

# Nivel Fisico

# Nivel Físico (1)

- Empezaremos analizando el nivel más bajo de OSI
- Comunicaciones de Datos
  - La información puede ser transmitida variando el voltaje o corriente
- Para que nos sirven los Análisis de Fourier en Comunicaciones?
- Representación de una señal por medios de:
  - Serie Exponencial de Fourier

# Fourier (1)

$$\Rightarrow f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_0 t}$$

- Donde:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{t_2 - t_1}$$

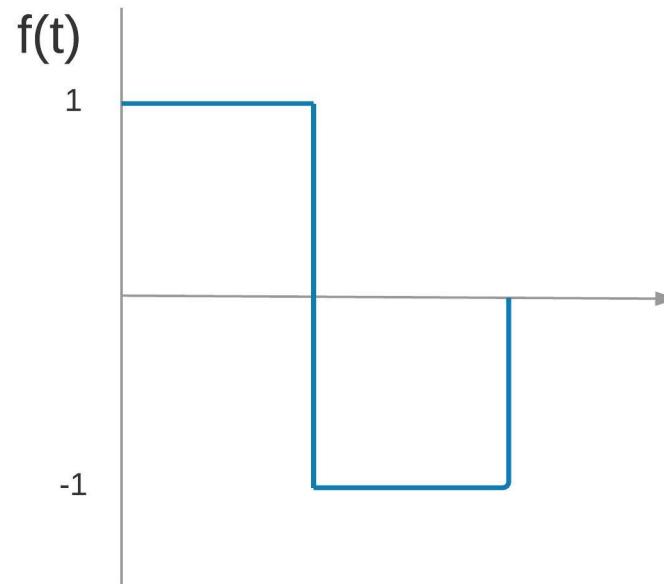
— Además:

$$F_n = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} f(t) e^{-jn\omega_0 t} dt$$

» Donde  $n = 0, +1, +2, +3, \dots$

# Fourier (2)

- Por ejemplo si tenemos una señal  $f(t)$



- Existen varias series de Fourier para representar esta señal, veamos una:

# Fourier (3)

- Se puede demostrar que:

$$F_n = \begin{cases} 0, & \text{para } n \text{ par} \\ \frac{4}{\pi n}, & \text{para } n \text{ impar} \end{cases}$$

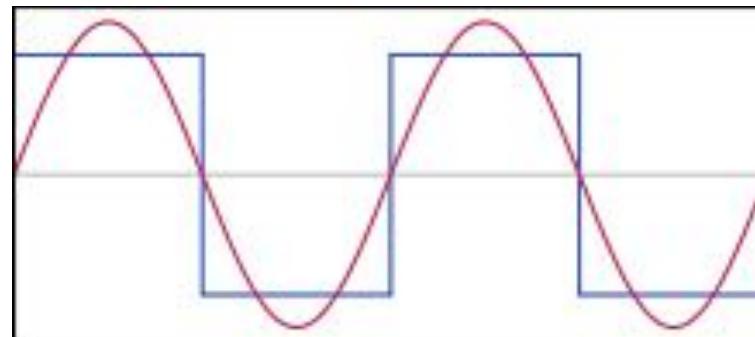
- Manipulando esa expresión matemática, podemos igualmente demostrar que:

$$\begin{aligned} f(t) = & \frac{4}{\pi} (\operatorname{sen} \pi t + \frac{1}{3} \operatorname{sen} 3\pi t \\ & + \frac{1}{5} \operatorname{sen} 5\pi t + \dots) \end{aligned}$$

# Fourier (4)

- Ahora bien, de que nos sirve esto???
- Que pasa si solo aproximamos???
  - Veamos este proceso
  - Supongamos que llegamos hasta n=1
  - Que obtenemos?

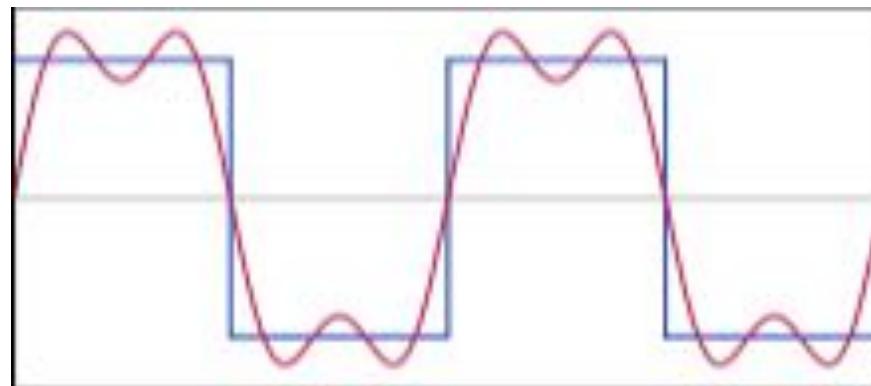
$$f(1) = \frac{4}{\pi} \sin \pi t$$



# Fourier (5)

– hasta n=3

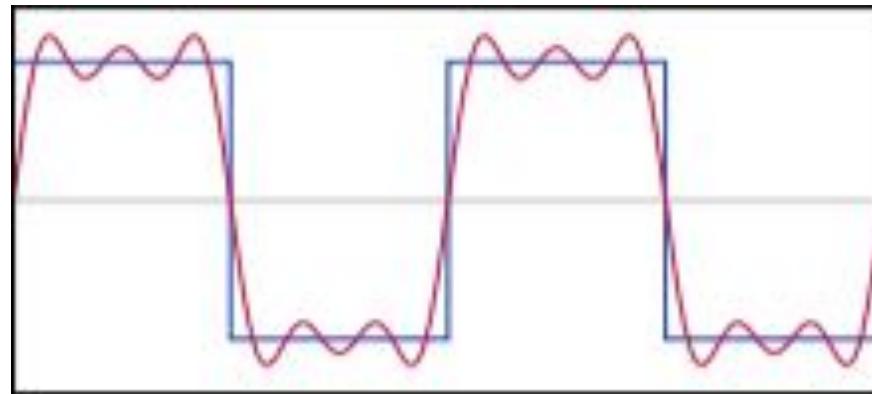
$$f(3) = \frac{4}{\pi} (\sin \pi t + \frac{1}{3} \sin 3\pi t)$$



# Fourier (6)

– hasta n=7

$$f(7) = \frac{4}{\pi} (\sin \pi t + \frac{1}{3} \sin 3\pi t + \frac{1}{5} \sin 5\pi t + \frac{1}{7} \sin 7\pi t)$$



# Fourier (7)

- Podemos hablar entonces, de cuanto es el error??
  - Usaremos un error cuadrático promedio
  - Tiene que ver con energía o potencia
  - Luego explicamos porqué.

$$\overline{e^2(t)} = \int_{t_1}^{t_2} \left| f(t) - \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_0 t} \right|^2 dt$$

# Fourier (8)

- El error sería:

$$\overline{e^2(1)} = 0.37$$

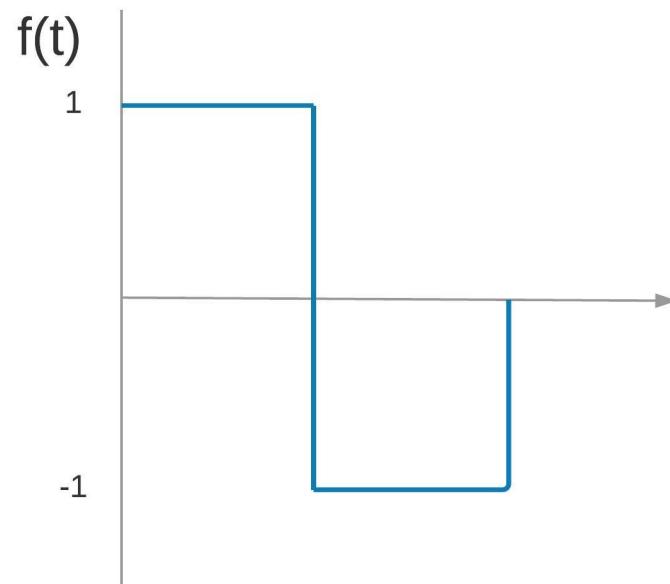
$$\overline{e^2(3)} = 0.199$$

$$\overline{e^2(7)} = 0.1$$

- Que podemos concluir de esto?
  - Una señal tiene representación en el tiempo
  - Pero, tambien tiene representación en la frecuencia

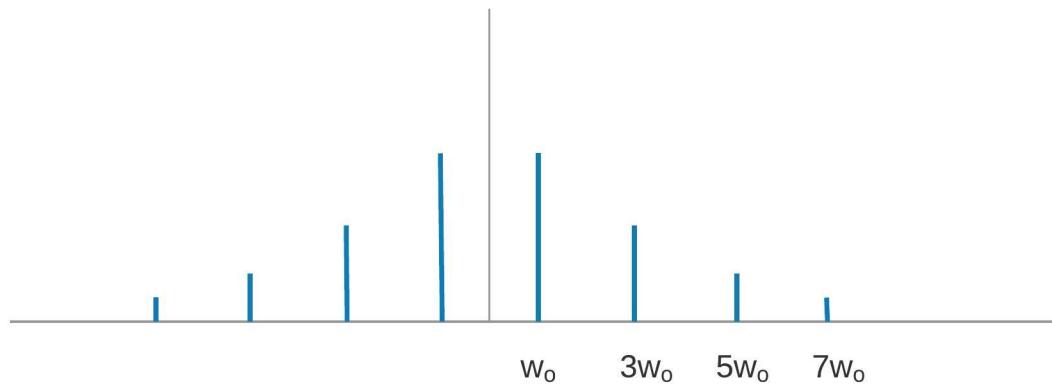
# Fourier (9)

— Representación en el tiempo:



# Fourier (10)

- Representación en la frecuencia:
  - En este caso: Espectro Discreto de Frecuencia



# Fourier (11)

- Si seguimos con el análisis matemático:
  - La Transformada de Fourier es la teoría general
  - Las Series de Fourier es un caso particular de la Transformada de Fourier
- Señal de 1 solo pulso: Transformada de Fourier

$$T \rightarrow \infty$$

$$t_2 - t_1 = T$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

# Fourier (12)

- Esto significa, que el espacio entre componentes de Fourier tiende a 0
- Por lo tanto, el espectro discreto de Fourier se hace un espectro continuo de Fourier
- Esto significa que podemos utilizar todas las propiedades de la Transformada de Fourier

# Fourier (13)

— Por ejemplo, dos propiedades muy importantes son:

- Par de transformación único

$$f(t) \leftrightarrow F(\omega)$$

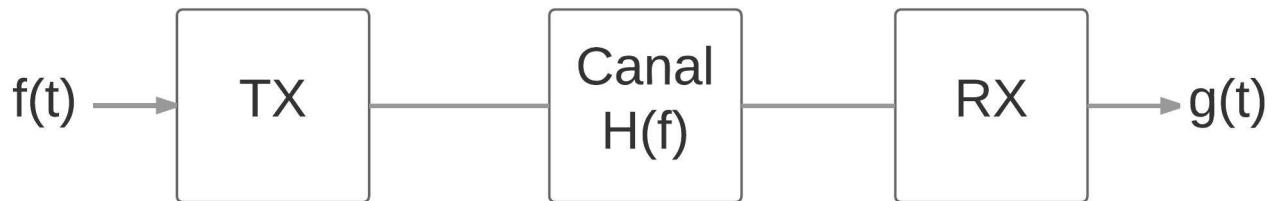
- Convolución en el tiempo es la multiplicación en la frecuencia

# Fourier (14)

- Otro punto de recordar:
  - En la teoría matemática hay componentes negativos
  - Sin embargo, en la realidad solo hay componentes positivos de frecuencia
  - Espectro de 2 lados: es ficticio
  - Espectro de 1 lado: es real
  - Como el espectro es una función par, se multiplica por 2 el espectro de 2 lados

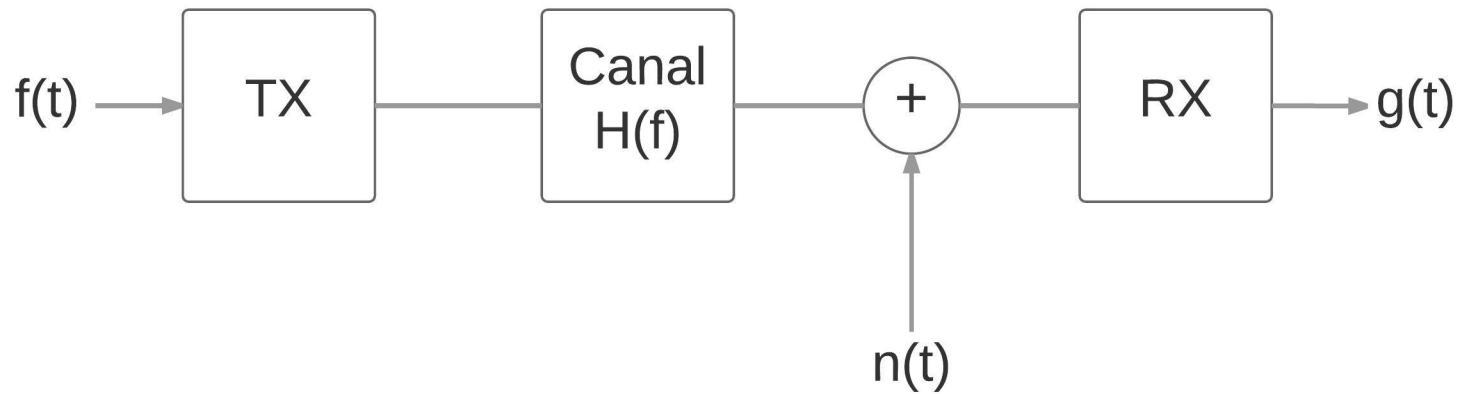
# Espectros de Potencia (1)

- Porqué usamos Espectros de Potencia de Fourier en vez del Espectro de Fourier??
- Porqué nos interesó ver el error cuadrático promedio en vez de un error promedio??
  - La respuesta tiene que ver con el ruido
  - Veamos un sistema de comunicaciones básico:



# Espectros de Potencia (2)

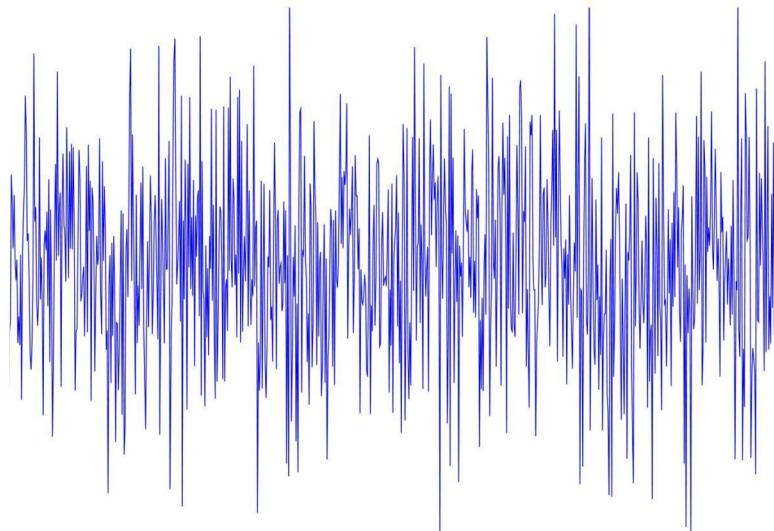
- Sistema de comunicaciones con ruido (aditivo)



- $n(t)$  es la señal de ruido. Siempre hay ruido

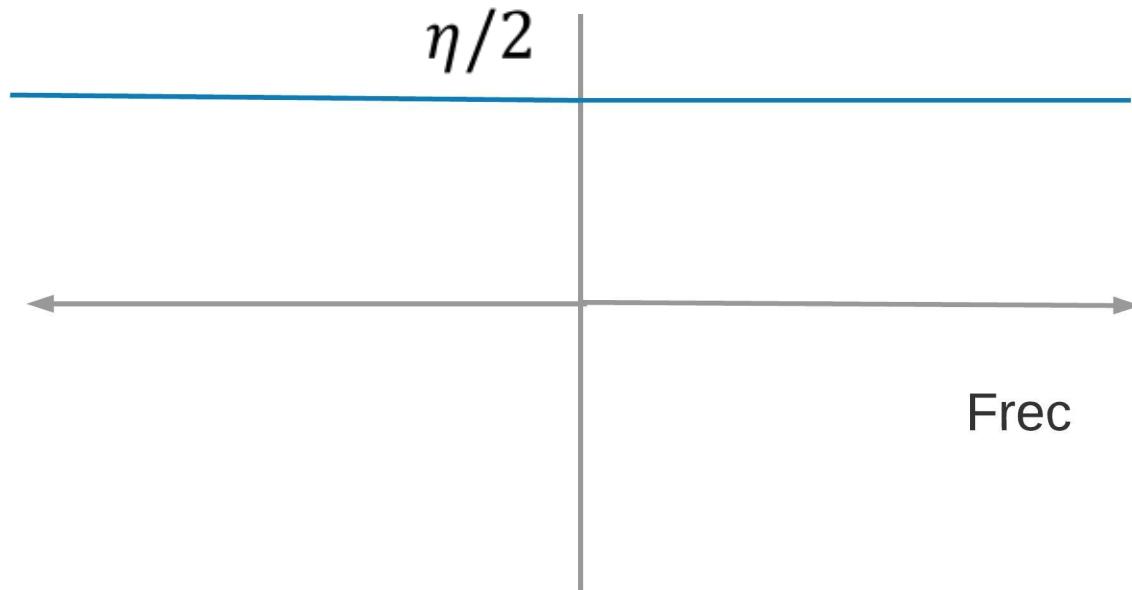
# Espectros de Potencia (3)

- Muchos tipos de ruido: el gaussiano es uno (aditivo)
  - Muy difícil de analizar en el tiempo



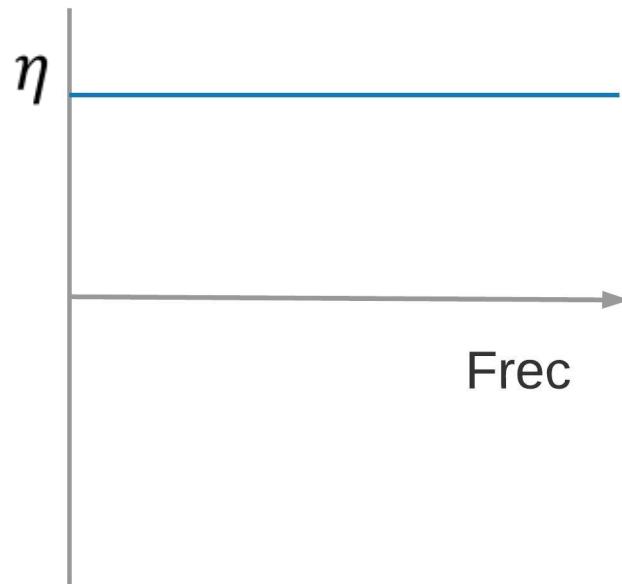
# Espectros de Potencia (4)

- Pero muy bien portado en potencia
  - Espectro de 2 lados



# Espectros de Potencia (5)

- Pero muy bien portado en potencia
  - Espectro de 1 lado



# Espectros de Potencia (6)

- Por esta razón, mejor se hace el análisis con los espectros de potencia:
  - Espectro de potencia de  $f(t)$
  - Espectro de potencia de  $n(t)$

$$f(t) \rightarrow \overline{f^2(t)}$$

- Para medir la calidad de un sistema de comunicaciones: se comparan los espectros

$$\frac{S}{N} = \frac{\overline{f^2(t)}}{\overline{n^2(t)}}$$

# Espectros de Potencia (7)

- Sin embargo, normalmente se da en dBs

$$\frac{S}{N} = 10 \log_{10} \frac{\overline{f^2(t)}}{\overline{n^2(t)}}$$

- Repaso de dBs

$$\begin{aligned} dB &= 10 \log_{10} \frac{\frac{V_1^2}{R}}{\frac{V_2^2}{R}} = 10 \log_{10} \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2 \\ &= 20 \log_{10} \frac{V_1}{V_2} \end{aligned}$$

# Espectros de Potencia (8)

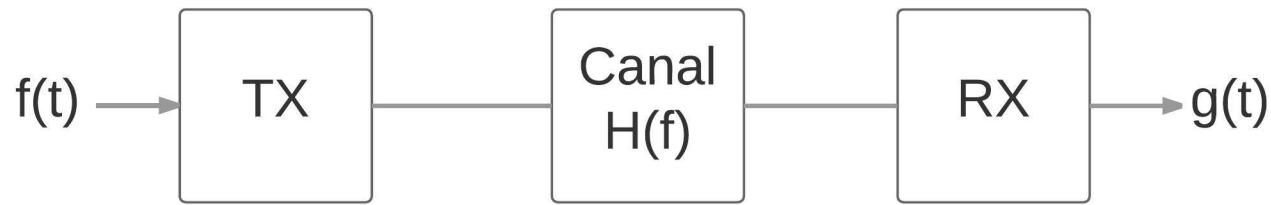
$$\begin{aligned} dBw &= 10 \log_{10} \frac{P_1}{1 \text{ W}} \rightarrow 1 \text{ W} \\ &= 0 \text{ dBw} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dBmw &= 10 \log_{10} \frac{P_1}{1 \text{ mW}} \rightarrow 1 \text{ mW} \\ &= 0 \text{ dBm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dBmv &= 10 \log_{10} \frac{V_1}{1 \text{ mv}} \rightarrow 1 \text{ mv} \\ &= 0 \text{ dBmv} \end{aligned}$$

# Ancho de Banda (1)

- Volvamos a nuestro sistema de comunicaciones básico:



- $f(t)$  tiene un ancho de banda (señal)
- El canal tiene un ancho de banda (sistema)

# Ancho de Banda (2)

## — De Análisis de Sistemas:

- Podemos decir que:

$$g(t) = f(t) \otimes h(t)$$

- Ademas, también:

$$G(f) = F(f) \cdot H(f)$$

Si  $H(f)$  es un filtro ideal

$$\Rightarrow G(w) = F(w) \cdot 1$$

# Ancho de Banda (3)

- Entonces:

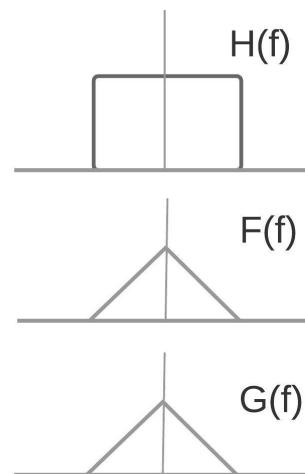
$$G(w) = F(w)$$

$$\Rightarrow g(t) = f(t)$$

- Por la propiedad de que TF es un par de transformación único
- Y esto es lo que queremos en un sistema de comunicaciones

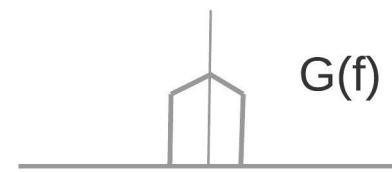
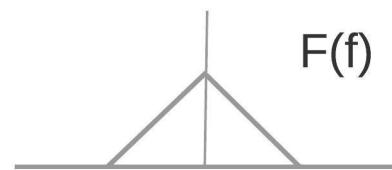
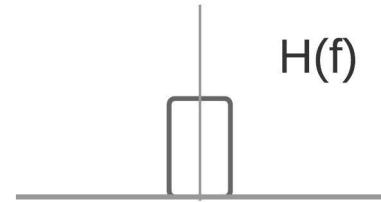
# Ancho de Banda (4)

- Pero ahora lo que nos interesa es que pasa con el ancho de banda del sistema:
  - $B_{sist} = ?$
- Si el filtro tiene el ancho de banda suficiente:



# Ancho de Banda (5)

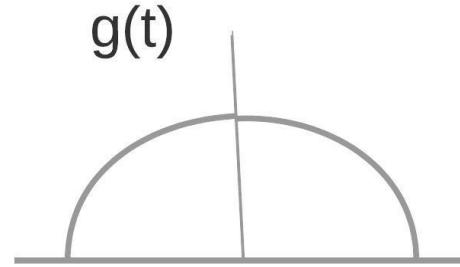
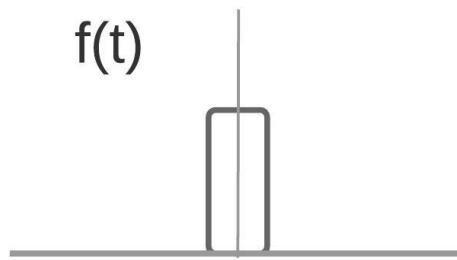
- Pero si el no hay suficiente ancho de banda en el canal:



$$G(w) \neq F(w)$$

# Ancho de Banda (6)

- Cual es el efecto si no hay suficiente ancho de banda en el Canal?
  - $g(t)$  es diferente a  $f(t)$
- Cual es el efecto en la práctica:



# Ancho de Banda (7)

- Se demuestra con las propiedades de Fourier
  - El tiempo de levantamiento del pulso es inversamente proporcional al ancho de banda del sistema
  - Por lo tanto, si no hay suficiente ancho de banda en el canal, el tiempo de levantamiento es muy lento

$$t_r = \frac{1}{B_s}$$

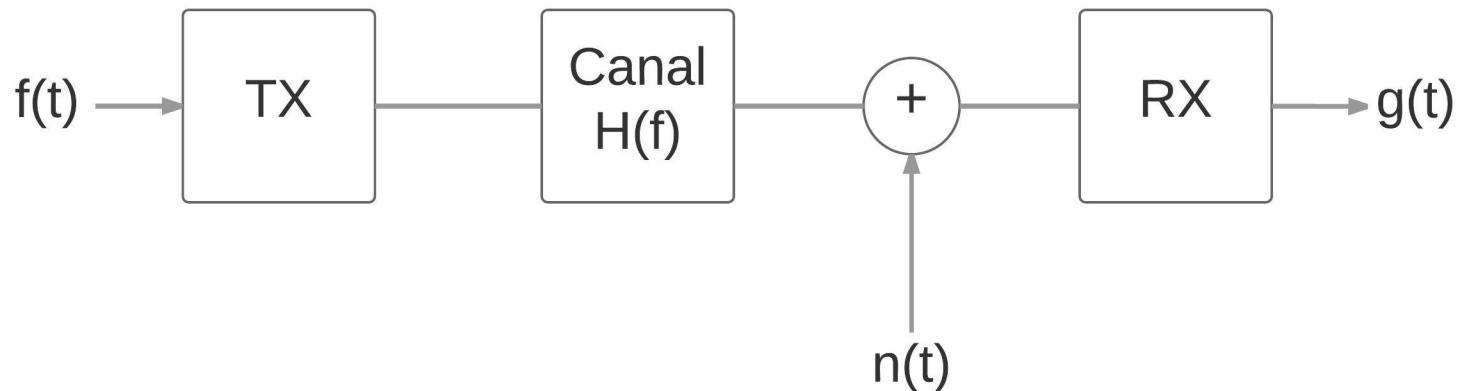
- Por eso, si el ancho de banda es infinito, el tiempo de levantamiento tiende a 0 (pulso cuadrado)

# Sistema Analógico vrs Digital (1)

- La diferencia principal:
- RX Analógico:
  - Discernir de un número infinito de posibles valores
  - Lo que hace es **Reproducir**
- RX Digital:
  - Discernir de un número finito de posibles valores
  - Lo que hace es tomar una decisión ("batear")
  - Se definen **Niveles de Decisión**

# Sistema Analógico vrs Digital (2)

— Vviendo al modelo:



- Hacer ejemplos en pizarra

# Sistema Analógico vrs Digital (2)

## – RX Analógico

- No puede quitar ruido o distorsiones
- Calidad S/N
- Tiene limitaciones
- Ejemplo VHS

## – RX Digital

- Al tomar una decisión de cual símbolo se transmitió, se elimina ruido o distorsiones
- Si se equivoca de símbolo,  $P_e(S/N)$
- Conocido como BER

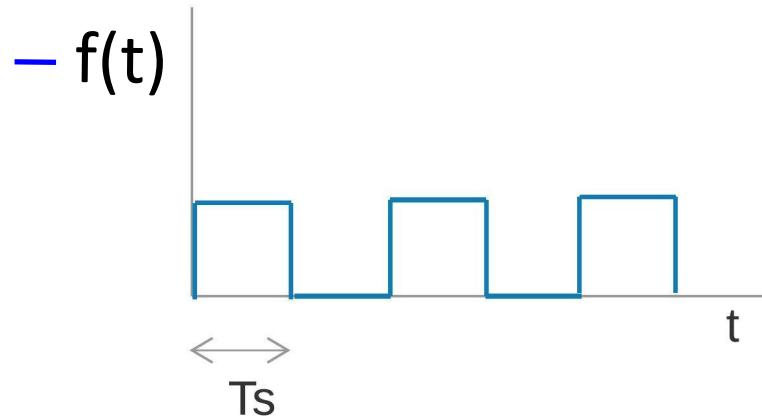
# Sistema Analógico vrs Digital (3)

- Recuperación de Reloj en el RX
  - Es importante señalar que el RX debe de sincronizarse con el TX para muestrear la señal que llega
  - Largas secuencias de 1s o 0s pueden afectar
  - Hay códigos que no ayudan a sincronización:
    - NRZ
  - Hay códigos que sí ayudan a sincronización:
    - Manchester

# Sistema Analógico vrs Digital (4)

- Otras técnicas:
  - 4B/5B
  - Por ejemplo:
    - 4B                5B
    - » 0001:            01001
    - » 0011:            10101

# Velocidad de Señalización (1)



- $R_s$  = Número de pulsos/seg (baudios)
- $T_s$  = ancho del pulso o símbolo

$$T_s = \frac{1}{R_s}$$

# Velocidad de Señalización (2)

- Máxima Transferencia de Datos Nyquist
  - Nyquist define una fórmula en 1924
  - C : Capacidad del canal
  - Brinda un límite máximo de transferencia con un ancho de banda finito del sistema y sin ruido

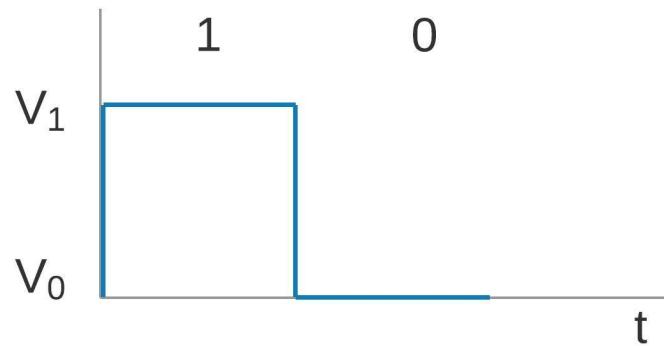
$$C = 2 B \log_2 V$$

V: Número de niveles de la señal

B: Ancho de banda del canal en Hz

# Velocidad de Señalización (3)

- Supongamos que tenemos la siguiente señal Binaria



- $V = 2$

$$\log_2 = 1$$

$$C = 2B \text{ bps}$$

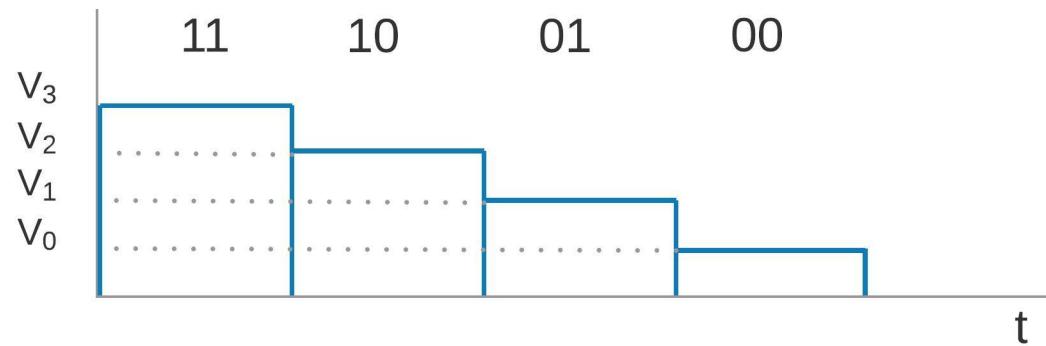
# Velocidad de Señalización (4)

$$T_b = T_s$$

- $T_b$ : Tiempo de 1 bit
- Se tiene entonces 1 bit de información por pulso

# Velocidad de Señalización (5)

- Ahora supongamos que tenemos la siguiente señal Multinivel



- $V = 4$

$$\log_2 4 = 2$$

$$C = 4B \text{ bps}$$

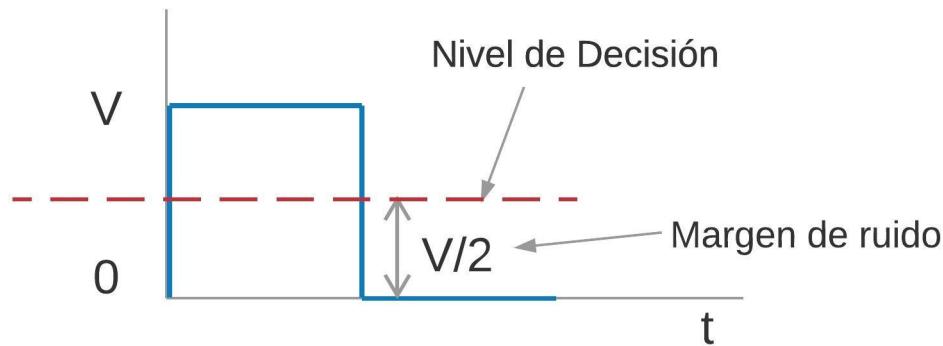
# Velocidad de Señalización (6)

$$T_b = T_s/2$$

- Se tiene entonces 2 bits de información por pulso
- Notar que en ambas señales son de la misma duración, por lo que tendrán el mismo ancho de banda
- Ahora se tiene mayor capacidad (bps) en el mismo ancho de banda

# Velocidad de Señalización (7)

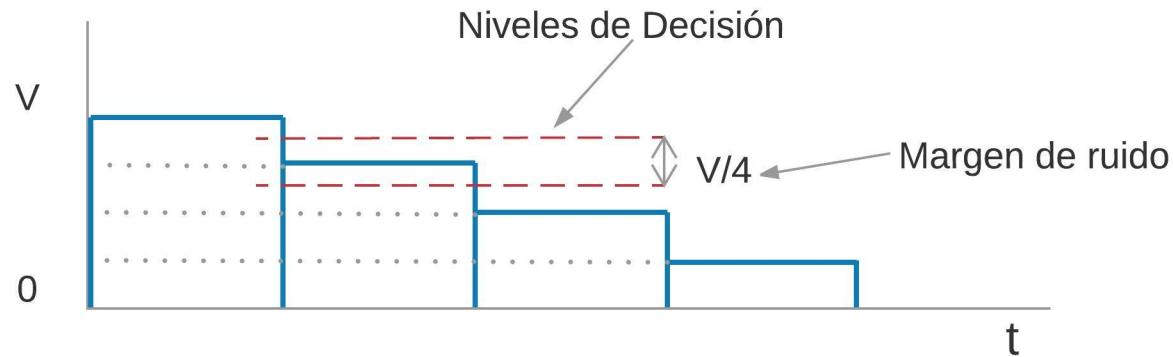
- Se tiene mayor capacidad en el canal, pero cual es el precio???
- Veamos:



- Se tiene  $V/2$  voltios de margen de ruido

# Velocidad de Señalización (8)

- Veamos la otra señal:



- Ahora se tiene  $V/4$  voltios de margen de ruido (menor margen)
- El ruido la afecta más

# Velocidad de Señalización (9)

- Lo que se tiene que entender con Nyquist es que no se toma en cuenta el ruido
- Esto nos dará un límite superior de cuanto es la capacidad de un canal
- Podríamos, erróneamente, concluir que el ancho de banda de un canal es infinito
  - Ya que de acuerdo a la fórmula V puede crecer indefinidamente (**lo cual no es cierto**)
  - Pero al final el ruido afectaría

# Velocidad de Señalización (10)

- Máxima Transferencia de Datos Shannon
  - En 1948, Shannon hizo un trabajo similar
  - Pero sí toma en cuenta el ruido térmico
  - Sin embargo, no indica como codificar

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

- C: Capacidad del canal
- B: Ancho de banda en Hz
- S/N relación de señal a ruido (no en dBs)

# Velocidad de Señalización (11)

## – Ejemplo:

- Se tiene un canal telefónico de 3 KHz que tiene una relación de S/N = 30 dB
- Calcule C

$$\frac{S}{N} = 30 \text{ dB} \rightarrow \frac{S}{N} = 1000$$

$$C = 3000 \log_2(1 + 1000)$$

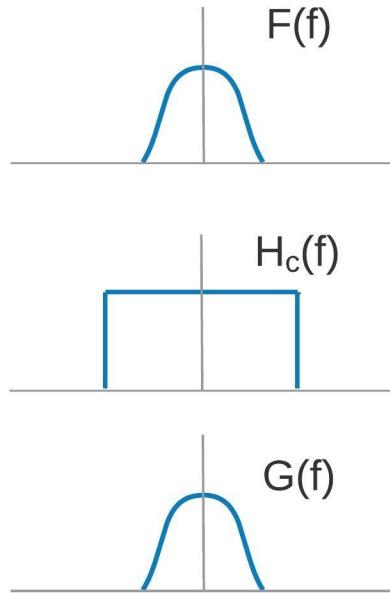
$$C = 29.901 \text{ bps}$$

# Sistemas Multinivel Modulación (1)

- Primero debemos contestar una pregunta:
- Porqué modulamos??
  - 1. Para adaptar la señal a condiciones del canal
  - 2. Tamaño de antena

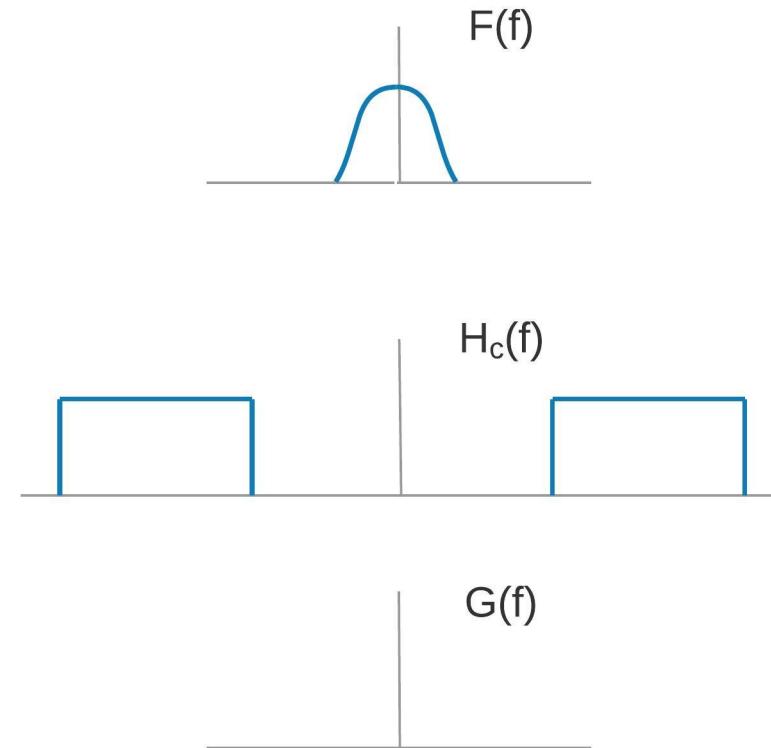
# Sistemas Multinivel Modulación (2)

- Canal Bandabase (lo que vimos antes)



# Sistemas Multinivel Modulación (3)

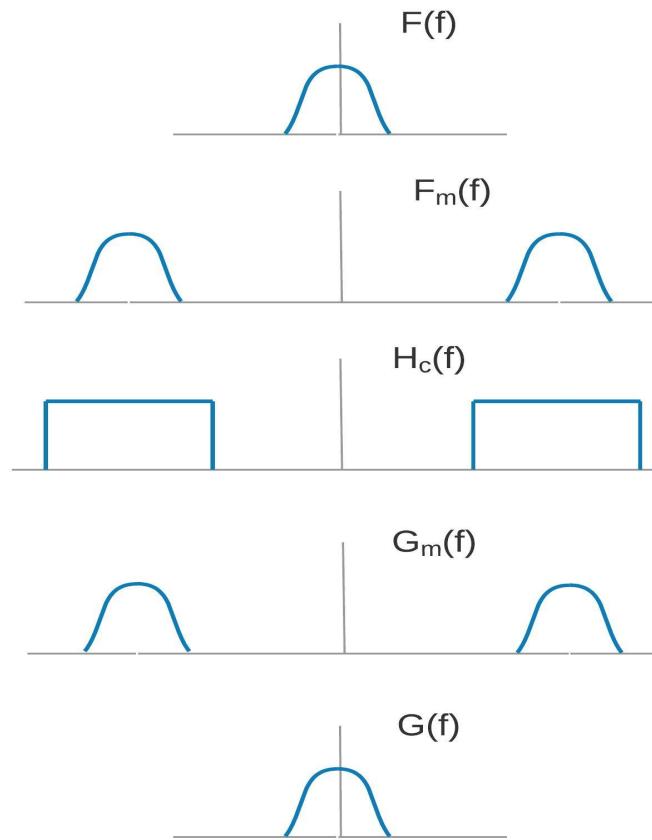
- Canal Bandaancha



- Cual es el problema?

# Sistemas Multinivel Modulación (4)

## — Primera justificación para modular



# Sistemas Multinivel Modulación (5)

- Segunda justificación para modular
  - Tamaño de la Antena en comunicaciones inalámbricas
  - Una antena debe tener una longitud:

$$\frac{\lambda}{2} \quad a \quad \frac{\lambda}{4}$$

$\lambda$ : longitud de onda

# Sistemas Multinivel Modulación (6)

— Además:

$$C = \lambda f$$

$$\lambda = \frac{f}{C}$$

- Donde:
- F: frecuencia de la banda en Hz
- C: velocidad de la luz en m/s
- C =  $3 \times 10^8$  m/s

# Sistemas Multinivel Modulación (7)

- Modulación Digital PSK Binario

$$s_1(t) = A \cos \omega_C t$$

$$s_0(t) = -A \cos \omega_C t$$

- Podemos verlo como:

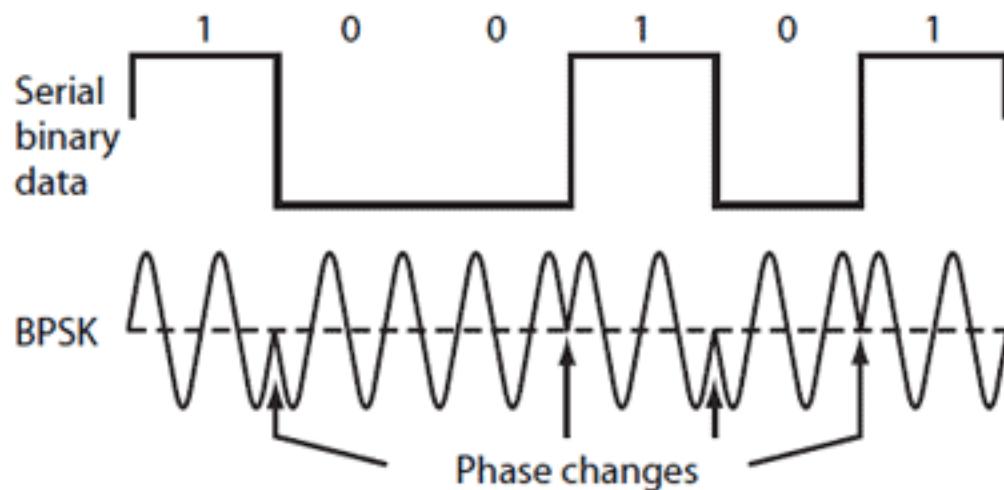
$$s(t) = A \cos(\omega_C t + \theta_j)$$

- donde

$$\theta_j = 0, \pi$$

# Sistemas Multinivel Modulación (8)

- Modulación Digital PSK Binario en el tiempo:



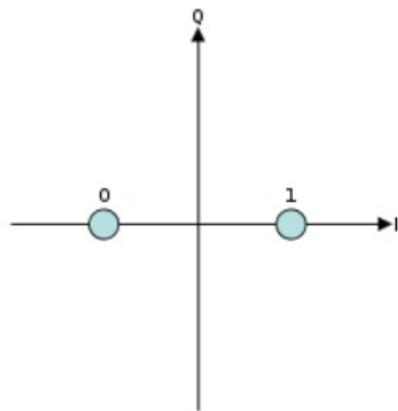
# Sistemas Multinivel Modulación (9)

- Este tipo de transmisión se conoce como transmisión en cuadratura
- Se puede construir un Diagrama de Constelación de la señal
- $a_j$ : eje  $I$  o eje de fase
- $b_j$ : eje  $Q$  o eje de cuadratura

# Sistemas Multinivel Modulación (11)

- Diagrama de Constelación BPSK (PSK binario)

Constellation Diagram (BPSK)



# Sistemas Multinivel Modulación (13)

- Si  $M = 2$ ,
  - La separación de fases es:  $\pi$
- Si  $M = 4$ ,
  - La separación de fases es:  $\pi/2$
- Cada vez es menor y menos margen para ruido

# Sistemas Multinivel Modulación (14)

- Ahora bien, sabemos que:

$$\cos(A + B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B$$

- Sustituyendo,

$$\cos(\omega_C t + \theta_j) = \cos(\omega_C t) \cos \theta_j - \sin(\omega_C t) \sin \theta_j$$

$$\cos(\omega_C t + \theta_j) = a_j \cos(\omega_C t) - b_j \sin(\omega_C t)$$

# Sistemas Multinivel Modulación (15)

- Escogiendo valores,

$$(\theta_j) = (0, \frac{\pi}{2}, \pi, -\frac{\pi}{2})$$

- Si :

$$\theta_j = 0$$

$$\Rightarrow \cos 0 = 1$$

$$\sin 0 = 0$$

$$(a_j, b_j) = (1, 0)$$

# Sistemas Multinivel Modulación (16)

- Los otros valores de fase darían:

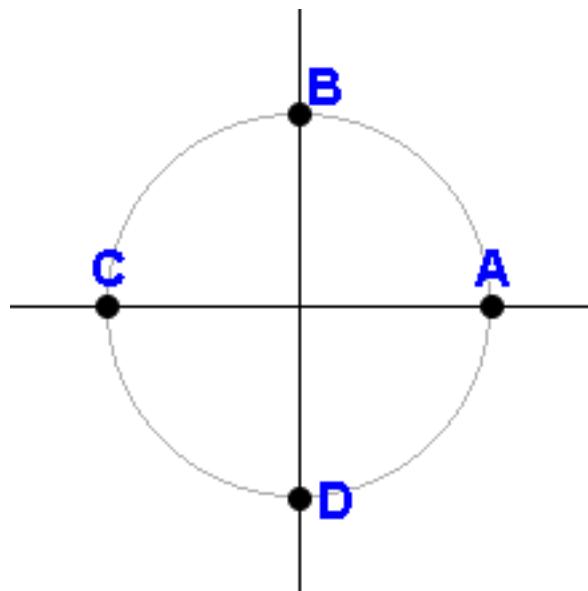
$$\theta_j = \frac{\pi}{2}, \quad \Rightarrow (a_j, b_j) = (0, 1)$$

$$\theta_j = \pi, \quad \Rightarrow (a_j, b_j) = (-1, 0)$$

$$\theta_j = -\frac{\pi}{2}, \quad \Rightarrow (a_j, b_j) = (0, -1)$$

# Sistemas Multinivel Modulación (17)

- El diagrama de constelación de este ejemplo:



# Sistemas Multinivel Modulación (18)

- En QPSK podemos cambiar los angulos:

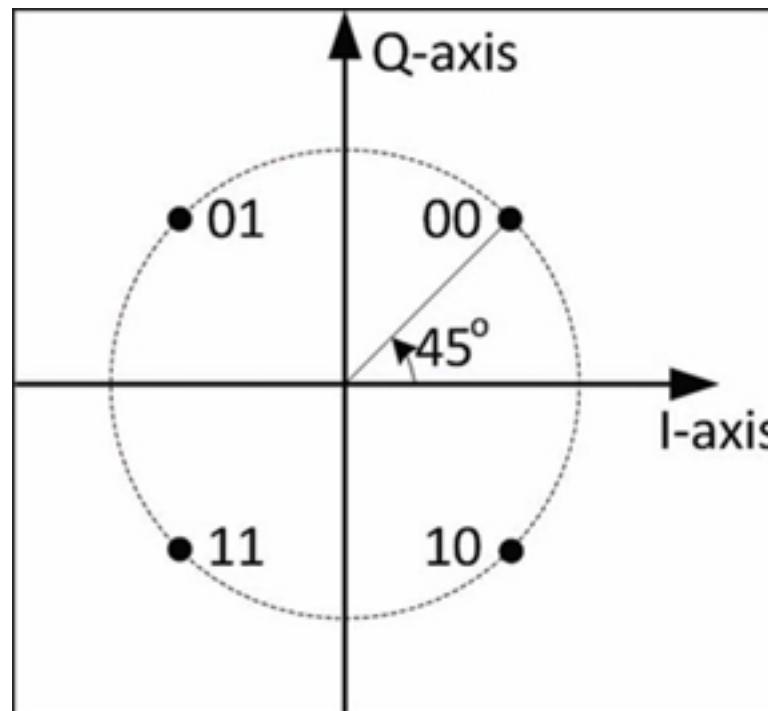
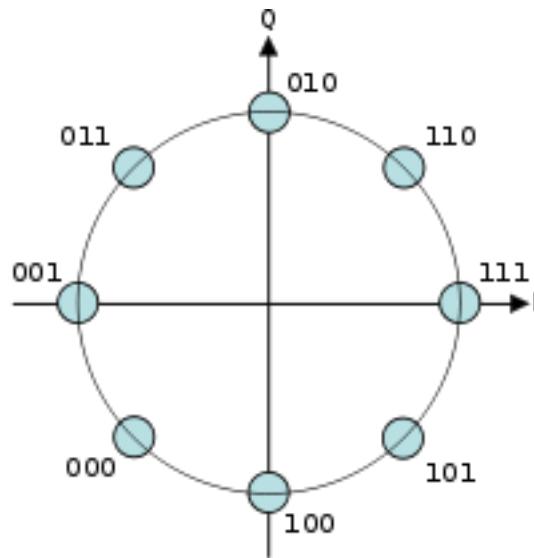


Figure 1. Constellation View of QPSK

# Sistemas Multinivel Modulación (19)

- O podemos aumentar a 8 PSK :



- Y se va reduciendo el margen de error a:

$$\frac{\pi}{4}$$

# Sistemas Multinivel Modulación (20)

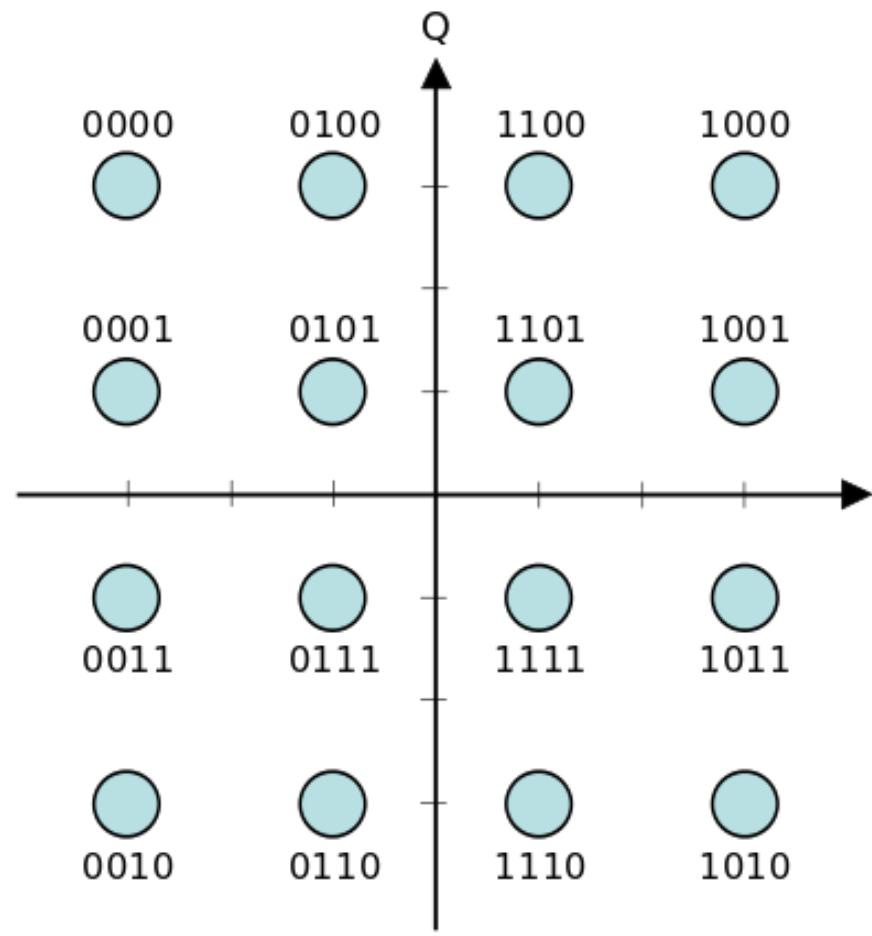
- Para mitigar esto, se tienen otros sistemas de modulación que combinan amplitud y fase :
  - QAM (quadrature amplitude modulation)

$$s_j(t) = r_j \cos(\omega_C t + \theta_j)$$

- $r_j$  amplitud
- $\theta_j$  fase

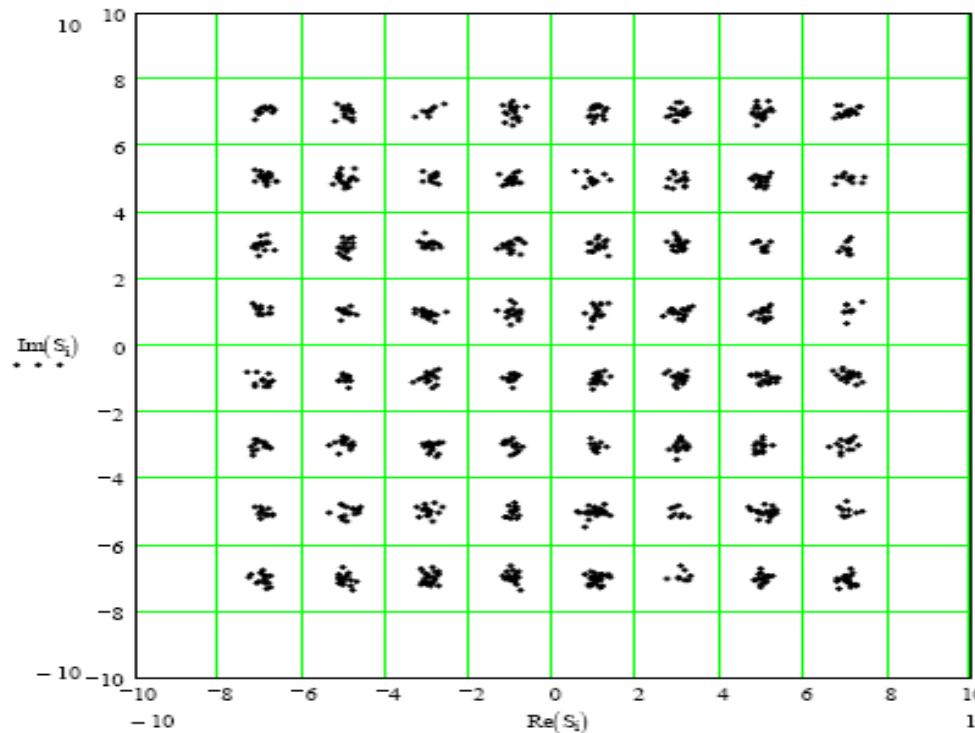
# Sistemas Multinivel Modulación (22)

## — Diagrama de Constelación 16 QAM



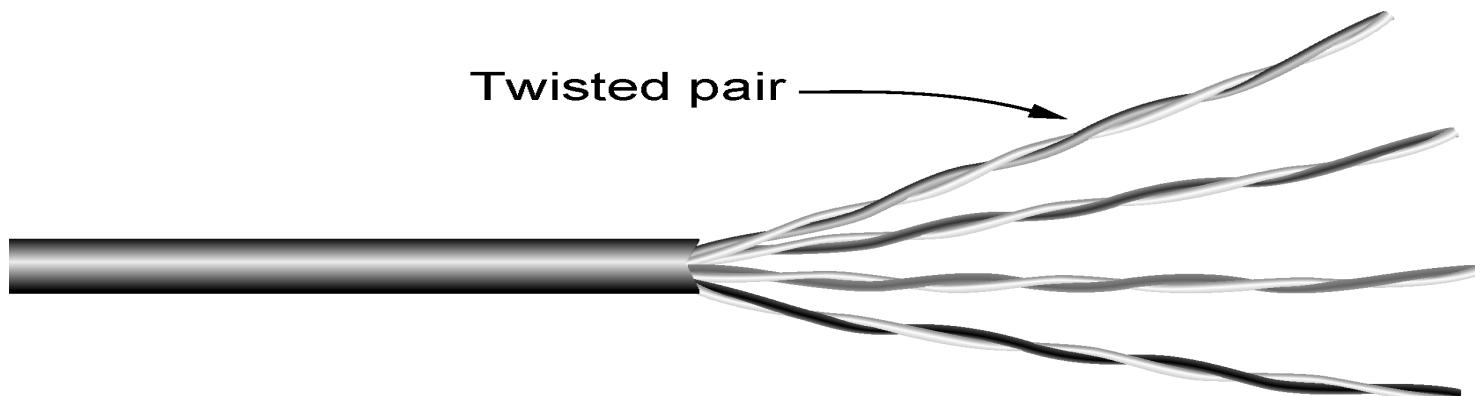
# Sistemas Multinivel Modulación (23)

- En general, es muy importante controlar problemas en el canal y una forma de hacerlo es ver la constelación



# Medios de Transmisión (1)

- Podemos dividirlos en 2 grupos:
  - Transmisión Alámbrica (medios guiados)
  - Transmisión Inalámbrica (medios no guiados)
- Transmisión Alámbrica
  - Par Trenzado



Category 5 UTP cable with four twisted pairs.

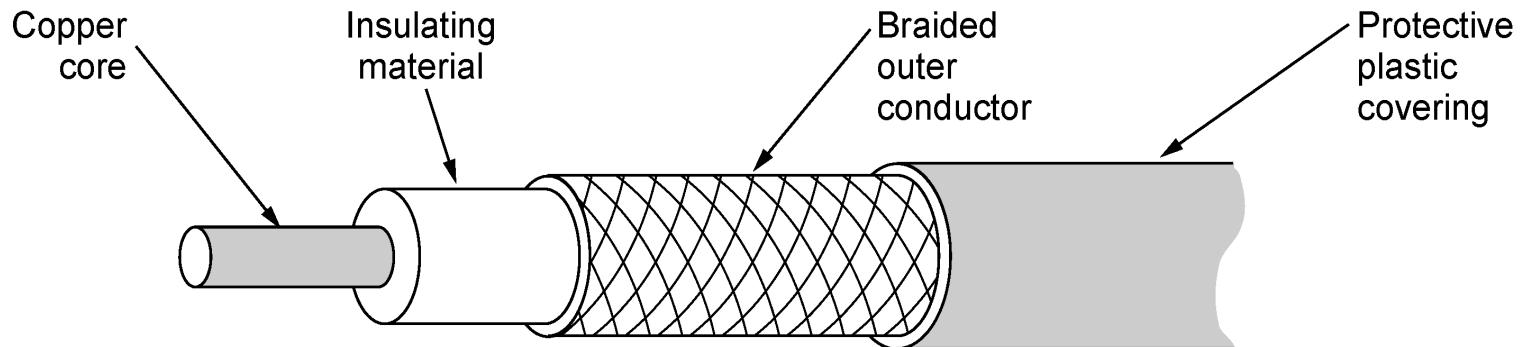
# Medios de Transmisión (2)

## — Par Trenzado .....

- Muy utilizado en Telefonía inicialmente
  - Varios Kms sin amplificación
- Aplicaciones analógicas y digitales
- UTP (Unshielded Twisted Pair) muy usado hoy
  - Una variación del Par Trenzado
  - Se define una mejor calidad
  - Se define en estandares Categoría 3, Categoría 4, Categoría 5 y Categoría 6
- Menor ancho de banda
- Fácil de trabajar: herramientas de bajo costo
- Mayor atenuación con frecuencias altas y distancia

# Medios de Transmisión (3)

## — Cable Coaxial:



A coaxial cable.

- Datos: banda base: 50 ohmios
- CATV: banda ancha: 75 ohmios

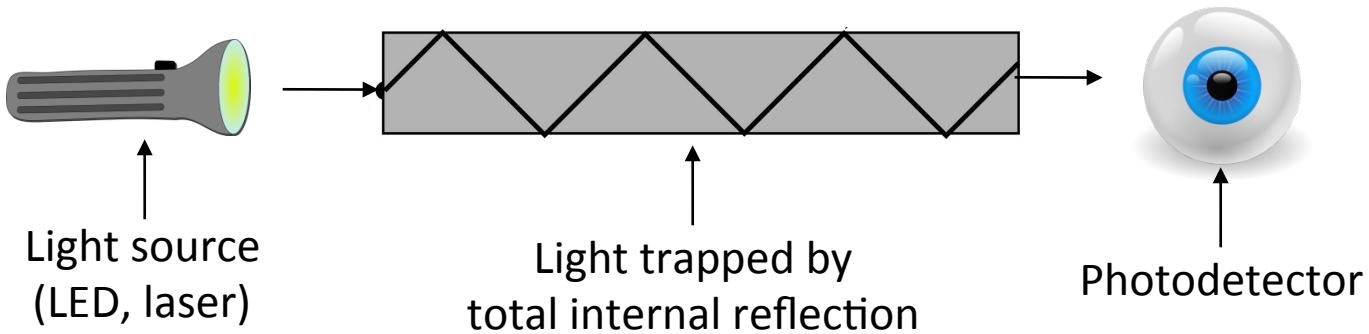
# Medios de Transmisión (4)

## — Cable Coaxial....

- Hoy no se usa mucho para datos
  - Ethernet utilizaba coaxial originalmente
- Mejor ancho de banda: hoy 3 GHz
- Normalmente con mejor blindaje (shield)
- Mayor atenuación a altas frecuencias y distancia
- Fácil de trabajar: herramientas de bajo costo

# Medios de Transmisión (5)

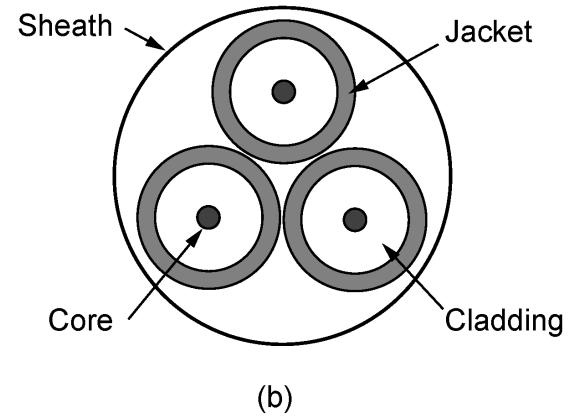
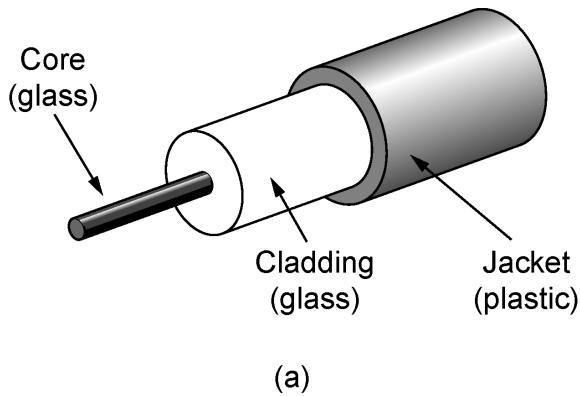
## – Fibra Optica



- Mayor distancia sin amplificación
- Mayor ancho de banda de todos (monomodo)
- Muy poco ruido e interferencia
- Dos tipos: multimodo y monomodo

# Medios de Transmisión (6)

## – Fibra Óptica...

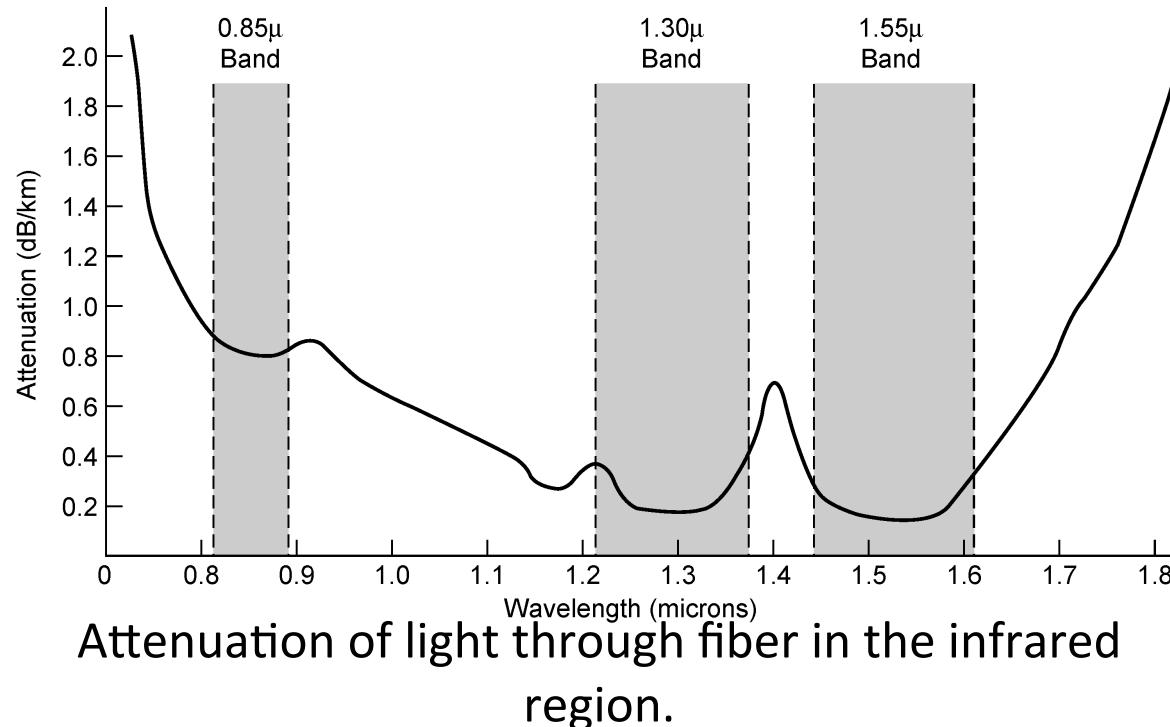


(a) Side view of a single fiber. (b) End view of a sheath with three fibers.

- Monomodo: núcleo 10 micrómetros
- Revestimiento: 125 micrómetros

# Medios de Transmisión (7)

- Fibra Optica...
  - Varias ventanas de operación



# Medios de Transmisión (8)

## — Fibra óptica.....

- Se usa mucho en LANs, WAN,s, CATV
- La más usada es la monomodo (antes multimodo)
- No se atenúa por frecuencia, solo por distancia
- Herramientas de trabajo son caras

# Medios de Transmisión (9)

- Transmisión Inalámbrica
  - Ultimamente se ha desarrollado bastante
  - Antes, debemos de hablar del Espectro Electromagnético

$$\lambda = \frac{f}{C}$$

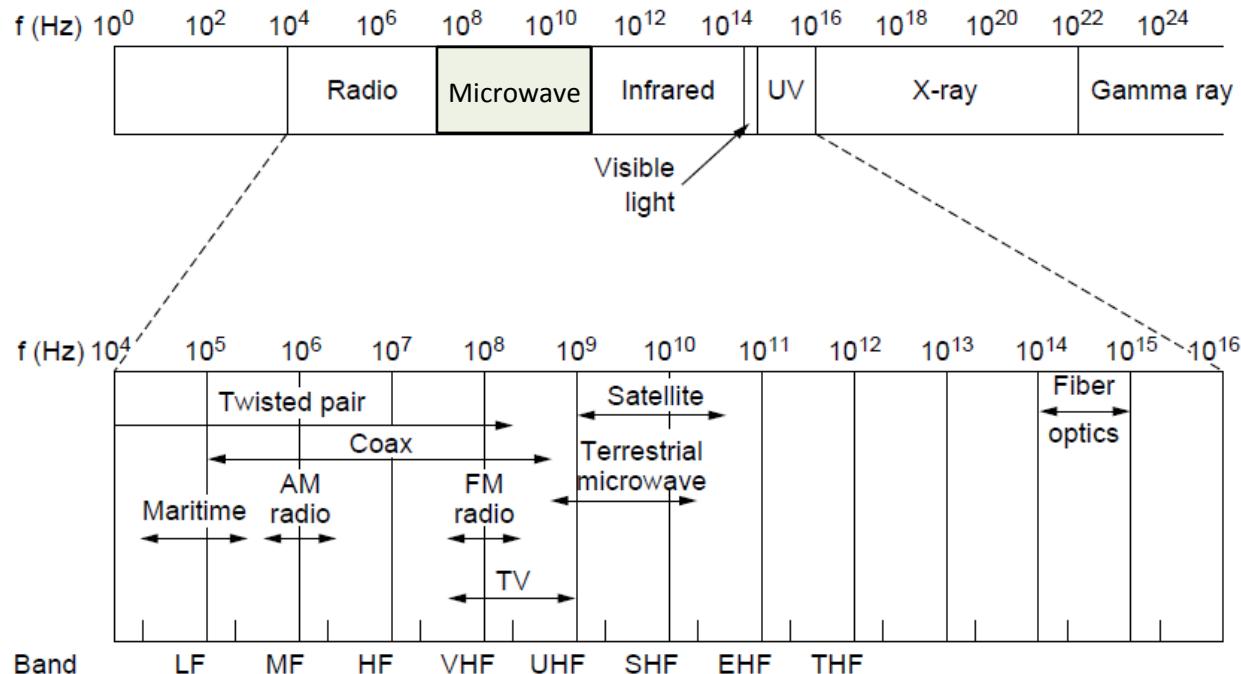
Tamaño de antena:

$$\frac{\lambda}{2} \quad a \quad \frac{\lambda}{4}$$

- Característ. de transmisión depende de frecuencia

# Medios de Transmisión (10)

- Transmisión Inalámbrica...
  - Espectro Electromagnético

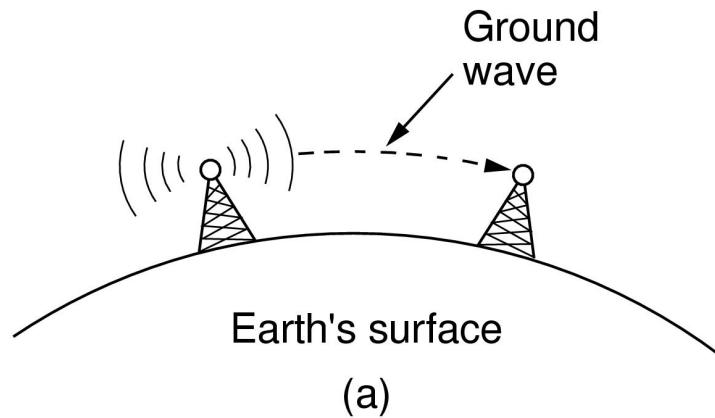


# Medios de Transmisión (10)

- Transmisión Inalámbrica....
- Radio
  - Omnidireccional
  - Penetra fácilmente edificios
  - Atenuación mayor a frecuencias mayores (más que en el caso de medios alámbricos)
  - VLF, LF, MF, VHF, UHF son consideradas como Radio

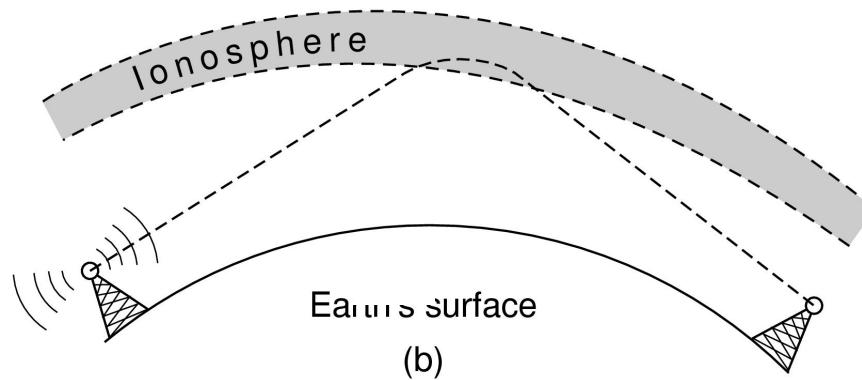
# Medios de Transmisión (11)

- Transmisión Inalámbrica....
- Radio



# Medios de Transmisión (12)

- Transmisión Inalámbrica....
- Radio



- HF, las ondas rebotan de la ionosfera

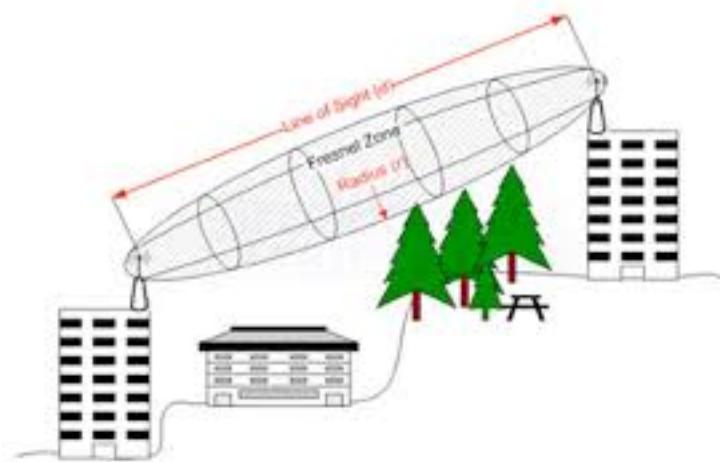
# Medios de Transmisión (13)

## – Microondas

- Frecuencias altas: las ondas viajan en línea recta
- Necesita línea de vista (LOS: line of sight)
- El radio de curvatura de la Tierra tiene un efecto
- Se necesitan repetidores a menos distancia
- No pasan los edificios
- 2 tipos: Terrestres y Satelitales

# Medios de Transmisión (14)

- Microondas....



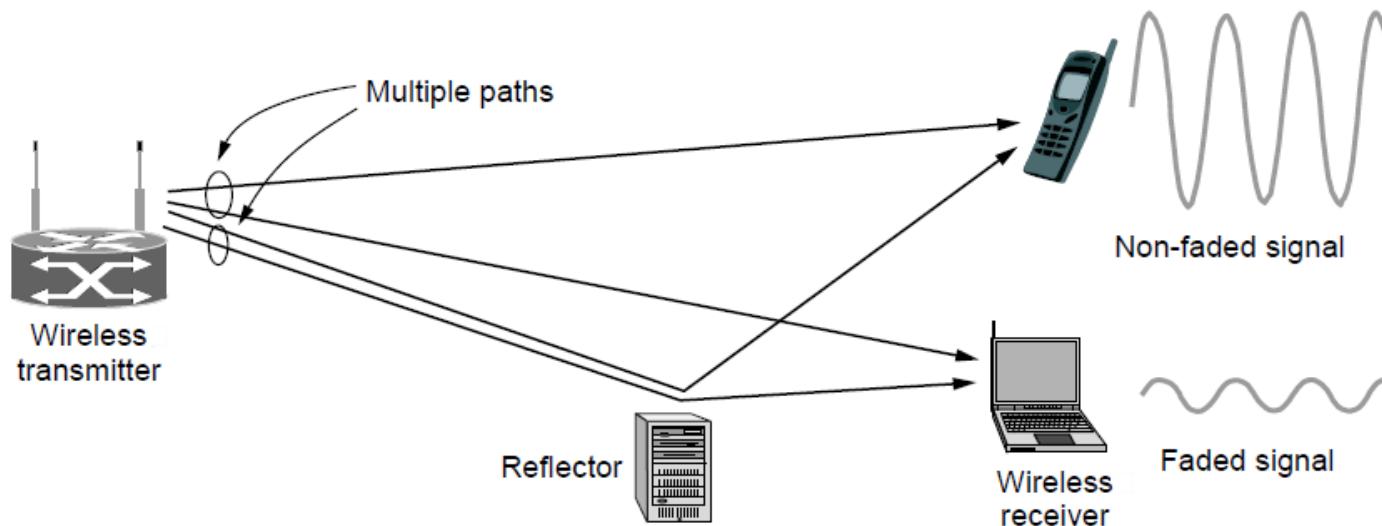
# Medios de Transmisión (15)

## – Microondas....

- Terrestres
- Frecuencias de 2 a 40 GHz
- Distancia limitada por radio de curvatura de la Tierra a unos 60 Kms
- La lluvia tiene efectos importantes
- Mayor ancho de banda que Radio
- Usa antenas parabólicas
- Tienen problemas de desvanecimiento multicamino (multipath fading)

# Medios de Transmisión (16)

- Microondas....
  - Terrestres

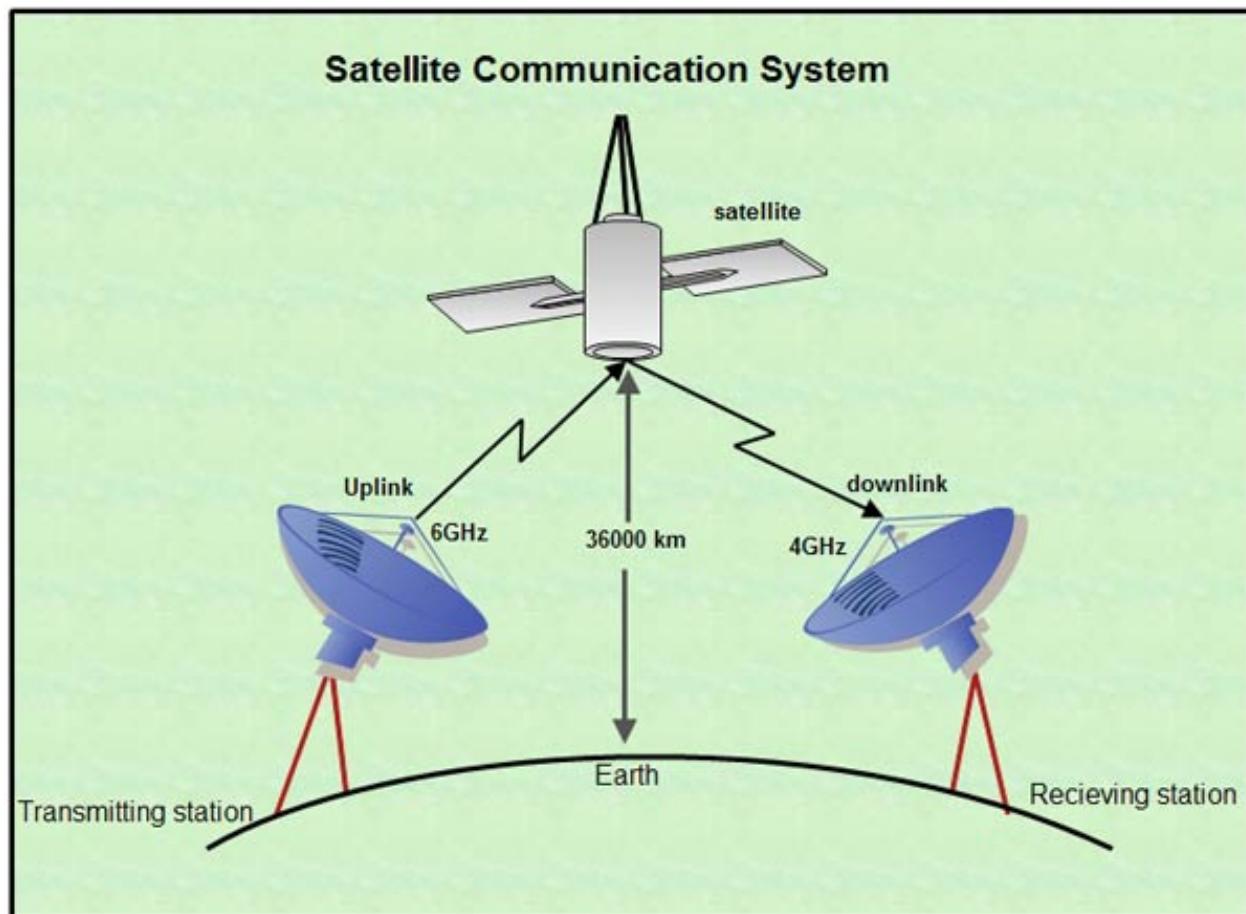


# Medios de Transmisión (17)

- Microondas Satelitales o Satélites
  - Para datos se usan los satélites geoestacionarios
  - Distancia de 35,800 Km de altura
  - Misma velocidad de rotación del satélite con la Tierra
    - Una vez que se ajusta no se mueven las antenas
  - Ancho de banda de 500 MHz
  - Banda C: 4/6 GHz
  - Banda Ku: 11/14 GHz (afectado por lluvia)

# Medios de Transmisión (18)

## — Satélites.....

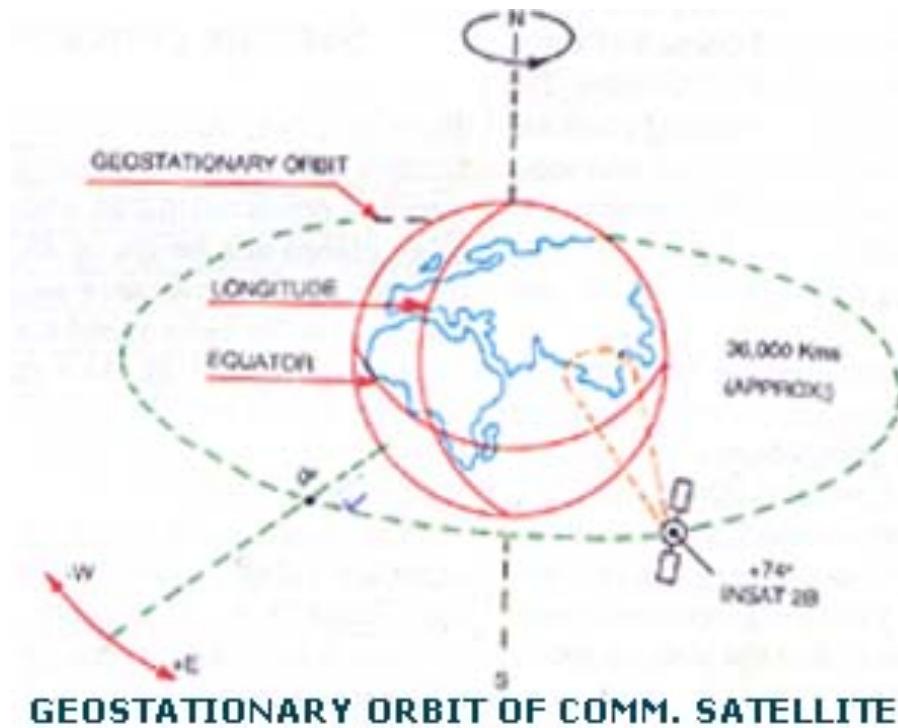


# Medios de Transmisión (19)

- Satélites.....
  - Tiempo de propagación,  $t_p$  muy alto
    - Tiene efecto en rendimiento nivel 2
  - Interferencias solares 2 veces al año
    - Equinocio (primavera y otoño)
  - 3 o 4 grados de separación (reutilizacion de frecuencias)
  - Esto permite un número limitado de satélites en órbita

# Medios de Transmisión (20)

- Satélites.....



# Medios de Transmisión (21)

- Alámbrico vrs Inalámbrico
- Alámbrico/Fibra
  - Más estable
  - Mayores velocidades
  - Más caro de implementar
  - No soporta movilidad o broadcast
- Inalámbrico
  - Más barato y fácil de implementar
  - Soporta movilidad y broadcast
  - Más interferencias deben de ser manejadas
  - Más variable las velocidades que se pueden conseguir

# Multiplexación (1)

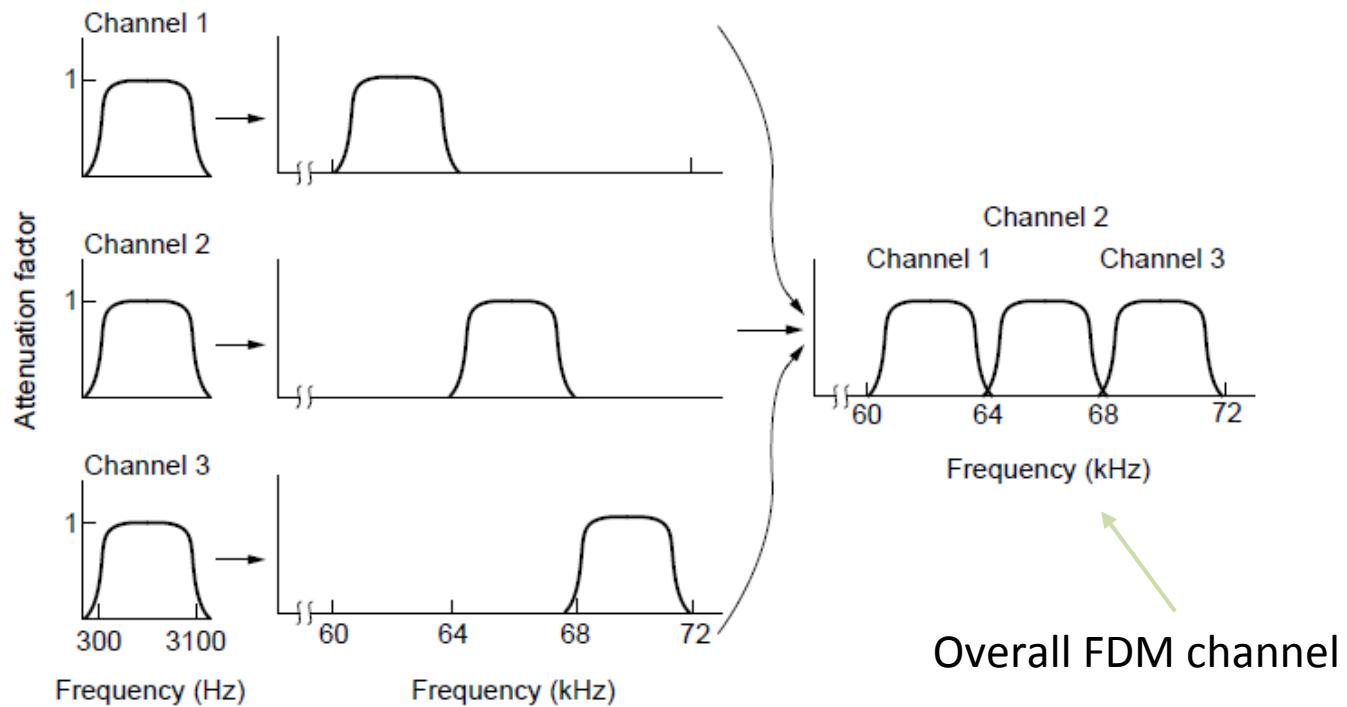
- Existen 3 tipos básicos
  - FDM: Frequency Division Multiplexing
  - TDM: Time Division Multiplexing
    - TDM Sincrónico
    - TDM Asincrónico (concentrador)
  - WDM: Wavelength Division Multiplexing
- El MUX permite aprovechar mejor el canal
  - Ahorra dinero

# Multiplexación (2)

- FDM
  - Primero en usarse
  - Canales analógicos
  - Espectro radio eléctrico
  - CATV
  - Principio:
    - Espectro de Potencia se divide en canales lógicos
    - Una banda de frecuencia se convierte en subbandas más pequeñas
  - Durante todo el tiempo se tiene un ancho de banda menor

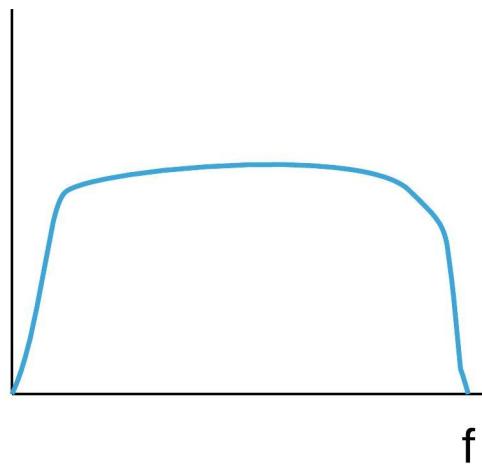
# Multiplexación (3)

## — FDM



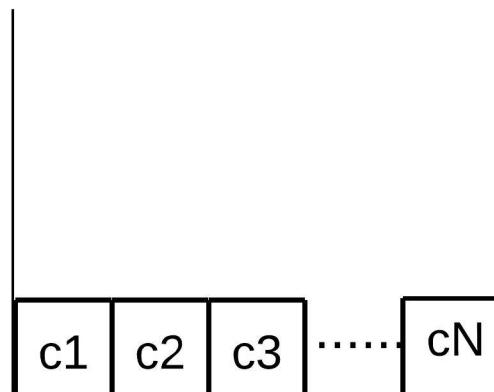
# Multiplexación (4)

- TDM Sincrónico (sin memoria)
  - Ancho de banda no se divide
  - Se asigna completo a cada canal pero por un tiempo limitado



# Multiplexación (5)

- TDM Sincrónico (sin memoria).....
  - Solo para aplicaciones digitales
  - Para aplicaciones analógicas, primero se muestrea y digitaliza
  - En el tiempo:



# Multiplexación (6)

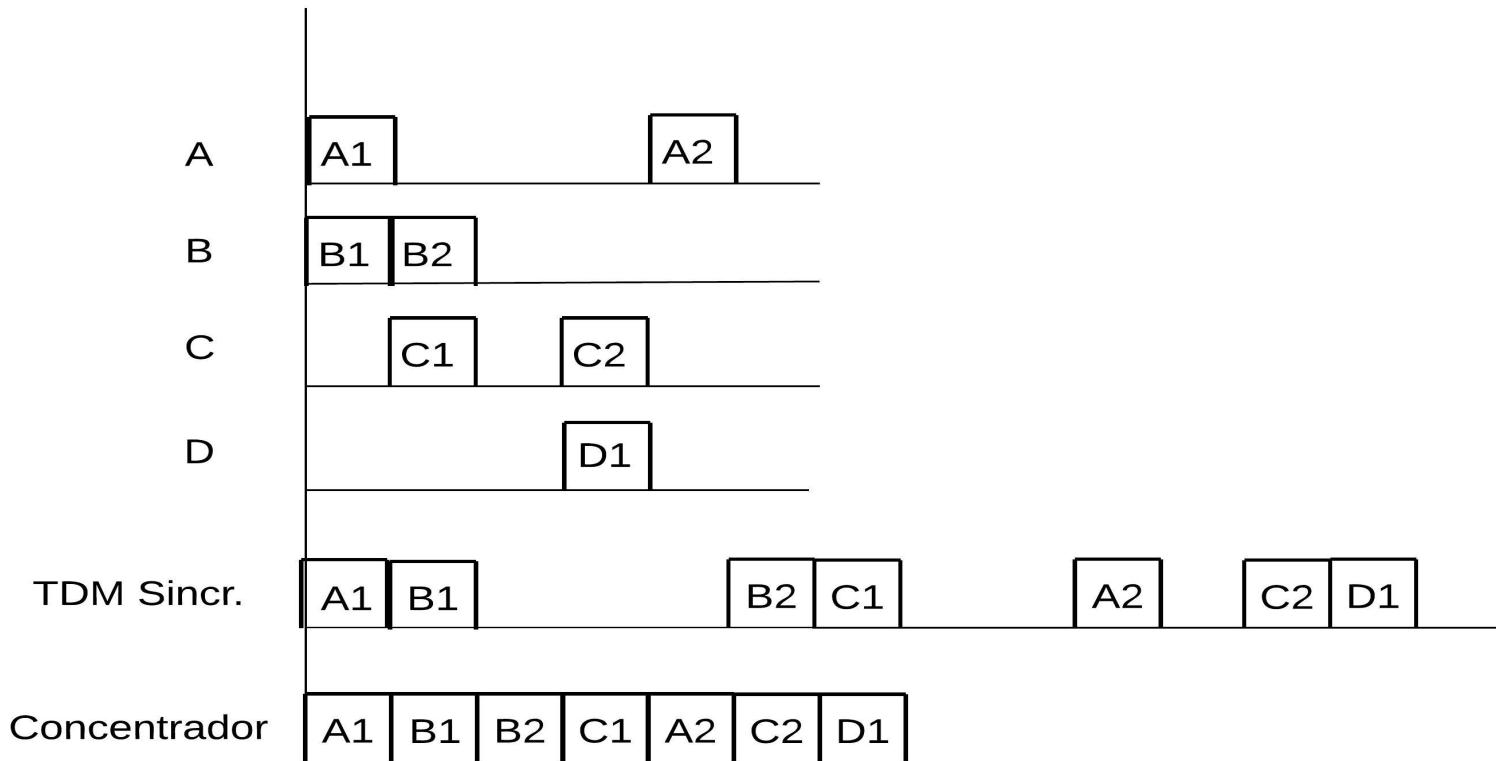
- TDM Sincrónico (sin memoria).....
  - Trama es la unidad de datos en nivel 2
  - Una trama contiene 1 dato de todos los canales
  - Ejemplos de estos sistemas son Telefonía
    - PCM
    - E1, T1
    - SDH, Sonet
      - » STM1
      - » STM4
      - » STM16

# Multiplexación (7)

- TDM No sincrónico (concentrador)
  - Si tiene memoria
  - También se conocen como TDM Estadístico
  - Normalmente la capacidad de salida es menor a capacidad de entrada (**contrario a TDM Sincr**)
  - Se arregla con “tener memoria”
  - Más eficiente para transmisión de datos

# Multiplexación (8)

- TDM No sincrónico (concentrador).....



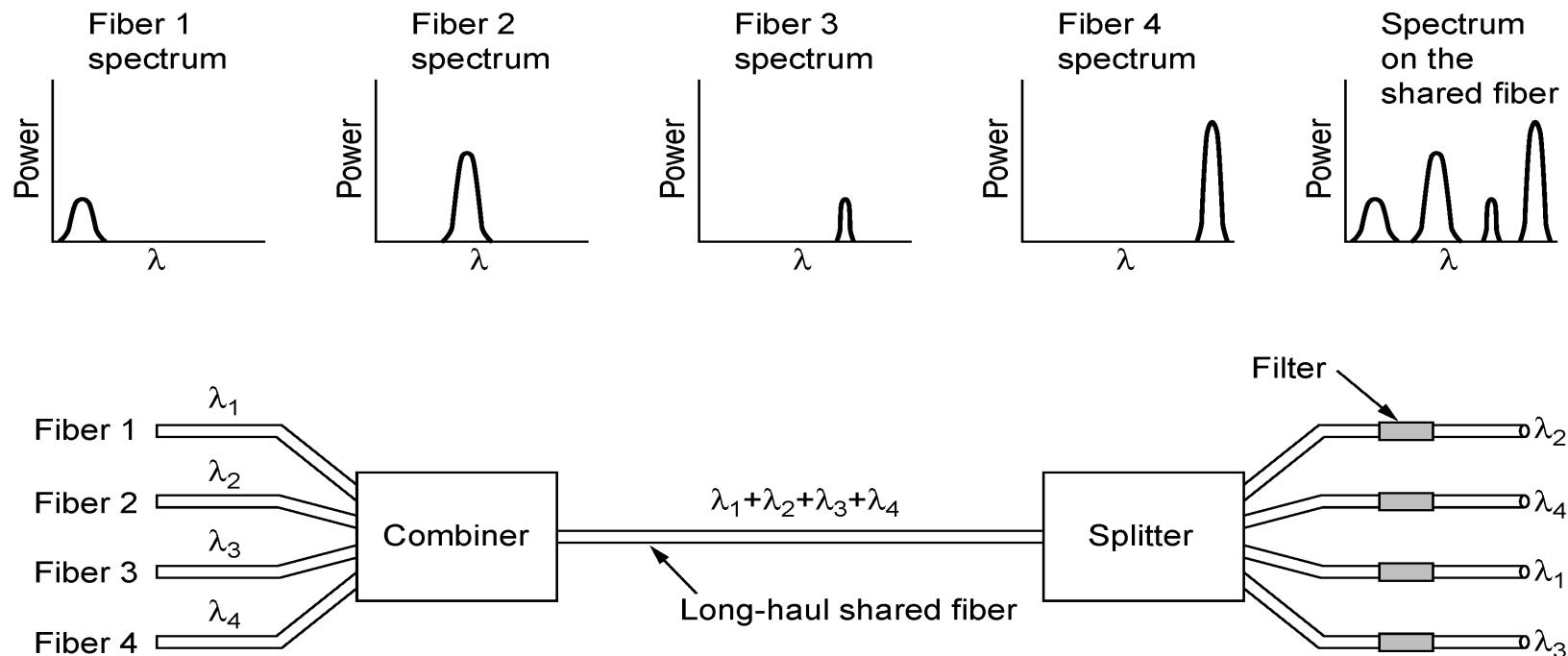
# Multiplexación (9)

- TDM No sincrónico (concentrador).....
  - Hay un error en la figura anterior
  - Como se identifica cual es la siguiente trama?
  - Ya no es como TDM Sincrónico que si se mantiene la sincronía se sabe de quién son los datos
  - Hay que agregar información de control
  - Principio de Routers

DirA-Datos A

# Multiplexación (10)

## – WDM



Wavelength division multiplexing.

# Multiplexación (10)

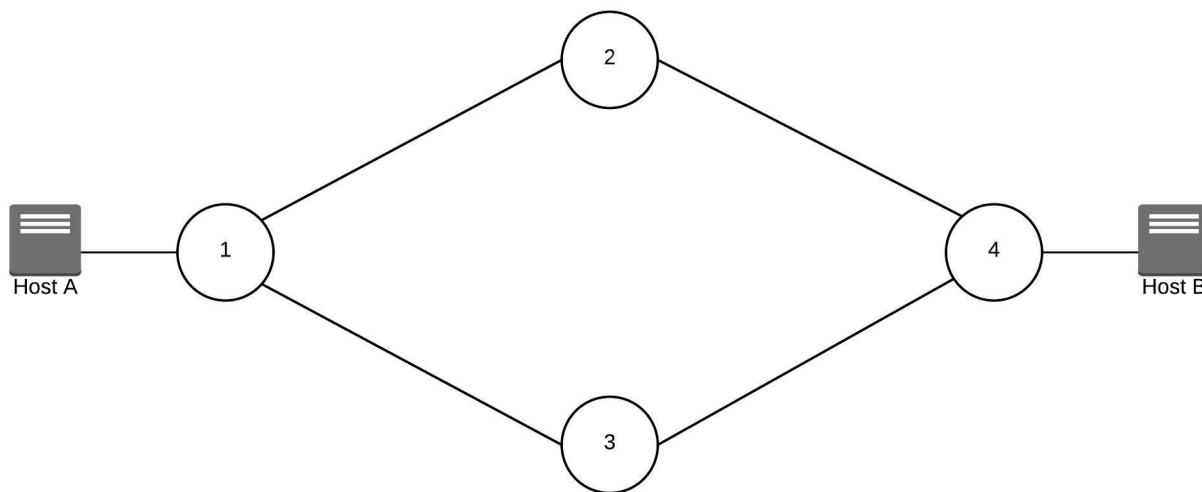
## – WDM...

- Solo se usa en fibra óptica
- DWDM: Dense WDM
  - Se pueden multiplexar hasta 40 lambdas en 1550 nm
  - También se puede hacer WDM en 1310 pero no se pueden multiplexar tantas lambdas

# Redes Conmutadas (1)

- Existen 2 tipos básicos de redes conmutadas
  - Comutación de circuitos
  - Comutación de paquetes
- Una red consiste de:
  - Una colección de nodos
  - Líneas de Transmisión que conectan a los nodos
  - Hosts
- Hay nodos de paso o intermedios

# Redes Conmutadas (2)



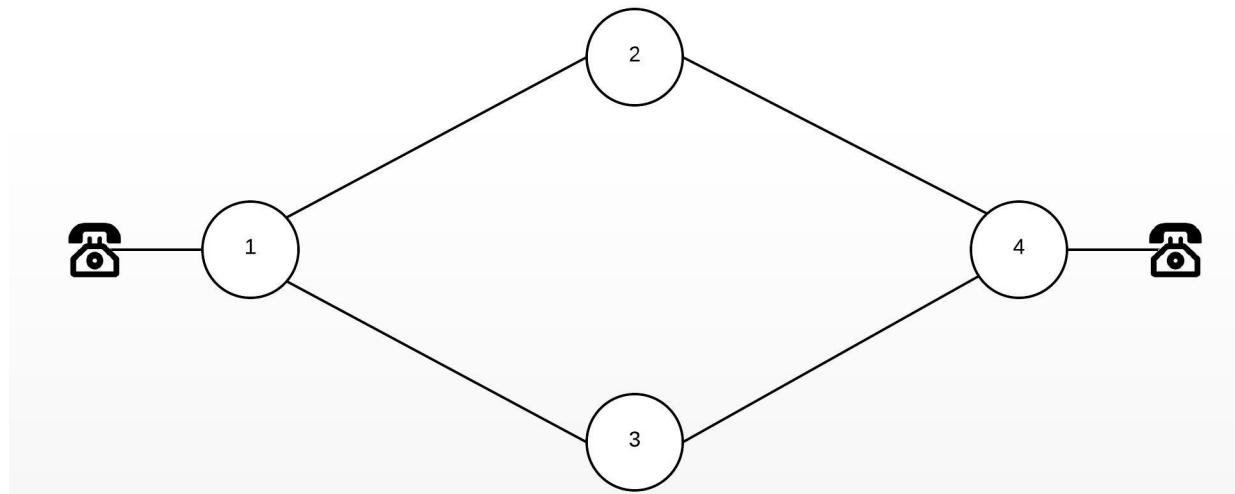
# Redes Conmutadas (3)

- Diferentes tipos de tráfico
  - Tráfico Telefónico
    - Necesita un canal con poco ancho de banda pero continuo
  - Tráfico de Datos
    - Necesita un canal con mucho ancho de banda pero intermitentemente
  - Originalmente, las redes se diseñaban para el tipo de tráfico
    - Es decir, habían diferentes redes para el tipo de tráfico y no una red que manejara todos los tipos de tráfico

# Redes Conmutadas (4)

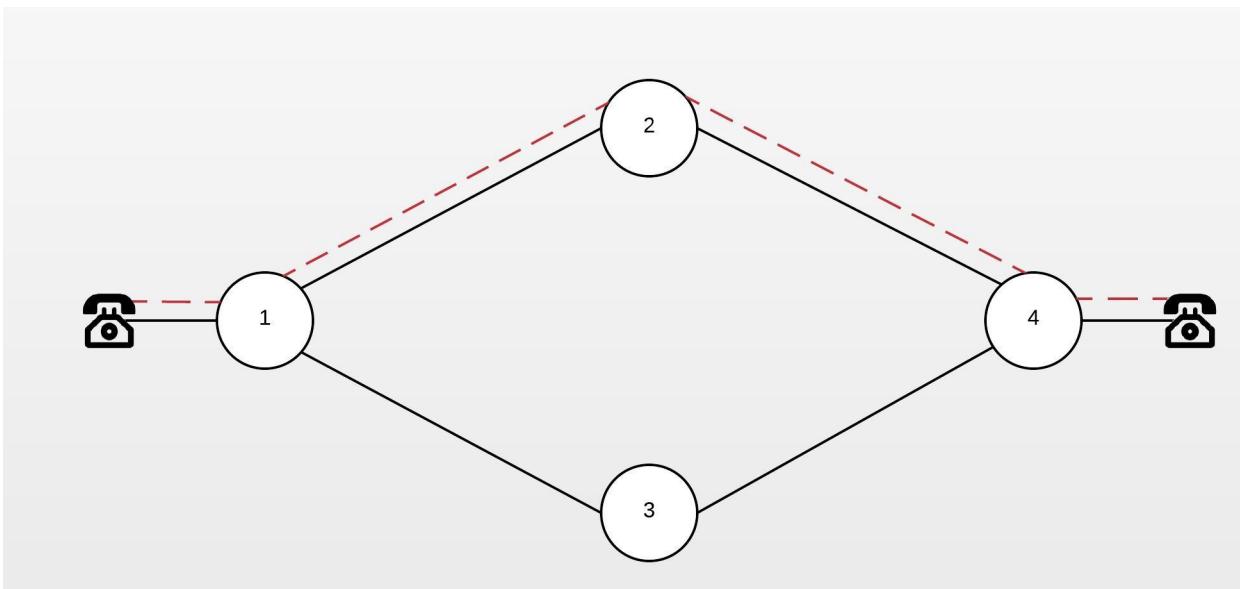
## — Comutación de Circuitos

- Se escoge una sola ruta para toda la conexión
- Se reservan los recursos
- Orientado a conexión



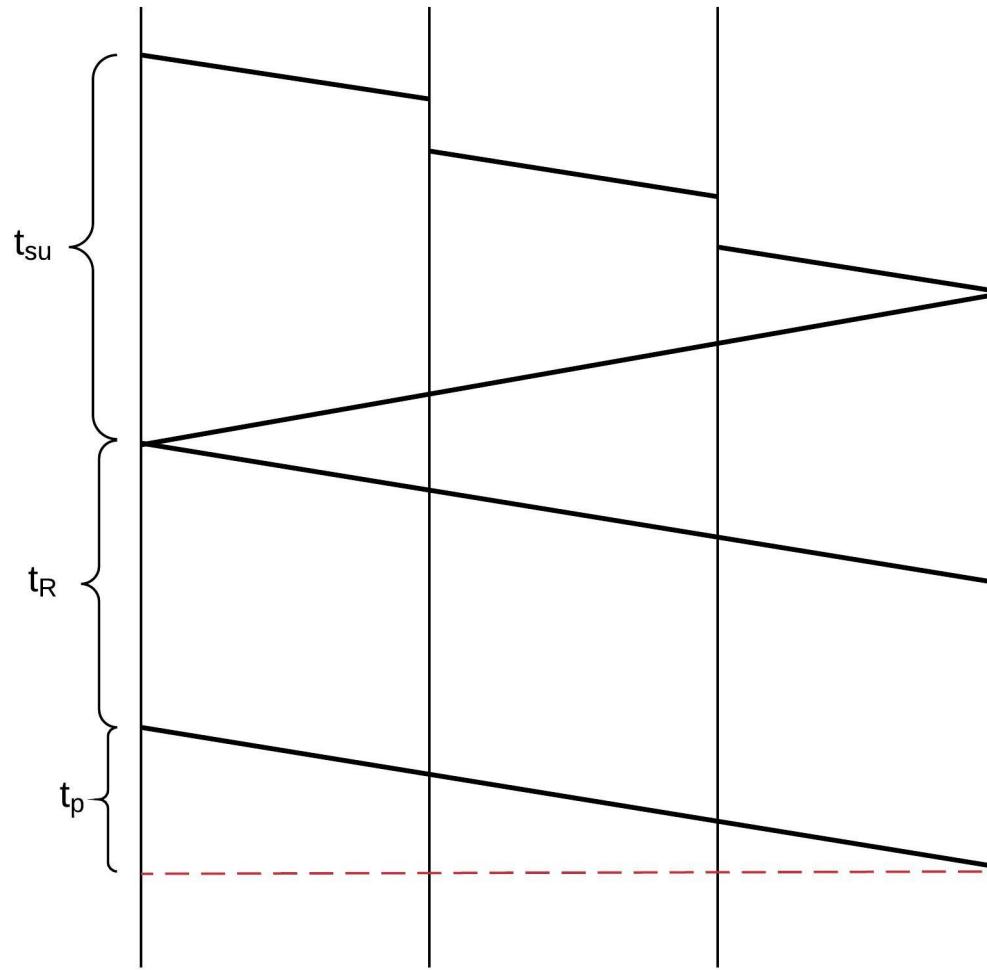
# Redes Conmutadas (5)

- Comutación de Circuitos....
  - Red telefónica tradicional se basa en esta tecnología



# Redes Conmutadas (6)

Análisis de Tiempos: Comutación de Circuitos



# Redes Conmutadas (7)

- Comutación de Circuitos....

$T_t = \text{Tiempo total}$

$t_{su} = \text{tiempo inicialización}$

$t_R = \text{tiempo TX}$

$t_p = \text{tiempo propagación}$

$M = \text{Mensaje en bits}$

$R = \text{velocidad de TX bps}$

$T_t = \text{Tiempo total}$

# Redes Conmutadas (8)

- Comutación de Circuitos...

$$T_t = t_{su} + t_R + t_p$$

$$T_t = t_{su} + M/R + t_p$$

*m: Núm. de enlaces (hops o saltos)*

*M: mensaje completo en bits*

*N: Núm. de paquetes*

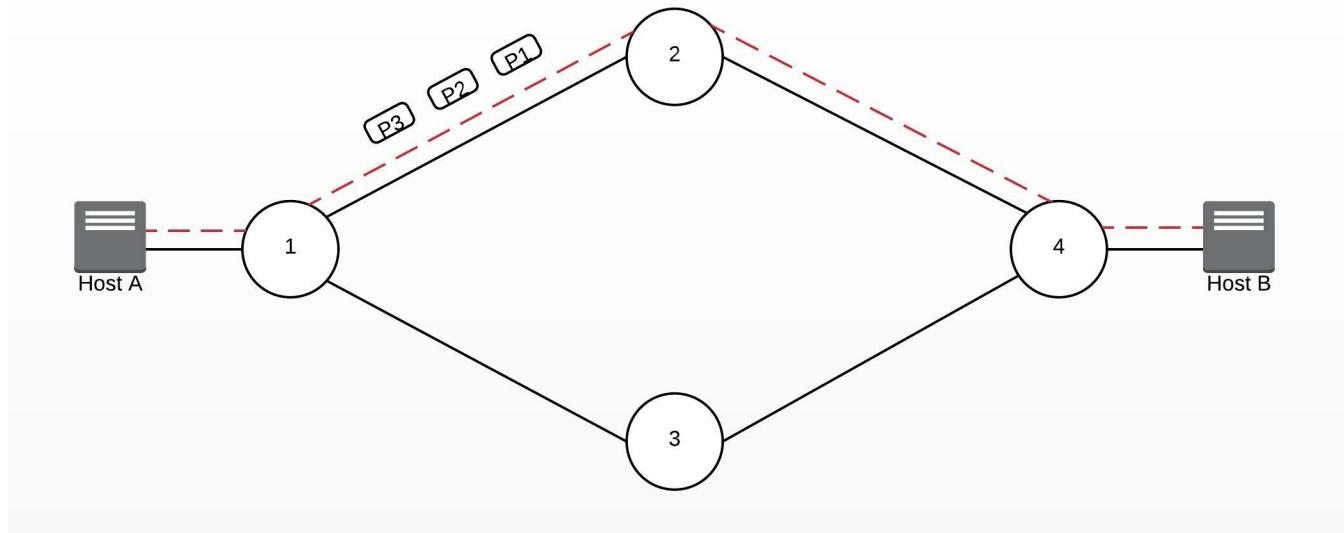
# Redes Conmutadas (9)

## — Conmutación de Paquetes

- Es una red de Store & Forward
- (Almacene y Retransmita)
- Nodos: routers
- Nodos sí tienen memoria
- Nueva estrategia: **No reservar recursos**
- Dos modalidades
  - Circuito Virtual: Orientado a Conexión
  - Datagrama: Sin Conexión
- Información se divide en paquetes (solo digital)

# Redes Conmutadas (10)

- Comutación de Paquetes.....
  - Circuito Virtual

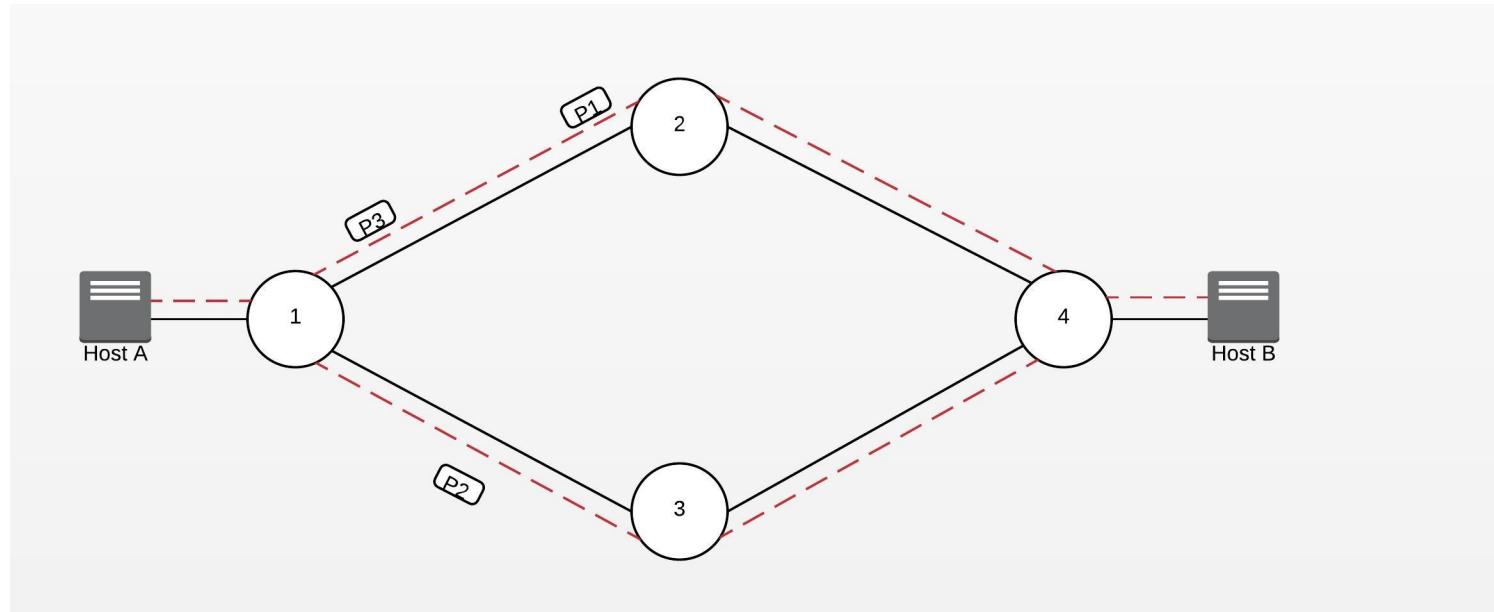


# Redes Conmutadas (11)

- Comutación de Paquetes.....
  - Circuito Virtual...
    - 1 sola ruta
    - No se reservan recursos
    - Con memoria

# Redes Conmutadas (12)

- Comutación de Paquetes.....
  - Datagrama

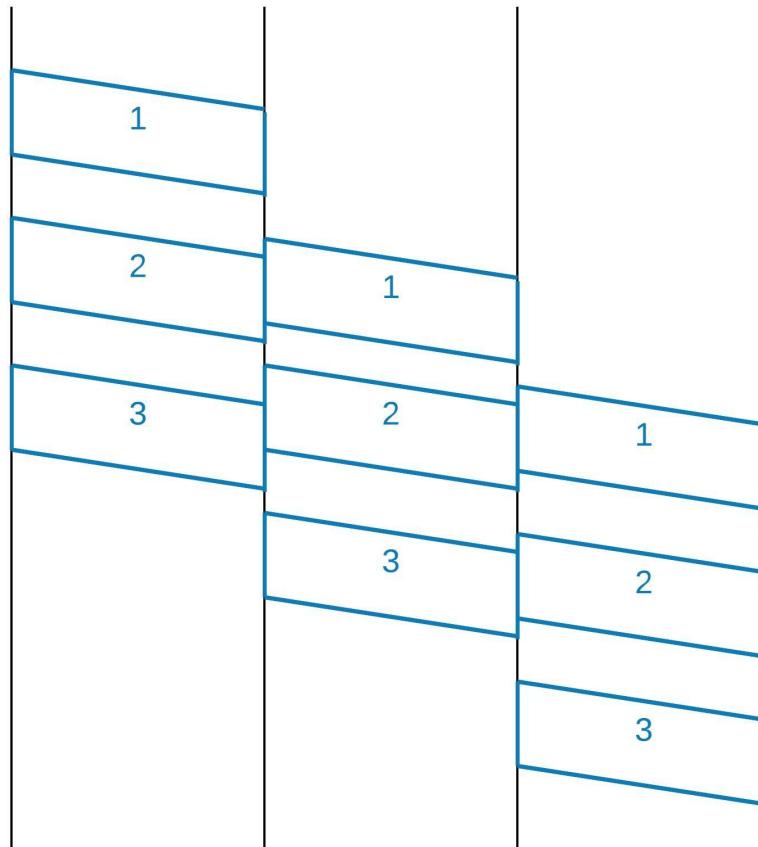


# Redes Conmutadas (13)

- Análisis de tiempos Datagrama....
  - Varias rutas
  - No se reservan recursos
  - Con memoria

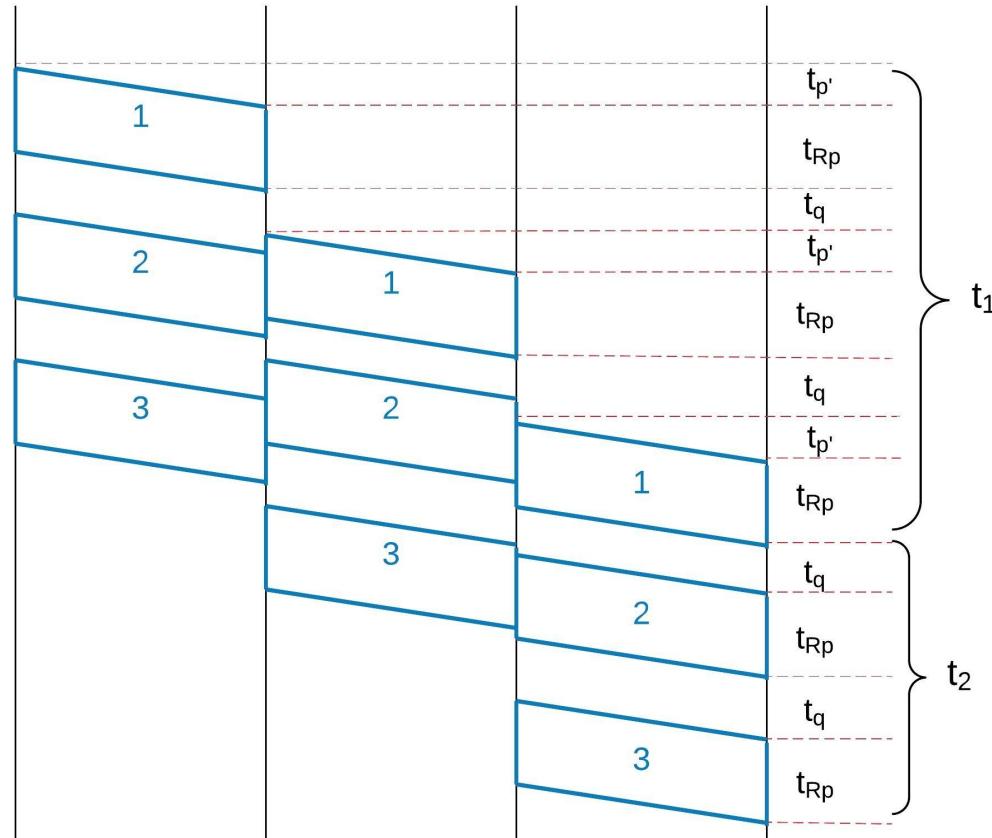
# Redes Conmutadas (14)

Análisis de Tiempos:  
Conmutación de Paquetes:  
Datagrama



# Redes Conmutadas (15)

Análisis de Tiempos:  
Comutación de Paquetes:  
Datagrama



# Redes Conmutadas (16)

## – Análisis

- $m$ : Núm. de enlaces (*hops o saltos*)
- $M$ : mensaje completo en bits
- $N$ : Núm. de paquetes
- $L$ : longitud de paquete
- $R$ : velocidad de transmisión
- $t_q$ : tiempo de cola
- $t_p$ : tiempo propagación entre enlaces
- $t_{Rp}$ : tiempo de TX de 1 paquete

# Redes Conmutadas (17)

## – Análisis

$$t_p = m \ t_{p'}$$

$$t_R = N \ t_{Rp}$$

$$t_{p'1} = t_{p'2} = t_{p'3}$$

$$t_{q1} = t_{q2} = t_{q3}$$

$$T_t = t_1 + t_2$$

# Redes Conmutadas (18)

– Análisis....

$$t_1 = m t_{pa} + m t_{p'} + (m - 1) t_q$$

$$t_2 = (N - 1) t_{Rp} + (N - 1) t_q$$

$$\begin{aligned} T_t = & \ m t_{Rp} + (N - 1)t_{Rp} + m t_{p'} \\ & + (m + N - 2) t_q \end{aligned}$$

# Redes Conmutadas (19)

– Análisis....

$$\begin{aligned} T_t = & (m - 1) t_{Rp} + N t_{Rp} + m t_{p'} \\ & + (m + N - 2) t_q \end{aligned}$$

$$T_t = (m - 1)t_{Rp} + t_R + t_p + (m + N - 2)t_q$$

# Redes Conmutadas (20)

– Análisis....

$$T_{tcc} = t_{su} + t_R + t_p$$

$$T_{tcp} = (m - 1)t_{Rp} + t_R + t_p$$

– Entonces, sería comparar:

$$(m - 1)t_{Rp} \text{ vrs } t_{su}$$

# Redes Conmutadas (21)

- Análisis....
- Tiempo de transmisión de paquetes anda en el orden de useg
- Tiempo de inicialización anda en el orden de seg.
- Tráfico interactivo: mejor C-P
- Tráfico pesado: C-P y C-C
- **Pero C-P es más barato ya que no se reservan recursos. Es el punto más importante**

# Red Telefónica (1)

- Sistema Telefónico
  - Red más antigua
  - Acceso Universal (fue la primera)
  - Hoy hay otras como CATV, Celular, etc.
  - Originalmente, la red telefónica se diseño solo para voz (1876)
  - Hoy en día, la red telefónica ha evolucionado
  - La red telefónica convencional o tradicional se conoce como POTS (Plain Old Telephone System)

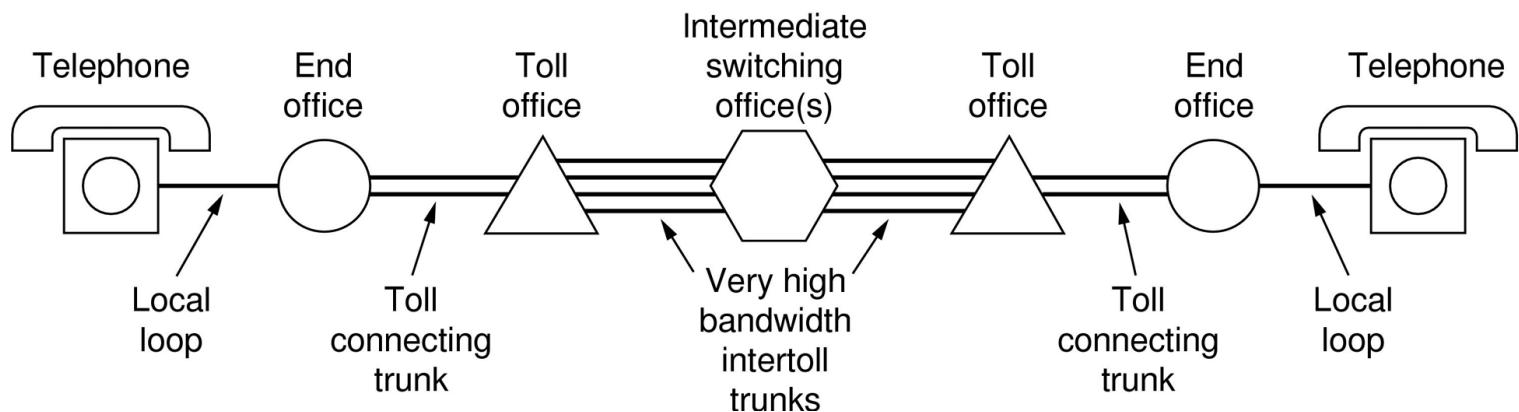
# Red Telefónica (2)

- Sistema Telefónico (POTS)....
  - $B = 3 \text{ KHz}$
  - Aun cuando la voz va de 300 Hz a 15 KHz
  - El oido humano hasta 20 KHz
  - Originalmente se transmitió analógicamente
  - Cuando se hace digitalmente, el oido es tolerante
    - Permite  $\text{BER} = 1 \times 10^{-3}$
    - Datos requiere  $\text{BER} = 1 \times 10^{-5}$  o  $1 \times 10^{-6}$
  - Tiempo promedio de llamada 3 minutos

# Red Telefónica (3)

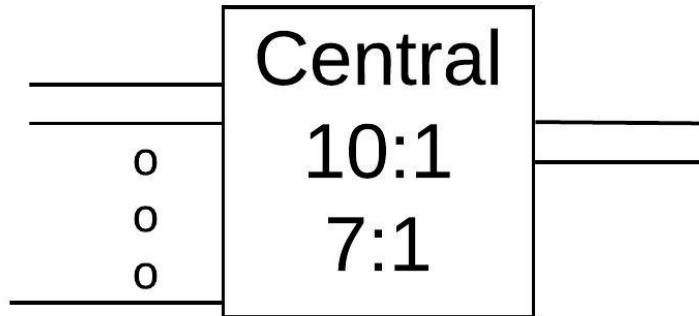
## — Sistema Telefónico (POTS)....

- Las tablas de tráfico telefónico se calcula con tiempo promedio de 3 minutos
- Red general telefónica



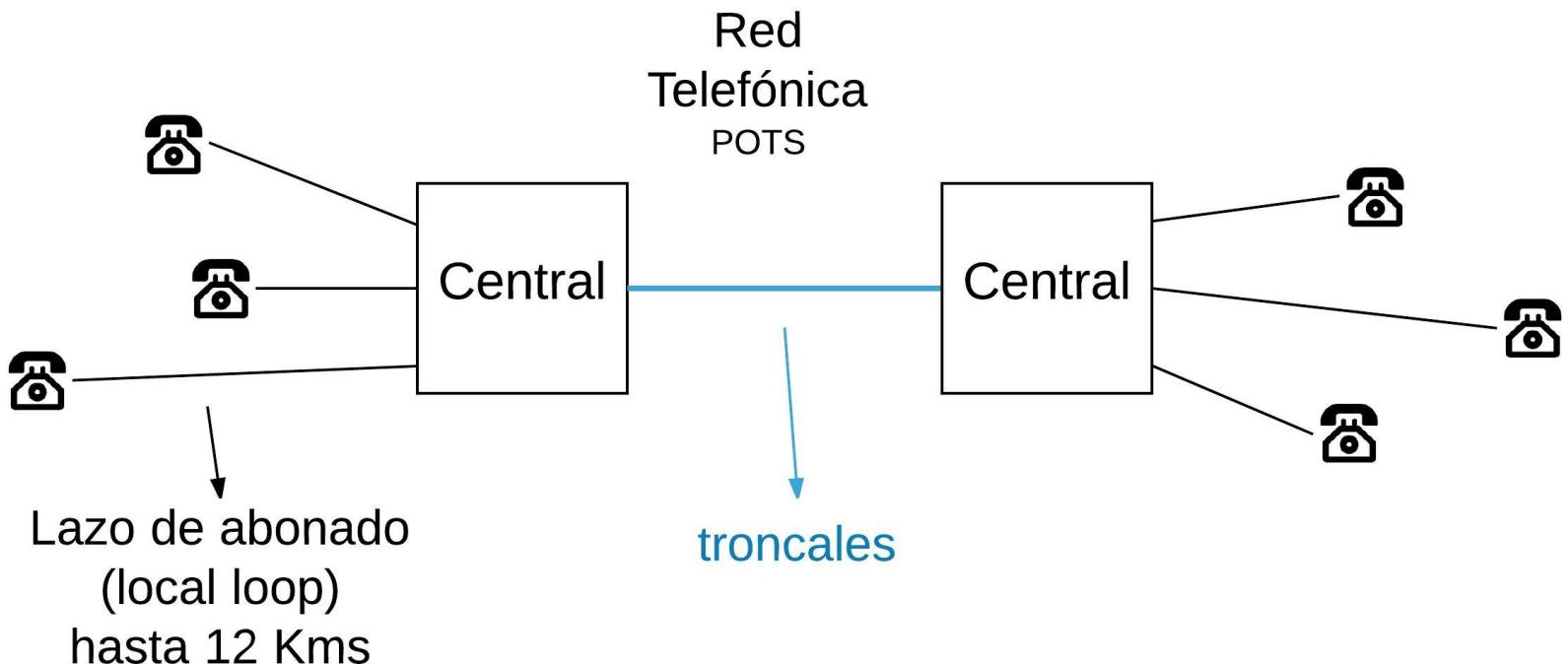
# Red Telefónica (4)

- Sistema Telefónico (POTS)....
  - Veamos con más detalle:
  - Concentraciones típicas de centrales 10:1 o 7:1



# Nuevas Redes (5)

- Sistema Telefónico (POTS)....



# Red Telefónica (6)

- Sistema Telefónico (POTS)....
  - Lazo de abonado o Local loop tiene de 100 m a 12 Km
  - Troncales
    - Analógicas: Centrales Analógicas
    - Digitales: Centrales Digitales
  - EUA: Mux primer Nivel T1
  - T1: 24 canales + 1 bit de sincronización
  - Cada canal es de 8 bits (ley u como codificador)

# Red Telefónica (7)

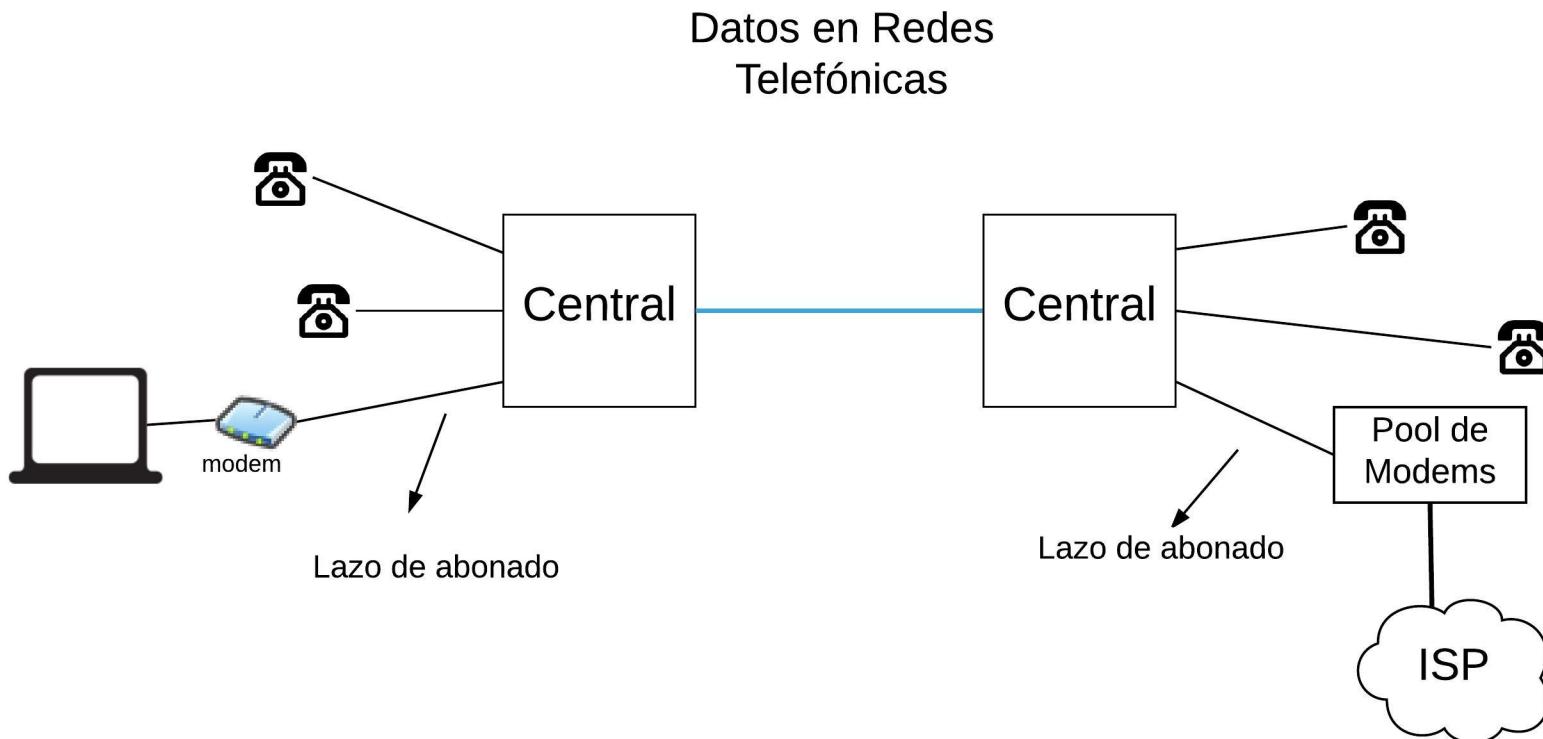
- Sistema Telefónico (POTS)....
  - Según Nyquist hay que muestrear a 8,000 muestras por segundo para telefonía
  - 1 trama = 24 canales x 8 bits/canal + 1 bit sincr
  - 1 trama = 193 bits
  - 193 bits \* 8000 muestras por segundo
  - T1 = 1.544 Mbps
  - Utiliza señalización en banda (in band)
  - Se pierde 1 bit para datos: 56 Kbps

# Red Telefónica (8)

- Sistema Telefónico (POTS)....
  - E1: Estandar Internacional (Europeo)
  - Codificador E1: ley A, 8 bits
  - Según Nyquist: 8000 muestras por segundo
  - 1 trama: 30 canales de voz y 2 canales de control
  - Control: sincronización y señalización
  - Señalización: envio de números de telefono, señales de ocupado, etc.
  - 1 trama = (32 canales de 8 bits ) = 256 bits
  - $E1 = (256 \text{ bits} * 8000 \text{ muestras/seg}) = 2.048 \text{ Mbps}$

# Red Telefónica (9)

## – Sistema Telefónico (POTS)....



# Red Telefónica (10)

## — Sistema Telefónico (POTS)....

- Para aumentar capacidad en canal telefónico se utiliza señalización multinivel
- Ejemplos:
  - V.29: 2400 baudios, 16 símbolos, 4 b/s, 9600bps
  - V.34bis: 2400 baudios, 64 símbolos, 6 b/s, 14400bps
  - V.34: 2400 baudios, 4096 símbolos, 12 b/s, 28.8 Kbps
  - V.34bis: 2400 baudios, 16384 símbolos, 14 b/s, 33.6 K bps

# Red Telefónica (11)

- Sistema Telefónico (POTS)....
  - Se puede calcular con Shannon una capacidad de aproximadamente  $C = 35$  Kbps
  - Por lo que obtener en la práctica 33.6 Kbps es muy bueno
  - Hay un estandar adicional en modems telefónicos: V90
  - El V.90 logra 56 Kbps
  - Como lo hace? Resolver en Tarea

# Nuevas Redes Acceso (1)

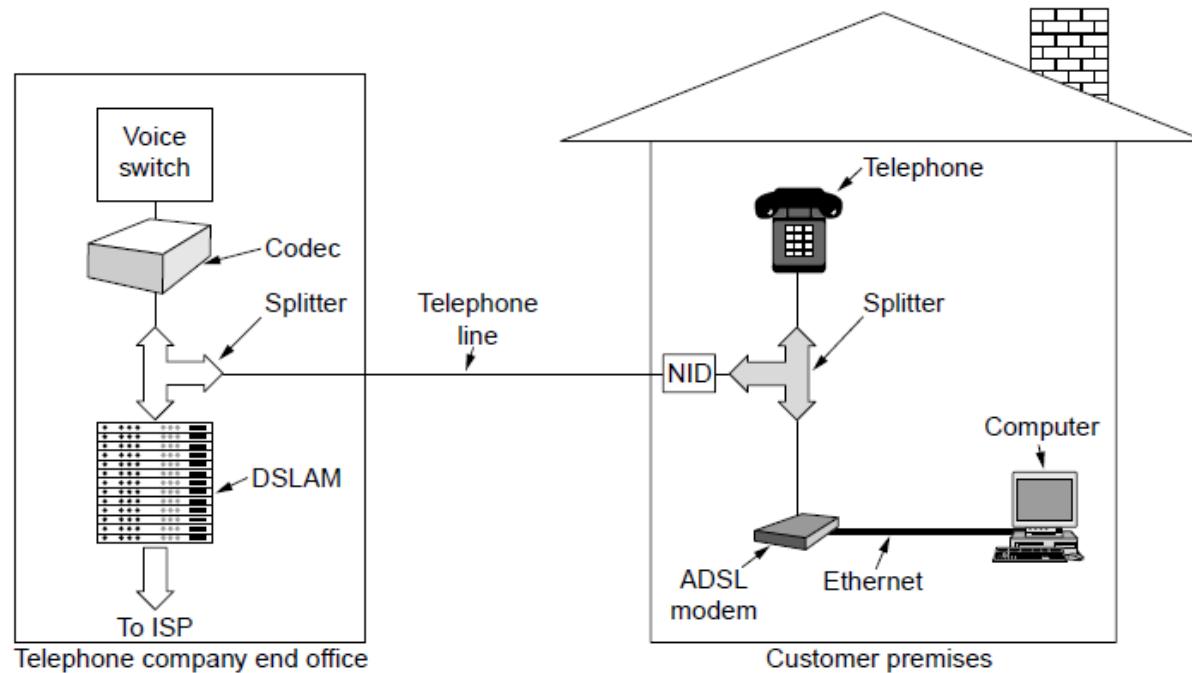
- Hoy en día se han desarrollados otras redes nuevas de acceso
- La red telefónica ya no es la única opción como en el pasado
- Por ejemplo:
  - Redes Telefónicas Modernas (XDSL)
  - CATV
  - FTTH
  - Celular

# Nuevas Redes Acceso (2)

- XDSL: X Digital Subscriber Lines
  - Evolución de las redes telefónicas POTS
  - Telcos: Telephone Companies
  - ADSL es uno de los tipos XDSL más conocidos
  - ADSL: Asymmetric DSL
  - No hay simetría entre lo que se baja con lo que se sube en una red
  - XDSL envia datos desde el lazo de abonado a la Oficina Central usando frecuencias que no utiliza POTS

# Nuevas Redes Acceso (3)

- XDSL: X Digital Subscriber Lines....



# Nuevas Redes Acceso (4)

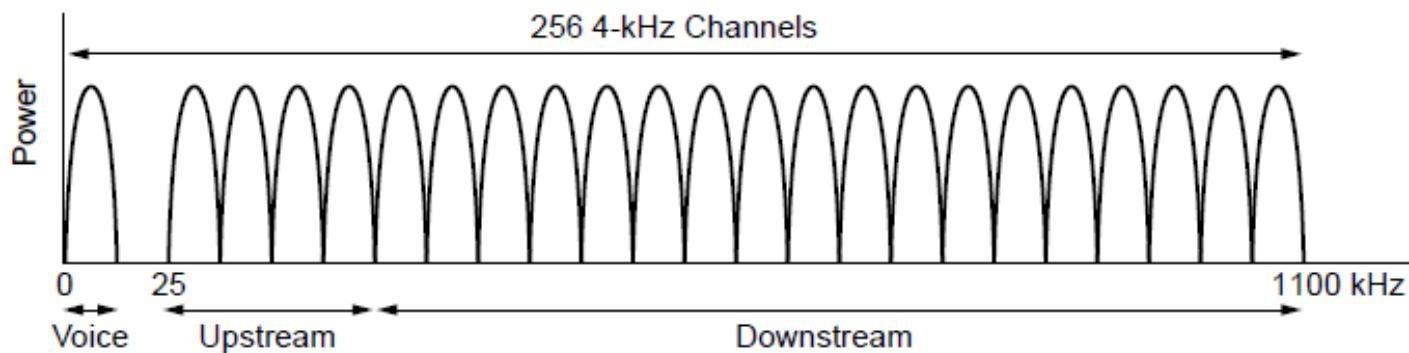
- XDSL: X Digital Subscriber Lines....
  - DSLAM: DSL Access Multiplexer
  - NID: Network Interface Device
  - El DSLAM se conecta a un router para acceso a Internet
  - Utiliza esquemas de modulación más complejos: OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing)
  - Utiliza múltiples portadoras en vez de una única portadora

# Nuevas Redes Acceso (5)

- XDSL: X Digital Subscriber Lines....
  - Lo que se hace en OFDM es que se hacen canales más pequeños que tienen condiciones casi ideales (se transmite en K subcanales simultáneamente) y se hace FDM
  - Cada subcanal se podría modular con algún tipo de QAM multinivel

# Nuevas Redes Acceso (6)

- XDSL: X Digital Subscriber Lines....



- Se tiene el canal de voz tradicional
- 32 canales de 4 KHz para subida
- 224 canales de 4 KHz para bajada

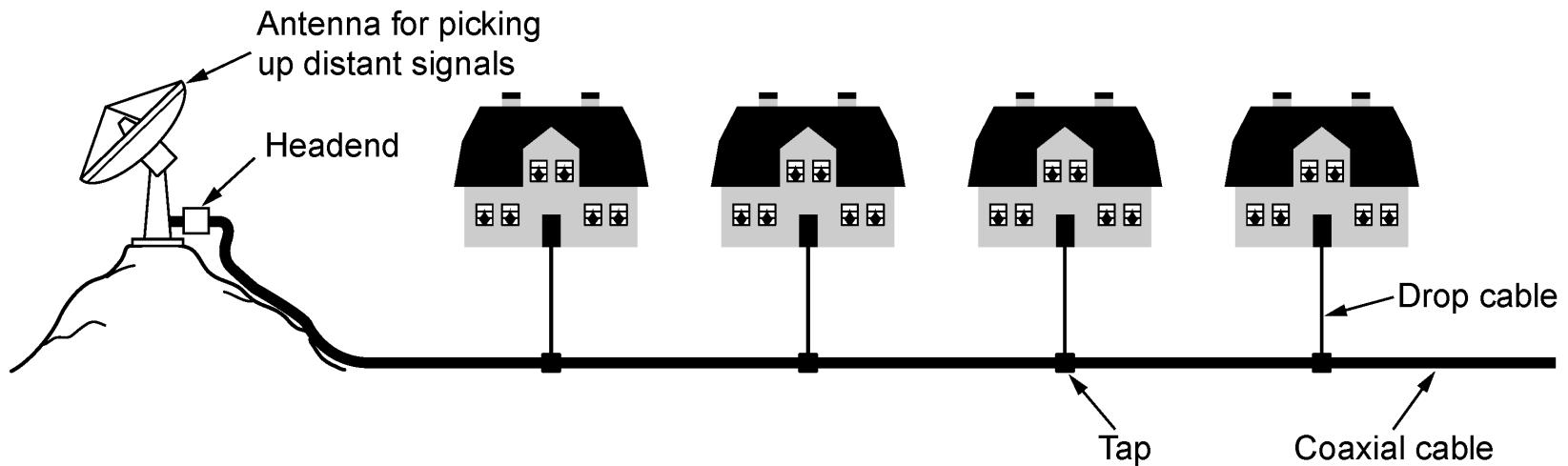
# Nuevas Redes Acceso (7)

- XDSL: X Digital Subscriber Lines....
  - Subida: 32 canales de 4000 baudios y 15 bits por símbolo:
    - 1.9 Mbps teórico
    - 640 Kbps en la práctica
  - Bajada: 224 canales de 4000 baudios y 15 bits por símbolo:
    - 13.44 Mbps
    - En la práctica 8 Mbps

# Nuevas Redes Acceso (8)

## — CATV

- En los inicios cuando era solo TV



An early cable television system.

# Nuevas Redes Acceso (9)

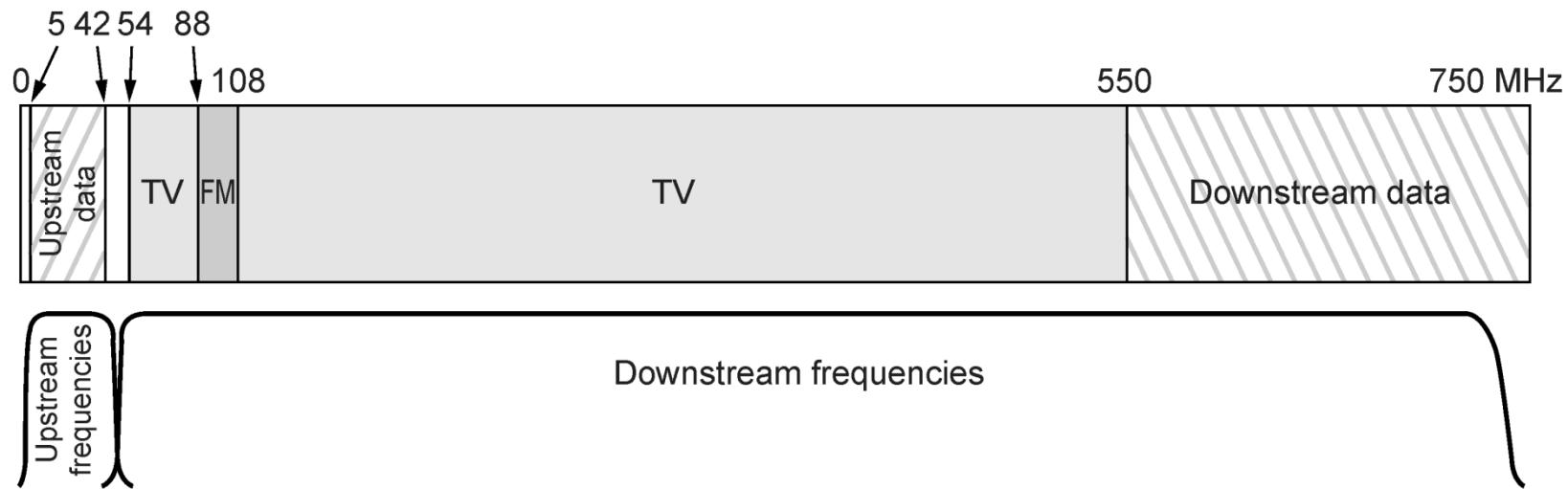
## — CATV.....

- Hoy en día, se aprovecha la red de cable para transmitir Internet
- La oficina central se conoce como Headend o Cabecera
- CATV divide el ancho de banda en subcanales de 6 MHz (por los canales de TV)
- Es un medio compartido
- Se introduce concepto de reutilización de frecuencias
- CATV evoluciona a HFC: Hybrid Fiber Coaxial

# Nuevas Redes Acceso (10)

## — CATV.....

- Es una red asimétrica



Frequency allocation in a typical cable TV system used for Internet access.

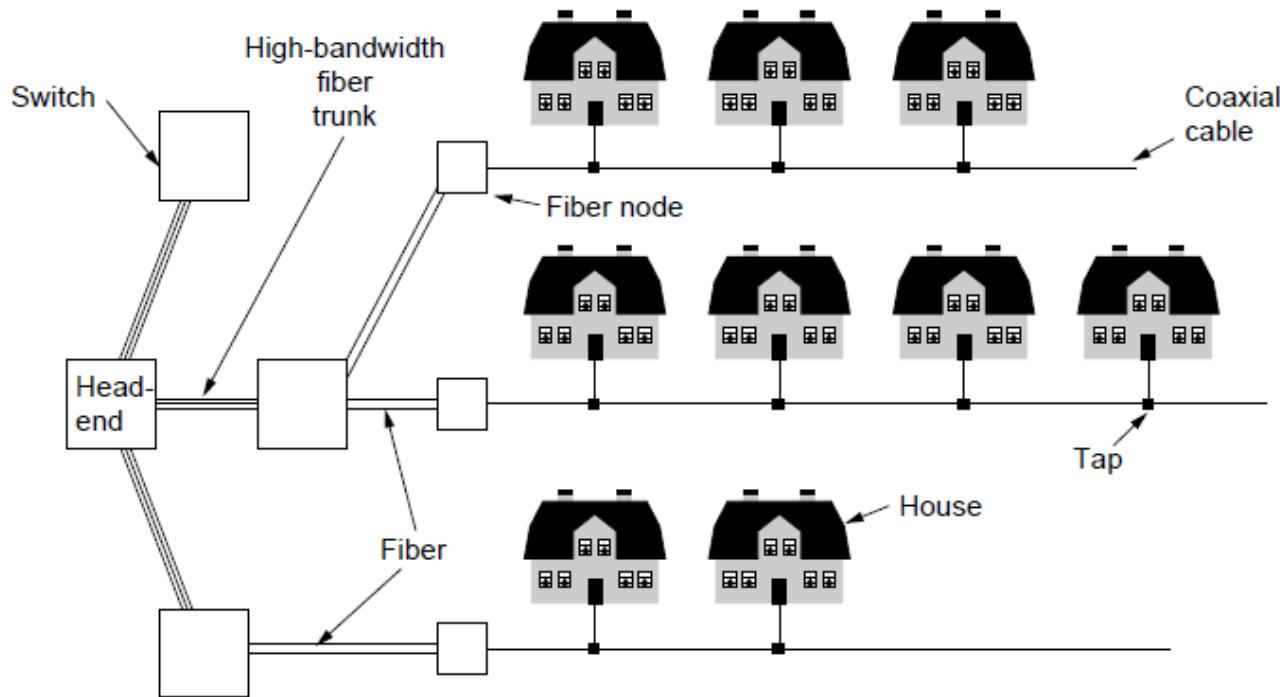
# Nuevas Redes Acceso (11)

## — CATV.....

- La fibra se introduce en los sistema de CATV para dar:
  - Mayor confiabilidad
  - Mayor alcance
  - Mayor ancho de banda (reutilización de frecuencia)
- Anchos de banda de hoy en día desde 750 MHz a 1 GHz
- CATV divide el ancho de banda en subcanales de 6 MHz (por los canales de TV)
- Se introducen más nodos ópticos

# Nuevas Redes Acceso (12)

- CATV.....
  - Nueva arquitectura



# Nuevas Redes Acceso (13)

## — CATV.....

- Los cablemodems estandar Docsis para Internet
- El equipo que controla los cabemodems es un CMTS (cable modem termination system)
- Docsis 1.0, 1.1, 2.0, 3.0 y el último es 3.1
- Se usa QAM de modulación
  - 64 QAM
  - 256 QAM
- A partir de docsis 3.0 se permite “channel bonding”
  - Permite velocidades de más de 100 Mbps de bajada

# Nuevas Redes Acceso (14)

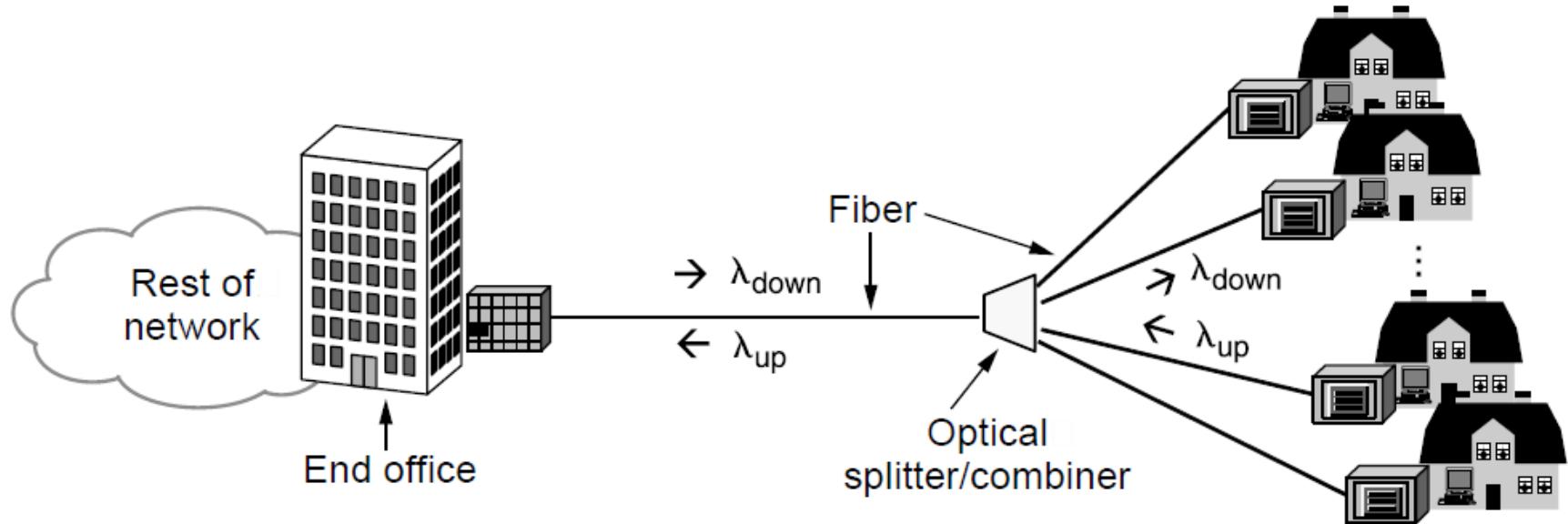
- FTTH (Fiber to the Home)
  - La evolución de los Telcos y Cableras es ir a una red de solo fibra (pasiva) o al menos acercar cada vez más la fibra a la casa del cliente
  - Los precios van bajando. Ya se empiezan a ver más desarrollos de FTTH
  - Hay mayor necesidad de los Telcos ya que el XDSL se ha quedado más atrás
  - Se han desarrollado varias alternativas para telcos y cableras:
    - FTTC o FTTN : fiber to the curb o neighborhood
    - FTTB: fiber to the building
    - Redes de fibra activa

# Nuevas Redes Acceso (15)

- FTTH (Fiber to the Home) Alternativas
- PON
  - En el edificio central se tiene:
    - OLT (Optical Line Terminator) equipo que controla los ONTs
  - En la casa del cliente se tiene:
    - ONT (optical network terminator)
  - Se utilizan splitters ópticos
  - Se comparte medio

# Nuevas Redes Acceso (16)

- FTTH (Fiber to the Home)...



# Nuevas Redes Acceso (17)

- FTTH Otras Alternativas
- AON: Active Optical Network
  - Usan switches ethernet
- Brinda mayores velocidades y sería una red más simétrica

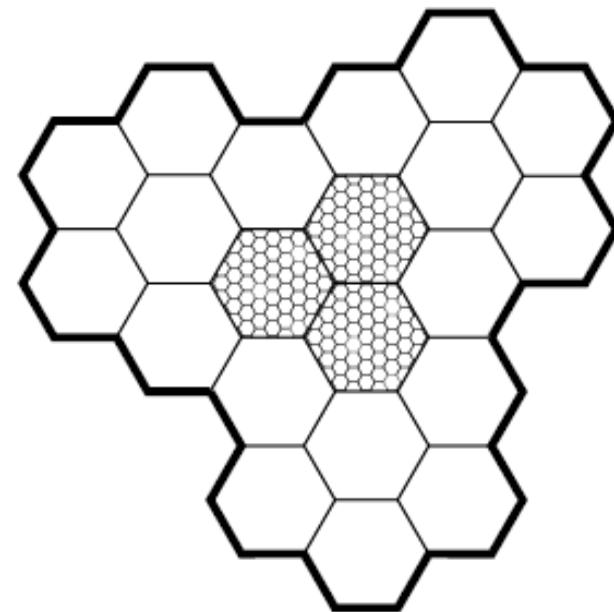
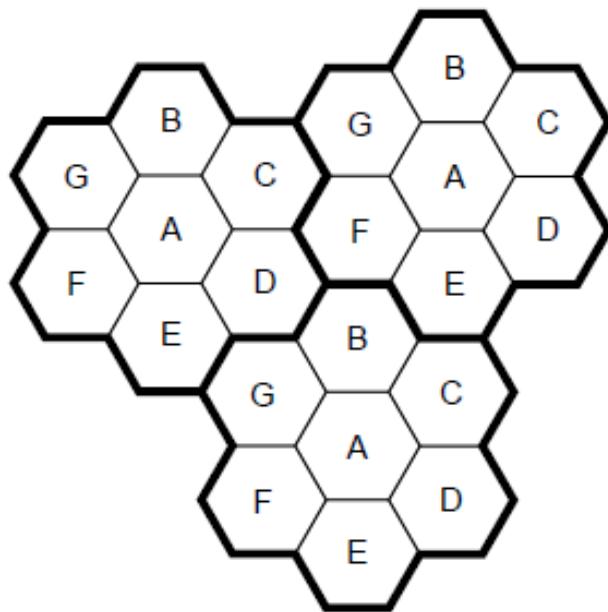
# Nuevas Redes Acceso (18)

- Celular o Movil
  - 1 G: Voz analógica
  - 2 G: Voz digital y datos limitados
    - TDMA
    - GSM
  - 3 G: voz digital y datos
  - 4 G voz digital y datos mayor capacidad
  - 5 G mayor capacidad para datos

# Nuevas Redes Acceso (20)

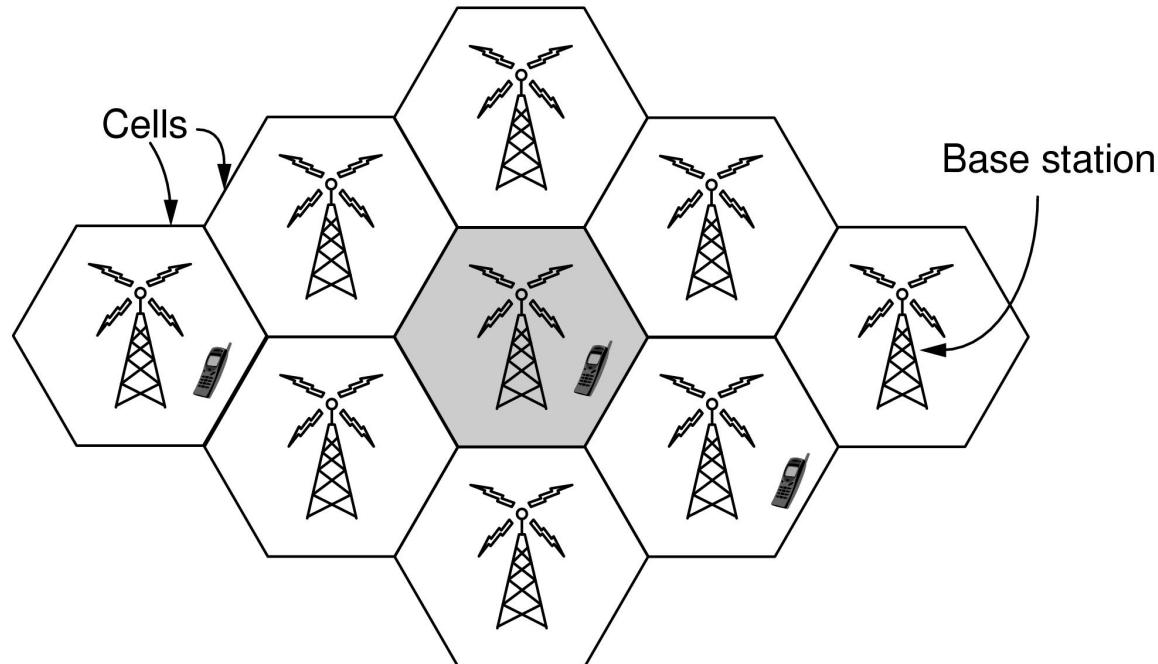
## – Celular o Movil

- Reutilización de frecuencias es un concepto importante en 1G y 2G



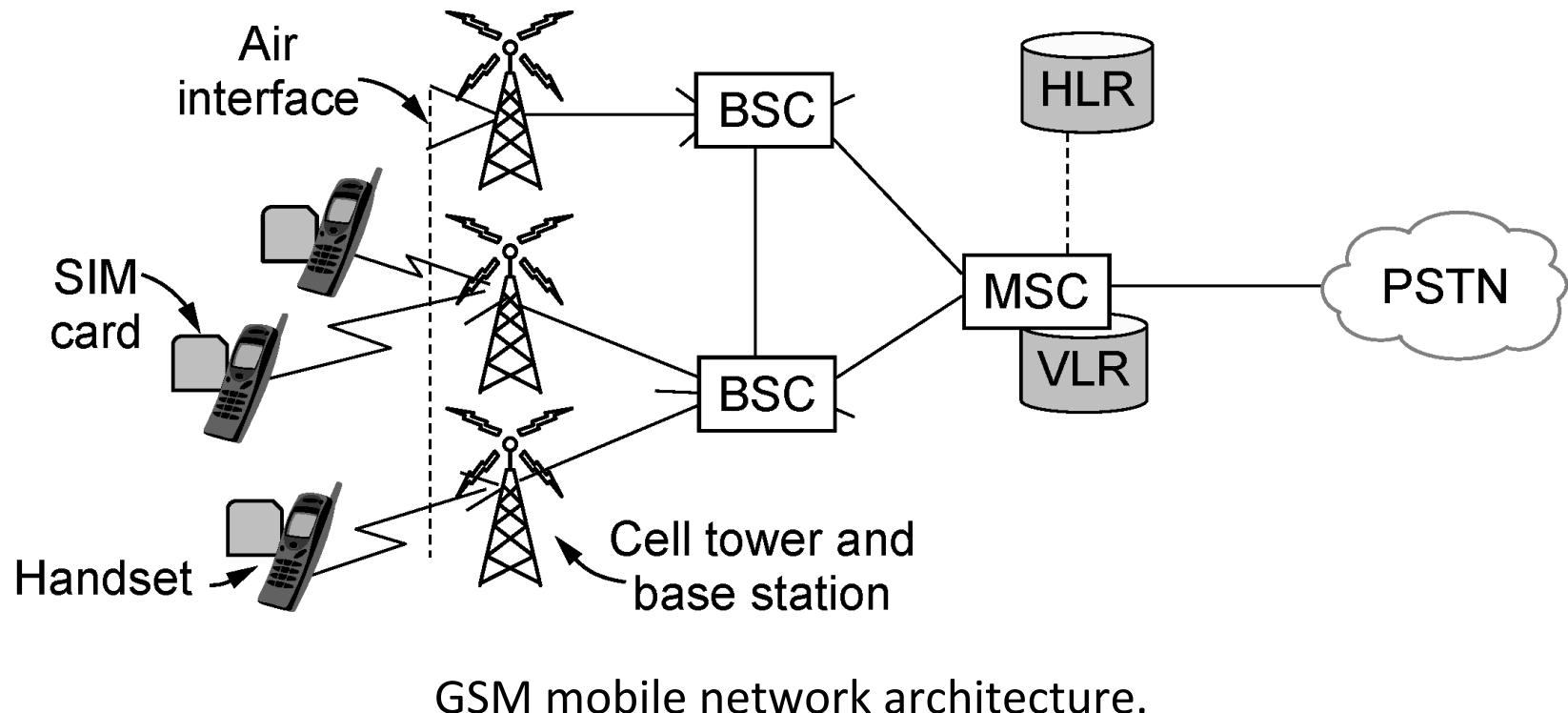
# Nuevas Redes Acceso (21)

- Celular o Movil.....
  - La parte inalámbrica es del celular a la Torre



# Nuevas Redes Acceso (22)

- Celular o Movil.....
  - 2G (GSM) básicamente solo voz



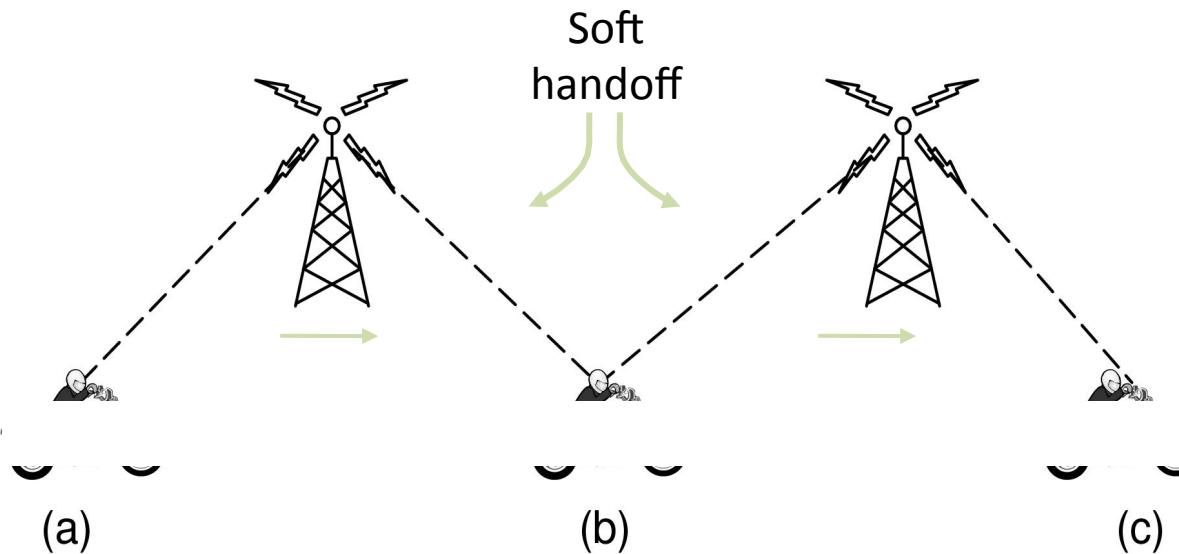
# Nuevas Redes Acceso (23)

- Celular o Movil.....
  - 3 G: voz digital y datos
    - Utiliza CDMA (Code Division Multiple Access)
      - » CDMA técnica moderna de utilización del espectro donde se eliminan interferencias cuando se usan las mismas frecuencias en celdas vecinas
      - » Elimina tareas de planificación y aprovecha mejor la capacidad del sistema
      - » Sistema complejo de antenas
  - 4 G y 5G voz digital y datos mayor capacidad

# Nuevas Redes Acceso (24)

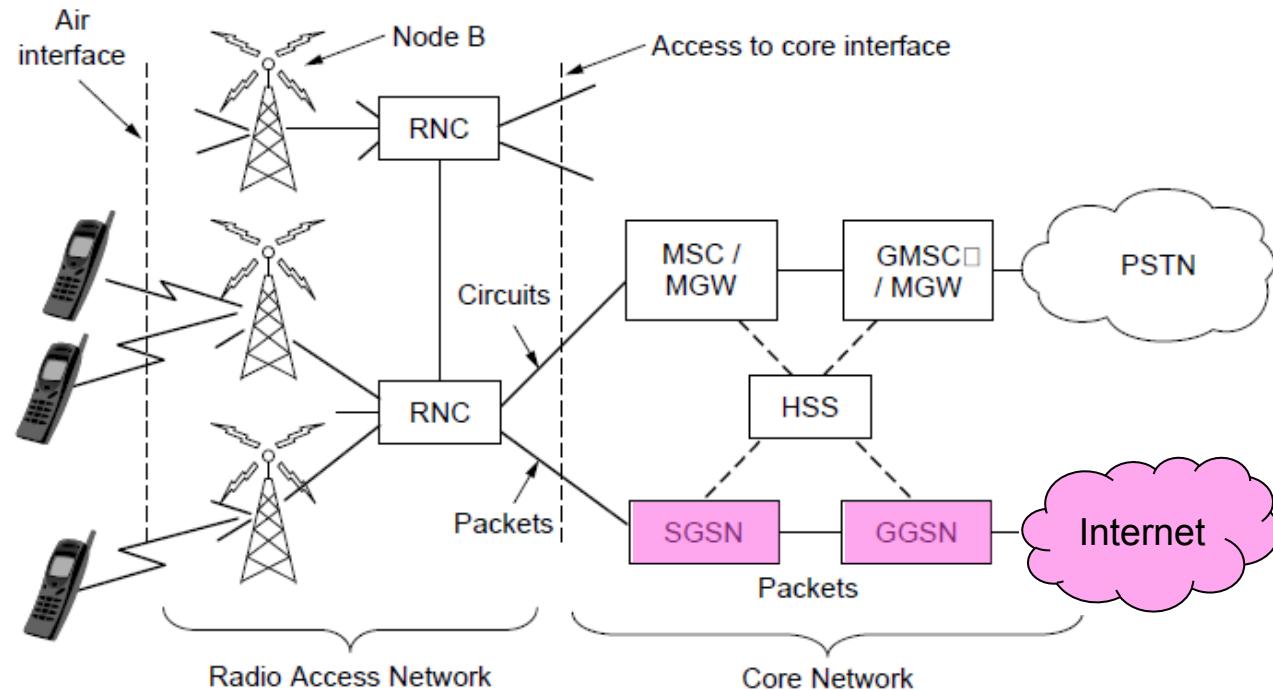
## — Celular o Movil.....

- En 3G se puede hacer Entrega (“handoff”) suave



# Nuevas Redes Acceso (25)

- Celular o Movil.....
  - En 3G se distingue la parte de voz y de datos



# Nuevas Redes Acceso (26)

## — Celular o Movil.....

- La característica principal es la movilidad de la red
- Si un usuario se desplaza se hace un handoff
- CDMA permite Entrega Suave
- El celular se divide en el telefono y la tarjeta SIM (subscriber Module) que maneja las credenciales
- SIM permite identificar usuario y da más seguridad
- Otras redes WIMAX y Wi-Fi