

# Els contextos del nivell d'enllaç i la capa física

Miquel Font Rosselló  
Eduard Lara Ochoa  
René Serral i Gracià  
Xavier Vilajosana Guillén

PID\_00171178



Universitat Oberta  
de Catalunya

[www.uoc.edu](http://www.uoc.edu)



# Índex

<b>Introducció</b> .....	5
<b>1. El nivell d'enllaç en les comunicacions locals entre computadors</b> .....	7
1.1. Classificació històrica dels protocols de nivell d'enllaç .....	7
1.1.1. Sincronisme orientat a bit, caràcter o bloc .....	7
1.1.2. Transmissió síncrona/asíncrona .....	7
1.2. RS-232 .....	9
1.3. Protocol BSC d'IBM .....	11
<b>2. El nivell d'enllaç en les xarxes d'accés a WAN</b> .....	13
2.1. Tecnologies d'accés a WAN enfront de xarxes de transport WAN .....	14
2.2. Classificació dels serveis de comunicacions segons el tipus de connexió .....	16
2.3. Protocols de nivell d'enllaç associats a tecnologies WAN .....	16
2.3.1. HDLC .....	17
2.3.2. PPP .....	22
2.4. Tecnologies d'accés a xarxes WAN .....	32
2.4.1. Xarxa telefònica commutada/bàsica (XTC/XTB) .....	32
2.4.2. Xarxa digital de serveis integrats .....	33
2.4.3. ADSL i ADSL 2 .....	35
2.4.4. HFC i mòdem de cable .....	36
2.4.5. Línies dedicades llogades .....	37
<b>3. El nivell d'enllaç en les xarxes de transport WAN</b> .....	40
3.1. X.25 .....	40
3.2. Retransmissió de trama .....	42
3.2.1. Arquitectura de la retransmissió de trama .....	44
3.2.2. Estàndards associats .....	45
3.2.3. Format de trama .....	45
3.2.4. Com treballa la retransmissió de trama .....	46
3.2.5. Control de congestió .....	47
3.2.6. QoS .....	49
3.3. XDSI de banda ampla i ATM .....	51
3.3.1. Orígens de la XDSI de banda ampla .....	51
3.3.2. ATM .....	52
3.3.3. Format de les cel·les ATM .....	54
3.3.4. Connexions virtuals ATM .....	56
3.3.5. Funcionament d'ATM .....	57
3.3.6. Model de la torre ATM .....	57

3.3.7.	Nivells de la torre ATM .....	58
3.3.8.	Subcapa PMD .....	59
3.3.9.	Subcapa de convergència de transmissió (TC) .....	59
3.3.10.	Capa ATM .....	60
3.3.11.	Capa AAL .....	60
3.3.12.	IP sobre ATM .....	61
3.3.13.	Trama AAL5 .....	62
3.3.14.	Present i futur d'ATM .....	63
3.4.	MPLS .....	63
<b>4.</b>	<b>La capa física</b> .....	<b>65</b>
4.1.	Bases teòriques per a la comunicació de dades .....	65
4.1.1.	Anàlisi de Fourier .....	65
4.1.2.	Senyals d'amplada de banda limitada .....	66
4.1.3.	La màxima velocitat de transmissió d'un canal .....	68
4.1.4.	Tipus de codificacions digitals .....	70
4.1.5.	Tipus de modulacions en canals passa-banda .....	73
4.1.6.	Atenuació i distorsió d'un canal. Soroll .....	76
4.2.	Medis de transmissió .....	79
4.2.1.	Parell trenat .....	79
4.2.2.	Cable coaxial de banda base .....	81
4.2.3.	Cable coaxial de banda ampla .....	82
4.2.4.	Fibra òptica .....	83
4.2.5.	Transmissió sense fils .....	87
<b>Resum</b> .....		<b>91</b>
<b>Bibliografia</b> .....		<b>93</b>

## Introducció

Després d'haver analitzat, al llarg dels diferents mòduls de l'assignatura, els nivells més importants de l'arquitectura OSI seguint un enfocament descendent, en anglès, *top-down* (transport, xarxa i enllaç), en aquest cinquè i últim mòdul tractarem els aspectes relacionats amb el nivell més baix de la torre OSI: el nivell físic.

A causa de l'extensió del capítol del nivell d'enllaç, en aquest mòdul també s'ha inclòs una part relacionada amb els diferents contextos en què podem trobar implicat el nivell d'enllaç. En el mòdul anterior només s'havia tractat l'àmbit del nivell d'enllaç en les xarxes d'àrea local.

Per tant, l'estructuració d'aquest mòdul s'ha fet de la manera següent:

**a)** En una primera part veurem els tres contextos restants en què intervé el nivell d'enllaç:

1) Context local entre un ordinador i un perifèric. Aquí repassarem la classificació clàssica dels protocols d'enllaç: orientats a bit enfront orientats a caràcter, i síncrons enfront asíncrons. Estudiarem dos protocols molt representatius d'aquest context: RS-232 i BSC.

2) Context d'accés a xarxes WAN. Aquí tractarem els dos protocols de nivell d'enllaç més implementats en les tecnologies d'accés a xarxes d'àrea estesa o WAN, PPP i HDLC. També veurem les principals tecnologies utilitzades per a connectar-nos a una WAN, com per exemple Internet: XTC, ADSL, XDSI, HFC, etc.

3) Context de xarxes de transport WAN. Aquí estudiarem les principals tecnologies utilitzades en la part troncal de les xarxes WAN, com la retransmissió de trama, ATM i MPLS.

**b)** En una segona part d'aquest mòdul tractarem diferents aspectes de l'última capa del model OSI, la capa de nivell 1 o física.

Estudiarem tant els aspectes teòrics com els aspectes físics del medis de transmissió de la informació. Per això estudiarem les bases matemàtiques teòriques de les sèries de Fourier per a la interpretació en el domini freqüencial dels diferents senyals que es transmeten pels medis de transmissió reals, com poden ser els cables de coure, la fibra òptica o les radiacions electromagnètiques per ones de ràdio.

Donat un medi de transmissió concret, estudiarem els teoremes que ens permetran calcular la velocitat de transmissió màxima sobre aquest medi, i també els mecanismes per a adaptar les sortides digitals d'un ordinador a les característiques del medi de transmissió concret, per mitjà de les anomenades *modulacions i codificacions digitals*.

També s'exposaran els diferents problemes que pot sofrir una transmissió d'informació sobre un canal físic de comunicacions: la distorsió, l'atenuació i el soroll.

Finalment, l'apartat acaba amb una descripció de les característiques i els inconvenients dels medis de transmissió més utilitzats actualment, com són els parells trenats, els cables coaxials, les fibres òptiques i les ones de radiofreqüència utilitzades en les xarxes sense fils (com per exemple Wi-Fi).

## 1. El nivell d'enllaç en les comunicacions locals entre computadors

### 1.1. Classificació històrica dels protocols de nivell d'enllaç

Històricament els protocols de nivell d'enllaç s'han classificat segons dos criteris, diferents però tots dos relacionats amb el sincronisme:

- 1) Segons la forma de sincronització: síncrons i asíncrons.
- 2) Segons la mínima unitat d'informació tractada: orientació a bit, caràcter o missatge.

#### 1.1.1. Sincronisme orientat a bit, caràcter o bloc

En transmissió digital, qualsevol que sigui la manera de transmetre les dades, és necessari que tant l'emissor com el receptor estiguin sincronitzats, és a dir, que disposin d'una base de temps comuna a tots dos, a fi que el receptor sàpiga en quin instant ha de comprovar la línia per tal de recuperar correctament el senyal que rep. Aquesta sincronització entre transmissor i receptor es pot fer en almenys tres nivells:

- 1) Sincronisme orientat a bit: aquest sincronisme ajuda a determinar l'instant en què s'ha de començar a comptar un bit i quina és la seva durada.
- 2) Sincronisme orientat a caràcter: mitjançant aquest sincronisme el receptor coneix quin és el primer de cada un dels bits de cada caràcter i, per tant, quins  $n$  bits formen cada un dels caràcters que va rebent.
- 3) Sincronisme de missatge o de bloc: serveix per a definir el conjunt de caràcters que constituïran la unitat base per al tractament d'errors, entre altres serveis, i que forma part del protocol de comunicacions.

#### 1.1.2. Transmissió síncrona/asíncrona

1) **En la transmissió síncrona** tots els símbols (dígit binari) es transmeten consecutivament i tenen la mateixa durada. Les dades flueixen de l'emissor al receptor amb una cadència fixa i constant, marcada per una base de temps comuna per a tots els elements que intervenen en la transmissió. Per la línia de transmissió no flueixen únicament les dades, sinó que també ho fa el senyal de rellotge emès generalment per l'ETCD emissor i generat a partir del tren de dades mateix.

- En el sincronisme de bit, l'equip receptor s'encarrega de reconstruir el senyal de rellotge d'origen a partir del senyal rebut en línia, i l'utilitza per a obtenir les dades i mostrejar-les en l'instant correcte. El sincronisme de bit és permanent una vegada que s'estableix la comunicació.
- En el sincronisme de caràcter, la sincronització es fa mitjançant la tramesa de combinacions especials de bits (per exemple, caràcters "SYN") irrepetibles per desplaçament. Una vegada rebudes aquestes combinacions el receptor dedueix quina seqüència de  $n$  bits consecutius formen cada un dels caràcters que va rebent.

Aquí podem destacar els protocols BSC<sup>1</sup> d'IBM, el DDCMP de Digital o l'ANSI X3.28.

<sup>(1)</sup>BSC és la sigla de *binary synchronous communication*.

2) **En la transmissió asíncrona** es transmet cada caràcter quan el subministra l'emissor, independentment del temps transcorregut entre caràcters. Cada caràcter, format per  $n$  bits, sempre va precedit d'un bit d'arrancada, seguit d'almenys un 1 de parada. El sistema requereix l'existència a l'interior de l'emissor i del receptor de rellotges que marquin una base de temps teòricament igual:

- El sincronisme de bit s'aconsegueix arrencant el rellotge del receptor en el flanc de canvi del bit *start* i és molt fàcil de mantenir, atesa la petita mida d'un caràcter. A més, emissor i receptor s'han de posar d'acord en la velocitat de transmissió per a determinar la durada d'un bit.
- El sincronisme de caràcter es determina gràcies al fet que el receptor sap que el bit següent al de *start* és el primer que compon la paraula. També, emissor i receptor han d'acordar el nombre de bits de dades, de paritat i de parada, amb la finalitat de conèixer la mida en bits del caràcter.

El protocol asíncron orientat a caràcter per antonomàsia és l'RS-232 (port sèrie).

En la taula següent podem veure els avantatges i desavantatges de la transmissió síncrona i asíncrona.

Transmissió asíncrona	Transmissió síncrona
Senzilla Adequada per a baixes velocitats (< 19.200 bps) Utilitza terminals més barats Baixa eficiència de la utilització de la línia	Utilització millor de la línia Permet velocitats de transmissió molt superiors Necessita terminals més complexos Les petites derives que hi pugui haver entre els rellotges emissors i receptors són més crítiques

En funció d'aquests dos criteris de sincronització podem classificar una bona part dels protocols d'enllaç actuals, els quals tractarem més endavant:



	<b>Síncron</b>	<b>Asíncron</b>
Protocol orientat a bit	HDLC, PPP, ATM, Ethernet, retransmissió de trama	PPP, ATM
Protocol orientat a caràcter	BSC	RS-232

Avui dia aquesta classificació ha perdut força, a causa de l'ambigüitat existent. Per exemple, alguns autors tracten PPP com un protocol orientat a caràcter només pel fet que la longitud de la trama és un nombre enter d'octets<sup>2</sup>. Però també és cert que cada octet no forma part de cap codi de paraules clau (aquest criteri també seria aplicable a HDLC i Ethernet). O, per exemple, també podem considerar RS<sup>3</sup>-232 com un protocol asíncron per a caràcter i síncron per a bit. De fet, per a tenir sincronització a escala de caràcter, primer n'hi ha d'haver a escala de bit.

<sup>(2)</sup>En anglès, *bytes*.

<sup>(3)</sup>RS és la sigla de *recommended standard*.

Avui dia, la majoria de protocols de nivell d'enllaç (PPP, HDLC, retransmissió de trama, Ethernet, ATM<sup>4</sup>) són considerats síncrons i orientats a bit, encara que en alguns casos el protocol agrupi de manera lògica els bits en octets.

<sup>(4)</sup>ATM és la sigla d'*asynchronous transfer mode*.

## 1.2. RS-232

RS-232 és la interfície del port sèrie dels ordinadors. Ha estat un dels protocols més utilitzats normalment per a fer transmissions de dades entre ordenadors i dispositius d'entrada i sortida, com ara impressores, ratolins, teclats, etc. Actualment està en desús a favor d'altres ports sèrie com l'USB.

L'RS-232 consisteix en un connector de tipus DB-25 de 25 pins, encara que és normal trobar la versió de 9 pins DB-9, més barata i fins i tot més estesa per a cert tipus de perifèrics (com el ratolí sèrie del PC). En qualsevol cas, els PC no solen emprar més de 9 pins en el connector DB-25.

Els senyals amb què treballa aquest port sèrie són digitals, de +12 V (0 lògic) i -12 V (1 lògic), per a l'entrada i sortida de dades, i a la inversa en els senyals de control. L'estat de repòs en l'entrada i sortida de dades és -12 V. Depenent de la velocitat de transmissió emprada, és possible tenir cables de fins a 15 m.

Cada pin pot ser d'entrada o de sortida, i cada un té una funció específica. Les més importants són:

<b>Piu DB9</b>	<b>Piu DB25</b>	<b>Nom</b>	<b>Descripció</b>	<b>Sentit</b>
1	8	CD	Detecció de portadora	Entrada

Piu DB9	Piu DB25	Nom	Descripció	Sentit
2	3	RXD	Recepció de dades	Entrada
3	2	TXD	Transmissió de dades	Sortida
4	20	DTR	Terminal de dades preparat	Sortida
5	7	GND	Massa del sistema	-
6	6	DSR	Posada de dades preparada	Entrada
7	4	RTS	Sol·licitud d'enviament	Sortida
8	5	CTS	Esborrament per a enviar	Entrada
9	22	RI	Indicador de trucada	-

Figura 1. Connexions *null-modem* entre dues interfícies RS-232

Nul de 25 a 25 pius

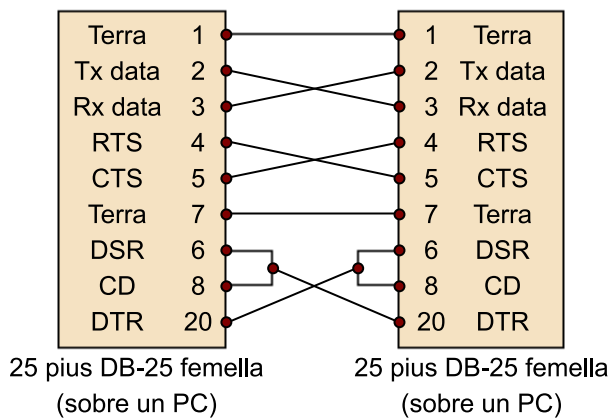


Figura 2. Connector RS-232 (DE-9 femella)

RS-232 implementa un protocol asíncron orientat a caràcter a través dels pins TX i RX. Els 8 bits de la codificació d'un caràcter van precedits d'1 bit que indica l'inici del caràcter, el bit de *START*, i és seguit d'un senyal d'una durada d'1, 1,5 o 2 bits, que formen el que es denomina *bits de STOP*.

Figura 3



En la figura 3 es mostra un exemple de transmissió asíncrona en la qual el bit de *start* és un "0" i el senyal de *stop* (de durada 1,5 vegades el temps d'un bit) és "1". Els bits que contenen la informació per transmetre es troben al mig de tots dos senyals. El conjunt format per un bit de *START*, els 8 bits que formen el caràcter d'informació i els bits de *STOP* formen un caràcter que pot intervenir entre dos caràcters consecutius, amb qualsevol separació.

En el receptor s'aconsegueix la mateixa base de temps que en l'emissor, i el seu rellotge s'arrenca en l'instant en què comença el bit de *START*, senyal perfectament identificable. El receptor sap que el primer bit significatiu és el que ve a continuació del senyal de *START*. Per tant, aquest ajustament de rellotge es repeteix en cada caràcter.

### 1.3. Protocol BSC d'IBM

El protocol BSC és un protocol orientat a caràcter, desenvolupat per IBM el 1962. És utilitzat per a connectar i transferir un gran volum de dades entre ordinadors mitjançant un o diversos enllaços dedicats síncrons. Utilitza codis ASCII o EBCDIC.

Algunes de les seves característiques principals són:

- Admet configuracions punt a punt i multipunt.
- Gestió de l'enllaç per contenció (en punt a punt) i per sondeig (en multipunt).
- Control de flux per parada i espera.
- Control d'errors per CRC (en punt a punt), o per paritat VRC en cada caràcter i al final de la trama LRC (en multipunt).
- Delimitació de trama per procediment de principi i final.

La trama consta d'un nombre enter de caràcters pertanyents a l'alfabet d'un codi determinat. Per a efectuar el control d'enllaç s'utilitzen alguns dels caràcters de control següents:

Per a delimitar la trama:

- SYN (*Synchronous*): sincronització. Dos o més se n'utilitzen com a sincronització de començament de bloc; és la seqüència 0010110.
- SOH (*Start of Header*): començament de seqüència capçalera de missatge.
- STX (*Start of text*): començament d'informació
- ETX (*End of text*): final d'informació
- ETB (*End of transmission block*): final de bloc

Per al control de línia:

- ENQ (*Enquiry*): sol·licitud de resposta
- EOT (*End of transmission*): per a marcar el final d'una comunicació
- RVI (*Reverse interrupt*): interrupció inversa

Per al control de flux:

- ACK<sup>5</sup>: reconeixement o justificant de recepció positiu.
- ACK0: confirmació parella
- ACK1: confirmació senar
- NAK<sup>6</sup>: reconeixement o justificant de recepció negatiu.
- WACK<sup>7</sup>: indisponibilitat.

<sup>(5)</sup>ACK és la forma abreujada d'*acknowledgement*.

<sup>(6)</sup>NAK és la forma abreujada de *negative acknowledgement*.

<sup>(7)</sup>WACK és la forma abreujada de *wait acknowledgement*.

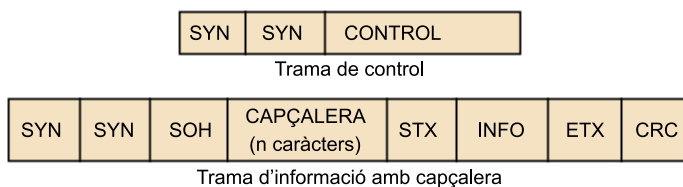
Per al control de transparència:

- DLE<sup>8</sup>: caràcter utilitzat per a canviar el significat dels caràcters de control que el segueixen.

<sup>(8)</sup>DLE és la sigla de *data link escape*.

El format de trama és variable. Hi ha trames de control i d'informació:

Figura 4



CRC és el camp de control d'errors, amb caràcters de redundància.

El principal inconvenient del protocol BSC és la seva poca eficiència, ja que està basat en un algorisme Stop & Wait. La transferència és bidireccional, però a causa de l'Stop & Wait no és simultània. A més, BSC mostra poca fiabilitat, ja que les trames de control estan poc protegides, no com les trames d'informació.

## 2. El nivell d'enllaç en les xarxes d'accés a WAN

La classificació de les xarxes de computadors en xarxes d'àrea local (LAN<sup>9</sup>) i xarxes d'àrea estesa (WAN), és una de les primeres que es fa normalment.

<sup>(9)</sup> LAN és la sigla de *local area networks*.

Bàsicament les LAN són xarxes privades que interconnecten recursos de xarxa que estan geogràficament propers, limitats a un espai físic petit (com per exemple el d'una oficina o d'un edifici). Utilitza diferents topologies d'interconnexió, com bus, anell i estrella. Les tecnologies predominants són Ethernet IEEE 802.3 i Wi-Fi IEEE 802.11.

### Vegeu també

Vegeu les principals característiques de les xarxes d'àrea local (LAN) en el mòdul "Nivell d'enllaç i xarxes d'àrea local".

Les xarxes d'àrea estesa permeten la interconnexió de xarxes LAN separades per llargues distàncies, ja sigui dintre de la mateixa ciutat, país, o continent. Una xarxa d'àrea local es pot connectar a una xarxa d'àrea metropolitana MAN o a una xarxa de gran abast WAN fent servir connexions remotes o cables troncal de fibra òptica, pertanyents a empreses de titularitat pública, a causa de l'alt cost de les infraestructures, com operadors de telecomunicacions, empreses de telefonia, o proveïdors d'Internet (ISP<sup>10</sup>).

<sup>(10)</sup> ISP és la sigla d'*internet service provider*.

Les connexions remotes permeten connectar dues o més LAN situades en diferents parts del món. Hem de diferenciar tres casos típics de connexions a xarxes MAN<sup>11</sup> o WAN:

<sup>(11)</sup> MAN és la sigla de *metropolitan area networks*.

- 1) Interconnexió remota de xarxes internes (intranets).
- 2) Accés des de la xarxa local a una xarxa MAN o WAN com Internet.
- 3) Obertura d'una xarxa local per l'accés des d'una xarxa MAN o WAN, com per exemple Internet (extranets).

Les dificultats inicials que han tingut les xarxes d'àrea local per a connectar-se a les xarxes MAN o WAN han estat:

- Elevat preu del transport de dades sobre connexions dedicades.
- Diferència de protocols entre les xarxes LAN i WAN. Les xarxes d'àrea local utilitzaven TCP/IP, mentre que les WAN no, per la qual cosa les dades de les LAN s'havien de transformar segons el format de les línies WAN per a poder-se transportar.
- Alentiment de la velocitat d'una LAN en connectar-se a una WAN, xarxes tradicionalment de velocitat menor. Les xarxes WAN estan suportades per

medis públics de comunicacions amb una relació velocitat/cost molt inferior a la dels privats.

Actualment aquestes limitacions ja s'han superat. D'una banda, els protocols TCP/IP han homogeneïtzat pràcticament totes les xarxes existents i ja no es fa necessària la conversió de formats de transport entre xarxes. Quan parlem d'accés a xarxes WAN parlem de sistemes de transport que admeten trànsit TCP/IP, o directament parlem d'Internet.

I d'una altra banda, a mesura que s'ha incrementat la demanda d'enllaços per a accés a xarxes MAN i WAN, les companyies telefòniques i altres empreses de comunicacions (que són les que finalment transporten les dades d'un punt a l'altre del món), han anat desenvolupant i oferint tecnologies més ràpides per a enllaçar sistemes de computadors de manera remota, a preus més assequibles.

## 2.1. Tecnologies d'accés a WAN enfront de xarxes de transport WAN

Hem de saber diferenciar entre els sistemes emprats per a l'accés a xarxes WAN dels sistemes de transport mateixos d'una xarxa WAN. Els sistemes d'accés a xarxes WAN, tal com diu la seva definició, permeten a una LAN accedir al núvol d'interconnexions d'un operador de telecomunicacions. En canvi, les xarxes de transport WAN són les tecnologies que utilitza cada operador a l'interior de les seves xarxes. En la figura 5 en podem observar les diferències.

### Internet i les WAN

Hi ha qui considera Internet com una xarxa de gran abast WAN assimilable a qualsevol xarxa com la retransmissió de trama o Ethernet. Fixem-nos, però, que Internet és el protocol IP i superiors, i que IP vol dir encaminadors i terminals. Cal interconnectar els encaminadors entre si, i això es fa amb línies punt a punt o amb enllaços de retransmissió de trama, i cal connectar els ordinadors terminals als encaminadors, i això es fa mitjançant mòdems i línies telefòniques o ADSL. O sigui, que cal infraestructura de WAN per a construir la xarxa Internet, i per tant no es pot separar de la resta.

Figura 5. Model d'interconnexió d'una xarxa local a una xarxa WAN

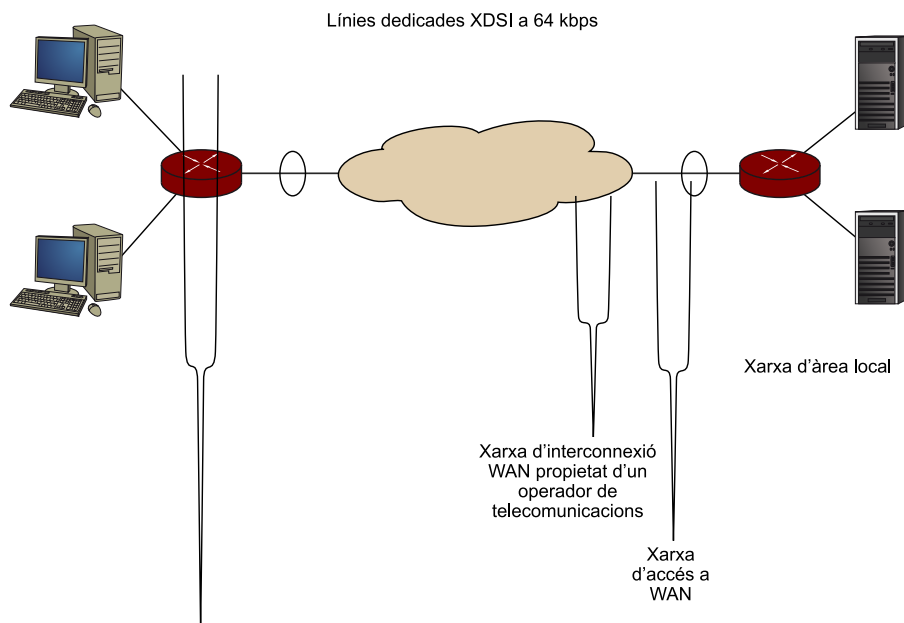
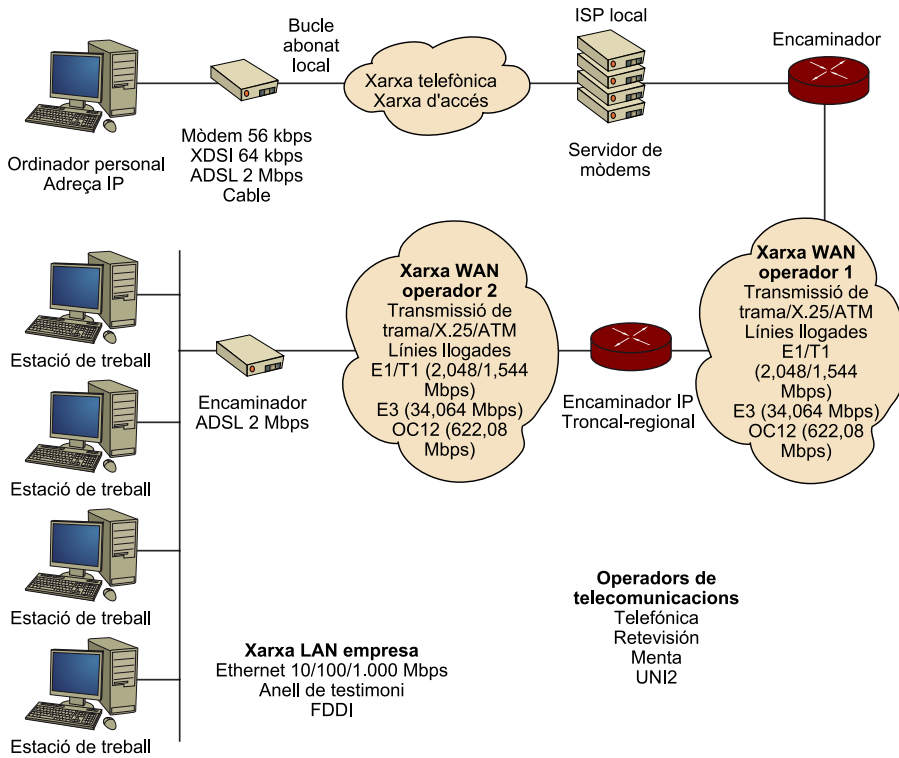
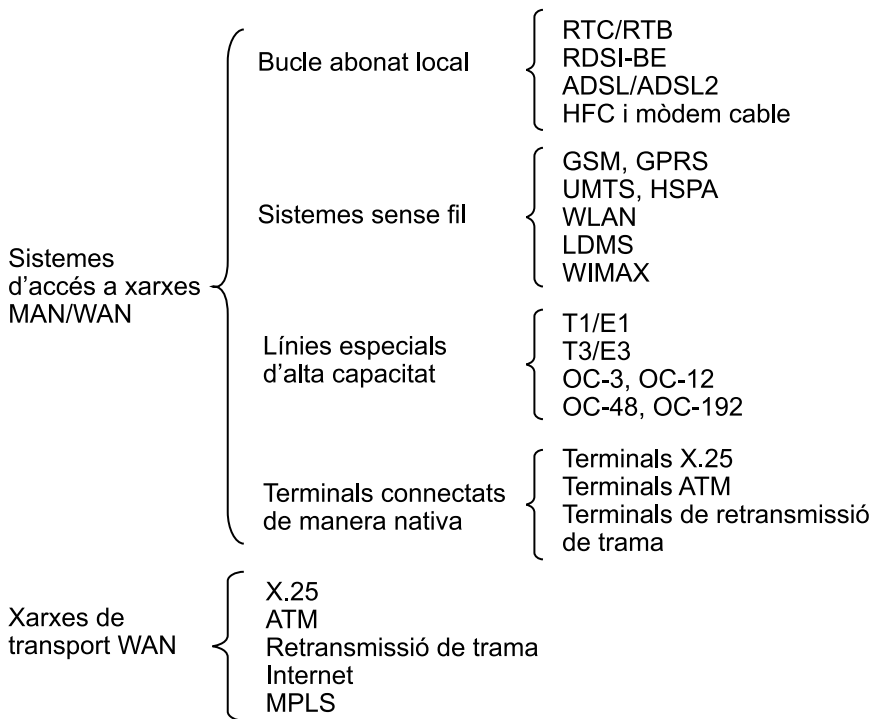


Figura 6. Exemple d'un esquema d'organització d'Internet



A l'esquema 7 podem veure la classificació entre les tecnologies d'accés a xarxes WAN i les xarxes de transport WAN.

Figura 7



Observem que a les xarxes X.25, de retransmissió de trama i ATM també es pot accedir mitjançant terminals i línies especials de les xarxes mateixes.

La xarxa de transport pot ser pròpia d'una companyia de comunicacions, de tipus X.25, retransmissió de trama i ATM, o una xarxa pública com Internet. Una opció com més va més utilitzada en l'àmbit de la petita i mitjana empresa és precisament la utilització d'Internet com a vincle WAN per a xarxes LAN. A aquesta popularització ha contribuït l'èxit i l'abaratiment de sistemes d'accés com ADSL i ADSL2+.

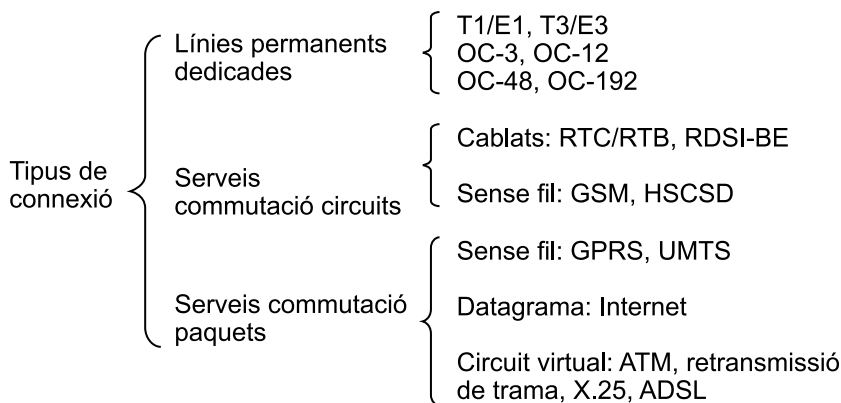
## 2.2. Classificació dels serveis de comunicacions segons el tipus de connexió

Normalment, quan volem interconnectar dues xarxes d'àrea local ubicades a una certa distància, cal utilitzar els serveis d'alguna de les xarxes d'ús públic que ofereixen les companyies especialitzades. Aquests serveis es poden classificar d'acord amb el tipus de connexió que ofereixen, permanent o temporal, i amb el tipus de circuit, real o virtual.

A diferència de les xarxes d'àrea local, que en el seu inici es van basar en medis compartits, les xarxes d'àrea estesa sempre s'han basat en medis commutats, inicialment de circuits (com per exemple la xarxa telefònica commutada en el seu vessant analògic o digital), i en els darrers 30 anys de paquets (com per exemple les xarxes públiques de dades, com X.25 o retransmissió de trama, i l'accés ADSL).

Les xarxes que ofereixen serveis es poden classificar de la manera següent:

Figura 8



## 2.3. Protocols de nivell d'enllaç associats a tecnologies WAN

Normalment s'acostuma a fer servir el mateix nom per a associar, d'una banda, la tecnologia d'accés o de transport WAN, i de l'altra el protocol de nivell d'enllaç que utilitza tal tecnologia.

Una de les raons d'aquesta associació és que tant les xarxes LAN com les WAN defineixen estàndards i tecnologies que corresponen exclusivament als nivells 1 i 2 de la torre OSI. Majoritàriament es consideren les tecnologies com XDSI, retransmissió de trama i ATM de nivell 2 (encara que n'hi autors que les situen



en altres nivells de la torre OSI). X.25 és l'únic estàndard que no compleix aquesta afirmació, ja que la seva pila de protocols arriba fins al nivell 3 de la torre OSI.

En la taula següent podem veure algunes correspondències entre tecnologies WAN i protocols de nivell d'enllaç emprats:

Tecnologia WAN	Nom protocol nivell d'enllaç associat
XDSI	XDSI (LAP-D, derivat de l'HDLC)
Retransmissió de trama	Retransmissió de trama (LAP-F, derivat de l'HDLC)
ADSL	ADSL (PPPOA, derivat del PPP)
ATM	ATM

Entre tots els protocols de nivell d'enllaç dissenyats per a sistemes d'accés a WAN, en podem destacar dos principalment: l'HDLC i el PPP. La pràctica totalitat de protocols de nivell 2 que s'han utilitzat en diferents tecnologies WAN (XTC, XDSI, retransmissió de trama o X.25) deriven d'aquests dos protocols bàsics. Es poden considerar com l'estàndard *de facto* dels protocols per a xarxes d'àrea estesa, tal com Ethernet ho és per a les xarxes d'àrea local.

Abans de tractar les principals tecnologies o sistemes d'accés a xarxes WAN que s'han fet servir en els darrers anys (XTC/XTB, XDSI, ADSL i HFC), és important fer una àmplia descripció d'aquest dos protocols, tal com farem a continuació.

### 2.3.1. HDLC

Es tracta d'un protocol orientat a bit, estandarditzat per l'organisme ISO, a partir del protocol SDLC<sup>12</sup> (control d'enllaç síncron) que va ser creat per IBM per a la pila de protocols de l'SNA.

<sup>(12)</sup>SDLC és la sigla de *synchronous data link control*.

Aquests protocols són més flexibles, segurs i eficaços que els basats en caràcter, que obliguen a usar el codi en què es basen, com ASCII o EBCDIC.

HDLC és un dels protocols de més significació en l'enllaç de dades, no solament per com és d'usat, sinó també per haver donat origen a tota una saga de protocols. D'aquest protocol deriven molts altres protocols de nivell d'enllaç, com:

- **LLC:** s'utilitza en les xarxes d'àrea local (LAN).
- **PPP:** s'utilitza en Internet.

- **LAPM**: és utilitzat en el camp de la comunicació entre mòdems.
- **LAPD**<sup>13</sup>: s'utilitza com a canal de senyalització (canal D) en l'accés a la xarxa telefònica digital XDSI.
- **LAPB**<sup>14</sup>: (procediment d'enllaç i accés balancejat): s'utilitza per a connectar una estació a una xarxa de gran abast X.25.
- **LAPF**: variant d'HDLC per a retransmissió de trama.

<sup>(13)</sup>LAPD és la sigla de *link access procedure d-channel*.

<sup>(14)</sup>LAPB és la sigla de *link access procedure balanced*.

HDLC ha estat dissenyat com un protocol de nivell d'enllaç de propòsit general que es pot utilitzar en nombroses situacions. Per a cobrir les possibles necessitats de comunicació que poden sorgir, HDLC defineix tres tipus d'estacions, dues configuracions d'enllaç, tres modes d'operació i tres tipus de trames.

Els tres tipus d'estacions que defineix HDLC són:

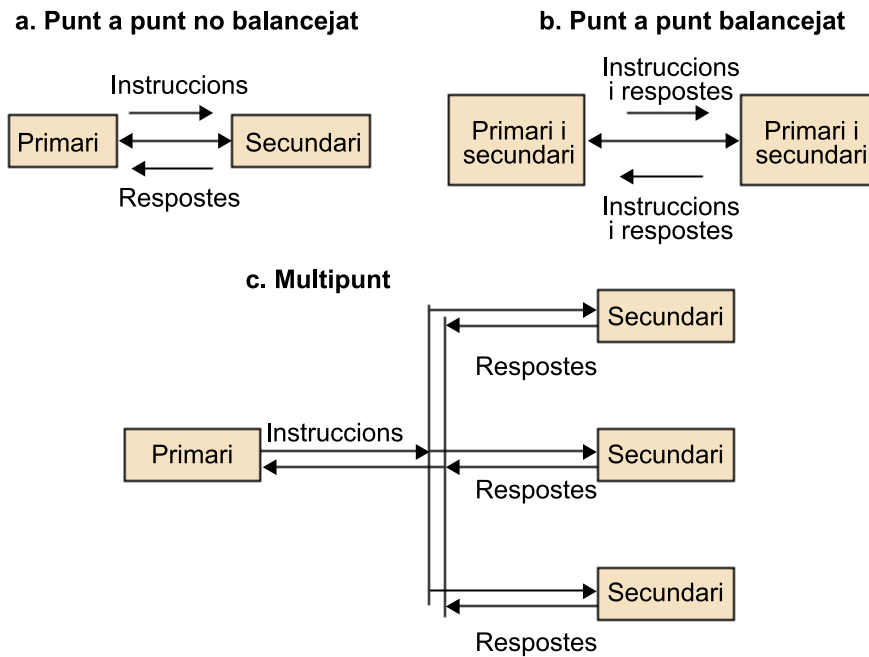
- 1) Estació primària: controla el funcionament de l'enllaç. Les seves trames es denominen *ordres*.
- 2) Estació secundària: funciona sota el control d'una estació primària. Les trames que genera es denominen *respostes*.
- 3) Estació combinada: barreja de les característiques de les dues anteriors.

Quant a les configuracions de l'enllaç, HDLC disposa del següent:

- a) No balancejada: una estació primària i una o més de secundàries amb transmissió semidúplex o dúplex.
- b) Balancejada: dues estacions combinades amb transmissió semidúplex o dúplex.

En la figura 9 es pot observar una combinació dels tres escenaris o configuracions que defineix HDLC.

Figura 9. Configuracions possibles en el protocol HDLC



Els noms de **primari** i **secundari** no fan referència a l'estació que envia les trames d'informació i les confirmacions, com fins ara, sinó que aquesta terminologia s'utilitza per a distingir certs privilegis que té el primari. El privilegi principal de l'HDLC és que pot fer d'àrbitre en un enllaç multipunt (la qual cosa hem denominat **mestre**).

En l'HDLC les trames que envia el primari es coneixen com a **instruccions**, i les que envia el secundari, com a **respostes**. Si en la configuració totes les estacions són primàries i secundàries alhora, es diu que és una **configuració balancejada**; altrament, es tracta d'una **configuració no balancejada**. Evidentment, una configuració multipunt ha de ser balancejada, perquè només hi pot haver una estació que sigui el primari (que faci d'àrbitre).

L'HDLC permet tres modes de transferència de dades:

1) **NRM**<sup>15</sup>. Aquest mode s'utilitza en configuracions no balancejades (casos **a** i **c** de la figura 9). En aquest mode d'operació els secundaris (o esclaus) només poden transmetre trames en resposta a les instruccions enviades pel primari (o mestre). NRM s'utilitza en les línies de múltiples connexions i, en general, quan diversos terminals o perifèrics es connecten a un ordinador central que gestiona les línies per sondeig.

<sup>(15)</sup>NRM és la sigla de *normal response mode*.

2) **ARM**<sup>16</sup>. Aquest mode s'utilitza en configuracions punt a punt no balancejades (cas **a** de la figura). A diferència del mode NRM, el secundari pot iniciar un procés de transmissió sense que el primari ho sol·liciti. No obstant això, l'estació primària continua essent la responsable de la supervisió del sistema. Aquest mode és el menys usat actualment.

<sup>(16)</sup>ARM és la sigla de *asynchronous response mode*.

**3) ABM<sup>17</sup>.** Aquest mode s'utilitza per a configuracions punt a punt balancejades (cas **b** de la figura). Permet que qualsevol estació combinada iniciï la transferència de dades. ABM és el mode usat en les xarxes LAN que usen trames derivades d'HDLC. Els protocols més usats derivats de l'HDLC, com el LAPM, el LAPD i el LAPB, són derivats d'aquest mode.

<sup>(17)</sup>ABM és la sigla d'*asynchronous balanced mode*.

L'estàndard descriu el tipus de trama i el comportament que s'ha de seguir en totes les situacions possibles. Independentment del mode, en l'HDLC es defineixen tres tipus de trames:

**1) Trames d'informació.** Són les úniques que contenen dades. Per a la recuperació d'errors i el control de flux s'utilitza *Go back N* o retransmissió selectiva (molts dels derivats implementen només *Go back N*). Per a les confirmacions s'utilitza la tècnica de *piggybacking*.

**2) Trames de supervisió.** Equivalen a les trames de confirmació a què ens hem referit fins ara. S'utilitzen per a les confirmacions quan no s'envien trames d'informació. Les trames de supervisió poden ser de diversos tipus:

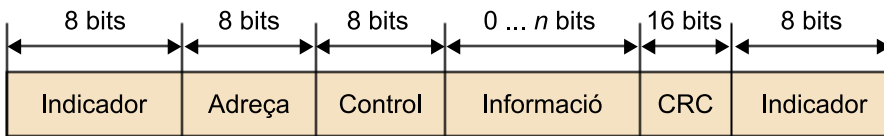
- **Tipus 0: RECEIVE READY.** És el nom que rep en l'estàndard el justificant de recepció (*ack*). S'utilitza quan no hi ha trànsit de retorn suficient per a utilitzar *piggybacking*.
- **Tipus 1: REJECT.** Correspon al justificant de recepció negatiu (NAK). Sol·licita retransmissió d'una trama, i no n'accepta cap altra entretant. S'utilitza quan s'empra el mecanisme de *Go back N*.
- **Tipus 2: RECEIVE NOT READY.** Indica un justificant de recepció però no sol·licita suspensió de la tramesa per a evitar saturar el receptor (control de flux), cosa que pot ser necessària si el receptor té saturades les seves memòries temporals. Perquè la retransmissió es repregui s'ha d'enviar un *RECEIVE READY*, *REJECT* o certes trames de control.
- **Tipus 3: SELECTIVE REJECT.** S'utilitza per a sol·licitar retransmissió d'una trama determinada quan s'empra retransmissió selectiva. Com s'ha vist abans, en aquest cas, la finestra de l'emissor, en disposar d'un nombre de seqüència de 3 bits, no pot ser major de 4. Aquest mecanisme només és previst en HDLC, no en SDLC ni LAPB. En HDLC i LAPB hi ha un tipus de trama estesa en la qual els nombres de seqüència són de 7 bits; en aquest cas és possible utilitzar una mida de finestra de fins a 127 usant la tècnica *Go back N* o de 64 usant la de repetició selectiva.

**3) Trames no numerades.** S'usen en les fases d'inicialització i desconnexió i per a enviar informació de control suplementària.

## Estructura de la trama HDLC

HDLC utilitza una trama monoforamt composta per un conjunt fix de camps prou flexible per a donar servei a molts tipus de transmissió, tal com es mostra en la figura 10.

Figura 10. Estructura de les trames en el protocol HDLC



Tipus de trama	Bits de control							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Informació	0	SN			P/F	RN		
Supervisió	1	0	Tipus		P/F	RN		
No numerada	1	1	Tipus		P/F	Tipus		

Els camps es descriuen a continuació:

**a) Indicador:** és un delimitador d'inici i final de trama que val 01111110. Utilitza la tècnica de la inserció de zeros per a la transparència en el camp d'informació (inclou un 0 per cada 5 bits amb 1 consecutius). El propòsit d'aquest sistema és evitar la confusió amb l'indicador, l'únic lloc on poden aparèixer sis bits amb 1 seguits. En línies inactives aquest camp s'està transmetent contínuament.

**b) Adreça:** conté l'adreça que té en el sistema de transmissió un dels interlocutors (pot ser l'emissor o el receptor). El **contingut del camp adreça** depèn del mode d'operació. Per a satisfer els requisits de sistemes amb molts terminals és ampliable de 8 en 8 bits. El camp *adreça* només s'utilitza en línies multipunt. Les línies multipunt són connexions en les quals diversos ordinadors comparteixen una mateixa línia física, cosa que és poc freqüent i requereix línies especials.

- En un enllaç multipunt, si treballem amb el mode NRM, només hi ha un primari i cada secundari té una adreça única. En aquest cas, en el camp d'adreça es posa sempre l'adreça del secundari.
- En el mode ABM, en canvi, es posa l'adreça pròpia quan es vol enviar una instrucció (l'estació actua com a primari) i l'adreça contrària quan s'envia una resposta (l'estació actua com a secundari).

c) **Dades:** el constitueix el tren de dades. La longitud és lliure i pot ser des de zero fins a un nombre arbitràriament llarg; cada protocol utilitza un límit concret.

d) **CRC:** és un codi de redundància cíclica per a la comprovació d'errors calculat a partir de la norma V.41 de l'ITU-T. És extensible a 32 bits.

e) **Control:** identifica el tipus de trama i la seva funció concreta. Pot incorporar una gran quantitat d'informació i constitueix el nucli del protocol. Es pot ampliar per a seqüenciar més de set trames en sistemes amb un gran retard de trànsit. Els **bits de control** són els següents:

- **SN.** Porta el número de seqüència d'una trama d'informació.
- **RN.** Porta el número de seqüència de la trama confirmada.
- **P/F (Poll/Final bit).** Aquest bit té molts usos, alguns dels quals són els següents:
  - El primari posa aquest bit a 1 per a sol·licitar una resposta urgent d'un secundari.
  - El secundari posa el bit a 1 per a indicar el final d'una resposta.
- **Tipus.** El tercer i quart bits codifiquen el tipus de trama de supervisió, i el sisè, setè i vuitè, el tipus de trama no numerada

En aquest apartat només s'han presentat els ingredients bàsics de l'estàndard perquè l'estudiant es faci una idea de tots els punts que involucra l'estandardització d'un protocol de nivell d'enllaç.

### 2.3.2. PPP

PPP és un dels protocols més importants del nivell d'enllaç. PPP ha estat dissenyat per a ser molt flexible: opera sobre línies en sèrie, línies telefòniques, sobre enllaços SONET/SDH, sobre XDSI i sobre connexions X.25. També és el protocol utilitzat per a connectar els usuaris domèstics al seu ISP a través de la línia telefònica.

Està definit en els RFC 1661, 1662 i 1663, i també està afectat pels RFC 2153 (extensions de venedor), 1331 (transmissió de datagrames multiprotocol sobre enllaços PPP), 2023 (IPv6 sobre enllaços PPP) i 1994 (protocol d'autenticació per desafiament CHAP<sup>18</sup>).

El protocol defineix mecanismes per al següent:

#### Lectura complementària

Per a obtenir més detalls sobre el protocol HDLC, podeu consultar:

**F. Halsall** (1998). *Comunicaciones de datos, redes de computadoras y sistemas abiertos* (4a. ed.). Addison-Wesley.

<sup>(18)</sup> CHAP és la sigla de *challenge handshake*.

- Encapsulament (i multiplexament) de datagrames multiprotocol. És capaç de multiplexar diferents protocols de nivell de xarxa i enllaç sobre una única línia o connexió punt a punt.
- Establiment, configuració i test de la connexió (LCP<sup>19</sup>).
- Una família de protocols per a establir i configurar diferents protocols de nivell de xarxa (NCP<sup>20</sup>). En el cas d'IP es diu *IPCP*<sup>21</sup> (RFC-1172).
- Opcionalment, PPP suporta un protocol de compressió de paquets (CCP<sup>22</sup>), RFC-1962. Les trames intercanviades en la negociació del protocol CCP són anàlogues a les del protocol LCP. En aquesta en la negociació s'acorda l'algorisme de compressió que es farà servir en l'enllaç, com ara Deflate 15, BSD-v1 15 o altres.

<sup>(19)</sup>LCP és la sigla de *link control protocol*.

<sup>(20)</sup>NCP és la sigla de *network control protocol*.

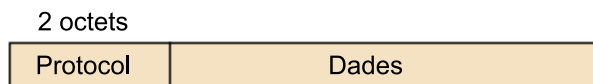
<sup>(21)</sup>IPCP és la sigla de *Internet protocol control protocol*.

<sup>(22)</sup>CCP és la sigla de *compression control protocol*.

### Format d'una trama PPP

La figura 11 mostra el format d'una trama PPP. Aquesta consta d'un camp de protocol de dos octets i un de dades. El camp de protocol identifica el protocol al qual correspon la informació encapsulada en el camp de dades. La taula mostra els possibles valors del camp de protocol especificats en els RFC-1340 i RFC-1962.

Figura 11. Trama PPP



Assigned PPP DLL protocol numbers (RFC-1340 i RFC-1962)			
Valor	Protocol	Valor	Protocol
0001 to 001f	Reserved (transparency inefficient)	8021	Internet Protocol Control Protocol
0021	Internet Protocol	8023	OSI Network Layer Control Protocol
0023	OSI Network Layer	8025	Xerox NS IDP Control Protocol
0025	Xerox NS IDP	8027	DECnet Phase IV Control Protocol
0027	DECnet Phase IV	8029	Appletalk Control Protocol
0029	Appletalk	802b	Novell IPX Control Protocol
002b	Novell IPX	802d	Reserved
002d	Van Jacobson Compressed TCP/IP	802f	Reserved
002f	Van Jacobson Uncompressed TCP/IP	8031	Bridging NCP
0031	Bridging PDU	8033	Stream Protocol Control Protocol
0033	Stream Protocol (ST-II)	8035	Banyan Vines Control Protocol
0035	Banyan Vines	8037	Reserved till 1993

<b>Assigned PPP DLL protocol numbers (RFC-1340 i RFC-1962)</b>			
<b>Valor</b>	<b>Protocol</b>	<b>Valor</b>	<b>Protocol</b>
0037	Reserved (until 1993)	80FD	Compression Control Protocol
00FD	Compressed datagram	80ff	Reserved (compression inefficient)
00FB	Individual link compressed datagram	c021	Link Control Protocol
00ff	Reserved (compression inefficient)	c023	Password Authentication Protocol
0201	802.1 d Hello Packets	c025	Link Quality Report
0231	Luxcom	c223	Challenge Handshake Aut. Protocol
0233	Sigma Network Systems		

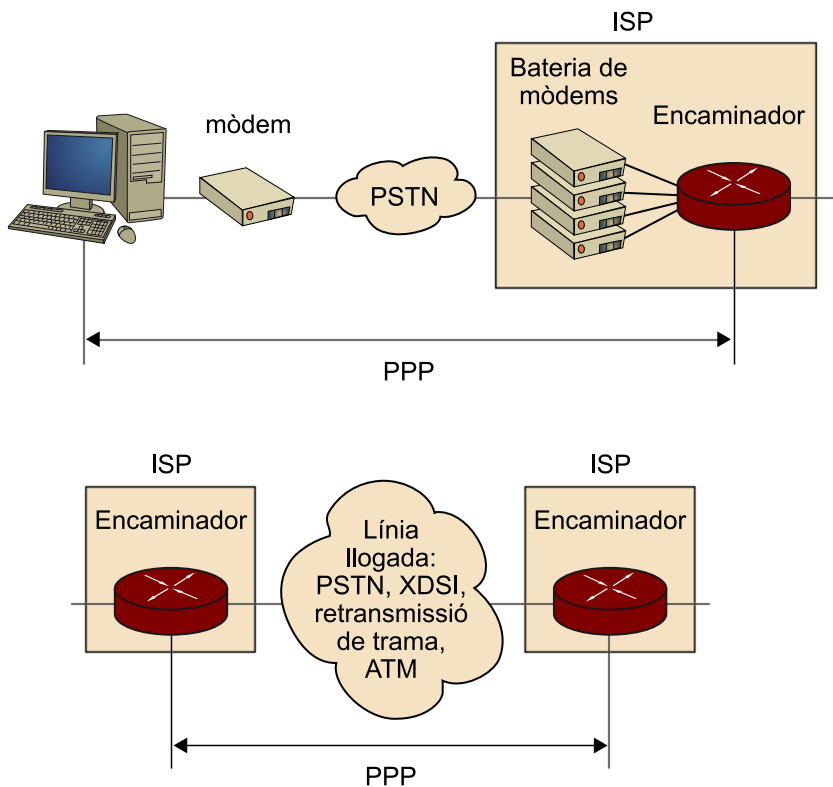
### **Transmissió de trames PPP en diferents tipus d'enllaços**

La figura 12 mostra enllaços típics en què es fa servir PPP. Hi ha diferents RFC que expliquen com es poden transmetre les trames PPP segons la xarxa física que es fa servir:

- Tipus HDLC (RFC-1549).
- X.25 (RFC-1598)
- XDSI (RFC-1618)
- Retransmissió de trama (RFC-1973)
- ATM (RFC-2364)
- Ethernet (RFC-2516)



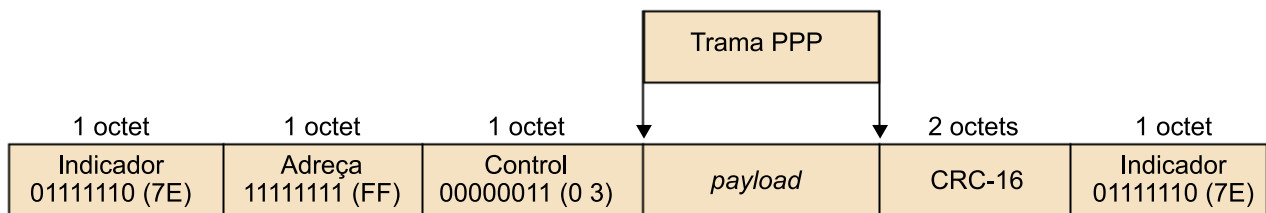
Figura 12. Usos típics de PPP



### PPP en enllaços de tipus HDLC (RFC-1549)

S'utilitza per exemple en enllaços a través del port sèrie RS-232 fent servir mòdems o un cable *modem null*. És aplicable en enllaços síncrons/asíncrons orientats a bit/caràcter. La figura 13 en mostra l'encapsulament.

Figura 13. Encapsulament de trames PPP en enllaços HDLC



Té els camps següents:

- **Indicador:** camp d'inici de trama. Conté la seqüència de bits 01111110.
- **Adreça:** sempre val la seqüència de bits 11111111. Aquest camp no s'utilitza perquè les connexions són sempre punt a punt i, per tant, no té sentit utilitzar cap adreça.
- **Control:** conté la seqüència de bits 00000011, que indica una trama no numerada. Això significa que, per defecte, PPP no subministra transmissió fiable amb números de seqüència i justificant de recepció, com hem vist per a HDLC. Encara que no és normal, en el moment d'establir la conne-

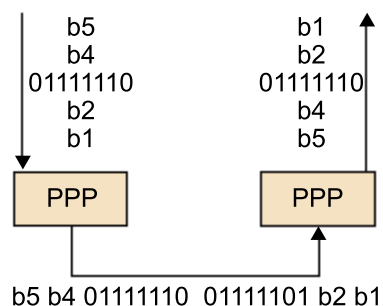
xió, LCP pot negociar una transmissió fiable. Així doncs, llevat que es negociï una transmissió fiable, els camps *adreça* i *control* contenen sempre la seqüència 111111100000011. Ja que és inútil transferir aquesta informació de control, que sempre conté la mateixa informació, generalment LCP negocia la supressió d'aquests dos octets de la trama en l'inici de la sessió quan no es demana transmissió fiable.

- **Protocol:** pot tenir 1 o 2 octets. Indica el tipus de protocol de nivell superior (nivell 3) que porta encapsulat al camp *dades*. PPP pot transportar paquets de diferents protocols de nivell de xarxa, com per exemple, 0 × 21 per IP, 0 × 29 per AppleTalk, 0 × 27 per DecNet, 0 × 821 per IPCP, etc.
- **Informació:** conté la informació. Té una longitud variable, fins a un màxim que negocia LCP en establir la connexió. Per defecte, la mida màxima de trama és de 1.500 octets.
- **Suma de comprovació:** pot tenir de 2 a 4 octets de longitud. Utilitza el mateix CRC del protocol HDLC.
- **Indicador:** camp de final de trama. Conté la seqüència de bits 01111110

### Mecanisme de transparència

El protocol PPP utilitza la tècnica de transparència anomenada *bit stuffing* per a solucionar el problema quan la seqüència 01111110 apareix en el camp de dades de la trama; el protocol considera que aquesta seqüència de bits és d'informació i no el camp *flag*, que indica el final de trama. Per això el PPP defineix un octet de control 01111101. Abans d'enviar la seqüència 01111110 dins el camp d'informació, el protocol envia el camp de control per a indicar al receptor que no és un camp de control sinó d'informació. Quan es rep el camp 01111110 precedit del camp de control 01111101, aleshores el camp de control és eliminat i l'octet és considerat informació. Si la seqüència de l'octet de control apareix en el camp de dades, aleshores també és enviat precedit d'un altre octet de control. Una sola instància de l'octet de control significa que el que veu després correspon a l'informació original.

Figura 14. Exemple de mecanisme de transparència



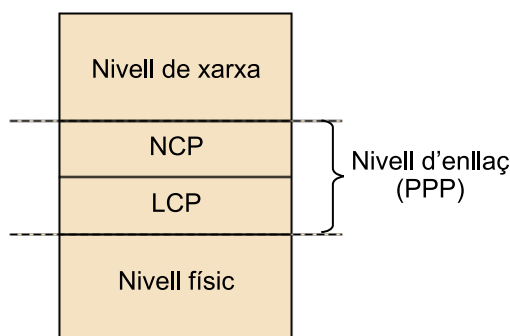
## Nivells de protocol PPP

Abans de l'intercanvi d'informació entre els dos equips d'un enllaç, PPP ha de negociar els paràmetres necessaris que permetin als datagrames de nivell de xarxa circular a través de l'enllaç satisfactòriament.

PPP es divideix lògicament en dos nivells:

- 1) LCP, nivell que negocia paràmetres pròpiament del nivell d'enllaç.
- 2) NCP, nivell que negocia paràmetres del nivell de xarxa.

Figura 15



### Nivell LCP (RFC-1661)

S'encarrega de negociar una sèrie de paràmetres en el moment d'establir la connexió amb el sistema remot. També s'encarrega del manteniment i de la finalització de l'enllaç punt a punt.

LCP estableix mecanismes que permeten als equips dialogar per a arribar a un consens en cas de discrepància. Pot passar que només una part dels valors proposats per un extrem de l'enllaç siguin acceptats per l'altre extrem.

LCP també subministra mecanismes que permeten validar l'ordinador que crida (mitjançant l'ús de claus de tipus usuari/contrasenya). Això resulta especialment útil en el cas de connexions per XTC, per exemple, per a proveïdors de serveis d'Internet que han de controlar que els seus usuaris estiguin realment autoritzats.

Les opcions que negocia el nivell protocol LCP són les següents:

- MRU<sup>23</sup>: mida màxima de les trames.
- ACCM<sup>24</sup>: permet indicar quins caràcters s'han d'escapar.
- *Authentication protocol*: indica a l'altre extrem que s'ha d'autenticar. També indica el protocol d'autenticació, que pot ser PAP<sup>25</sup> o CHAP<sup>26</sup>.

<sup>(23)</sup>MRU és la sigla de *maximum receive unit*.

<sup>(24)</sup>ACCM és la sigla d'*asynchronous control character map*.

<sup>(25)</sup>PAP és la sigla de *password authentication protocol*.

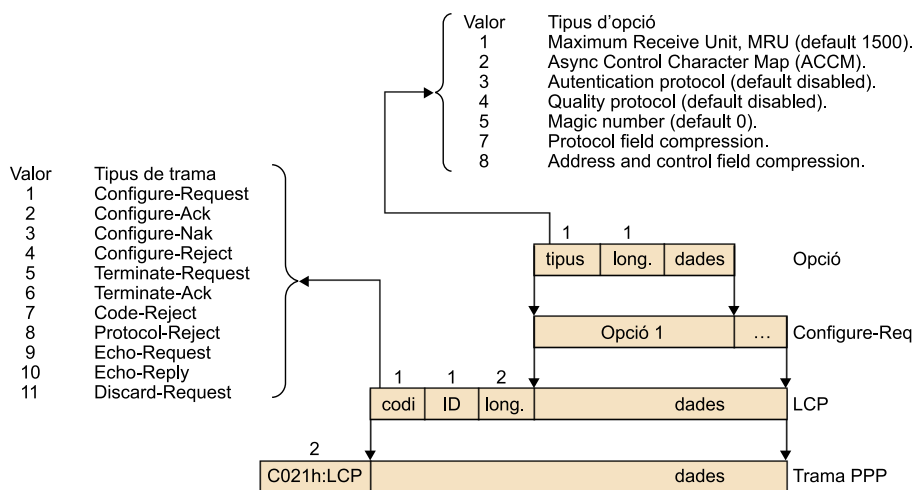
- *Quality protocol*: indica el protocol que es farà servir per a monitorar la qualitat de l'enllaç.
- *Magic number*: permet detectar si l'enllaç està curtcircuitat (es rep un *echo* del que es transmet) o altres anomalies. Bàsicament, el funcionament és el següent: cada extrem tria un nombre aleatori de 32 bits i es comunica durant la negociació de les opcions. Quan es rep una trama, es compara el *magic number* amb el que s'ha triat. Si és el mateix vol dir que s'està rebent un *echo* de la trama que s'ha enviat.
- PFC<sup>27</sup>: permet que en alguns casos el camp de protocol de les trames (vegeu la figura "Trama PPP") es transmeti en un sol octet (en comptes de 2). Per exemple, quan el contingut de la trama PPP és un datagrama IP, el camp de protocol té el valor 21 en comptes de 0021.
- ACFC<sup>28</sup>: permet comprimir els camps d'adreça i control (vegeu la figura "Encapsulament de trames PPP en enllaços HDLC"). En aquest cas, aquests camps s'eliminen.

<sup>(26)</sup> CHAP és la sigla de *challenge handshake authentication protocol*.

<sup>(27)</sup> PFC és la sigla de *protocol field compression*.

<sup>(28)</sup> ACFC és la sigla d'*address and control field compression*.

Figura 16. Format i encapsulament d'una trama PPP amb informació LCP



La figura 16 mostra el format de les trames que fa servir LCP per a la negociació de les opcions de l'enllaç PPP, i les trames LCP que hi ha definides. El tipus de trama s'identifica pel camp *codi*. El camp *id* de la trama LCP permet establir la correspondència entre una petició i la resposta corresponent. En cada camp s'indica el nombre d'octets que ocupa (excepte en el camp de dades, que és de mida variable). El camp *long* dóna la mida de la trama en octets. Fixeu-vos que la trama inclou la capçalera (els camps *codi*, *id* i *long*) i el camp de dades. Per exemple, si el camp de dades ocupa 4 octets, el camp *long* tindrà el valor 8.

Les trames *configure-request*, *configure-ack*, *configure-nak* i *configure-reject* serveixen per a la negociació de les opcions. Per a aquesta negociació hi ha definit un autòmat. Bàsicament, un node proposa les opcions enviant un *configure-request*. Si l'altre extrem accepta les opcions, aleshores envia *configure-ack* amb

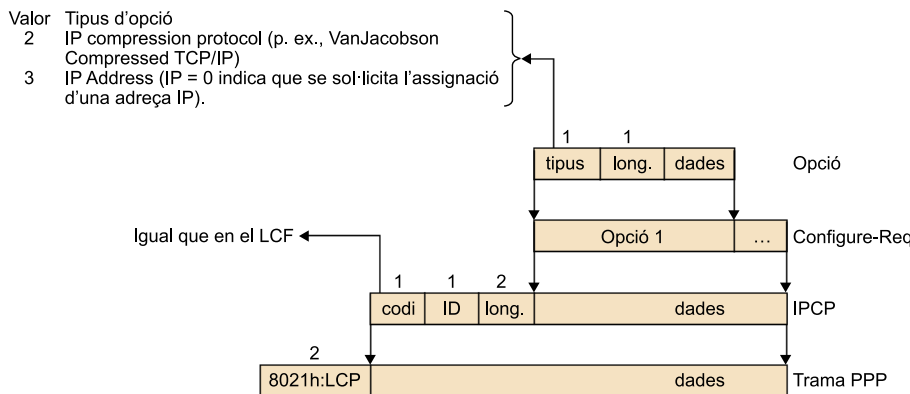
una còpia de les opcions. En cas d'haver-hi opcions reconegudes però no acceptades, s'envia un *configure-nak*, i en cas d'haver-hi opcions no reconegudes o no negociables, s'envia un *configure-reject*.

Les trames *terminate-request* i *terminate-ack* serveixen per a la terminació de l'enllaç. Finalment, les trames *code-reject*, *protocol-reject*, *echo-request*, *echo-reply* i *discard-request* serveixen per a la gestió i manteniment de l'enllaç.

### Nivell NCP

És la família de protocols (un per cada protocol de nivell superior) que té la funció de negociar paràmetres específics per a cada protocol de nivell de xarxa utilitzat. En el cas d'una connexió IP el protocol emprat és l'IPCP (RFC-1172). Aquest protocol negocia l'adreça IP que farà servir el protocol IP durant la connexió. La seva utilitat es posa de manifest quan un usuari connectat via mòdem obté una adreça IP dinàmicament de l'ISP en el moment de connectar-se. Fa servir el mateix format de trama que LCP per a la negociació d'opcions.

Figura 17. Format i encapsulament d'una trama PPP amb informació IPCP



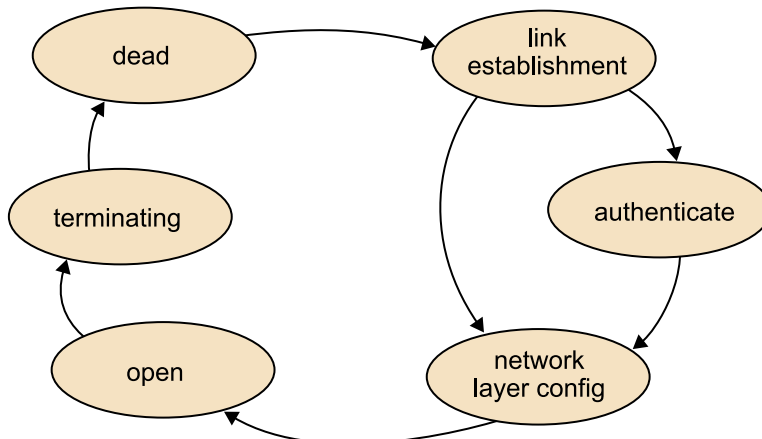
**Negociació de l'adreça**

Quan es negocia l'adreça, l'estació que la demana proposa l'adreça 0.0.0.0 amb un *configure-request*. L'altra envia un *configure-nak* amb l'adreça que ha de fer servir (el *nak* és perquè es reconeix l'opció però no s'accepta el valor de 0.0.0.0, i es proposa l'adreça que s'ha de fer servir).

### Diagrama d'estats del PPP

La figura 18 mostra el diagrama d'estats corresponent a l'establiment i terminació d'un enllaç PPP.

Figura 18. Diagrama d'estats de l'LCP



El protocol PPP sempre comença en l'estat *dead*, en què no hi ha cap connexió física. Quan PPP rep de la capa física un esdeveniment que diu que es vol establir una connexió (per exemple, es detecta una portadora), passa a l'estat de *link establishment*.

En aquest estat el protocol LCP comença la negociació dels paràmetres d'establiment. Una estació envia les opcions de configuració d'enllaç que vol en una trama LCP. L'altra estació respon amb una trama de confirmació de la configuració, o de denegació de la confirmació, o amb una trama en què indica opcions no reconegudes o no acceptables. Si en aquest estat es negocia que hi hagi autenticació, llavors PPP passa a l'estat *authenticate*. Si no s'ha negociat aquesta opció, directament passa a l'estat *network*.

En l'estat d'autenticació, un extrem (servidor) requereix que l'altre extrem (client) li envii una clau o contrasenya prèviament acordada entre tots dos, per tal de poder validar l'accés a l'estat *network*. Generalment s'utilitzen dos protocols:

- 1) PAP. Utilitza un mecanisme de dos passos per a identificar-se.
- 2) CHAP. Utilitza un mecanisme de tres passos. El procediment és el següent:
  - Una vegada que s'ha establert la connexió inicial, el servidor d'autenticació envia un missatge de desafiament al client.
  - El client respon amb un valor calculat amb una funció resum no reversible.
  - L'autenticador comprova la resposta contra el seu propi càlcul del valor resum. Si els valors coincideixen, es reconeix l'autenticació; d'una altra manera, es rebutja la connexió.
  - A intervals arbitraris l'autenticador envia un nou desafiament al client, i repeteix els passos 1 a 3.

Si l'autenticació té èxit s'entra a l'estat *network*, en què el protocol NCP configura els paràmetres del protocol de nivell de xarxa. En el cas d'IP, es farà servir el protocol IPCP, el qual negociarà l'adreça IP dels nodes.

A partir d'aquí PPP s'entra en l'estat *open*, en el qual les dues estacions comencen a intercanviar informació de nivell 3 per mitjà de trames PPP.

Per a verificar l'estat de la línia, LCP pot enviar trames *echo-request* i *echo-reply* (petició i resposta) entre els dos equips que formen l'enllaç PPP, per tal de mantenir la disponibilitat.

L'enllaç PPP és manté en l'estat *open* fins que una estació rep una trama LCP *terminate-request* per a acabar la comunicació. Quan l'altra estació li confirma la finalització de la comunicació amb una trama LCP, l'enllaç entra en l'estat *dead*.

## PPPoE

PPP va ser dissenyat originalment per a connectar estacions a Internet a través de línies sèrie punt a punt, de la mateixa manera que s'aconseguia amb els mòdems sobre la xarxa telefònica commutada. PPP no és adequat per a les relacions multipunt que s'estableixen en xarxes Ethernet i altres entorns multiaccés.

PPPoE<sup>29</sup> es va desenvolupar per a solucionar les limitacions indicades anteriorment. PPPoE, que encapsula trames PPP sobre trames Ethernet, pot ser emprat per múltiples estacions en un entorn compartit, com és el cas d'Ethernet, per a obrir sessions PPP en múltiples destinacions a través d'un o més mòdems, que actuaran com a ponts. PPPoE està dissenyat per a ser utilitzat en tecnologies d'accés de banda ampla en xarxes remotes (com DSL i mòdem de cable), i subministra una topologia de pont a l'Ethernet a fi que els proveïdors d'accés a Internet puguin, si volen, mantenir l'abstracció de sessió associada al protocol PPP.

<sup>(29)</sup> PPPoE és la sigla de *point to point protocol over Ethernet*.

PPPoE, que ha estat regulat en l'RFC 2516, permet connectar mitjançant un dispositiu d'accés simple, que compleixi la funció de pont, una xarxa d'estacions a un concentrador d'accés remot. Amb aquest model, cada estació utilitza la seva pròpia pila PPP, amb la qual cosa el control d'accés, el xifratge, la compressió, la possible facturació i el tipus de servei es pot fer seguint una filosofia per usuari, i no per lloc, com hauria de ser si no es pogués emprar PPPoE.

## PPPoA

PPPoA<sup>30</sup> és un protocol molt similar a PPPoE, però que empra com a mitjà de transport ATM AAL5<sup>31</sup>, en lloc d'Ethernet. PPPoA permet encapsular trames PPP sobre trames ATM i és utilitzat principalment en serveis de mòdem de cable i DSL, i ofereix als seus usuaris característiques estàndard de PPP com autenticació, xifratge i compressió.

<sup>(30)</sup> PPPoA és la sigla de *point to point protocol over ATM*.

<sup>(31)</sup> ATM AAL5 és la sigla d'*asynchronous transfer mode adaptation layer 5*.

## 2.4. Tecnologies d'accés a xarxes WAN

### 2.4.1. Xarxa telefònica commutada/bàsica (XTC/XTB)

La xarxa telefònica és l'exemple per excel·lència de les xarxes de commutació de circuits. És d'abast mundial i està orientada a la transmissió de veu, per bé que també es fa servir per a la transmissió de dades a través del bucle d'abonat analògic, mitjançant mòdems.

Els protocols i les normes utilitzats pels mòdems han evolucionat ràpidament en la dècada dels anys vuitanta i noranta. En poc menys d'una dècada es va passar d'establir circuits de 2.400 bps en semidúplex a assolir els 56 kbps en el sentit xarxa-usuari (descàrrega) i 33,6 kbps en el sentit usuari-xarxa (pujada), utilitzant mòdems avançats amb correcció d'errors i compressió de dades.

La taula següent mostra l'evolució dels estàndards europeus ITU-T per a l'operació dels mòdems, juntament amb les seves característiques operacionals:

Tipus de mòdem	Velocitat màxima de dades	Tècnica de transmissió	Tècnica de modulació	Mode de transmissió	Ús de línia
V.21	300	Asíncron	FSK	Semidúplex, dúplex	Commutada
V.22	600	Asíncron	PSK	Semidúplex, dúplex	Commutada/ privada
	1.200	Asíncron/ síncron	PSK	Semidúplex, dúplex	Commutada/ privada
V.22 bis	2.400	Asíncron	QAM	Semidúplex, dúplex	Commutada
V.23	1.200	Asíncron/ síncron	FSK	Semidúplex, dúplex	Commutada
V.26	2.400	Síncron	PSK	Semidúplex, dúplex	Privada
	1.200	Síncron	PSK	Semidúplex	Commutada
V.26 bis	2.400	Síncron	PSK	Semidúplex	Commutada
V.26 ter	2.400	Síncron	PSK	Semidúplex	Commutada
V.27	4.800	Síncron	PSK		
V.29	9.600	Síncron	QAM	Semidúplex, dúplex	Privada
V.32	9.600	Síncron	TCM/QAM	Semidúplex, dúplex	Commutada
V.32 bis	14.400	Síncron/ asíncron	TCM/QAM	Semidúplex, dúplex	Privada
V.34	28.800	Síncron/ asíncron	TCM/QAM	Semidúplex, dúplex	Commutada
V.90	56.800	Síncron/ asíncron	---	Semidúplex, dúplex	Commutada
V.42	Qualsevol	Correcció d'error			



Tipus de mòdem	Velocitat màxima de dades	Tècnica de transmissió	Tècnica de modulació	Mode de transmissió	Ús de línia
V.42 bis	Qualsevol			Compressió de dades	

Aquests circuits no són aptes per a volums de transmissió de dades alts, a causa de la baixa velocitat de transferència i l'alta probabilitat d'error sense correcció del bucle analògic ( $10^{-4}$ ).

L'XTC analògica està tendint a desaparèixer a causa de la progressiva substitució de les centrals locals per nodes digitals, i al fet d'haver-hi productes sobre el bucle d'abonat local més competitius en relació amb amplada de banda / preu.

Actualment hi ha nombroses ofertes de tarifa "plana" en les quals abonant una quantitat fixa mensual es disposa d'un accés "il·limitat" en temps.

Encara pot ser una bona opció en àrees rurals on encara no hagin arribat altres tecnologies digitals, o tenen una implantació difícil.

#### 2.4.2. Xarxa digital de serveis integrats

La xarxa digital de serveis integrats (XDSI) és una xarxa pública mundial que ofereix una àmplia varietat de serveis i que es pretén que substitueixi la resta de xarxes telefòniques existents.

Des de la perspectiva de les estacions, XDSI pot donar accés a una xarxa de commutació de circuits amb vista a establir connexions de veu (l'equivalent a la xarxa telefònica actual), pot donar accés a una xarxa de paquets per a establir connexions de dades, i també permet establir un enllaç punt a punt amb una altra estació per tal de disposar d'una connexió de dades permanent.

XDSI proporciona un canal digital d'extrem a extrem que ofereix accés integrat a tot un conjunt de serveis: transmissió de veu, dades i fins i tot vídeo.

Amb l'aparició de la xarxa d'alta velocitat ATM, denominada *XDSI de banda ampla*, es va fer necessari fer la diferenciació següent:

- XDSI-BE de banda estreta, la xarxa digital que ofereix accés a WAN
- XDSI-BA de banda ampla, la xarxa digital de transport WAN.

#### XDSI de banda estreta (XDSI-BE)

XDSI-BE<sup>32</sup> consisteix a estendre fins al mateix bucle d'abonat la xarxa digital. Es tracta de la substitució lògica de l'equipament de telefonia analògica tradicional entre centrals pel seu equivalent digital, mantenint el parell de coure ja instal·lat. És un procés que moltes companyies telefòniques van començar fa força anys.

<sup>(32)</sup>XDSI-BE correspon en anglès a *narrowband integrated services digital network (narrowband-ISDN)*.

Com que la transmissió del senyal es fa de manera digital en tot el trajecte, en XDSI el telèfon actua de codificador que digitalitza el senyal acústic de l'auricular amb una freqüència de mostreig de 8 kHz, enviant vuit bits per mostra. En el cas de connectar un ordinador a la línia no és necessari utilitzar mòdem (però sí un adaptador) i es podran transmetre dades a una velocitat de 64 kbps. A diferència del que ocorre amb les connexions analògiques aquí els 64 kbps estan assegurats, sense sorolls ni interferències, i no hi ha necessitat de negociar la velocitat en funció de la qualitat de la línia.

L'estàndard XDSI preveu dos tipus d'accés al servei:

1) L'accés bàsic, també anomenat *BRI*<sup>33</sup> o accés *2B + D*. Està format per dos canals digitals de 64 kbps anomenats *canals B* (de *bearer*, 'portador') més un canal de 16 kbps de senyalització anomenat *canal D* (possiblement de *data*). Està dirigit a usuaris domèstics i petites oficines i ofereix una amplada de banda<sup>34</sup> màxima de 128 kbps.

<sup>(33)</sup>*BRI* és la sigla de *basic rate interface*.

<sup>(34)</sup>En anglès, *throughput*.

2) L'accés primari, també denominat *PRI*<sup>35</sup>, està format a Europa per 30 canals B i un D de senyalització, tots de 64 kbps; també s'anomena *30B + D*. A Amèrica del Nord són 23 B + D (23 canals B i un D, tots de 64 kbps). La diferència es deu al fet que a Europa un PRI es transporta en una línia E1 mentre que a Amèrica del Nord s'utilitza una T1.

<sup>(35)</sup>*PRI* és la sigla de *primary rate interface*.

Si un usuari necessita més prestacions pot contractar més canals B en agrupacions que poden arribar a donar una amplada de banda superior als 100 Mbps. No obstant això, en aquests casos ja no estariem parlant d'XDSI-BE, sinó d'XDSI-BA.

Per a poder portar el senyal digital pel bucle d'abonat sense modificació cal que la distància per cobrir no sigui superior a uns 5-6 km; per aquest motiu la cobertura de la XDSI en àrees rurals és encara molt deficient.

Mitjançant la XDSI es pot accedir a la majoria dels serveis oferts per les operadores de comunicacions.

### 2.4.3. ADSL i ADSL 2

La tecnologia ADSL és un sistema de comunicacions que permet la implantació de serveis que requereixen velocitats de transmissió elevades a usuaris individuals i organitzacions, aprofitant el parell de coure del bucle d'abonat de la xarxa de telefonia convencional, i mantenint intacte el canal de veu tradicional.

L'ADSL ha estat l'aposta de les grans operadores de telefonia per a poder oferir comunicacions de dades a alta velocitat al marc residencial sense la necessitat de crear noves infraestructures, enfront d'altres tecnologies basades en la fibra òptica o el cable coaxial.

El parell de coure trenat utilitzat en el bucle d'abonat de les xarxes de telefonia té una amplada de banda aproximada d'1 MHz (fins a 2 MHz, segons l'estat de la línia). De tota aquesta amplada de banda només s'utilitza una porció mínima d'uns 4 kHz per al canal de veu. La tecnologia ADSL aprofita l'amplada de banda no utilitzada pel canal de veu i permet l'ús simultani del parell de coure per a conversació de veu i transmissió de dades. Per a fer-ho factible és necessària la col·locació d'un filtre separador de bandes<sup>(36)</sup> o microfiltre a la residència del client. A més, ADSL opera fent servir un parell de mòdems, un al costat de l'usuari i l'altre a la central telefònica més propera, on s'ubiquen els DSLAM<sup>(37)</sup>.

<sup>(36)</sup>En anglès, *splitter*.

<sup>(37)</sup>DSLAM és la sigla de *digital subscriber line access multiplexer*.

ADSL fa servir dos canals asimètrics de transmissió:

1) Un canal d'alta capacitat (fins a 6-8 Mbps, depenent de la distància a la central, que ha de ser menor de 6-5 km, i de l'estat de la línia), en sentit descendent<sup>(38)</sup> (de la central local cap a l'abonat).

<sup>(38)</sup>En anglès, *downstream*.

2) Un canal de capacitat mitjana-baixa (640 kbps - 1 Mbps) en sentit ascendent<sup>(39)</sup> (de l'abonat cap a la central local).

<sup>(39)</sup>En anglès, *upstream*.

La tecnologia ADSL2+, definida per la UIT-T en la norma G.992.5, es caracteritza pels aspectes següents:

- Permet velocitats majors de transmissió descendents en bucles curts (fins a 24 Mbps en baixada) i cobertures majors sobre bucles llargs. No hi ha increment significatiu de la velocitat de transmissió en l'enllaç ascendent (fins a 800 kbps).
- L'increment de capacitat de transmissió es basa en l'extensió de l'amplada de banda utilitzable sobre el parell de coure, que passa d'1,1 MHz (ADSL) a 2,2 MHz (ADSL 2+).

- Millores en la compatibilitat espectral, és a dir, reducció d'interferències en la xarxa d'accés.

La norma defineix una sèrie d'annexos que especifiquen les característiques d'ADSL sobre línies analògiques (XTB) o digitals (XDSL), i també altres que preveuen l'extensió del cabal disponible en sentit ascendent.

Des del punt de vista dels serveis, aquesta tecnologia aporta dos avantatges principals:

1) En primer lloc, permet incrementar significament l'abast del servei, és a dir, per a una velocitat determinada (1 Mbps, 2 Mbps, etc.), es pot donar servei a clients amb bucles d'abonat de més longitud que si es fa servir l'ADSL convencional.

2) L'increment de velocitats màximes assolibles obre la porta a noves aplicacions que es poden beneficiar d'una amplada de banda major, com la televisió sobre ADSL, serveis de videoconferència, descàrrega de fitxers o accés a continguts multimèdia en general.

Actualment ADSL 2+ funciona ja en molts països europeus, i permet l'accés a tot tipus de serveis oferts per les operadores de telecomunicacions: televisió, vídeo, àudio sota demanda, etc.

#### **2.4.4. HFC i mòdem de cable**

És una tecnologia digital sobre línia analògica, i és el competidor més seriós del servei ADSL en el seu nínxol de mercat. Utilitza el mateix cable emprat en la distribució de senyal de televisió de pagament per a la transferència de dades informàtiques. Al domicili de l'abonat se separa el senyal de vídeo, d'una banda, i el de dades informàtiques, de l'altra, per a la qual cosa s'utilitza un mòdem de cable.

Les xarxes HFC són xarxes d'accés cablades terrestres, basades en sistemes híbrids que combinen fibra òptica i cable coaxial. La fibra és usada per al transport dels continguts i el coaxial per al cablatge d'escomesa fins als usuaris finals. L'origen de les actuals xarxes HFC es remunta als anys seixanta als EUA, quan es van desenvolupar les xarxes CATW<sup>40</sup>. Aquestes xarxes s'empraven per a la transmissió de senyals de TV analògica, usant com a suport de transmissió el cable coaxial, i permetien disposar de diversos canals de televisió, de manera simultània i amb millor qualitat que la transmissió aèria de televisió, gràcies a l'amplada de banda major del coaxial. Posteriorment, aquestes xarxes van evolucionar envers les HFC, van deixar de ser exclusivament xarxes de distribució de televisió, i es van passar a convertir en xarxes de banda ampla

<sup>(40)</sup> CATW és la sigla de *community antenna television*.

de llarga distància i alta capacitat, gràcies a la incorporació de la fibra òptica, cosa que ha permès més capacitat de transmissió, distàncies d'accés més grans i serveis associats.

Aquest tipus de xarxes tenen una configuració altament jeràrquica basada en anells de fibra òptica i xarxes actives de coaxial. La seva topologia consta dels elements següents:

- **Capçalera:** s'hi recullen tots els canals de televisió per difondre a la xarxa, i s'estableixen totes les interconnexions amb altres xarxes de transport fixes o mòbils, amb la ubicació dels servidors d'accés als diferents serveis, i el servei telefònic. La capçalera sol formar part d'una xarxa de transport interurbà consistent en una xarxa òptica que interconnecta les capçaleres de serveis de diverses poblacions, com a suport de transport dels serveis prestats.
- **Xarxa troncal:** s'encarrega de portar el senyal des de la capçalera fins als punts de distribució. És possible distingir la xarxa troncal primària, xarxa òptica que uneix la capçalera i els nodes primaris, i la xarxa troncal secundària, també de tipus òptic, i que uneix els nodes primaris amb els nodes finals o de distribució.
- **Xarxa de distribució:** és una xarxa elèctrica, sobre cable coaxial, que uneix els nodes finals amb les instal·lacions dels abonats. Té tres parts: la xarxa de coaxial, que va del node final als TAP (punts de connexió de xarxa), l'escomesa, que salva el tram comprès entre el PCR (TAP o caixa terminal de parells) i el PTR a la llar del client, i la xarxa interior del client.

HFC destaca per ser una de les poques tecnologies d'accés que és capaç de suportar tots els serveis demandats actualment sense limitacions destacables. No obstant això, com a xarxes que requereixen un cablatge de fibra en la seva columna de xarxa, i un cablatge de coaxial en la part final d'accés, estan fortament limitades en l'àmbit espacial, i es distribueixen gairebé exclusivament en entorns urbans i la seva perifèria.

#### 2.4.5. Línies dedicades llogades

Una línia dedicada és un enllaç de comunicacions punt a punt obert de manera permanent entre els ordinadors o encaminadors<sup>41</sup> que es volen unir. Normalment són llogats als operadors de comunicacions, els quals només cedeixen el medi de transmissió de dades al nivell físic, per la qual cosa és l'usuari el que ha de subministrar els protocols de nivells superiors.

<sup>(41)</sup>En anglès, *routers*.

Es tracta d'un concepte contrari al de recurs compartit, com poden ser les xarxes d'accés, les WAN públiques, o Internet (la WAN pública per antonomàsia).

Per a contractar una línia dedicada cal escollir entre unes velocitats prefixades ofertes per les companyies telefòniques. El preu d'una línia dedicada és independent del trànsit que efectivament suporta i consisteix en una quota fixa mensual que s'estableix en funció de la velocitat i de la distància entre els dos punts que s'uneixen.

En les línies dedicades la capacitat contractada és reservada de manera permanent en tot el trajecte. Els operadors de comunicacions garanteixen la disponibilitat permanent d'una amplada de banda determinada juntament amb altres paràmetres de qualitat, com la latència constant, que són característiques que no poden ser garantides habitualment per altres sistemes públics, però que incrementen notablement les tarifes cobrades per aquests serveis.

El cost és elevat, i per tant la instal·lació generalment només es justifica quan l'ús és elevat. Per aquest motiu les línies dedicades no se solen utilitzar en casos en els quals es necessita una connexió de manera esporàdica, com per exemple una oficina que requereix connectar-se uns minuts al final del dia per a transferir uns fitxers, o un usuari domèstic que es connecta a Internet en les estones de lleure.

Les línies dedicades no estan disponibles a tots els països, ni tan sols no estan disponibles per a qualsevol als països on n'hi ha. Els principals tipus de línies dedicades són:

- T1/E1: línies de fins a 1,544-2,048 Mbps dedicats punt a punt, que són emprades per molts ISP i altres empreses en l'accés corporatiu a WAN o per a la interconnexió de LAN. Tenen un cost alt, molt superior, per exemple, a les línies ADSL, que es mouen en una amplada de banda equivalent, encara que també ofereixen més fiabilitat.
- T3/E3: similars quant a funcionalitat a les anteriors, però amb velocitats de fins a 44,736-34,368 Mbps, ja que agrupen, respectivament, 28/16 línies T1/E1. El cost és molt superior.
- OC-3 /12/48/192: es tracta en tots els casos de connexions de fibra òptica amb capacitats de 155,52-622,08 i 2.488 Mbps, i que en el cas d'OC-192 assoleix els 10 Gbps. Són línies amb capacitat molt alta i, tenint en compte que teòricament poden unir qualsevol punt de la Terra (amb infraestructura suficient), poden arribar a tenir costos tan astronòmics que només certs consorcis d'empreses s'ho poden permetre. Per exemple, Internet 2 empra, tant als EUA com a Europa, línies OC-192.

Les línies dedicades han constituït la solució més simple i més habitual per a interconnectar dues xarxes distants, fins a la generalització d'Internet. Com més va més aplicacions trien l'ús d'intranets o la Internet pública en detriment de les línies dedicades, ja que ofereixen una amplada de banda mitjana elevada (ADSL ofereix enllaços de més de 4 Mbps). No obstant això, el seu ús és encara ampli en les aplicacions d'alta capacitat en les quals l'amplada de banda i la resposta en el temps són factors crítics.

### 3. El nivell d'enllaç en les xarxes de transport WAN

Estudiarem les tecnologies de transport WAN, com X.25, retransmissió de trama, ATM i MPLS, íntimament associades al nivell d'enllaç.

#### 3.1. X.25

El CCITT (avui ITU-T), el 1974, preocupat per la possibilitat que els sistemes de xarxa pública de dades als diferents estats europeus no fossin compatibles entre si, va proposar una norma internacional per a protocols d'accés a xarxes de comunicacions en els nivells 1, 2 i 3 de la torre OSI. L'estàndard X.25 va ser aprovat l'any 1976 pel CCITT i d'aleshores ençà ha experimentat diverses modificacions, fruit dels canvis tecnològics que s'han anat succeint. Constitueix la primera xarxa de commutació de paquets utilitzada àmpliament i d'abast mundial. Moltes xarxes públiques d'àmbit estatal l'utilitzen com a nucli fonamental del seu sistema de transmissió: TRANSPAC a França, PSS a la Gran Bretanya, IBERPAC a Espanya i DATANET als Països Baixos. Fins als anys noranta X.25 va ser l'estàndard en xarxes públiques de paquets a Europa.

Avui dia X.25 és un dinosaure, principalment a causa de la inèrcia provocada per la gran extensió que va arribar a assolir, però encara s'utilitza en bastants àmbits (per exemple, el seu ús és generalitzat en el sector bancari i financer a Espanya, a través de la Red Uno de Telefónica).

X.25 especifica el funcionament de la interfície ETD-ETCD, en què l'ETD<sup>42</sup> és l'estació privada de l'usuari i l'ETCD<sup>43</sup> és l'equip mòdem de l'operador de telecomunicacions.

<sup>(42)</sup>ETD és la sigla d'*equip terminal de dades*.

<sup>(43)</sup>ETCD és la sigla d'*equip terminal de circuit de dades*.

X.25 va ser el primer conjunt de protocols que es va organitzar segons el model ISO/OSI. L'estàndard especifica la funcionalitat de les tres capes inferiors del model OSI per a connectar una estació amb un node d'accés a la xarxa:

- Nivell físic: regula els aspectes d'interfície mecànica, elèctrica, funcional i de procediment entre l'ETD i l'ETCD. X.25 utilitza les normes X.21 sobre comunicacions digitals i X.21 bis per a comunicacions analògiques (recomanacions V.24 i V.28). De vegades també se n'utilitzen altres, com l'RS-232.
- Nivell d'enllaç: bàsicament utilitza el protocol LAP-B<sup>44</sup> (Procediment d'Accés a Enllaç Balancejat), que és una versió de l'HDLC per a accés síncron balancejat (ABM<sup>45</sup>). Es tracta, doncs, d'un protocol de nivell d'enllaç orientat al bit, dúplex i transparent.

<sup>(44)</sup>LAP-B és la sigla de *link access procedure, balanced*.

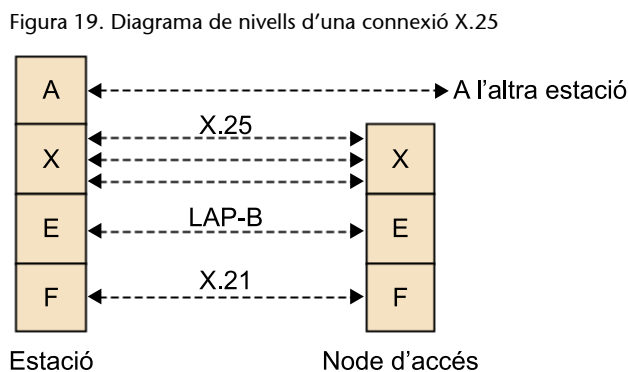
<sup>(45)</sup>ABM és la sigla d'*asynchronous balanced mode*.



- Nivell de xarxa: aquest nivell indica **com** s'han d'efectuar les connexions entre dos ETD a través de la xarxa. X.25 és una xarxa de commutació de paquets en mode circuit virtual, i ofereix dos modes d'establir una comunicació amb circuits virtuals:
  - Circuit virtual commutat: el funcionament del sistema és similar a una connexió telefònica usual en què hi ha connexió, transmissió i desconnexió. El nivell de xarxa defineix com es fa l'establiment i l'alliberació d'aquesta comunicació.
  - Circuit virtual permanent: actua com una línia llogada de manera que en qualsevol moment un dels dos ETD pot enviar un missatge sense necessitat d'establir una connexió, atès que aquesta és permanent. S'utilitza en situacions en què la intensitat de trànsit de dades és molt elevada.

El nivell de xarxa també regula l'encaminament i l'adreçament, fent referència a la norma X.121, que disposa un sistema de numeració dels ETD molt semblant al de l'XTC.

La figura 19 mostra una connexió segons l'estàndard X.25:



Quan va aparèixer X.25, les línies de transmissió no eren gaire fiables. Per això es va optar per incloure, tant en el nivell d'enllaç com en el de xarxa, control d'errors i control de flux. Això la fa molt robusta però, alhora, tanta sobrecàrrega de gestió limita la velocitat de transmissió màxima assolible, que és de 64 kbps.

Fins ara s'ha descrit el funcionament d'un ETD X.25, també conegut com a terminal de mode paquet. X.25 permet la possibilitat que terminals sense CPU o que no funcionin en mode paquet, anomenats *terminals en mode caràcter*, accedeixin a una xarxa que utilitza la interfície X.25. Perquè això sigui possible s'han de connectar a un equip conegut com a *PAD* (desacobrador acoblador de paquets), les funcions bàsiques del qual es podrien assimilar a les de terminal virtual del nivell d'aplicació.

El CCITT va definir un DEP per a teleimpressors que utilitzaven el codi núm. 5 del CCITT (equivalent a l'ASCII), les funcions del qual eren:

- Acoblar i desacoblar paquets d'acord amb el format X.25 d'una banda i amb el del terminal per una altra.
- Intercanviar informació de control de la xarxa amb el terminal.
- Efectuar el control lògic del terminal.

La normativa que regula el funcionament d'aquests DEP i dels terminals que hi poden accedir es compon de les recomanacions X.3, X.28 i X.29 (coneguda com a triple-X):

1) X.3: regula les característiques i el funcionament dels DEP.

2) X.28: es refereix a la interfície entre el DEP i el terminal de mode caràcter. Aquest funciona en mode asíncron i pot treballar en mode dúplex. Els ETD poden accedir als DEP sobre línia punt a punt o bé utilitzant accés XTC. L'alfabet utilitzat és el CCITT núm. 5 de 7 bits de dades i 1 de paritat, que és equivalent a l'US-ASCII. Els mòdem suportats corresponen a les normes V.21 i V.22 CCITT

3) X.29: defineix com es connecten els DEP amb els ETD en mode paquet, i amb altres DEP, i estableix la manera com s'ha d'efectuar el diàleg bidireccional entre tots.

Per a usuaris que disposaven de terminals de paquets però que feien un nombre de transferències de dades no gaire elevat, i que no requeririen una connexió directa a les xarxes X.25, hi havia la possibilitat de fer-ho a través de la xarxa telefònica. La norma que regula aquesta possibilitat és la X.32 del CCITT. X.32 permet utilitzar mòdems que compleixin des de V.22 a V.32 amb velocitats de fins a 4.800 bps en dúplex síncron. La utilització normal que una empresa podria fer d'aquesta norma seria tenir a la seva seu central accés directe X.25, i que efectués connexions X.32 des de les seves delegacions.

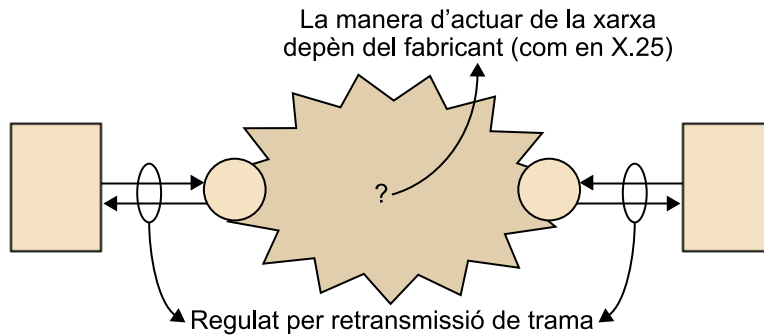
La norma X.75 defineix l'arquitectura dels protocols que poden governar la connexió entre dues xarxes de paquets X.25. Es tracta d'una passarel·la doble per a xarxes orientades a connexió que s'estableix a la capa de xarxa.

### **3.2. Retransmissió de trama**

La retransmissió de trama és una tècnica simplificada de commutació de paquets per al transport d'informació de dades.

La retransmissió de trama representa l'evolució de la xarxa X.25. Igual que el seu antecessor, la retransmissió de trama només regula la interfície usuari-xarxa. El funcionament intern de la xarxa no està normalitzat i depèn de cada fabricant.

Figura 20



La retransmissió de trama confia en la utilització de medis digitals d'alta velocitat i molt fiables (baixa taxa d'error). Per això, elimina funcions com el control de flux i la correcció d'errors de les capes d'enllaç i de xarxa, i deixa aquestes funcionalitats per als nivells superiors. Si la retransmissió de trama rep una trama errònia, simplement la descarta, i confia que sigui el protocol de nivell superior d'un equip final qui demani la retransmissió de la trama. D'aquesta manera, s'ha convertit en el complement perfecte del protocol TCP/IP.

A causa d'aquesta reducció de funcionalitats, tothom considera que la retransmissió de trama no és un protocol de nivell de xarxa, sinó de nivell d'enllaç. Pot assolir velocitats de fins a 2 Mbps i més en certes condicions (fins a 34/45 Mbps utilitzant un servei de multiplexació estadístic d'extrem a extrem).

La retransmissió de trama proporciona connexions entre usuaris a través d'una xarxa pública de commutació de paquets de la mateixa manera que ho faria una xarxa privada amb circuits punt a punt, ja que és orientada a la connexió. Està a mig camí entre una xarxa de commutació de paquets com X.25 i una xarxa de commutació de circuits com XDSI. Per això la retransmissió de trama és considerada com una xarxa de commutació de paquets en mode circuit virtual.

La retransmissió de trama ofereix dos tipus de circuits virtuals:

- 1) Circuits virtuals commutatats (SVC<sup>46</sup>): aquests només han estat definits en l'estàndard proposat per l'ITU-T i no per l'estàndard *de facto*.
- 2) Circuits virtuals permanents (PVC<sup>47</sup>): estan definits en tots els estàndards.

<sup>(46)</sup> SVC és la sigla de *switched virtual circuit*.

<sup>(47)</sup> PVC és la sigla de *permanent virtual circuit*.

Els circuits virtuals permanents es diferencien dels primers perquè tenen l'origen i la destinació prefixats, assignats per l'operador de la xarxa i, per tant, no són necessàries les fases d'establiment i alliberament. El servei que solen oferir els operadors de xarxes FR només inclou PVC, i s'utilitza típicament per a donar serveis de comunicacions a dintre d'una corporació.

La característica principal de les xarxes de retransmissió de trama és l'alta disponibilitat de què disposen. Per tot això moltes companyies la usen per a cursar trànsit telefònic, en el qual el més important (més que la probabilitat d'error) és tenir una elevada disponibilitat. Encara que la retransmissió de trama no és un protocol especialment dissenyat per a suportar trànsit multimèdia, àudio i vídeo en temps real, sí que s'utilitza per a la transmissió de dades combinat amb TCP/IP.

### 3.2.1. Arquitectura de la retransmissió de trama

A diferència d'X.25, la retransmissió de trama fa una separació física del pla de control i del pla d'usuari. El pla de control és la part de l'arquitectura de protocol per la qual circulen les dades de l'usuari i el pla d'usuari és la part de l'arquitectura de protocol per la qual circulen dades entre l'usuari i la xarxa per a supervisar la xarxa. La taula següent representa la pila de protocols de la retransmissió de trama:

	Pla d'usuari	Pla de control (gairebé no s'usa FR sobre la XDSI)	Pla de gestió i senyalització
Xarxa		Q.933 d'XDSI	Dos protocols: ILMI <sup>48</sup> i CLLM <sup>49</sup>
Enllaç	LAP-F	LAP-D d'XDSI	
Físic	Línia de sèrie (interfícies físiques: V.35, G.703) XDSI (BRI, PRI)	Sobre el pla d'usuari, excepte XDSI, en què s'utilitza canal D.	

<sup>(48)</sup>ILMI és la sigla d'*interin local management interface*.

<sup>(49)</sup>CLLM és la sigla de *consolidated link layer management*.

El protocol CLLM s'utilitza per a enviar informació de control de congestió, en aquells casos en els quals no hi ha trames en sentit contrari al congestionat (per a informar l'usuari de la congestió).

L'ILMI s'encarrega de comprovar l'estat de l'accés físic. F-R no té temporitzador, i per això supervisa l'estat de l'accés físic, mitjançant el protocol de senyalització, per a informar que s'ha danyat o hi ha errors.

### 3.2.2. Estàndards associats

La retransmissió de trama és un estàndard especificat pel CCITT (ara ITU-T) i l'ANSI en diverses recomanacions, que defineixen els senyals i la transmissió de dades en el nivell d'enllaç (nivell 2 d'OSI):

- Recomanació del CCITT I.122, que descriu el servei FR, incloent-hi SVC i PVC. És similar a l'ANSI T1.606. La multiplexació de circuits es fa al nivell 2, en lloc del nivell 3, com succeeix en el cas del protocol X.25.
- Recomanació CCITT Q.922, equivalent a l'ANSI T1.618, en què es defineix el servei FR com el nivell 2 d'XDSI.
- Recomanació del CCITT Q.933, equivalent a l'ANSI T1.617, que defineix els procediments de senyalització per a l'establiment dels SVC.
- Recomanació del CCITT I.433, que especifica la interfície física, tant per als PVC com els SVC.
- Recomanació del CCITT I.370, equivalent a l'ANSI T1S1/90-175R4 (*addendum* de la T1.606), que descriu els mètodes opcionals per al control de la congestió i gestió dinàmica de l'amplada de banda.

A més, hi ha el Frame Relay Forum, creat el 1990 per diversos fabricants, amb l'objectiu de promoure'n la utilització i editar especificacions complementàries, algunes de les quals han estat incorporades posteriorment pel CCITT.

### 3.2.3. Format de trama

El format de les trames emprades per la retransmissió de trama en el pla de l'usuari es basa en el LAP-D<sup>50</sup> especificat pel CCITT (Q.922) i ANSI (T1.618), similar a l'empleat en HDLC.

<sup>(50)</sup>LAP-D és la sigla de *link access protocol-D*.

Figura 21

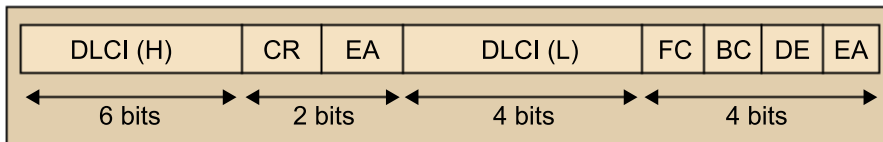
Indicador	Control	Dades	FCS	Indicador
1 octet	2 octets	Longitud variable	2 octets	1 octet

- **Flag:** té el mateix format que en LAB-B (01111110). S'utilitza per a sincronització de trama i també per a separar trames consecutives.
- **FCS o CRC:** codi detector d'errors de trama. Conté el resultat de dur a terme un control de redundància cíclica per a comprovar que s'ha transmès sense errors. En cas que es detecti una trama errònia, no es demana la retransmissió al node d'on procedeix, sinó que la trama sencera es descarta

i són els protocols de nivell superior en els DTE els encarregats de detectar la pèrdua i establir els procediments de recuperació i retransmissió.

- **Dades:** és on estan encapsulades les dades del nivell superior. La longitud del camp d'informació és ajustable a un valor màxim (fins a 4.096), dependent del servei requerit i, normalment, es tria de manera que la informació pròpia de l'aplicació (paquet TCP/IP, trama SDLC, paquet X.25, etc.) es pugui transmetre sense necessitat de ser trossejada. Normalment els operadors de xarxes FR la situen entorn de 1.600 octets. Aquesta gran diferència amb X.25 (128 octets) és deguda a l'escassa  $P_e$ .
- **CONTROL:** pot tenir diversos formats (com en X.25), però normalment sol tenir 16 bits de longitud (2 octets):

Figura 22



– **DLCI<sup>51</sup>:** identificador de connexió d'enllaç de dades (10 bits). Permet definir fins a 1.024 circuits virtuals. Amb el DLCI s'identifica el canal lògic al qual pertany cada trama. Els números de canal lògic s'assignen per contractació.

<sup>(51)</sup>DLCI és la sigla de *data link circuit identifier*.

– **EA<sup>52</sup>:** camp d'extensió d'adreça. Com que es permeten més de dos octets en el camp de control, aquest primer bit de cada octet indica (quan està marcat amb un 0) si darrere segueixen més octets o bé (quan està marcat amb un 1) si es tracta de l'últim del camp de control. Emprar més de dos octets resulta bastant infreqüent i s'utilitza en el cas que l'adreça de multiplexació (en el camp DLCI) superi els 10 bits.

<sup>(52)</sup>EA és la sigla d'*extended address*.

– **CR:** bit d'instrucció/resposta. És semblant al bit Q d'X.25, i igual com ocorria amb aquest, no és un bit utilitzat per la xarxa. S'introdueix per compatibilitat amb protocols anteriors, com els del tipus HDLC. Quan el protocol d'enllaç és fiable, utilitza aquest bit.

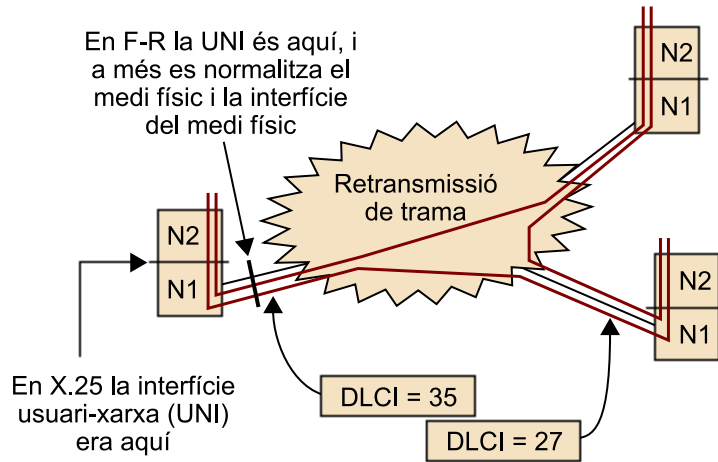
– **FC, BC i DE:** bits per a control de congestió.

### 3.2.4. Com treballa la retransmissió de trama

Una xarxa de retransmissió de trama està formada per nodes i terminals connectats a aquests nodes. El terminal (DTE) envia trames a la xarxa, i cada una conté un codi d'identificació DLCI que n'indica la destinació. Durant el procés de trucada o en contractar el servei a l'operador, tots els nodes al camí cap a la destinació final reserven un canal específic identificat amb un DLCI, pel qual

s'hauran d'enviar les trames amb el mateix identificador. Els nodes encaminen les trames cap a la seva destinació llegint el seu codi d'identificació. Aquest tipus de connexió es coneix com a enllaç virtual permanent.

Figura 23

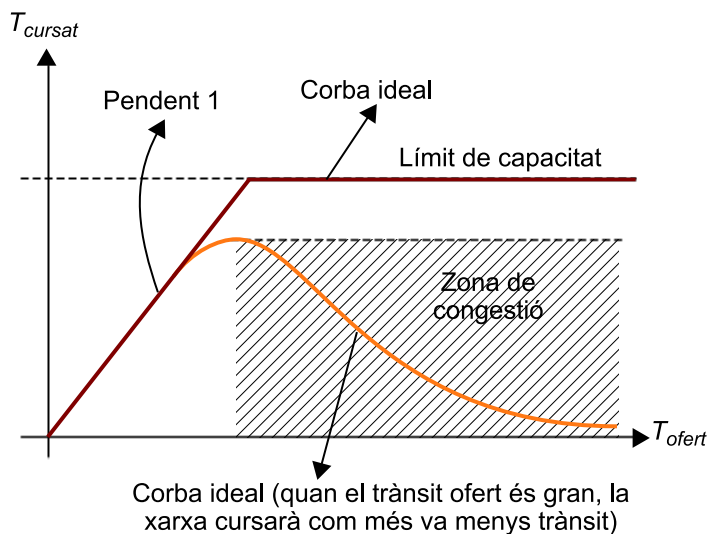


Veiem com, a diferència d'X.25, en la retransmissió de trama tindrem DLCI diferents en l'UNI per a dades entrants i sortints de la xarxa. A més, cada circuit es tracta d'un CVP, i no d'un CVC.

### 3.2.5. Control de congestió

El trànsit que pot cursar un node depèn del trànsit que li arriba i de la seva capacitat de commutació. Quan a un node li arriben dades que no pot cursar, les descarta, i es queden sense arribar a la seva destinació (és quan la corba cau).

Figura 24



Per evitar entrar a la zona de congestió, la retransmissió de trama usa el mecanisme de notificació i descart, funcionalitat implementada en el nivell 2 del pla de l'usuari. En cas de congestió, la xarxa notifica al DTE de l'usuari que disminueixi la seva taxa de trànsit injectat. Si no ho fa, la xarxa descartarà, mitjançant tècniques estadístiques, les dades que consideri oportú.

La implementació de la tècnica de notificació i descart es fa mitjançant els camps FECN, BECN i DE en el camp de control de la trama:

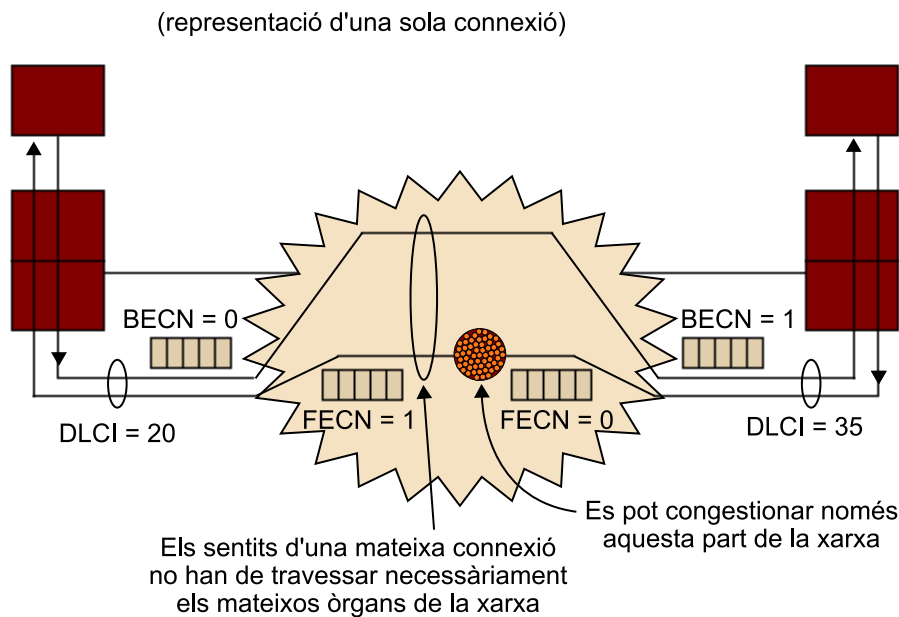
- **FECN<sup>53</sup>**: notificació de congestió en el sentit de la transmissió.
- **BECN<sup>54</sup>**: notificació de congestió en el sentit contrari a la transmissió.
- **DE<sup>55</sup>**: les trames que tenen aquest bit a 1 són susceptibles de descart en situacions de congestió.

<sup>(53)</sup> FECN és la sigla de *forward explicit congestion notification*.

<sup>(54)</sup> BECN és la sigla de *backward explicit congestion notification*.

<sup>(55)</sup> DE és la sigla de *discard eligibility*.

Figura 25



Cal assenyalar que la congestió és unidireccional, ja que hi pot haver camins diferents per als dos sentits de la transmissió, i mentre un pot estar sofrint problemes de trànsit (congestió), l'altre pot no tenir-ne.

Els bits FECN i BECN s'usen per a avisar en els dos extrems d'una connexió que hi ha congestió, de la manera següent: a una trama que travessa una zona congestionada se li posa el seu bit FECN a 1. La xarxa identifica les trames d'aquesta connexió que circulen en sentit contrari i hi marca el bit BECN també a 1. La xarxa FR només notifica la congestió a l'origen i a la destinació. En cas que el nivell superior de l'origen no redueixi la taxa, la retransmissió de trama procedirà a descartar trames.



### 3.2.6. QoS

La retransmissió de trama permet contractar una certa qualitat de servei o amplada de banda assegurada per a cada circuit virtual. Aquesta qualitat està definida mitjançant certs paràmetres:

- $CIR^{56}$  (bps): és la taxa d'informació compromesa, és a dir, el cabal mitjà garantit que la xarxa es compromet a donar en una connexió durant un interval de temps definit ( $T_c$ ). És un paràmetre associat a cada sentit de la transmissió de cada circuit virtual, i es pot fer asimètrica, és a dir, donar un valor diferent del  $CIR$  per a cada sentit.
- $EIR^{57}$ : marge de tolerància que es donarà a l'usuari, és a dir, com se li permetrà excedir el  $CIR$  contractat de manera puntual i sempre que no hi hagi congestió a la xarxa.
- $T_c^{58}$ : interval d'observació. Paràmetre de l'algorisme per a calcular el  $CIR$ .
- $B_c^{59}$ : volum d'informació compromesa per la companyia durant l'interval  $T_c$ :

$$B_c = CIR \cdot T_c$$

- $B_e^{60}$ : volum d'informació en excés:

$$B_e = EIR \cdot T_c$$

<sup>(56)</sup>  $CIR$  és la sigla de *committed information rate*.

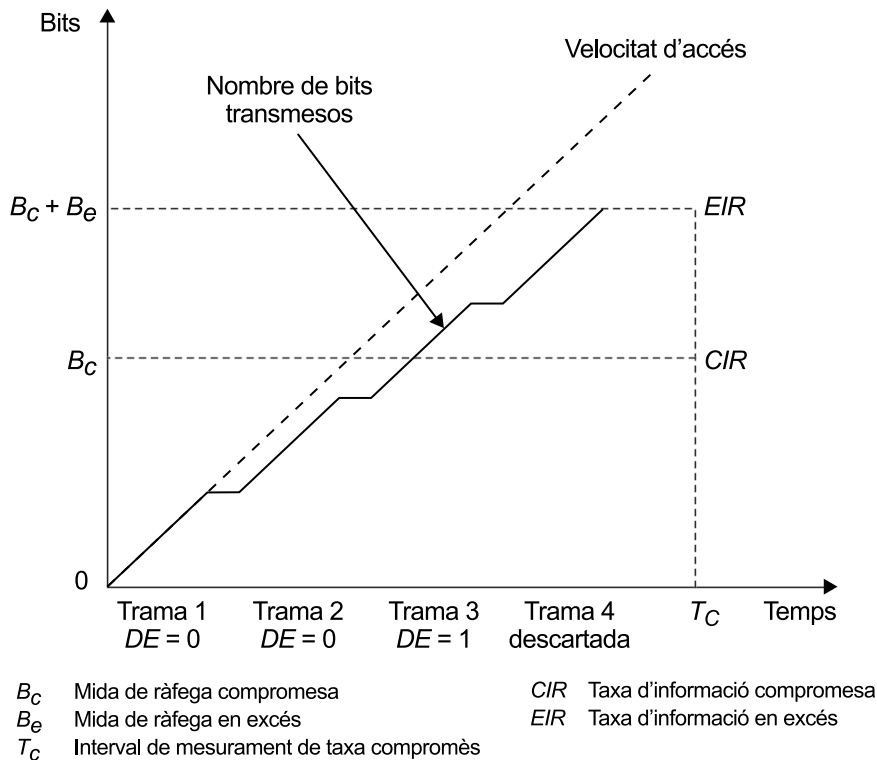
<sup>(57)</sup>  $EIR$  és la sigla d'*excess information rate*.

<sup>(58)</sup>  $T_c$  denota *committed rate measurement interval*.

<sup>(59)</sup>  $B_c$  denota *committed burst size*.

<sup>(60)</sup>  $B_e$  denota *excess burst size*.

Figura 26



Si la informació cursada durant l'interval  $T_c$ ...

- no sobrepassa  $B_c$ : està garantida la transmissió.
- es troba entre  $B_c$  i  $B_c + B_e$ : no se sap si arribarà o no a la seva destinació (la companyia no ho garanteix). Hi ha un bit en la trama (bit  $DE$ ) que és activat per la xarxa en trames que superin  $B_c$  (és a dir, aquelles que pertanyin a  $B_e$ ) per a indicar que aquestes trames haurien de ser descartades en preferència d'altres, si és necessari.
- excedeix de  $B_c + B_e$ : és segur que no arribarà.

En la interfície usuari-xarxa es controla, per a cada circuit virtual, que els usuaris s'ajustin als paràmetres  $B_c$  i  $B_e$  que han negociat. Si la xarxa està ben dissenyada no ha de perdre dades que no superin el trànsit compromès.

### Exercicis

1. Mantenint el  $CIR$ , què convé més a un abonat, un  $T_c$  gran o petit?

#### Solució de l'exercici 1

Si el  $T_c$  s'agafa gran, hi ha la possibilitat de transmetre grans pics d'informació en alguns moments i gens d'informació en d'altres. Per tant, un  $T_c$  petit ens garanteix que la transmissió sigui més homogènia (això interessa a l'empresa, ja que així s'evita sobredimensionar les xarxes).

2. Per què es notifica a la destinació la congestió?

#### Solució de l'exercici 2

Perquè sigui conscient que es poden estar perdent trames que tenen marcat el bit *DE* a 1, i perquè alguns protocols de nivells superiors tenen capacitat de control de flux d'extrem a extrem i poden prendre mesures pel que fa a això.

### 3.3. XDSI de banda ampla i ATM

#### 3.3.1. Orígens de la XDSI de banda ampla

A mitjan dècada dels vuitanta el CCITT (avui ITU-T) comença a treballar en una segona generació de la XDSI, coneguda com a *XDSI de banda ampla* (XDSI-BA). En aquella època hi havia predominantment dos tipus de xarxes:

- 1) Les xarxes telefòniques utilitzades principalment per a portar veu en temps real, basades en xarxes de commutació de circuits, que en la seva immensa majoria eren analògiques.
- 2) Les xarxes de dades que s'utilitzaven fonamentalment per a transferir arxius de text, suportar connexió remota i proporcionar correu electrònic. Per exemple, podem destacar la xarxa X.25, basada en commutació de paquets.

Hi havia també xarxes privades dedicades disponibles per a videoconferència i, encara que existia Internet, en aquella època, encara no s'havia generalitzat el seu ús (encara no s'havia sentit parlar de la World Wide Web).

Per tant, era natural que els operadors de telecomunicacions volguessin dissenyar una nova xarxa per a reemplaçar l'antic sistema de telefonia i les xarxes especialitzades de dades (X.25) en una sola xarxa integrada que oferís noves capacitats de servei: vídeo per demanda, televisió, correu electrònic multimèdia, música en qualitat CD, interconnexió de LAN, línia telefònica de veu i altres aplicacions per a la indústria i la ciència.

El 1988 el CCITT va proposar la recomanació I.121 per a utilitzar ATM com la tecnologia de base per a liderar el projecte de la gran xarxa de xarxes per al transport digital de dades. Dos comitès d'estàndards, l'ATM Forum i la ITU, van desenvolupar estàndards per a xarxes de serveis digitals de banda ampla basats en ATM.

### 3.3.2. ATM

ATM es fonamenta en tres principis:

- 1) Commutació de paquets d'una mida reduïda i fixa, anomenats *cel·les*.
- 2) Tecnologia basada en circuits virtuals.
- 3) Utilització d'altres velocitats de transmissió.

El problema clàssic que trobem en la commutació de paquets és la impossibilitat de poder garantir un cert grau de qualitat de servei a un usuari, en no tenir reservat en exclusiva un camí des de l'origen fins a la destinació. La commutació de cel·les en mode circuit virtual a altes velocitats permet simular les condicions d'una commutació de circuits, i per tant, poder oferir serveis amb una certa qualitat de servei.

ATM és orientat a la connexió, igual que una xarxa de commutació de circuits. En el moment d'iniciar la comunicació cap a una destinació, ha d'establir el camí virtual que seguiran totes les cel·les des de l'origen fins a la destinació. Aquest camí no canvia durant tota la comunicació i, per tant, si cau un node la comunicació es perd. Tots els encaminadors intermedis (o commutadors) al llarg del camí introdueixen entrades a les seves taules per a encaminar qual-sevol paquet del circuit virtual, i també reservaran els recursos necessaris per a garantir durant tota la sessió la qualitat del servei a l'usuari. Per això ATM garanteix l'ordre d'arribada de les cel·les, però no garanteix la recepció d'una cel·la, ja que la pot descartar si no és correcta.

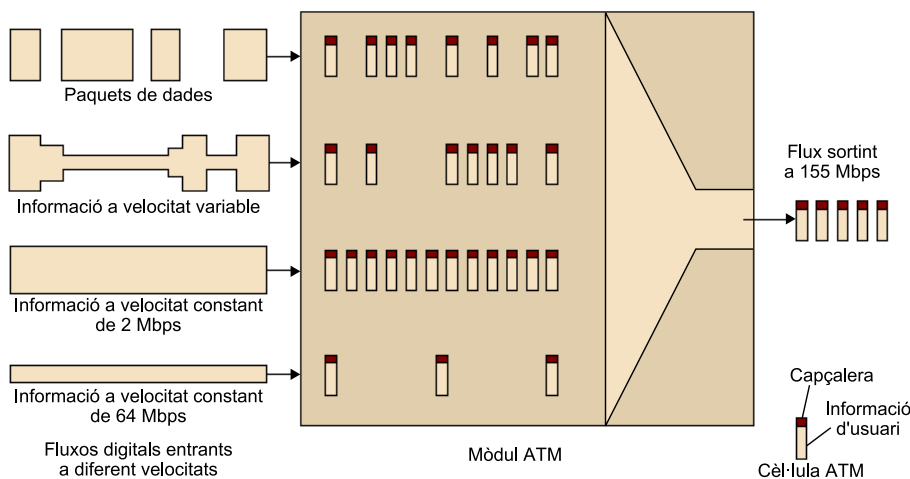
ATM utilitza paquets d'una mida fixa i reduïda, anomenats **cel·les**. Cada cel·la té una mida de 53 octets, dels quals 5 octets són de capçalera, i els restants 48 octets de dades útils (*payload*). La utilització d'aquest tipus de cel·les té els avantatges següents:

- Facilita la commutació d'alta velocitat.
- Simplifica el maquinari en els commutadors i el processament necessari en cada node. Redueix la mida de les memòries intermèdies internes dels commutadors, i permet una gestió de les memòries intermèdies més ràpida i eficient.
- Redueix el retard de processament, ja que poden ser processades ràpidament i a més permeten fer aquesta operació per maquinari.
- Disminueix la variabilitat del retard, en tenir totes les cel·les la mateixa mesura, cosa que resulta essencial per a aquells serveis sensibles a la qüestió temporal, com són els de veu o vídeo.

Altres característiques d'ATM són:

- L'estàndard ATM defineix un conjunt total de protocols de comunicació des d'una API del nivell d'aplicació fins al final a baix a través de la capa física.
- ATM és asíncrona i no requereix l'existència d'un senyal de rellotge compartit entre emissor i receptor, i permet distàncies dels enllaços molt grans.
- ATM pot funcionar sobre qualsevol capa física. Sovint funciona sobre fibra òptica, utilitzant l'estàndard SONET a velocitats de 155,52 Mbps fins a 622 Mbps, i fins i tot més elevades (entorn del gigabit). La velocitat de 155 Mbps és va triar perquè és el que es necessita per a la televisió d'alta definició, i perquè sigui compatible amb el sistema de transmissió SONET. La velocitat de 622 Mbps es va triar per tenir 4 canals de 155 Mbps que es puguin transmetre sobre un de sol.
- ATM és un sistema flexible, dissenyat per a suportar una àmplia diversitat de tipus de trànsit: de taxa constant de bits (CBR), de taxa variable de bits (VBR), de taxa disponible de bits (ABR), i de taxa no especificada de bits (UBR).
- Permet convertir qualsevol tipus de trànsit en cel·les de 53 octets i transportar-lo sobre una columna o WAN. Permet multiplexar les connexions de diferents fluxos de dades sobre la mateixa interfície física, a causa de les altes velocitats a les quals funcionen els equips ATM.

Figura 27



En la figura s'observa com diferents fluxos d'informació, de característiques diferents, són agrupats en el mòdul ATM per a ser transportats mitjançant grans enllaços de transmissió a velocitats de 155 o 622 Mbps

- ATM no proporciona retransmissions en termes d'enllaç a enllaç. Si un commutador<sup>61</sup> detecta un error en una capçalera de cel·la ATM, intenta corregir l'error utilitzant codis correctors d'errors. Si no pot corregir l'error,

<sup>(61)</sup>En anglès, *switch*.

rebutja la cel·la, en lloc de sol·licitar una nova retransmissió des del commutador precedent.

- ATM només proporciona control de congestió per a un determinat tipus de trànsit (ABR). Els commutadors ATM proporcionen realimentació al terminal emissor per a ajudar a regular-ne la taxa de transmissió en els moments de congestió de la xarxa.

### 3.3.3. Format de les cel·les ATM

Són estructures de dades de 53 octets compostes per dos camps principals:

1) **Header.** Els seus 5 octets tenen tres funcions principals: identificació del canal, informació per a la detecció d'errors, i si la cèl·lula és o no utilitzada. Eventualment pot contenir també correcció d'errors i un número de seqüència.

2) **Payload.** Té 48 octets fonamentalment amb dades de l'usuari i protocols AAL, que també són considerats com a dades de l'usuari.

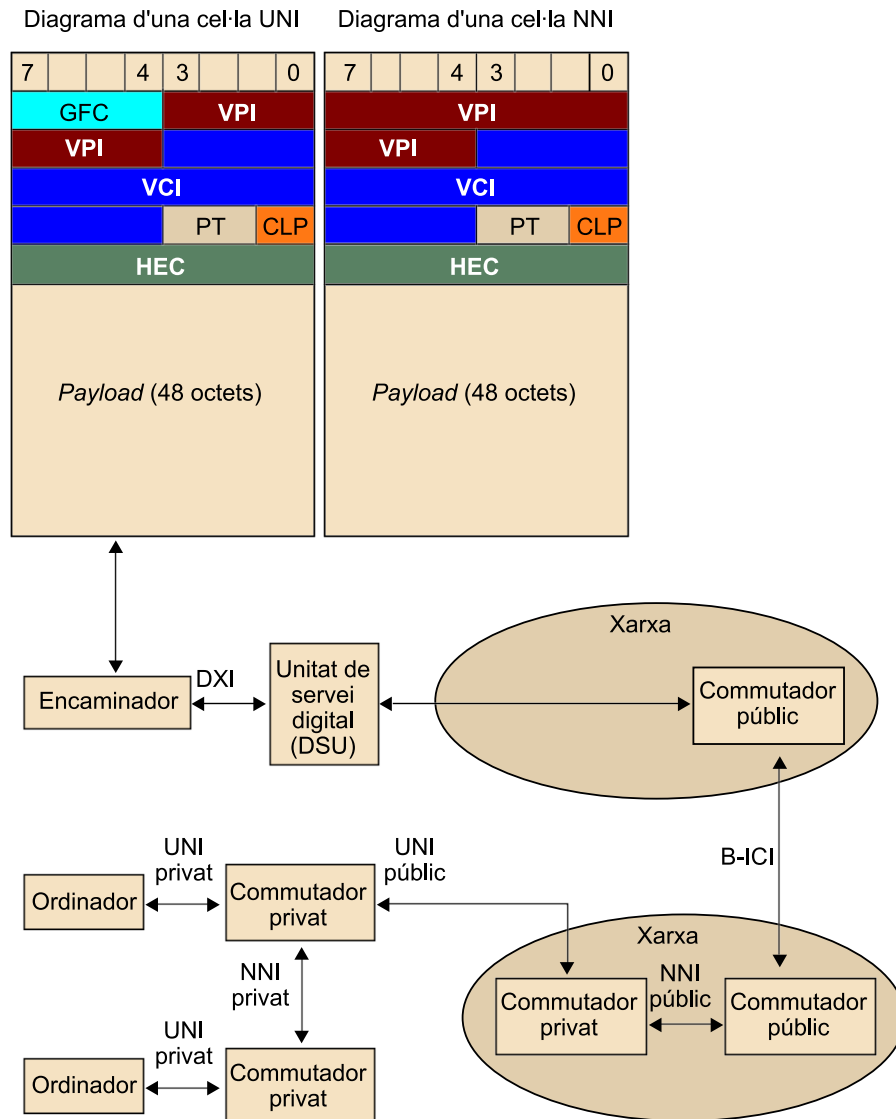
Dos dels conceptes més significatius de l'ATM, canals virtuals i rutes virtuals, estan materialitzats en dos identificadors en la capçalera de cada cèl·lula (VCI i VPI); tots dos determinen l'encaminament entre nodes. L'estàndard defineix el protocol orientat a connexió que les transmet i dos tipus de format de cel·la:

- NNI<sup>62</sup> (interfície de xarxa a xarxa), que es refereix a la connexió de commutadors ATM en xarxes privades.
- UNI<sup>63</sup> (interfície d'usuari a xarxa), que es refereix a la connexió d'un commutador ATM d'una empresa pública o privada amb un terminal ATM d'un usuari normal. Aquesta última opció és la més utilitzada.

<sup>(62)</sup> NNI és la sigla de *network to network interface*.

<sup>(63)</sup> UNI és la sigla de *user to network interface*.

Figura 28



- GFC<sup>64</sup> (4 bits): l'estàndard originàriament va reservar el camp GFC per a tasques de gestió de trànsit, però en la pràctica no és utilitzat. Les cel·les NNI l'empren per a estendre el camp VPI a 12 bits.
- VPI<sup>65</sup> (8 bits) i VCI<sup>66</sup> (identificador de circuit virtual, 16 bits): s'utilitzen per a indicar la ruta de destinació o final de la cel·la.
- PT<sup>67</sup> (3 bits): identifica el tipus de càrrega útil que conté la cel·la (de dades de l'usuari o de control). Hi ha diversos tipus de càrrega útil de dades, diversos de manteniment (indica si hi ha congestió a la xarxa), i un tipus de càrrega útil de cel·la buida.
- CLP<sup>68</sup> (1 bit): indica el nivell de prioritat de la cel·la; si aquest bit està actiu quan la xarxa ATM està congestionada la cel·la pot ser descartada.

<sup>(64)</sup> GFC és la sigla de *generic flow control*.

<sup>(65)</sup> VPI és la sigla de *virtual path identifier*.

<sup>(66)</sup> VCI és la sigla de *virtual channel identifier*.

<sup>(67)</sup> PT és la sigla de *payload type*.

<sup>(68)</sup> CLP és la sigla de *cell loss priority*.

- HEC<sup>69</sup> (8 bits): conté un codi de detecció d'error que només cobreix la capçalera (no la informació d'usuari), i que permet detectar un bon nombre d'errors múltiples i corregir errors simples.

<sup>(69)</sup>HEC és la sigla de *header error correction*.

### 3.3.4. Connexions virtuals ATM

Les connexions lògiques ATM estan relacionades amb les connexions dels canals virtuals (VCC), que indiquen el camí fix que ha de seguir la cel·la. La connexió entre dos sistemes finals és pot fer mitjançant el següent:

- Camins de transmissió (TP<sup>70</sup>): connexió física entre un sistema final i un commutador, o entre dos commutadors).
- Camí virtual (VP<sup>71</sup>): conjunt d'una o més connexions entre dos commutadors. El camp VPI de la cel·la ATM identifica un camí virtual.
- Circuit virtual (VC<sup>72</sup>): totes les cel·les que pertanyen al mateix missatge viatgen pel mateix circuit virtual i mantenen el seu ordre original fins a arribar a la destinació. El camp VCI de la cel·la ATM identifica un canal virtual.

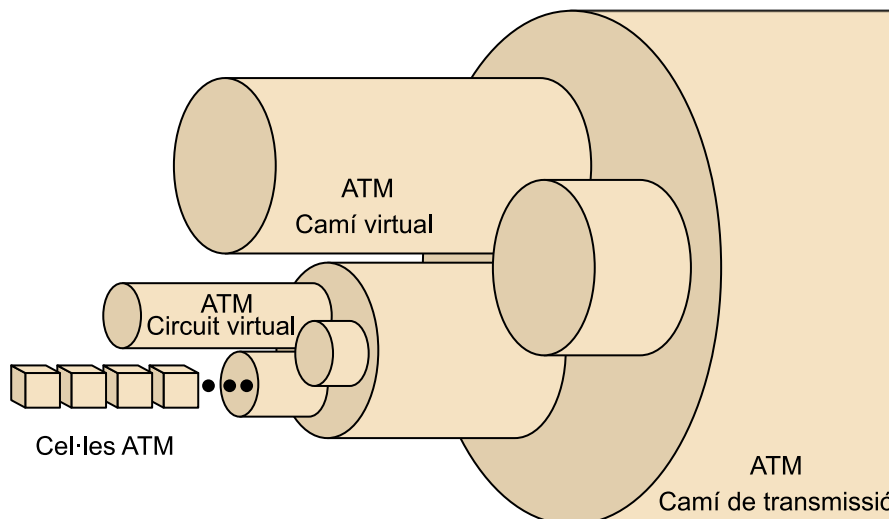
<sup>(70)</sup>TP és la sigla de *transmission path*.

<sup>(71)</sup>VP és la sigla de *virtual path*.

<sup>(72)</sup>VC és la sigla de *virtual channel*.

Diversos circuits virtuals formen un camí virtual. La concatenació de diversos camins virtuals forma un canal físic de transmissió.

Figura 29. Connexions virtuals



En ATM s'ofereixen dos tipus de connexions:

- 1) Els circuits commutats virtuals, com són les trucades telefòniques de veu (s'estableixen dinàmicament).



2) Els circuits virtuals permanents, que són sol·licitats manualment per l'usuari final (per exemple, per a enviar una fax). Poden estar desats dins les taules d'encaminament durant molt de temps (mesos o anys). L'avantatge sobre la commutació virtual de circuits és que no cal cap tipus de temps per a establir el circuit, ja que els paquets es mouen instantàniament. Els troncs ATM en Internet utilitzen, sovint, circuits virtuals permanents, cosa que evita la necessitat d'establiment o destrucció de VC dinàmics.

### 3.3.5. Funcionament d'ATM

#### Emissor

Abans que una font pugui començar a enviar cel·les a una destinació, la xarxa ATM ha d'establir primer un canal o circuit virtual (VC) des de la font a la destinació. Cada VC és un recorregut que consta d'una seqüència d'enllaços entre la font i la destinació. En cada un dels enllaços el VC té un identificador de circuit virtual (VCI). Quan s'estableix o es destrueix un VC s'han d'actualitzar les taules de traducció de VC.

En el terminal transmissor, la informació és escrita octet a octet en el camp d'informació d'usuari de la cel·la i a continuació se li afegeix la capçalera. Cada cel·la inclou a la seva capçalera un camp per al número de circuit virtual, VCI, que és utilitzat per a encaminar la cel·la cap a la seva destinació.

#### Commutació

El component principal d'una xarxa ATM és el commutador, dissenyat per a transmetre informació a molt alta velocitat. El commutador encamina individualment cada cel·la ATM basant-se en el camí virtual (VPI) i en el circuit virtual (VCI) de la seva capçalera. Quan una cel·la arriba a un encaminador, aquest li canvia l'encapçalament segons la taula que té i l'envia a l'enllaç següent amb un VPI o un VCI nou.

#### Receptor

En l'extrem distant, el receptor extreu la informació, també octet a octet, de les cel·les entrants, i d'acord amb la informació de capçalera, l'envia on aquesta li indiqui, de manera que pot ser un equip terminal o un altre mòdul ATM per a ser encaminada a una altra destinació.

### 3.3.6. Model de la torre ATM

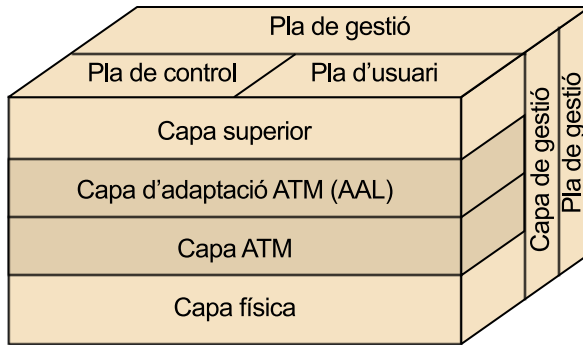
El model de difusió XDSI amb ATM té el seu propi model de referència, diferent del model OSI i del model TPC/IP. La pila de protocols d'ATM consta de tres capes:

1) La capa física, que s'encarrega d'aspectes com voltatge, sincronització de bit, etc.

2) La capa ATM, que defineix l'estructura de la cel·la ATM, el camp de *payload*, la capçalera i els significats dels camps d'aquesta última. També gestiona l'establiment i alliberament dels circuits virtuals. El control de la congestió també està situat en aquesta capa.

3) La capa d'adaptació ATM (AAL), que permet que les aplicacions puguin enviar paquets de mida molt superior a la d'una cel·la. Aquesta capa segmenta els paquets, els transmet en cel·les individualment i els reacobra a l'altra part de l'enllaç. ATM inclou 7 tipus diferents d'AAL per a suportar diferents tipus de serveis.

Figura 30. El model ATM



El model ATM no és bidimensional, sinó que és tridimensional.

- El pla d'usuari parla del transport de la informació, el control de flux, la correcció d'errors i altres funcions d'usuari.
- El pla de control té a veure amb la gestió de la connexió i dels recursos. Aquests dos plans tenen les seves funcions coordinades.
- El pla de gestió, que és utilitzat per l'operadora per a comprovar el nivell de servei ofert.

### 3.3.7. Nivells de la torre ATM

La capa física i la capa AAL estan dividides cadascuna en dues subcapes. La capa física té dues subcapes: la subcapa dependent del medi físic (PMD) i la subcapa de convergència de transport (TC). La capa AAL es divideix en la subcapa SAR<sup>73</sup> i la subcapa CS<sup>74</sup>. Les funcions són les següents:

<sup>(73)</sup>SAR és la sigla de *segmentation and reassembly*.

<sup>(74)</sup>CS és la sigla de *convergence sublayer*.

Capa OSI	Capa ATM	Capa ATM	Funcionalitat
Transport	AAL	CS	Proporciona una interfície estàndard (convergència)

Capa OSI	Capa ATM	Capa ATM	Funcionalitat
		SAR	Segmentació i reacoblament
Xarxa	ATM		Control de flux Generació de la capçalera de la cel·la i extracció Gestió del camí virtual Multiplexació de cel·la i desmultiplexació
Enllaç	Física ATM	TC	Generació i verificació del CRC de la capçalera Generació de la cel·la. Empaquetament i desempaquetament de cel·les Inserció de cel·les buides. Alineació de cel·les Adaptació de marcs a la transmissió
Físic		PMD	Interfície amb el medi físic: accés físic a la xarxa Voltatges i temporitzacions de bits (sincronisme de bit) Estructura de les trames

### 3.3.8. Subcapa PMD

La subcapa PMD<sup>75</sup> fa d'interfície amb el medi físic de transmissió, del qual depèn. És responsable de generar i delinear els bits, i no reconeix l'estructura d'una cel·la. Hi ha especificacions de subcapa PMD per a diferents medis físics:

<sup>(75)</sup>PMD és la sigla de *physical medium dependent*.

- SONET/SDH (xarxa òptica síncrona jerarquia digital síncrona) sobre fibra òptica monomode. Hi ha diverses taxes estandarditzades, com OC-1 (51,84 Mbps), OC-3 (155,52 Mbps) i OC-12 (622,08 Mbps).
- T1 i T3, sistemes de transmissió sobre fibra òptica, microones i coure.

### 3.3.9. Subcapa de convergència de transmissió (TC)

La subcapa TC també depèn del medi físic utilitzat per la subcapa PMD.

En emissió:

- Accepta cel·les del nivell ATM i les transforma en una seqüència de bits per a transmetre-les sobre el medi físic.
- Genera l'octet HEC, de control d'errors de la capçalera de la cel·la, per a cada cel·la ATM que es transmet. L'HEC es calcula sobre els primers 32 bits de la capçalera de la cel·la, utilitzant un polinomi generador de 8 bits:

$$G(x) = x^8 + x^2 + x + 1$$

- Assegura la sincronització en mitjans de transmissió síncrons, transmetent cel·les de farciment no útils, en cas de no haver-hi cel·les útils preparades.

- Envia cel·les OAM<sup>76</sup>, utilitzades pels commutadors ATM per a intercanviar informació de control sobre la xarxa, com el grau de congestió.

<sup>(76)</sup>OAM és la sigla d'*operation and maintenance*.

En recepció, la subcapa TC ha de prendre el flux de bits entrant de la subcapa PMD, localitzar el principi i final de cada cel·la, verificar l'HEC per descartar les cel·les incorrectes, processar les cel·les OAM i les cel·les inútils, i passar a la capa ATM les cel·les de dades.

### Exercici

3. Com ho fa ATM per a detectar el principi i final de cada cel·la?

#### Solució de l'exercici 3

La detecció del principi i final de cada cel·la es fa per mecanismes completament diferents dels utilitzats en HDLC. No hi ha cap seqüència de bits característica del principi i final de cada cel·la, com l'indicador d'HDLC, però sí que se sap que cada cel·la ocupa exactament  $53 \times 8 = 424$  bits, per la qual cosa, una vegada localitzat el principi d'una, serà fàcil trobar les següents.

La clau per a trobar la primera cel·la és l'HEC: en recepció la subcapa TC captura 40 bits de la seqüència d'entrada (la mida d'una capçalera) i parteix de la hipòtesi que sigui el principi d'una cel·la vàlid; si ho és, el càlcul de l'HEC serà correcte; si no, desplaça la seqüència un bit i repeteix el càlcul. En el pitjor dels casos, el TC haurà de repetir el procés 424 vegades fins a localitzar, finalment, el principi d'una cel·la. Ara bé, a partir de la primera i, mentre es mantingui el sincronisme, li serà fàcil localitzar totes les que segueixen.

No obstant això, com la probabilitat de trobar un CRC de 8 bits vàlid en una seqüència aleatòria de bits és només  $1/256$ , es repeteix la prova amb  $n$  cel·les següents, i si el resultat continua essent correcte, es decideix que s'ha trobat la sincronització.

### 3.3.10. Capa ATM

La capa ATM defineix l'estructura de les cel·les ATM, incloent-hi la generació i el transport. S'encarrega d'encaminar les cel·les ATM a través dels diferents commutadors basant-se en els identificadors de circuit virtual. Altres funcions de la capa ATM són:

- Transmissió/commutació/recepció de les cel·les
- Control de congestions/gestió de memòries intermèdies<sup>77</sup>
- Generació/eliminació de les capçaleres de les cel·les en font/destinació
- Traducció de les adreces de les cel·les

<sup>(77)</sup>En anglès, *buffers*.

### 3.3.11. Capa AAL

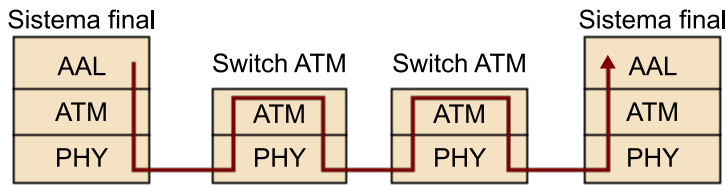
La capa AAL permet l'adaptació de diferents tipus de trànsit a l'estructura de cel·les ATM. Descompon els missatges de les capes superiors en cel·les ATM i en recepció reacobra el missatge. L'ITU i el Forum ATM han estandarditzat diverses AAL, entre les quals podem destacar:

- AAL 1: per a serveis de taxa de bits constant (CBR) i emulació de circuits.
- AAL 2: per a serveis de taxa de bits variable (VBR).

- AAL 5: per a dades (per exemple, datagrames IP).

La capa AAL s'implementa únicament en els extrems d'una xarxa ATM.

Figura 31



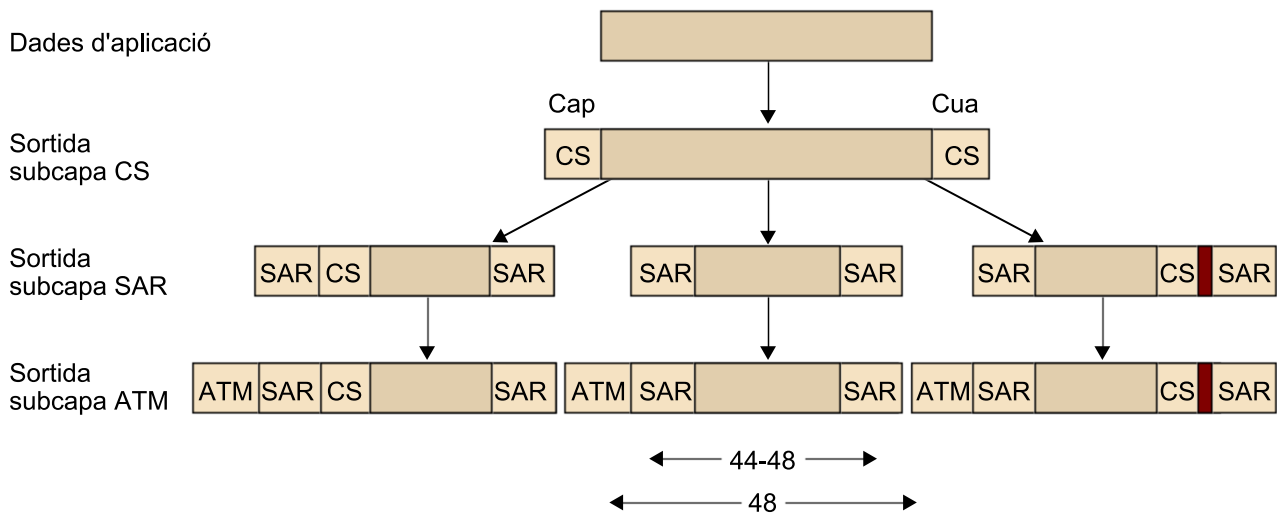
AAL té dues subcapes: la subcapa de convergència (CS) i la subcapa de segmentació i reacoblament (SAR).

En la subcapa de convergència es reben les dades de les capes més altes (per exemple, un datagrama IP) i s'encapsulen en una trama CS, amb una capçalera i una cua.

Típicament, la trama CS és massa gran per a cabre en la part de dades d'una cel·la ATM; per tant ha de ser segmentada en la font i acoblada en la destinació. La subcapa SAR segmenta la trama CS i li afegeix els bits de la capçalera i de la cua SAR per a formar la part de dades de les cel·les ATM. Depenent dels tipus d'AAL, les capçaleres i les cues de SAR i CS poden ser buides.

Figura 32

Dades d'aplicació

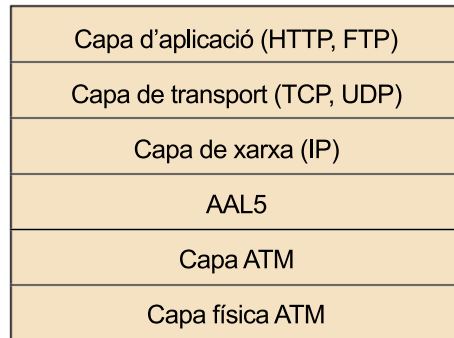


### 3.3.12. IP sobre ATM

Actualment ATM s'utilitza molt com a tecnologia de la capa d'enllaç en xarxes troncales d'Internet. S'ha desenvolupat un tipus especial d'AAL, AAL5, per a permetre que TCP/IP s'interconnecti amb ATM. En emissió la capa d'adaptació (la capa AAL5) prepara els datagrames IP per al transport sobre xarxes ATM i en recepció reacobra les cel·les ATM en datagrames IP.

La figura 33 mostra la pila de protocols d'Internet sobre ATM:

Figura 33

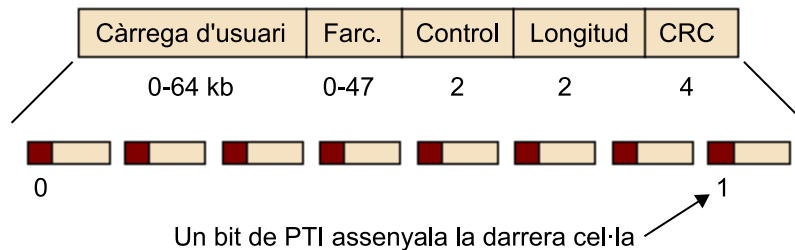


Les tres tapes d'ATM han estat comprimides a les dues capes més baixes de la pila de protocols d'Internet. La capa de xarxa d'Internet veu ATM com un protocol de la capa d'enllaç.

### 3.3.13. Trama AAL5

En AAL5, la subcapa SAR no afegeix res; per tant, els 48 octets de la part de dades d'ATM s'utilitzen per a transportar enterament dades de la trama CS, que té l'estructura següent:

Figura 34. Trama de la subcapa de convergència (CS)



Un datagrama IP ocupa la part de dades de la trama CS (d'1 a 65.535 octets). El camp de farciment garanteix que la trama CS sigui un enter múltiple de 48 octets. El camp de longitud identifica la mida de la part de dades de CS, per la qual cosa el farciment es pot eliminar en el receptor. El CRC és el mateix que l'utilitzat en Ethernet, CRC-32, que protegeix la càrrega i la cua (excepte el CRC mateix).

En l'emissor ATM, la subcapa SAR d'AAL5 divideix la trama CS en segments de 48 octets, per a conformar així cel·les ATM. Un bit en el camp PT de la capçalera de la cel·la ATM, que normalment està a 0, es col·loca a 1 per a l'última cel·la de la trama CS.

En la destinació ATM, la capa dirigeix les cel·les amb un VCI específic a una memòria intermèdia de la subcapa SAR. Les capçaleres de cel·la ATM són eliminades, i s'utilitza el bit que indica AAL per a delimitar les trames CS. Una

vegada que la trama CS està delimitada, es passa a la subcapa de convergència de l'AAL. Allà s'utilitza el camp de longitud per a extreure la part de dades de CS (per exemple, un datagrama IP), que es passa a la capa més alta.

### 3.3.14. Present i futur d'ATM

En els anys noranta la tecnologia ATM va ser desplegada molt agressivament en enllaços de gran capacitat i distància dels operadors de telecomunicacions, per a línies telefòniques, televisió per cable i distribució de vídeo per cable. Es van crear un gran nombre de tecnologies ATM de prestacions elevades, com els commutadors ATM, que poden commutar a velocitats de terabits per segon.

Però la batalla d'ATM per ser la gran xarxa de xarxes digital es va començar a perdre en el mercat de les xarxes d'àrea local. La implantació de l'ATM LAN no va tenir l'èxit esperat a causa del següent:

- La flexibilitat d'Ethernet, en què Gigabit Ethernet, i més tard 10 Gigabit Ethernet, la van desbancar en entorns LAN i MAN, incorporant conceptes com la qualitat de servei, el control de flux, dúplex, etc., que fins llavors només suportava ATM, i tot això a un cost comparativament molt inferior.
- L'eclosió dels protocols d'Internet TCP/IP. Milers d'empreses van desenvolupar noves aplicacions i serveis per a Internet.

Encara que ATM no s'ha arribat a mantenir com una solució de computador a computador, ha trobat un nínxol en el nivell d'enllaç de les xarxes troncales d'Internet, que es coneix com a IP sobre ATM.

Avui dia també s'empra habitualment en el bucle d'abonat per a donar suport a ADSL i pot tenir quelcom a dir en el desenvolupament de les xarxes metropolitanas sense fils. No obstant això, la tecnologia emergent MPLS està començant a substituir ATM en entorns WAN.

## 3.4. MPLS

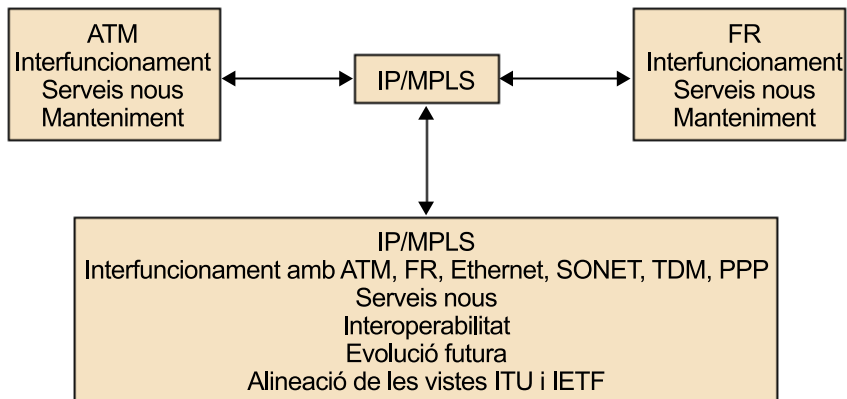
La tecnologia emergent MPLS<sup>78</sup> (commutació d'etiquetes multiprotocol) ha resultat ser un dur competidor d'ATM, per al seu ús en el mercat d'integració de xarxes.

<sup>(78)</sup>MPLS és la sigla de *multiprotocol label switching*.

MPLS emprava una filosofia d'integració entre commutació de circuits i commutació de paquets, però està dissenyat atenent millor l'estat actual de la tècnica que ATM, per la qual cosa presenta avantatges evidents sobre aquest. MPLS és un mecanisme de transport de dades capaç d'emular el funcionament de les xarxes de commutació de circuits, com ATM sobre xarxes de commutació de paquets. Recordem que l'orientació a connexió implica commutació de circuits, encara que aquests siguin virtuals.

És un protocol ubicat entre els nivells OSI 2 i 3 que permet enviar moltes classes de trànsit, com paquets IP, ATM, SONET, trames de retransmissió de trama i trames Ethernet. MPLS parteix del fet que amb velocitats de 10 Gbps, fins i tot trames de 1.500 octets, com les d'Ethernet, sofreixen un retard de transmissió insignificant, i per això es fa innecessari l'ús de les petites cel·les ATM, amb la qual cosa s'evita l'esforç i el temps necessaris per al procés de fragmentació i reacoblament.

Figura 35



En el mercat de transport de dades MPLS no és un competidor d'ATM, i de fet pot funcionar sobre ATM, o sobre un altre tipus de tecnologies de transport. Moltes operadores de comunicacions s'han afanyat a anunciar que suporten MPLS sobre les seves xarxes ATM a fi de no perdre el tren del mercat.

#### Web d'interés

L'anterior ATM Forum ha estat substituït directament per l'MFA Forum, acrònim que significa *MPLS, Frame Relay and ATM*.



## 4. La capa física

### 4.1. Bases teòriques per a la comunicació de dades

La informació binària es pot transmetre per medis de transmissió com són els cables o la fibra òptica, per mitjà de les variacions d'alguna propietat física, habitualment el voltatge o la intensitat (cables), o la intensitat de llum (fibra òptica). Podem representar el valor d'aquesta magnitud física com una funció  $g(t)$  dependent del temps.

#### 4.1.1. Anàlisi de Fourier

Jean-Baptiste Fourier fou un matemàtic que va descriure la descomposició d'una funció  $g(t)$  periòdica en el que s'anomena una sèrie de Fourier. Una funció periòdica  $g(t)$ , amb període  $T$ , és aquella que compleix la propietat de  $g(t) = g(t + T)$ , i es pot construir a partir d'una suma (possiblement infinita) de sinus i cosinus:

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f t)$$

en què la variable  $f = 1/T$  es defineix com la freqüència fonamental, i els valors de  $a_n$  i  $b_n$ , que són les amplituds dels sinus i dels cosinus de la sèrie, s'anomenen els harmònics enèsims.

El valors de  $a_n$ ,  $b_n$  i  $c$  es calculen de la manera següent a partir del senyal original  $g(t)$ :

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{2}{T} \int g(t) \cdot \sin(2\pi n f t) dt \\ b_n &= \frac{2}{T} \int g(t) \cdot \cos(2\pi n f t) dt \\ c &= \frac{2}{T} \int g(t) dt \end{aligned}$$

Si un senyal té una durada finita  $T$  (i per tant, no és periòdica) es pot ajustar en el model de sèries de Fourier, suposant que es va repetint  $g(t)$  en intervals de longitud  $T$ : en els intervals  $[0, T]$ ,  $[T, 2T]$ ,  $[2T, 3T]$ , ..., per a aplicar després les fórmules anteriors.

### 4.1.2. Senyals d'amplada de banda limitada

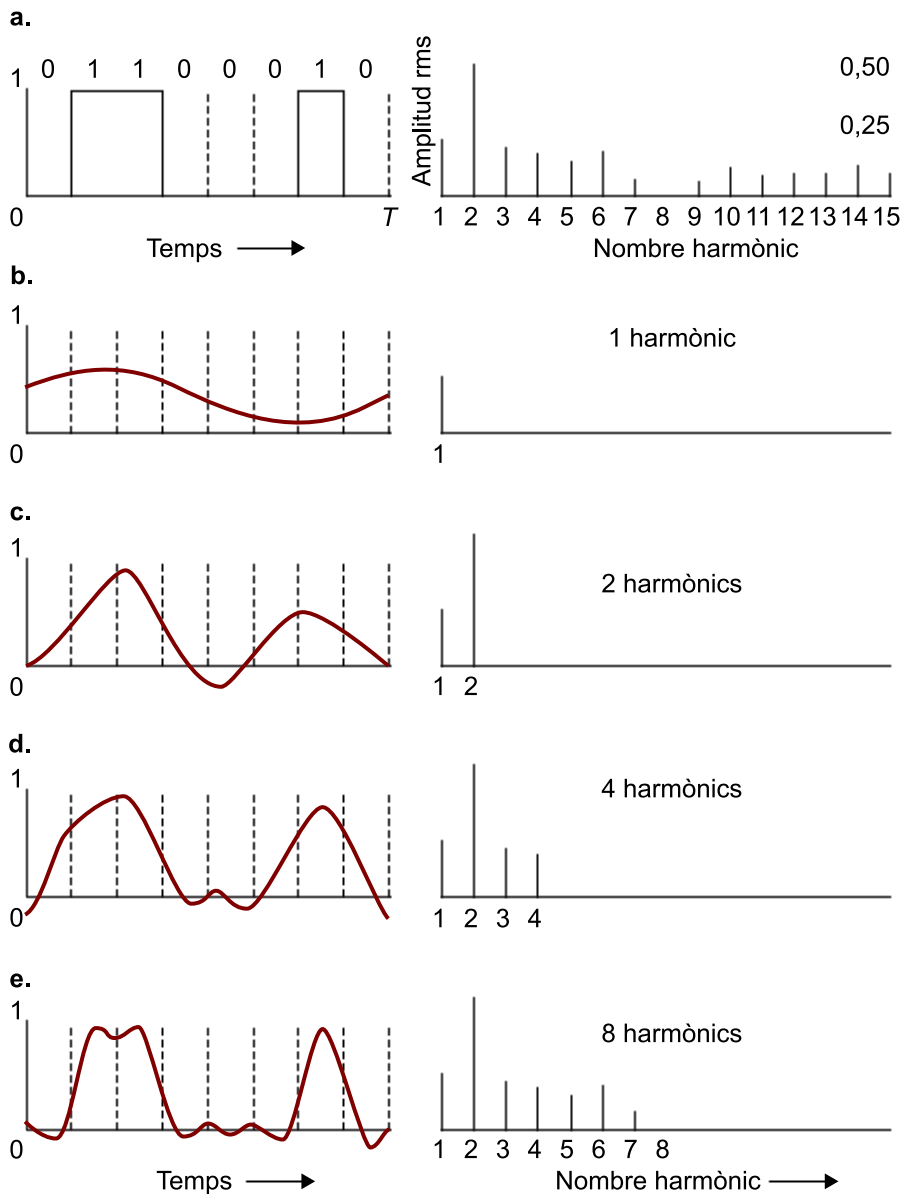
A partir d'un senyal  $g(t)$ , si calculem els harmònics de Fourier per a  $n = 1, 2, 3, \dots$  i calculem l'arrel quadrada de la suma de les amplituds al quadrat:

$$\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

Obtenim uns valors que són d'interès perquè són proporcionals a l'energia transmesa pel senyal a una determinada freqüència (per cada  $n = 1, 2, 3, \dots$  tenim una freqüència diferent  $2 \cdot \pi \cdot n \cdot f_0$  en què  $f_0 = 1/T$ ).

En la figura 36 es mostren determinats senyals  $g(t)$ , i els seus harmònics de Fourier (també anomenats *espectre*). En la primera, podem observar que  $g(t)$  és una funció sinus i és purament periòdica, i només té un sol harmònic. La segona figura consisteix en una funció amb dos harmònics, i la tercera figura té quatre harmònics.

Figura 36



Quan emetem un senyal per un filtre, el senyal obtingut depèn del filtre triat, i pot alterar el senyal emès de tal manera que el senyal rebut tingui característiques diferents. Tots els medis de transmissió (que al cap i a la fi es comporten com a filtres) permeten transmetre senyals amb una certa pèrdua de potència en el procés, és a dir, discriminant del senyal original determinats harmònics amb més o menys intensitat, de tal manera que el senyal rebut mai no és idèntic al senyal original o emès. Generalment, les amplituds que romanen indiscriminades per un canal ho fan entre la freqüència 0 i la freqüència  $f_c$  (mesurada en hertz o cicles per segon), mentre que les freqüències del senyal emeses superiors a  $f_c$  són pràcticament discriminades (anul·lades) en el senyal rebut. El valor  $f_c - 0$  s'anomena *freqüència de tall* o també *amplada de banda*, i representa el rang de freqüències pel qual el filtre deixa passar els components

(o harmònics) del senyal emès. En molts casos, un filtre és intencionadament introduït dins un canal de comunicacions per a limitar l'amplada de banda o freqüència de tall.

### 4.1.3. La màxima velocitat de transmissió d'un canal

Imaginem que tenim un sistema de comunicacions que transmet amb els nivells de voltatge següents: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 i 7 V. Aquests vuit nivells de voltatge (anomenats també *símbols*), realment representen 3 bits cada un ( $2^3 = 8$ ), de tal manera que quan hi ha un canvi de voltatge en el medi de transmissió (per exemple, es passa de 3 a 4 V), s'estan transmetent 3 bits. Aquest procés de codificació s'anomena *modulació*.

El ritme de transmissió d'aquest voltatge és el que s'anomena *velocitat de modulació*  $V_m$ , i es mesura en bauds (símbols per segon). La velocitat de transmissió  $V_t$  (bps o bits per cada segon) serà, en aquest cas,  $V_t = 3 \cdot V_m$ , ja que cada símbol representa 3 bits.

Per l'any 1924, H. Nyquist va determinar l'equació del límit de la velocitat màxima per un canal amb una amplada de banda definida sense renou. La velocitat màxima de modulació del canal és de  $2 \cdot H$  bauds, en què  $H$  és l'amplada de banda del canal (Hertz).

En un canal on apareix el renou el sistema es deteriora bastant. La quantitat de renou present en un canal es determina pel quocient entre la potència del renou i la potència del senyal emès. És el que s'anomena  $SNR^{(79)}$  o  $S/N$ . Habitualment aquesta unitat es pot mesurar en el valor lineal, o es pot mesurar en decibels (dB), en què 1 dB és igual a  $10 \cdot \log_{10} S/N$ . Per l'any 1948, Shannon va determinar la velocitat màxima de transmissió en un canal amb renou, que és igual a  $H \times \log_2(1 + S/N)$  en què  $H$  és l'amplada de banda del canal (hertz).

<sup>(79)</sup>  $SNR$  és la sigla de *signal to noise ratio*.

### Exercicis

4. Un sistema de transmissió amb una amplada de banda de 30 MHz transmet a una velocitat efectiva de 600 Mbps. Calculeu la velocitat de modulació màxima del sistema i la cota inferior del valor SNR (en dB i en lineal) perquè el sistema funcioni correctament.

#### Solució de l'exercici 4

$$C = BW \cdot \log_2(1 + SNR)$$

$$600 \times 10^6 \text{ bps} = 30 \times 10^6 \log_2(1 + SNR) : SNR = 1.048.575 : 60,2 \text{ dB}$$

$$V_m = 2 \times BW : 2 \times 30 \text{ MHz} = 60 \text{ Mbauds}$$

5. Un mòdem típicament genera entorn de 2.400 símbols per segon. Com és possible que la velocitat de transmissió sigui de fins a 56 kbps si el teorema de Nyquist diu que  $V_{m/\max} = 2 BW$ ?

### Solució de l'exercici 5

L'enunciat està confonent la velocitat de transmissió amb la velocitat de commutació; una cosa és el nombre de símbols que s'estan generant i l'altra quants símbols hi ha al nostre codi.

6. Una transmissió de dades opera a 100 Mbps i utilitza un canal de comunicacions amb una amplada de banda de 25 MHz. Quin és el valor mínim de la relació senyal-soroll (en dB i en lineal) perquè el sistema pugui funcionar correctament? Calculeu la velocitat de modulació màxima i el nombre màxim de bits per símbol transmès.

### Solució de l'exercici 6

Utilitzant el teorema de Shannon tenim que:

$$100 \text{ Mbps} = 25 \text{ MHz} \log_2 \left( \frac{P_S}{P_N} + 1 \right)$$

d'on s'obté que:

$$\log_2 \left( \frac{P_S}{P_N} + 1 \right) = 4 \text{ i } \frac{P_S}{P_N} = 15$$

o bé  $10 \log_{10} 15 = 11,7 \text{ dB}$ .

Pel que fa a la velocitat de modulació:

$$V_{m/\max} = 2 \times 25 \text{ MHz} = 50 \text{ Mbaud}$$

i ens dóna:

$$100 \text{ Mbps} = 50 M \times n = n = 2$$

7. Suposem que una televisió digital vol transmetre des d'una font que utilitza una matriu de  $480 \times 500$  píxels, en què cada píxel pot prendre un de 32 valors possibles d'intensitat. S'envien 30 imatges per segon (aquesta font digital és aproximadament equivalent als estàndards de TV de difusió que han estat adoptats avui dia).

- Quina és la velocitat de transmissió a la qual emet la font? (bps)
- Suposem ara que les imatges es transmeten sobre un canal amb una amplada de banda de 4,5 MHz i una relació senyal-soroll de 39 dB. Quina és la capacitat del canal?
- Comenteu com podrien ser modificats els paràmetres donats en l'enunciat per a permetre la transmissió de senyals de color sense incrementar la velocitat de transmissió obtinguda en a.

### Solució de l'exercici 7

a) Cada píxel es considera un símbol, per la qual cosa una imatge estarà composta per  $480 \times 500 = 240.000$  símbols. Com és necessari transmetre 30 imatges per segon:

$$V_m = 240.000 \text{ símbols/imatge} \times 30 \text{ imatges/s} = 7,2 \text{ Mbaud}$$

$$n = \log_2 32 = 5;$$

$$V_t = 7,2 \text{ Mbaud} \times 5 = 36 \text{ Mbps}$$

b)  $SNR_{dB} = 39 \text{ dB} = 10\log_{10}(SNR) = 10 + 10 + 10 + 3 + 3 + 3 \text{ dB}$ ; aleshores:  $SNR = 10 \times 10 \times 10 \times 2 \times 2 \times 2 = 8.000$ . Segons Shannon,  $C = BW \log_2(SNR + 1) = 4,5 \text{ MHz} \log_2(8.001) = 58.347 \text{ Mbps}$

c) Cal suposar que la transmissió de senyals de color necessita més d'aquests 32 nivells. Si  $V_t = V_m \log_2 M$ , i si  $V_t$  ha de romandre constant, llavors, per a un valor major de  $M$ , la velocitat de modulació ha de ser menor. Per a reduir la velocitat de modulació, o bé reduïm el nombre d'imatges enviades per segon a costa de la qualitat, o bé, i seria l'opció més encertada, utilitzar una matriu més petita que la de  $480 \times 500$  píxels.

8. Responen aquestes qüestions i justifiqueu-ne la resposta:

- a) Què permet calcular el teorema de Nyquist? Compareu-lo amb el de Shannon.
- b) Quants nivells de codificació es necessiten per a transmetre dades a 14,4 kbps per un canal de 3 kHz d'amplada de banda?
- c) A quina velocitat màxima de transmissió de dades es podria arribar si la relació senyal soroll del canal és de 30 dB?
- d) A quants bauds es podria arribar en aquest últim cas si codifiquéssim el senyal de dades amb 64 nivells?

#### Solució de l'exercici 8

a) Per mitjà del teorema de Nyquist es pot calcular la taxa de dades màxima que es pot transmetre per un canal sense soroll d'amplada de banda finita. El teorema de Shannon es defineix per a canals amb soroll, i ens determina la capacitat màxima teòrica del canal.

b) Aplicant la fórmula de Nyquist tenim que  $14,4E3 = 2 \times 3E3 \times \log_2(N)$ ; buidant  $N$  tenim que  $\times \log_2(N) = 14,4E3 / 2 \times 3E3 \rightarrow \times \log_2(N) = 2,4 > 5,27$  nivells. Cal tenir en compte que en treballar amb nivells discrets això implica que són cinc nivells, i per tant la velocitat serà de  $2 \times 3E3 \times \log_2(5) = 13,93 \text{ kbps}$

c) Per a la velocitat màxima de transmissió apliquem el teorema de Shannon:

30 dB es corresponen amb una relació senyal/soroll  $10^{(30/10)} = 1.000$ .

Llavors  $C = 3 \times E3 \times \log_2(1 + 1.000) = 29,9016 \times 10^3 \text{ bps}$

d) Si el que volem és saber la velocitat de símbol:

$$Nre. \text{ bits nivell} = \log_2 64 = 6$$

$29,9016 \text{ kbps} \times (1 \text{ símbol} / 6 \text{ bits}) = 4,983 \text{ ksímbols/s} = 4,983 \text{ kbauds}$

#### 4.1.4. Tipus de codificacions digitals

Les codificacions digitals generen senyals amb un nombre finit de nivells (senyals digitals), és a dir, tenen transicions de nivell sobtades separades per intervals en què el nivell es manté fix. Per a transmetre-les calen medis de transmissió de pas baix (situats a freqüències molt baixes).

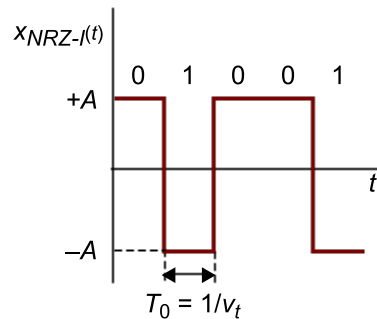
##### 1) Codificació NRZ<sup>(80)</sup> (*non-return to zero*)

<sup>(80)</sup>NRZ és la sigla de *non-return to zero*.

La codificació NRZ fa servir dos nivells, un amb nivell de voltatge  $+V$  i un amb nivell de voltatge  $-V$ , que indiquen els bits 0 i 1, respectivament. Cada símbol només porta un sol bit, i es compleix que  $V_t = V_m$ . El gran problema d'aquesta codificació és la sincronització de bit entre l'emissor i el receptor,

és a dir, saber en quin instant de temps comença un bit. Per això emissor i receptor han de compartir un rellotge que va marcant els intervals de temps en què comença cada bit.

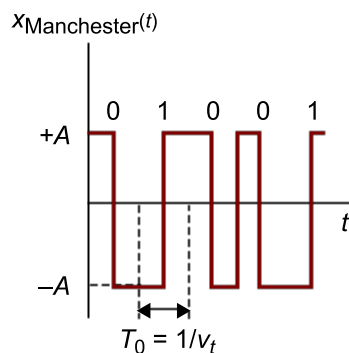
Figura 37. Senyal NRZ



## 2) Codificació Manchester

La codificació Manchester corregeix els problemes de la codificació NRZ a costa de tenir una amplada de banda doble que la d'NRZ. Introdueix un flanc de sincronització entre emissor i receptor a cada bit, independentment de la seqüència de bits transmesa. Podríem dir que cada símbol porta mig bit. Té una bona robustesa enfront del soroll.

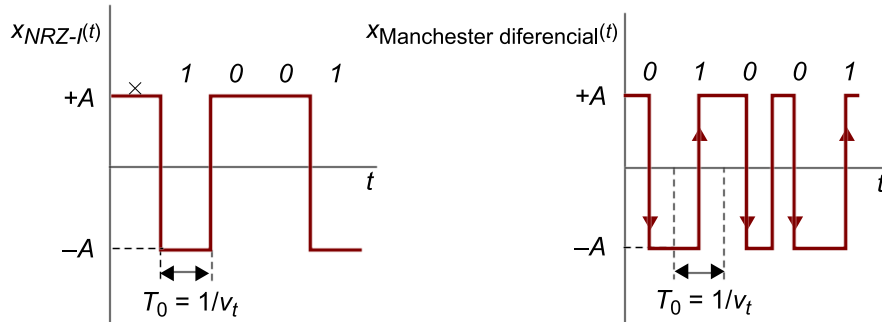
Figura 38. Senyal Manchester



## 3) Codificació NRZ-I i Manchester diferencial

En les línies de transmissió en dos fils, hi pot haver problemes perquè en la recepció no es conegui el signe del voltatge de cada un. El fet de tenir una polaritat o una altra pot causar que, per exemple, una seqüència enviada com a 011101 es rebi com a 100010. En aquest cas, es codifiquen els bits en el canvi de senyalització, i no hi ha una assignació directa símbol-bit. Si el símbol actual és igual que el símbol anterior, tenim un bit 0, per exemple. Si és diferent tenim l'altre bit (per exemple, 1).

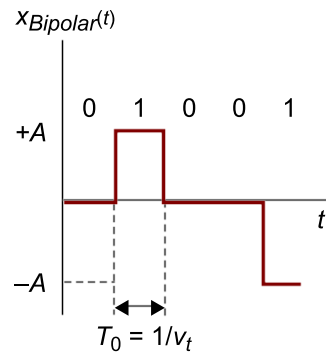
Figura 39. Senyal NRZ-I i senyal Manchester diferencial



#### 4) Codificació bipolar i B8ZS

Millora les característiques d'NRZ sense tenir els inconvenients de la codificació Manchester, però a costa de perdre robustesa enfront del soroll. La codificació bipolar fa servir tres símbols en lloc de 2. Cada símbol és un nivell constant durant tot el temps que dura. Els nivells possibles són  $+V$ ,  $0$  i  $-V$ . Els bits  $0$  es codifiquen amb un senyal nul, i els bits  $1$  amb un senyal d'amplitud  $V$  alternativament positiu i negatiu. A més a més, és invulnerable a la inversió de polaritat sense haver d'usar el mecanisme diferencial.

Figura 40. Senyal bipolar

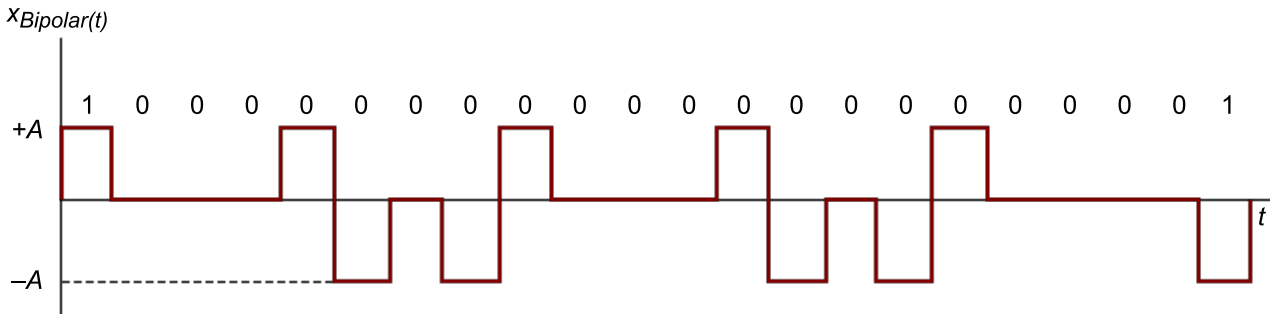


La codificació B8ZS<sup>(81)</sup> substitueix les cadenes de vuit o més zeros per una codificació de flancs. Les seqüències de set o menys zeros no varien respecte de com es codificarien en bipolar senzilla; els vuit zeros seguits es codifiquen amb el símbols  $000 + V - V 0 - V + V$ , o bé amb els símbols  $000 - V + V 0 + V - V$ , en funció de la polaritat de l'últim i abans de la seqüència de zeros, de manera que no hi hagi confusió possible amb la seqüència vàlida de 000110011.

<sup>(81)</sup>B8ZS és la sigla de bipolar with 8 zeros substitution.



Figura 41. Senyal B8ZS amb una cadena llarga de zeros



La codificació NRZ s'utilitza en el bus de l'ordinador (amb sincronisme de bit amb línia de rellotge) i en les interfícies RS-232. Manchester s'empra en Ethernet, Manchester diferencial en les xarxes locals d'anell de testimoni, la bipolar en XDSI, i B8ZS en accessos d'alta velocitat d'XDSI.

#### 4.1.5. Tipus de modulacions en canals passa-banda

En general el senyal de les dades binàries que surten pels dispositius d'un ordinador, seqüències de 1 i 0, formen un senyal que no és gaire propici per a transmetre'l a llarga distància, ja que no se sol adaptar a les característiques del canal. Modular un senyal serveix per a adaptar l'espai freqüencial de la informació digital per transmetre a l'espai freqüencial del canal per on volem transmetre la informació. En particular, tractarem de les modulacions digitals, que generen senyals amb un nombre infinit de nivells (senyals analògics); és a dir, varien el seu valor contínuament.

El mecanisme general per a produir una modulació digital s'anomena *modulació*: consisteix a convertir un senyal per transmetre en un senyal continu del tipus  $x(t) = A \times \sin(2 \times p \times f_0 \times t + j)$  per a transmetre'l pel canal. L'espectre de les modulacions digitals se centrarà entorn d'una freqüència, l'anomenada *portadora* o  $f_0$ , que es pot ajustar (sintonitzar) a la posició més adequada del canal per on s'ha de transmetre la informació. Cada canal sol tenir un rang de freqüències en el qual opera: el que es fa és canviar el rang de freqüències original de les dades al rang de freqüències del canal modificant el valor de  $f_0$ .

La característica principal d'aquest senyal modulad és que el seu espectre es troba allunyat de la freqüència zero; per tant, introduïm les dades A dins una sinusoidal sense modificar-la gaire, i aconseguim tenir un senyal allunyat de la freqüència zero, vàlid per als medis de transmissió de pas banda (aire, buit, les guies d'ones, mòdems...). Els paràmetres que podem modificar en el procés de modulació són l'amplitud A, la freqüència  $f_0$  i la fase  $\varphi$ , o una combinació d'aquests paràmetres.

#### 5) Modulació en amplitud

La modulació en amplitud (ASK<sup>82</sup>) consisteix a modificar l'amplitud de la sinusoidal segons la informació que es vol transmetre. Per exemple, per a transmetre un 0 en binari s'utilitzaria una amplitud  $A_0$  diferent de l'amplitud  $A_1$  per a transmetre un 1 en binari. Si fem servir quatre amplituds diferents, podem enviar per cada amplitud 2 bits (2 bits per símbol).

<sup>(82)</sup>ASK és la sigla d'*amplitude shift keying*.

## 6) Modulació en freqüència

La modulació en freqüència (FSK<sup>83</sup>) consisteix a modificar lleugerament la freqüència portadora en funció del tipus de dades per transmetre. Per exemple, per a transmetre un 1 s'utilitzaria una freqüència portadora  $f_1$  i per a transmetre un 0 una freqüència portadora diferent  $f_0$ .

<sup>(83)</sup>FSK és la sigla de *frequency shift keying*.

## 7) Modulació de fase diferencial

La modulació de fase diferencial (DPSK<sup>84</sup>) s'obté en modificar la fase del senyal. Atès que la fase no és una magnitud absoluta (com ho eren l'amplitud o la freqüència), necessitaríem una fase de referència (a zero graus). Com que això no és pràctic, codificarem els bits en la diferència entre aquests. Així, obtenim la modulació PSK diferencial o DPSK. Així, per exemple, en DPSK-2 si enviem una seqüència de símbols, tots amb la mateixa fase, enviarem sempre el mateix bit (per exemple zeros); si la fase canvia a  $180^\circ$ , s'obté la seqüència de l'altre bit (per exemple uns).

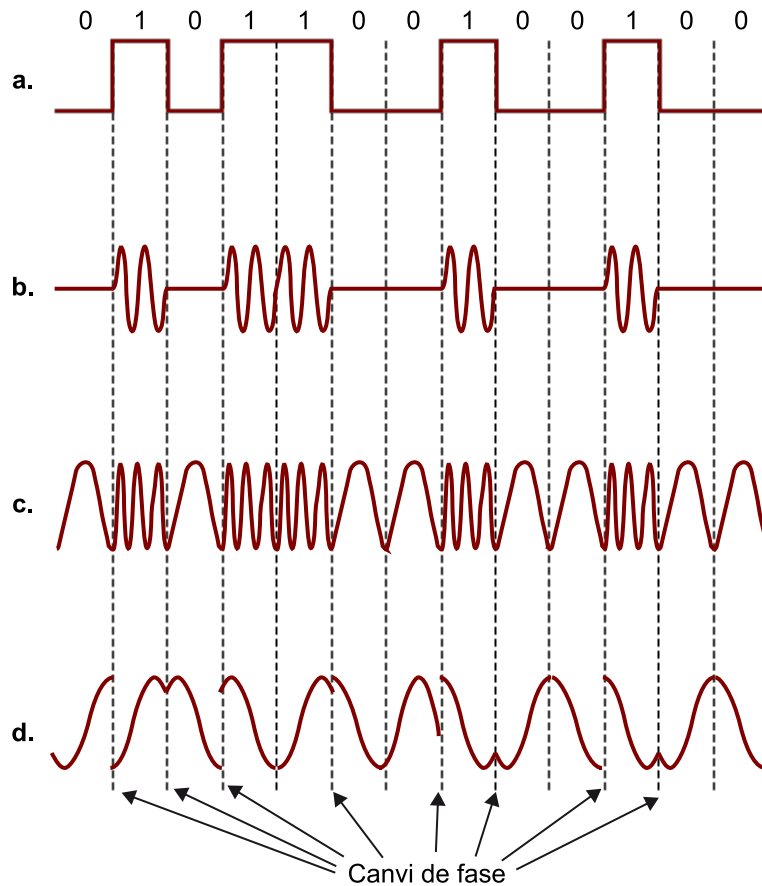
<sup>(84)</sup>DPSK és la sigla de *differential phase shift keying*.

## 8) Modulació d'amplitud en quadratura

La modulació QAM<sup>85</sup> s'obté en modificar l'amplitud i la fase d'una mateixa sinusoidal per aconseguir transmetre més bits per cada símbol. Per exemple, podem utilitzar quatre amplituds diferents i quatre fases diferents per aconseguir  $4 \times 4 = 16$  símbols diferents (QAM-16).

<sup>(85)</sup>QAM és la sigla de *quadrature amplitude modulation*.

Figura 42. Senyal QAM



a. Senyal binari. b. Modulació en amplitud. c. Modulació en freqüència. d. Modulació de fase diferencial

L'amplada de banda de les diferents modulacions és similar. L'espectre de la modulació queda centrat de manera simètrica entorn de la freqüència portadora. Les modulacions QAM presenten més robustesa enfront del soroll perquè fan servir una combinació d'ASK i FSK.

### Exercicis

9. Sabent que la telefonia GSM treballa dins la banda de freqüències de 880-940 MHz, i suposant que s'utilitzi una modulació FSK-4, determineu les quatre freqüències portadores suposant que són equidistants entre si.

#### Solució de l'exercici 9

La diferència de freqüències intersímbol serà de  $(940 - 880) / 3 = 20$  MHz.

La modulació FSK-4 té quatre símbols de 2 bits cada un, amb les freqüències següents:

- 00: 880 MHz
- 01: 900 MHz
- 10: 920 MHz
- 11: 940 MHz

10. Calculeu la taxa de símbols/s per a les velocitats de bps i els tipus de modulació següents:

- a) 2.000 bps FSK-2
- b) 4.000 bps ASK-4
- c) 8.000 bps DPSK-8

d) 64.000 bps QAM-16

#### Solució de l'exercici 10

Sabem que  $V_t = V_m \cdot \log_2 N$ , en què  $N$  és el nombre de símbols o senyals diferents.

- a)  $V_m = 2.000 / \log_2 2 = 2.000$  símbols/s
- b)  $V_m = 4.000 / \log_2 4 = 2.000$  símbols/s
- c)  $V_m = 8.000 / \log_2 8 = 8.000/3 = 2.666$  símbols/s
- d)  $V_m = 64.000 / \log_2 64 = 64.000/6 = 10.666$  símbols/s

#### 4.1.6. Atenuació i distorsió d'un canal. Soroll

Quan transmetem un senyal per un canal, el senyal d'entrada o d'enviament és difícilment igual que el senyal de sortida o el rebut a través del canal. El fet ideal seria tenir un medi de transmissió en què el senyal rebut fos exactament el senyal enviat. En general a través d'un canal s'envia una magnitud física, voltatge, que pot agafar valors positius o negatius.

Les pertorbacions que pot sofrir un senyal bàsicament són tres:

1) **Atenuació:** l'atenuació és l'afebliment de la potència del senyal a mesura que es propaga pel medi. El senyal rebut és  $r(t) = s(t)/a$ , en què  $s(t)$  és el senyal emès. És a dir,  $s(t)$  i  $r(t)$  tenen la mateixa forma, excepte que l'amplitud del senyal rebut és menor que l'amplitud del senyal emès. Aquest efecte és degut a diversos fenòmens físics com la resistivitat del conductor (les pèrdues de tensió són degudes a l'efecte Joule dels conductors en forma de calor), i als fenòmens de radiació (sota certes condicions, un medi de transmissió es comporta com una antena, i radia una determinada potència que s'escapa del cable). L'atenuació també es pot calcular en funció de la potència emesa  $P_s$  i rebuda  $P_r$ :  $A = P_s/P_r$ . En general aquesta atenuació s'expressa en decibels (dB),  $A_{dB}$ , de la manera següent:  $A_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(P_s/P_r)$ . Per a corregir els efectes de l'atenuació s'utilitzen els amplificadors.

2) **Distorsió:** direm que un medi de transmissió distorsiona un senyal si el senyal rebut no té la mateixa forma que l'original. En general la distorsió provoca l'arrodoniment del senyal, que serà més o menys important en funció de la velocitat de variació del senyal, per exemple, de la velocitat de transmissió, del tipus de medi de transmissió i de la seva longitud. Per exemple, el telèfon o la ràdio provoquen una tonalitat especial en el so original de la veu, o la reverberació, com un cas particular d'eco que provoca que les ones sonores rebotin per les parets, el terra i els elements propers al front d'ona sonora. Tècnicament, la funció de transferència en freqüència del canal no pren el mateix valor per a totes les freqüències: a determinades bandes de freqüència augmenta o disminueix la potència, i en altres es comporta de manera diferent. Es corregeix amb uns aparells anomenats *equalitzadors* que intenten corregir aquestes desacoblaments.

**3) Soroll:** hi ha perturbacions del senyal que no depenen pròpiament del senyal emès, i s'anomenen *soroll*. No estan produïts per un fet únic, sinó per diversos: el soroll tèrmic (provocat quan els cossos estan a una certa temperatura diferent dels zero kelvins, fa que les partícules atòmiques vibrin, i en particular, els electrons dels conductors mateixos), també anomenat *soroll blanc* (afecta totes les freqüències), el soroll d'eco (el resultat és una barreja del senyal original i el mateix senyal retardat i amb més potències a causa dels acoblaments o connexions dels cables del medi de transmissió), el soroll d'interferència (la radiació d'un cable elèctric quan transmet corrent elèctric que és captat per un altre cable elèctric o proper) i el soroll impulsiu (sorolls de curta durada provocats per guspires, imperfeccions de les fonts d'alimentació, microtalls).

### Exercicis

11. Un senyal ha travessat sis amplificadors en cascada, cada un dels quals tenia un guany de 2 dB. Quin és el guany total en dB i en valor lineal?

#### Solució de l'exercici 11

Si el guany en valor lineal de cada amplificador val  $G$ , aleshores el guany total dels sis amplificadors valdrà  $G \cdot G \cdot G \cdot G \cdot G \cdot G = G^6$  en valor lineal. També sabem que  $10 \cdot \log(G) = 2$  dB. En decibels,  $10 \cdot \log(G^6) = 6 \cdot 10 \cdot \log(G) = 6 \cdot 2$  dB = 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 dB = 12 dB.

12. Una sonda espacial està fotografiant la superfície d'un planeta i vol enviar una fotografia de  $300 \times 200$  píxels, amb una resolució de 16 nivells de color per píxel. L'enllaç de comunicacions treballa a la freqüència de  $f_c = 2$  GHz i la longitud total de l'enllaç (anada i tornada) és  $L = 3E8$  km ( $3 \times 10^8$ ). El transmissor de la sonda lliura una potència de  $S_t = 20$  W a una antena de guany  $G_t = 26$  dB. L'antena terrestre receptora té un guany de  $G_r = 56$  dB.

Les pèrdues per propagació es modelitzen segons la fórmula següent, que depèn de la freqüència d'emissió de la sonda:

$$L \text{ (dB)} = 92,4 + 20 \times \log_{10} f \text{ (GHz)} + 20 \times \log_{10} L \text{ (km)}$$

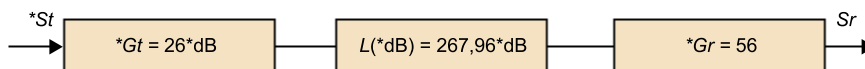
a) Modelitzeu el medi de transmissió amb les seves etapes de guany i pèrdues, i determineu la sensibilitat mínima ( $S_r$ ) del receptor perquè es pugui fer la transmissió.

b) Quants bits es transmetrien per cada fotografia?

#### Solució de l'exercici 12

a)

Figura 43



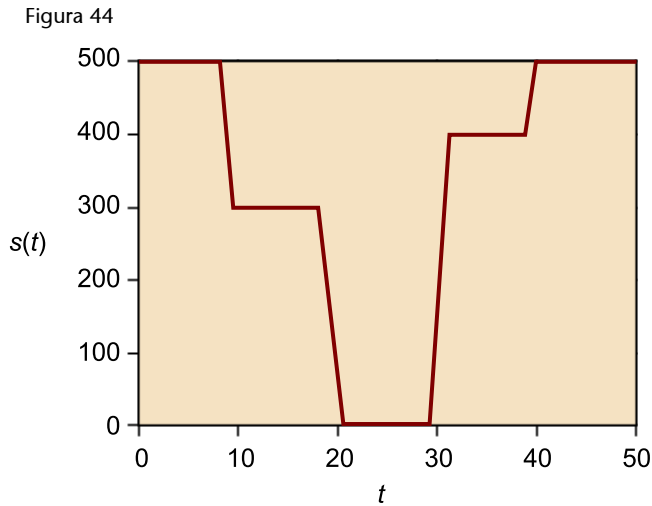
$$L = 92,4 + 20 \times \log_{10} 2 + 20 \times \log_{10} 3E8 = 92,4 + 6,02 + 169,54 = 267,96$$

$$10 \times \log_{10} (S_r/S_t) = G_t \text{ (dB)} - L \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} = 26 - 267,96 + 56 = -185,96$$

$$S_r = S_t \times 10^{(-185,96/10)} = 20 \times 2,53E-19 = 5,07E-18 \text{ W}$$

b) Si tenim una definició de  $300 \times 200$  píxels, amb una resolució de 16 nivells, es transmetran el nombre de bits següent:  $300 \times 200 \times \log_2 16 = 240.000$  bits.

13. Donat el senyal següent  $s(t)$



que es transmet a través de tres amplificadors de guanys de potència de  $-3$  dB,  $-4$  dB i  $-7$  dB, respectivament, dibuixeu el senyal rebut  $r(t)$  a la sortida del darrer amplificador. Calculeu el guany total del senyal resultant dels tres amplificadors en dB i en lineal.

#### Solució de l'exercici 13

Els guanys de potència dels amplificadors són, respectivament,  $-3$  dB,  $-4$  dB, i  $-7$  dB. De fet, aquests amplificadors no amplifiquen, sinó que atenuen el senyal.

Així, el guany en potència lineal de cada amplificador serà:

$$\begin{aligned} 10 \cdot \log G_1 &= -3 \\ \log G_1 &= -3/10 \\ G_1 &= 10^{-0,3} = 0,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10 \cdot \log G_2 &= -4 \\ \log G_2 &= -4/10 \\ G_2 &= 10^{-0,4} = 0,39 \end{aligned}$$

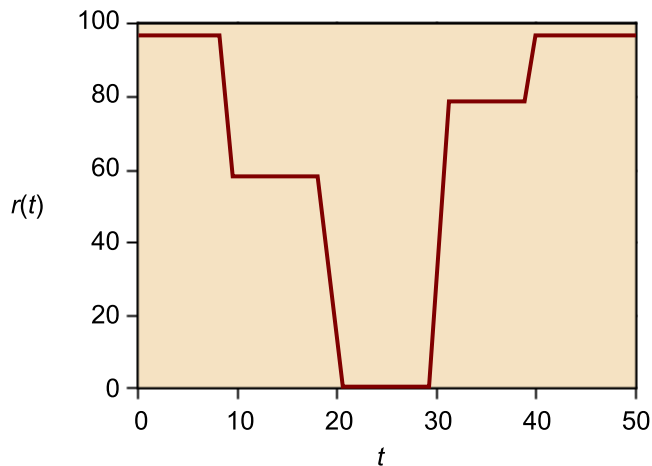
$$\begin{aligned} 10 \cdot \log G_3 &= -7 \\ \log G_3 &= -7/10 \\ G_3 &= 10^{-0,7} = 0,19 \end{aligned}$$

I el guany de potència equivalent d'haver passat pels tres amplificadors serà:

$$\begin{aligned} G_{\text{equivalent}} &= G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 = 0,5 \cdot 0,39 \cdot 0,19 = 0,039 \\ P_r &= G_{\text{equivalent}} \cdot P_s \end{aligned}$$

El guany en senyal emès serà  $(0,039)^{1/2} = 0,19$  (en decibels,  $-7,21$  dB), i  $r(t) = s(t) \cdot 0,19$ .

Figura 45



## 4.2. Medis de transmissió

Hi ha diversos medis de transmissió en funció de la seva amplada de banda, el retard, el cost, la facilitat d'ús, la instal·lació i el manteniment. Els medis es poden classificar en medis guiats (parell de fils, fibra òptica) o no guiats (ones de ràdio, làser a través de l'aire). Els factors següents d'un medi de transmissió determinen la velocitat màxima de transmissió i la distància màxima del medi:

- Amplada de banda: en augmentar l'amplada de banda es pot augmentar la velocitat de transmissió.
- Atenuació: en ordre decreixent van el parell trenat, el cable coaxial i la fibra òptica.
- Interferències: en ordre decreixent van el parell trenat i el cable coaxial.
- Nombre de receptors: atenuen i distorsionen el senyal que representa una distància menor.

### 4.2.1. Parell trenat

Es tracta del sistema més antic i encara actualment molt utilitzat. Consisteix en dos parells de fils de coure o d'acer cobert amb coure, aproximadament d'un mil·límetre de diàmetre cada un, que estan embolicats entre ells en forma d'hèlix, com una molècula de DNA.

Es pot utilitzar tant en les transmissions digitals com en les analògiques. L'amplada de banda que ofereixen depèn del gruix del cable i de la distància. A causa del seu baix cost i el seu rendiment, és un sistema molt popular. El cost és el més econòmic (més que el coaxial o la fibra òptica) per metre, però té uns costos de connectivitat semblant a altres medis.

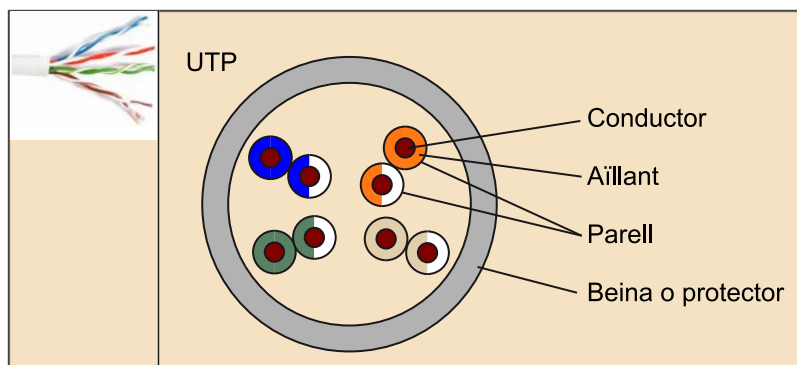
És bastant susceptible al renou i a les interferències, per la facilitat d'acoblament dels camps electromagnètics. Si corre paral·lel a una línia de corrent elèctric pot induir un senyal de 50 Hz. Els parells adjacents poden produir un "creuament de línies". El fet d'embolicar-los d'aquesta manera és per reduir les interferències provocades per parells trenats veïns. A més a més, dos fils paral·lels constitueixen una antena, i un parell trenat no.

És un sistema molt utilitzat en els sistemes de telefonia. Generalment, els telèfons dels habitatges estan connectats amb la centraleta telefònica a través de parells trenats (la seva amplada de banda és de 4 kHz). També s'utilitza en les LAN a velocitats de 10, 100 i 1.000 Mbps. És molt utilitzat en les connexions punt a punt, i el seu àmbit geogràfic sol ser d'uns 100 m (en xarxes Ethernet).

Els primers parells trenats no apantallats s'anomenaren *UTP*<sup>86</sup>. Els parells trenats habitualment s'agrupaven en quatre parells trenats més dins una protecció de plàstic. Aquest tipus de cable s'anomenava de *categoria 3*. Després s'introduïren els cables de categoria 5, agrupament amb més densitat per centímetre de voltes al cable, que ofereix unes característiques de més qualitat sobre distàncies llargues.

<sup>(86)</sup> *UTP* és la sigla d'*unshielded twisted pair*.

Figura 46

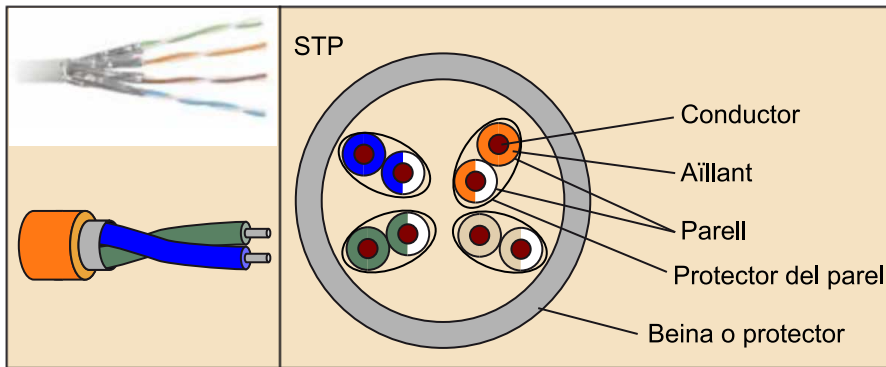


Després vingué l'evolució al tipus de cablatge *STP*<sup>87</sup>, anomenat *parell trenat apantallat*, en què cada parell de fils té una protecció individual.

<sup>(87)</sup> *STP* és la sigla de *shielded twisted pair*.



Figura 47



Les categories d'aquest tipus de cable segons la norma EIA-568-A són:

- Categoria 1: sense criteris de prestacions
- Categoria 2: fins a 1 MHz (cablatge telefònic)
- Categoria 3: fins a 16 MHz (Ethernet 10Base-T)
- Categoria 4: fins a 20 MHz (anell de testimoni, 10Base-T)
- Categoria 5 (i 5e): fins a 100 MHz (100Base-T, 10Base-T)
- Categoria 6 (i 6e): fins a 550 MHz (1-10 GBase-T)

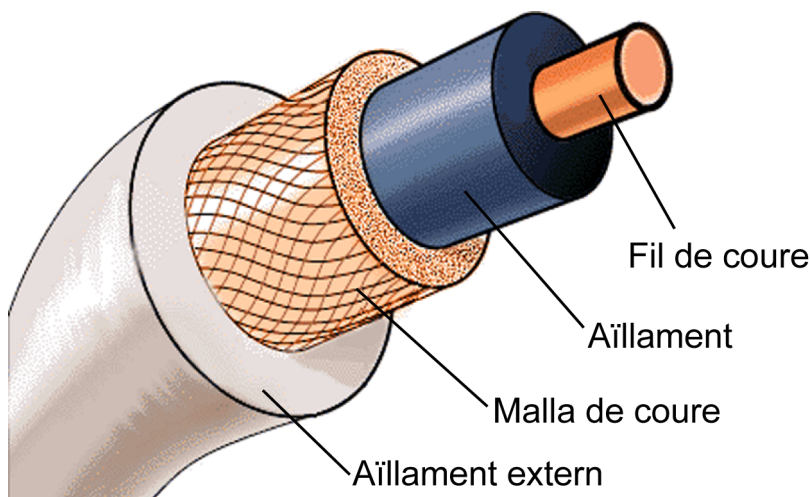
#### 4.2.2. Cable coaxial de banda base

El cable coaxial té un recobriment superior als parells trenats, i funciona a llargues distàncies i altes velocitats.

S'utilitzen dos tipus de cable coaxial: el de 50 ohms, usat per a les transmissions digitals (codificació Manchester, la velocitat de transmissió arriba als 10 Mbps 10BASE2), i el de 75 ohms, utilitzat per a la transmissió analògica (cable coaxial de banda ampla).

En aquest apartat ens basarem en el cable de 50 ohms. Aquest cable consisteix en un fil de coure, rodejat per un material aïllant. L'aïllant recobreix el conductor de forma cilíndrica. Aquest cable consisteix en dos conductors aïllats de coure o alumini, de forma que un recobreix l'altre en tota la seva longitud. Solen tenir un diàmetre entre 0,4 i 1 polzades. El conductor extern és cobert per una capa de plàstic protectora. És menys susceptible a les interferències que el parell trenat. Proporciona una bona combinació d'una amplada de banda molt gran i una excel·lent immunitat al renou. Per a cables d'1 km de llargària, suporta velocitats d'1 a 2 Gbps. Es poden utilitzar distàncies més llargues però amb velocitats de transmissió més baixes. Aquest tipus de cable s'ha utilitzat per a interconnectar els equips de les centrals telefòniques, per a alguna xarxa d'àrea local o per a la televisió per cable. És més econòmic que la fibra òptica i més car que el parell trenat.

Figura 48



Pot suportar una connectivitat de cent dispositius si s'utilitza en connexions multipunt.

#### 4.2.3. Cable coaxial de banda ampla

L'altre tipus de cable coaxial és utilitzat en les transmissions analògiques, i en la televisió per cable, com les digitals (utilitzant modulacions FSK, ASK, PSK, en canals amb velocitats de transmissió entre 5 i 20 Mbps). Aquest tipus de cable també s'anomena *de banda ampla*.

Aquest tipus de cable funciona sobre unes longituds de 100 km a unes freqüències de 300-450 MHz. Habitualment la televisió per cable divideix la freqüència entre múltiples canals, cada un de 6 MHz. Cada canal s'utilitza per a la televisió analògica, àudio de qualitat de CD (1,4 Mbps), o transmissió de dades digitals. La televisió i les dades es transmeten juntes dins el cable. Per a aconseguir velocitats majors (majors que 50 Mbps) és necessari utilitzar l'amplada de banda completa (banda portadora, 1 km).

Aquest tipus de cable sol necessitar amplificadors, sobretot quan les distàncies que recorre el cable són considerables.

Dues possibles configuracions són possibles amb aquest tipus de cables: 1) la transmissió es fa a través d'un cable, i la recepció a través d'un altre cable, i 2) la utilització d'un sol cable que divideix la freqüència en dues bandes, una per a rebre i l'altra per a enviar la informació.

Pot suportar una connectivitat de mil dispositius en configuracions multipunt.

#### 4.2.4. Fibra òptica

Un sistema de comunicacions òptiques està format per tres components: una font de llum, el medi de transmissió i el detector de llum. Convencionalment, un impuls de llum indica un bit amb valor 1, i l'absència de llum indica un bit de valor 0. El medi de transmissió és una fibra òptica molt fina. El detector genera un impuls elèctric quan la llum incideix sobre aquest. Així doncs, instal·lant una font de llum a l'inici de la fibra òptica i un detector de llum al final de la fibra, tenim un sistema de transmissió unidireccional que accepta senyals elèctrics i els converteix en impulsos de llum que es transmeten i es reconverteixen en un senyal elèctric al final de la fibra.

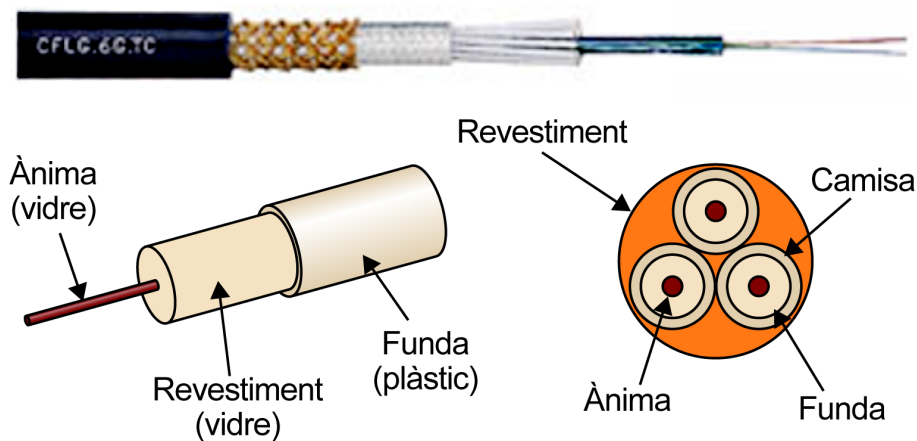
La matèria primera de la fibra òptica és el vidre; és un material no excessivament car i n'hi ha grans quantitats al nostre planeta. El vidre utilitzat en les fibres òptiques és un vidre transparent.

La fibra òptica consisteix en tres seccions concèntriques (un o més fils de vidre o plàstic) que estan recobertes amb un embolcall de vidre o plàstic de propietats òptiques diferents. Un embolcall extern protegeix el conjunt. S'utilitza tant per a enllaços punt a punt com per a enllaços multipunt. Els emissors poden ser LED<sup>(88)</sup> o ILD<sup>(89)</sup> i els receptors són dispositius d'estat sòlid PIN (silici intrínsec entre nivells P i N d'un díode) o APD (fotodíode d'avalantxa).

<sup>(88)</sup> LED és la sigla de *light emitting diode*.

<sup>(89)</sup> ILD és la sigla d'*injection laser diode*.

Figura 49. Fibra òptica



a. Fibra òptica simple. b. Vista d'un tall de tres fibres

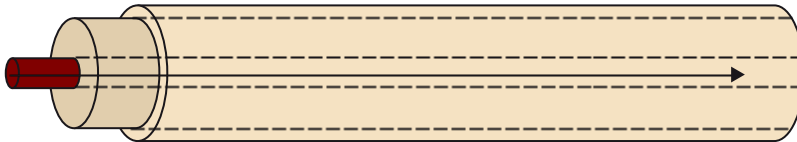
El principi físic pel qual la llum es transmet molts quilòmetres per una fibra és el de la refracció de la llum: quan la llum passa d'un medi a un altre medi, el raig de llum és refractat. Segons l'angle d'incidència del raig de llum, aquest és refractat amb un altre angle. Jugant amb els índexs de refracció (que depenen de tots dos medis), s'aconsegueix que la llum refractada sempre quedi dins la fibra i no en surti. D'aquesta manera s'aconsegueixen les fibres multimode.

Si el diàmetre de la fibra es redueix unes poques longituds d'ona de la llum, la fibra actua com una guia, i la llum només es propaga en una línia recta, sense rebots, i llavors és una fibra monomode. Les fibres monomode són les

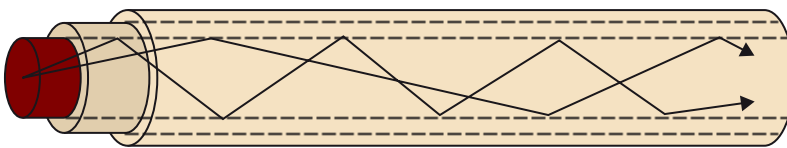
més cares però poden ser usades a llargues distàncies. S'ha arribat a velocitats de diversos Gbps a distàncies de 30 km. Amb determinats experiments s'han assolit distàncies de fins a 100 km sense necessitat de repetidors, encara que a baixes velocitats.

Figura 50

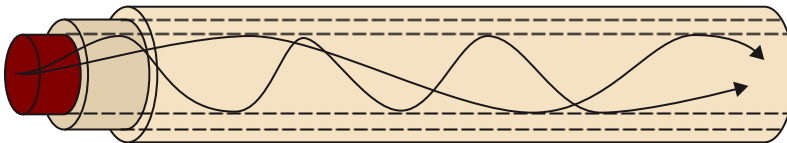
Monomode (100 Gbps 1 km)



Multimode (100 Mbps 300 m)

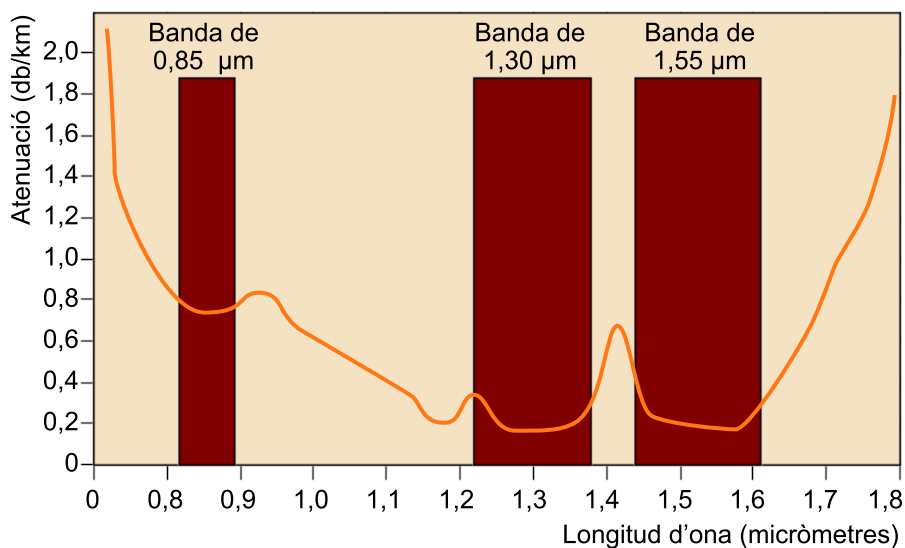


Multimode índex graduat (100 Mbps 4 km)



L'atenuació de la llum quan travessa un vidre depèn de la longitud d'ona de la llum. Per la classe de vidre utilitzat en la fibra òptica l'atenuació en decibels per quilòmetre es mostra en la figura 51.

Figura 51. Atenuació de la llum



Atenuació en decibels =  $10 \cdot \log_{10} (\text{Potència emesa} / \text{Potència rebuda})$

Per exemple, una pèrdua de potència de factor 2 (50%), ens dóna en decibels el valor de  $10 \cdot \log_{10} 2 = 3$  dB. La figura ens mostra la zona infraroja de l'espectre, que és la que s'utilitza habitualment. La llum visible sol tenir unes longituds d'ona entre 0,4 i 0,7  $\mu\text{m}$ .

Hi sol haver tres bandes utilitzades per les comunicacions. Estan centrades en 0,85, 1,30 i 1,55  $\mu\text{m}$ , respectivament. Les dues darreres tenen bones propietats d'atenuació (atenuació baixa). La banda de 0,85 té una alta atenuació però amb aquestes longituds d'ona els làsers i l'electrònica es pot construir a partir del mateix material. Totes les tres bandes estan entre 25.000 i 30.000 GHz.

Els polsos de llum quan es propaguen es tendeixen a dispersar. En general, aquest fenomen depèn de la longitud d'ona. Una solució per a evitar la dispersió del llum és allargar la distància de la fibra, i com a conseqüència s'ha de reduir el ritme de generació dels polsos de llum. Per fortuna s'ha descobert que generant polsos d'una manera especial (recíproc d'un cosinus hiperbòlic), s'aconsegueix que tots els efectes de la dispersió es cancel·lin, i sigui possible enviar polsos de llum a milers de quilòmetres sense una distorsió de la forma significativa: aquests polsos de llum s'anomenen *solitons*.

Respecte a la immunitat al renou, no li afecten les interferències magnètiques ni elèctriques, cosa que li permet altes velocitats sobre grans distàncies i una alta seguretat.

La fibra òptica té més avantatges que el cable de coure. Permet una amplada de banda superior, baixa atenuació (els repetidors només calen cada 30 km en fibra òptica, i en coure, cada 5 km), no es veu afectada per interferències electromagnètiques o per fallades de potència elèctrica, i tampoc per elements químics corrosius a l'aire, i això la fa ideal per a l'ús industrial en les fàbriques. Per a llargues distàncies té unes prestacions superiors al coure.

Quan els electrons circulen per un parell de fils, s'interfereixen entre ells. Els fotons de llum d'una fibra no s'afecten entre ells.

Els cables de fibra òptica són semblants als cables coaxials, excepte en el seu cor. En el centre tenen un cor de vidre per on es propaga la llum; en les fibres multimode, té un diàmetre de 50  $\mu\text{m}$ , com el gruix d'un cabell humà; en les fibres monomode poden tenir un diàmetre de 8 a 10  $\mu\text{m}$ . El cor és recobert d'un altre vidre amb un índex de refracció més baix que el del cor, per a fer que el llum viatgi dins el cor. Després es recobreix d'una capa de plàstic per a protegir-lo mecànicament. Habitualment, diversos (tres) cables de fibra simples s'agrupen en un de sol.

Habitualment les fibres òptiques solen estar instal·lades per sobre la superfície del terra, o en els fons dels oceans, i per això se solen protegir d'animals i altres perills.

El cost és més car que el del cable coaxial i del parell trenat en cost per metre, i en els components i equips requerits per a la instal·lació.

<b>Comparació dels diferents medis de transmissió</b>			
Tipus de cable / característica	Parell trenat	Coaxial	Fibra òptica
Amplada de banda	Moderat	Gran	Molt gran
Longitud	Petita	Moderada	Molt alta
Fiabilitat de la transferència	Moderada	Alta	Molt alta
Seguretat	Baixa	Moderada	Alta
Complexitat de la instal·lació	Senzill	Moderat	Complex
Cost	Baix	Moderat	Alt

Hi ha dos tipus de fonts de llum: LED<sup>90</sup> i làsers semiconductors.

<sup>(90)</sup>LED és la sigla de *light emitting diodes*.

<b>Comparativa dels díodes semiconductors i LED com a fonts de llum</b>		
Ítem	LED	Làser semiconductor
Velocitat de transmissió	Baixa	Alta
Mode	Multimode	Multimode o monomode
Distància	Curta	Llarga
Temps de vida	Llarga	Curta
Sensibilitat a la temperatura	Baixa	Substancial
Cost	Baix	Car

El sistema receptor de la fibra òptica consisteix en un fotodíode, que converteix els polsos de llum en senyals elèctrics.

Les fibres es poden connectar entre elles de diverses maneres. Hi ha connectors que produeixen pèrdues entre un 10% i un 20% de llum. També es poden unir mecànicament (connectant directament les dues fibres), amb pèrdues d'un 10%. També es poden unir per fusió formant una connexió sòlida.

En una xarxa en anell amb fibra òptica podem utilitzar una interfície passiva, que consisteix en dos taps fusionats sobre la fibra principal. Un tap té un LED o un díode làser per a transmetre, i l'altre tap té un fotodíode per a rebre. També podem utilitzar un altre tipus d'interfície, un repetidor actiu: la llum que li arriba es converteix en un senyal elèctric, i es regenera totalment el flux

de llum, i després a partir del senyal elèctric es torna a retransmetre en forma de llum. També hi ha regeneradors o repetidors purs òptics, és a dir, que no requereixen cap conversió opticoelèctrica, i al contrari.

Es poden crear xarxes de difusió en fibra òptica, utilitzant una estrella passiva: cada transmissor té una fibra que transmet i que arriba fins a un cilindre de silici amb totes les fibres fusionades en una dins aquest cilindre. Similarment, del cilindre surten moltes fibres (que estan fusionades dins el cilindre) cap als diferents receptors. En definitiva, es fusionen totes les fibres emissores i els receptors dins un cilindre de silici, i això provoca la difusió o l'efecte *broadcast* entre un emissor i tots els receptors. L'estrella passiva combina tots els senyals de llum i transmet el resultat junt o combinat cap a totes les línies de recepció. Com que l'energia és dividida entre les línies de sortida del cilindre, el nombre de nodes d'una xarxa està limitat a la sensibilitat dels fotodíodes.

La fibra òptica no permet transmissions bidireccionals, només unidireccionals. Per a fer una comunicació bidireccional caldria disposar de dues fibres o de dues bandes de freqüència diferents sobre la mateixa fibra. Les interfícies de la fibra són més cares que les elèctriques.

En el futur s'utilitzarà la tècnica de WDM<sup>91</sup> a 1 Tbps.

<sup>(91)</sup> WDM és la sigla de *wavelength division multiplexing*.

#### 4.2.5. Transmissió sense fils

Quan els electrons estan en moviment, creen ones electromagnètiques que es poden propagar per l'espai (el buit). Aquestes ones generen ones oscil·lacions per segon, anomenades *freqüència*  $f$  (mesurada en Hz). La distància entre dos pics consecutius (dos màxims consecutius) s'anomena *longitud d'ona*, i es designa amb la lletra  $\lambda$  (lambda).

El principi d'una comunicació sense fils es basa en una emissió i recepció d'ones provocada per una antena, un tros de conductor connectat a un circuit elèctric. En el buit, les ones electromagnètiques viatgen o es propaguen a la velocitat de la llum,  $c = 300.000$  km/s. En la fibra òptica o en el parell de fils, per exemple, es propaguen a una velocitat de  $2/3 \cdot c$ . La velocitat de la llum és el límit de la velocitat màxima a l'Univers. Cap objecte ni cap senyal la pot superar. La relació fonamental entre  $f$ ,  $\lambda$  i  $c$  és la següent:

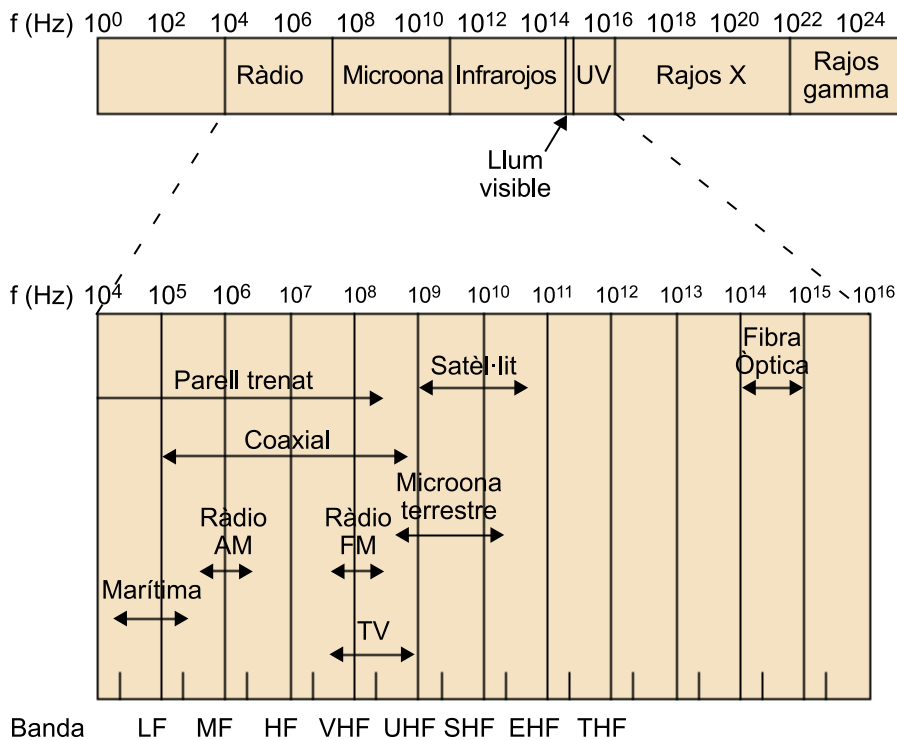
$$C = \lambda \times f$$

Com que  $c$  és constant, si coneixem  $f$  podem calcular  $\lambda$  i al contrari.

L'espectre electromagnètic està format per ones de ràdio, microones, ones infraroges i la llum visible. Aquestes diferents parts de l'espectre es poden utilitzar per a transportar informació prèviament a una modulació en amplitud o en freqüència. La llum ultraviolada, els rajos X, o els rajos gamma, solen ser millors, però a causa de les seves altes freqüències, són difícils de treballar i

modular, no es propaguen eficientment a través d'edificis, i són perillosos per a la salut humana. Les bandes de freqüències LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF i THF són els noms oficials de la ITU. LF té una longitud d'ona d'1 km a 10 km. Els termes *LF*, *MF* i *HF* es refereixen a baixa, mitjana i alta freqüència, respectivament. *V*, *U*, *S* i *E* es refereixen als conceptes *very*, *ultra*, *super* i *extremely*.

Figura 52. Espectre electromagnètic



Per a prevenir un caos total en la utilització de les diferents freqüències de l'espectre, als EUA l'FCC gestiona les freqüències per a la ràdio d'AM i FM, la televisió, els telèfons cel·lulars que utilitzen els operadors de telefonia, la policia, els militars, els govern i d'altres organitzacions.

Dos equips es poden comunicar utilitzant sempre la mateixa freqüència o utilitzant la tècnica DSSS<sup>92</sup>, que consisteix que el transmissor salta de freqüència en freqüència seguint una seqüència regular sobre una banda de freqüències determinada.

<sup>(92)</sup>DSSS és la sigla de *direct sequence spread spectrum*.

Les ones de ràdio són fàcils de generar, poden viatjar a llargues distàncies i penetren fàcilment en edificis, i es poden usar tant per a comunicacions exteriors com interiors. Les ones de ràdio viatgen en totes les direccions des de la font, i provoquen que l'emissor i el receptor no hagin d'estar físicament alineats. A baixes freqüències les ones de ràdio passen a través dels obstacles, però la seva potència decau amb la distància des de la font. A altes freqüències les ones de ràdio tendeixen a transmetre's en línia recta, i són absorbides per la pluja, i a molt altes freqüències, les ones de ràdio sofreixen interferències de motors i



altres equips elèctrics. Perquè no hi hagi interferències entre diferents usuaris que utilitzen les mateixes freqüències, els governs limiten amb la concessió de llicències els transmissors de ràdio.

Les ones de ràdio de les bandes VLF, LF i MD segueixen la curvatura de la terra. Aquestes ones es poden detectar a distàncies de més de 1.000 km a baixes freqüències, menys amb freqüències altes. Per exemple, la ràdio AM utilitza la banda MF. El principal problema de la utilització de la banda MF per a la transmissió de dades és la baixa amplada de banda que ofereix. En les bandes HF i VHF, les ones tendeixen a anar cap a la ionosfera (capa carregada de partícules que està a uns 100-500 km), es refracten i són enviades una altra vegada cap a la Terra. Amb determinades condicions meteorològiques, els senyals reboten unes quantes vegades. Els operadors de ràdio amateurs utilitzen aquestes bandes per a parlar a llargues distàncies. També s'utilitzen per a aplicacions militars les bandes HF i VHF.

En la transmissió per microones (100 MHz), les ones viatgen en línia recta i poden ser fàcilment focalitzades. Concentrant tota l'energia en un punt utilitzant una antena parabòlica es proporciona un ràtio senyal/renou més elevat, però les antenes d'emissió i recepció han d'estar correctament alineades. Aquesta alineació permet que molts transmissors es puguin comunicar amb molts receptors amb una alienació prèvia. Aquest sistema fou durant molt de temps, abans de la fibra òptica, el cor de les transmissions telefòniques a llarga distància. Les ones de microones no travessen els edificis. Presenten el problema del *multipath fading*, i és que determinades ones són refractades cap a terra per diferents capes atmosfèriques, i triguen més temps a arribar que les ones directes, i això provoca que les ones retardades cancel·lin les ones directes. Aquest efecte depèn del clima i de la freqüència utilitzada.

Actualment s'utilitzen microones en bandes de 10 GHz. Amb 8 GHz solen aparèixer els problemes d'absorció per l'aigua de pluja. En resum, són utilitzades per a comunicacions telefòniques a llarga distància, telèfons cel·lulars i distribució de televisió. És una solució relativament barata comparat amb la utilització de fibra òptica.

Les microones també s'utilitzen en unes bandes per a usos industrials, científics o mèdics (2.400 GHz). Aquestes bandes especials no requereixen autorització del govern per a utilitzar-les. Els usos són per a comandaments a distància per a obrir portes, altaveus sense fils, telèfons sense fils, portes de seguretat, etc.

Les ones per infrarojos i les ones mil·limètriques s'utilitzen per a comunicacions de molt curta distància, com per exemple el control remot del televisor. Són comunicacions direccionals, barates i fàcils de construir. No passen a través d'objectes. S'assemblen més a les ones de llum que a les ones de ràdio. Com que no passen a través de parets i altres objectes, les interferències que

poden ocasionar queden reduïdes dins un espai físic molt petit (una habitació). No cal cap llicència del govern per a poder emetre en aquestes freqüències. Aquests tipus de comunicacions estan pensades per als interiors d'edificis, perquè en l'exterior, quan el sol brilla també emet en l'espectre infraroig, i provoca interferències.

Finalment, la transmissió per ones de llum a diversos centenars de metres és possible si s'utilitzen làsers unidireccionals i fotodetectors. Té el problema de les turbulències (canvi en la inclinació de la línia) que provoquen els rajos solars (en dies de molta temperatura i molt de sol, provocades pels corrents de convecció), i això provoca una desalienació de l'emissor i el receptor i, per tant, atura la comunicació.

## Resum

En la primera part d'aquest mòdul didàctic hem presentat tres dels quatre contextos en què podíem trobar present el nivell d'enllaç, i que teníem pendents del mòdul anterior.

En el context local entre un ordinador i un perifèric, hem vist la classificació clàssica dels protocols en funció del tipus de sincronització: síncrons o asíncrons i orientats a bit o a caràcter. A continuació hem estudiat les característiques principals dels dos protocols més significatius en aquest àmbit: RS-232 i BSC.

En el context de sistemes d'accés a xarxes WAN hem tractat els dos protocols de nivell d'enllaç més implementats en les tecnologies d'accés a xarxes WAN: PPP i HDLC. S'ha comentat que de la mateixa manera que els fabricants consideren Ethernet com l'estàndard *de facto* per a les xarxes LAN, molts autors també consideren PPP com el protocol *de facto* per als sistemes d'accés a xarxes WAN. També hem repassat les principals tecnologies utilitzades per a connectar-nos a una WAN o Internet, com ADSL, XDSI, HFC, etc.

En el context de xarxes de transport WAN hem estudiat les principals tecnologies utilitzades en la part troncal d'un operador de telecomunicacions WAN, com X.25, retransmissió de trama, ATM i MPLS. ATM durant molt de temps ha estat la tecnologia referent com a xarxa de transport WAN; no obstant això, actualment està essent reemplaçada per altres que s'adapten millor a IP.

En el quart apartat del mòdul hem presentat els conceptes matemàtics bàsics i inicials dels conceptes de transmissió de dades, i també els dos teoremes bàsics de la transmissió d'informació que ens calculen els límits de la capacitat de transmissió per un canal de comunicació.

Hem vist que les codificacions digitals i les modulacions digitals són els mecanismes que permeten generar senyals susceptibles de travessar els medis. És a dir, consisteixen a adaptar o convertir els senyals digitals interns de funcionament d'un ordinador a uns altres tipus de senyals més adients per a un altre canal: per exemple, no fa gaires anys, la xarxa telefònica bàsica estava dissenyada per a transmetre la veu humana i no per a dades digitals; mitjançant d'un aparell anomenat *modulador/desmodulador (mòdem)*, s'adaptaven els senyals interns digitals de l'ordinador a un tipus d'ona amb les mateixes freqüències de funcionament que la veu humana per a poder establir comunicacions entre ordinadors a través de la línia telefònica. Aquest dispositiu feia una

modulació en el moment d'enviar la informació, i una desmodulació (procés invers a la modulació) en el moment de rebre la informació a l'ordinador destinatari.

També hem analitzat els problemes, les pertorbacions que sofreixen els senyals transportats per medis: l'atenuació, la distorsió i el soroll.

Finalment hem vist els medis de transmissió més emprats actualment, les seves característiques més importants i com afecten a cada un les pertorbacions descrites anteriorment.

## Bibliografia

**Bertsekas, D.; Gallager, R.** (1992). *Data networks* (2a. ed.). Englewood Cliffs: Prentice Hall.

**Halberg, B.** (2003). *Fundamentos de redes*. McGraw-Hill.

**Halsall, F.** (1998). *Comunicaciones de datos, redes de computadoras y sistemas abiertos* (4a. ed.). Addison-Wesley.

**Kurose, J. F.; Ross, K. W.** (2005). *Computer networking: a top-down approach featuring the Internet*. Addison-Wesley.

**Stallings, W.** (2000). *Comunicaciones de datos y redes de computadores 6*. Prentice-Hall.

**Tanenbaum, A. S.** (2003). *Redes de computadores* (4a. ed.). Pearson.

### Enllaços d'interés

Web del Forum ATM

Web de l'Internet Architecture Board

Web de l'IEEE

Web de la Unió Internacional de Telecomunicacions

