-	X	-
13	2472	-	X	-	X	-
14	2484	-	-	-	-	X

REPARTO DE CANALES DSSS A 2,4GHZ



CANALES DSSS SIMULTÁNEOS

- Si se quiere utilizar más de un canal en una misma zona hay que elegir frecuencias que no se traslapen. El máximo es de tres canales:
  - EEUU y Canadá: Canales 1, 6 y 11
  - Europa: Canales 1, 7 y 13
  - España y Japón: no se puede utilizar más de un canal simultáneamente
- Francia, que tenía una normativa similar a España, la ha suprimido recientemente para adecuarla al resto de Europa
- Con diferentes canales se constituyen LANs inalámbricas independientes en una misma zona



BANDA DE 5 GHZ (802.11A)

- Para 802.11a el IEEE ha elegido la banda de 5 GHz, que permite canales de mayor ancho de banda
- Un equipo 802.11a no puede interoperar con uno 802.11b. La parte de radio es completamente diferente
- En EEUU la FCC ya ha asignado esta banda para 802.11a
- En Europa esta banda está asignada hace tiempo a HIPERLAN/2, WLAN de alta velocidad estandarizada por ETSI (European Telecommunications Standards Institute) poco utilizada en la práctica.
- La aprobación de 802.11a en Europa ha requerido de modificaciones que le permitan coexistir con HIPERLAN/2

CANALES 802.11A A 5 GHZ

Canal	Frecuencia central (MHz)	Región ITU-R o país				
		América	Japón	Singapur	Taiwan	Europa
34	5170	-	X	-	-	
36	5180	X	-	X	-	X
38	5190	-	X	-	-	
40	5200	X	-	X	-	X
42	5210	-	X	-	-	
44	5220	X	-	X	-	X
46	5230	-	X	-	-	
48	5240	X	-	X	-	X
52	5260	X	-	-	X	X
56	5280	X	-	-	X	X
60	5300	X	-	-	X	X
64	5320	X	-	-	X	X
100	5500	-	-	-	-	X
104	5520	-	-	-	-	X
108	5540	-	-	-	-	X
112	5560	-	-	-	-	X
116	5580	-	-	-	-	X
120	5600	-	-	-	-	X
124	5620	-	-	-	-	X
128	5640	-	-	-	-	X
132	5660	-	-	-	-	X
136	5680	-	-	-	-	X
140	5700	-	-	-	-	X

Anchura de canal: 20 MHz

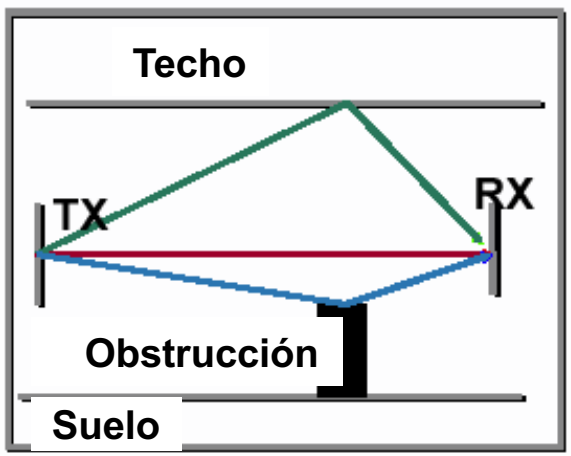
VENTAJAS/INCONVENIENTES DE 802.11A (5 GHZ)

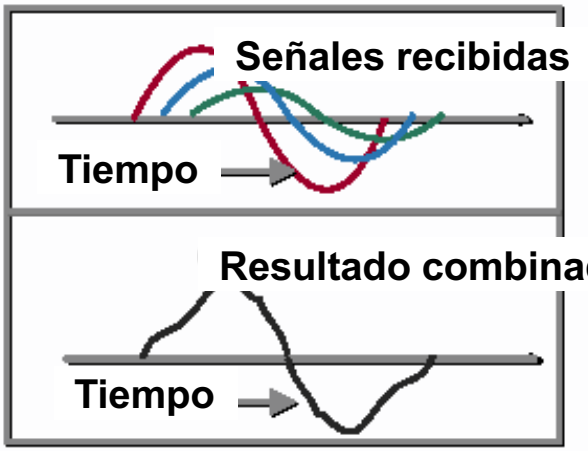
- Ventajas:
  - Sufre menos interferencias que 802.11b/g (2,4 GHz): Bluetooth y microondas.
  - Tiene más canales. Es más fácil diseñar una cobertura de celdas utilizando canales diferentes de forma que no se interfieran.
- Inconvenientes:
  - Menor alcance
  - Mayor costo
  - Mayor consumo

INTERFERENCIAS

- Externas:
  - Bluetooth interfiere con FHSS (usan la misma banda). No interfiere con DSSS.
  - Los hornos de microondas (funcionan a 2,4 GHz) interfieren con FHSS. También hay reportadas interferencias entre hornos de microondas y 802.11 FHSS(misma banda). A DSSS no le afectan.
  - Otros dispositivos que funciona en 2,4 GHz (teléfonos inalámbricos, mandos a distancia de puertas de garage, etc.) tienen una potencia demasiado baja para interferir con las WLANs
  - En los sistemas por infrarrojos la luz solar puede afectar la transmisión
- Internas (de la propia señal):
  - Debidas a multi-trayectoria

Interferencia debida a la multi-trayectoria





- **Se produce interferencia debido a la diferencia de tiempo entre la señal que llega directamente y la que llega reflejada por diversos obstáculos.**
- **La señal puede llegar a anularse por completo si el retraso de la onda reflejada coincide con media longitud de onda. En estos casos un leve movimiento de la antena resuelve el problema.**
- **FHSS es más resistente a la interferencia multi-trayectoria que DSSS. Pero hoy en día este problema se resuelve con antenas diversidad**

ANTENAS DIVERSIDAD

- Se utilizan, normalmente en los puntos de acceso, para minimizar la interferencia multi-trayectoria.

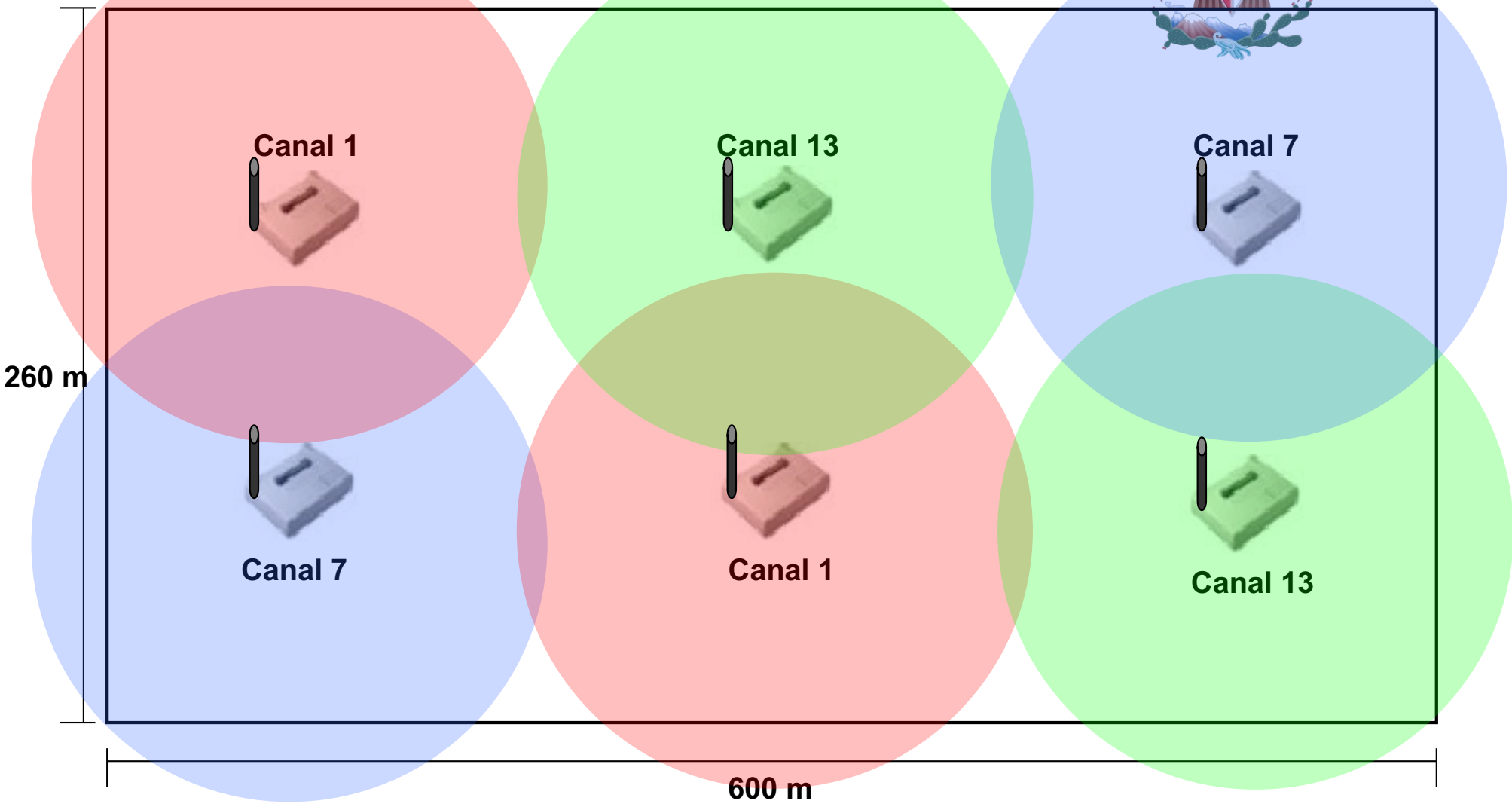
  El proceso es el siguiente:
  - El equipo recibe la señal por las dos antenas y compara, eligiendo la que le da mejor calidad de señal. El proceso se realiza de forma independiente para cada trama recibida, utilizando el preámbulo (128 bits en DSSS) para hacer la medida
  - Para emitir a una estación se usa la antena que dio mejor señal la última vez que se recibió algo de ella
  - Si la emisión falla (no se recibe el ACK) cambia a la otra antena y reintenta
- Las dos antenas cubren la misma zona
- Al resolver el problema de la interferencia multi-trayectoria de DSSS el uso de FHSS ha caído en desuso

REDES INALÁMBRICAS 802.11

- Comparación tecnologías inalámbricas móviles, historia y Modelo de Referencia
- Nivel físico
- Arquitectura y Nivel MAC
- Diseño de redes
- Puentes inalámbricos
- IP móvil

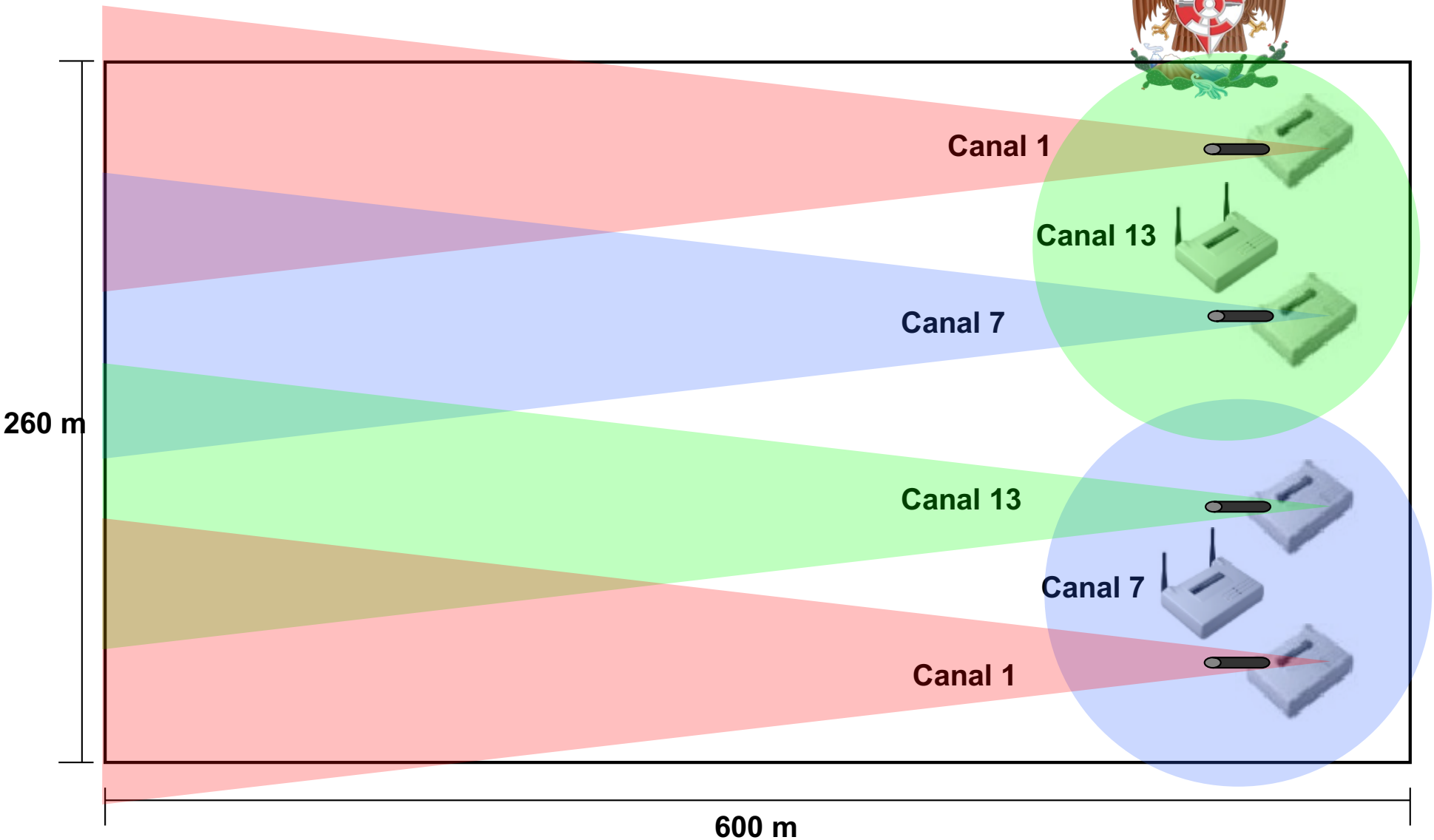
LAN inalámbrica en un almacén (caso 1)

- **Adquirir los RJ45 (100BASE-TX) disponibles por todo el almacén para conexión de los AP**
- **Antenas omnidireccionales de mástil de alta ganancia (5,2 dBi)**



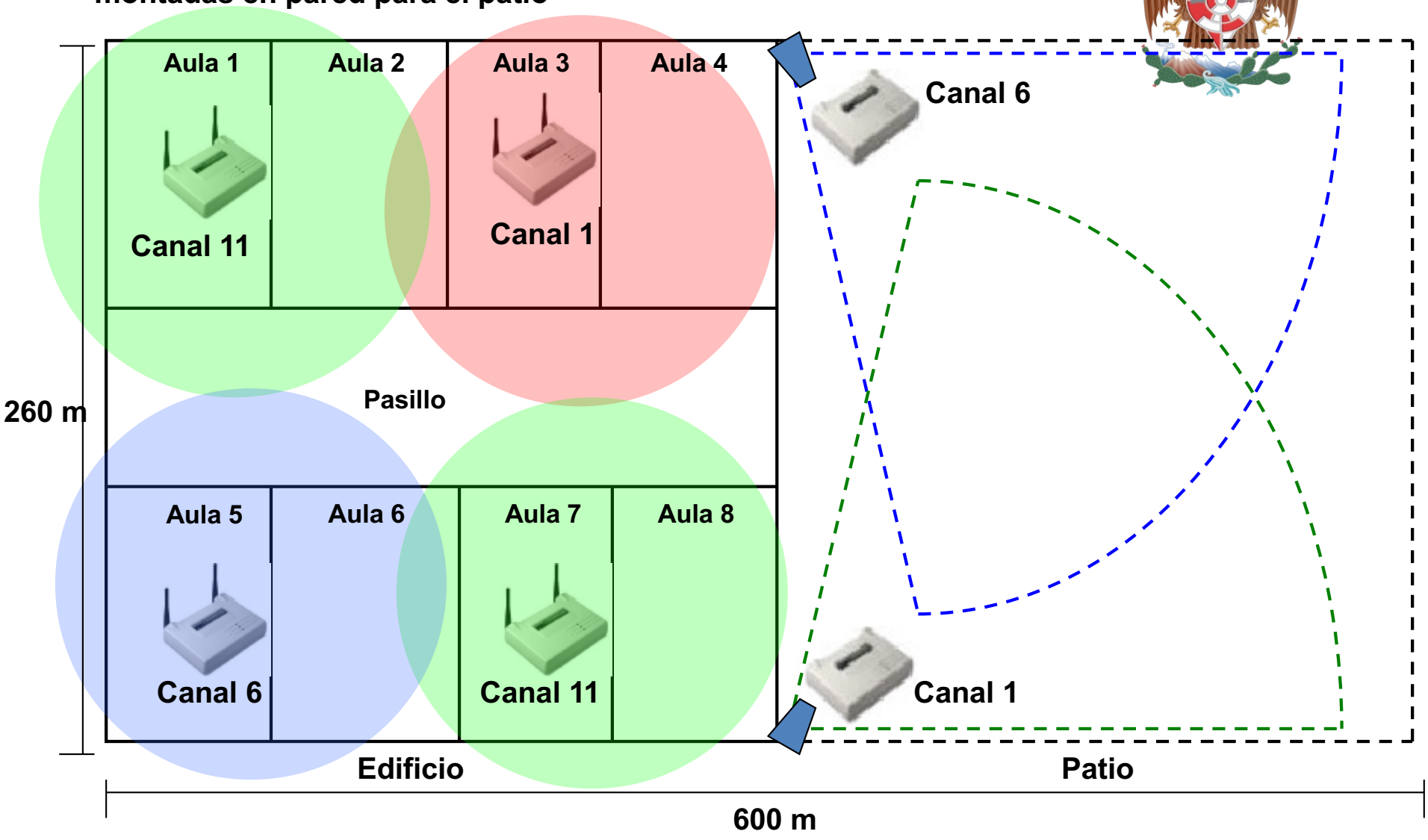
LAN inalámbrica en un almacén (caso 2)

- Adquirir RJ45 (100BASE-TX) disponibles sólo en un lado del almacén
- Antenas Yagi (13,5 dBi) y Dipolo diversidad(2,14 dBi)



LAN inalámbrica en un campus

•Antenas dipolo diversidad (2,14dBi) en las aulas y de parche (8,5 dBi) montadas en pared para el patio

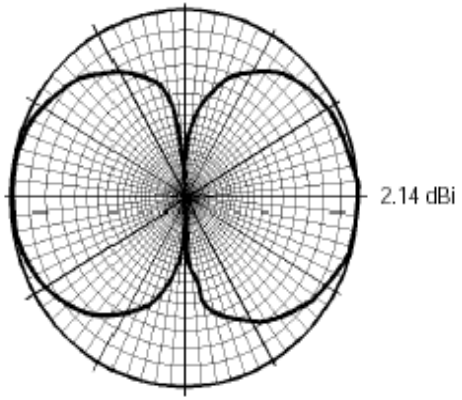


Ejemplos de antenas

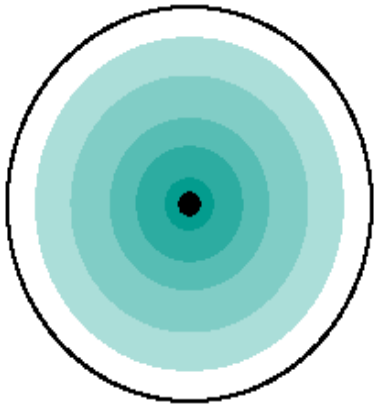
Antena dipolo diversidad para contrarrestar efectos multi-trayectoria (2,14 dBi)

Antena de parche para montaje en pared interior o exterior (8,5 dBi)
Alcance: 3 Km a 2 Mb/s, 1 Km a 11 Mb/s

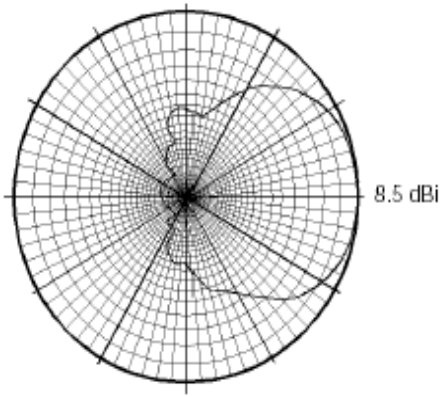
Vertical Radiation



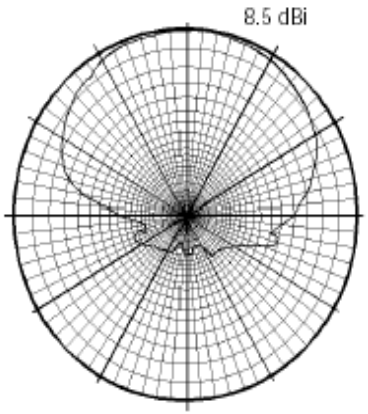
Radiación horizontal



Vertical Radiation



Horizontal Radiation



RELACIÓN ANTENA-POTENCIA

- Las normativas fijan una potencia máxima de emisión y una densidad de potencia. Por tanto con una antena de mucha ganancia es preciso reducir la potencia.
- Los límites varían según el 'dominio regulatorio'. Por ejemplo en el caso de EMEA (Europa, Medio Oriente y África) los límites son los de la tabla adjunta.

Ganancia (dBi)	Pot. Máx. (mW)
0	100
2,2	50
5,2	30
6	30
8,5	5
12	5
13,5	5
21	1

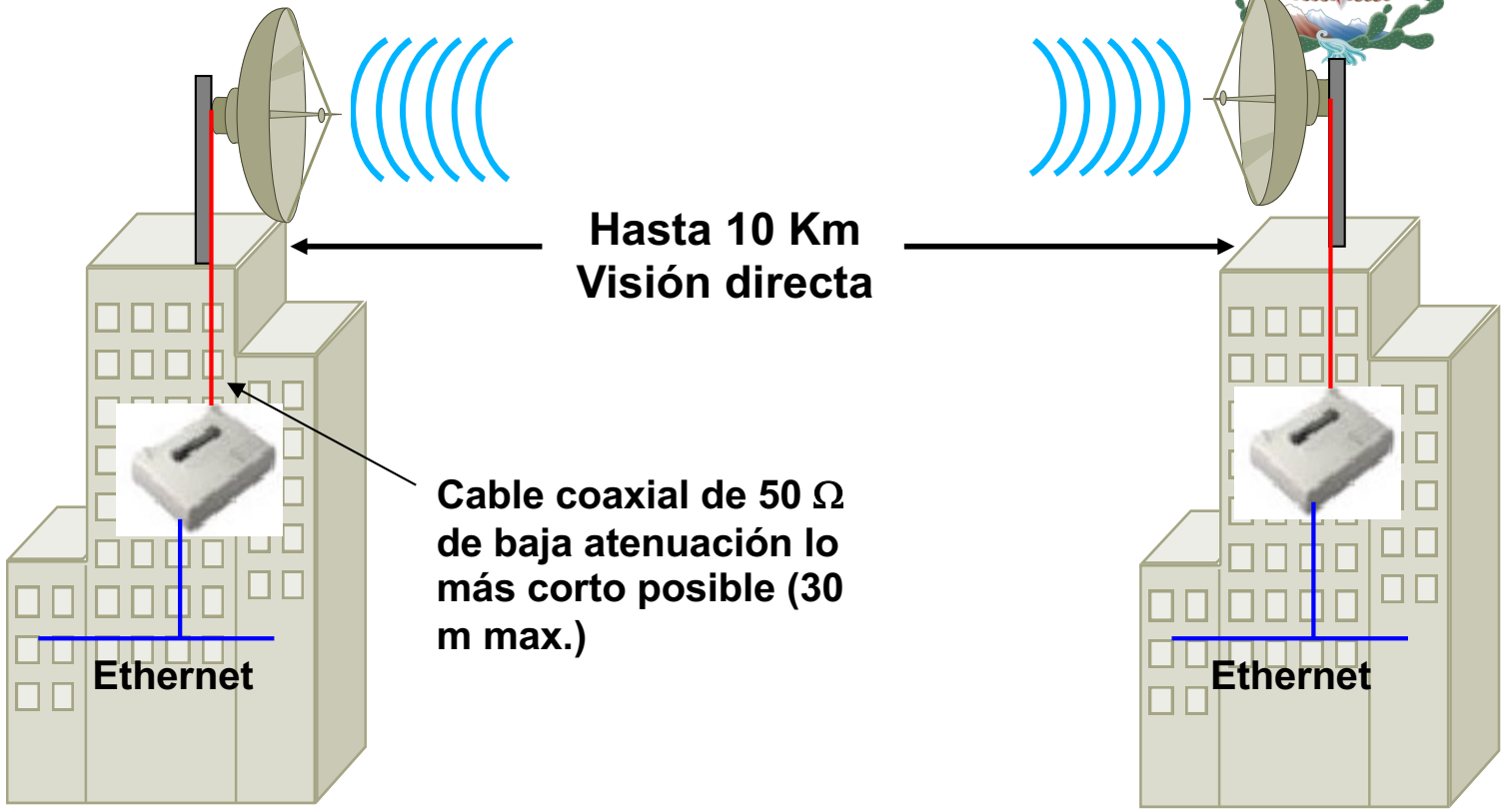
REDES INALÁMBRICAS 802.11

- Comparación tecnologías inalámbricas móviles, historia y Modelo de Referencia
- Nivel físico
- Arquitectura y Nivel MAC
- Diseño de redes
- Puentes inalámbricos
- IP móvil

PUENTES INALÁMBRICOS ENTRE LAN'S

- Los sistemas de transmisión vía radio de las LAN's inalámbricas puedes aprovecharse para unir LAN's entre sí.
- Esto permite en ocasiones un ahorro considerable de costos en alquiler de circuitos telefónicos.
- Los dispositivos que se utilizan son puentes. inalámbricos, parecidos a los puntos de acceso.
- Como los puntos a unir no son móviles se pueden usar antenas muy direccionales, con lo que el alcance puede ser considerable.

Configuración punto a punto

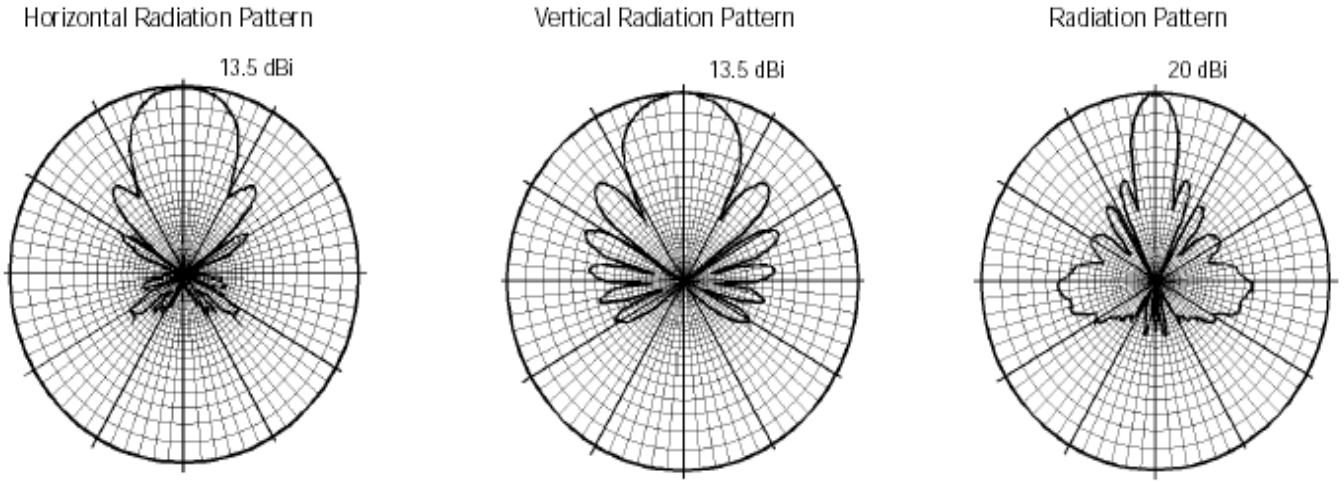


Restricciones ETSI: **Ganancia máxima: 20 dBi (antena parabólica)**
Potencia máxima: 100 mW

Alcance máximo: 10 Km (visión directa)

Antenas de largo alcance

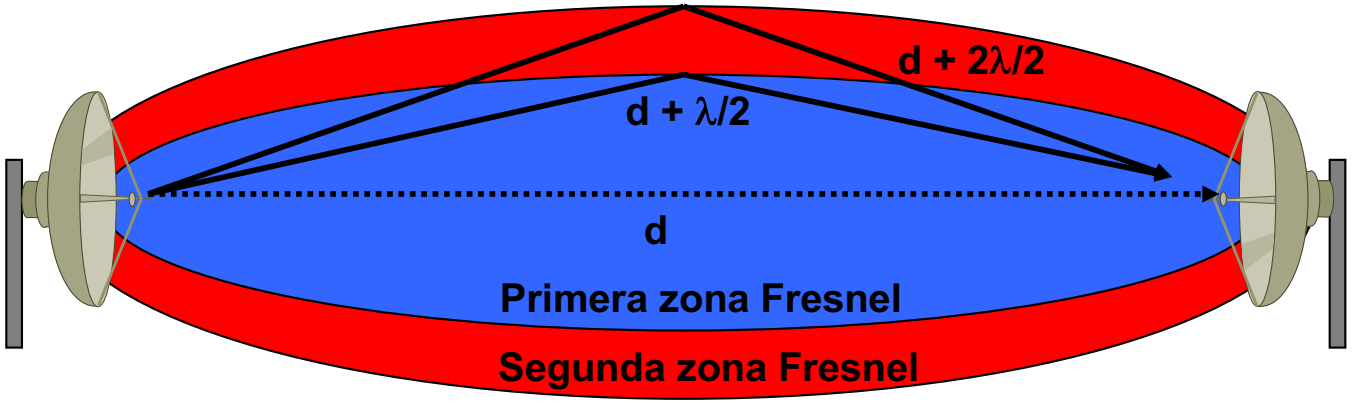
Antena Yagi exterior (13,5 dBi)
Alcance: 6 Km a 2 Mb/s
2 Km a 11 Mb/s



Antena Parabólica exterior (20 dBi)
Alcance:
10 Km a 2 Mb/s
4,5 Km a 11 Mb/s

¿Qué se entiende por visión directa?

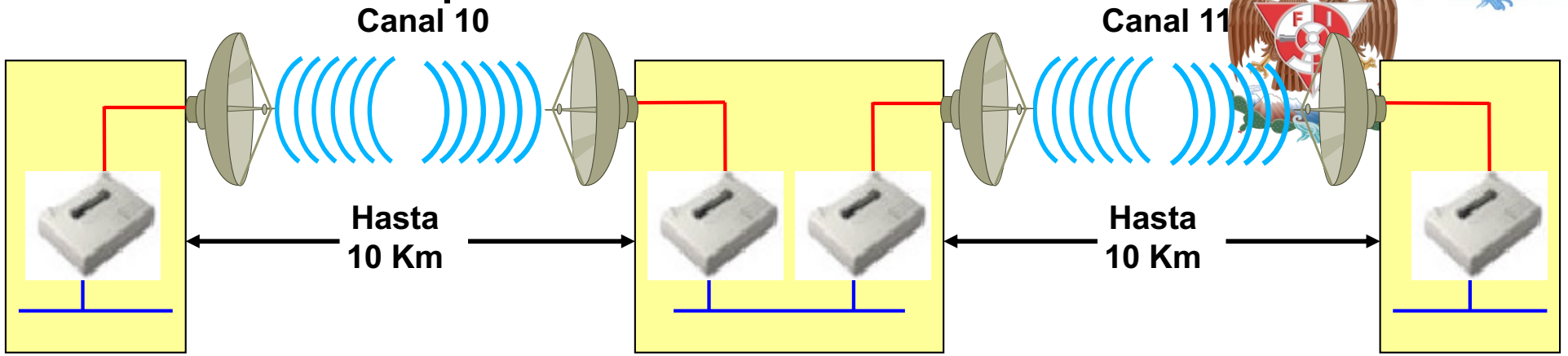
- **No basta con ver la otra antena, es preciso tener una visión 'amplia'**
- **En realidad se requiere una elipse libre de obstáculos entre antenas**
- **La vegetación puede crecer y obstaculizar la visión en alguna época del año**



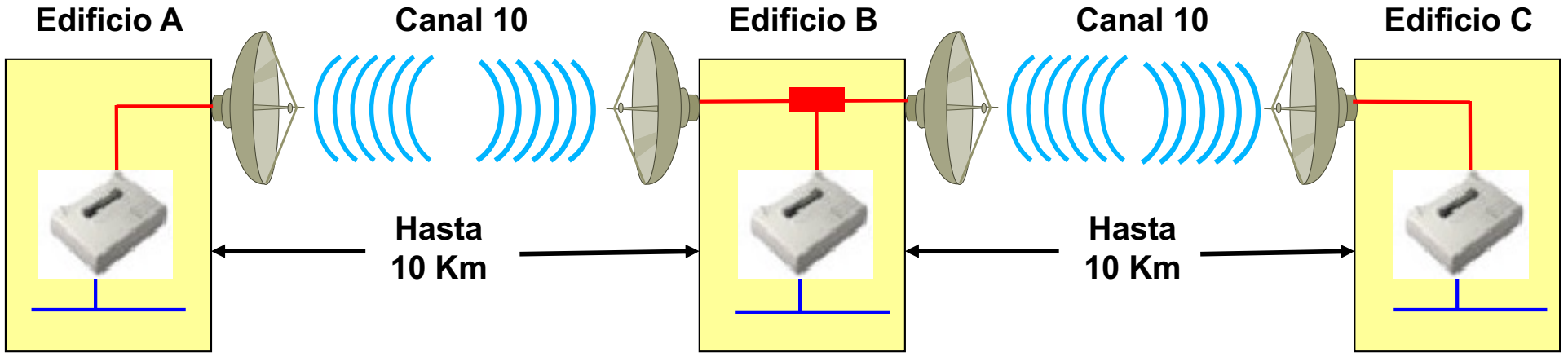
Anchura zona Fresnel para 2,4 GHz:

Distancia	100 m	500 m	2 Km	10 Km
1ª Zona Fresnel	3,5 m	8 m	16 m	36 m
2ª Zona Fresnel	5 m	12 m	22 m	50 m

Técnicas para aumentar el alcance



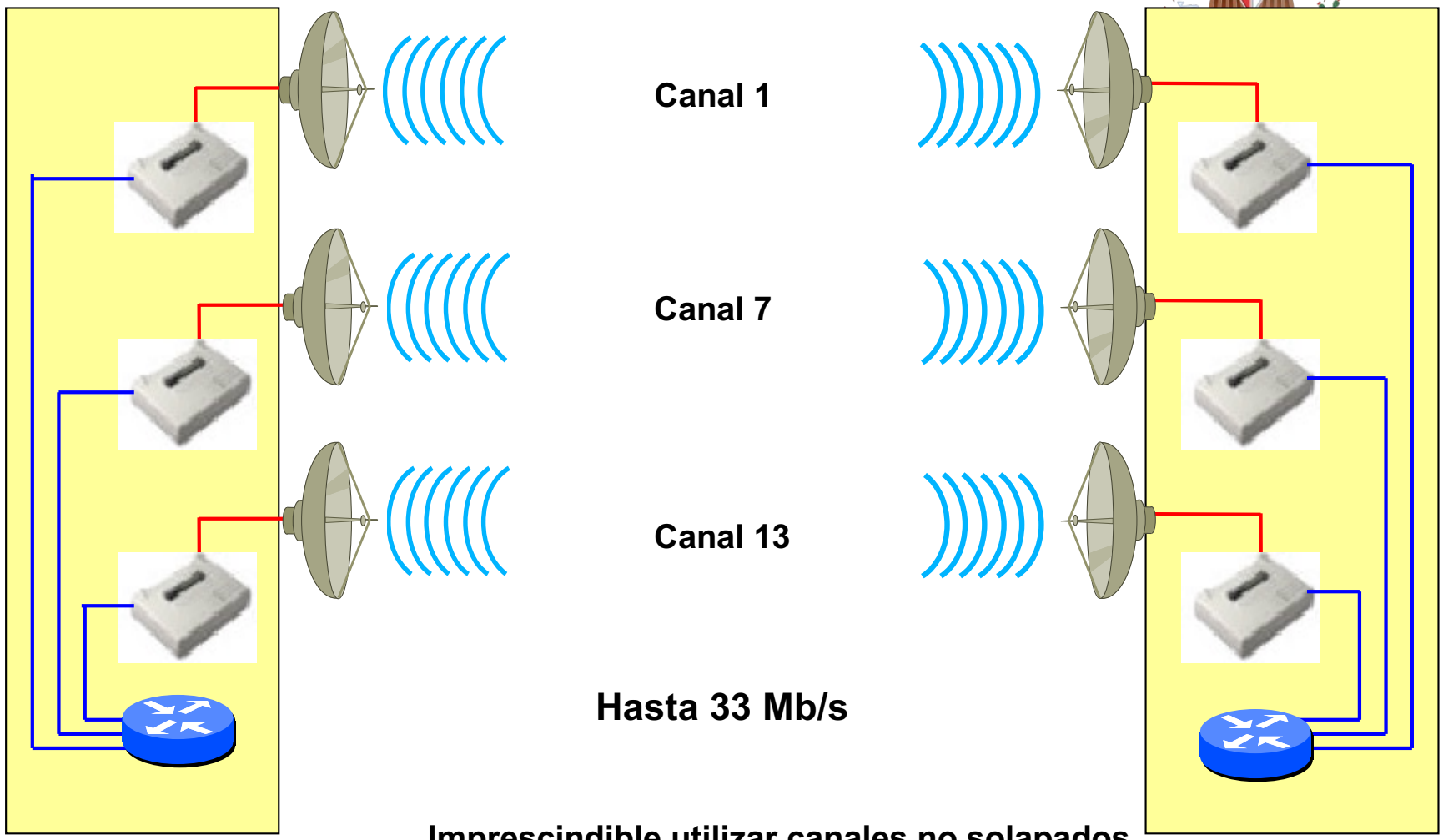
Hasta 11 Mb/s para cada enlace



Hasta 11 Mb/s, compartidos entre ambos enlaces

Posible problema de estación oculta (entre A y C). Necesidad de utilizar mensajes RTS/CTS

Técnicas para aumentar la capacidad



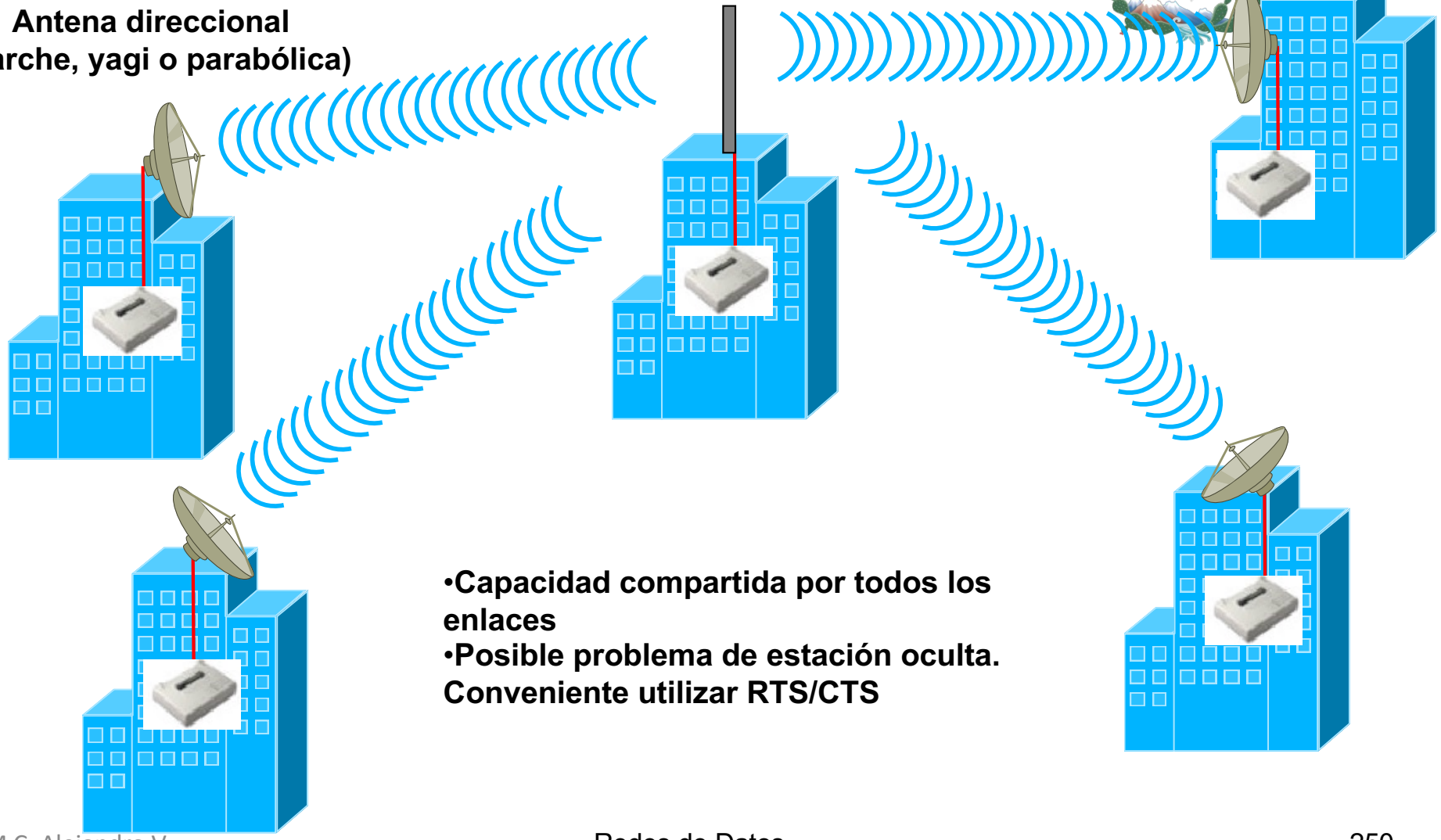
Hasta 33 Mb/s

Imprescindible utilizar canales no solapados

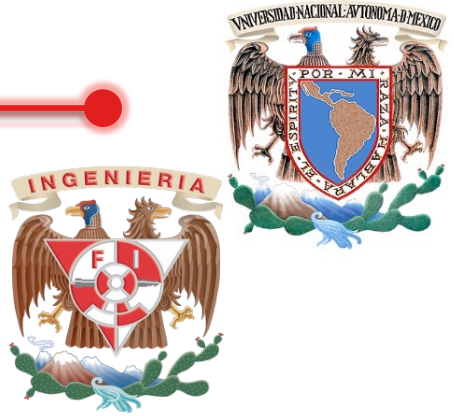
Configuración multipunto

Antena omnidireccional o de parche (o varias parabólicas)

Antena direccional (parche, yagi o parabólica)



- **Capacidad compartida por todos los enlaces**
- **Posible problema de estación oculta. Conveniente utilizar RTS/CTS**



PRECIOS PRODUCTOS 802.11B (ORIENTATIVOS)

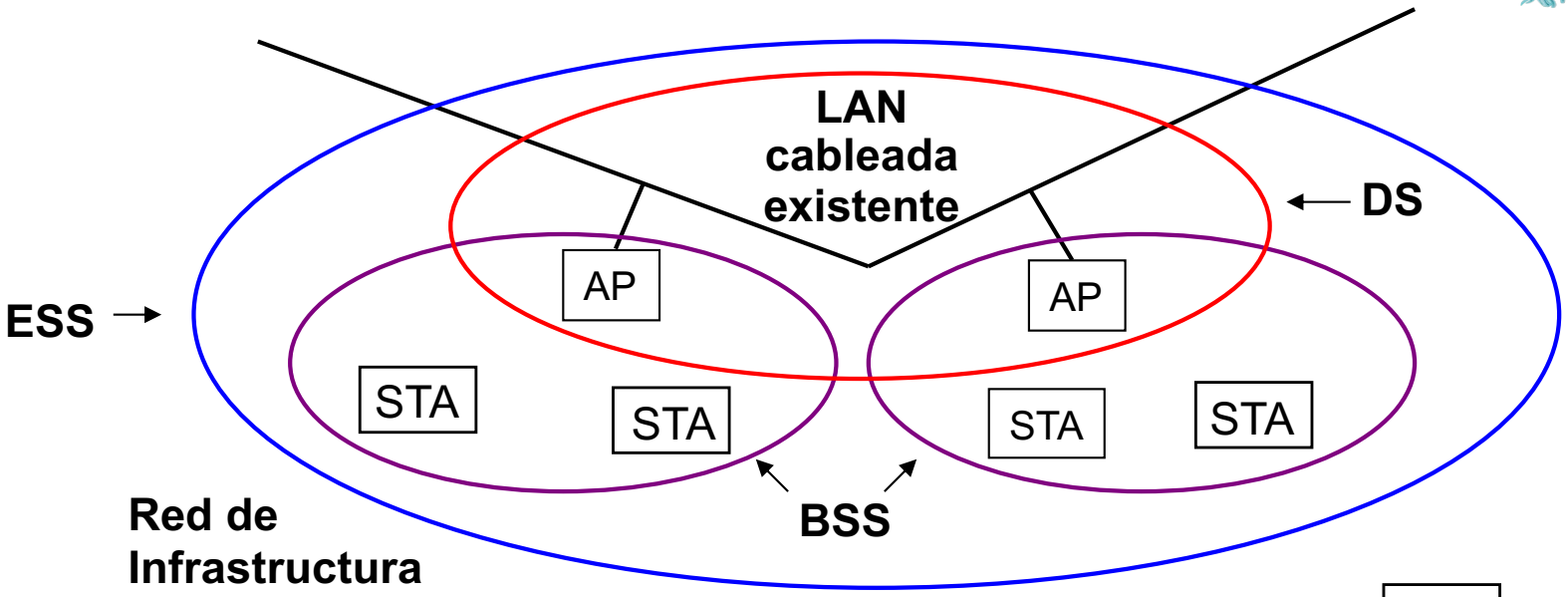
Equipos	
Tarjeta PCMCIA	300 €
Tarjeta PCI	500 €
Punto de acceso	2000 €
Puente	2600 €

Antenas	
Dipolo estándar (2,14 dBi)	60 €
Omnidireccional alta ganancia (5,2 dBi)	160 €
Dipolo Diversidad (2,14 dBi)	250 €
Parche (8,5 dBi)	300 €
Yagi (13,5 dBi)	490 €
Parabólica (20 dBi)	1400 €

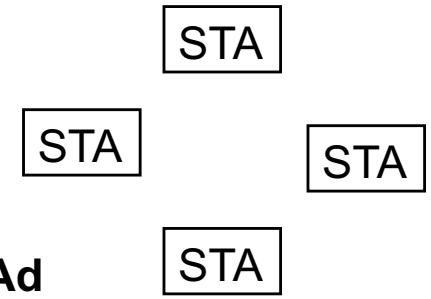
REDES INALÁMBRICAS 802.11

- Comparación tecnologías inalámbricas móviles, historia y Modelo de Referencia
- Nivel físico
- Arquitectura y Nivel MAC
- Diseño de redes
- Puentes inalámbricos
- IP móvil

ARQUITECTURA DE 802.11

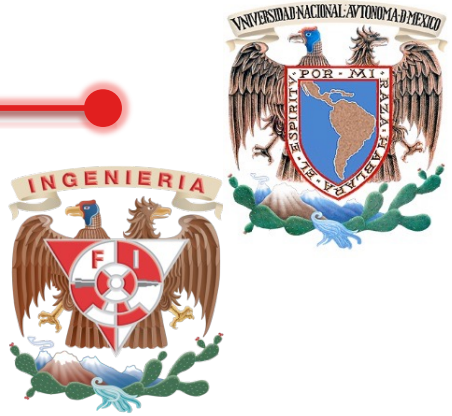


STA: Station
AP: Access Point
DS: Distribution System
BSS: Basic Service Set
ESS: Extended Service Set



Red Ad Hoc

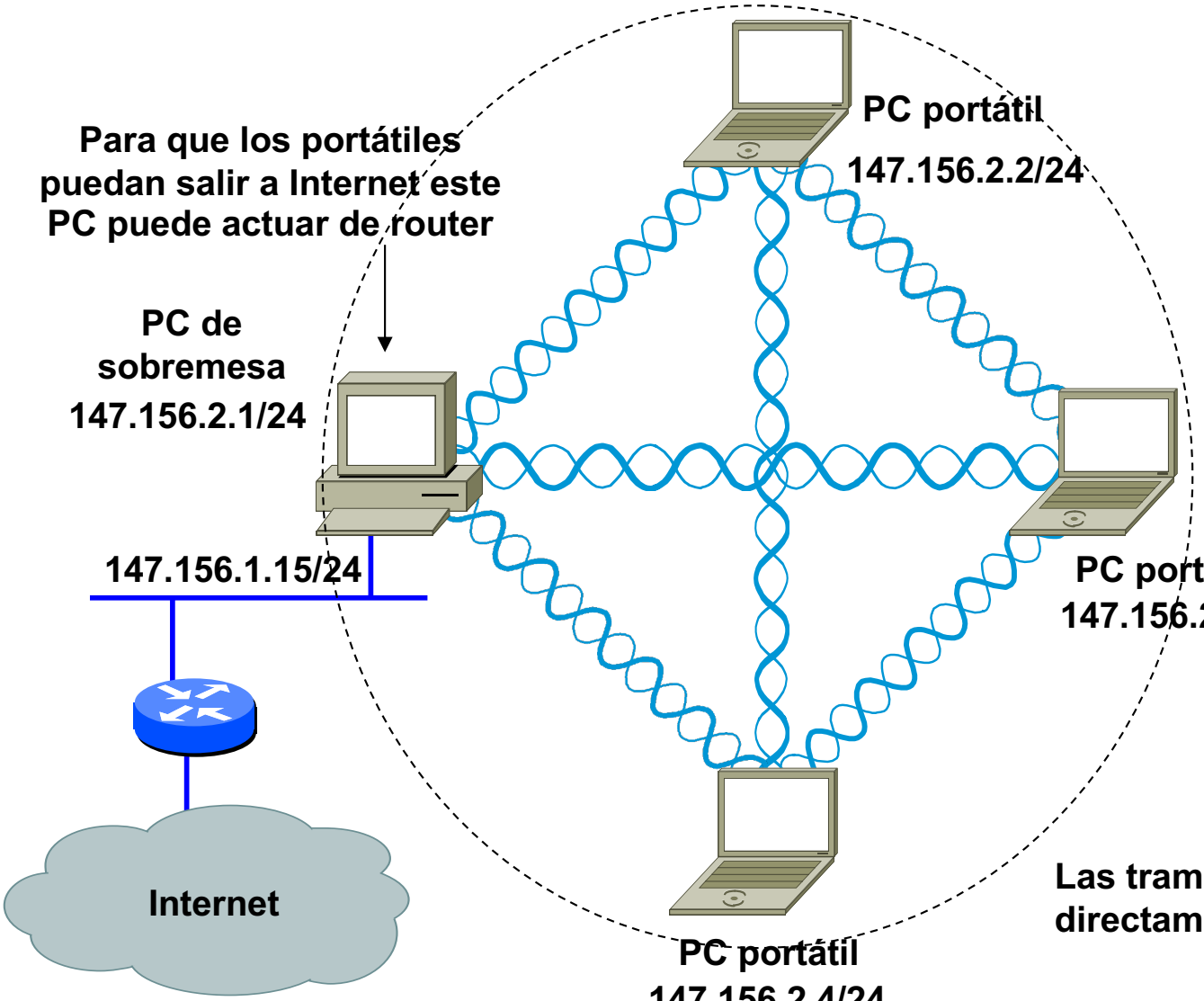
BSS



MODOS DE OPERACIÓN

- DCF (Distributed Coordination Function). No hay un control centralizado de la red, todas las estaciones son iguales. Es el modo normal en las redes Ad hoc
- PCF (Point Coordination Function). El AP controla todas las transmisiones. Solo puede usarse en modo infraestructura (con puntos de acceso). Su implementación es opcional

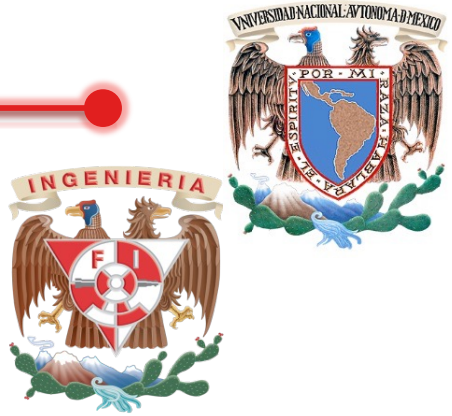
Red 'ad hoc' o BSS (Basic Service Set)



Tarjeta PCI

Tarjeta PCMCIA

Las tramas se transmiten directamente de emisor a receptor



PROTOCOLO MAC DE 802.11

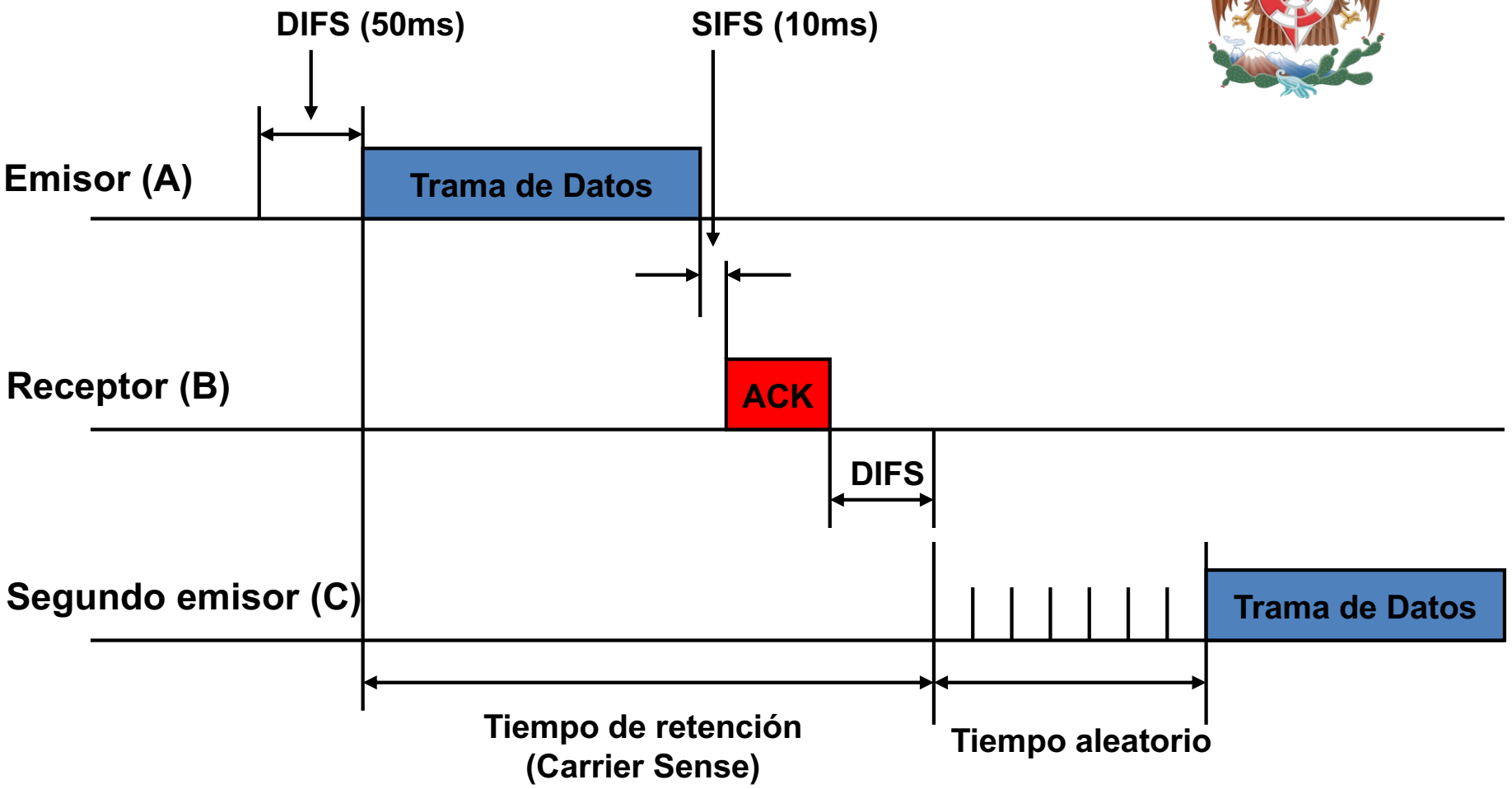
- El protocolo MAC utiliza una variante de Ethernet llamada CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Colision Avoidance).

- No puede usarse CSMA/CD porque el emisor de radio una vez empieza a transmitir no puede detectar si hay otras emisiones en marcha (no puede distinguir otras emisiones de la suya propia)

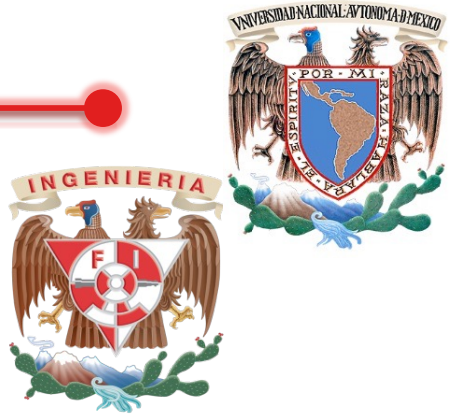
PROTOCOLO CSMA/CA

- Cuando una estación quiere enviar una trama escucha primero para ver si alguien está transmitiendo.
- Si el canal está libre la estación transmite.
- Si está ocupado se espera a que el emisor termine y reciba su ACK, después se espera un tiempo aleatorio y transmite. El tiempo en espera se mide por intervalos de duración constante.
- Al terminar espera a que el receptor le envíe una confirmación (ACK). Si esta no se produce dentro de un tiempo prefijado considera que se ha producido una colisión, en cuyo caso repite el proceso desde el principio.

ALGORITMO DE RETROCESO DE CSMA/CA



DIFS: DCF (Distributed Coordination Function) Inter Frame Space
SIFS: Short Inter Frame Space



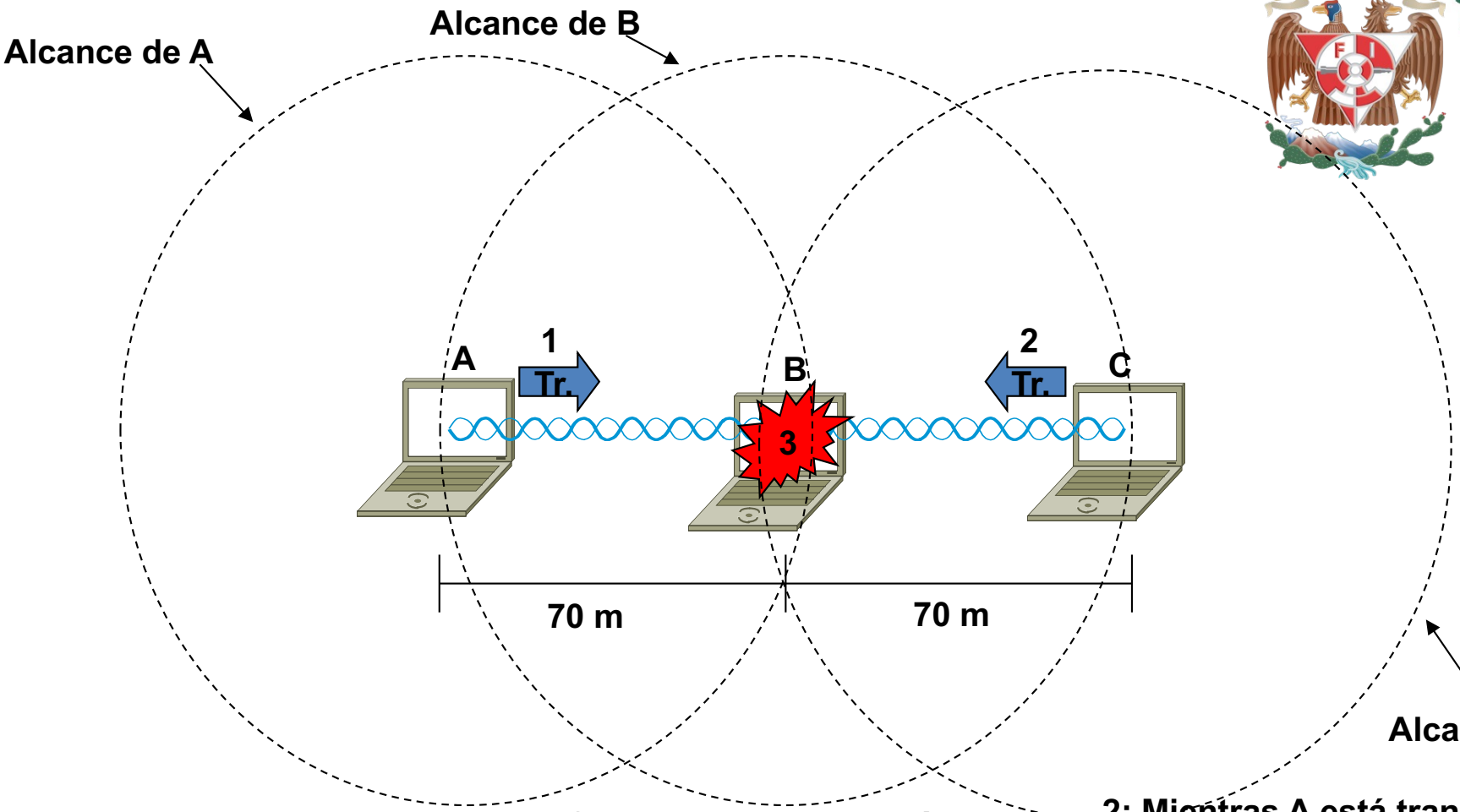
COLISIONES

- Pueden producirse porque dos estaciones a la espera elijan el mismo número de intervalos (mismo tiempo aleatorio) para transmitir después de la emisión en curso.
- En ese caso reintentan ampliando exponencialmente el rango de intervalos y vuelven a elegir. Es similar a Ethernet salvo que las estaciones no detectan la colisión, infieren que se ha producido cuando no reciben el ACK esperado
- También se produce una colisión cuando dos estaciones deciden transmitir a la vez, o casi a la vez. Pero este riesgo es mínimo. Para una distancia entre estaciones de 70m el tiempo que tarda en llegar la señal es de 0,23 μs

FRAGMENTACIÓN

- En el nivel MAC de 802.11 se prevé la posibilidad de que el emisor fragmente una trama para enviarla en trozos más pequeños.
- Por cada fragmento se devuelve un ACK por lo que en caso necesario es retransmitido por separado.
- Si el emisor ve que las tramas no están llegando bien puede decidir fragmentar las tramas grandes para que tengan mas probabilidad de llegar al receptor.
- La fragmentación permite enviar datos en entornos con mucho ruido, aun a costa de aumentar el overhead.
- Todas las estaciones están obligadas a soportar la fragmentación en recepción, pero no en transmisión.

El problema de la estación oculta

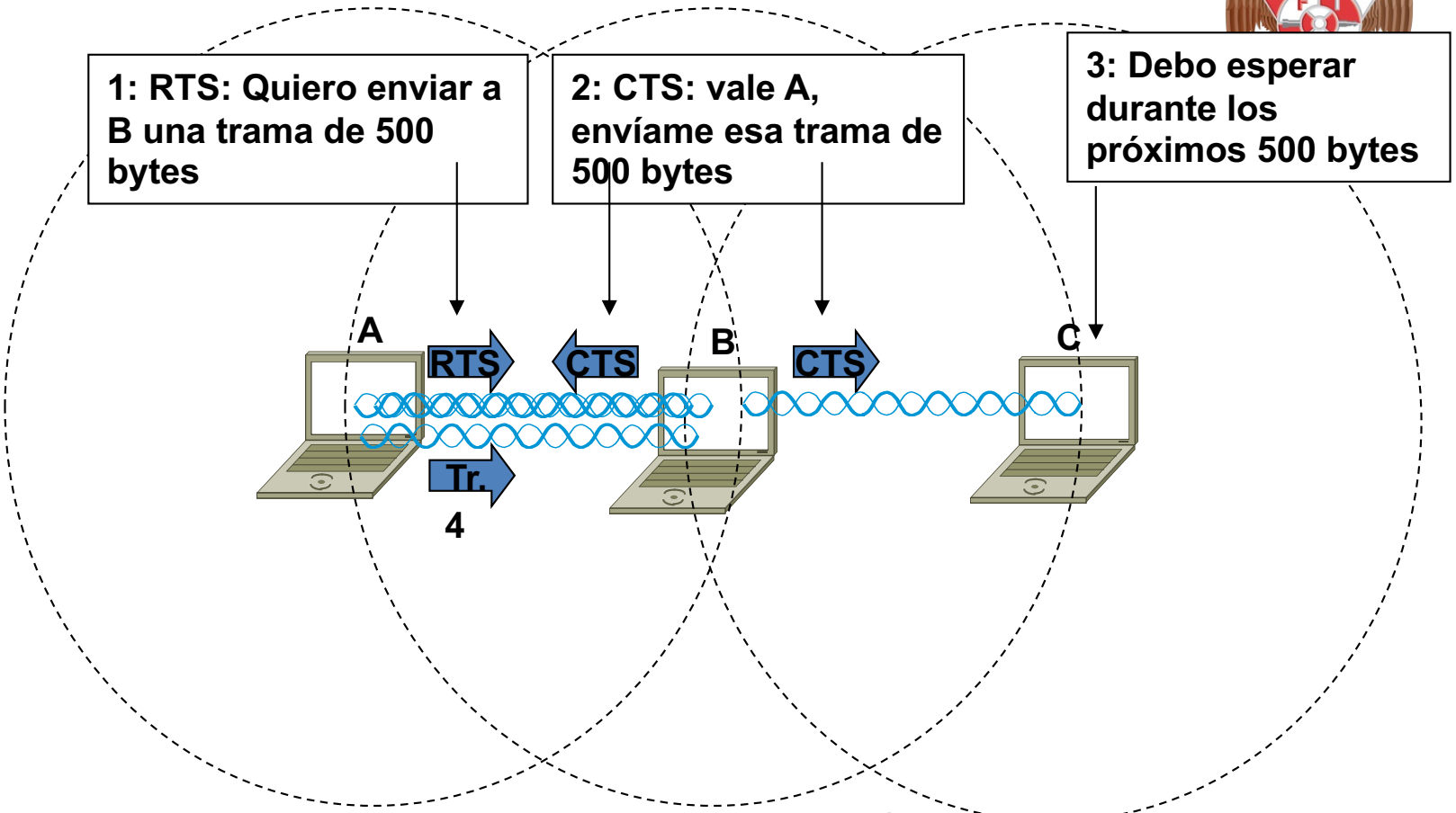


1: A quiere transmitir una trama a B. Detecta el medio libre y transmite

3. Se produce una colisión en la intersección por lo que B no recibe ninguna de las dos tramas

2: Mientras A está transmitiendo C quiere enviar una trama a B. Detecta el medio libre (pues no capta la emisión de A) y transmite

Solución al problema de la estación oculta



1: Antes de transmitir la trama A envía un mensaje RTS (Request To Send)

2: B responde al RTS con un CTS (Clear To Send)

3. C no capta el RTS, pero sí el CTS. Sabe que no debe transmitir durante el tiempo equivalente a 500 bytes

4. A envía su trama seguro de no colisionar con otras estaciones

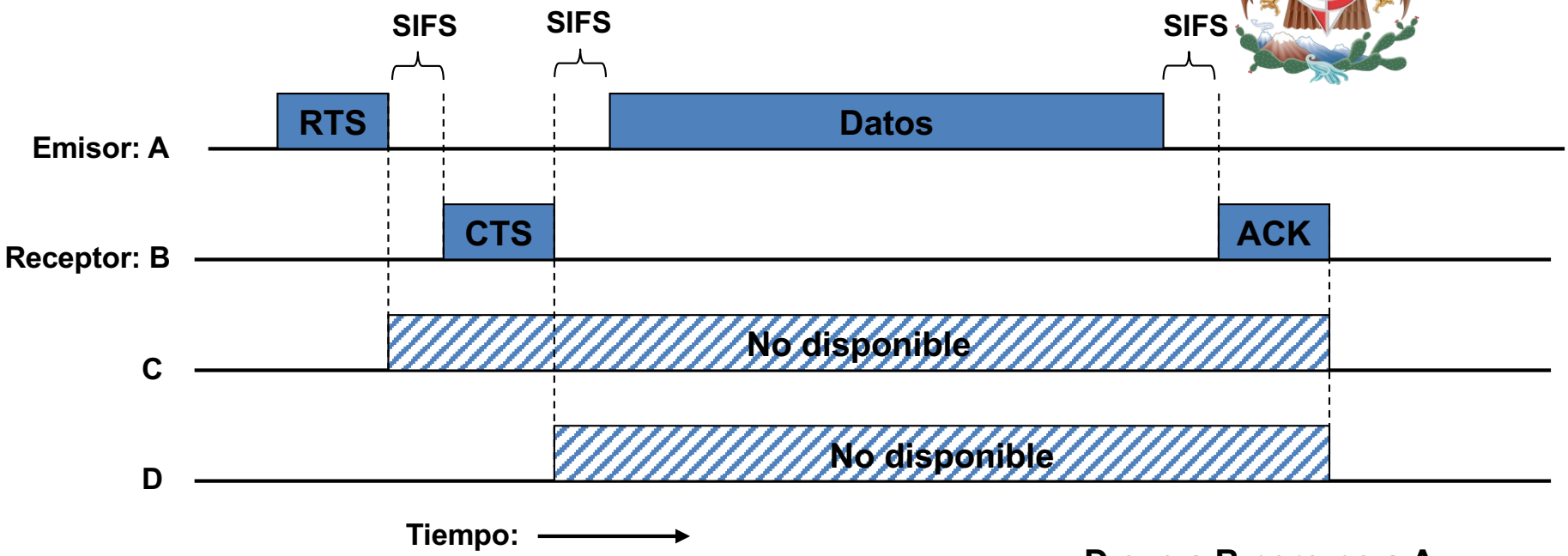
RTS/CTS

- El uso de mensajes RTS/CTS se denomina a veces *Virtual Carrier Sense.*
- Permite a una estación reservar el medio durante una trama para su uso exclusivo.
- Si todas las estaciones se ‘escuchan’ directamente entre sí el uso de RTS/CTS no aporta nada y supone un overhead importante, sobre todo en tramas pequeñas.
- No todos los equipos soportan el uso de RTS/CTS. Lo que lo soportan permiten indicar en un parámetro de configuración a partir de que tamaño de trama se quiere utilizar RTS/CTS. También se puede deshabilitar por completo su uso, cosa bastante habitual

PROTOCOLO MAC MODO PCF

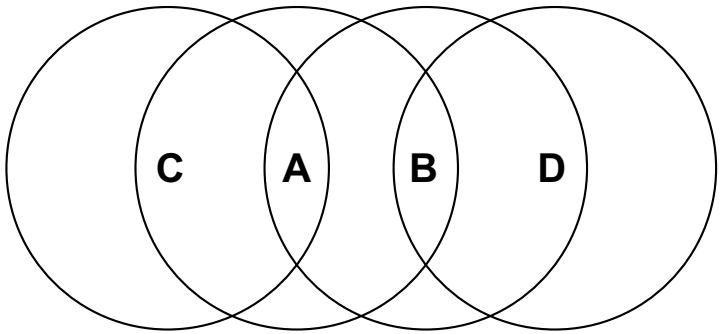
- Solo puede darse cuando hay un punto de acceso o AP (red de infraestructura).
- Cuando una estación se quiere conectar a la red primero se ha de asociar a un AP.
- El AP interroga a todas las estaciones 10 a 100 veces por segundo y les pregunta si tienen algo que enviar.
- Las estaciones piden recursos (capacidad) al AP y este asigna según disponibilidad. De esta forma es relativamente fácil reservar capacidad dando QoS a las estaciones.
- Al asignarse capacidad de forma planificada no se producen colisiones.

Detección virtual de portadora por medio de RTS/CTS



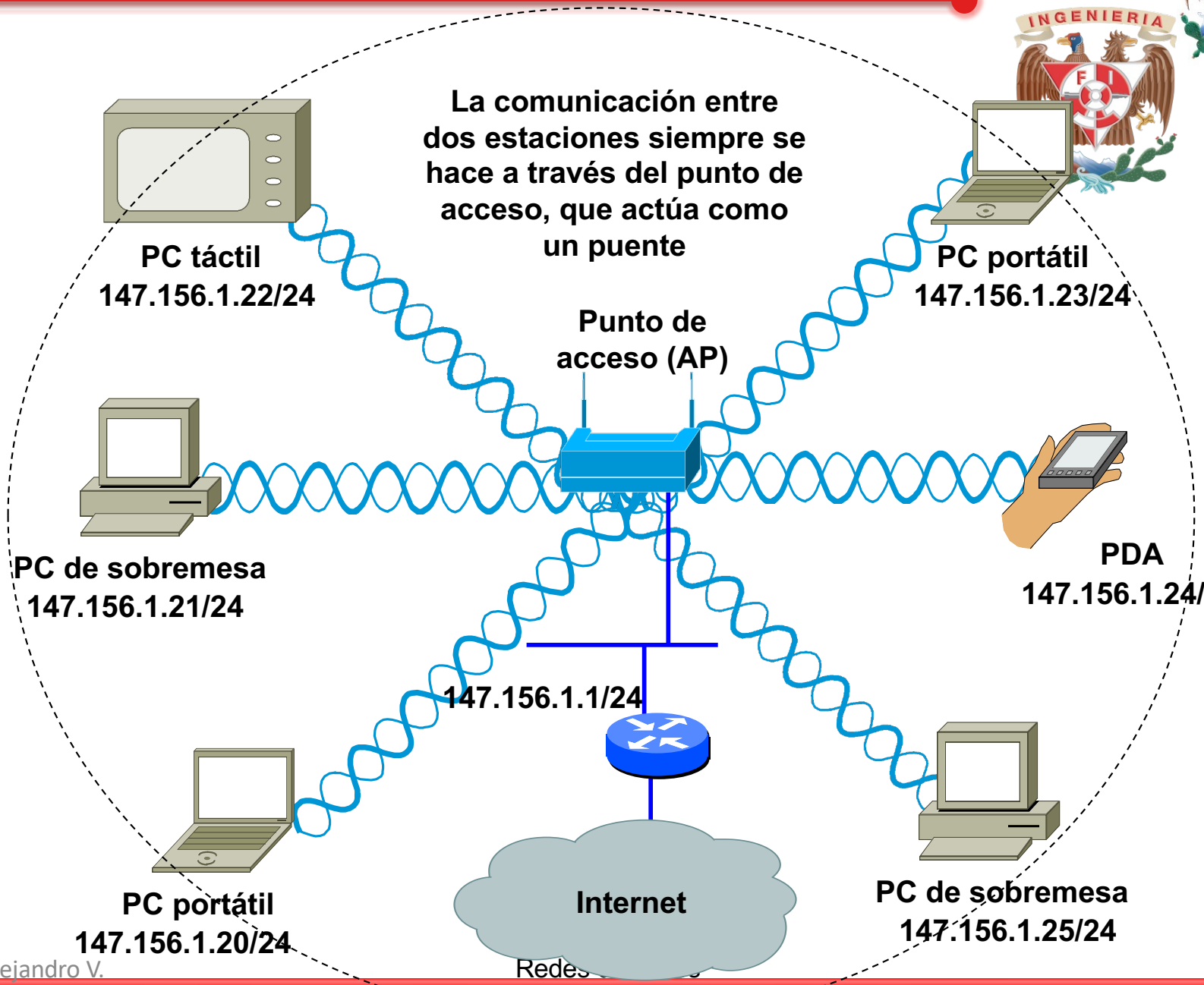
D oye a B pero no a A.

C oye a A pero no a B.



C y D pueden calcular cuanto tiempo va a estar ocupado el canal porque en los mensajes RTS/CTS va información sobre la longitud de la trama a transmitir.

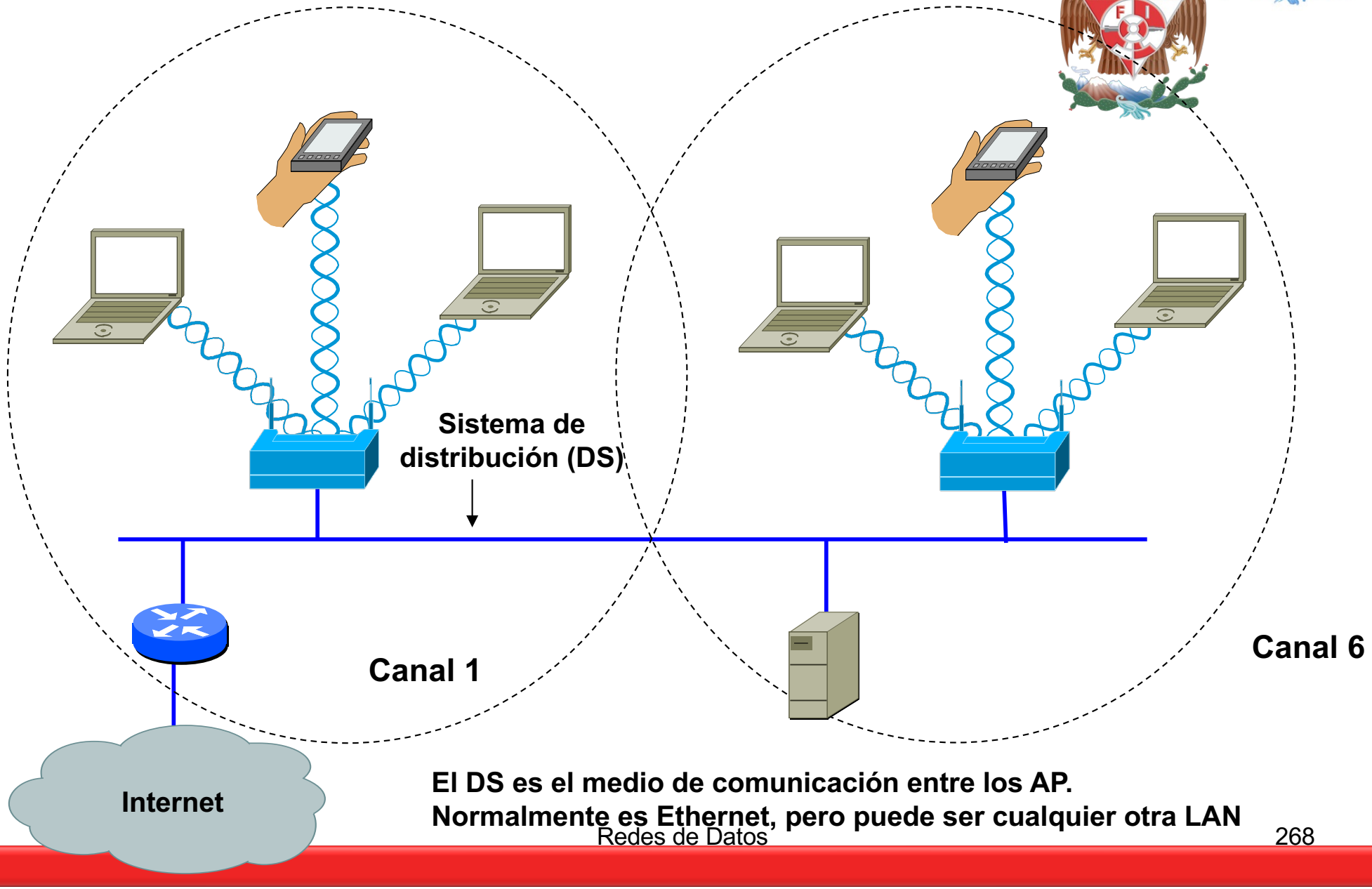
Red con un punto de acceso



PUNTOS DE ACCESO

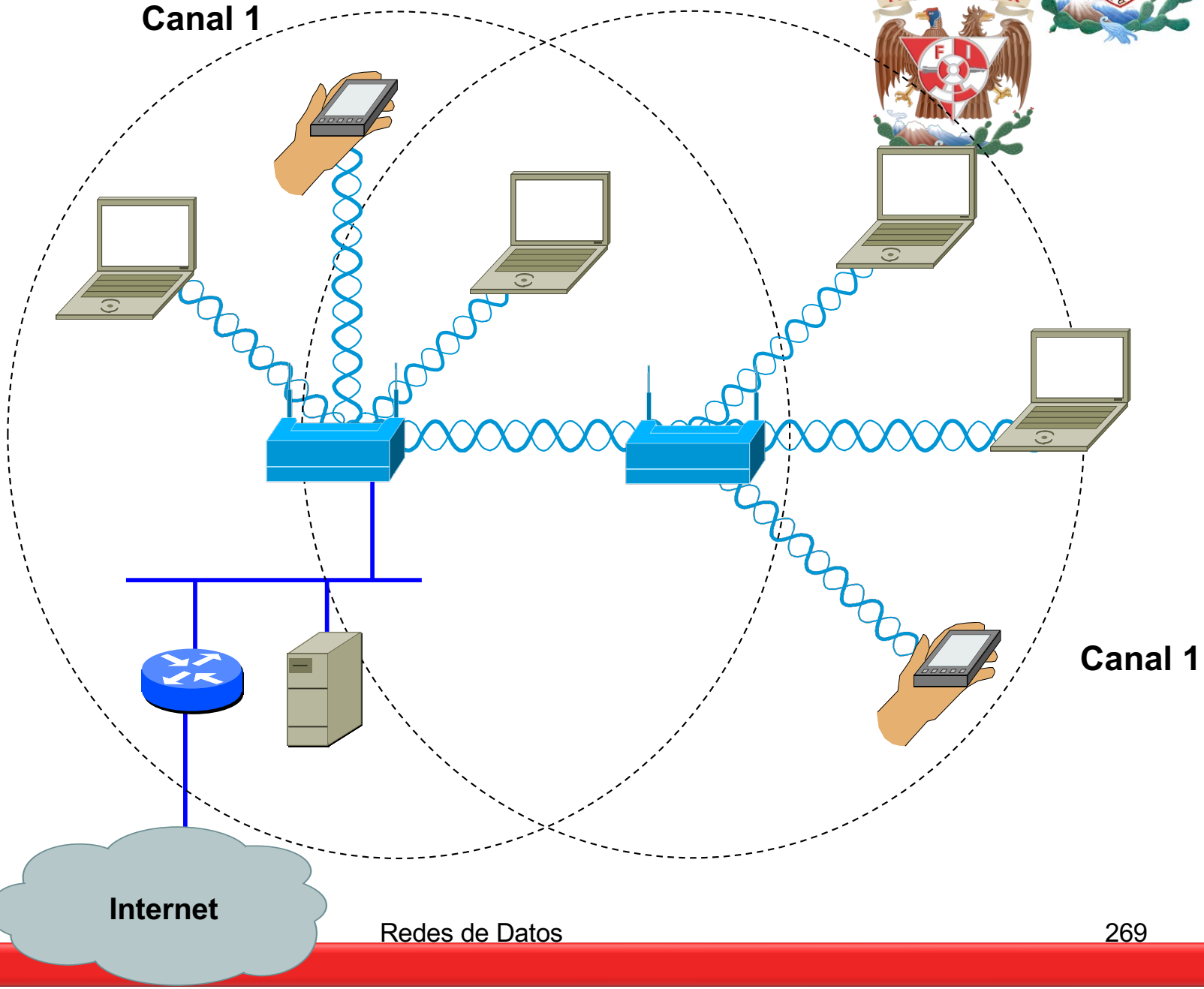
- Con puntos de acceso (AP) cada trama requiere dos emisiones de radio (salvo que el destino esté en la LAN y no en la WLAN).
- Aunque haya estaciones ocultas la comunicación siempre es posible, pues se hace a través del AP que siempre está accesible para todos.
- Los AP son dispositivos fijos de la red. Por tanto:
  - Sus antenas pueden situarse en lugares estratégicos, y pueden ser de alta ganancia.
  - Se pueden dotar de antenas diversidad (para evitar los problemas de mul-titrayectoria).
  - No tienen requerimientos de bajo consumo (no usan baterías) ..

Topología de un ESS (Extended Service Set)

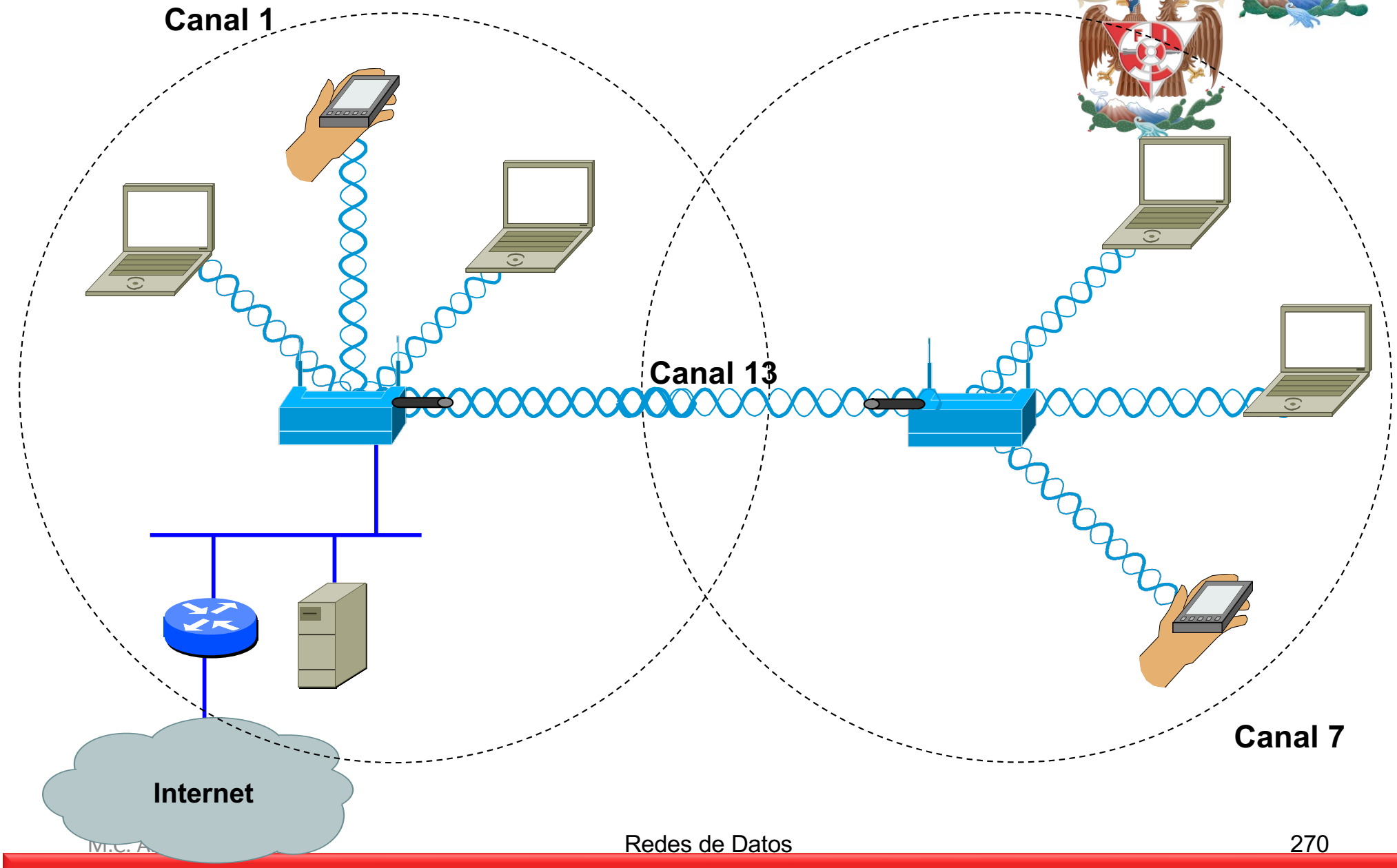


El DS es el medio de comunicación entre los AP.
Normalmente es Ethernet, pero puede ser cualquier otra LAN

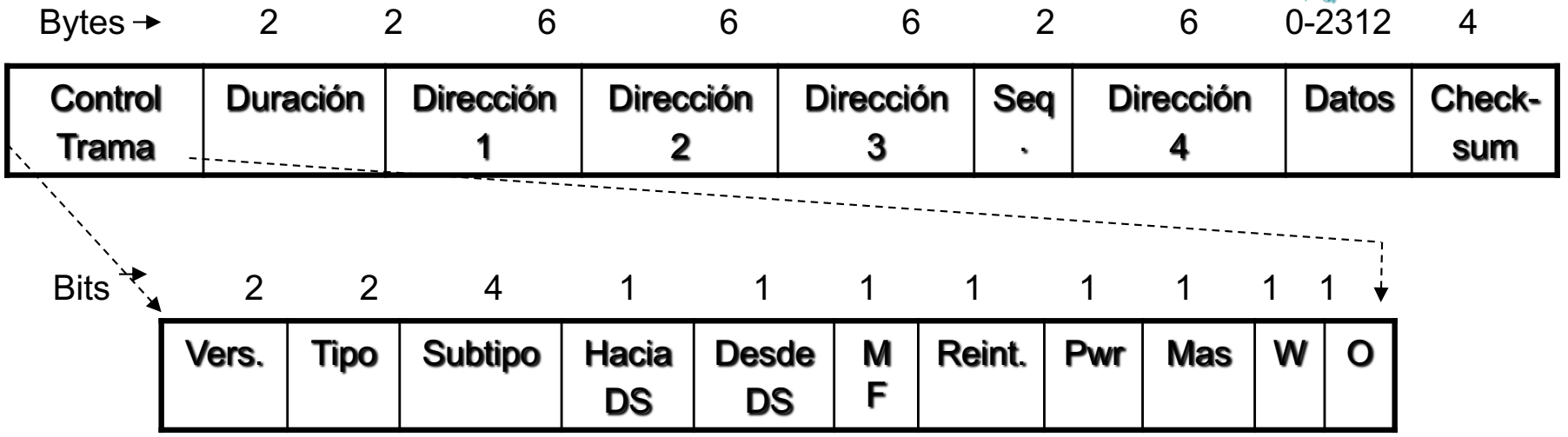
Red con un AP cableado y un repetidor



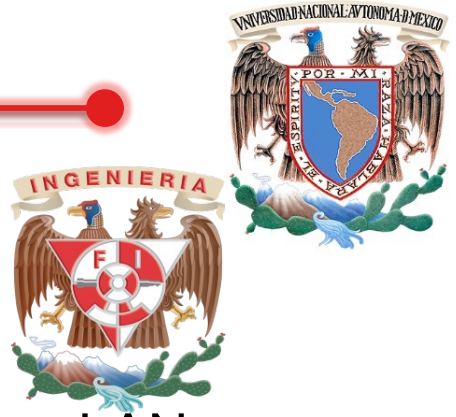
DS sin cables con canal dedicado



Formato de trama 802.11



Vers.:	**Permite la coexistencia de varias verisones del protocolo**
Tipo:	**Indica si se trata de una trama de datos, de control o de gestión**
Subtipo:	**Indica por ejemplo si es una trama RTS o CTS**
Hacia DS, Desde DS:	**Indica los AP de origen y destino en caso de ruta por un ESS**
MF:	**Indica que siguen más fragmentos**
Reint.:	**Indica que esta trama es un reenvío**
Pwr:	**Para 'dormir' o 'despertar' a una estación**
Mas:	**Advierte que el emisor tiene más tramas para enviar**
W:	**La trama está encriptada con WEP (Wireless Equivalent Privacy)**
O:	**Las tramas que tiene puesto este bit se han de procesar por orden**
Duración:	**Dice cuanto tiempo va a estar ocupado el canal por esta trama**
Dirección 1,2,3,4:	**Dirección de origen(1), destino(2), AP origen (3) y destino(4)**
Seq.:	**Número de secuencia (cuando la trama es un fragmento)**

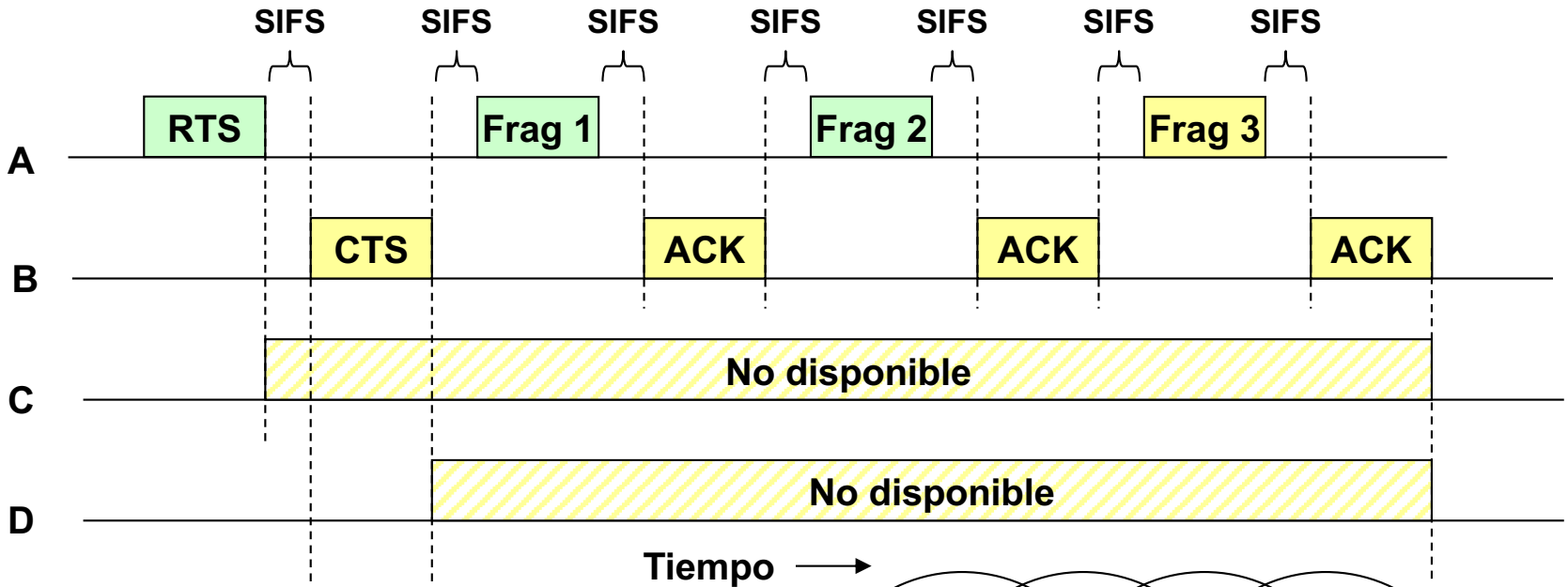


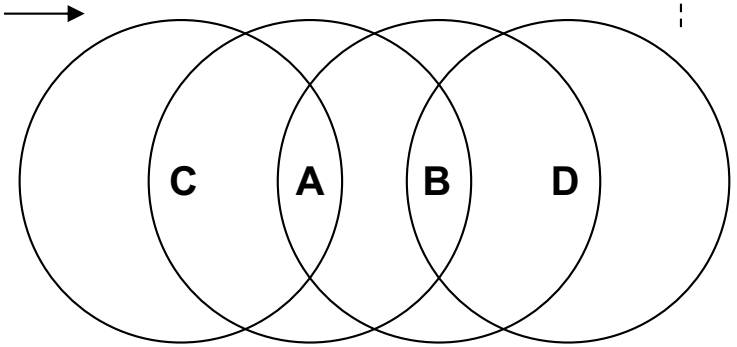
FRAGMENTACIÓN

- La redes WLAN tienen una mayor tasa de error que las LAN.
- Por eso se prevé la posibilidad de que el emisor fragmente una trama para enviarla en trozos más pequeños. Si el emisor ve que las tramas no están llegando bien puede decidir fragmentarlas para que tengan mas probabilidad de llegar bien al receptor .
- Por cada fragmento se devuelve un ACK por lo que en caso necesario es retransmitido por separado.
- La fragmentación permite enviar datos en entornos con mucho ruido, aun a costa de aumentar el overhead.
- Todas las estaciones están obligadas a soportar la fragmentación en recepción, pero no en transmisión.

ENVÍO DE UNA TRAMA FRAGMENTADA

La separación entre 'Frag n' y ACK es de 10 ms (SIFS).
De esta forma las demás estaciones (C y D) no pueden interrumpir el envío.





D 'oye' a B pero no a A.
C oye a A pero no a B.

ASOCIACIÓN DE AP'S CON ESTACIONES

- Cuando una estación se enciende busca un AP en su celda. Si recibe respuesta de varios atiende al que le envía una señal más potente.

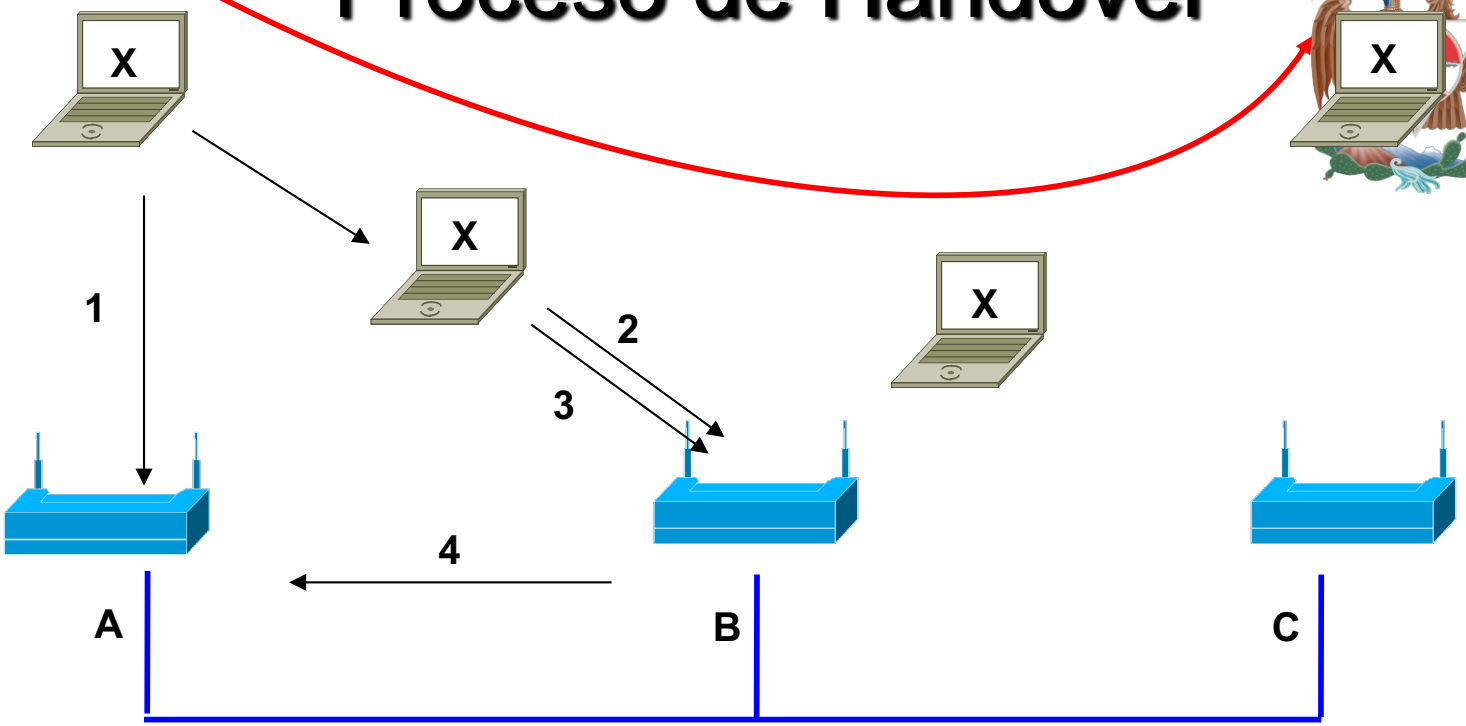
- La estación se registra con el AP elegido. Como consecuencia de esto el AP le incluye en su tabla MAC.

- El AP se comporta para las estaciones de su celda como un hub inalámbrico. En la conexión entre su celda y el sistema de distribución el AP actúa como un puente.

ITINERANCIA ('HANDOVER')

- Los AP envían regularmente (10 veces por segundo) mensajes de guía (beacon) para anunciar su presencia a las estaciones que se encuentran en su zona.
- Si una estación se mueve y cambia de celda detectará otro AP más potente y cambiará su registro. Esto permite la itinerancia ('roaming') sin que las conexiones se corten.
- Los estándares 802.11 no detallan como debe realizarse la itinerancia, por lo que la interoperablidad en este aspecto no siempre es posible.
- Para corregirlo varios fabricantes han desarrollado el IAPP (Inter-Access Point Protocol)

Proceso de Handover



1: La estación se enciende. Se autentifica y asocia con el AP A (el más próximo)

2: La estación se mueve y se pre-autentifica con el AP B

3: La estación decide reasociarse con B

4: B notifica a A la nueva ubicación de X con lo que X se desasocia de A.
A envía a B cualquier trama para X en curso

5: X sigue moviéndose por lo que más tarde repite el proceso con C

AHORRO DE ENERGÍA

- En WLAN's muchos dispositivos funcionan con baterías. A menudo contemplan un modo de funcionamiento 'standby' de bajo consumo en el que no pueden recibir tramas.
- Antes de 'echarse a dormir' las estaciones deben avisar a su AP, para que retenga las tramas que se les envíen durante ese tiempo.
- Periódicamente las estaciones dormidas han de 'despertarse' y escuchar si el AP tiene algo para ellos.
- En modo PCF el AP puede mandar dormir o despertar a una estación para ahorrarle baterías.