

# MULTIPLEXACIÓN

- INTRODUCCIÓN.
- MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIAS.
- MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA.
- MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA.
- LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA.
- XDSL.

# INTRODUCCIÓN

# INTRODUCCIÓN

- SI SE DISPONE DE DOS DISPOSITIVOS CONECTADOS VÍA UN *ENLACE PUNTO A PUNTO*, NORMALMENTE ES *DESEABLE*:
  - ◆ TENER VARIAS TRAMAS PENDIENTES DE CONFIRMACIÓN.
  - ◆ EVITAR QUE EL ENLACE DE DATOS LLEGUE A SER UN *CUELLO DE BOTELLA* ENTRE LAS ESTACIONES.
- DOS ESTACIONES QUE ESTABLECEN UNA *COMUNICACIÓN* ENTRE ELLAS NO HARÁN UN USO EXHAUSTIVO DE LA CAPACIDAD DEL ENLACE DE DATOS:
  - ◆ POR CUESTIONES DE *EFICIENCIA* SERÍA DESEABLE *COMPARTIR ESA CAPACIDAD*:
    - ☞ REALIZAR *MULTIPLEXACIÓN*.
- UNA *APLICACIÓN* DE LA *MULTIPLEXACIÓN* SON LAS *COMUNICACIONES A LARGA DISTANCIA*:
  - ◆ LAS *LÍNEAS TRONCALES* SE BASAN EN *FIBRAS ÓPTICAS* DE ALTA CAPACIDAD, *CABLE COAXIAL* O *ENLACES DE MICROONDAS*.
  - ◆ PUEDEN *TRANSPORTAR SIMULTÁNEAMENTE* UN GRAN NÚMERO DE *CONVERSACIONES Y TRANSMISIONES* DE *DATOS* USANDO *MULTIPLEXACIÓN*.

# INTRODUCCIÓN

## ■ *CONFIGURACIÓN SENCILLA DE MULTIPLEXACIÓN:*



- **SE TIENE:**
  - ◆  *$n$  LÍNEAS DE ENTRADA AL MULTIPLEXOR.*
  - ◆ *1 ENLACE DE ALTA CAPACIDAD ENTRE EL MULTIPLEXOR Y EL DEMULTIPLEXOR:*
    - ☞ PUEDE TRANSPORTAR  $n$  CANALES DE DATOS.

# INTRODUCCIÓN

- EL *MULTIPLEXOR*:
  - ◆ COMBINA (*MUX*) LOS DATOS DE LAS LÍNEAS DE ENTRADA.
  - ◆ LOS TRANSMITE A TRAVÉS DEL ENLACE DE MAYOR CAPACIDAD.
- EL *DEMULTIPLEXOR*:
  - ◆ ACEPTE LA CADENA DE DATOS *MUX*.
  - ◆ SEPARA (*DEMUX*) LOS DATOS CONFORME AL CANAL AL QUE PERTENECEN.
  - ◆ LOS DISTRIBUYE A LA LÍNEA APROPIADA DE SALIDA.

# INTRODUCCIÓN

- LA IMPORTANCIA DE LOS MULTIPLEXORES EN LAS COMUNICACIONES DE DATOS SE DEBE A LO SIGUIENTE:
  - ◆ A MAYOR RAZÓN DE DATOS, MÁS EFECTIVO EN TÉRMINOS DE COSTOS ES EL SERVICIO DE TRANSMISIÓN.
  - ◆ PARA UNA APPLICACIÓN QUE USA UNA LÍNEA DE LARGA DISTANCIA:
    - EL COSTO POR KBPS ES MENOR CUANTO MAYOR ES LA RAZÓN DE DATOS DEL SERVICIO DE TRANSMISIÓN.
    - EL COSTO DEL EQUIPAMIENTO DE RECEPCIÓN Y TRANSMISIÓN POR KBPS ES MENOR CUANTO MAYOR ES LA RAZÓN DE DATOS.
  - ◆ GRAN PARTE DE LAS APPLICACIONES Y DE LOS EQUIPOS DE COMUNICACIÓN DE DATOS NECESITAN UNA RAZÓN DE DATOS NO MUY GRANDE EN TÉRMINOS RELATIVOS:
    - EJ.: PARA LA MAYOR PARTE DE LAS APPLICACIONES EN TERMINALES Y EN COMPUTADORES PERSONALES SON SUFICIENTES RAZONES DE DATOS COMPRENDIDAS ENTRE 9600 BPS Y 64 KBPS.

# INTRODUCCIÓN

- LAS TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN QUE SE ESTUDIARÁN SON:
  - ◆ MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIAS (FDM: “**FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING**”):
    - ES LA MÁS UTILIZADA.
    - SE EMPLEA EN *RADIO Y TELEVISIÓN*.
  - ◆ MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO O TDM SÍNCRONA (TDM: “**TIME DIVISION MULTIPLEXING**”):
    - SE USA PARA MULTIPLEXAR CADENAS DE VOZ DIGITALIZADAS ASÍ COMO LAS CADENAS DE DATOS.
  - ◆ **TDM ESTADÍSTICA, TDM ASÍNCRONA O TDM INTELIGENTE :**
    - TRATA DE MEJORAR LA EFICIENCIA DE LA TDM SÍNCRONA COMPLICANDO EL MULTIPLEXOR.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

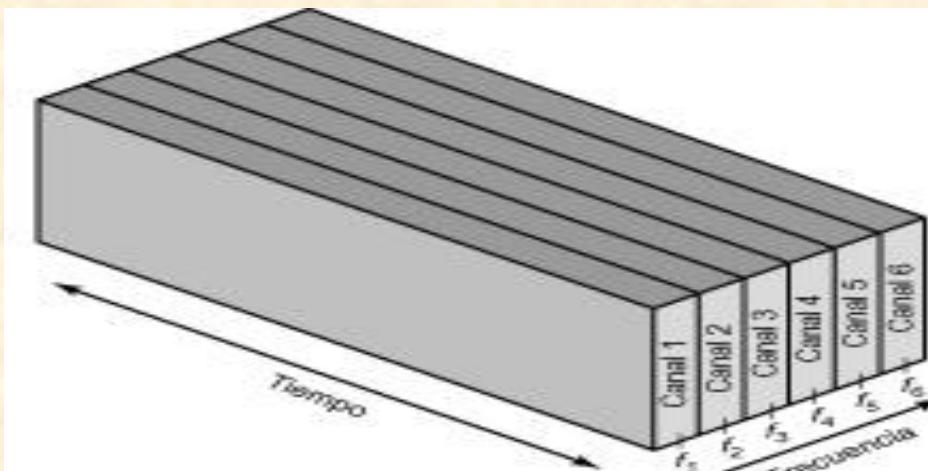
- CARACTERÍSTICAS
- SE REQUIERE QUE EL *ANCHO DE BANDA ÚTIL DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN SEA MAYOR QUE EL ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL TRANSMITIDA.*
- SE PUEDEN *TRANSMITIR SIMULTÁNEAMENTE VARIAS SEÑALES:*
  - ◆ SE MODULA CADA SEÑAL CON UNA FRECUENCIA *PORTADORA DISTINTA.*
  - ◆ LAS PORTADORAS HAN DE ESTAR *SUFICIENTEMENTE SEPARADAS PARA QUE LOS DISTINTOS ANCHOS DE BANDA NO SE SOLAPEN.*
  - ◆ CADA SEÑAL MODULADA NECESITA CIERTO *ANCHO DE BANDA,* QUE SE DENOMINA CANAL:
    - ESTÁ *CENTRADO EN TORNO A LA CORRESPONDIENTE FRECUENCIA PORTADORA.*
    - PARA EVITAR INTERFERENCIAS LOS CANALES SE SEPARAN POR UNA *BANDA DE SEGURIDAD:*
      - SON BANDAS DEL ESPECTRO QUE SE DEJAN SIN USAR.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

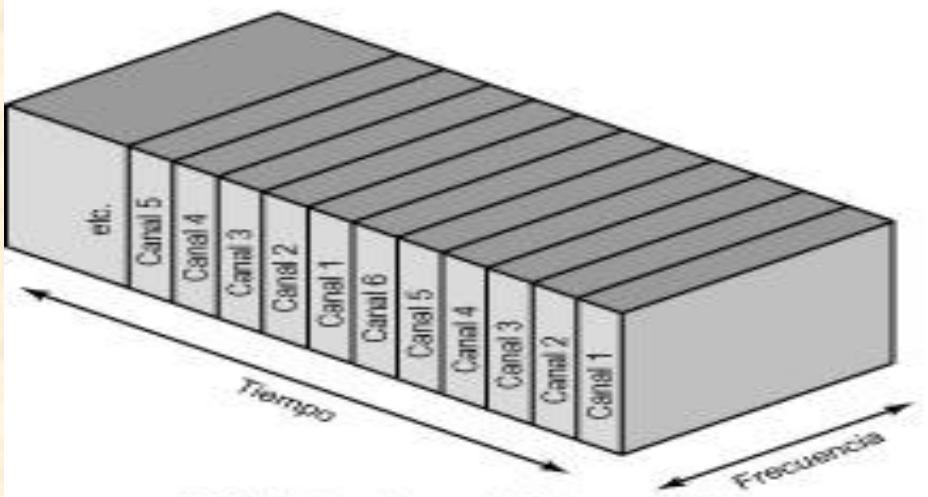
- LA SEÑAL COMPUESTA QUE SE TRANSMITE A TRAVÉS DEL MEDIO ES ANALÓGICA.
- LAS SEÑALES DE ENTRADA PUEDE SER TANTO ANALÓGICAS COMO DIGITALES:
  - ◆ SI SON DIGITALES DEBEN SER CONVERTIDAS A ANALÓGICAS MEDIANTE MODEMS ANTES DE SER MULTIPLEXADAS.
  - ◆ CADA SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA DEBE SER MODULADA PARA DESPLAZARLA A LA BANDA DE FRECUENCIA APROPIADA.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

- *FDM Y TDM:*



(a) Multiplexación por división en frecuencias.



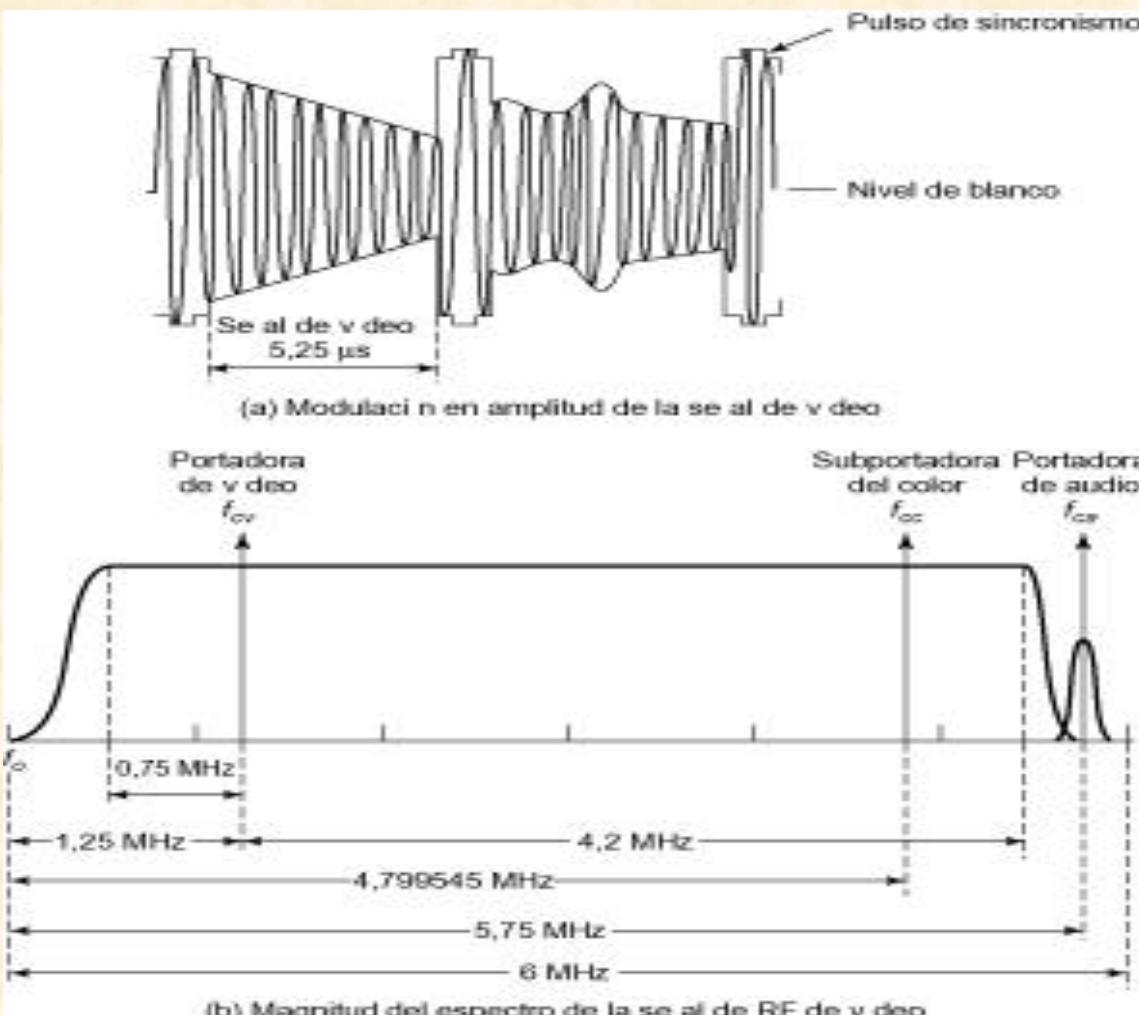
(b) Multiplexación por división en el tiempo

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

- *EJ. TÍPICO DE FDM:*
  - ◆ EMISIÓN DE LA TELEVISIÓN CONVENCIONAL Y POR CABLE.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

## ■ TRANSMISIÓN DE SEÑAL DE TELEVISIÓN:

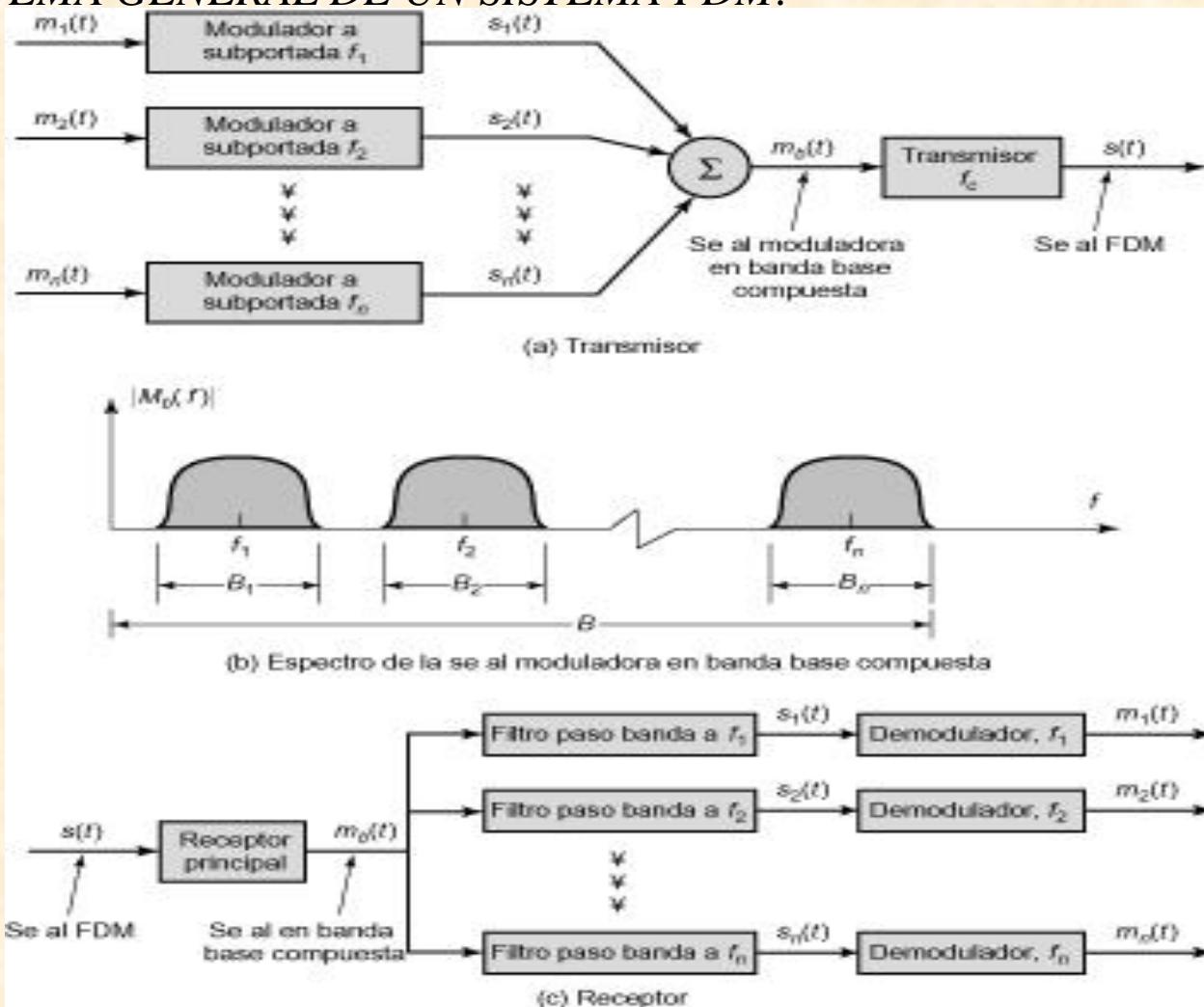


# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

- LA SEÑAL DE AUDIO SE MODULA SOBRE  $f_{ca}$  CON UN ANCHO DE BANDA DE 50 KHZ.
- LA SEÑAL COMPUESTA:
  - ◆ CABE EN UN ANCHO DE BANDA DE 6 MHZ.
  - ◆ INCLUYE PORTADORAS DESPLAZADAS RESPECTO A LA FRECUENCIA INFERIOR DE LA BANDA; LOS DESPLAZAMIENTOS SON:
    - ☛ SEÑAL DE VIDEO: 1,25 MHZ.
    - ☛ SEÑAL DE COLOR: 4,799545 MHZ.
    - ☛ SEÑAL DE AUDIO: 5,75 MHZ.
- EL ANCHO DE BANDA DE 6 MHZ POR SEÑAL COMPUESTA PERMITE USAR FDM PARA MULTIPLEXAR VARIAS SEÑALES DE TV EN UN CABLE CATV (ANCHO DE BANDA DE 500 MHZ).
- OTRA APLICACIÓN DE FDM ES LA UTILIZACIÓN DE RADIOFRECUENCIAS PARA LA PROPAGACIÓN A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

## ■ ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA FDM:



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

- SE MULTIPLEXAN UNA SERIE DE SEÑALES ANALÓGICAS O DIGITALES  $[m_i(t), i = 1, \dots, N]$  SOBRE EL MISMO MEDIO DE TRANSMISIÓN.
- CADA SEÑAL  $m_i(t)$  SE MODULA SOBRE UNA PORTADORA DIFERENTE,  $f_i$ , DENOMINADA SUBPORTADORA.
- SE PUEDE USAR CUALQUIER TIPO DE MODULACIÓN.
- LAS SEÑALES ANALÓGICAS RESULTANTES SE SUMAN DANDO LUGAR A LA SEÑAL COMPUESTA  $m_c(t)$ .
- EL ESPECTRO DE LA SEÑAL ORIGINAL SE DESPLAZA PARA CENTRARSE EN TORNO A  $f_i$ :
  - ◆  $f_i$  DEBE ELEGIRSE DE TAL MANERA QUE NO SE SOLAPEN LOS ANCHOS DE BANDA DE LAS DISTINTAS SEÑALES.
- LA SEÑAL COMPUESTA:
  - ◆ PODRÁ DESPLAZARSE SOBRE OTRA FRECUENCIA PORTADORA UTILIZANDO OTRA MODULACIÓN ADICIONAL, QUE PODRÁ SER DE IGUAL O DIFERENTE ESQUEMA.
  - ◆ TIENE UN ANCHO DE BANDA TOTAL  $B > B_i$  ( $i = 1, N$ ).

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

- EN EL *RECEPTOR* SE PASA LA SEÑAL COMPUESTA POR  $N$  FILTROS *PASA BANDA*:
  - ◆ CENTRADOS EN  $f_i$  CON ANCHO DE BANDA  $B_i$ :
    - ☞ LA SEÑAL SE DIVIDE EN SUS *COMPONENTES ORIGINALES*.
    - ☞ CADA COMPONENTE SE *DEMODULA* PARA RECUPERAR LA *SEÑAL ORIGINAL*.
- *EJEMPLO: TRANSMISIÓN SIMULTÁNEA DE TRES SEÑALES DE VOZ SOBRE UN MEDIO:*
  - ◆ *ANCHO DE BANDA* DE LA SEÑAL DE VOZ: 4 KHZ.
  - ◆ *ESPECTRO EFECTIVO*: BANDA ENTRE 300 HZ Y 3400 HZ.
  - ◆ CADA SEÑAL *MODULA EN AMPLITUDES* UNA PORTADORA.
  - ◆ *ANCHO DE BANDA* DE LA SEÑAL MODULADA: 8 KHZ EN LA BANDA ENTRE 60 Y 68 KHZ.
  - ◆ SE UTILIZA PARA LA TRANSMISIÓN LA *BANDA LATERAL INFERIOR*.

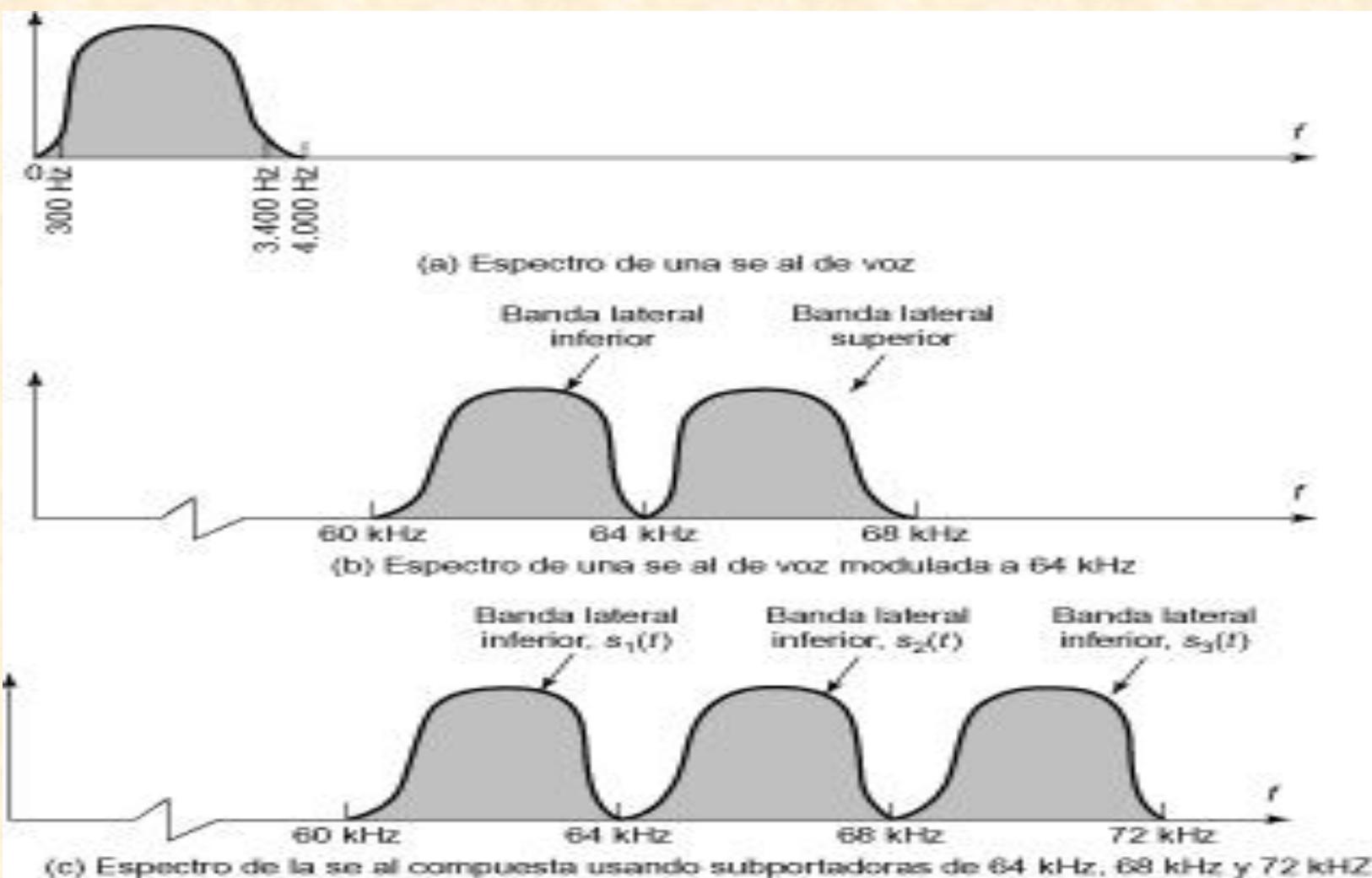
# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

## ■ PROBLEMAS QUE SE DEBEN CONSIDERAR CON FDM:

- ◆ *DIAFONÍA: SE PUEDE DAR SI LOS ESPECTROS DE LAS COMPONENTES ADYACENTES DE LA SEÑAL SE SOLAPAN SUFICIENTEMENTE.*
- ◆ *RUIDO DE INTERMODULACIÓN: EN UN ENLACE SUFICIENTEMENTE LARGO, LOS EFECTOS NO LINEALES DE LOS AMPLIFICADORES SOBRE LAS SEÑALES EN UN CANAL PODRÍAN PRODUCIR COMPONENTES DE FRECUENCIA EN OTROS CANALES.*

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

## ■ FDM PARA TRES SEÑALES DE VOZ:



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

- SISTEMAS CON PORTADORA ANALÓGICA
- EL *SISTEMA DE LARGA DISTANCIA* PROPORCIONADO EN LOS ESTADOS UNIDOS Y EN EL RESTO DEL MUNDO:
  - ◆ SE HA DISEÑADO PARA *TRANSMITIR SEÑALES DE BANDA DE VOZ* SOBRE *ENLACES DE TRANSMISIÓN DE ALTA CAPACIDAD*.
  - ◆ SE USA CABLE COAXIAL Y SISTEMAS DE MICROONDAS.
- LA *TÉCNICA PRIMERAMENTE USADA Y QUE TODAVÍA ES MUY UTILIZADA EN ENLACES DE ALTA CAPACIDAD* ES LA *FDM*.
- EN LOS EE.UU. AT&T DISEÑÓ UNOS ESQUEMAS CON *FDM JERÁRQUICA* PARA ADECUARSE A *DISTINTOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE CAPACIDADES DISTINTAS*.
- UN *SISTEMA SIMILAR*, PERO DISTINTO, SE HA ADOPTADO *INTERNACIONALMENTE BAJO LOS AUSPICIOS DE UIT-T*.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

Tabla 8.1. Estándares de portadora FDM norteamericanos e internacionales.

Número de canales de voz	Ancho de banda	Espectro	AT & T	ITU-T
12	48 kHz	60-108 kHz	Grupo	Grupo
60	240 kHz	312-552 kHz	Supergrupo	Supergrupo
300	1,232 MHz	812-2.044 kHz		Grupo maestro
600	2,52 MHz	564-3.084 kHz	Grupo maestro	
900	3,872 MHz	8,516-12,388 MHz		Grupo supermaestro
$N \times 600$			Grupo maestro multiplexado	
3.600	16,984 MHz	0,564-17,548 MHz	Grupo jumbo	
10.800	57,442 MHz	3,124-60,566 MHz	Grupo jumbo multiplexado	

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

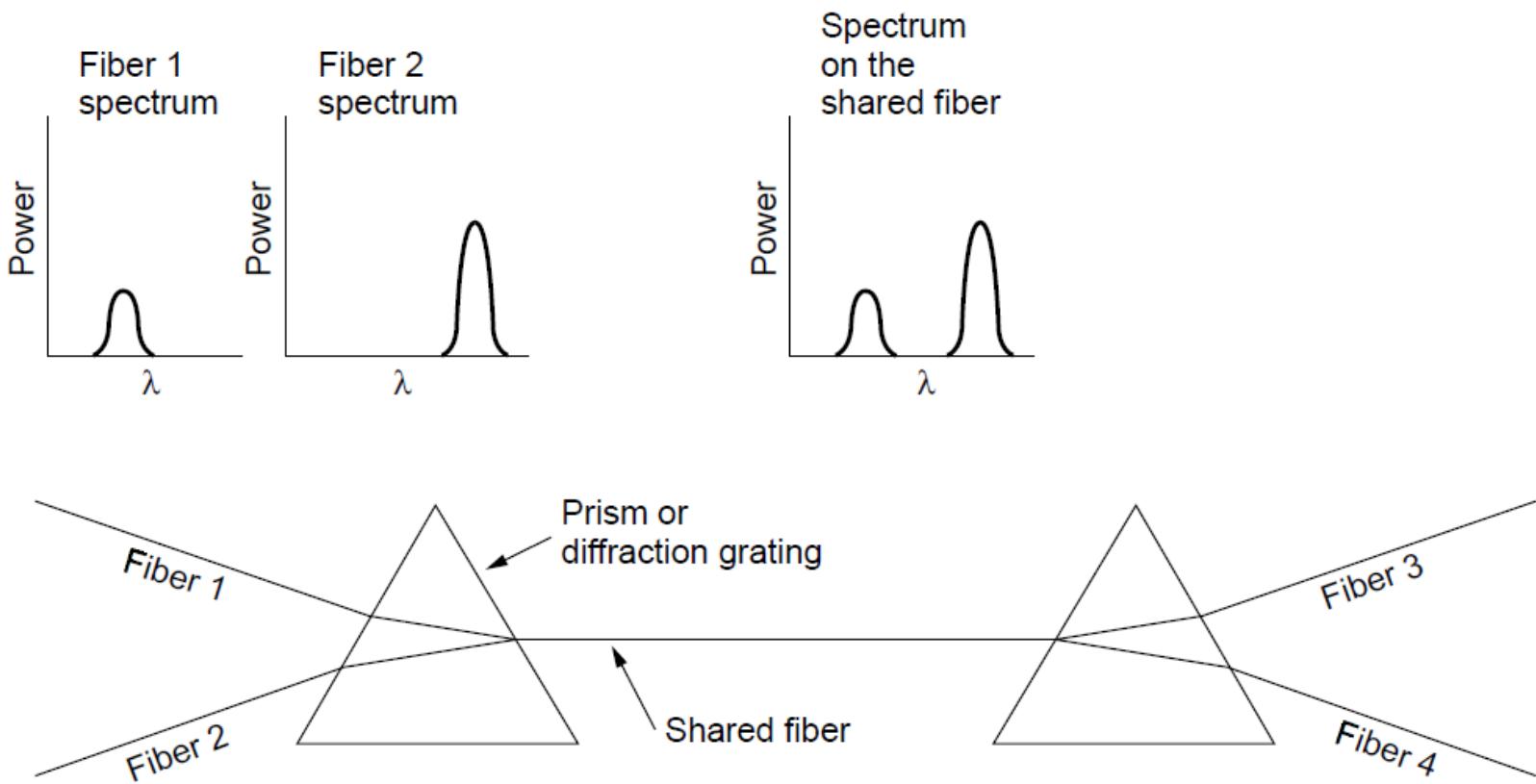
- *PRIMER NIVEL DE LA JERARQUÍA DE AT&T:*
  - ◆ SE COMBINAN 12 CANALES DE VOZ PARA FORMAR UNA SEÑAL DE GRUPO CON ANCHO DE BANDA  $12 \times 4 \text{ KHZ} = 48 \text{ KHZ}$  EN EL RANGO DE 60 A 108 KHZ.
- *SEGUNDO NIVEL DE LA JERARQUÍA DE AT&T:*
  - ◆ SE MULTIPLEXAN SEGÚN FDM 5 SEÑALES DE GRUPO (12 CANALES) PARA FORMAR UN SUPERGRUPO DE 60 CANALES.
  - ◆ CADA GRUPO SE TRATA COMO UNA SOLA SEÑAL DE 48 KHZ.
  - ◆ LA SEÑAL RESULTANTE OCUPA LA BANDA DE 312 A 552 KHZ.
- *TERCER NIVEL DE LA JERARQUÍA DE AT&T:*
  - ◆ SE COMBINAN 10 SUPERGRUPOS PARA FORMAR 1 GRUPO MAESTRO.
  - ◆ TIENE UN ANCHO DE BANDA DE 2,52 MHZ.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

- MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN LA LONGITUD DE ONDA
- SE UTILIZA EN *FIBRA ÓPTICA* PARA LA TRANSMISIÓN DE *HACES DE LUZ A FRECUENCIAS DIFERENTES* SOBRE UNA MISMA FIBRA.
- ES UNA *FORMA DE FDM* PERO SE DENOMINA *MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN LA LONGITUD DE ONDA* (**WDM**: “**WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING**”).
- EL HAZ DE LUZ CONSTA DE VARIAS *LONGITUDES DE ONDA*:
  - ◆ C/U DE ELLAS TRANSPORTA UN *CANAL DE DATOS*.
- EN 1997 LOS *LABORATORIOS BELL* (EE.UU.) HICIERON FUNCIONAR UN SISTEMA WDM DE 100 HACES, C/U A 10 GBPS, Y ALCANZARON 1 TERABIT/SEG (1 TBPS).
- *ALCATEL* HA LLEGADO EN EL *LABORATORIO* A TRANSPORTAR 256 CANALES A 39,8 GBPS C/U = 10,1 TBPS A 100 KM.
- EXISTEN SISTEMAS *COMERCIALES* CON 160 CANALES A 10 GBPS.
- UN SISTEMA WDM TIENE LA *MISMA ARQUITECTURA* QUE UNO FDM.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

- *WDM:*



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

- DIVERSAS FUENTES GENERAN UN HAZ LÁSER A DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA.
- UN MULTIPLEXOR LOS COMBINA PARA SU TRANSMISIÓN POR UNA MISMA LÍNEA DE FIBRA.
- LOS AMPLIFICADORES ÓPTICOS, SEPARADOS DECENAS DE KM, AMPLIFICAN TODAS LAS LONGITUDES DE ONDA SIMULTÁNEAMENTE.
- LA SEÑAL COMPUESTA SE RECIBE EN EL DEMULTIPLEXOR:
  - ◆ SE SEPARAN LOS CANALES COMPONENTES Y SE ENVÍAN A LOS RECEPTORES PERTINENTES.
- GENERALMENTE SE OPERA EN EL RANGO DE 1.550 NM.
- LA NORMA G.692 DE LA ITU-T ESPECIFICA 80 CANALES DE 50 GHZ.
- LA MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN LA LONGITUD DE ONDA DENSA (DWDM: “DENSE WDM”) HACE REFERENCIA A UNA WDM CON MÁS CANALES MÁS CERCANOS ENTRE SÍ:
  - ◆ SE CONSIDERA DENSO UN ESPACIADO DE CANAL MENOR A 200 GHZ.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

- *ESPACIADO ENTRE CANALES EN EL SISTEMA WDM DE ITU-T (G.692):*

Tabla 8.2. Espaciado entre canales en el sistema WDM de ITU-T (G.692).

Frecuencia (THz)	Longitud de onda en el vacío (nm)	50 GHz	100 GHz	200 GHz
196,10	1.528,77	X	X	X
196,05	1.529,16	X		
196,00	1.529,55	X	X	
195,95	1.529,94	X		
195,90	1.530,33	X	X	X
195,85	1.530,72	X		
195,80	1.531,12	X	X	
195,75	1.531,51	X		
195,70	1.531,90	X	X	X
195,65	1.532,29	X		
195,60	1.532,68	X	X	
...	...			
192,10	1.560,61	X	X	X

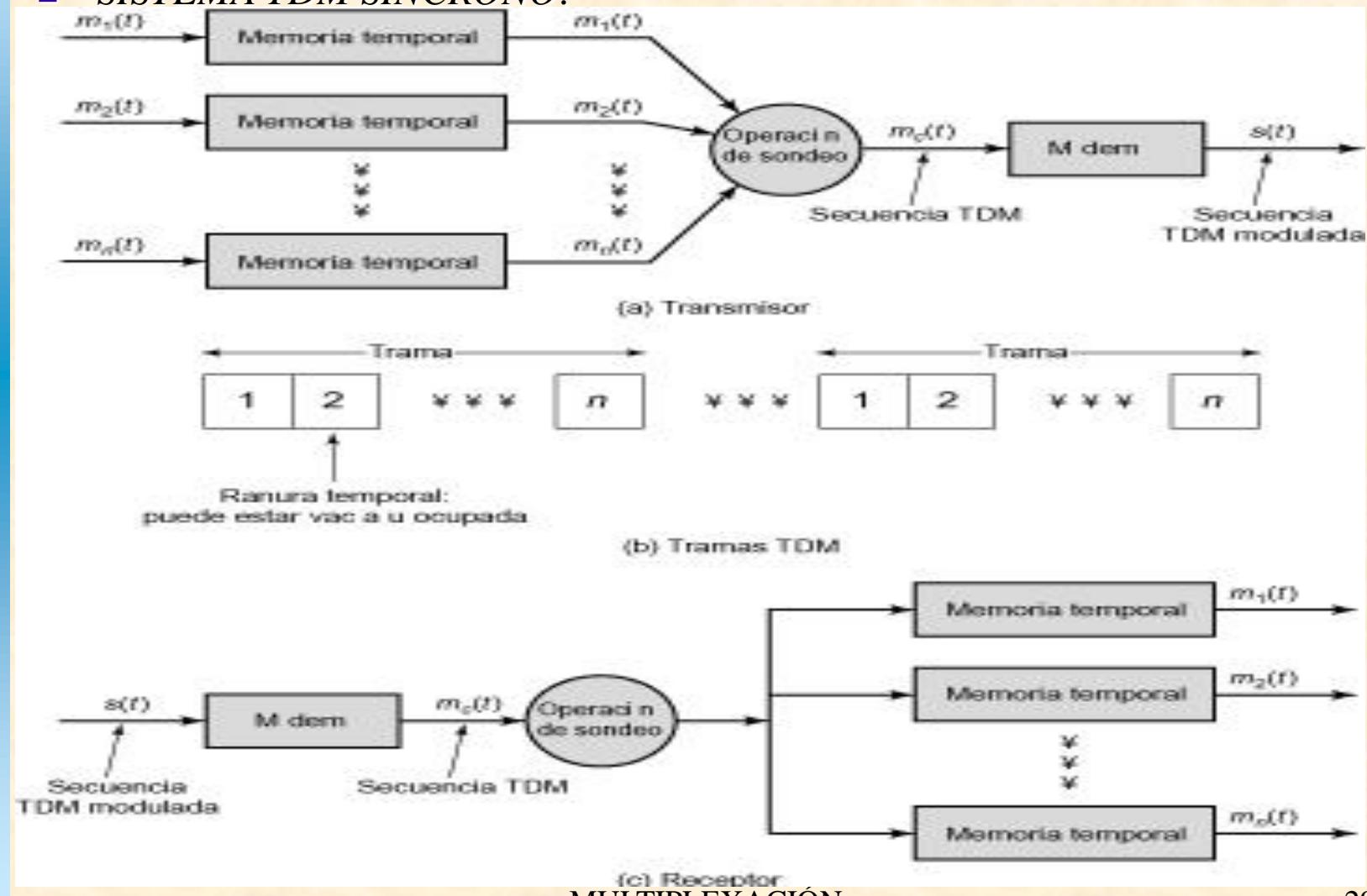
# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- CARACTERÍSTICAS
- LA *TDM SÍNCRONA* ES POSIBLE CUANDO LA *RAZÓN DE DATOS A CONSEGUIR EN EL MEDIO* ES *MAYOR QUE LA RAZÓN DE DATOS ORIGINAL* DE LAS SEÑALES A TRANSMITIR.
- SE PUEDEN TRANSMITIR VARIAS SEÑALES *DIGITALES* (O SEÑALES ANALÓGICAS QUE TRANSPORTEN DATOS DIGITALES) EN UN ÚNICO *CAMINO DE TRANSMISIÓN MEZCLANDO* EN EL *TIEMPO* DISTINTAS PORCIONES DE LAS SEÑALES ORIGINALES:
  - ◆ BIT A BIT O EN BLOQUE.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

## ■ SISTEMA TDM SÍNCRONO:



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- SE MULTIPLEXAN UNA SERIE DE SEÑALES [ $m_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, N$ ] EN EL MISMO MEDIO DE TRANSMISIÓN.
- LAS SEÑALES TRANSPORTAN DATOS DIGITALES Y SON EN GENERAL SEÑALES DIGITALES.
- LOS DATOS DE ENTRADA PROVENIENTES DE CADA FUENTE SE ALMACENAN TEMPORALMENTE EN UNA MEMORIA TEMPORAL (BUFFER).
- CADA BUFFER TIENE UNA LONGITUD NORMALMENTE DE 1 BIT O 1 CARÁCTER.
- SE EXAMINAN SECUENCIALMENTE LAS MEMORIAS TEMPORALES PARA COMPONER ASÍ LA CADENA DE DATOS DIGITALES  $m_c(t)$ :
  - ◆ SE HARÁ LO SUFICIENTEMENTE RÁPIDO PARA QUE CADA MEMORIA TEMPORAL SE VACÍE ANTES DE QUE LLEGUEN MÁS DATOS.
  - ◆ LA RAZÓN DE DATOS  $m_c(t)$  DEBE SER AL MENOS IGUAL A LA SUMA DE LAS RAZONES DE DATOS  $m_i(t)$ .

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- LA SEÑAL DIGITAL  $m_c(t)$  SE PUEDE TRANSMITIR DIRECTAMENTE O SE PUEDE PASAR A TRAVÉS DE UN MODEM DE TAL FORMA QUE SE TRANSMITA UNA SEÑAL ANALÓGICA:
  - ◆ EN CUALQUIER CASO LA TRANSMISIÓN ES SÍNCRONA.
- LOS DATOS SE ORGANIZAN EN TRAMAS:
  - ◆ CADA TRAMA CONTIENE UN CICLO DE SUBDIVISIONES O RANURAS TEMPORALES.
  - ◆ EN CADA TRAMA SE DEDICAN UNA O MÁS SUBDIVISIONES A CADA UNA DE LAS FUENTES.
  - ◆ LA SECUENCIA DE SUBDIVISIONES QUE SE DEDICA A UNA SOLA FUENTE, DE TRAMA EN TRAMA, SE DENOMINA CANAL.
  - ◆ LA LONGITUD DE LAS SUBDIVISIONES ES IGUAL A LA LONGITUD DE LA MEMORIA TEMPORAL, TÍPICAMENTE UN BIT O UN CARÁCTER.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- PARA FUENTES ASÍNCRONAS SE UTILIZA LA MEZCLA DE CARACTERES:
  - ◆ CADA SUBDIVISIÓN TEMPORAL TENDRÁ UN CARÁCTER DE DATOS.
  - ◆ LOS BITS DE ARRANQUE Y PARADA SE ELIMINAN EN EL EMISOR Y SE REINSERTAN EN EL RECEPTOR.
- EN EL RECEPTOR LOS DATOS SE DEMULTIPLEXAN Y SE SITÚAN EN LA MEMORIA TEMPORAL CORRESPONDIENTE:
  - ◆ PARA CADA FUENTE DE ENTRADA  $m_i(t)$  HABRÁ UNA FUENTE DE SALIDA QUE RECIBIRÁ LOS DATOS A LA MISMA RAZÓN A LA QUE FUERON GENERADOS.
- LA TDM SÍNCRONA SE DENOMINA ASÍ PORQUE LAS DIVISIONES TEMPORALES SE PREASIGNAN DE ANTEMANO A LAS DISTINTAS FUENTES.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- LAS *SUBDIVISIONES TEMPORALES ASIGNADAS A CADA FUENTE SE TRANSMITEN SIEMPRE*, TANTO SI LA FUENTE TIENE DATOS COMO SI NO:
  - ◆ SE DESAPROVECHA CAPACIDAD DE LÍNEA.
- UN *MUXOR SÍNCRONO* PUEDE ADMITIR FUENTES CON RAZONES DE DATOS DIFERENTES:
  - ◆ AL *DISPOSITIVO MÁS LENTO* SE LE PODRÍA ASIGNAR UNA *SUBDIVISIÓN POR CICLO* Y A LOS *MÁS RÁPIDOS* VARIAS *SUBDIVISIONES POR CICLO*.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- CONTROL DEL ENLACE EN TDM
- LA CADENA DE DATOS TRANSMITIDOS NO CONTIENE LA CABECERA NI LA COLA PROPIA DE LA TRANSMISIÓN SÍNCRONA:
  - ◆ NO SE NECESITAN LOS PROCEDIMIENTOS DE CONTROL TÍPICOS DE UN PROTOCOLO DE ENLACE DE DATOS.
- DOS PROCEDIMIENTOS CLAVE EN EL CONTROL DEL ENLACE DE DATOS SON:
  - ◆ CONTROL DEL FLUJO.
  - ◆ CONTROL DE ERRORES.
- EL MULTIPLEXOR Y EL DEMULTIPLEXOR NO NECESITAN CONTROL DE FLUJO:
  - ◆ LA RAZÓN DE DATOS EN LA LÍNEA MULTIPLEXADA ES FIJA.
  - ◆ SI UN DISPOSITIVO NO PUEDE RECIBIR DATOS, SU SUBDIVISIÓN ESTARÁ VACÍA DURANTE ALGÚN TIEMPO.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- RESPECTO DEL *CONTROL DE ERRORES*:
  - ◆ NO SE DEBERÍA SOLICITAR LA RETRANSMISIÓN DE UNA TRAMA TDM COMPLETA SI OCURRIERA UN ERROR EN UNO DE LOS CANALES.
  - ◆ LOS DISPOSITIVOS QUE ESTUVIERAN UTILIZANDO LOS OTROS CANALES NO ESPERARÁN UNA RETRANSMISIÓN.
  - ◆ LA SOLUCIÓN ES APLICAR EL *CONTROL DE ERRORES* EN CADA CANAL INDEPENDIENTE.
- SE DEBE USAR UN *PROTOCOLO DE CONTROL DE ENLACE* (EJ.: *HDLC*) EN CADA CANAL DE MANERA INDEPENDIENTE.
- EJ. DE *CONTROL DE ENLACE DE DATOS EN CANALES TDM*:
- SE DISPONE DE DOS FUENTES DE DATOS QUE UTILIZAN *HDLC*:
  - ◆ TRANSMITEN TRAMAS DE 3 Y 4 OCTETOS DE DATOS RESPECTIVAMENTE.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- SE REALIZA MULTIPLEXACIÓN POR *MEZCLA DE CARACTERES*.
- LOS OCTETOS DE *DATOS Y DE CONTROL (FCS)*:
  - ◆ SE *MEZCLAN* PARA SER TRANSMITIDOS.
  - ◆ SE *REENSAMBLAN* ANTES DE SER ENTREGADOS AL OTRO EXTREMO DEL PROTOCOLO HDLC.
- LA *MULTIPLEXACIÓN/DEMULITPLEXACIÓN* ES *TRANSPARENTE* PARA LAS ESTACIONES QUE SE CONECTEN:
  - ◆ PARA CADA *PAR DE ESTACIONES* ES COMO SI TUVIERAN UN *ENLACE DEDICADO*.
- SI SE DISPONE DE UNA *LÍNEA FULL-DUPLEX* ENTRE AMBOS EXTREMOS:
  - ◆ AMBOS EXTREMOS SERÁN *MULTIPLEXORES / DEMULITPLEXORES SIMULTÁNEAMENTE*.
  - ◆ CADA CANAL CONSISTE EN DOS CONJUNTOS DE SUBDIVISIONES, C/U CON SENTIDO DISTINTO.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- EJ. DE CONTROL DE ENLACE DE DATOS EN CANALES TDM:



(a) Configuración

Entrada<sub>1</sub> \* \* \* \* \* \* \* \* \* \* f<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> C<sub>1</sub> A<sub>1</sub> F<sub>1</sub> f<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> C<sub>1</sub> A<sub>1</sub> F<sub>1</sub>

Entrada<sub>2</sub> \* \* \* F<sub>2</sub> f<sub>2</sub> f<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> C<sub>2</sub> A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> f<sub>2</sub> f<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> C<sub>2</sub> A<sub>2</sub> F<sub>2</sub>

(b) Cadenas de datos de entrada

\* \* \* F<sub>1</sub> d<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> C<sub>2</sub> d<sub>1</sub> A<sub>2</sub> C<sub>1</sub> F<sub>2</sub> A<sub>1</sub> f<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> C<sub>2</sub> C<sub>1</sub> A<sub>2</sub> A<sub>1</sub> F<sub>2</sub> F<sub>1</sub>

(c) Cadena de datos multiplexada

Leyenda:  
F = campo delimitador  
A = campo de dirección  
C = campo de control

d = un octeto del campo de datos  
f = un octeto del campo FCS

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- DELIMITACIÓN DE TRAMAS
- SE NECESITA UN *PROCEDIMIENTO* QUE ASEGURE LA *SINCRONIZACIÓN DE LAS TRAMAS*.
- ES IMPORTANTE MANTENER LA *SINCRONIZACIÓN DE LAS TRAMAS*:
  - ◆ UNA *DESINCRONIZACIÓN* ENTRE FUENTE Y DESTINO IMPLICARÍA UNA *PÉRDIDA DE DATOS* EN TODOS LOS CANALES.
- UN MECANISMO COMÚN PARA LA DELIMITACIÓN DE LAS TRAMAS SE DENOMINA *DELIMITACIÓN POR DÍGITOS AÑADIDOS*:
  - ◆ SE AÑADE UN *BIT DE CONTROL* EN CADA TRAMA TDM.
  - ◆ A MODO DE “CANAL DE CONTROL”, EN CADA TRAMA, SE USA UNA COMBINACIÓN PREDEFINIDA DE BITS:
    - EJ.: UTILIZACIÓN DE BITS ALTERNANTES 10101010...
    - ESTA COMBINACIÓN ES POCO PROBABLE QUE SE PRESENTE EN UN CANAL DE DATOS.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- ◆ PARA SINCRONIZARSE, EL RECEPTOR COMPARA LOS BITS DE ENTRADA EN UNA DETERMINADA POSICIÓN EN LA TRAMA CON LA COMBINACIÓN ESPERADA.
- ◆ SI LA COMBINACIÓN NO COINCIDE CON LA RECIBIDA, SE BUSCA EN LAS SIGUIENTES POSICIONES HASTA QUE LA COMBINACIÓN DESEADA SE ENCUENTRE Y SE REPITA EN MÚLTIPLES TRAMAS.
- CONSEGUIDA LA SINCRONIZACIÓN A NIVEL DE TRAMAS, EL RECEPTOR CONTINUARÁ MONITORIZANDO EL CANAL DE CONTROL PARA LA DELIMITACIÓN.
- SI LOS BITS DE CONTROL RECIBIDOS NO COINCIDEN CON LO ESPERADO, DE NUEVO EL RECEPTOR ENTRARÁ EN MODO DE BÚSQUEDA DEL DELIMITADOR.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- INSERCIÓN DE BITS
- UN *PROBLEMA DIFÍCIL* DE RESOLVER EN EL DISEÑO DE UN *MUX POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO* ES LA *SINCRONIZACIÓN* DE LAS DISTINTAS FUENTES DE DATOS.
- SI CADA FUENTE TIENE UN *RELOJ INDEPENDIENTE*, CUALQUIER *DESVIACIÓN* ENTRE LOS RELOJES PODRÍA DAR LUGAR A UNA *PÉRDIDA DE SINCRONIZACIÓN*.
- EN ALGUNOS CASOS LAS *RAZONES DE DATOS* DE LAS DISTINTAS ENTRADAS NO ESTÁN RELACIONADAS POR EL *NÚMERO RACIONAL*.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- LA SOLUCIÓN ES USAR UNA TÉCNICA DENOMINADA *INSERCIÓN DE BITS*:
  - ◆ LA *RAZÓN DE DATOS* A LA SALIDA DEL MULTIPLEXOR, EXCLUYENDO LOS BITS DE DELIMITACIÓN, ES MAYOR QUE LA *SUMA DE LOS MÁXIMOS INSTANTÁNEOS* DE LAS RAZONES DE ENTRADA.
  - ◆ LA *CAPACIDAD EXTRA* SE USA *INCLUYENDO BITS O PULSOS ADICIONALES* QUE *NO PORTEN INFORMACIÓN* EN CADA SEÑAL DE ENTRADA HASTA QUE LA RAZÓN AUMENTE HASTA ALCANZAR LA SEÑAL DE RELOJ GENERADA LOCALMENTE.
  - ◆ LOS PULSOS SE INCLUIRÁN EN *POSICIONES FIJAS* DENTRO DEL FORMATO DE LA TRAMA DEL *MULTIPLEXOR* DE TAL MANERA QUE PUEDAN SER *IDENTIFICADOS Y ELIMINADOS* EN EL *DEMULTIPLEXOR*.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- *EJ. DE TDM SÍNCRONO PARA MULTIPLEXAR FUENTES ANALÓGICAS Y DIGITALES.*
- *SE REQUIERE MULTIPLEXAR EN UN ENLACE LAS SIGUIENTES FUENTES:*
  - ◆ FUENTE 1: ANALÓGICA, CON 2 KHZ DE ANCHO DE BANDA.
  - ◆ FUENTE 2: ANALÓGICA, CON 4 KHZ DE ANCHO DE BANDA.
  - ◆ FUENTE 3: ANALÓGICA, CON 2 KHZ DE ANCHO DE BANDA.
  - ◆ FUENTES 4 A 11: DIGITALES A 7200 BPS SÍNCRONAS.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

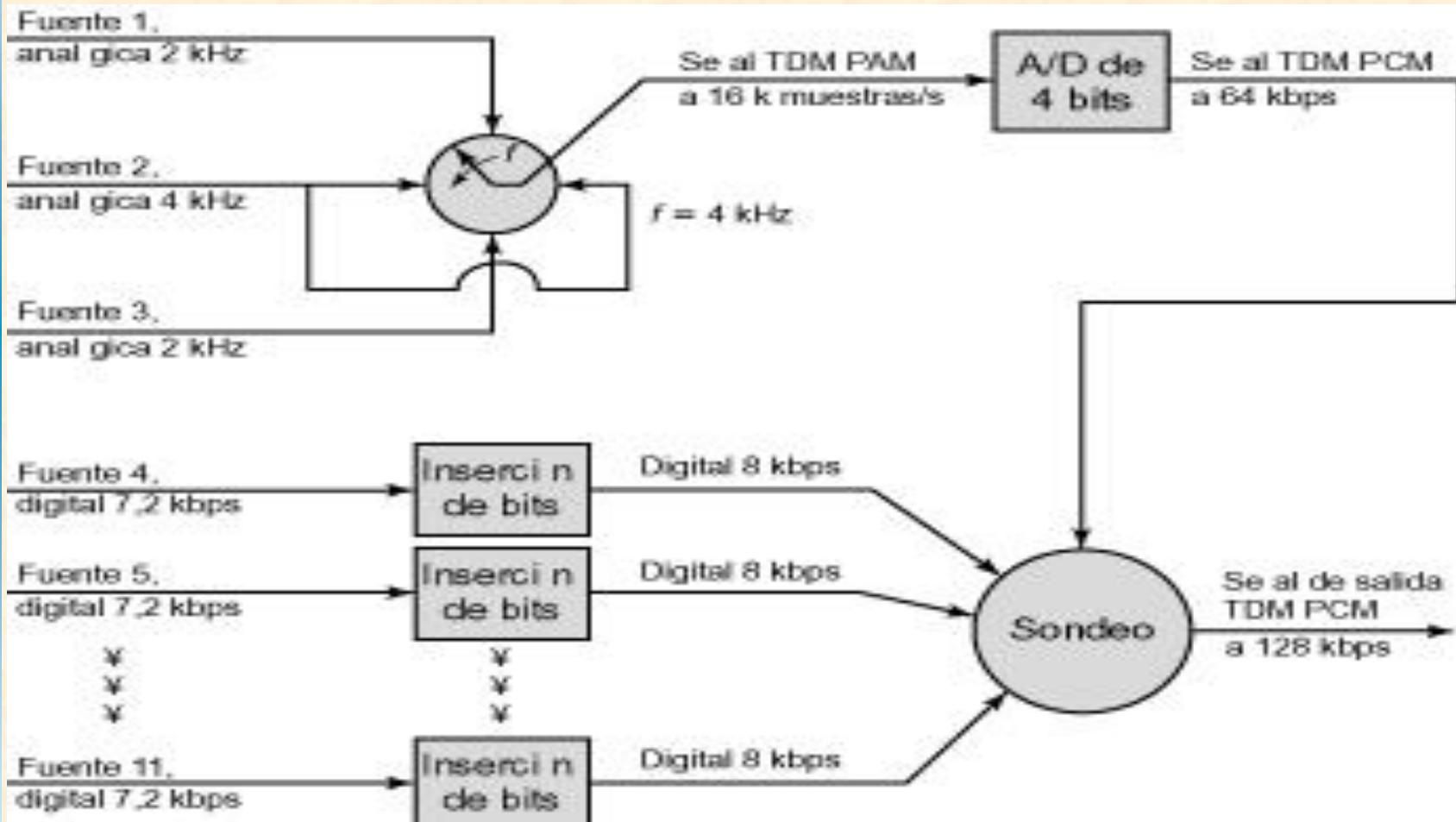
- LAS FUENTES ANALÓGICAS SE CONVIERTEN A *DIGITALES* USANDO *PCM*:
  - ◆ SE REQUIEREN 4000 MUESTRAS/SEG PARA LAS FUENTES 1 Y 3.
  - ◆ SE REQUIEREN 8000 MUESTRAS/SEG PARA LA FUENTE 2.
  - ◆ ESTAS MUESTRAS ANALÓGICAS (PAM) SE DEBERÁN CUANTIFICAR O DIGITALIZAR.
  - ◆ SE USAN 4 BITS PARA C/ MUESTRA ANALÓGICA.
  - ◆ PARA LAS FUENTES 1 Y 3 SE UTILIZARÁ UNA FRECUENCIA DE SONDEO DE 4 KHZ: SE OBTIENE 1 MUESTRA PAM C/ VEZ.
  - ◆ PARA LA FUENTE 2 SE OBTENDRÁN 2 MUESTRAS P/ SONDEO.
  - ◆ LAS 4 MUESTRAS SE MEZCLAN Y CONVIERTEN A MUESTRAS PCM DE 4 BITS.
  - ◆ SE GENERAN 16 BITS A UNA RAZÓN DE 4000 VECES/SEG.
  - ◆ LA RAZÓN DE BITS COMPUESTA ES DE 64 KBPS.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- ◆ EN LAS FUENTES DIGITALES SE INSERTAN PULSOS PARA QUE C/ FUENTE ALCANCE UNA RAZÓN DE 8 KBPS: 64 KBPS CON LA AGRUPACIÓN.
- ◆ UNA TRAMA ESTARÁ CONSTITUIDA POR MÚLTIPLES CICLOS DE 32 BITS:
  - C/U CON 16 BITS PCM Y CON 2 BITS DE C/U DE LAS 8 FUENTES DIGITALES.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- EJ. DE TDM SÍNCRONO PARA MULTIPLEXAR FUENTES ANALÓGICAS Y DIGITALES:



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- **SISTEMAS CON PORTADORA DIGITAL**
- **EL SISTEMA DE TRANSMISIONES A LARGA DISTANCIA DE EE.UU. Y EL RESTO DEL MUNDO SE HA DISEÑADO PARA TRANSMITIR SEÑALES DE VOZ SOBRE ENLACES DE TRANSMISIÓN DE ALTA CAPACIDAD:**
  - ◆ FIBRA ÓPTICA, CABLE COAXIAL Y MICROONDAS.
- **EN SU EVOLUCIÓN HACIA LA TECNOLOGÍA DIGITAL ESTAS REDES HAN ADOPTADO LA TRANSMISIÓN TDM SÍNCRONA.**
- **EN LOS EE.UU. AT&T DESARROLLÓ UN SISTEMA TDM JERÁRQUICO CON DISTINTAS CAPACIDADES:**
  - ◆ ESTE SISTEMA TAMBIÉN SE ADOPTÓ EN CANADÁ Y JAPÓN.
- **LA UIT-T HA ADOPTADO UN ESTÁNDAR SIMILAR PERO NO IGUAL.**

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- *ESTÁNDARES INTERNACIONALES Y NORTEAMERICANOS PARA TDM:*

Tabla 8.3. Estándares TDM norteamericanos e internacionales.

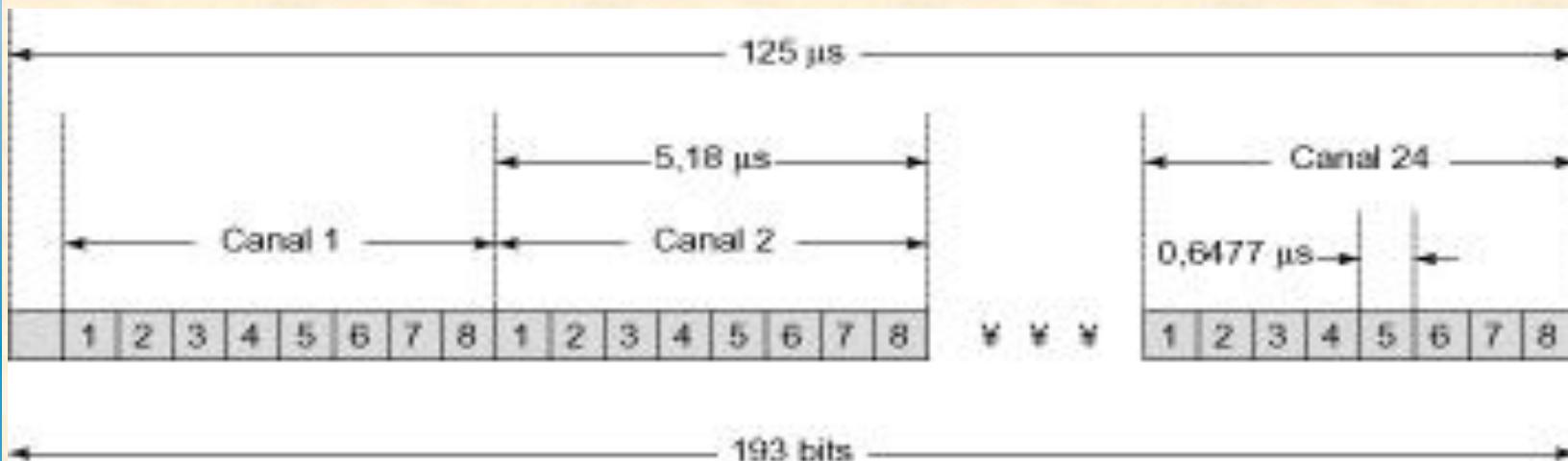
Norteamérica			Internacional (ITU-T)		
Nomenclatura	Número de canales de voz	Velocidad (Mbps)	Nivel	Número de canales de voz	Velocidad (Mbps)
DS-1	24	1,544	1	30	2,048
DS-1C	48	3,152	2	120	8,448
DS-2	96	6,312	3	480	34,368
DS-3	672	44,736	4	1.920	139,264
DS-4	4.032	274,176	5	7.680	565,148

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- LA BASE DE LA JERARQUÍA TDM EN NORTEAMÉRICA Y JAPÓN ES EL *FORMATO DE TRANSMISIÓN DS-1*:
  - ◆ MULTIPLEXA 24 CANALES.
  - ◆ CADA TRAMA CONTIENE 8 BITS/CANAL MÁS 1 BIT DELIMITADOR:
    - ☞  $(24 \times 8) + 1 = 193$  BITS.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

## ■ *FORMATO DE TRANSMISIÓN DS-1:*



Notas:

1. El primer bit es de delimitación, usado para sincronización.
2. Canales de voz:
  - PCM 8 bit usado en cinco de cada seis tramas.
  - PCM 7 bit usado en una de cada seis tramas; el bit 8 de cada canal es de señalización.
3. Canales de datos:
  - El canal 24 se emplea para señalización en algunos esquemas.
  - Los bits del 1 al 7 se usan para el servicio a 56 kbps.
  - Los bits 2-7 se usan para servicios a 9,6 kbps, 4,8 kbps y 2,4 kbps.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

## ■ EN LA TRANSMISIÓN DE VOZ:

- ◆ CADA CANAL TIENE UNA PALABRA DE DATOS DE VOZ DIGITALIZADA.
- ◆ LA SEÑAL ANALÓGICA DE VOZ SE DIGITALIZA CON PCM A 8000 MUESTRAS/SEG.
- ◆ C/U DE LAS SUBDIVISIONES DE C/ CANAL Y C/ TRAMA SE DEBEN REPETIR 8000 VECES/SEG.
- ◆ COMO LA LONGITUD DE LA TRAMA ES DE 193 BITS SE TENDRÁ UNA RAZÓN DE DATOS DE  $8000 \times 193 = 1,544$  MBPS.
- ◆ EN 5 DE C/ 6 TRAMAS SE USAN MUESTRAS PCM DE 8 BITS.
- ◆ C/ 6 TRAMAS, C/ CANAL CONTENDRÁ 1 PALABRA PCM DE 7 BITS MÁS 1 BIT DE SEÑALIZACIÓN.
- ◆ LOS BITS DE SEÑALIZACIÓN FORMAN 1 CADENA PARA C/ CANAL DE VOZ QUE CONTENDRÁ INFORMACIÓN PARA EL ENCAMINAMIENTO Y CONTROL DE LA RED.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- EN LA *TRANSMISIÓN DE DATOS DIGITALES*:
  - ◆ POR COMPATIBILIDAD SE UTILIZA LA MISMA RAZÓN DE DATOS.
  - ◆ SE PROPORCIONAN 23 CANALES DE DATOS.
  - ◆ LA POSICIÓN CORRESPONDIENTE AL CANAL 24 SE RESERVA PARA UN BYTE ESPECIAL SYNC:
    - PERMITE UNA RECUPERACIÓN MÁS EFICAZ TRAS UN ERROR DE DELIMITACIÓN.
  - ◆ EN C/ CANAL SE UTILIZAN 7 BITS/ TRAMA PARA DATOS Y 1 BIT PARA INDICAR SI EL CANAL EN ESA TRAMA CONTIENE:
    - DATOS DE USUARIO.
    - DATOS DE CONTROL DEL SISTEMA.
  - ◆ LA RAZÓN DE DATOS POR CANAL ES DE 56 KBPS: 7 BITS/CANAL X 8000 TRAMAS/SEG.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- ◆ PARA RAZONES DE DATOS INFERIORES SE USA LA *MULTIPLEXACIÓN A BAJA RAZÓN*:
  - SE ROBA 1 BIT DE C/ CANAL PARA INDICAR LA RAZÓN PROPORCIONADA.
  - PERMITE UNA CAPACIDAD POR CANAL DE  $6 \times 8000 = 48$  KBPS:
    - SE USA PARA MULTIPLEXAR 5 CANALES A 9,6 KBPS, 10 CANALES A 4,8 KBPS O 20 CANALES A 2,4 KBPS.
- EN LA *TRANSMISIÓN DE VOZ Y DATOS*:
  - ◆ SE USAN 24 CANALES SIN EL BYTE SYNC.
- EL *SISTEMA DE TRANSMISIÓN DS-2* COMBINA 4 ENTRADAS DS-1 EN UNA CADENA DE 6,312 MBPS ( $4 \times 1,544$  MBPS = 6,176 MBPS):
  - ◆ SE USAN C/ VEZ 12 BITS DE LAS 4 FUENTES.
  - ◆ LOS BITS DE DELIMITACIÓN Y CONTROL UTILIZAN LA CAPACIDAD EXCEDENTE.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- SONET/SDH
- LA *RED ÓPTICA SÍNCRONA* (SONET: “SYNCHRONOUS OPTICAL NETWORK”) ES UNA *INTERFAZ* PARA LA *TRANSMISIÓN ÓPTICA*:
  - ◆ FUE PROPUESTA POR *BELLCORE*.
  - ◆ FUE NORMALIZADA POR EL *ANSI*.
- LA *UIT-T* PUBLICÓ LAS RECOMENDACIONES G.707, G.708 Y G.709:
  - ◆ SON COMPATIBLES CON LA ANTERIOR.
  - ◆ USA LA DENOMINACIÓN *JERARQUÍA DIGITAL SINCRÓNICA* (SDH: “SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY”).
- ESTAS ESPECIFICACIONES SON PARA APROVECHAR LAS VENTAJAS DE LA ALTA *VELOCIDAD* QUE PROPORCIONA LA *TRANSMISIÓN DIGITAL* USANDO *FIBRA ÓPTICA*.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- *JERARQUÍA DE SEÑALES*
- LA ESPECIFICACIÓN SONET DEFINE UNA JERARQUÍA DE VELOCIDADES DE DATOS DIGITALES NORMALIZADAS.
- EL NIVEL MÁS BAJO:
  - ◆ SE DENOMINA *STS-1 (SYNCHRONOUS TRANSPORT SIGNAL LEVEL 1)* U *OC-1 (OPTICAL CARRIER LEVEL 1)*.
  - ◆ LA VELOCIDAD ES 51,84 MBPS.
  - ◆ SE PUEDE USAR PARA TRANSPORTAR UNA SOLA SEÑAL DS-3 O UN *GRUPO DE SEÑALES* A VELOCIDAD INFERIOR, COMO DS1, DS1C, DS2 Y OTRAS VELOCIDADES ITU-T (EJ.: 2,048 MBPS).
- SE PUEDEN COMBINAR VARIAS SEÑALES STS-1 PARA FORMAR UNA SEÑAL STS-N:
  - ◆ SE MEZCLAN OCTETOS DE  $N$  SEÑALES STS-1 MUTUAMENTE SINCRONIZADAS.
- LA VELOCIDAD MENOR CONSIDERADA EN LA JERARQUÍA DIGITAL SINCRONICA DE LA ITU-T ES 155,52 MBPS:
  - ◆ SE DENOMINA STM-1.
  - ◆ SE CORRESPONDE CON STS-3 DE SONET.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

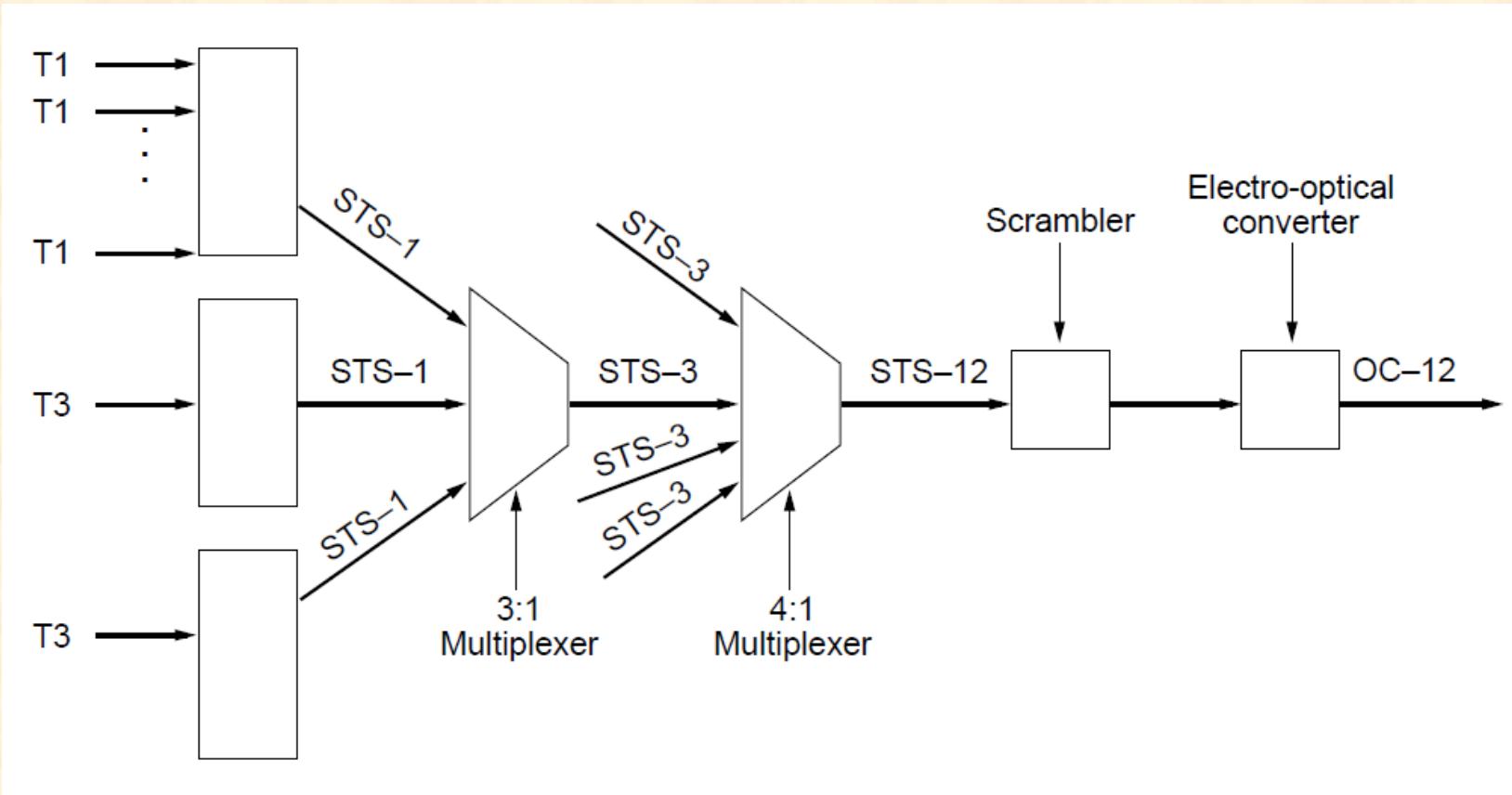
- *JERARQUÍA DE SEÑAL EN SONET/SDH:*

Tabla 8.4. Jerarquía de señal en SONET/SDH.

Nomenclatura SONET	Nomenclatura ITU-T	Velocidad	Velocidad de información útil (Mbps)
STS-1/OC-1	STM-0	51,84 Mbps	50,112 Mbps
STS-3/OC-3	STM-1	155,52 Mbps	150,336 Mbps
STS-9/OC-9		486,56 Mbps	451,008 Mbps
STS-12/OC-12	STM-4	622,08 Mbps	601,344 Mbps
STS-18/OC-18		933,12 Mbps	902,016 Mbps
STS-24/OC-24		1,24416 Gbps	1,202688 Gbps
STS-36/OC-36		1,86624 Gbps	1,804032 Gbps
STS-48/OC-48	STM-16	2,48832 Gbps	2,405376 Gbps
STS-96/OC-96		4,87664 Gbps	4,810752 Gbps
STS-192/OC-192	STM-64	9,95328 Gbps	9,621504 Gbps
STS-768	STM-256	39,81312 Gbps	38,486016 Gbps
STS-3072		159,25248 Gbps	1,53944064 Gbps

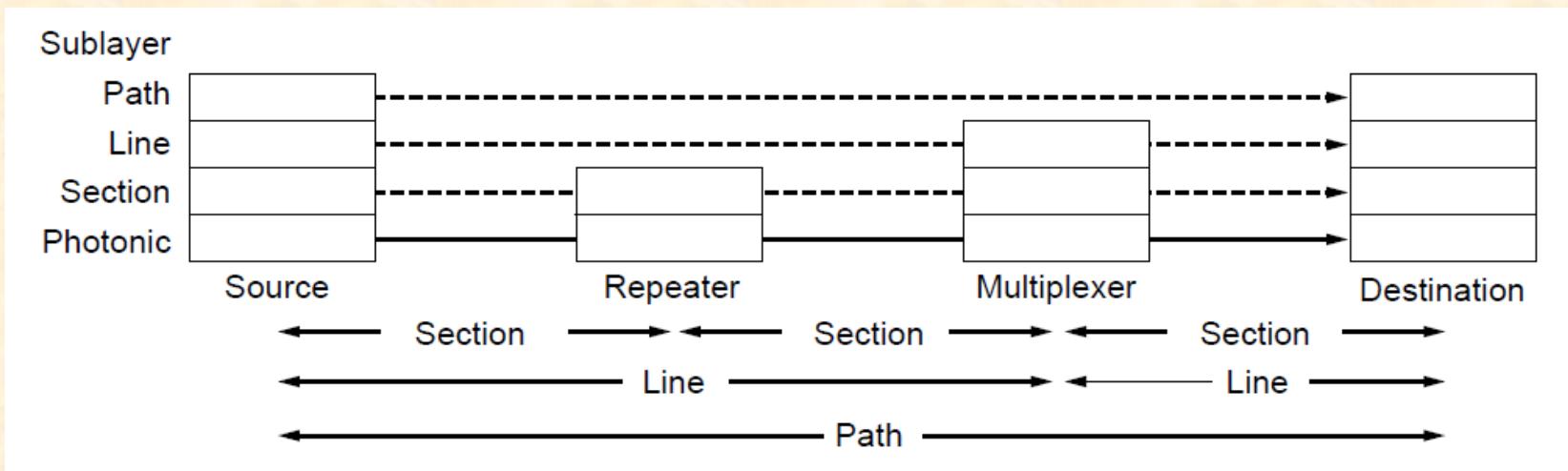
# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

## ■ *MULTIPLEXACIÓN EN SONET:*



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

## ■ ARQUITECTURA SONET:

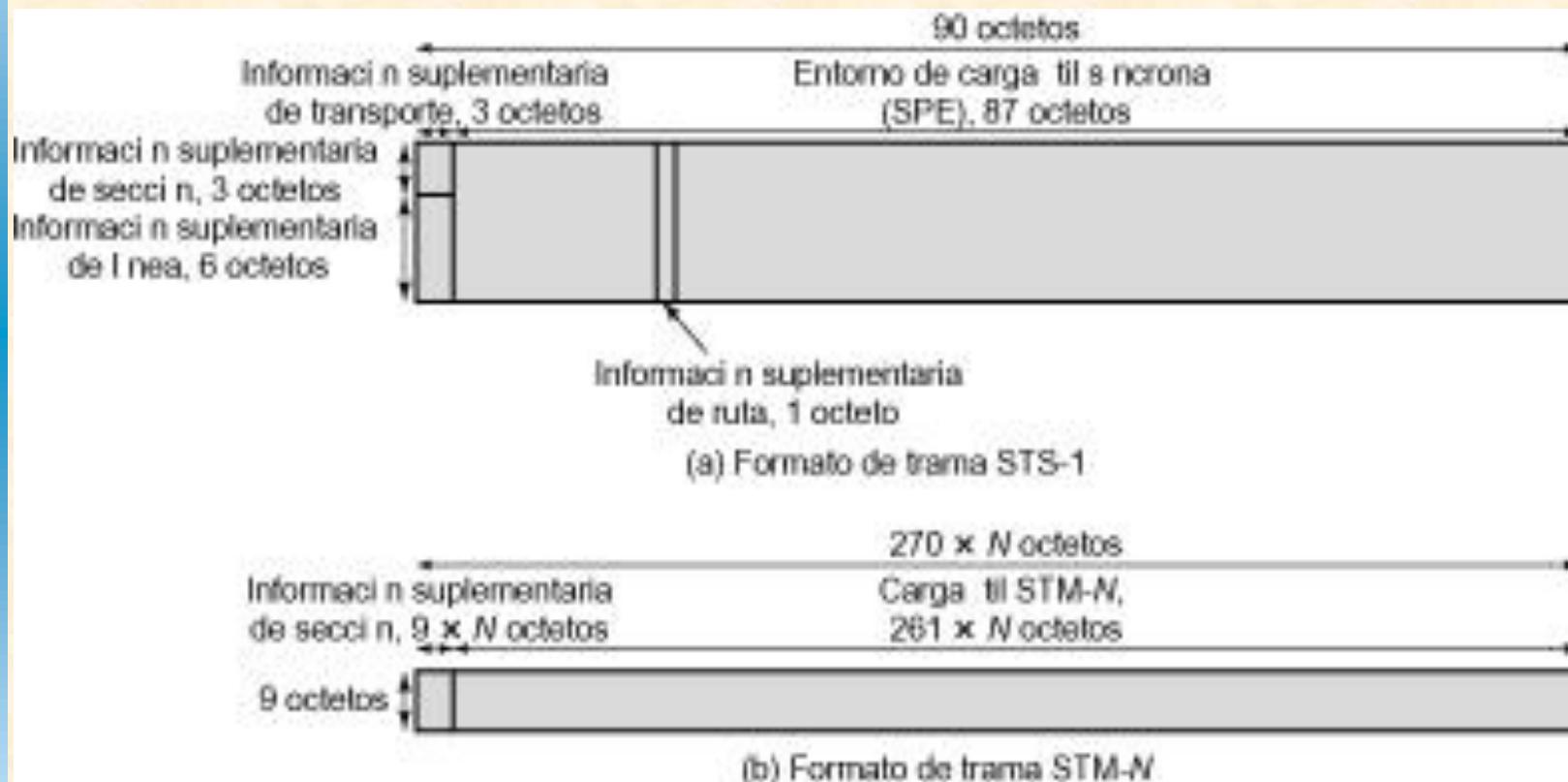


# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- *FORMATO DE TRAMA*
- *EL BLOQUE BÁSICO EN SONET ES LA TRAMA STS-1:*
  - ◆ CONSTA DE 810 OCTETOS.
  - ◆ SE TRANSMITE A RAZÓN DE UNA CADA 125 µS.
  - ◆ LA VELOCIDAD TOTAL ES DE 51,84 MBPS.
- *LA TRAMA SE PUEDE VER LÓGICAMENTE COMO UNA MATRIZ DE 9 FILAS DE 90 OCTETOS C/U:*
  - ◆ LA TRANSMISIÓN ES POR FILAS DE IZQUIERDA A DERECHA Y DE ARRIBA HACIA ABAJO.
- LAS 3 PRIMERAS COLUMNAS (3 OCTETOS X 9 FILAS = 27 OCTETOS) SON OCTETOS *SUPLEMENTARIOS*:
  - ◆ 9 PARA INFORMACIÓN ACERCA DE LAS SECCIONES.
  - ◆ 18 PARA INFORMACIÓN ACERCA DE LA LÍNEA.
- EL RESTO DE LA TRAMA ES *INFORMACIÓN ÚTIL (PAYLOAD)*:
  - ◆ INCLUYE INFORMACIÓN SUPLEMENTARIA SOBRE LA RUTA.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

## ■ *FORMATOS DE TRAMA SONET/SDH:*



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- OCTETOS DE INFORMACIÓN SUPLEMENTARIA EN STS-1 DE SONET:

Información suplementaria de sección	Delimitación A1	Delimitación A2	STS-ID C1
	BIP-8 B1	Canal de voz E1	Usuario F1
	Datos D1	Datos D2	Datos D3
	Puntero H1	Puntero H2	Acción puntero H3
	BIP-8 B2	APS K1	APS K2
Información suplementaria de línea	Datos D4	Datos D5	Datos D6
	Datos D7	Datos D8	Datos D9
	Datos D10	Datos D11	Datos D12
	Crecimiento Z1	Crecimiento Z2	Canal de voz E2

(a) Información suplementaria de transporte

Traza J1
BIP-8 B3
Etiqueta de la señal C2
Estado de la ruta G1
Usuario F2
Multitrama H4
Crecimiento Z3
Crecimiento Z4
Crecimiento Z5

(b) Información suplementaria de ruta

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

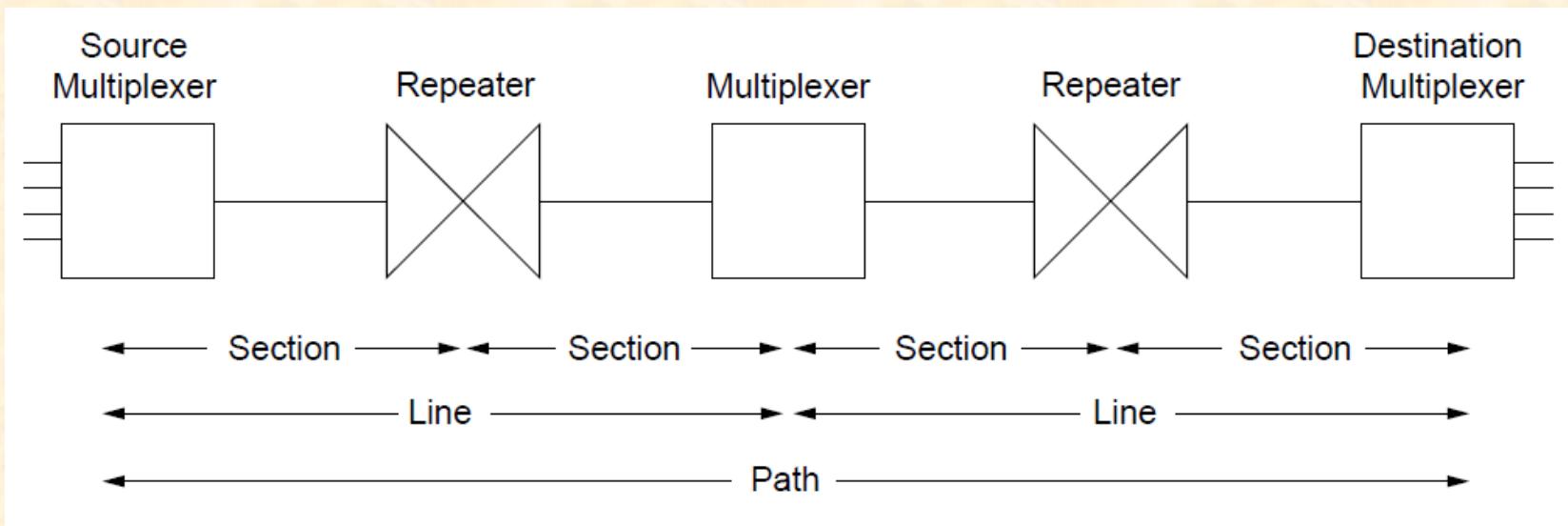
## ■ BITS DE INFORMACIÓN SUPLEMENTARIA EN STS-1:

Tabla 8.5. Bits de información suplementaria en STS-1.

Información suplementaria de sección	
A1, A2:	Octetos de delimitación – F6,2B HEX; usados para sincronizar el comienzo de cada trama.
C1:	STS-1 ID identifica el número STS-1 (de 1 a N) para cada STS-1 en un multiplexor STS-N.
B1:	Octeto de paridad de la mezcla de bits ( <i>bit-interleaved parity</i> ); se usa paridad par sobre la trama STS-1 anterior tras la mezcla; el bit <i>i</i> -ésimo de este octeto contiene el resultado de una operación de paridad par entre los bits de posición <i>i</i> -ésima de todos los octetos de la trama previa.
E1:	Este octeto a nivel de sección proporciona 64 kbps PCM; canal de voz de 64 kbps opcional a usar entre equipos terminales, concentradores y terminales remotos.
F1:	Canal a 64 kbps independiente para necesidades de usuario.
D1-D3:	Canal de comunicaciones de datos a 192 kbps para alarmas, mantenimiento, control y administración entre secciones.
Información suplementaria de línea	
H1-H3:	Octetos de puntero para el alineamiento de trama y ajuste de la frecuencia de los datos correspondientes a la carga útil.
B2:	Paridad de la mezcla de bits para monitorizar errores a nivel de línea.
K1, K2:	Dos octetos reservados para la señalización entre equipos de conmutación con protección automática a nivel de línea; se utiliza un protocolo orientado a bit que proporciona protección de errores y gestión del enlace óptico SONET.
D4-D12:	Canal de comunicaciones de datos a 576 kbps para alarmas, mantenimiento, control, monitorización y administración a nivel de línea.
Z1, Z2:	Reservados para uso futuro.
E2:	Canal de voz PCM a 64 kbps para nivel de línea.
Información suplementaria de ruta	
J1:	Canal a 64 kbps usado para enviar repetidamente una cadena de longitud fija de 64 octetos de modo que un terminal receptor pueda verificar continuamente la integridad de una ruta; el contenido del mensaje es programable por el usuario.
B3:	Paridad de mezcla de bits a nivel de ruta, calculada sobre todos los bits del SPE previo.
C2:	Etiqueta de la señal de ruta STS que se utiliza para distinguir entre señales equipadas y no equipadas. <i>No equipadas</i> significa que la conexión de línea está completa pero no existen datos acerca de la ruta para enviar. En las señales equipadas, la etiqueta puede indicar una correspondencia específica para la información útil STS, necesaria para que los terminales receptores la interpreten correctamente.
G1:	Octeto de estado enviado desde el equipo de destino de la ruta al equipo origen de la misma para comunicar su estado así como las prestaciones de los errores en la ruta.
F2:	Canal de 64 kbps para el usuario de la ruta.
H4:	Indicador de multitrama para cargas útiles que requieran tramas de mayor longitud que una sola STS; los indicadores de multitrama se emplean cuando se empaquetan canales a velocidades inferiores (flujo virtual) en el SPE.
Z3-Z5:	Reservados para usos futuros.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

- *UN PATH EN SONET:*



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- CARACTERÍSTICAS
- EN UN *MULTIPLEXOR POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONO* SE PUEDEN PERDER MUCHAS SUBDIVISIONES TEMPORALES DENTRO DE UNA TRAMA.
- UNA APLICACIÓN TÍPICA DE LA *TDM SÍNCRONA* CONSISTE EN ENLAZAR UNA SERIE DE TERMINALES EN UN PUERTO COMPARTIDO DEL COMPUTADOR CENTRAL:
  - ◆ INCLUSO SI TODOS LOS TERMINALES SE ESTÉN UTILIZANDO ACTIVAMENTE, PARA UNO DADO, EN LA MAYOR PARTE DEL TIEMPO NO HABRÁ TRANSFERENCIA DE DATOS.
- UNA ALTERNATIVA ES LA *TDM ESTADÍSTICA*, *TDM ASÍNCRONA* O *INTELIGENTE*:
  - ◆ EL *MULTIPLEXOR ESTADÍSTICO* APROVECHA LA PROPIEDAD DE CÓMO SE GENERAN LOS DATOS:
    - ☞ LAS SUBDIVISIONES TEMPORALES SE ASIGNAN BAJO DEMANDA Y DINÁMICAMENTE.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

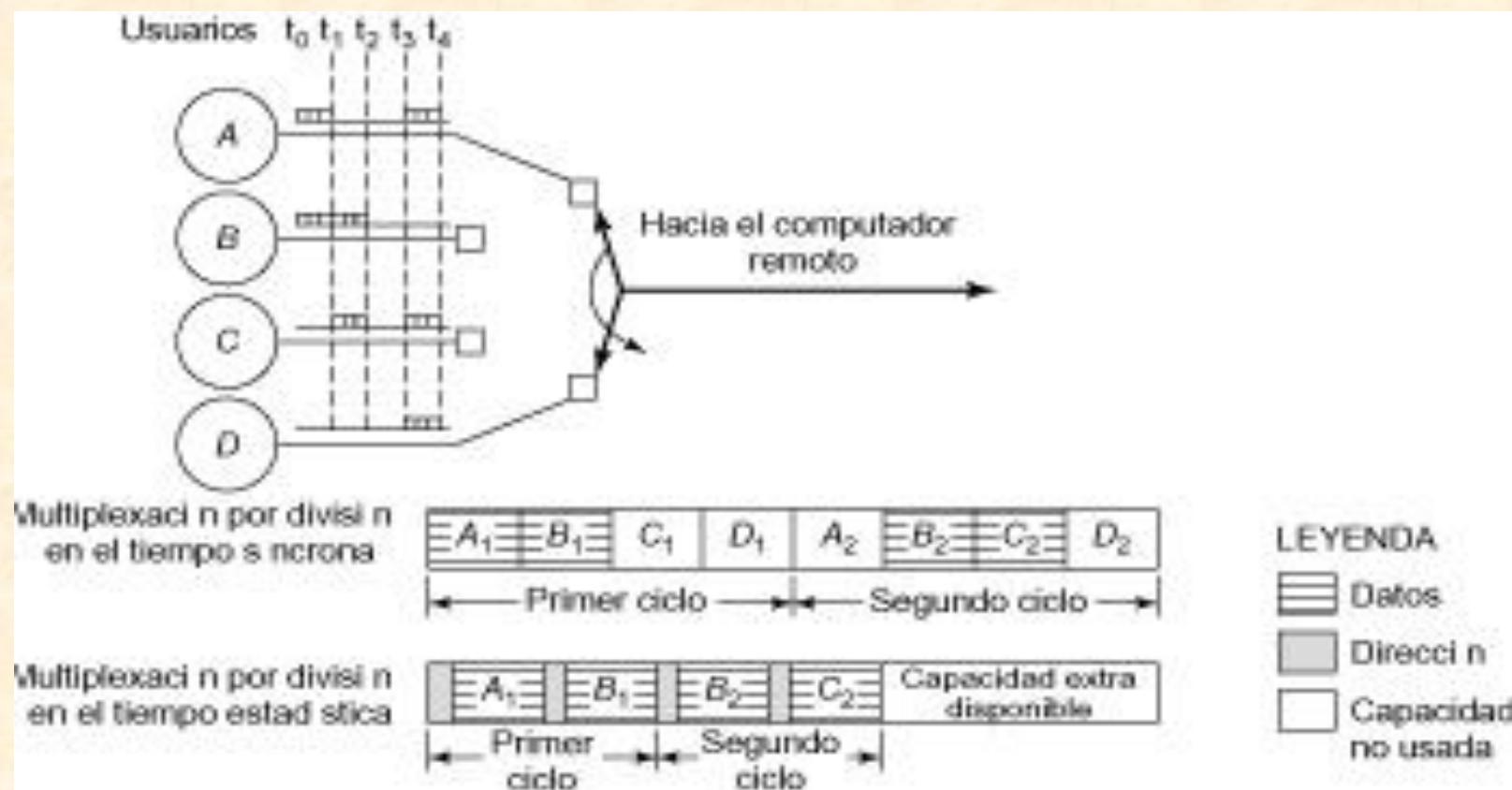
- EL *MULTIPLEXOR ESTADÍSTICO* TIENE:
  - ◆ POR UN LADO: UNA SERIE DE LÍNEAS DE E/S.
  - ◆ POR OTRO LADO: UNA LÍNEA MULTIPLEXADA DE VELOCIDAD MAYOR.
- CADA LÍNEA DE E/S TIENE ASOCIADA UNA *MEMORIA TEMPORAL*.
- EN EL *MULTIPLEXOR ESTADÍSTICO*:
  - ◆ HAY  $n$  LÍNEAS DE E/S.
  - ◆ SÓLO  $k$ , CON  $k < n$ , SUBDIVISIONES TEMPORALES DISPONIBLES EN CADA TRAMA TDM.
- EN LA ENTRADA EL *MULTIPLEXOR* SONDEA LAS *MEMORIAS TEMPORALES DE ENTRADA*, TOMANDO DE ELLAS DATOS HASTA QUE LA TRAMA ESTÉ COMPLETA, ENVIÁNDOLA POSTERIORMENTE.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- EN LA SALIDA EL MULTIPLEXOR RECIBE LA TRAMA DISTRIBUYENDO LAS SUBDIVISIONES CORRESPONDIENTES A LAS MEMORIAS TEMPORALES DE SALIDA.
- LA RAZÓN DE DATOS DE LA LÍNEA MULTIPLEXADA ES MENOR QUE LA SUMA DE LAS RAZONES DE DATOS DE LOS DISPOSITIVOS CONECTADOS:
  - ◆ UN MULTIPLEXOR ESTADÍSTICO PUEDE UTILIZAR UNA RAZÓN DE DATOS MENOR QUE UNO SÍNCRONO, PARA IGUAL N° DE EQUIPOS.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- COMPARACIÓN CON LAS TÉCNICAS TDM SÍNCRONA Y ESTADÍSTICA:



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- EN EL EJ. SE CONSIDERAN 4 FUENTES GENERADORAS DE DATOS, Y SE MUESTRAN LOS DATOS GENERADOS EN 4 INTERVALOS DE TIEMPO.
- PARA EL MULTIPLEXOR SÍNCRONO:
  - ◆ SE TIENE UNA RAZÓN EFECTIVA DE DATOS DE SALIDA 4 VECES SUPERIOR A LA RAZÓN DE DATOS DE CUALQUIERA DE LOS DISPOSITIVOS CONECTADOS.
  - ◆ DURANTE CADA INTERVALO, LOS DATOS SE COLECTAN DE LAS 4 FUENTES Y POSTERIORMENTE SE ENVÍAN:
    - ☞ EJ.: EN EL PRIMER INTERVALO, LAS FUENTES C Y D NO PRODUCEN DATOS: 2 DE LAS 4 SUBDIVISIONES ESTÁN VACÍAS.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- EN EL *MULTIPLEXOR ESTADÍSTICO*:
  - ◆ *NO SE ENVÍAN SUBDIVISIONES VACÍAS MIENTRAS HAYA DATOS QUE ENVIAR.*
  - ◆ *NO SE CONOCE A PRIORI QUÉ FUENTE DE DATOS UTILIZARÁ CADA SUBDIVISIÓN.*
  - ◆ *LOS DATOS SE RECIBEN Y DISTRIBUYEN A LAS LÍNEAS DE E/S DE UNA FORMA NO PREDECIBLE:*
    - *SE NECESITARÁ INFORMACIÓN ADICIONAL.*
    - *EN CADA SUBDIVISIÓN SE DEBERÁ TRANSMITIR UNA DIRECCIÓN ADEMÁS DE LOS DATOS PROPIAMENTE DICHOS.*

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- LA ESTRUCTURA DE LA TRAMA QUE SE UTILICE EN UN MULTIPLEXOR ESTADÍSTICO:
  - ◆ REPERCUTIRÁ EN SUS PRESTACIONES FINALES.
  - ◆ ES DESEABLE MINIMIZAR EL NÚMERO DE BITS SUPLEMENTARIOS.
- GENERALMENTE UN SISTEMA TDM ESTADÍSTICO UTILIZA UN PROTOCOLO SÍNCRONO, COMO EL HDLC:
  - ◆ DENTRO DE UNA TRAMA HDLC, LA TRAMA DE DATOS DEBE CONTENER BITS DE CONTROL PARA EL PROCESO DE MULTIPLEXACIÓN.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- *FORMATOS DE UNA TRAMA TDM ESTADÍSTICA:*



(a) Trama completa



(b) Subtrama con una fuente por trama



(c) Subtrama con varias fuentes por trama

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- UNA POSIBILIDAD ES INCLUIR EN CADA TRAMA SÓLO UNA FUENTE DE DATOS, IDENTIFICADA CON UNA DIRECCIÓN:
  - ◆ LA LONGITUD DEL CAMPO DE DATOS ES VARIABLE.
  - ◆ SU FINAL SE IDENTIFICA POR EL FINAL DE LA TRAMA.
  - ◆ ES INEFICIENTE PARA ALTAS CARGAS.
- OTRA POSIBILIDAD ES QUE VARIAS FUENTES DE DATOS SE EMPAQUETEN EN UNA MISMA TRAMA:
  - ◆ HABRÁ QUE INDICAR LA LONGITUD DE DATOS PARA C/FUENTE.
  - ◆ LA SUBTRAMA COMPRENDERÁ UNA SERIE DE CAMPOS DE DATOS, C/U ETIQUETADOS CON UNA DIRECCIÓN Y UNA LONGITUD.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- PRESTACIONES
- LA RAZÓN DE DATOS DE LA SALIDA DE UN MULTIPLEXOR ESTADÍSTICO ES MENOR QUE LA SUMA DE LAS RAZONES DE DATOS DE LAS ENTRADAS.
- SE SUPONE QUE LA CAPACIDAD MEDIA DE ENTRADA ES MENOR QUE LA CAPACIDAD DE LA LÍNEA MULTIPLEXADA:
  - ◆ PUEDEN HABER PERÍODOS DE PICO QUE EXCEDAN LA CAPACIDAD DE LA LÍNEA.
  - ◆ LA SOLUCIÓN ES LA INCORPORACIÓN DE MEMORIAS TEMPORALES EN EL MULTIPLEXOR QUE ALMACENEN TEMPORALMENTE LOS EXCESOS DE LAS LÍNEAS DE ENTRADA.
- HAY UN COMPROMISO ENTRE:
  - ◆ EL TAMAÑO DE LAS MEMORIAS TEMPORALES.
  - ◆ LA RAZÓN DE DATOS DE LA LÍNEA.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- *SERÍA DESEABLE USAR LA MEMORIA TEMPORAL MÁS PEQUEÑA POSIBLE:*
  - ◆ IMPLICARÍA UN AUMENTO EN LA RAZÓN DE DATOS.
  - ◆ CUANTO MAYORES SEAN LAS MEMORIAS, MAYORES SERÁN LOS RETARDOS.
  - ◆ EL COMPROMISO ESTÁ ENTRE:
    - EL TIEMPO DE RESPUESTA DEL SISTEMA.
    - LA VELOCIDAD DE LA LÍNEA MULTIPLEXADA.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- *EJ. DE LAS PRESTACIONES DE UN MULTIPLEXOR ESTADÍSTICO:*

Tabla 8.6. Ejemplo de las prestaciones de un multiplexor estadístico.

Entrada*	Capacidad = 5.000 bps		Capacidad = 7.000 bps	
	Salida	Exceso	Salida	Exceso
6	5	1	6	0
9	5	5	7	2
3	5	3	5	0
7	5	5	7	0
2	5	2	2	0
2	4	0	2	0
2	2	0	2	0
3	3	0	3	0
4	4	0	4	0
6	5	1	6	0
1	2	0	1	0
10	5	5	7	3
7	5	7	7	3
5	5	7	7	1
8	5	10	7	2
3	5	8	5	0
6	5	9	6	0
2	5	6	2	0
9	5	10	7	2
5	5	10	7	0

\* Entrada = 10 fuentes. 1.000 bps/fuente; velocidad de entrada promedio = 50% del máximo.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- LOS *PARÁMETROS PARA UN MULTIPLEXOR TDM ESTADÍSTICO SON:*
  - ◆ *N: NÚMERO DE FUENTES DE ENTRADA.*
  - ◆ *R: RAZÓN DE DATOS PARA C/ FUENTE EN BPS.*
  - ◆ *M: CAPACIDAD EFECTIVA DE LA LÍNEA MULTIPLEXADA EN BPS.*
  - ◆  *$\alpha$ : FRACCIÓN DE TIEMPO MEDIA DE TRANSMISIÓN PARA C/ FUENTE:  $0 < \alpha < 1$ .*
  - ◆ *K = (M/NR): RAZÓN ENTRE LA CAPACIDAD TOTAL DE LA LÍNEA MULTIPLEXADA Y LA ENTRADA MÁXIMA TOTAL:*
    - ☞ ES UNA MEDIDA DE LA *COMPRESIÓN* LLEVADA A CABO EN EL MULTIPLEXOR.
    - ☞ SE PUEDE ACOTAR POR:  $\alpha < K < 1$ .

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- SE PUEDE CONSIDERAR AL *MULTIPLEXOR* COMO UN *SERVIDOR DE UNA COLA*:
  - ◆ CUANDO UN “*CLIENTE*” LLEGA AL “*PROVEEDOR*” DEL SERVICIO Y LO ENCUENTRA *OCUPADO*, DEBE ESPERAR.
  - ◆ EL *RETARSO DEL CLIENTE* ES EL *TIEMPO TRANSCURRIDO* MIENTRAS *ESPERA* EN LA COLA MÁS EL *TIEMPO DE SERVICIO*.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- COLAS DE UN ÚNICO SERVIDOR CON *TIEMPOS DE SERVICIO CONSTANTES* Y *DISTRIBUCIÓN DE LLEGADAS DE TIPO POISSON* (ALEATORIAS):

**Tabla 8.7.** Colas de un único servidor con tiempos de servicio constantes y distribución de llegadas de tipo Poisson (aleatorias).

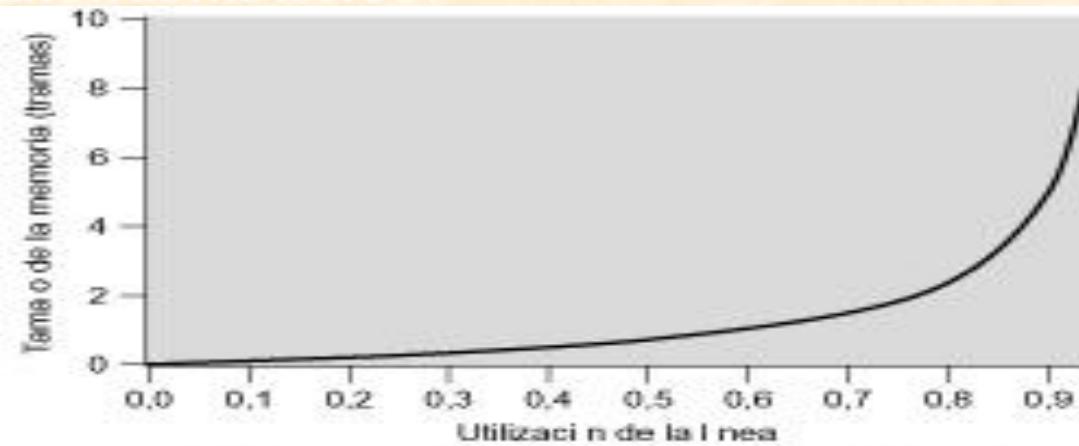
Parámetros
$\lambda$ = número medio de llegadas por segundo
$T_s$ = tiempo de servicio para cada llegada
$\rho$ = utilización; fracción de tiempo que está ocupado el servidor
$N$ = número medio de «clientes» en el sistema (en espera y siendo servidos)
$T_r$ = tiempo de estancia; tiempo medio que un «cliente» pasa en el sistema (en espera y siendo servido)
$\sigma_r$ = desviación estándar de $T_r$
Fórmulas
$\rho = \lambda T_s$
$N = \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)} + \rho$
$T_r = \frac{T_s(2 - \rho)}{2(1 - \rho)}$
$\sigma_r = \frac{1}{1 - \rho} \sqrt{\rho - \frac{3\rho^2}{2} + \frac{5\rho^3}{6} - \frac{\rho^4}{12}}$

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

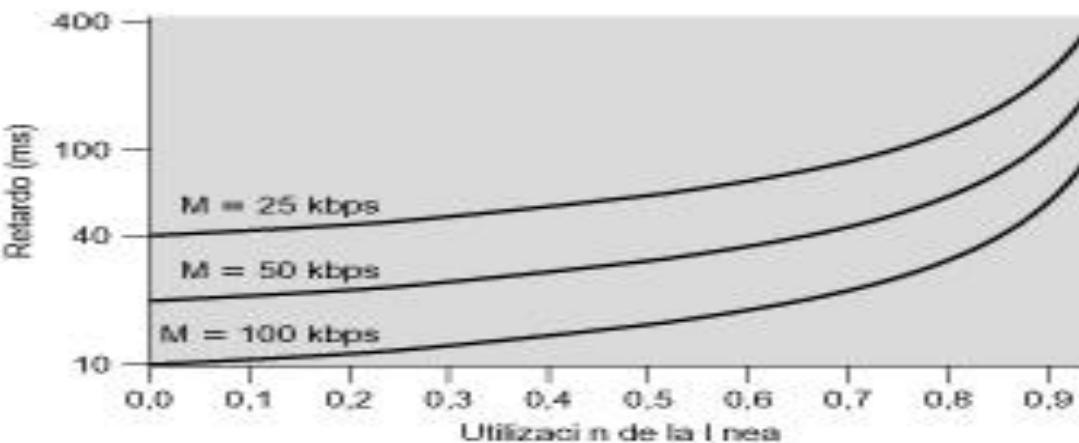
- LA RELACIÓN DEL *MODELO* CON EL *MUXOR* ESTADÍSTICO ES:
  - ◆  $\lambda = \alpha NR$ ;  $S = 1/M$ .
  - ◆ LA RAZÓN DE LLEGADA PROMEDIO ( $\lambda$ ), EN BPS, ES LA ENTRADA TOTAL POTENCIAL ( $NR$ ) MULTIPLICADA POR LA FRACCIÓN DE TIEMPO ( $\alpha$ ) CON LA QUE TRANSMITE C/ FUENTE.
  - ◆ EL TIEMPO DE SERVICIO ( $S$ ), EN SEGUNDOS, ES EL TIEMPO DE TRANSMISIÓN DE 1 BIT ( $1/M$ ).
  - ◆  $\rho = \lambda S = (\alpha NR) / M = \alpha / K = \lambda / M$ .
  - ◆  $\rho$  INDICA LA UTILIZACIÓN O FRACCIÓN UTILIZADA DE LA CAPACIDAD DEL ENLACE.
  - ◆  $q$  MIDE LA CAPACIDAD UTILIZADA DE LA MEMORIA TEMPORAL.
  - ◆  $t_q$  MIDE EL RETARDO PROMEDIO SUFRIDO POR UNA FUENTE DE ENTRADA.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- *TAMAÑO DE LA MEMORIA TEMPORAL Y RETARDO PARA UN MULTIPLEXOR ESTADÍSTICO:*



(a) Tamaño medio de la memoria frente a la utilización



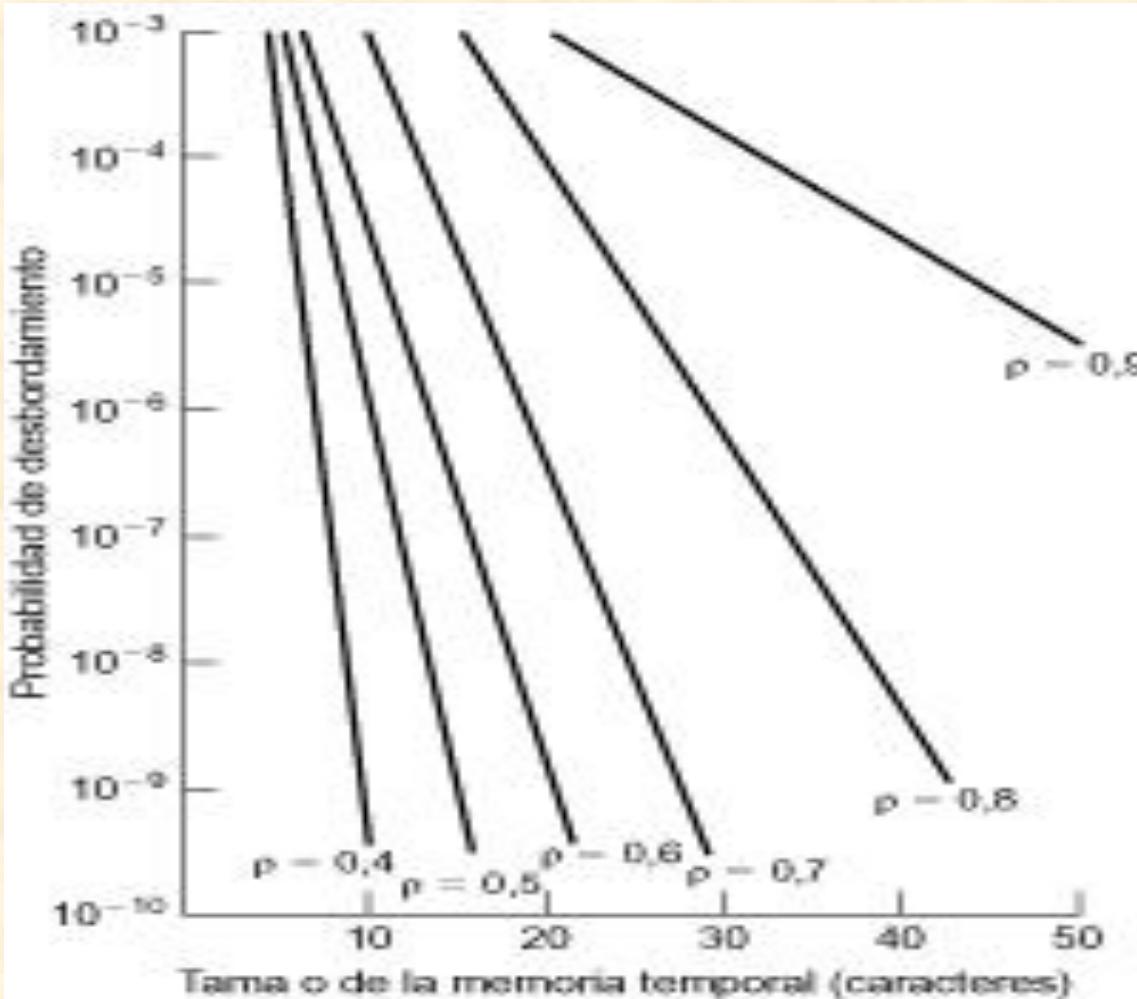
(b) Retardo medio frente a utilización  
MULTIPLEXACION

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- LA PARTE (a) DE LA FIG. PRECEDENTE MUESTRA EL NÚMERO MEDIO DE TRAMAS QUE SE DEBEN ALMACENAR TEMPORALMENTE EN FUNCIÓN DE LA UTILIZACIÓN PROMEDIO DE LA LÍNEA MULTIPLEXADA:
  - ◆ LA UTILIZACIÓN SE EXPRESA COMO UN % DE LA CAPACIDAD TOTAL DE LA LÍNEA.
- LA PARTE (b) DE LA FIG. MUESTRA EL RETARDO MEDIO DE UNA TRAMA EN FUNCIÓN DE LA UTILIZACIÓN Y DE LA RAZÓN DE DATOS.
- SE OBSERVA QUE:
  - ◆ EL TAMAÑO MEDIO DE LA MEMORIA TEMPORAL UTILIZADA DEPENDE DE  $\rho$ .
  - ◆ EL RETARDO PROMEDIO PARA UNA UTILIZACIÓN CONSTANTE SERÁ MENOR AL AUMENTAR LA CAPACIDAD DEL ENLACE.
  - ◆ UNA UTILIZACIÓN POR ENCIMA DEL 0,80 NO ES DESEABLE.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- PROBABILIDAD DE AGOTAMIENTO DE LA MEMORIA TEMPORAL EN FUNCIÓN DE SU TAMAÑO:



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- **CABLE- MÓDEM**
- EN *TV POR CABLE* SE DEDICAN DOS CANALES PARA LA TRANSFERENCIA DE DATOS DESDE Y HACIA UN SISTEMA DE *CABLE-MODEM*:
  - ◆ UNO PARA LA TRANSMISIÓN EN CADA DIRECCIÓN.
- CADA CANAL SE COMPARTE ENTRE UN NÚMERO DADO DE ABONADOS:
  - ◆ SE PRECISA ALGÚN *ESQUEMA* PARA REALIZAR LA *RESERVA DE CAPACIDAD* EN CADA CANAL DE TRANSMISIÓN:
    - GENERALMENTE SE USA UNA VARIANTE DEL SISTEMA *TDM ESTADÍSTICO*.
- EN LA *DIRECCIÓN DESCENDENTE (DOWN-STREAM)*:
  - ◆ UN *PLANIFICADOR* ENVÍA PEQUEÑOS *PAQUETES DE DATOS*.
  - ◆ EL ENVÍO ES DESDE EL *PUNTO RAÍZ* DEL SISTEMA DE CABLE HACIA EL ABONADO.

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

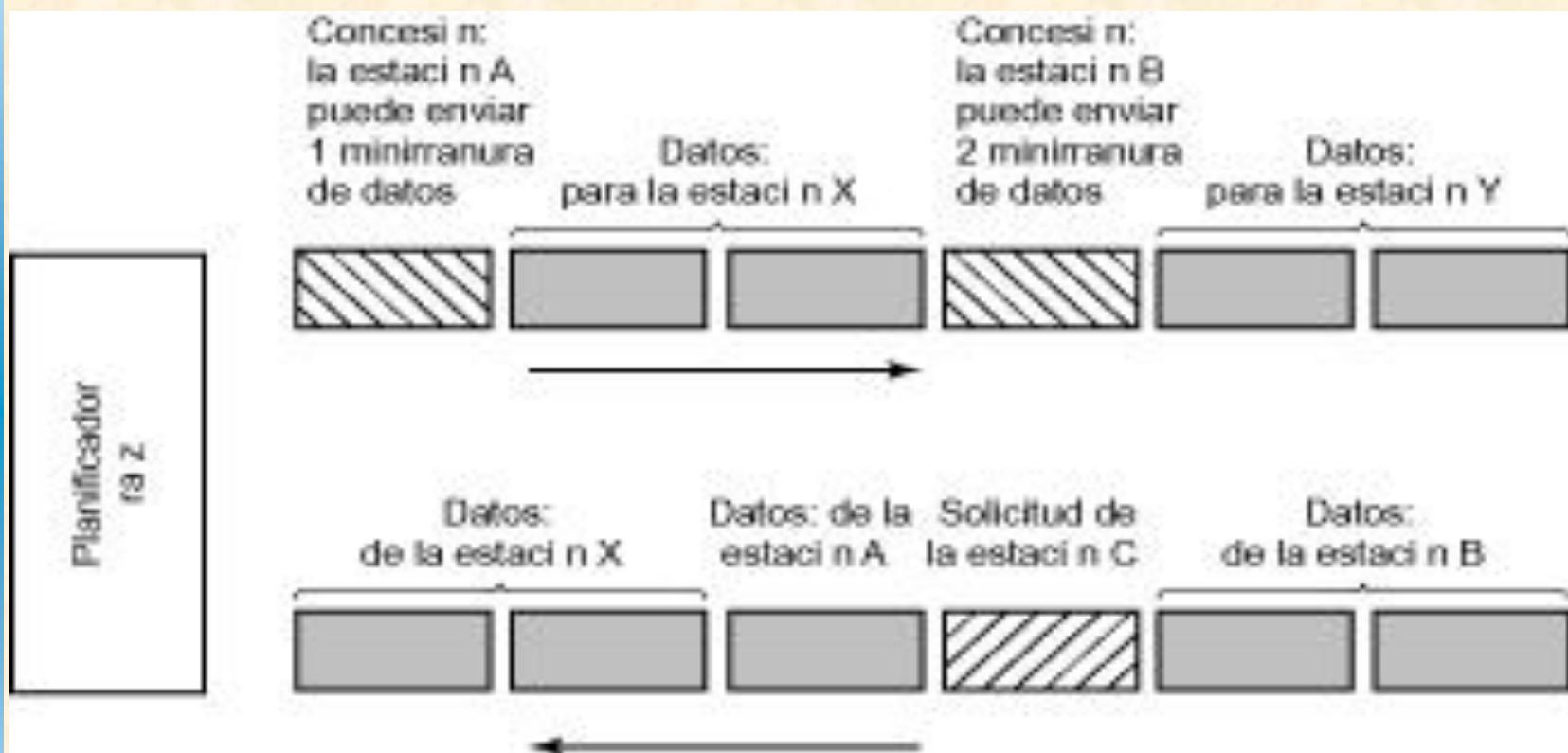
- *EL CANAL ES COMPARTIDO POR VARIOS ABONADOS:*
  - ◆ SI MÁS DE UNO ESTÁ ACTIVO, CADA ABONADO SÓLO CONSEGUIRÁ UNA FRACCIÓN DE LA CAPACIDAD DESCENDENTE.
- *UN ABONADO INDIVIDUAL PUEDE CONSEGUIR VELOCIDADES DE ACCESO COMPRENDIDAS ENTRE 500 KBPS Y 1,5 MBPS O MÁS, DEPENDIENDO DE:*
  - ◆ LA ARQUITECTURA DE RED.
  - ◆ LA CARGA DE TRÁFICO.
- *LA DIRECCIÓN DESCENDENTE SE UTILIZA TAMBIÉN PARA CONCEDER RANURAS TEMPORALES A LOS ABONADOS.*

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- CUANDO UN ABONADO TIENE DATOS QUE TRANSMITIR:
  - ◆ DEBE SOLICITAR RANURAS TEMPORALES SOBRE EL CANAL ASCENDENTE (*UPSTREAM*) COMPARTIDO.
  - ◆ A CADA ABONADO SE LE CONCEDEN RANURAS TEMPORALES DEDICADAS.
  - ◆ EL *PLANIFICADOR RAÍZ* RESPONDE A UN PAQUETE DE SOLICITUD DEVOLVIENDO UNA ASIGNACIÓN DE RANURAS TEMPORALES FUTURAS A USAR POR EL ABONADO.
  - ◆ VARIOS ABONADOS PUEDEN *COMPARTIR EL MISMO CANAL ASCENDENTE* SIN ENTRAR EN CONFLICTO.
- ALGUNOS DE LOS ESTÁNDARES SON:
  - ◆ *DOCSIS: ESPECIFICACIÓN DE INTERFAZ PARA SERVICIO DE DATOS POR CABLE.*
  - ◆ *EURO-DOCSIS: VERSIÓN EUROPEA DEL DOCSIS NORTEAMERICANO.*

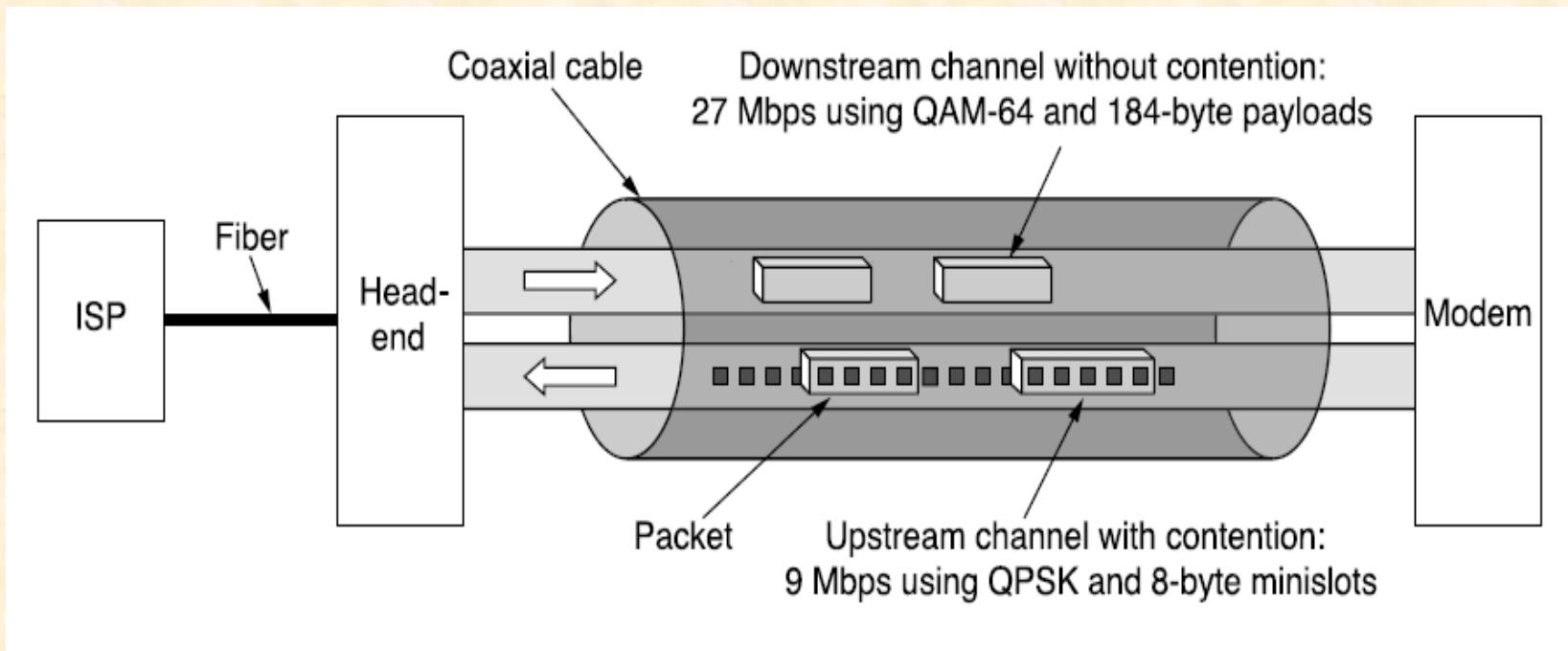
# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

## ■ *ESQUEMA DEL SISTEMA DE CABLE-MÓDEM:*



# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO ESTADÍSTICA

- *DETALLES TÍPICOS DE LOS CANALES ASCENDENTE Y DESCENDENTE EN NORTEAMÉRICA:*



# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

- EL MAYOR DESAFÍO EN LA IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE UNA *RED DIGITAL PÚBLICA DE AREA AMPLIA DE ALTA VELOCIDAD* ES EL *ENLACE ENTRE EL ABONADO Y LA RED*:
  - ◆ *LA LÍNEA DE ABONADO DIGITAL.*
  - ◆ EXISTEN *MILES DE MILLONES DE ABONADOS POTENCIALES EN TODO EL MUNDO:*
    - LA INSTALACIÓN DE UN NUEVO *CABLE* PARA C/U DE LOS USUARIOS ES *POCO ATRACTIVA*.
    - SE HAN ESTUDIADO *DISTINTAS FORMAS DE APROVECHAR EL CABLE DE PAR TRENZADO YA INSTALADO.*
    - FUERON INSTALADOS *PARA TRANSPORTAR SEÑALES DE VOZ* EN UN ANCHO DE BANDA DE CERO A 4 KHZ.
    - LOS *CABLES SON CAPACES DE TRANSMITIR SEÑALES CON UN ESPECTRO MUCHO MÁS AMPLIO* (1 MHZ O MÁS).

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

- *ADSL ES LA MÁS CONOCIDA DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS MÓDEM:*
  - ◆ PERMITE LA *TRANSMISIÓN DE DATOS DIGITALES A ALTA VELOCIDAD* A TRAVÉS DE *CABLE TELEFÓNICO CONVENCIONAL*.
- *ADSL SE ENCUENTRA DEFINIDA EN UNA NORMALIZACIÓN ANSI.*

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

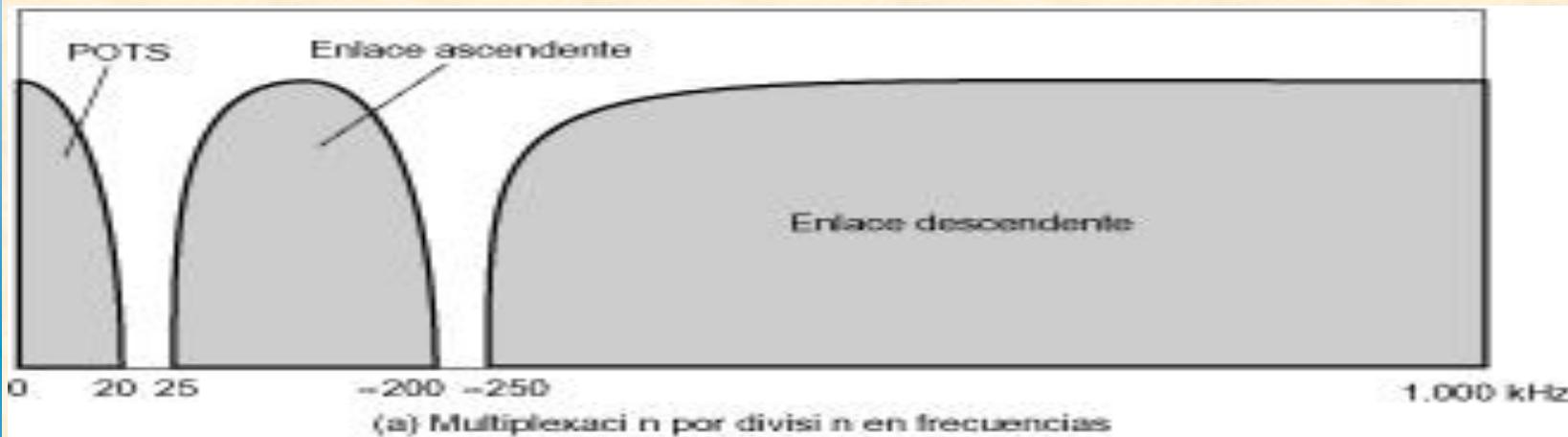
- DISEÑO ADSL
- EL TÉRMINO ASIMÉTRICO SE REFIERE A QUE ADSL PROPORCIONA:
  - ◆ MÁS CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE (DESDE LA OFICINA CENTRAL DEL PROVEEDOR HACIA EL USUARIO).
  - ◆ MENOS CAPACIDAD EN EL ASCENDENTE (DESDE EL USUARIO HACIA EL PROVEEDOR).
- ADSL SE ORIENTÓ ORIGINALMENTE HACIA LAS NECESIDADES DE RECURSOS DEL VIDEO BAJO DEMANDA Y SERVICIOS RELACIONADOS.
- LA DEMANDA DE ACCESO DE ALTA VELOCIDAD A INTERNET HA CRECIDO DESDE LA APARICIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADSL.

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

- *GENERALMENTE EL USUARIO PRECISA MAYOR CAPACIDAD EN EL ENLACE DESCENDENTE QUE EN EL ASCENDENTE:*
  - ◆ NORMALMENTE UN USUARIO TRANSMITE PULSACIONES DE TECLADO O MENSAJES CORTOS DE CORREO ELECTRÓNICO.
  - ◆ GENERALMENTE EL TRÁFICO DE ENTRADA, ESPECIALMENTE EL TRÁFICO WEB, PUEDE SIGNIFICAR GRANDES CANTIDADES DE DATOS (IMÁGENES, VIDEO, ETC).
- POR ESTAS RAZONES LA TECNOLOGÍA ADSL RESULTA MUY APROPIADA PARA LAS NECESIDADES DE TRANSMISIÓN EN INTERNET.
- ADSL UTILIZA MULTIPLEXACIÓN FDM PARA APROVECHAR LA CAPACIDAD DE 1 MHZ DEL CABLE DE PAR TRENZADO.

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

## ■ *CONFIGURACIÓN DE CANALES ADSL:*



MULTIPLEXACIÓN

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

- EXISTEN TRES ELEMENTOS EN EL *ESQUEMA ADSL*:
  - ◆ RESERVA DE LOS 25 KHZ INFERIORES PARA VOZ: *POST (PLAIN OLD TELEPHONE SERVICE)*:
    - LA VOZ SE TRANSMITE SÓLO EN LA BANDA 0-4 KHZ.
    - EL *ANCHO DE BANDA ADICIONAL* ES PARA *EVITAR LA DIAFONÍA* ENTRE LOS CANALES DE VOZ Y DE DATOS.
  - ◆ UTILIZACIÓN DE *CANCELACIÓN DE ECO* O *FDM*:
    - PARA SOPORTAR *DOS BANDAS*: UNA ASCENDENTE PEQUEÑA Y UNA DESCENDENTE GRANDE.
    - LA *CANCELACIÓN DE ECO*:
      - PERMITE LA *TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES* EN *AMBOS SENTIDOS* DE FORMA *SIMULTÁNEA* A TRAVÉS DE UNA ÚNICA LÍNEA DE TRANSMISIÓN:
      - EL *TRANSMISOR DEBE ELIMINAR* DE LA SEÑAL QUE RECIBE EL *ECO DE SU PROPIA TRANSMISIÓN* PARA RECUPERAR LA SEÑAL ENVIADA POR EL OTRO EXTREMO.

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

- ◆ USO DE *FDM* EN LAS *BANDAS ASCENDENTE Y DESCENDENTE*:
  - ☞ UNA *SECUENCIA DE BITS* DADA:
    - SE *DIVIDE* EN VARIAS *SECUENCIAS PARALELAS*.
    - CADA *SECUENCIA* SE TRANSMITE EN UNA *BANDA DE FRECUENCIAS DISTINTA*.
- SI SE USA *CANCELACIÓN DE ECO*:
  - ◆ LA *BANDA CORRESPONDIENTE AL CANAL ASCENDENTE* SE *SOLAPA* CON LA *PORCIÓN INFERIOR DEL CANAL DESCENDENTE*.
  - ◆ LAS *VENTAJAS RESPECTO DEL USO DE BANDAS DISTINTAS PARA LOS ENLACES ASCENDENTE Y DESCENDENTE* SON:
    - ☞ LA *ATENUACIÓN AUMENTA CON LA FRECUENCIA*: CON LA *CANCELACIÓN DE ECO* UNA *MAYOR PARTE DEL ANCHO DE BANDA DEL ENLACE DESCENDENTE* ESTÁ EN LA *ZONA ADECUADA DEL ESPECTRO*.
    - ☞ EL *PROCEDIMIENTO DE CANCELACIÓN DE ECO* ES *MÁS FLEXIBLE* PARA *MODIFICAR LA CAPACIDAD DE LA TRANSMISIÓN ASCENDENTE*: SE *AUMENTA EL ÁREA DE SOLAPAMIENTO*.

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

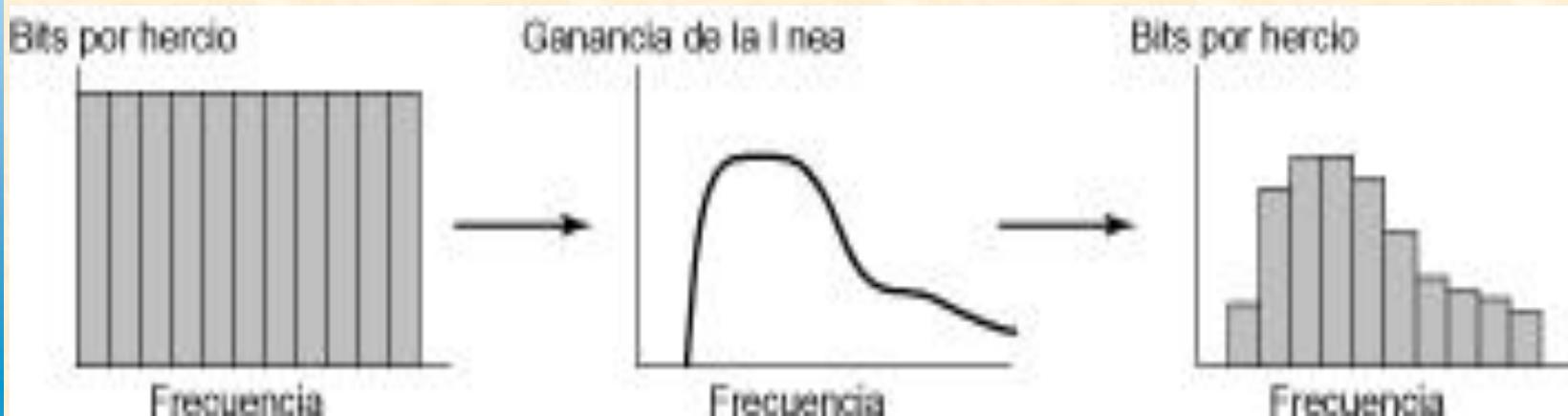
- ◆ LA DESVENTAJA ES LA NECESIDAD DE *LÓGICA DE CANCELACIÓN DE ECO* EN AMBOS EXTREMOS DE LA LÍNEA.
- ADSL PERMITE DISTANCIAS DE HASTA 5,5 KM EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO Y DE LA CALIDAD DEL CABLE.

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

- **MULTITONO DISCRETO**
- EL *MULTITONO DISCRETO (DMT: “DISCRETE MULTITONE”)* CONSISTE EN USAR VARIAS SEÑALES PORTADORAS A DIFERENTES FRECUENCIAS:
  - ◆ SE ENVÍAN ALGUNOS DE LOS BITS EN CADA CANAL.
- EL *ANCHO DE BANDA DISPONIBLE (ASCENDENTE O DESCENDENTE)* SE DIVIDE EN VARIOS SUBCANALES DE 4 KHZ.
- AL *INICIALIZAR* EL *MÓDEM DMT* ENVÍA SEÑALES DE *TEST* SOBRE LOS SUBCANALES PARA DETERMINAR SU *RELACIÓN SEÑAL-RUIDO*:
  - ◆ EL MÓDEM ASIGNA MÁS BITS DE DATOS A LOS CANALES CON MEJOR CALIDAD DE TRANSMISIÓN DE SEÑAL Y UN NÚMERO MENOR A LOS CANALES DE CALIDAD INFERIOR.

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

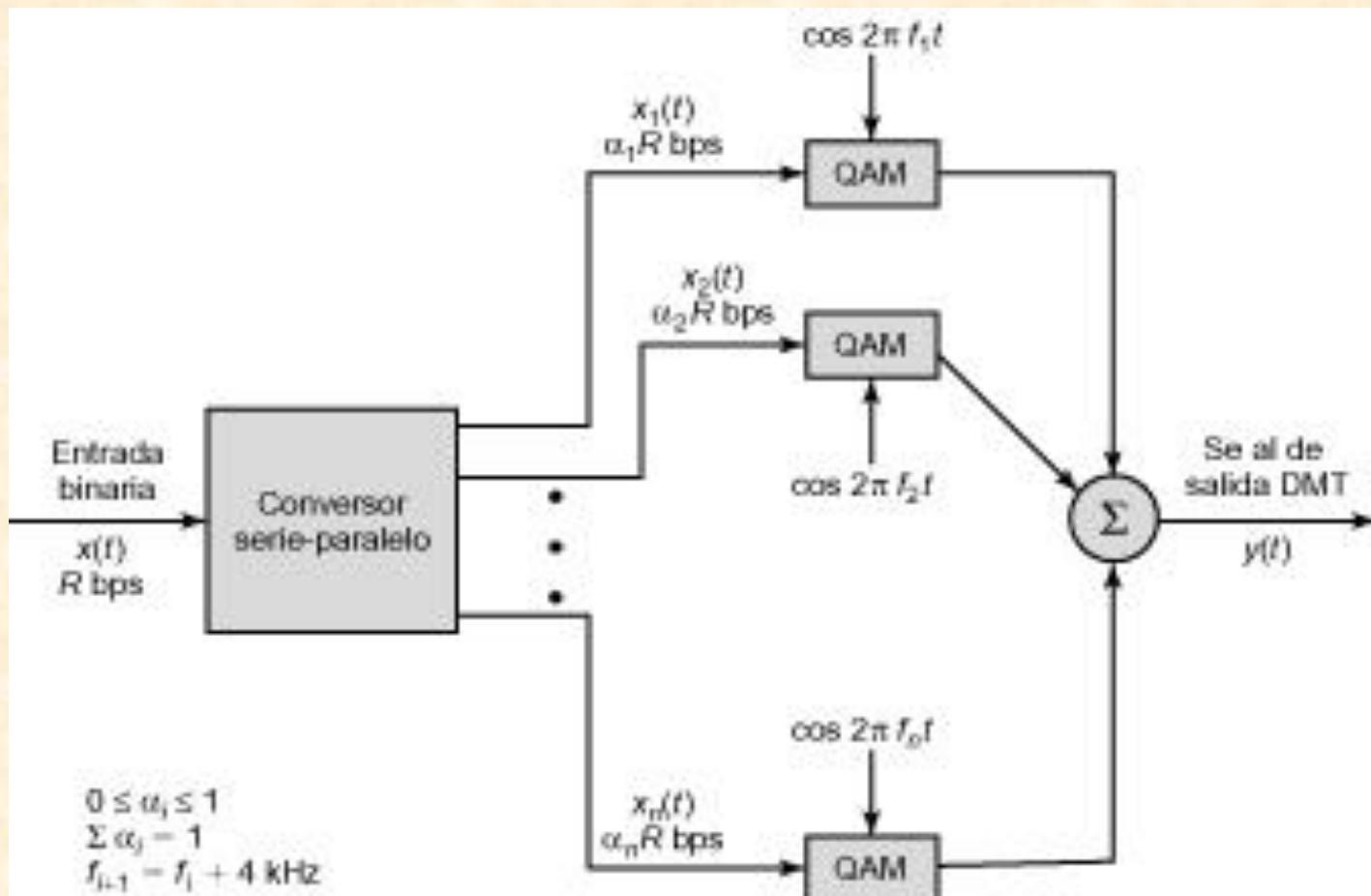
- *RESERVA DE BITS POR CANAL EN DMT:*



- CADA SUBCANAL PUEDE TRANSPORTAR DATOS A UNA VELOCIDAD ENTRE 0 Y 60 KBPS.
- TÍPICAMENTE EXISTE UN *AUMENTO DE LA ATENUACIÓN* Y POR ELLO UN *DECREMENTO EN LA RELACIÓN SEÑAL-RUIDO* A ALTAS FRECUENCIAS:
  - ◆ LOS SUBCANALES DE FRECUENCIA SUPERIOR TRANSPORTAN MENOS DATOS.

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

- DIAGRAMA GENERAL DE UN TRANSMISOR DMT:



# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

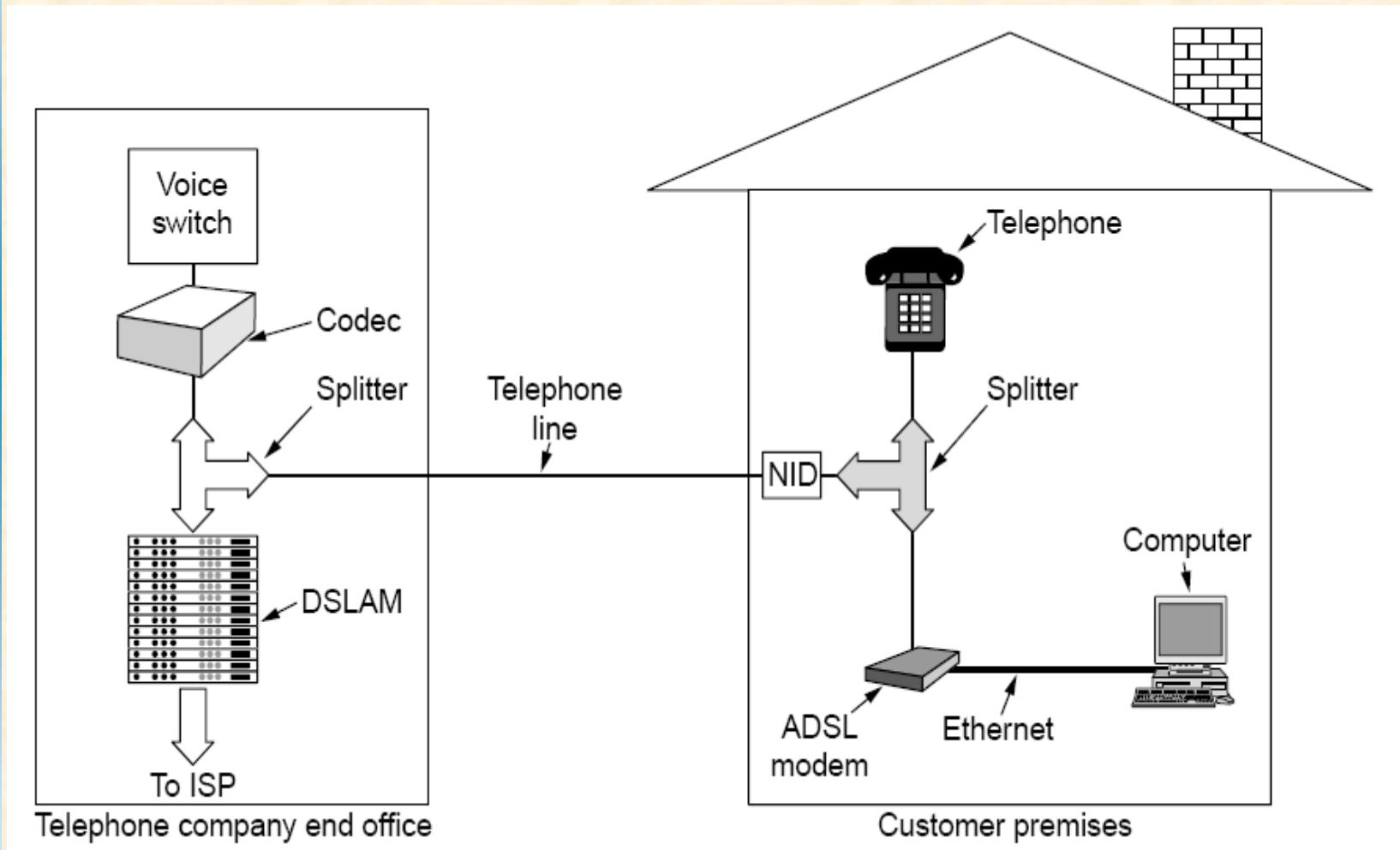
- LUEGO DE LA INICIALIZACIÓN LA SECUENCIA DE BITS A TRANSMITIR SE DIVIDE EN VARIAS SUBSECUENCIAS:
  - ◆ UNA PARA CADA SUBCANAL QUE TRANSPORTARÁ DATOS.
  - ◆ LA SUMA DE LAS VELOCIDADES DE LAS SUBSECUENCIAS ES IGUAL A LA VELOCIDAD TOTAL.
- C/ SUBSECUENCIA SE CONVIERTER EN UNA SEÑAL ANALÓGICA MEDIANTE MODULACIÓN EN AMPLITUD EN CUADRATURA (QAM).
- ESTE ESQUEMA FUNCIONA PORQUE QAM PUEDE ASIGNAR A C/U DE LOS ELEMENTOS DE SEÑAL TRANSMITIDOS UN NÚMERO DIFERENTE DE BITS.
- CADA SEÑAL QAM OCUPA UNA BANDA DE FRECUENCIA DIFERENTE:
  - ◆ SE LAS PUEDE COMBINAR SUMÁNDOLAS PARA GENERAL LA SEÑAL COMPUESTA A TRANSMITIR.

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

- LOS DISEÑOS *ADSL/DMT* ACTUALES UTILIZAN 256 *SUBCANALES DESCENDENTES*:
  - ◆ *TEÓRICAMENTE*: SI C/ *SUBCANAL* DE 4 KHZ TRANSPORTA 60 KBPS, SERÍA POSIBLE TRANSMITIR A 15,36 MBPS.
  - ◆ *PRÁCTICAMENTE*: GENERALMENTE SE OPERA EN EL RANGO 1,5-9 MBPS DEPENDIENDO DE LA DISTANCIA Y DE LA CALIDAD DE LA LÍNEA.

# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

- *CONFIGURACIÓN TÍPICA DE UN EQUIPO ADSL:*



# LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA

- ◆ *NID*: DISPOSITIVO DE INTERFAZ DE RED.
- ◆ *DSLAM*: MULTIPLEXOR DE ACCESO DE LÍNEA DIGITAL DE SUSCRIPTOR.

# XDSL

# XDSL

- *ADSL ES UNO DE LOS ESQUEMAS QUE BRINDAN UNA TRANSIMISIÓN DIGITAL A ALTA VELOCIDAD SOBRE EL BUCLE DE ABONADO.*
- *A ESTOS ESQUEMAS SE LOS DENOMINA GENÉRICAMENTE XDSL.*

# XDSL

## ■ COMPARACIÓN DE LAS TÉCNICAS XDSL:

Tabla 8.8. Comparación de las técnicas xDSL.

	ADSL	HDSL	SDSL	VDSL
<b>Bits/segundo</b>	de 1,5 a 9 Mbps en descendente de 16 a 640 kbps en ascendente	1,544 o 2,048 Mbps	1,544 o 2,048 Mbps	de 13 a 52 Mbps en descendente de 1,5 a 2,3 Mbps en ascendente
<b>Modo</b>	Asimétrico	Simétrico	Simétrico	Asimétrico
<b>Pares de cobre</b>	1	2	1	1
<b>Distancia (UTP de calibre 24)</b>	de 3,7 a 5,5 km	3,7 km	3,0 km	1,4 km
<b>Señalización</b>	Analógica	Digital	Digital	Analógica
<b>Código de linea</b>	CAP/DMT	2B1Q	2B1Q	DMT
<b>Frecuencia</b>	de 1 a 5 MHz	196 kHz	196 kHz	10 MHz
<b>Bits/ciclo</b>	Variable	4	4	Variable

UTP = par trenzado sin aislamiento.

# XDSL

- **LÍNEA DE ABONADO DIGITAL DE ALTA VELOCIDAD (HDSL)**
- *HDSL FUE DESARROLLADO A FINALES DE LOS ‘80 POR BELLCORE PARA OFRECER UNA FORMA MÁS ECONÓMICA PARA EL ENVÍO DE DATOS A LA VELOCIDAD DE T1 (1,544 MBPS).*
- **LA LÍNEA ESTÁNDAR T1:**
  - ◆ *USA CODIFICACIÓN AMI.*
  - ◆ *OCUPA UN ANCHO DE BANDA DE ALREDEDOR DE 1,5 MHZ.*
  - ◆ *DEBIDO A LAS ALTAS FRECUENCIAS, LA ATENUACIÓN LIMITA SU USO A DISTANCIAS DE APROXIMADAMENTE 1 KM ENTRE REPETIDORES:*
    - *PARA MUCHOS BUCLES DE ABONADO SE PRECISAN UNO O MÁS REPETIDORES.*
    - *SE ENCARECE LA INSTALACIÓN Y EL MANTENIMIENTO.*

# XDSL

- EN *HDSL*:
  - ◆ SE USA CODIFICACIÓN *2B1Q*.
  - ◆ SE LOGRA UNA *VELOCIDAD DE DATOS DE HASTA 2 MBPS* A TRAVÉS DE *DOS LÍNEAS DE PAR TRENZADO*.
  - ◆ EL *ANCHO DE BANDA* SE EXTIENDE HASTA APROXIMADAMENTE 196 KHZ.
  - ◆ LAS DISTANCIAS SON EN TORNO A 3,7 KM.
- **LÍNEA DE ABONADO DIGITAL DE UNA SOLA LÍNEA (SDSL)**
- *SDSL* SE DESARROLLÓ PARA PROPORCIONAR A TRAVÉS DE *UNA ÚNICA LÍNEA DE PAR TRENZADO* EL MISMO TIPO DE SERVICIO QUE *HDSL* PROPORCIONA CON DOS.
- SE USA LA TÉCNICA DE *CODIFICACIÓN 2B1Q*.
- SE EMPLEA *CANCELACIÓN DE ECO* PARA CONSEGUIR TRANSMISIÓN *FULL-DUPLEX* A TRAVÉS DE UN *ÚNICO PAR*.

# XDSL

- LÍNEA DE ABONADO DIGITAL DE MUY ALTA VELOCIDAD (VDSL)
- EL OBJETIVO DE VDSL ES:
  - ◆ PROVEER UN *ESQUEMA SIMILAR A ADSL A UNA VELOCIDAD MUY SUPERIOR.*
  - ◆ *DISMINUIR LA DISTANCIA PERMITIDA.*
- LA TÉCNICA DE SEÑALIZACIÓN SERÍA *DMT/QAM.*
- *NO SE UTILIZA CANCELACIÓN DE ECO.*
- PROPORCIONA *BANDAS SEPARADAS* PARA LOS DIFERENTES SERVICIOS:
  - ◆ UN *ESQUEMA POSIBLE SERÍA:*
    - ☞ *POTS: 0-4 KHZ.*
    - ☞ *RDSI: 4-80 KHZ.*
    - ☞ *ENLACE ASCENDENTE: 300-700 KHZ.*
    - ☞ *ENLACE DESCENDENTE:  $\geq 1$  MHZ.*