



UIT-D

COMISIÓN DE ESTUDIO 2 2.º PERIODO DE ESTUDIOS (1998-2002)

Manual sobre nuevas tecnologías y nuevos servicios

*FASCÍCULO I
Nuevas tecnologías
que sustentan nuevas redes*

Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT)

Unión Internacional de Telecomunicaciones



LAS COMISIONES DE ESTUDIO DEL UIT-D

Las Comisiones de Estudio del UIT-D se establecieron de conformidad con la Resolución 2 de la Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones (CMDT) celebrada en Buenos Aires (Argentina) en 1994. Para el periodo 1998-2002, se encomendó a la Comisión de Estudio 1 el estudio de once Cuestiones en el campo de las estrategias y políticas de desarrollo de las telecomunicaciones y a la Comisión de Estudio 2 el estudio de siete Cuestiones en el campo del desarrollo y gestión de los servicios y redes de telecomunicaciones. Para este periodo y a fin de responder lo más rápidamente posible a las preocupaciones de los países en desarrollo, en lugar de aprobarse durante la CMDT, los resultados de cada Cuestión se publicarán a medida que vayan estando disponibles.

Para toda información

Sírvase ponerse en contacto con:

Sra Fidélia AKPO
Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT)
UIT
Place des Nations
CH-1211 GINEBRA 20
Suiza
Teléfono: +41 22 730 5439
Fax: +41 22 730 5884
E-mail: fidelia.akpo@itu.int

Para solicitar las publicaciones de la UIT

No se admiten pedidos por teléfono. En cambio, pueden enviarse por telefax o e-mail.

UIT
Servicio de Ventas
Place des Nations
CH-1211 GINEBRA 20
Suiza
Teléfono: +41 22 730 6141 inglés
Teléfono: +41 22 730 6142 francés
Teléfono: +41 22 730 6143 español
Fax: +41 22 730 5194
Télex: 421 000 uit ch
Telegrama: ITU GENEVE
E-mail: sales@itu.int

La Librería electrónica de la UIT: www.itu.int/publications

© UIT 2001

Reservados todos los derechos de reproducción. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, incluyendo la fotocopia y el microfilme, sin previa autorización escrita de la UIT.

UIT-D COMISIÓN DE ESTUDIO 2 2.º PERIODO DE ESTUDIOS (1998-2002)

Manual sobre nuevas tecnologías y nuevos servicios

*FASCÍCULO I
Nuevas tecnologías
que sustentan nuevas redes*

Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT)

Unión Internacional de Telecomunicaciones



FASCÍCULO 1

Nuevas tecnologías y nuevos servicios**ÍNDICE**

	<i>Página</i>
Agradecimientos	ix
Prefacio	xi
Resumen práctico.....	xiv
CAPÍTULO 1 – Introducción	1
1.1 Consideraciones generales	1
1.2 Estructura del Fascículo 1	1
CAPÍTULO 2 – Nuevas tecnologías para los soportes de transmisión (fibras ópticas, radiocomunicación, satélites)	4
2.1 Fibras ópticas	4
2.1.1 Características de transmisión	4
2.1.1.1 Atenuación	4
2.1.1.2 Dispersión cromática.....	5
2.1.1.3 Longitud de onda de corte.....	5
2.1.1.4 Dispersión por modo de polarización.....	6
2.1.2 Tipos de fibras	6
2.1.3 Forma de utilización de la fibra óptica	8
2.1.3.1 Protección de la fibra.....	8
2.1.3.2 Procedimientos de instalación.....	9
2.1.3.3 Empalmes	10
2.1.4 Protección de redes ópticas.....	10
2.1.4.1 Introducción	10
2.1.4.2 Supervivencia de la red	10
2.1.4.3 Criterios para elegir entre restablecimiento y protección.....	12
2.1.4.4 Conclusiones	13
2.1.4.5 Referencias UIT-T.....	14
2.1.5 Abreviaturas.....	14
2.2 Sistemas de radioenlaces digitales	15
2.2.1 Consideraciones generales.....	15
2.2.2 Nuevas tecnologías de radiocomunicación digitales por microondas (punto a punto).....	16
2.2.3 Sistema de jerarquía digital síncrona (SDH) con las nuevas tecnologías .	22
2.2.4 Sistemas de radiocomunicación de acceso múltiple	23
2.2.4.1 Arquitectura del sistema	24
2.2.5 Redes de radiocomunicaciones digitales	35
2.2.6 Publicaciones de la UIT	35
2.2.7 Abreviaturas.....	36

	<i>Página</i>
2.3	Sistemas de comunicaciones móviles..... 38
2.3.1	Introducción 38
2.3.2	El espectro..... 39
2.3.3	Sistemas terrenales..... 40
2.3.3.1	Tecnologías celulares analógicas 40
2.3.3.2	Sistemas de segunda generación 43
2.3.3.3	Telefonía inalámbrica (CT) 51
2.3.3.4	Radiocomunicaciones móviles privadas (PMR)..... 53
2.3.3.5	Sistemas móviles de la tercera generación – IMT-2000..... 56
2.3.3.6	Empleo de sistemas de satélite 56
2.3.4	Abreviaturas 57
2.4	Sistemas de satélite..... 59
2.4.1	Satélites geoestacionarios 61
2.4.1.1	Sistemas de satélites geoestacionarios para comunicaciones fijas 62
2.4.1.2	Equipo de multiplicación de circuitos digitales..... 63
2.4.1.3	Sistemas de telefonía y datos por satélite internacionales de gran capacidad..... 65
2.4.1.4	Sistemas de satélites nacionales y regionales de baja y media capacidad (DOMSAT)..... 68
2.4.1.5	Sistemas VSAT 77
2.4.1.6	Sistema de transmisión de estación terrena DSNG TV transportable 78
2.4.2	Tecnología de los sistemas móviles de satélites geoestacionarios..... 80
2.4.3	Sistemas de satélites no geoestacionarios 81
2.4.3.1	Descripción del sistema..... 82
2.4.4	Sistemas mundiales de comunicaciones móviles personales por satélite (GMPCS) 83
2.4.5	Sistemas mundiales de determinación de posición por satélite 83
2.4.6	Publicaciones del UIT-R..... 83
2.4.7	Abreviaturas..... 83
Anexo 2A	– Sistema VSAT..... 86
Anexo 2B	– El sistema Inmarsat..... 90
Anexo 2C	– El sistema Globalstar 93
Anexo 2D	– El sistema ICO..... 99
Anexo 2E	– Sistema Skybridge para acceso global multimedia..... 107
Anexo 2F	– El sistema Teledesic..... 115
Anexo 2G	– El sistema «Final Analysis» 119
CAPÍTULO 3	– Sistemas de conmutación digitales 121
3.1	Introducción 121
3.1.1	Conceptos..... 121
3.1.2	Principios de conmutación..... 123
3.1.3	Referencias..... 124

	<i>Página</i>	
3.2	Conmutación de canales.....	124
3.2.1	Fases de conexión.....	125
3.2.2	Estructura de un sistema de conmutación.....	126
3.2.3	Tareas realizadas por la unidad funcional «conmutación» de un sistema de conmutación.....	128
3.2.4	Matriz de conmutación.....	128
3.2.5	Control de los dispositivos de conmutación.....	135
3.2.6	Referencias.....	136
3.3	Conmutación de mensajes.....	137
3.3.1	Conmutación de paquetes.....	137
3.3.2	Conmutación de mensajes.....	139
3.3.3	Conmutación ATM.....	140
3.3.4	Conexiones virtuales.....	140
3.3.5	Conmutación y encaminamiento.....	142
3.3.6	Referencias.....	143
3.4	Tecnología de la conmutación telefónica.....	144
3.4.1	Red local.....	145
3.4.2	Red de larga distancia.....	146
3.5	Transferencia de mensajes sin conexión.....	146
3.5.1	Principios de funcionamiento.....	146
3.5.2	Las diferentes técnicas.....	147
3.6	Abreviaturas.....	148
CAPÍTULO 4	– Nuevos sistemas de señalización y sistema de señalización N.º 7.....	151
4.1	Introducción.....	151
4.2	El sistema de señalización N.º 7 (SS7).....	151
4.2.1	Parte de transferencia de mensajes (MTP).....	152
4.2.1.1	Introducción.....	152
4.2.1.2	Descripción.....	152
4.2.1.3	Evolución futura.....	155
4.2.2	Parte control de la conexión de señalización (SCCP).....	156
4.2.2.1	Introducción.....	156
4.2.2.2	Descripción.....	156
4.2.2.3	Evolución futura.....	159
4.2.3	Capacidades de transacción (TC).....	159
4.2.3.1	Introducción.....	159
4.2.3.2	Descripción.....	159
4.2.3.3	Evolución futura.....	160
4.2.3.4	Referencias.....	161
4.2.4	Parte usuario de la RDSI (ISUP).....	161
4.2.4.1	Introducción.....	161
4.2.4.2	Descripción.....	161
4.2.4.3	Evolución futura.....	163
4.2.4.4	Referencias (Q.761 a Q.764, y la serie Q.730).....	164
4.2.5	Parte de aplicación de red inteligente (PARI).....	164
4.2.5.1	Introducción.....	164
4.2.5.2	Descripción.....	164
4.2.5.3	Evolución futura.....	166
4.2.5.4	Referencias.....	166

	<i>Página</i>
4.3 Sistema de señalización digital de abonado N.º 1 (DSS1).....	167
4.3.1 Introducción.....	167
4.3.2 Descripción.....	167
4.3.2.1 Control de llamadas.....	167
4.3.2.2 Control de servicios suplementarios.....	168
4.3.2.3 Evolución futura.....	169
4.4 Señalización de banda ancha.....	169
4.4.1 Capas bajas que soportan la señalización RDSI-BA.....	169
4.4.2 Parte de usuario de la red RDSI de banda ancha (PU-RDSI-BA).....	172
4.4.2.1 Introducción.....	172
4.4.2.2 Protocolos de señalización de la PU-RDSI-BA.....	172
4.4.2.3 Negociación de parámetros de tráfico.....	174
4.4.2.4 Modificación de parámetros de tráfico.....	174
4.4.2.5 Indicación de la clase de calidad de servicio y soporte de los distintos parámetros.....	174
4.4.2.6 Conexiones de canal virtual punto a multipunto.....	175
4.4.2.7 Servicios suplementarios.....	175
4.4.2.8 Recomendaciones UIT-T.....	176
4.4.3 Sistema de señalización digital N.º 2 (DSS2).....	176
4.4.3.1 Introducción.....	176
4.4.3.2 Protocolos de señalización DSS2.....	177
4.4.3.3 Recomendaciones UIT-T.....	180
4.5 Abreviaturas.....	180
Anexo A – Otros protocolos de señalización ATM.....	185
Anexo B – Especificación de señalización DSS2 y la especificación UNI del Foro ATM.....	186
B.1.....	186
B.2.....	186
B.3.....	186
CAPÍTULO 5 – Técnicas y métodos de sincronización.....	188
5.1 Introducción.....	188
5.2 Sincronización de los sistemas de transmisión.....	189
5.2.1 Extracción de la señal de reloj del tren de datos binario.....	189
5.2.2 Sincronización punto a punto.....	191
5.3 Técnicas basadas en PLL.....	193
5.3.1 Corrección del reloj subordinado en tiempo discreto.....	193
5.3.2 Oscilador controlado en tiempo continuo.....	194
5.4 Corrección de la temporización.....	195
5.4.1 Corrección de errores en el dominio de tiempo discreto.....	195
5.4.2 Corrección de errores en el dominio de la frecuencia.....	196
5.4.3 Corrección de errores en los dominios del tiempo y la frecuencia.....	197

	<i>Página</i>
5.5 Sincronización de red.....	197
5.5.1 Sincronización de las centrales telefónicas en la RTPC	197
5.5.2 Dinámica de la actividad del ITU-T en los aspectos de sincronización de las comunicaciones	199
5.6 Sincronización en ATM	205
5.7 Referencias.....	205
5.8 Abreviaturas	206
CAPÍTULO 6 – Transmisión digital (PHD, SDH, DWDM, xDSL)	208
6.1 Jerarquía digital plesiócrona (PDH).....	208
6.1.1 Principios	208
6.1.2 Normas.....	208
6.1.3 Realización	209
6.2 Jerarquía digital síncrona (SDH).....	210
6.2.1 Principios	210
6.2.2 Normas.....	211
6.2.3 Realización	212
6.3 Múltiplex por división de longitud de onda de alta densidad (DWDM).....	217
6.3.1 Principios	217
6.3.2 Normas.....	218
6.3.3 Realización	220
6.4 Líneas de abonado digital (XDSL)	222
6.4.1 Bucles de abonado	222
6.4.2 Sistemas de línea de abonado	224
6.4.3 ADSL.....	226
6.4.4 HDSL.....	231
6.4.5 VDSL.....	232
6.4.6 Ejemplos de red	234
6.4.7 Recomendaciones UIT-T.....	237
6.4.8 Panorama	237
6.4.9 Referencias	238
6.5 Abreviaturas	238
CAPÍTULO 7 – Tecnología ATM	241
7.1 Introducción	241
7.2 Conexiones virtuales – Canal virtual y trayecto virtual	246
7.3 Red de transporte ATM por capas – Concepto general.....	248
7.4 Conmutación ATM de los VP y los VC.....	251
7.5 Formato de célula ATM.....	251
7.6 Modelo de referencia de protocolo RDSI-BA.....	253
7.6.1 Funciones de las capas individuales del modelo de referencia de protocolos de la RDSI-BA.....	255
7.6.2 Capa física	256
7.6.3 Capa ATM	256
7.6.4 Capa de adaptación ATM.....	256

	<i>Página</i>
7.7 Operación y mantenimiento (OAM)	260
7.7.1 Principios de OAM	260
7.7.2 Niveles OAM en la RDSI-BA	261
7.7.3 Mecanismo de flujo F4 (F5)	263
7.8 Señalización de la red ATM.....	263
7.8.1 Capacidades para controlar las conexiones de canal virtual y las conexiones de trayecto virtual ATM para la transferencia de información.....	263
7.8.2 Capacidad para soportar llamadas multipartitas y multiconexión	264
7.8.3 Otras.....	264
7.8.4 Función de transporte de señalización	264
7.8.5 Protocolos de señalización.....	265
7.9 Gestión del tráfico	265
7.9.1 Capacidades de transferencia ATM (ATC)	267
7.9.2 Categorías de servicio del Foro ATM.....	269
7.10 Referencias del UIT-T.....	270
7.11 Abreviaturas	272

Agradecimientos

Debe agradecerse a las siguientes personas su colaboración en la elaboración de este Manual:

Sr. S. Berman (Bell Lab, Lucent)
Sr. R.C. Bhatnagar, ABU
Sr. G. Cayla (Lucent Technologies)
Sr. L. Chae Sub, Presidente, UIT-T, GT 1/13
Sr. J. Costa, Nortel Networks
Sr. P. Distler, Francia
Sr. J. Embro, Ericsson
Sr. M. Ghazal, Líbano, Relator para la Cuestión 2/2 y posteriormente la 16/2
Dr. N. Gospic, Consultor de la BDT
Sr. C. Hyde, ICO Global Communications
Dr. M. Jankovic, CYPTT
Sr. H. Jieping, China
Sr. R. Katic, CYPTT
Sr. N. Kisrawi, Presidente de la Comisión de Estudio 2 del UIT-D
Sr. J. Magill, Probe Communications, Consultor de la BDT
Sr. P. Mège, THALES (anteriormente Thomson)
Sr. B. Moore, Charter Telecomms Consultants Ltd., Consultor de la BDT
Sr. A. Nehme, Ericsson
Dr. B. Odadic, CYPTT
Sr. F. Rahe, Alcatel
Dr. I. Reljin, CYPTT
Sr. Savchuk (Instituto de Ucrania)
Sr. Y. Shmaliy, Ucrania
Sr. R. Simic, CYPTT
Sr. W. Widl, Suecia
Sra. F. Akpo, BDT
Sr. J.C. Faure (BDT)
Sr. P. Touré, BDT
Sra. B. Wilson, BDT
Sr. M. Zaragoza, BDT

Nota a la atención del lector

Este Manual ha sido elaborado por muchos contribuidores voluntarios, procedentes de distintas administraciones y empresas, que proporcionan ejemplos de sus productos, modelos y estudios de casos.

La mención de empresas o de productos específicos no implica ninguna sugerencia o recomendación por parte de la UIT.

PREFACIO

1 Antecedentes históricos

En la Sociedad Mundial de la Información (GIS) y la Economía Mundial de la Información (GIE) de hoy en día, el sector de las telecomunicaciones está llamado a desempeñar un papel fundamental como industria líder en el siglo XXI. Para satisfacer las necesidades de este nuevo siglo y suprimir la brecha en materia de comunicaciones que existe entre los países industrializados y los países en desarrollo, es muy importante compartir los conocimientos referentes a tecnologías y servicios de telecomunicaciones. Esta circunstancia fue reconocida por la primera Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones celebrada en Buenos Aires del 21 al 29 de marzo de 1994 y fue confirmada por la segunda CMDT, que tuvo lugar en La Valetta del 23 de marzo al 1 de abril de 1998, donde se establecieron dos Comisiones de Estudio:

- Comisión de Estudio 1: relativa al desarrollo de estrategias y políticas en materia de telecomunicaciones.
- Comisión de Estudio 2: relativa al desarrollo y la gestión de servicios y redes de telecomunicaciones.

La Cuestión 2/2 del primer periodo de estudios y la Cuestión 16/2 del actual periodo de estudios de la Comisión de Estudio 2 tienen como objetivo elaborar nuevos Manuales o revisar los Manuales existentes para difundir los conocimientos técnicos en estos campos. El Manual «Nuevas tecnologías y nuevos servicios» contribuye al logro de este objetivo.

2 Propósito del Manual

El rápido desarrollo de las telecomunicaciones en los aspectos tecnológicos y del mercado aporta cada día nuevos productos, equipos, sistemas, redes y servicios. Es demasiado ambicioso pretender que este Manual englobe todos los aspectos de los temas relativos a nuevas tecnologías y nuevos servicios en telecomunicaciones y satisfaga las necesidades de todos los protagonistas en este campo.

El objetivo del Manual es proporcionar una visión de la tecnología y los servicios que están apareciendo en el entorno siempre cambiante de las telecomunicaciones, presentando las características y capacidades generales que las diversas redes y nuevos servicios pueden ofrecer al mercado, y dejando a un lado los detalles técnicos que son objeto de normalización. Las tecnologías y servicios presentados en general cumplen con las Recomendaciones de la UIT.

El Manual también toca el tema de la igualdad de sexos en la preparación e introducción de nuevos servicios.

3 Necesidad del Manual

En la última década el sector de las telecomunicaciones ha experimentado cambios radicales impulsados por un mercado cada vez más liberalizado y a escala mundial en el que el control de las capacidades de la red se ha convertido en un factor de competencia estratégico para satisfacer los cada vez más exigentes requisitos de usuario. La rápida evolución de la inteligencia de la red viene determinada principalmente por la convergencia entre las telecomunicaciones y la tecnología de la información que ha desarrollado varios servicios multimedia. Debido a ello, las redes de telecomunicaciones han aumentado y continúan aumentando su complejidad y tanto su instalación como su explotación constituyen hoy en día un verdadero reto. Además, cada vez adquiere más importancia poseer la competencia necesaria para

integrar soluciones inteligentes y de alta capacidad en las redes existentes a fin de satisfacer los requisitos del usuario final de forma económica.

Los tres requisitos más importantes que deben cumplirse para mejorar las redes existentes o planificadas son los siguientes:

- *más capacidad,*
- *más potencia, y*
- *mayor eficacia.*

Para resumir estas fuerzas impulsoras, y a fin de establecer una base para el tema del Manual, puede decirse que:

- Con capacidad insuficiente (por ejemplo, anchura de banda, volumen de paquetes, etc.) los operadores de las redes no pueden satisfacer las demandas de los usuarios, incluso en el caso del acceso al servicio universal y especialmente si se trata de servicios nuevos y de alta calidad. Sin embargo, para optimizar la inversión se requiere más creatividad y una planificación más adecuada de las nuevas aplicaciones tecnológicas.
- La oportunidad que brindan aplicaciones tecnológicas para elaborar capacidades más inteligentes en los equipos de telecomunicaciones dará más posibilidades a los operadores de redes y a los suministradores de servicios, a la vez que aumentará el tráfico de la red inteligente al generar nuevos servicios de valor añadido. La estimación de las necesidades de los usuarios es una poderosa herramienta para ganar a la competencia, pero sólo si se realiza a tiempo.
- El desarrollo de nuevos conceptos de gestión de red que comprenden la explotación, la administración, el mantenimiento y la planificación dan lugar a una mayor eficacia en el funcionamiento y a una mejor organización del mantenimiento, lo que se traduce en una disminución de los costes de explotación. Una imagen objetiva de los elementos de red, de las redes, de los servicios y de las posibilidades comerciales mejorará las operaciones cotidianas y el comportamiento de la red satisfaciendo de esa forma las expectativas de los clientes en cuanto al objetivo de lograr una mayor calidad de servicio.

Estas razones han sido las ideas principales que han impulsado a la elaboración del presente Manual.

4 Destinatarios del Manual

El Manual es una herramienta adecuada para todo el que tenga interés en las telecomunicaciones. Se recomienda especialmente a los administradores y a los expertos técnicos y de planificación de los operadores de telecomunicaciones titulares y de los organismos reguladores nacionales del sector de las telecomunicaciones, en particular de los países en desarrollo. Los administradores deben utilizar esta información para analizar o elaborar conceptos para las estrategias a largo plazo. Los administradores y los expertos técnicos pueden basarse en estos textos a la hora de instalar las redes que soportarán los nuevos servicios a escala mundial que esperan los usuarios del siglo XXI. Los reguladores, especialmente los que ya están establecidos, deben recibir ayuda para crear un entorno que aliente la introducción de innovaciones por los diversos protagonistas sin imponer más restricciones que las necesarias para crear un marco competitivo productivo. También otros protagonistas se beneficiarán del material preparado para mejorar su acceso al mercado.

Las referencias indicadas en los fascículos del Manual deben permitir a los lectores obtener más información sobre el tema.

5 Homogeneidad

En el Manual han trabajado muchas personas y ha sido editado por la Sra. N. Gospic ayudada por los Sres. B. Moore y J. Magill. Los capítulos y subcapítulos varían en alcance y nivel de detalle, lo cual es lógico en un Manual de estas características, y reflejan la diferente naturaleza de las contribuciones.

Representa una instantánea del desarrollo de redes y servicios en el momento de su edición. Por lo tanto, no constituye una imagen completa pero proporciona directrices y muchas referencias válidas para estudios posteriores.

Cabe señalar que el Manual irá actualizándose a medida que las tecnologías evolucionen.



Hamadoun I. Touré
*Director,
Oficina de Desarrollo de
las Telecomunicaciones, UIT*

RESUMEN PRÁCTICO

1 Introducción

Teniendo en cuenta las futuras tendencias técnicas y de explotación de los servicios de telecomunicaciones, los países en desarrollo deben conocer los últimos avances experimentados por la comunidad internacional al respecto a fin de que su propia población pueda aprovechar las ventajas resultantes.

Los países en desarrollo deben permanecer al tanto de los avances y logros en las aplicaciones de nuevas tecnologías a las redes de telecomunicaciones para que sus usuarios puedan beneficiarse de estos progresos.

El Manual sobre nuevas tecnologías y nuevos servicios ha sido elaborado teniendo en cuenta estas dos declaraciones realizadas por la Conferencia de La Valetta celebrada en 1998.

2 Estructura del Manual

La complejidad de los asuntos de telecomunicaciones y los distintos grupos de lectores exigen que la estructura del Manual tenga un cierto carácter pedagógico. El objetivo es que el lector pueda encontrar fácilmente información sobre ciertas partes de un tema. La estructura también se ha adaptado a los rápidos cambios que experimentan las telecomunicaciones y al hecho de que algunos temas son aún objeto de estudio.

El Manual consta de cuatro partes que se han elaborado como fascículos separados:

Fascículo 1: «Nuevas tecnologías que sustentan nuevas redes»

Fascículo 2: «Redes y servicios digitales»

Fascículo 3: «Redes y servicios basados en el protocolo IP»

Fascículo 4: «Redes y servicios digitales de radio y televisión»

Cada capítulo es autocontenido (en algunos casos también los subcapítulos lo son) para simplificar la actualización del texto.

La mención de empresas específicas en el Manual no implica ninguna tendencia o recomendación por parte de la UIT.

En cada fascículo hay un Capítulo 1 en el que aparecen consideraciones generales y las relaciones con otros fascículos. En cada uno de los capítulos figuran referencias a normas y publicaciones pertinentes del UIT-T. Además, también se indican algunas de las normas más importantes elaboradas por otros organismos de normalización. En algunos capítulos aparecen ejemplos útiles a fin de ampliar el tema tratado.

A continuación figura un breve contenido de cada uno de los fascículos del Manual. El índice detallado aparece al principio de cada fascículo.

Fascículo 1 – Nuevas tecnologías que sustentan nuevas redes

El contenido de este fascículo se ha dividido en los siguientes capítulos:

- 1 Introducción
- 2 Nuevas tecnologías para los soportes de transmisión
 - Cables de fibra óptica
 - Tecnologías de radioenlaces digitales
 - Sistemas de comunicaciones móviles
 - Sistemas de satélites

- 3 Sistemas de conmutación digitales
- 4 Nuevos sistemas de señalización y sistema de señalización N.º 7
- 5 Técnicas y métodos de sincronización
- 6 Transmisión digital
- 7 Tecnología ATM

Capítulo 1 – Introducción y consideraciones generales. Discute la necesidad de aplicar nuevas tecnologías para introducir nuevos servicios y lograr la competitividad en el mercado ofreciendo la adecuada capacidad y calidad.

Capítulo 2 – Nuevas tecnologías para los soportes de transmisión. Se refiere a las consideraciones principales que deben tenerse en cuenta al instalar tecnologías de fibra óptica, digitales, de radiocomunicaciones y de satélites.

Capítulo 3 – Sistemas de conmutación digitales. Trata las tecnologías de conmutación de circuitos y paquetes y organización del sistema de conmutación SPC.

Capítulo 4 – Nuevos sistemas de señalización y sistema de señalización N.º 7. Incluye las especificaciones necesarias para las nuevas redes digitales.

Capítulo 5 – Técnicas y métodos de sincronización. Explica la implantación de la sincronización en las nuevas redes digitales.

Capítulo 6 – Sistemas de transmisión digital. Trata las técnicas de PDH, SDH, WDM y xDSL con referencia a las normas más importantes y proporciona ejemplos de aplicación.

Capítulo 7 – Tecnología ATM. Incluye el transporte ATM, la conmutación y el formato de células, la explotación y mantenimiento y la gestión de la señalización y el tráfico de las redes ATM.

Fascículo 2 – Redes y servicios digitales

El fascículo 2 está compuesto de ocho capítulos, anexos y casos de prueba:

- 1 Introducción
- 2 Redes y servicios digitales
- 3 Redes y servicios celulares digitales móviles
- 4 Red de acceso
- 5 Gestión de la red y del servicio
- 6 Aspectos de planificación
- 7 Aspectos relativos a los recursos humanos
- 8 Aspectos económicos y financieros

Los *Capítulos 2, 3 y 4* se refieren a distintas tecnologías y estructura de la red y servicios conexos y hacen hincapié en sus principales características y requisitos de sus nuevas arquitecturas e interfuncionamiento. El *Capítulo 2* se divide en 10 subcapítulos que trata cada uno de ellos una red fija en particular; por ejemplo, RTPC, RDSI, red inteligente, red de conmutación de paquetes, retransmisión de trama, redes basadas en ATM, servicios y normas del UIT-T para temas conexos. El desarrollo de las telecomunicaciones en China se incluye como anexo 2A.

El *Capítulo 5* se refiere a la gestión del servicio y la red basada en la introducción del concepto de red de gestión de las telecomunicaciones.

El *Capítulo 6* ofrece directrices para la planificación de redes incluyendo ejemplos en los anexos.

El *Capítulo 7* trata el desarrollo de los recursos humanos capaces de introducir nuevas tecnologías y nuevos servicios, y

El *Capítulo 8* aborda los aspectos económicos y financieros del desarrollo de nuevas redes y servicios.

Fascículo 3 – Redes y servicios basados en el protocolo IP

El Fascículo 3 está constituido de la siguiente forma:

- 1 Índice
- 2 Introducción y definiciones
- 3 Protocolo Internet (IP)
- 4 Comercio electrónico
- 5 Servicios TeleInternet para Comercio electrónico

El *Capítulo 2* se basa en el espectacular crecimiento de abonados a Internet, de nuevos servicios y de redes basadas en IP. Aborda las definiciones básicas de correo electrónico, WWW, Arpanet e Hyperlinks.

El *Capítulo 3* se refiere a las características del protocolo IP de Internet, la estructura de paquetes IP, la dirección IP, la voz sobre IP e Ipv4 e Ipv6.

El *Capítulo 4* explica el comercio electrónico como un nuevo servicio de datos que refleja la idea de la economía de la información mundial.

El *Capítulo 5* trata la nueva arquitectura y aplicaciones de los servicios de TeleInternet con referencia a las publicaciones de la UIT.

El Fascículo 3 constituye una introducción inicial al tema y será necesario revisar y ampliar en profundidad estos asuntos.

Fascículo 4 – Redes y servicios digitales de radio y televisión

Este fascículo contiene cinco capítulos:

- 1 Introducción
- 2 Radiodifusión de audio digital
- 3 Servicio de radiodifusión de televisión digital
- 4 Estrategias para la radiodifusión de televisión digital
- 5 Radiodifusión de datos

El *Capítulo 1* trata de una introducción general de redes y servicios de radiodifusión sonora y televisión.

El *Capítulo 2* resume las ventajas de la radiodifusión digital de audio presentando distintos servicios y sistemas de audio digital. Se centra fundamentalmente en el sistema de radiodifusión de audio digital terrenal (T-DSB).

El *Capítulo 3* enumera las ventajas de la transmisión de televisión digital, tanto la televisión de definición normalizada como la televisión de alta definición. El capítulo aborda la estructura del sistema de televisión digital, la radiodifusión digital por satélite, la radiodifusión digital terrenal, los aspectos de planificación, las diferentes normas y las redes y servicios.

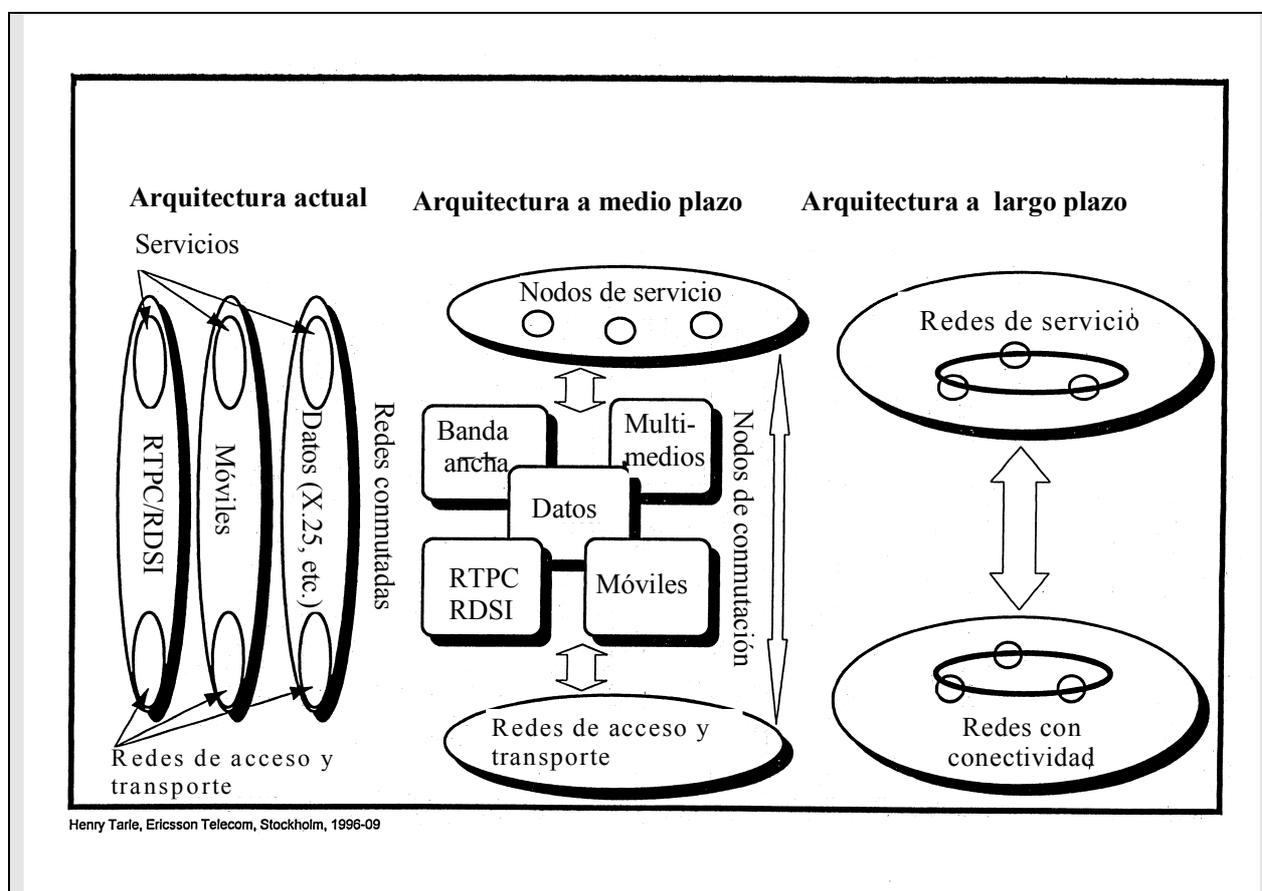
El *Capítulo 4* trata las estrategias de la radiodifusión de televisión digital resaltando las necesidades del proceso de transición de los sistemas analógicos a los sistemas digitales. El capítulo identifica los criterios de planificación para distintos sistemas, redes y servicios.

El *Capítulo 5*, «Radiodifusión de datos», presenta nuevas áreas de desarrollo para los organismos de radiodifusión en un entorno competitivo. Los servicios de radiodifusión de datos se definen con los requisitos para los sistemas de datos. El capítulo aborda con más detalle los sistemas terrenales de radiodifusión de datos que utilizan redes inalámbricas de banda ancha, los sistemas de distribución multipunto multicanal, la RDSI, y la distribución de TV por cable, presentando algunos ejemplos para la radiodifusión de multimedia.

Cómo utilizar el Manual

Para sacar el máximo provecho del Manual, es necesario entender los cambios que se han producido en los procesos de gestión del sector comercial de las telecomunicaciones. Existen tres categorías muy importantes para gestionar con éxito las telecomunicaciones:

**Figura – Redes de telecomunicaciones y evolución de los servicios
(Transformación de estructura vertical a estructura horizontal)**



Forma de consultar el Manual

Los gráficos siguientes tienen por objeto facilitar la lectura del Manual por los distintos grupos de lectores:

Figura – Para operadores de telecomunicaciones y gestores de organismos de reglamentación

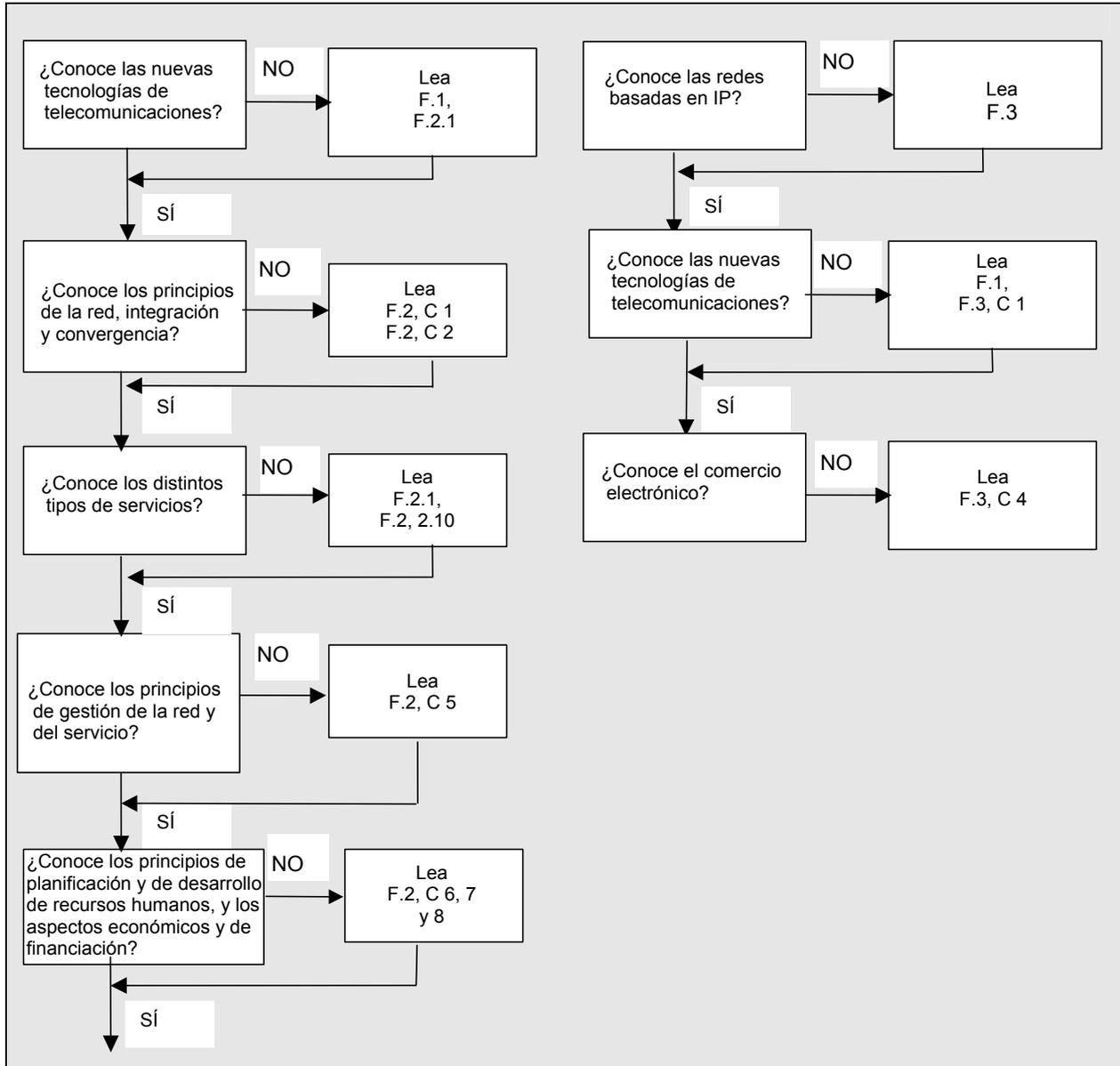


Figura – Para gestores de organismos de radiodifusión y personal técnico:

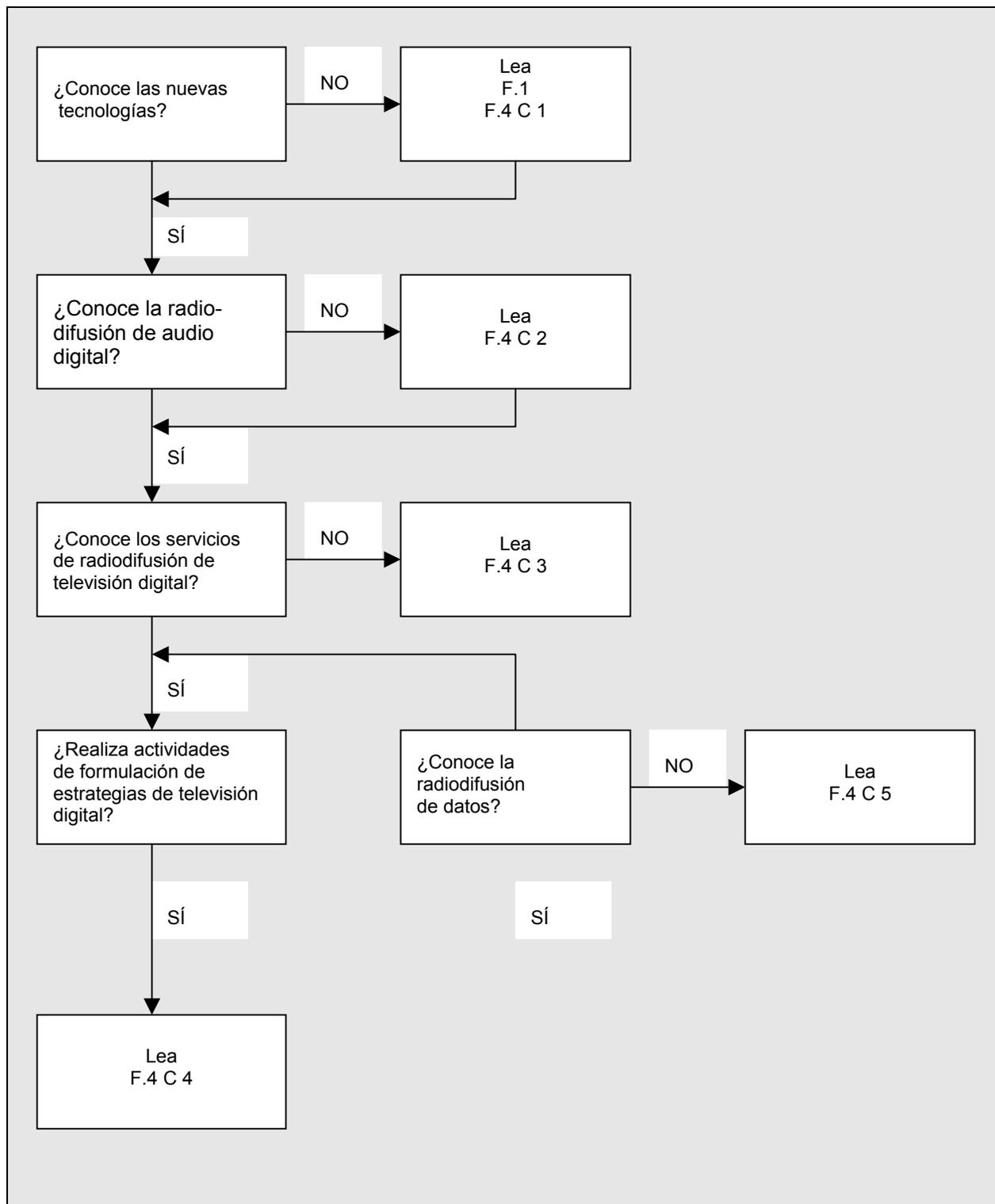
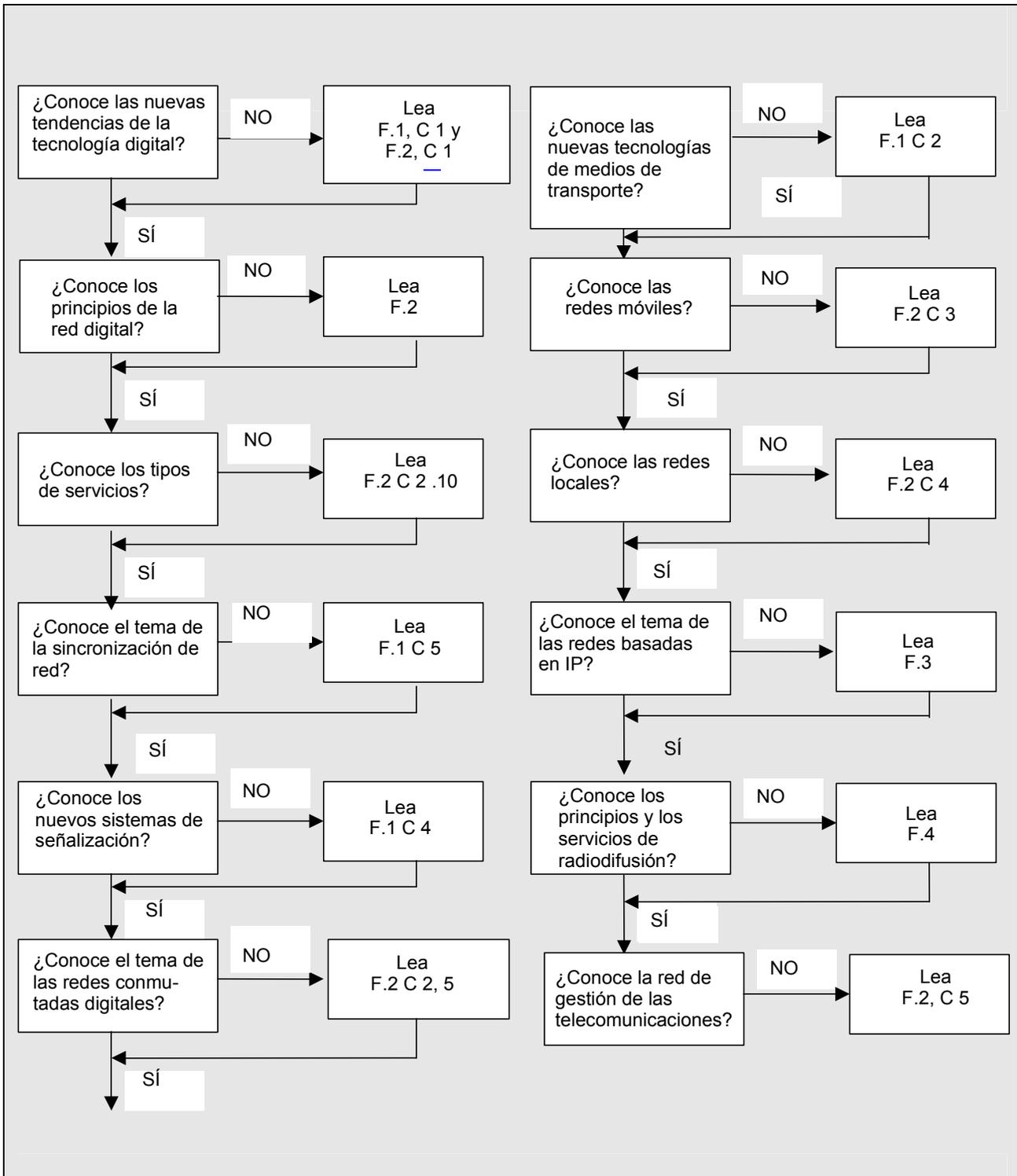


Figura – Para planificadores y gestores técnicos



CAPÍTULO 1

Introducción

1.1 Consideraciones generales

La amplia demanda de comunicaciones de voz y datos ofrece una gran oportunidad a los operadores de telecomunicaciones. La demanda de servicios de banda ancha, acceso a Internet con la necesidad de transmisión de datos a alta velocidad, vídeo por demanda, etc., exige un aumento muy importante de las capacidades de la red, lo que supone que los operadores de las redes fijas y móviles deben realizar mejoras en sus infraestructuras rápidamente a fin de responder a estas demandas. Además, los operadores de los bucles locales inalámbricos de banda estrecha y de las redes celulares requieren alimentadores de transmisión económicos para conectar sus estaciones de base. Una poderosa infraestructura con los adecuados medios de transmisión permitirá a los operadores estar preparados para las nuevas tendencias en redes y servicios. En muchos casos, la infraestructura de telecomunicaciones consiste en una combinación de distintas tecnologías para la realización adecuada de redes físicas y lógicas.

Es bien sabido que la fibra óptica es el mejor medio de transmisión y, en consecuencia, ya ha sido utilizado durante un cierto número de años. Soporta el desarrollo de una nueva jerarquía digital, por ejemplo, la jerarquía digital síncrona, SDH. Se espera que la demanda mundial de cables de fibra óptica crezca entre el 15 y el 20% anual en los próximos años. En 1997 se instalaron 36 millones de kilómetros de fibra óptica. La instalación de cables de fibra óptica se inició en las redes de larga distancia pero el mercado para los cables ópticos en la telefonía local, en la televisión por cable y en las aplicaciones de comunicaciones de datos continúa creciendo cada vez más rápidamente. Los cables de fibra óptica se instalan por enterramiento (directamente en conductos subterráneos) o en postes. Los nuevos desarrollos en el campo de la multiplexión por división de longitud de onda (WDM) han puesto en evidencia la importancia de utilizar fibras ópticas durante largos periodos de tiempo y han demostrado la posibilidad que hay de explotar más a fondo las actuales redes de fibra óptica. Gracias a las nuevas técnicas, tales como los amplificadores ópticos y la multiplexión por división de longitud de onda densa (DWDM), el coste de la infraestructura de la red es bastante inferior que en el pasado.

Los nuevos dispositivos optoelectrónicos, estudiados en este fascículo, harán posible la construcción de redes ópticas con elevadas capacidades de tráfico y que podrán funcionar a grandes velocidades binarias (desde varios cientos de Gbit/s a Terabit/s).

Sin embargo, también se han hecho grandes progresos en el desarrollo de las tecnologías de radio-comunicaciones, especialmente en las tecnologías de satélites y celulares lo que ha modificado de forma drástica las áreas de desarrollo de las telecomunicaciones, de acceso universal y de movilidad del usuario. Para facilitar la implantación de estas diferentes tecnologías de telecomunicaciones, la UIT ha publicado varios volúmenes relativos a estos asuntos. El presente Fascículo, que forma parte del Manual «Nuevas Tecnologías y Nuevos Servicios», desempeña este cometido.

1.2 Estructura del Fascículo 1

El Fascículo 1 se ha dividido en 7 capítulos siendo la introducción el presente Capítulo 1.

Cada capítulo es autocontenido (salvo el Capítulo 2, en el que cada subcapítulo es autocontenido) a fin de facilitar la actualización del texto.

El **Capítulo 2**, *Nuevas tecnologías para los soportes de transmisión*, se divide en cuatro subcapítulos: fibras ópticas, sistemas de radioenlaces, sistemas de comunicaciones móviles y sistemas de satélites.

El primer subcapítulo, *Fibras ópticas*, se refiere a las consideraciones principales que deben hacerse cuando se instalan cables de fibra óptica y discute las propiedades de transmisión (por ejemplo, la atenuación, la dispersión cromática y la polarización), los tipos de fibra, el tendido de la fibra óptica y la protección de los anillos de fibra óptica.

El subcapítulo 2, *Sistemas de radioenlaces digitales*, trata los desarrollos en las tecnologías de microondas digitales, los sistemas de radiocomunicaciones de acceso múltiple y las redes de radiocomunicaciones digitales.

El tercer subcapítulo se refiere a los *Sistemas de comunicaciones móviles*, incluida la atribución de espectro, los actuales sistemas celulares analógicos y los diversos sistemas celulares digitales. También trata la telefonía sin cordón y la utilización de sistemas de satélites. El tema de la tercera generación de sistemas móviles se considera fundamentalmente en el Fascículo 2.

El cuarto y último subcapítulo, *Sistemas de satélites*, discuten las tecnologías de satélite como caso especial de la tecnología de radiocomunicaciones. Los sistemas de satélites son similares a los sistemas de radiocomunicaciones y la única diferencia real es que la estación de enlace intermedia se encuentra en órbita. Los satélites empleados para telecomunicaciones están situados en órbitas de satélites geoestacionarios, en órbitas terrestres medias y en órbitas terrestres bajas. El desarrollo de los sistemas mundiales de comunicaciones personales por satélite (GMPCS) está abriendo un nuevo mercado que no ha sido explotado por los actuales sistemas del servicio móvil por satélite que son demasiado costosos. Las nuevas técnicas de satélites tales como VSAT, DAMA, AMDT y DCME también se discuten en este capítulo. En los anexos figuran ejemplos de sistemas de satélites mundiales tales como Globstar, ICO, SkyBridge, Teledesic y Final Analysis.

El **Capítulo 3**, *Sistemas de conmutación digitales*, trata las tecnologías de la conmutación de circuitos y paquetes y la organización del sistema de conmutación SPC. El desarrollo de la tecnología SPC ha hecho posible el diseño de nodos con amplias funcionalidades para cursar distintos servicios. Estas capacidades reciben el nombre de «red inteligente» y son el objeto de este subcapítulo. También se discuten los nuevos procedimientos de coordinación, tales como ATM y conmutación óptica.

El **Capítulo 4** estudia los *Nuevos sistemas de señalización y el sistema de señalización N.º 7* y está compuesto por cuatro subcapítulos. En la introducción se destaca la importancia de los nuevos sistemas de señalización para la evolución de la red y los nuevos servicios.

El subcapítulo 2 se refiere al sistema de señalización N.º 7 estudiando la parte de transferencia de mensaje (MTP), la parte de control de conexión de señalización (SCCP), las capacidades de transacción (TC), la parte usuario de la RDSI (ISUP) y la parte de aplicación de red inteligente (INAP).

El subcapítulo 3 trata el sistema de señalización digital de abonado N.º 1 (DSS1).

El subcapítulo 4 evalúa la señalización de banda ancha explicando la interfaz usuario-red (UNI), la parte usuario de la RDSI de banda ancha (RDSI-BA), el sistema de señalización digital N.º 2 (DSS2) y las Recomendaciones UIT-T pertinentes. En los anexos aparecen las funciones de señalización, otros protocolos de señalización ATM, la especificación de señalización del DSS2 y la especificación UNI del Foro ATM.

El **Capítulo 5** se refiere a las *Técnicas y métodos de sincronización* con la sincronización de los sistemas de transmisión, el bucle con enganche de fase, la corrección de la temporización, la sincronización de red y la sincronización en ATM, temas que aparecen en distintos subcapítulos.

El **Capítulo 6** se refiere a las tecnologías de transmisión *PDH*, *SDH*, *DWDM* y *xDSL*. El capítulo introduce la jerarquía digital síncrona (SDH) explicando su estructura de trama, el esquema de multiplexión y la gestión SDH. La DWDM como nueva tecnología ofrece altas velocidades de transmisión por fibra óptica y puede aumentarse la capacidad sin necesidad de tender nuevos cables. Además, el Capítulo 6 también trata la nueva tecnología de transmisión para mejorar las prestaciones de los hilos de cobre utilizando técnicas de transmisión de línea de abonado digital. Cierta número de tecnologías, denominadas «xDSL», ofrecen nuevos enfoques de utilización de las actuales redes locales a fin de proporcionar servicios con velocidades binarias más elevadas.

El **Capítulo 7** trata la *Tecnología ATM*. Estudia con detalle la estructura de trama ATM, la multiplexión, los protocolos y la gestión.

Las referencias indicadas en los capítulos permiten al lector obtener más información sobre estos temas.

La mención de empresas o productos específicos en este fascículo no supone ninguna tendencia o recomendación por parte de la UIT.

CAPÍTULO 2

Nuevas tecnologías para los soportes de transmisión (fibras ópticas, radiocomunicación, satélites)

2.1 Fibras ópticas

2.1.1 Características de transmisión

La estructura típica de una fibra óptica consiste en una parte central cilíndrica o núcleo, por la que viaja normalmente la luz, rodeada de un revestimiento óptico para guiar la luz en el núcleo, es decir, para mantener la mayor parte posible de la potencia óptica dentro del núcleo. El núcleo y el revestimiento suelen ser de sílice de gran pureza. Sobre estos dos elementos, un recubrimiento primario concéntrico de plástico garantiza la protección mecánica, que es esencial para asegurar un comportamiento fiable y estable. En general, el color del recubrimiento primario permite identificar el tipo de fibra.

Las siguientes publicaciones definen éstos y otros parámetros mencionados más adelante, y explican los métodos de medición:

Recomendación UIT-T G.650:	Definición y métodos de prueba de los parámetros pertinentes de las fibras monomodo.
Recomendación UIT-T G.651:	Características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 μm .
Publicación CEI 61931:	Terminología de fibras ópticas.
Publicación CEI 60793-1:	Fibras ópticas – Parte 1: Descripción general.
Publicación CEI 60794-1:	Cables ópticos – Parte 1: Descripción general.

Las fibras monomodo, que son las únicas utilizadas en telecomunicaciones (las fibras multimodo sólo se utilizan en redes de área local y aplicaciones de corta distancia) presentan las siguientes características principales: atenuación, dispersión cromática, longitud de onda de corte y dispersión por modo de polarización.

Los valores numéricos de estos parámetros, especificados en las normas y las recomendaciones internacionales, han sido determinados por consenso cuando se redactan estas normas. Por tanto, y considerando además la evolución de la tecnología, es posible que los valores de algunos parámetros sean diferentes para los mejores productos disponibles en el mercado.

El cableado y/o la instalación pueden influir en algunos de los parámetros de las fibras, particularmente en los parámetros de transmisión. En el diseño de un sistema de transmisión es fundamental considerar únicamente los parámetros de la fibra de los cables instalados y, por lo tanto, los valores mencionados son aplicables a los cables de fibras.

2.1.1.1 Atenuación

Definición de la atenuación:

- 1 Disminución de la potencia electromagnética entre dos puntos.
- 2 Expresión cuantitativa de una disminución de potencia que puede expresarse como la relación entre los valores en dos puntos de una cantidad con respecto a una potencia definida con precisión.

La atenuación es uno de los parámetros más importantes de las fibras ópticas, porque es la principal limitación de distancia para los enlaces ópticos. Suele expresarse como coeficiente de atenuación

(valor de atenuación por unidad de longitud), y se mide normalmente en determinadas longitudes de onda (1310 y 1550 nm para fibras monomodo normalizada). La evolución de las tecnologías ha reducido progresivamente los coeficientes de atenuación en los últimos 10 a 15 años, aproximándose al valor mínimo teórico.

Actualmente, los coeficientes de atenuación máximos especificados para cables de fibra son 0,5 dB/km (1310 nm) y 0,4 dB/km (1550 nm). El mercado ofrece productos con valores entre 0,38 y 0,40 dB/km para 1310 nm, y alrededor de 0,25 dB/km para 1550 nm.

2.1.1.2 Dispersión cromática

Definición de la dispersión cromática:

Ensanchamiento de un impulso luminoso en una fibra óptica, por unidad de anchura del espectro de la fuente, producida por las diferencias de velocidades de grupo de las distintas longitudes de onda que conforman el espectro de la fuente.

NOTA – La dispersión cromática puede tener los siguientes orígenes: dispersión a causa del material, dispersión por el guíaondas o dispersión por el perfil.

También limita la distancia máxima de un enlace óptico, especialmente ahora que cada vez más sistemas funcionan con velocidades binarias elevadas. Para las fibras básicas monomodo, la atenuación mínima se consigue en la ventana de 1550 nm, y la dispersión cromática mínima en la ventana de 1310 nm. Para intentar resolver este problema se han creado nuevos tipos de fibras que presentan valores mínimos de atenuación y una menor dispersión cromática. Véase la descripción en el siguiente capítulo.

Actualmente, el valor especificado para las fibras G.652/B1.1 es: $S_{0\text{máx}} \text{ (ps/nm}^2\text{.km)} \leq 0,093$.

2.1.1.3 Longitud de onda de corte

Definición de la longitud de onda de corte:

Es el valor de longitud de onda que ya no asegura el valor que se ha especificado para la relación entre la potencia total, incluidos los modos de excitación de orden superior, y la potencia del modo fundamental, considerando que los modos son excitados uniformemente.

NOTA 1 – El valor especificado actual es de 0,1 dB.

NOTA 2 – La longitud de onda de corte depende de las condiciones de medición, especialmente de la longitud medida, la curvatura y el cableado.

NOTA 3 – La longitud de onda de corte suele ser diferente de la longitud de onda de corte teórica, calculada a partir del perfil del índice de refracción de la fibra. El valor teórico de la longitud de onda de corte es un parámetro menos útil para determinar las prestaciones de la fibra en una red de telecomunicaciones.

Este parámetro determina el comportamiento monomodo de la fibra. Como se ha indicado en una nota, la longitud de onda de corte depende del proceso de cableado y, posiblemente, de las condiciones de instalación. Por consiguiente, es necesario conocer las condiciones de tendido de la fibra para determinar la longitud de onda de corte, que ha de ser más pequeña que la longitud de onda de funcionamiento del sistema. El documento de la CEI 60793-2 contiene indicaciones para seleccionar la longitud de onda de corte:

En general, la relación entre la longitud de onda de corte de la fibra (λ_c) y el valor correspondiente de la fibra del cable (λ) no es única. El valor de λ_c necesario para una determinada aplicación dependerá de la fibra, del cable y del diseño del sistema (incluida su velocidad binaria y su longitud de onda de funcionamiento), y también de la longitud y la curvatura del cable de reparación. Sin embargo, puede establecerse una relación general entre λ_c y λ para un determinado diseño del cable de fibra. El valor de λ_c necesario, aún no determinado, se indicará en las especificaciones para cables ópticos (CEI 60794-2).

Para ciertas aplicaciones, algunos usuarios han establecido límites para λ inferiores a la longitud de onda de funcionamiento prevista; en tales casos se han adoptado valores típicos entre 1100 y 1280 nm. En otras aplicaciones, se han tolerado valores de λ de hasta 1350 nm, confiando en que las características de fabricación y tendido del cable permitirán obtener valores inferiores a los de la gama de longitudes de onda de funcionamiento.

2.1.1.4 Dispersión por modo de polarización

Definición de la dispersión en modo polarización (DMP):

Distorsión de la señal transmitida provocada por las diferentes velocidades de los componentes de polarización del mismo modo, y su dependencia de la longitud de onda.

NOTA – La dispersión de polarización es insignificante en las fibras rectas, sin tensión y con simetría circular.

Recientemente se ha comprobado que la DMP puede limitar los enlaces de larga distancia y de alta velocidad binaria. La naturaleza estadística de la DMP provoca ciertas dificultades para determinar exactamente su efecto en un enlace. Las consecuencias de la DMP son más notorias en enlaces de larga distancia puesto que puede afectar las prestaciones de un sistema de fibra óptica de gran longitud y de elevada velocidad binaria (por ejemplo, transmisión a una velocidad de 10 Gbit/s a 100 km de distancia). Por tanto, al diseñar este tipo de sistema se recomienda utilizar fibras que tengan un valor de DMP muy bajo, para evitar una posible degradación en las prestaciones del enlace.

Actualmente, el valor de DMP recomendado para cables de fibra óptica es $\leq 0,5$ ps.km^{-1/2}. El mercado ofrece productos con valores $\leq 0,2$ ps.km^{-1/2} o incluso inferiores.

2.1.2 Tipos de fibras

En aplicaciones de telecomunicaciones a larga distancia se utilizan exclusivamente fibras monomodo, que ofrecen un valor más bajo de atenuación y una mayor capacidad de transmisión. Ahora bien, existen distintos tipos de fibras monomodo para aplicaciones diferentes, descritas en las siguientes Recomendaciones de la UIT:

- G.652 Características de un cable de fibra óptica monomodo.
- G.653 Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada.
- G.654 Características de los cables de fibra óptica con pérdida minimizada a una longitud de onda de 1550 nm.
- G.655 Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula.

La CEI ha clasificado las fibras en las siguientes categorías:

- B1.1 Fibras de dispersión no desplazada para funcionamiento a 1 310 nm
- B1.2 Fibras de mínima pérdida para funcionamiento a 1 550 nm
- B2 Fibras de dispersión desplazada para funcionamiento a 1 550 nm
- B3 Fibras de dispersión plana para funcionamiento a 1 310 nm y 1 550 nm
- B4 Fibras de dispersión no nula para funcionamiento a 1 550 nm

Para las especificaciones de estas fibras, véase la publicación CEI 60793-2 (Fibras ópticas Parte 2: Especificaciones).

La fibra B1.1, que corresponde a la Recomendación G.652, es la más común en las instalaciones realizadas desde que se explota la tecnología monomodo. Esta fibra representa la mayor parte del mercado actualmente, porque ofrece buenas prestaciones en la mayoría de las aplicaciones de telecomunicaciones, con costes mínimos.

Con fibras monomodo B1.1, la atenuación mínima se obtiene en la ventana de 1550 nm, y la dispersión cromática mínima en la ventana de 1310 nm. Por tanto, no pueden garantizarse las mejores condiciones de pérdida y dispersión, simultáneamente. La industria ha creado fibras de dispersión desplazada (DSF, categoría B2, correspondiente a la Recomendación G.653) que combinan estas dos condiciones, pero sólo son empleadas en instalaciones que realmente exigen estas prestaciones, por ejemplo los enlaces submarinos, porque son más costosas y necesitan una estructura más compleja.

Las fibras de pérdidas mínimas (categoría B1.2, correspondiente a la Recomendación G.654) se utilizan en enlaces muy largos que exigen, principalmente, controlar la atenuación.

Últimamente se ha comprobado la importancia de la estabilidad de la dispersión cromática con las distintas longitudes de onda utilizadas, en las aplicaciones de multiplexión por división de longitud de onda (WDM). La industria ha creado otra fibra para estos casos (categoría B4, correspondiente a la Recomendación G.655), conocida como fibra de dispersión no nula (NZDSF). La fibra NZDSF tiene un valor superior de dispersión cromática a 1550 nm, comparada con la fibra DSF, pero la pendiente de la curva que relaciona los valores de dispersión cromática con la frecuencia es pequeña en la ventana de funcionamiento, para facilitar las aplicaciones de WDM.

La UIT y la CEI han iniciado el proceso de normalización de este nuevo tipo de fibras, que algunos países ya han decidido instalar. Ya se han acordado y publicado algunos valores normalizados, pero sólo ofrecen una definición muy general y no son suficientes para definir con precisión un producto normalizado. La especificación actual admite varios productos diferentes, según las distintas interpretaciones de esta categoría, y hasta ahora no ha sido posible acordar valores que determinen realmente una categoría normalizada uniforme.

La publicación 60794-2 de la CEI es el documento más reciente sobre características de las fibras. Todas las fibras monomodo tienen en común varios parámetros básicos:

diámetro del revestimiento:	$125 \pm 2 \mu\text{m}$
diámetro del recubrimiento primario:	$245 \pm 10 \mu\text{m}$ (incolore)
	$250 \pm 15 \mu\text{m}$ (de color)

El mercado ofrece productos con revestimientos de $125 \pm 1 \mu\text{m}$ de diámetro, lo que ofrece ventajas para los empalmes.

Otros parámetros son diferentes, según la categoría. Por ejemplo, el diámetro del campo modal:

8,6 a 9,5 μm a 1310 nm, para B1.1

7,8 a 8,5 μm a 1550 nm, para B2

6 μm a 1310 nm, y 7 μm a 1550 nm para B3

sin definir aún para B1.2 y B4

Naturalmente, para cada categoría son diferentes los parámetros de transmisión, como el coeficiente de atenuación o las características de dispersión. Las categorías B1, B2 y B3 ya están prácticamente definidas, pero aún están por definir la mayoría de los parámetros de la categoría B4.

2.1.3 Forma de utilización de la fibra óptica

Las fibras ópticas se utilizan normalmente en cables y no solas. El cable protege las fibras contra los esfuerzos mecánicos y las agresiones ambientales, pero los errores en las operaciones de tendido e instalación del cable pueden afectar las características de las fibras. Por otra parte, si la longitud del tramo de cable no es suficiente, es necesario hacer empalmes, y aquí también hay que tener en cuenta las características de la fibra y del cable.

El UIT-T ha publicado una serie de Recomendaciones sobre este particular. Éstas son las más recientes:

- [L.12] (07/92) – Empalmes de fibra óptica
- [L.13] (07/92) – Empalmes de cubiertas y organizadores de cables de fibra óptica en planta exterior
- [L.14] (07/92) – Método de medición para determinar la resistencia a la tracción en cables de fibra óptica sometidos a cargas mecánicas
- [L.15] (03/93) – Redes de distribución local de fibra óptica – Factores que han de considerarse para su construcción
- [L.17] (06/95) – Realización de las conexiones de abonado en la red telefónica pública conmutada mediante fibras ópticas
- [L.17 Ap.1] (02/97) – Realización de las conexiones de abonado en la red telefónica pública conmutada mediante fibras ópticas – Ejemplos de aplicaciones posibles
- [L.20] (10/96) – Creación de un código de seguridad contra incendios para instalaciones de telecomunicaciones
- [L.22] (10/96) – Protección contra incendios
- [L.23] (10/96) – Extinción de incendios – Clasificación y ubicación de las instalaciones de extinción y los equipos en los locales
- [L.25] (10/96) – Mantenimiento de redes de cables de fibra óptica
- [L.26] (10/96) – Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas
- [L.27] (10/96) – Método para estimar la concentración de hidrógeno en cables de fibra óptica
- [L.28] (10/96) – Protección adicional externa para cables terrenos marinizados
- [L.29] (10/96) – Informe de tendido y registro cronológico de mantenimiento/reparaciones en una instalación de cable terrenal marinizado
- [L.30] (10/96) – Marcadores en los cables terrenos marinizados
- [L.34] (10/98) – Instalación de cables de fibra óptica de hilo de guarda
- [L.35] (10/98) – Instalación de cables de fibra óptica en la red de acceso

2.1.3.1 Protección de la fibra

El recubrimiento primario es el primer nivel de protección.

Es muy importante utilizar el recubrimiento primario apropiado para garantizar la fiabilidad de la fibra. Un buen recubrimiento debe proteger la fibra contra esfuerzos mecánicos, abrasión, etc. así como contra los efectos químicos y ambientales, por ejemplo la humedad. No debe crear microtorsiones (ocurre cuando no es aplicado de forma concéntrica sobre el material de silicio), debe facilitar la manipulación de la fibra y debe poder ser retirado fácilmente (para hacer empalmes).

El color del recubrimiento primario permite identificar el cable. Debe utilizarse un material que permita esta función y el color no debe alterar las características de la fibra. Es preciso demostrar la compatibilidad del recubrimiento primario y los colores después de la fabricación y durante el tiempo de servicio de la fibra. El color para identificación ha de ser estable y además debe ser compatible con todos los materiales que forman el cable.

Como puede verse, el desarrollo y fabricación de un recubrimiento primario de buena calidad exigen un alto nivel de tecnología.

En la práctica no es posible proteger a las fibras de todas las agresiones durante todo el tiempo de servicio. Es necesario tener presente que la fibra sufrirá algunas agresiones, continuamente o sólo momentáneamente, y determinar las consecuencias.

La consecuencia evidente de una agresión excesiva (el umbral depende de la estructura del cable) es la degradación de las características de transmisión, particularmente del coeficiente de atenuación. Es una condición fácil de determinar, sometiendo el cable a las pruebas correspondientes.

Otra consecuencia importante, que no puede detectarse inmediatamente, es la disminución del tiempo de servicio de una fibra sometida a una agresión excesiva. Este problema debe ser considerado cuidadosamente, porque no es posible medir directamente el resultado.

La capacidad de una fibra para resistir a una agresión mecánica depende de los índices de sensibilidad a la corrosión por esfuerzo. La publicación CEI 60793-1-3 contiene las definiciones y los métodos de medición de los parámetros estáticos y dinámicos (n_s y n_d , respectivamente), ambos utilizados en la práctica. La duración de una fibra en condiciones de funcionamiento depende de estos valores: cuanto más altos sean los índices n_s y n_d , mayor será la duración de la fibra en las condiciones de funcionamiento.

El objeto del cable es el de limitar los esfuerzos transferidos a la fibra propiamente dicha, por las condiciones de servicio del sistema, pero siempre se aplica la mencionada regla de valores «n». Para una determinada agresión externa, la mejor estructura limitará lo más posible la transferencia de esta agresión a la fibra. Ahora bien, en las mismas condiciones de agresión a la fibra, todo aumento del valor «n» significa una mayor duración de la fibra.

Los valores de muchos productos actuales ($n_s \geq 20$ y $n_d \geq 25$) pueden garantizar una duración satisfactoria en condiciones normales y basándose en los cálculos teóricos generalmente aceptados. La duración será superior con valores más altos.

El segundo nivel de protección es el cable propiamente dicho. Para los parámetros de cables ópticos y la forma de medirlos, véase la Publicación CEI 60794-1 (Cables de fibra óptica; Parte 1: Especificaciones).

Para garantizar la duración de un cable es importante, en particular, evitar microtorsiones en la fibra; puede comprobarse mediante una prueba térmica cíclica: (véase la Publicación CEI 60794-1-2).

También es necesario evaluar el comportamiento del cable sometido a esfuerzos tales como tensión, aplastamiento, impacto, pliegue y torsión, según las condiciones de funcionamiento. El documento de referencia es el mismo (Publicación CEI 60794-1-2).

2.1.3.2 Procedimientos de instalación

Es importante emplear los procedimientos de instalación apropiados para no alterar las características de los cables de fibra óptica.

Véase el Anexo C informativo de la Publicación CEI 60794-1-1. El objeto principal del documento aparece resumido así en la introducción:

Las características de los cables de fibra óptica permiten el uso de equipos y procedimientos normales de instalación. Sin embargo, suelen ser menos resistentes que los cables con conductores metálicos, y en algunos casos serán necesarias medidas y precauciones especiales para instalarlos correctamente.

Es importante observar las recomendaciones del fabricante del cable y las limitaciones físicas indicadas así como no sobrepasar el valor de resistencia a la tracción de cada cable. La degradación en la instalación no siempre es visible inmediatamente, pero puede ocasionar el fallo del sistema ulteriormente.

2.1.3.3 Empalmes

Las características de la fibra y las características de la estructura del cable son importantes para los empalmes de las fibras ópticas.

En lo que concierne a la fibra, las pérdidas en el empalme aumentan proporcionalmente con las tolerancias. Las pérdidas disminuirán si la tolerancia en el diámetro de revestimiento se reduce a $\pm 1 \mu\text{m}$, como se ha indicado.

Se obtiene el mismo resultado reduciendo la tolerancia en el diámetro de campo modal $2W_0$: el valor especificado es $\pm 1 \mu\text{m}$, pero es posible obtener valores de $\pm 0,5 \mu\text{m}$ o inferiores.

El manejo de la fibra para el empalme se caracteriza por el bucle de la fibra (véase la Publicación CEI 60793-1-3), que debe ser del mayor radio posible («r»); el mínimo generalmente aceptado es 2 metros y en el mercado se observan valores superiores.

También es importante la estructura del cable. Por ejemplo, que sea modular, que permita acceder fácilmente a las fibras (retirando la cubierta o el tubo) y que se puedan identificar las fibras en la estructura del cable (colores convencionales, estabilidad del color con el tiempo).

En conclusión, es necesario considerar muchos parámetros en la realización de cables de fibra óptica. Se han considerado algunos parámetros de interés general, pero también es importante conocer exactamente las condiciones de funcionamiento de la red, tanto en la instalación como durante el tiempo de servicio, para determinar la forma de protección más apropiada de las fibras.

2.1.4 Protección de redes ópticas

2.1.4.1 Introducción

La supervivencia de una red de telecomunicaciones de fibra óptica es probablemente uno de los factores más importantes en su evaluación y diseño. Está aumentando el tráfico transportado por la misma infraestructura de fibra, así como el número de usuarios de los servicios de telecomunicaciones que serán servidos por centrales de mayor capacidad. La evolución de las redes de transporte hacia sistemas de dos capas WDM/SDH hace aún más importante la cuestión de la supervivencia de la red.

2.1.4.2 Supervivencia de la red

La supervivencia de la red es la capacidad de una red para recuperar el tráfico en caso de fallo de uno de sus componentes, por ejemplo la pérdida total del enlace de transmisión o el fallo de una central. El principal objetivo es garantizar el nivel de servicio acordado.

Para mejorar la supervivencia del tráfico, las unidades de transporte que han dejado de funcionar o funcionan mal deben ser reemplazadas. Generalmente se decide sustituir cuando se detecta un defecto, una disminución de las prestaciones o una solicitud de la gestión externa.

Los mecanismos de protección definidos por las Recomendaciones UIT-T G.841 y G.842 se caracterizan por su capacidad para recuperar el tráfico muy rápidamente; el objetivo, en la mayoría de los casos, es proteger el tráfico en menos de 50 ms. Además, la protección es independiente del centro de operación de la red y utiliza una capacidad preasignada entre los nodos. La arquitectura de protección más sencilla consiste en una entidad de protección para cada entidad operativa (1+1). La arquitectura más compleja tiene «m» entidades de protección asignadas a «n» entidades operativas (m:n).

Los siguientes mecanismos de protección están definidos completamente en las Recomendaciones UIT-T.

2.1.4.2.1 Protección de conexión de subred con seguimiento inherente (SNC-P/I)

Este mecanismo de protección utiliza una arquitectura 1 + 1 lo que requiere una conexión de subred de reserva como protección de otra conexión de subred activada. Es un sistema asimétrico, es decir, con protección independiente en cada sentido del tráfico. El sistema SNC-P/I reacciona y protege contra fallos persistentes, como los fallos de equipos, fallos de la interfaz óptica y fallos de enlace. El sistema SNC-P/I también interviene en caso de interrupciones breves de los enlaces de radiocomunicaciones, que provocan una Señal de alarma de unidad afluente (TU AIS) o una Caída de potencia de unidad afluente (TU LOP). La protección SNC-P/I puede instalarse separadamente en cada CV, de forma que un servicio de transmisión pueda transportar a la vez tráfico protegido y no protegido.

2.1.4.2.2 Protección de conexión de subred con seguimiento no invasivo (SNC-P/N)

Este mecanismo de protección sólo es diferente del anterior por las situaciones de fallo en las que interviene. El sistema SNC-P/N no sólo protege contra los fallos habituales de equipos, como el sistema SNC-P/I, sino también contra acciones humanas, errores de gestión del sistema operativo o disposiciones insuficientes. Estos fallos pueden producirse por un error de conexión de la matriz o la apertura de una conexión. El sistema SNC-P/N también protege contra fallos pasajeros, como la degradación de las interfaces ópticas o los errores de un enlace de radiocomunicaciones por rebasamiento del máximo valor de la BER aceptable.

2.1.4.2.3 Protección de camino lineal de sección de multiplexión (MS)

Se trata de un mecanismo de protección de tráfico en masa que interviene en caso de corte de las fibras o fallo de la interfaz óptica. También es una protección contra la degradación de las prestaciones de la fibra y las interfaces ópticas. La protección lineal de MS soporta arquitecturas muy diferentes, de tipo 1 + 1 ó 1:N. La anchura de banda disponible para protección puede ser utilizada para transportar tráfico de baja prioridad si todas las secciones operativas funcionan correctamente. La protección lineal de MS también protege eficazmente las secciones de redes lineales o en cadena.

2.1.4.2.4 Anillo protegido compartido de sección de multiplexión (MS-SPRING)

El sistema MS-SPRING es otro mecanismo de protección de tráfico en masa que interviene en caso de corte de las fibras y fallo de la interfaz óptica. Protege igualmente contra la degradación de las prestaciones de la fibra y las interfaces ópticas. Ahora bien, el sistema de protección MS-SPRING sólo puede funcionar con una topología física de red en anillo. Una de las ventajas del sistema MS-SPRING, comparado con los otros mecanismos de protección, es la posibilidad de reutilizar capacidad de anchura

de banda, que lo convierte en el mecanismo de protección más eficaz en condiciones de tráfico uniformemente distribuido.

En general, los sistemas MS-SPRING son soluciones apropiadas en las partes de la red con tráfico uniformemente distribuido.

Existe una variante del MS-SPRING en G.841, para optimizar la protección en aplicaciones de larga distancia, como las redes submarinas o las redes centrales en países de gran superficie, con distancias de varios miles de kilómetros entre nodos. En caso de fallo de la red y durante las operaciones de mantenimiento, el trayecto protegido puede ser mucho más largo que el trayecto en funcionamiento normal, debido a la conmutación de anillos para compensar el fallo de la red. Aumenta entonces el retardo de paso de la voz, y esto puede hacer más difícil una conversación en una red telefónica pública conmutada (RTPC). Para evitar esta pérdida de calidad del tráfico de voz, el sistema MS-SPRING ha sido mejorado con otras funciones (MS-SPINGs) para aplicaciones de larga distancia. Véase la descripción de este sistema en el Anexo A de la Recomendación UIT-T G.841.

2.1.4.2.5 Restablecimiento

La función de restablecimiento aprovecha toda capacidad disponible entre nodos para recuperar el tráfico en caso de fallo de la red. Con los algoritmos empleados, el restablecimiento se suele hacer reencaaminando el tráfico: se reserva una parte de la capacidad de transporte de la red para reencaaminar el tráfico de explotación. El restablecimiento aún no ha sido normalizado y los distintos productos disponibles actualmente en el mercado responden a las especificaciones de los usuarios.

El restablecimiento es la técnica más eficaz para mejorar la disponibilidad del tráfico en las redes con una topología física correctamente constituida. Por ejemplo, si los nodos de la red son accesibles por tres rutas físicas no consecutivas como mínimo (mejor aún si son más), será suficiente con un 33% o menos de anchura de banda como reserva de capacidad para restablecer el tráfico en caso de fallo de una sección. Los mecanismos de protección de anillo descritos antes necesitan una reserva de capacidad del 50%.

La distribución del tráfico, la capacidad de reserva y las prioridades de recuperación del tráfico son registradas en el sistema operativo centralizado. Según el tipo de fallo, el mecanismo de restablecimiento puede controlar el tráfico de explotación y otras formas de tráfico de baja prioridad, para restablecer el tráfico de alta prioridad. Hablamos entonces de una función de tráfico con precedencia. El sistema de restablecimiento tiene una respuesta más lenta que la protección, porque es muy flexible en la recuperación del tráfico y más eficiente en anchura de banda. Los mecanismos de restablecimiento automático centralizado pueden recuperar el tráfico en un tiempo de 5 a 10 segundos, evitando la situación de tráfico no disponible en los circuitos afectados.

2.1.4.3 Criterios para elegir entre restablecimiento y protección

Para lograr una arquitectura de red eficaz desde el punto de vista de los costes deben combinarse mecanismos de protección en anillo y mecanismos de restablecimiento en malla. No son alternativas para implantar redes fiables, sino soluciones diferentes complementarias que deben combinarse. La elección de uno u otro mecanismo depende de la distribución de la fibra y las estaciones en el terreno. La medida de conectividad física entre nodos es el número medio de enlaces de encaminamiento diferente que sirven un nodo (central). Hay diferencias importantes según las condiciones demográficas. En general, las regiones de mayor población están cubiertas por una infraestructura de red bien conectada o «mallada». En otras regiones menos pobladas hay menos fibra, con topologías de red formadas por cadenas o anillos largos. En regiones con muy poca población, un sistema de telecomunicaciones con sistemas de

radiocomunicaciones y pocos cables de fibra óptica es la solución que ofrece la mejor relación coste/prestaciones.

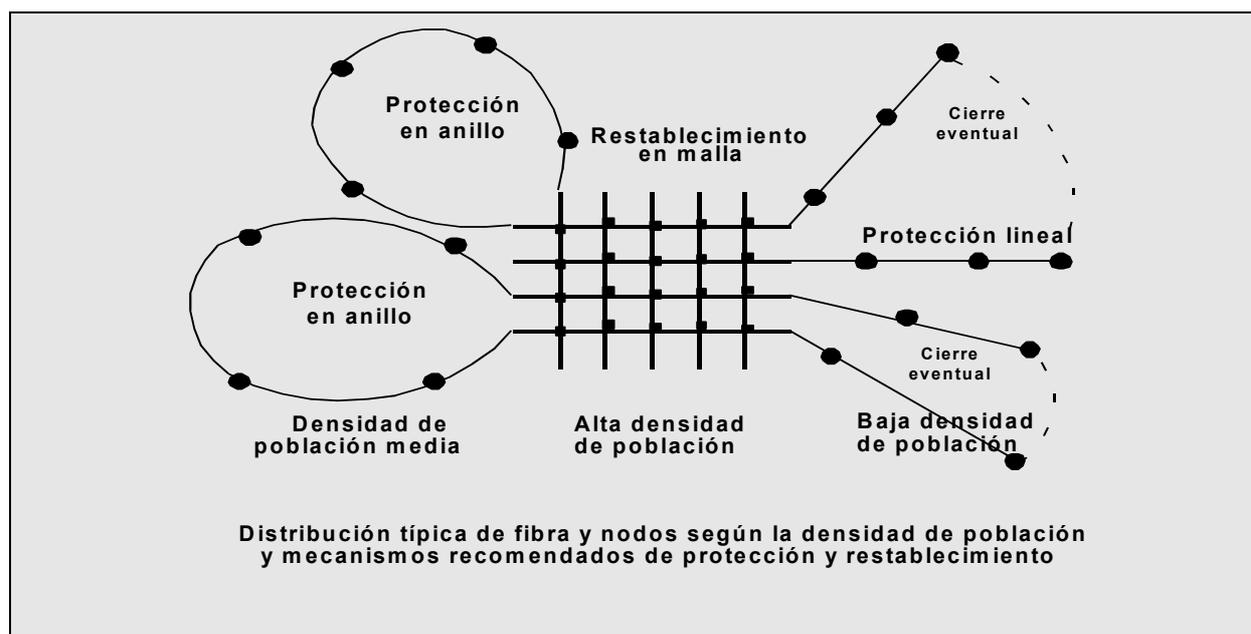
Cuando se tiene el nivel de conectividad apropiado entre nodos de la red, por ejemplo superior a 3, la solución de restablecimiento en malla puede ser más apropiada porque la instalación permite aprovechar todas sus ventajas: mínima utilización de la anchura de banda reservada en la red, flexibilidad de crecimiento y tráfico con precedencia.

En la mayoría de los países encontramos regiones muy pobladas servidas por redes con una estructura en malla densa, y otras regiones de menor población con una conectividad de menos fibra.

Por consiguiente, parece razonable afirmar que la protección en malla y la protección en anillo pueden combinarse eficientemente para crear arquitecturas de red fiables de gran capacidad.

La siguiente Figura ilustra este concepto de distribución demográfica y los tipos de infraestructura de telecomunicaciones necesarios para dar servicio a la población.

Figura 2.1.1 – Distribución típica de fibra y nodos



2.1.4.4 Conclusiones

El diseño y la realización de arquitecturas de red de transporte fiables depende de distintos criterios económicos. Las redes de transporte de alta disponibilidad tienen la ventaja de soportar de manera económica una oferta completa de servicios y garantizar la calidad. Una red fiable tiene menos gastos de funcionamiento y de mantenimiento y las intervenciones de mantenimiento podrán planificarse más fácilmente al ser posible diferir y agrupar diferentes trabajos.

Por otra parte, es indispensable una arquitectura de red con autoprotección para beneficiarse de la evolución de los sistemas TDM y WDM de alta capacidad con todas las garantías.

Los mecanismos de restablecimiento en malla y protección en anillo contribuyen a la fiabilidad de las redes. Se ha demostrado que los mecanismos de protección en anillo son la solución más apropiada en las infraestructuras de red de baja interconexión que sirven regiones con una densidad de población media.

El mecanismo de restablecimiento es la solución ideal para infraestructuras de red con buenas interconexiones, lo cual se da generalmente en las zonas de mayor población, por sus ventajas de flexibilidad y ahorro del recurso de anchura de banda de reserva. Como en la mayoría de los países hay regiones de alta, media y baja densidad de población, combinar el restablecimiento en malla, la protección en anillo y la protección lineal, respectivamente, es la mejor solución para crear arquitecturas de red de transporte adecuadas al nuevo siglo.

2.1.4.5 Referencias UIT-T

Recomendaciones UIT-T importantes para el diseño de redes ópticas y sus sistemas de protección:

- [G.872]: Arquitectura de las redes de transporte ópticas
- [G.709]: Interfaz de nodos de redes para el transporte óptico
- [G.691]: Interfaces ópticas para sistemas multicanales
- [G.959.1]: Interfaces de capa física en las redes de transporte ópticas
- [G.871]: Estructura de redes de transporte ópticas
- [G.798]: Características funcionales de los equipos de redes ópticas
- [G.874]: Gestión de elementos de redes ópticas (en preparación)
- [G.875]: Modelo de información para los equipos de redes ópticas (en preparación)

2.1.5 Abreviaturas

BER	Proporción de bits erróneos (<i>bit error rate</i>)
DSF	Fibra de dispersión (<i>dispersion fibre</i>)
MS	Sección de multiplexión (<i>multiplex section</i>)
MS-SPRING	Anillo protegido compartido de sección de multiplexión (<i>multiplex section – shared protected ring</i>)
NZDSF	Fibra de dispersión no nula (<i>non-zero dispersion fibre</i>)
PMD	Dispersión en modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
RTPC	Red telefónica pública conmutada
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SNC-P/I	Protección de conexión de sub-red con seguimiento inherente (<i>sub-network connection protection with inherent monitoring</i>)
SNC-P/N	Protección de conexión de sub-red con seguimiento no invasivo (<i>sub-network connection protection with non-intrusive monitoring</i>)
TU AIS	Señal de alarma de unidad afluente (<i>tributary unit – alarm indication signal</i>)
TU LOS	Pérdida de potencia de unidad afluente (<i>tributary unit – loss of power</i>)
WDM	Multiplexión por división de longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)

2.2 Sistemas de radioenlaces digitales

2.2.1 Consideraciones generales

Los sistemas de radioenlaces digitales (DRRS) tienen muchas aplicaciones, desde el transporte de señales telefónicas y de televisión hasta la transmisión de las distintas clases de señales de datos de los sistemas actuales. Las distancias cubiertas oscilan entre menos de un kilómetro y todo un continente o varios continentes. Hay sistemas de radiocomunicaciones digitales para todas las capacidades: de una sola señal DS1 (1,54 Mbit/s) o de 1 000 Mbit/s. Sólo una pequeña porción del espectro electromagnético permite las aplicaciones de radioenlaces, y en esta porción sólo hay disponible un determinado número de bandas. A su vez, las bandas están divididas en canales que pueden transportar señales digitales de baja o de alta capacidad.

La conversión del tráfico telefónico de analógico a digital ha sido el motor del desarrollo de las redes digitales durante más de 30 años. La importancia del tráfico de datos es muy reciente, pero cada vez más significativa: módems de banda vocal, terminales RDSI, videoconferencias, terminales de televisión de alta calidad y otras fuentes de datos.

Ventajas de los sistemas de radioenlaces digitales:

- *Cuestan menos*: la relación coste/prestaciones de los sistemas de radiocomunicaciones es interesante, comparando con la de otros sistemas (conductores de cobre o cable de fibra óptica). El cable y su instalación pueden resultar muy costosos, y no siempre es fácil obtener las servidumbre de paso necesarias.
- *Instalación más rápida*: los equipos de radiocomunicación pueden ser desplazados fácilmente a otros lugares para adaptarse a la rápida evolución de la demanda de la red. Se necesitan pocas inversiones en infraestructura.
- *Facilidad de mantenimiento simplificado*: el mantenimiento se limita a unas cuantas estaciones de radiocomunicaciones en todo el trayecto radioeléctrico; en los sistemas de cable, la interrupción puede ocurrir en cualquier punto del trayecto.

Espectro

Las conferencias periódicas de la UIT (Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones – CMR) atribuyen el espectro electromagnético a los usuarios. También se convocan Conferencias Regionales de Radiocomunicaciones (CRR) para establecer acuerdos sobre el uso del espectro de RF a nivel regional. Los resultados son publicados en el Reglamento de Radiocomunicaciones como Cuadro de atribución de bandas de frecuencias de la UIT, que abarca el espectro de 9 kHz a 400 GHz. El espectro es atribuido a los servicios fijo terrenal y fijo por satélite, aquí considerados, y a muchos otros usuarios: comunicaciones móviles (terrestres, aeronáuticas y marítimas), radiodifusión (sonora y de TV), servicio de meteorología, servicios espaciales (operaciones espaciales, investigación espacial, exploración de la Tierra por satélite y entre satélites), de radioastronomía, de radioaficionados y de radiolocalización (radar). El Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) atribuye el espectro de forma muy general. La mayoría de los países utilizan el RR como base para sus propios Cuadros de atribución de frecuencias nacionales, que son más detallados y establecen diferencias entre la utilización gubernamental y privada.

Las Recomendaciones UIT-R no siempre reflejan las disposiciones de canales más recientes utilizadas en cada país. Es frecuente que un país tome nuevas decisiones sobre los canales, que sólo serán reflejadas algún tiempo después en una Recomendación UIT-R. Los fabricantes interesados en comercializar equipos de radiocomunicaciones en el extranjero deben informarse sobre los desarrollos concretos en cada país. Algunos países pueden autorizar una disposición de canales no normalizada, o permitir el uso de una banda de frecuencias gubernamental a los particulares.

En relación con las Recomendaciones UIT-R (Serie F), pueden considerarse las disposiciones generales de bandas de frecuencias para sistemas de radioenlaces:

- a) 1,4, 2, 4, 5, L6, U6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 GHz
- b) 18, 23, 27, 31, 38 y 55 GHz

Los sistemas de radiocomunicaciones digitales que funcionan por debajo de 15 GHz son indispensables como enlaces principales y de empalme en las redes de larga distancia y regionales. También se utilizan en zonas aisladas o en regiones accidentadas, como complemento de los sistemas de fibra óptica y de otros sistemas de transmisión. Muchas veces es imposible aumentar el número de enlaces de una región, debido al problema de congestión en las bandas por debajo de 15 GHz. Por eso son cada vez más utilizadas las bandas por encima de 15 GHz. Muchos países instalan muchos equipos que funcionan por encima de 15 GHz para redes de acceso a corta distancia (derivaciones SDH, LAN, enlaces temporales y protección de cable) y para la infraestructura de las redes de sistemas móviles (GSM, AMPS, DCS 1800).

Capacidad de un canal digital

En lo que concierne a las velocidades binarias de los sistemas de radioenlaces digitales, se utilizan los valores normalizados por las Recomendaciones UIT-T G.702, G.703 y G.704 para las jerarquías digitales plesiócronas, y por las Recomendaciones UIT-T G.707, G.708 y G.709 para las jerarquías digitales síncronas (SDH o SONET). Según las Recomendaciones de la UIT, y dependiendo de la anchura de banda del canal y de la modulación (MAQ-4, MAQ-16, MAQ-256, MAQ-512), la capacidad de los sistemas de radioenlaces digitales, expresada en velocidades binarias (f_b), es un múltiplo de DS1 (1,544 Mbit/s) y DS3 (44,736 Mbit/s), E1 (2,048 Mbit/s) y E3 (34,368 Mbit/s), STS1 o Sub-STM1 (51,84 Mbit/s) y STM-1 (155,52 Mbit/s). Se trata de velocidades binarias de transmisiones destinados a un sistema de radiocomunicaciones digitales o procedentes del mismo. En el interior de un sistema de radiocomunicaciones digital, la velocidad binaria f_{br} suele ser un 6% superior ($f_{br} = 1,06 f_b$), gracias a la corrección de errores en recepción (FEC) y a la introducción de bits de tara adicionales destinados al mantenimiento interno de las radiocomunicaciones y para realizar la multiplexión interna de varios trenes de bits normalizados.

2.2.2 Nuevas tecnologías de radiocomunicación digitales por microondas (punto a punto)

Este punto finaliza presentando las tecnologías desarrolladas en estos últimos años, incorporadas en los nuevos equipos de radiocomunicación digitales por microondas (DMR: *digital microwave radio*) con jerarquía de datos síncrona (SDH: *synchronons digital hierarchy*). Estas nuevas tecnologías permitirán adaptar la arquitectura actual de jerarquía de datos plesiócrónica (PDH: *plesiochronous digital hierarchy*) sin interrupción del servicio.

- **Técnicas de corrección de errores en recepción (FEC) y de modulación codificada**

En el sistema DRRS original y habitual, las funciones de modulación y de codificación FEC son independientes. Se utilizan distintas técnicas de corrección de errores, tales como la codificación de bloques o la codificación convolucional.

En un esquema FEC por codificación de bloques, el tren de datos entrantes que va a codificarse se divide en k símbolos de información y en símbolos de paridad redundantes o símbolos de verificación para producir una señal codificada de n símbolos que se modula y se transmite. Según este principio de funcionamiento, un dispositivo codificador de bloques independiente produce un código de bloque (n,k) o de índice k/n . En el receptor, el tren de bits demodulado se descodifica en primer lugar para extraer los bits de información y a continuación estos bits se corrigen, si es necesario, por los bits de paridad o de control.

En un esquema FEC de codificación convolucional, los bits de paridad o de control se calculan por tramos de bits para crear un tren de bits continuo. Los mismos parámetros n y k describen la codificación convolucional; siendo n el número de bits codificados empleados para formar una determinada secuencia de bits y k el tramo de bits que constituyen esta secuencia. El parámetro k es conocido como la longitud forzosa. La codificación convolucional está diseñada normalmente para decodificadores específicos, tales

como los empleados en la decodificación de Viterbi, la decodificación secuencial o la decodificación de síndrome.

En la modulación codificada, las funciones de codificación FEC y de modulación son combinadas insertando bits redundantes en números multiestado de la constelación de la señal transmitida. Las técnicas de modulación codificada utilizadas habitualmente en los sistemas terrenales digitales de radiocomunicaciones por microondas son: (1) modulación con código de bloques (BCM), (2) modulación con código reticular (TCM), y (3) modulación con código multinivel (MLCM). La tecnología MLCM es la que más ha avanzado en los últimos años.

La ganancia de codificación de los esquemas de modulación BCM es inferior a la de los esquemas TCM. La ganancia de codificación (en dB) consiste en mantener la misma BER en un enlace de radiocomunicaciones, incluso si la relación C/N disminuye. De esa forma, si un esquema de modulación determinado tiene una ganancia de codificación de 3 dB, por ejemplo, tolera una disminución de la relación C/N en 3 dB sin alteración de la BER. Ahora bien, los esquemas BCM son más sencillos de instalar que los esquemas TCM y pueden utilizarse en configuraciones de demodulación en paralelo.

Los esquemas de modulación TCM utilizan técnicas de codificación convolucional que exigen menor anchura de banda para unos mismos valores de velocidad de transmisión y de BER. El demodulador utilizado para un esquema TCM se realiza generalmente con algoritmos de Viterbi en un circuito de estimación de secuencia de máxima probabilidad (MLSE). Los esquemas TCM pueden ser muy complejos, pero también pueden tener un alto grado de flexibilidad. Las características de los esquemas TCM son tales que su ganancia de codificación en canales no lineales es superior a la ganancia en canales lineales. Esta ventaja de los sistemas TCM reduce la BER residual en los esquemas de modulación de gran complejidad.

Con la tecnología MLCM, cada nivel de modulación es considerado como un canal de comunicaciones independiente y es posible aplicar distintos esquemas de codificación FEC a diferentes niveles. Además, la tecnología MLCM no está restringida a un solo esquema de codificación. Por ejemplo, algunos niveles pueden utilizar el código de bloques y otros niveles pueden emplear la codificación convolucional. Por tanto, hay más flexibilidad para elegir las velocidades de codificación, pudiendo seleccionarse individualmente en cada nivel.

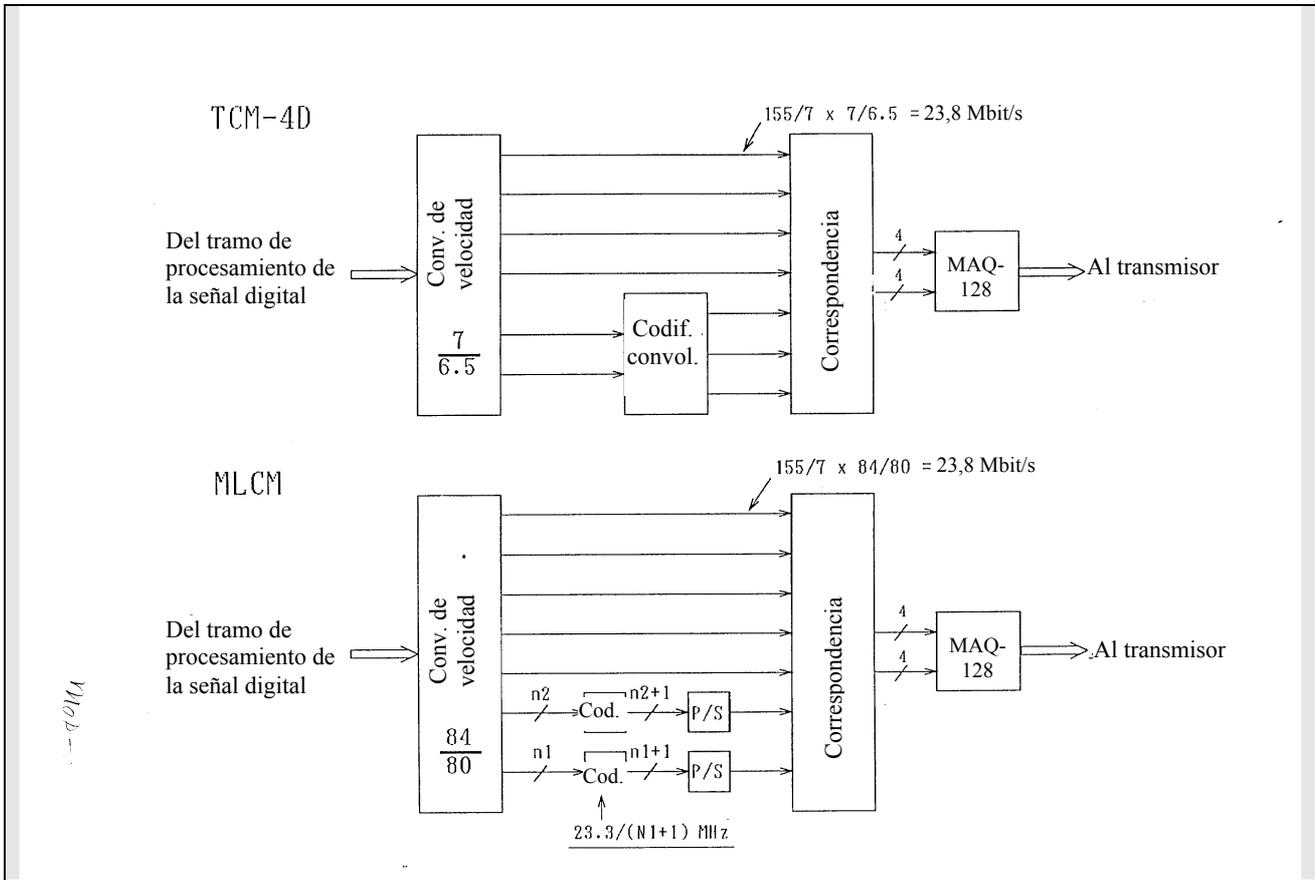
En la Figura 2.2.1 se representan las técnicas básicas para los esquemas TCM y MLCM. En el caso MLCM, el tren de bits en serie entrante es tratado por conversión de velocidad y se cambia de modo serie a modo paralelo. Por ejemplo, el codificador 1 aplicará bits FEC al bit menos significativo (LSB) con un índice $R=3/4$ (es decir, transmisión de cuatro bits por cada tres bits de información). El codificador 2 puede aplicar bits FEC al segundo LSB con un índice $R=11/12$ (transmisión de 12 bits por cada 11 bits de información). Tras este proceso de codificación, las salidas del codificador son convertidas de paralelo a serie y combinadas con los otros niveles de bits en un circuito de correspondencia antes de ser transmitidas al modulador MAQ-128. Debido a la reducción de la velocidad operativa en los procesos de codificación y decodificación puede lograrse un diseño del circuito más robusto y más fiable.

En el ejemplo de la Figura 2.2.1, la redundancia total de la codificación MLCM sólo es de un 5% (80/84), lo que permite transmitir un canal adicional de 2 Mbit/s (conocido como canal secundario). El sistema TCM no tiene esta ventaja; por ejemplo, el TCM de 4 dimensiones tiene una redundancia de codificación del 8%, que impide soportar un canal secundario.

- **Técnicas de supresión de la interferencia por polarización cruzada (XPIC)**

El número de bandas de frecuencias utilizadas por los sistemas digitales de radiocomunicación por microondas (y por otros sistemas de radiocomunicaciones) es limitado. Por eso es importante utilizarlas de la forma más eficaz posible. Una solución para aumentar la capacidad de un sistema es elevar el nivel de modulación, como se ha explicado anteriormente. Otra forma de explotar más eficazmente una banda de frecuencias es utilizarla dos veces en el mismo sistema, transmitiendo portadoras de RF con polarizaciones diferentes.

Figura 2.2.1 – Conceptos básicos de las técnicas TCM y MLCCM

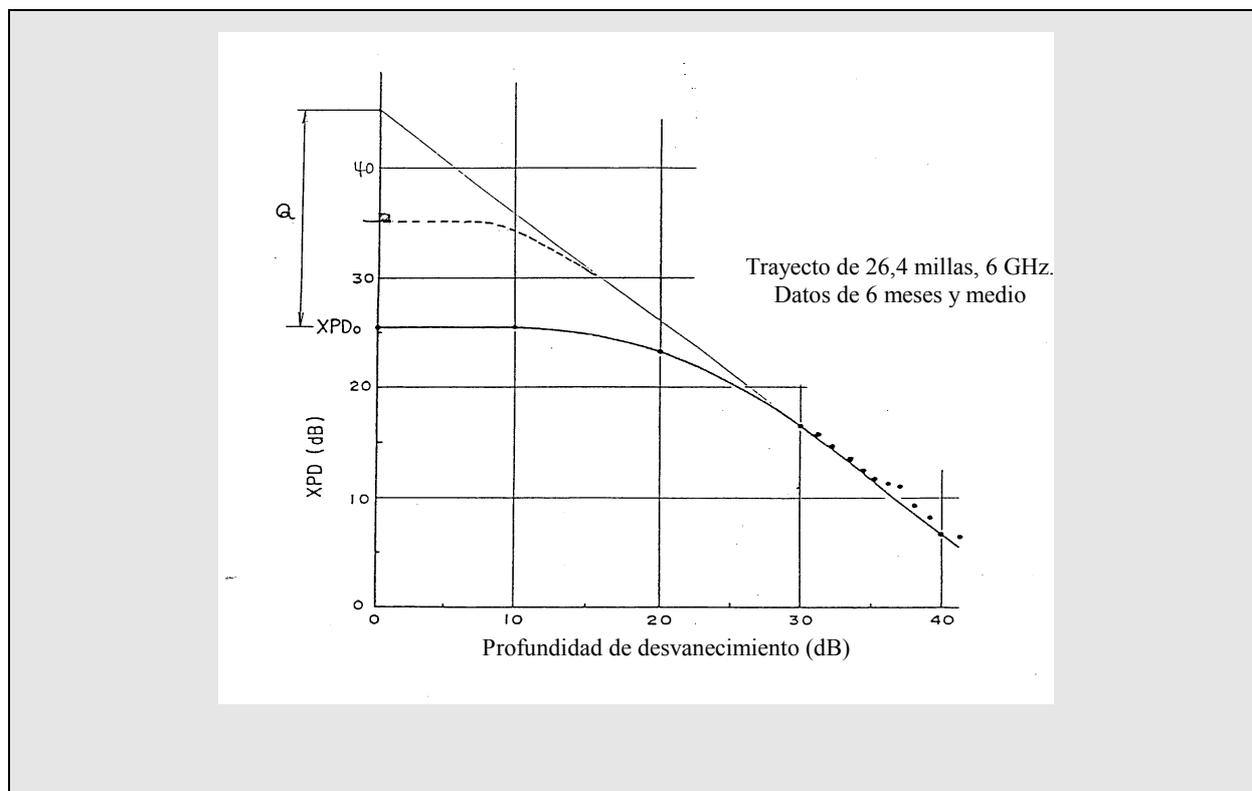


Los sistemas comerciales de satélites utilizan equipos de polarización doble en canal común desde hace años, pero sólo últimamente se han empezado a utilizar estos equipos en los sistemas terrenales de microondas. Los sistemas de satélites funcionan generalmente con un ángulo de elevación de la antena de 5 grados como mínimo, de manera que el problema del desvanecimiento de la propagación no es un tema crítico. Sin embargo los sistemas terrenales de microondas pueden sufrir un desvanecimiento muy severo porque transmiten de forma paralela a la superficie de la Tierra y la discriminación por polarización cruzada (XPD), es decir, la interferencia de las señales entre las dos polarizaciones, resulta muy afectada por el desvanecimiento multitrayecto de las portadoras de RF.

En la Figura 2.2.2 se representan la relación entre el valor XPD y la profundidad de desvanecimiento de la señal, con los datos de una antena de alta discriminación por polarización cruzada. La figura indica un valor XPD₀ (XPD en condiciones normales) de 35 dB sin desvanecimiento de la señal.

Para mantener el valor de XPD entre las dos polarizaciones, incluso en caso de desvanecimiento de la señal, la industria ha desarrollado antenas con características de XPD mejoradas en torno al eje de puntería y dispositivos supresores de interferencia por polarización cruzada (XPIC) que explotan la tecnología de equalización transversal. Como los sistemas terrenales suelen transmitir varias portadoras de RF simultáneamente, es preciso tratar la interferencia de canal adyacente al mismo tiempo, utilizando filtros apropiados con características de corte abrupto. Por ejemplo, un sistema MAQ-256 mejora la eficacia de la banda desde 7 bits/Hz hasta 14 bits/Hz, aproximadamente.

Figura 2.2.2 – Discriminación por polarización cruzada en función de la profundidad de desvanecimiento



El circuito XPIC toma muestras de las señales de interferencia y las aplica a las señales deseadas para suprimir la interferencia. El sistema de supresión puede aplicarse a varios niveles (RF, FI o en banda base). Los circuitos XPIC son más complejos cuando se emplean esquemas de modulación codificada multinivel. Los sistemas con estados de modulación MAQ-256 y MAQ-512 necesitan un diseño XPIC muy complejo, pero los enlaces de comunicaciones serán muy fiables, incluso con un fuerte desvanecimiento de la señal.

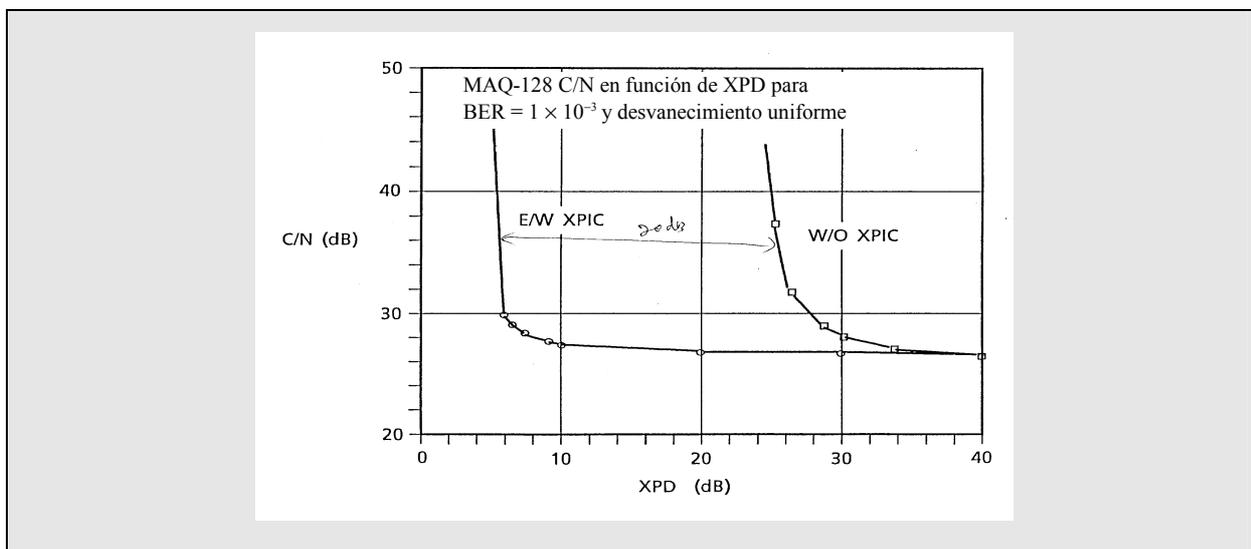
Las imperfecciones controladas de las antenas pueden provocar cierta interferencia en las señales de FI. La portadora polarizada verticalmente sufrirá interferencia de la portadora polarizada horizontalmente, y viceversa. El grado de interferencia depende del valor de la XPD de la antena y del volumen de desvanecimiento de la señal. Cuando no hay desvanecimiento, la interferencia es mínima y aceptable.

En la Figura 2.2.3 se representa la mejora del valor de XPD que puede obtenerse con circuitos de supresión de interferencia por polarización cruzada. Se indican los resultados medidos para un sistema con técnicas de modulación MAQ-128 y una BER de 1×10^{-3} en condiciones de desvanecimiento «uniforme». Puede esperarse una mejora de 20 dB aproximadamente.

- **Control automático de potencia de transmisión (ATPC)**

Los circuitos de control automático de la potencia de transmisión (ATPC) instalados en los sistemas DMR reducirán la interferencia, particularmente entre canales de la misma ruta y entre canales transmitidos desde la misma instalación del sistema. La utilización de ATPC presenta las siguientes ventajas: (1) disminución de la separación angular entre rutas radiales adyacentes; (2) reducción de la interferencia distante entre saltos del enlace que reutilizan la misma frecuencia; (3) disminución de la interferencia entre los canales analógicos y digitales adyacentes que comparten la misma banda de frecuencias.

Figura 2.2.3 – Mejora del valor XPD utilizando equipos XPIC



La utilización de un sistema ATPC también tiene otras ventajas relativas a los equipos, a saber: (4) disminución del consumo de energía de cc por el amplificador de RF, que puede ser muy significativa (hasta un 40%); (5) mejora de la BER residual (habitualmente 1×10^{-13}).

Generalmente, los circuitos ATPC tienen una gama dinámica de -12 dB a $+2$ dB, en incrementos controlados de 1 dB, con una velocidad de seguimiento del desvanecimiento de 100 dB/seg. El valor umbral de la señal recibida puede predeterminarse en una escala de -50 dBm a -70 dBm.

- **Ecualesadores para compensar el desvanecimiento multitrayecto**

El desvanecimiento multitrayecto es un parámetro importante en la mayoría de los enlaces DMR del mundo. La solución más utilizada para combatir los efectos adversos de este tipo de desvanecimiento ha sido la instalación de equipos redundantes en configuraciones de diversidad en el espacio o diversidad de frecuencias.

Otra solución contra este desvanecimiento consiste en utilizar ecualizadores adaptables en los dominios del tiempo o de la frecuencia. Los tecnología actual permite disponer de ecualizadores con excelentes prestaciones, lo cual reviste especial importancia para los sistemas DMR que funcionan con esquemas de modulación codificada multinivel.

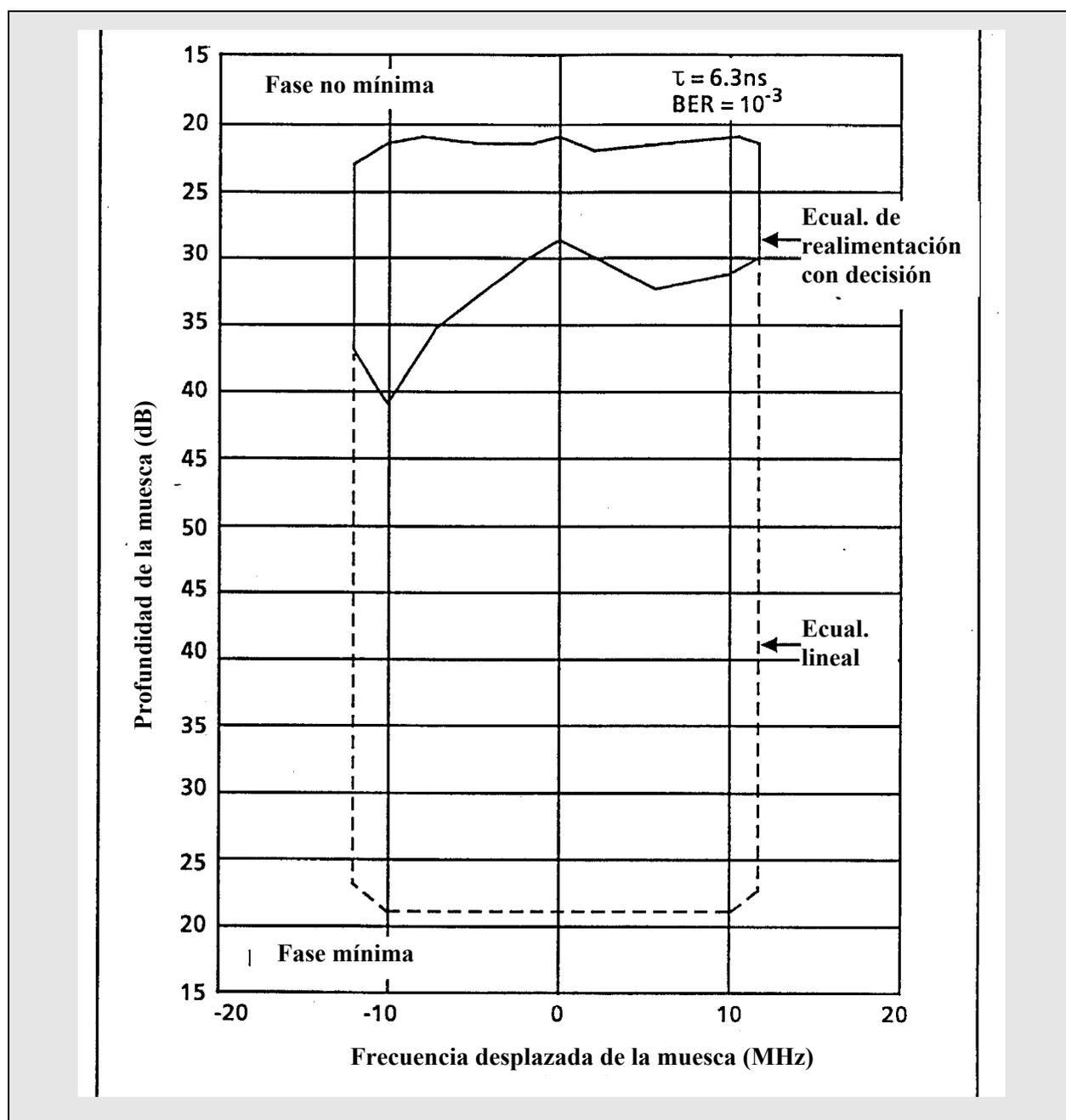
Pueden instalarse ecualizadores adaptables a nivel de la FI o en banda base. Se utilizan generalmente ecualizadores de realimentación con decisión (DFE) y ecualizadores transversales lineales.

Los efectos del desvanecimiento en un radioenlace digital se consideran a menudo como la «signatura» del sistema, que es una indicación estática de la sensibilidad de los equipos, a un modelo de dos rayos del canal multitrayecto en condiciones de fase mínima y no mínima. Suele utilizarse para comparar distintos equipos.

Deben realizarse los ensayos dinámicos en los equipos, porque el desvanecimiento multitrayecto es un fenómeno de naturaleza dinámica. Para ello se utiliza generalmente un simulador dinámico que puede reproducir las secuencias temporales del desvanecimiento multitrayecto. Estos ensayos permiten optimizar la sincronización y los circuitos adaptadores del coeficiente de ecualización.

La Figura 2.2.4 muestra la signatura de un sistema de radiocomunicaciones digital MAQ-64 de 155 Mbit/s con circuitos de realimentación con decisión. El ecualizador lineal tiene el mismo efecto contra el desvanecimiento de fase mínima que contra el desvanecimiento de fase no mínima. El ecualizador adaptable de dominio de tiempo ilustrado en la Figura 2.2.4 permite la ecualización completa del desvanecimiento de fase mínima y es posible ecualizar un fuerte desvanecimiento en el que la onda de reflexión sea más importante que la señal principal.

Figura 2.2.4 – Signatura de un sistema MAQ-64 a 155 Mbit/s con ecualizador de realimentación con decisión (DFE)



2.2.3 Sistema moderno de jerarquía digital síncrona (SDH) que utiliza las nuevas tecnologías¹

En 1988, el UIT-T recomendó adoptar una configuración de jerarquía digital síncrona (SDH) para los sistemas digitales de radiocomunicaciones por microondas a larga distancia, a fin de sincronizar los equipos en grandes extensiones. Los sistemas SDH están sustituyendo paulatinamente a los sistemas de jerarquía digital plesiócrona (PDH) utilizados durante años. En el diseño y la instalación de equipos SDH es importante prever una transición sin discontinuidades a partir de los sistemas PDH.

Los sistemas SDH funcionan generalmente en las bandas de frecuencia de 4 a 13 GHz, con modulación de amplitud de cuadratura (MAQ) de 64 ó 128 niveles. La capacidad de transmisión corresponde al módulo de transmisión síncrono 1 (STM-1). Pueden integrarse en los intervalos de los canales de RF que han dejado libres los sistemas PDH.

Es importante facilitar el funcionamiento y el mantenimiento de los modernos sistemas digitales de radiocomunicaciones por microondas SDH y explotar de la forma más eficaz posible la anchura de banda de RF disponible. En la medida de lo posible, deben adoptarse las nuevas tecnologías aquí descritas con las siguientes características:

- Conformidad con las normas internacionales más recientes, en particular con las del UIT-R, el UIT-T y el ETS.
- Dispositivos de protección contra el desvanecimiento: conmutación por diversidad de frecuencia (FD) o diversidad en el espacio (SD). Además el sistema debe ser capaz de ampliar la capacidad de tráfico, preferentemente mediante la simple instalación de módulos de equipos adicionales.
- Alta ganancia del sistema, utilizando receptores con un bajo factor de ruido. En los sistemas con dispositivos de conmutación FD y/o SD para la protección, la conmutación no debe provocar una drástica disminución de la BER.
- Debe instalarse un sistema de modulación codificada multinivel (MLCM) para mejorar las prestaciones. Es preciso optimizar la ganancia de codificación y minimizar la redundancia de codificación para poder insertar otros canales de servicio adicionales de 2,048 ó 1,544 Mbit/s en el campo de tara complementaria de trama radioeléctrica (RFCOH).
- Debe preverse un control automático de la potencia de transmisión (ATPC) para limitar la interferencia causada a sistemas adyacentes, mejorar la BER residual, reducir los problemas de desvanecimiento y disminuir el consumo de potencia.
- Deben instalarse ecualizadores de realimentación con decisión (DFE) o algún otro esquema de ecualización apropiado para reducir la amplitud dispersiva dentro de la banda y la distorsión de retardo causadas por el desvanecimiento multitrayecto.
- Deben instalarse dos relojes sincronizadores externos diferentes a efectos de redundancia, además de un reloj oscilador interno.
- Debe ser posible integrar el sistema SDH en las redes existentes PDH de banda base. También será posible adaptar por soporte lógico la interfaz para transmisión STM-1.
- La tara de sección (SOH) debe ser terminada, preferentemente, en los dos sentidos: para la sección de radiocomunicaciones y también para la sección de conductores eléctrico u óptico que termina en la estación de radiocomunicaciones.

¹ Véase el Capítulo 6, que contiene una descripción de los sistemas SDH.

- El sistema debe ir equipado de una interfaz óptica o eléctrica STM-1 para cada canal. La interfaz óptica permitirá dos o más longitudes de cable diferentes: para aplicaciones internas de la central y para aplicaciones de larga distancia entre centrales.
- Además del flujo de tráfico principal STM-1 ó 140 Mbit/s, deben extraerse e insertarse en cada terminal y en cada estación repetidora varios canales de servicio digitales (DSC) y uno o dos canales de servicio adicionales de 2,048 ó 1,544 Mbit/s (según el esquema MLCM utilizado). Estos canales deben transportarse en la RFCOH.
- El equipo debe llevar incorporadas las funciones completas de comprobación y control de las prestaciones, de conformidad con las disposiciones de la Recomendación UIT-T G.784. Debe llevarse, además, un registro del número de operaciones de conmutación de protección y de los periodos de fallo de cada canal. Preferentemente, debe emplearse un sistema de gestión de la red (NMS) para realizar estas funciones.
- Para mejorar la fiabilidad del equipo y aumentar el valor del MTBF, se utilizarán preferentemente circuitos integrados de microondas (CIM) LSI y circuitos integrados híbridos (HIC). Además, siempre que sea posible, deben utilizarse circuitos LSI semiconductores de metal óxido complementarios (CMOS), de alta velocidad y bajo consumo de energía, para que los equipos sean más compactos y disminuir el consumo de potencia.
- Hay que instalar los equipos en bastidores normalizados con espacio suficiente para una ampliación y deben poder funcionar en una amplia gama de condiciones ambientales.
- Los equipos serán flexibles y con posibilidades de reconfiguración.
- Para las comunicaciones de servicio debe disponerse, preferentemente, de un circuito de intercomunicación de prioridad y un circuito ómnibus, con los bytes de tara de sección (SOH) E2 y E1, respectivamente. Los canales de intercomunicaciones deben permitir las comunicaciones vocales en toda la red de radiocomunicación SDH, mediante instalaciones de llamada selectiva por señalización multifrecuencia de dos tonos (DTMF).
- Las Recomendaciones UIT-T de la serie M.3000 y G.784, entre otros documentos, deben servir de base en el diseño de los sistemas de gestión. Así será posible la interconexión con los sistemas de gestión de red (NMS) TMN de varios fabricantes, utilizando la interfaz Q3 (véase más información en el Fascículo 2, Capítulo 5 *Gestión de la red y del servicio*).

2.2.4 Sistemas de radiocomunicaciones de acceso múltiple

Ha aumentado la concentración de población en los centros urbanos de todo el mundo, pero la mayor parte de la población mundial sigue viviendo en zonas rurales y en gran medida aspira a los mismos servicios de telecomunicaciones que los habitantes de las ciudades. La población rural a menudo está dispersa en regiones muy vastas.

Las organizaciones nacionales de telecomunicaciones responsables de proporcionar servicios de comunicaciones en todo el territorio de un país no han tenido hasta ahora muchas opciones, particularmente para ofrecer servicios avanzados, como la transmisión de televisión o las comunicaciones de datos a alta velocidad. Un par de conductores de cobre ha sido la única solución en muchos casos.

La reciente aparición de satélites de gran capacidad permite utilizar sistemas con terminales de apertura muy pequeña (VSAT, *very small aperture terminal*), para ofrecer a las zonas rurales servicios de televisión y de transmisión de datos a alta velocidad. La instalación es rápida y relativamente económica por terminal. Ahora bien, los sistemas VSAT se consideran normalmente dispositivos de capacidad

reducida y sería costoso cubrir un territorio amplio y poco poblado con este tipo de terminales. Habrá que esperar varios años para que la solución de teléfonos portátiles para comunicación por satélites de órbita terrestre baja o media (LEO/MEO) sea económica y pueda generalizarse. De todas formas, estos sistemas serán prohibitivos para muchos usuarios en zonas rurales debido a sus costes iniciales y de funcionamiento (véase el apartado 2.4 *Sistemas de satélite* de este fascículo).

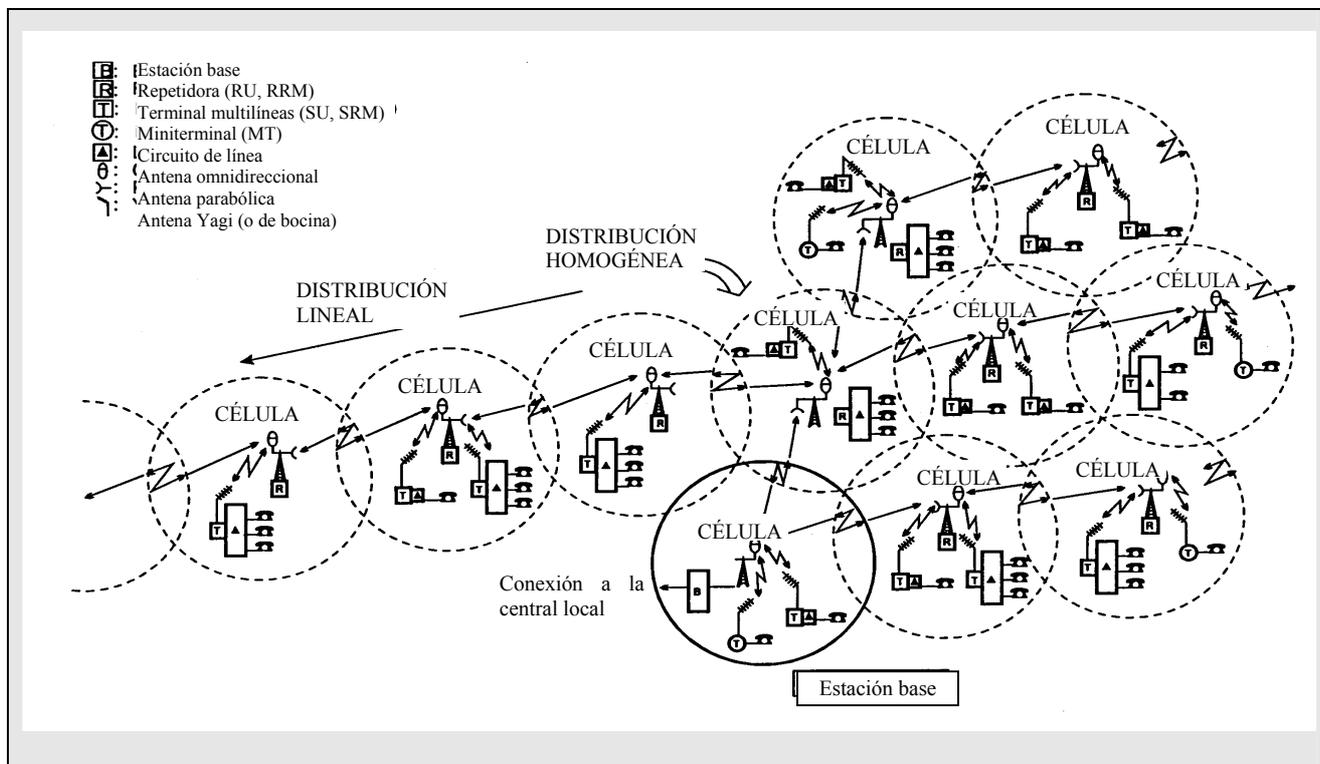
Los sistemas de radiocomunicaciones de abonado de acceso múltiple son una alternativa para las comunicaciones rurales y pueden constituir una solución interesante. Es posible instalar uno de esos sistemas que utilizan moderna tecnología digital con unas 1 000 líneas de abonados, alejados hasta 1 000 km de una estación (más de 3 000 km² por abonado). Esta solución puede competir con los sistemas VSAT y los teléfonos portátiles de satélites LEO/MEO, considerando los costes y los servicios propuestos.

2.2.4.1 Arquitectura del sistema

Un sistema de radiocomunicaciones de abonado está formado por tres elementos principales: la estación base, las estaciones repetidoras y las estaciones terminales (abonados). Existen sistemas de configuración homogénea (generalmente urbanos) o lineal (generalmente rurales), y todos utilizan las bandas de frecuencias de 1,5-2,4 GHz. Generalmente se utiliza la tecnología MDT (múltiple por división en el tiempo) en el enlace descendente (de la estación base a los abonados) con 60 intervalos de tiempo para 1 024 abonados, y la tecnología AMDT (acceso múltiple por división en el tiempo) en el enlace ascendente. Los canales de voz se someten a una modulación por impulsos codificados (MIC) de 64 kbit/s. Son conocidos generalmente como sistemas de radiocomunicaciones digitales de abonado de acceso múltiple (DRMASS). Los sistemas más recientes codifican la transmisión de voz con una MIC diferencial adaptativa de 32 kbit/s y tienen aproximadamente el doble de intervalos de tiempo.

Los sistemas de radiocomunicaciones de abonado están formados por células en una estructura de panel, similar a la de los sistemas de radiocomunicaciones celulares para usuarios móviles. La Figura 2.2.5 representa el concepto básico de un sistema de radiocomunicaciones de abonado y la Figura 2.2.6 presenta un ejemplo típico de disposición de células y asignación de frecuencias para un sistema DRMASS de 14 canales. La estación base suele instalarse en los locales de una central telefónica urbana o metropolitana, para facilitar las comunicaciones de los circuitos DRMASS con la red telefónica nacional. Puede emplearse una interfaz digital (por ejemplo, de 2 Mbit/s) o circuitos analógicos de dos hilos. Cada célula del sistema DRMASS tiene equipos radioeléctricos transmisores y receptores que pasan las llamadas a la siguiente célula o comunican con los abonados locales.

Figura 2.2.5 – Concepto básico de un sistema de radiocomunicaciones digitales de abonado con acceso múltiple



El equipo de abonado de un sistema DRMASS consiste en unidades de abonado multilinea, para instalaciones con varios usuarios agrupados y miniterminales para instalaciones con sólo uno o dos abonados.

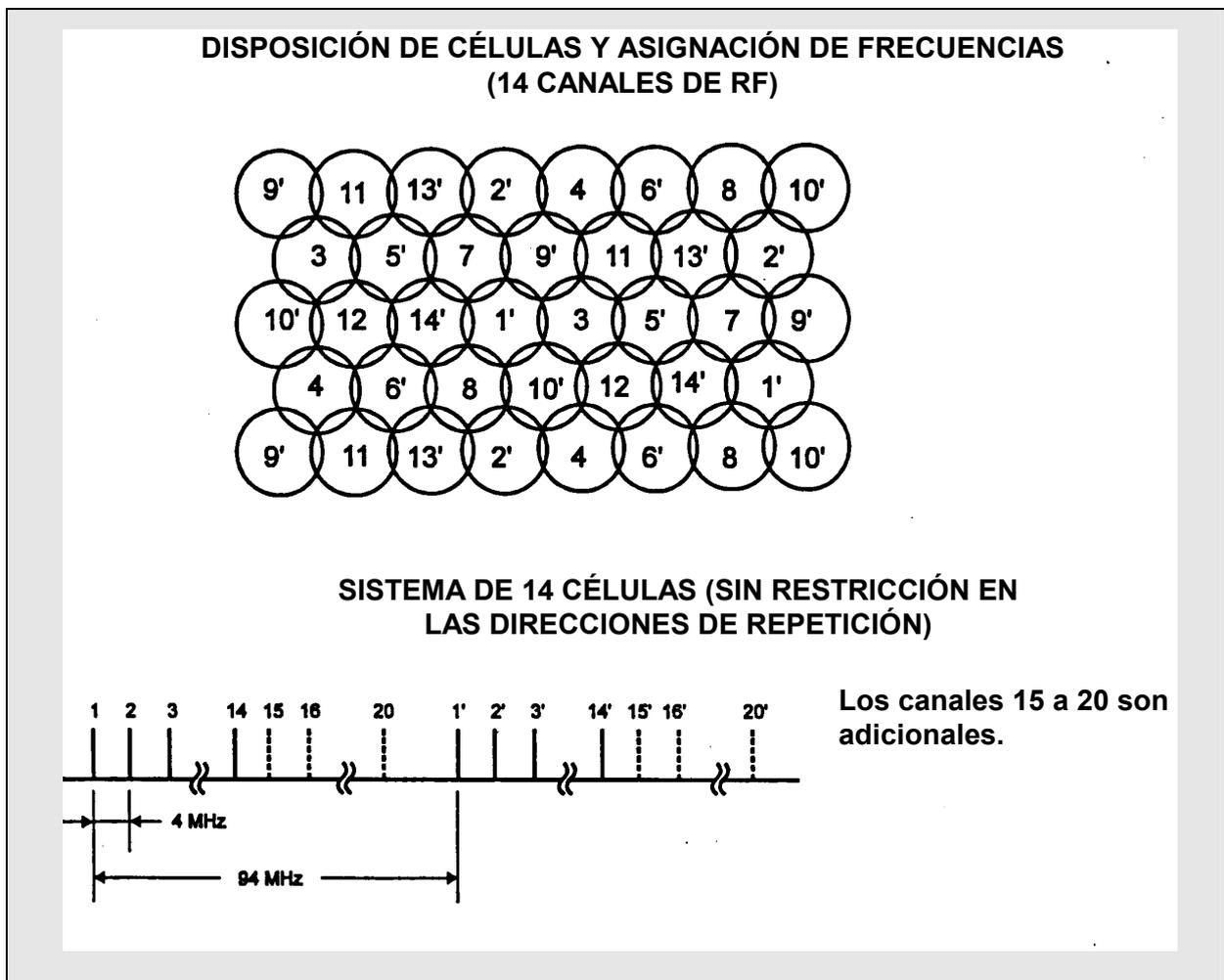
Las nuevas tecnologías permiten que las células de los sistemas DRMASS sirvan a usuarios móviles y/o fijos. Se trata de células de sistemas telefónicos digitales sin cordón (DCTS, *digital cordless telephone system*) y se utilizan para establecer comunicaciones con aparatos telefónicos sin cordón o con pequeños terminales fijos con una modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa (MICDA) de 32 kbit/s.

Cada una de las estaciones repetidoras de las células de un sistema DRMASS puede cubrir un territorio con un radio máximo de unos 45 km y una célula DCTS puede comunicarse con terminales fijos situados en un radio de 3 km, aproximadamente.

Los sistemas DRMASS ofrecen los servicios concentrando un gran número de líneas de abonado en los intervalos de tiempo disponibles; normalmente, el sistema es transparente a la señalización dirigida a los abonados y procedente de los mismos.

Los canales telefónicos procedentes de la central local se concentran y convierten en señales digitales que se transmiten hacia el repetidor más cercano y a los siguientes, en su caso. Cada repetidor utiliza una antena omnidireccional para comunicar con el abonado. Uno de los 60 intervalos de tiempo es asignado automáticamente al abonado que hace una llamada. Para la transmisión en sentido ascendente (del abonado a la estación base a través de un repetidor), el abonado tiene un intervalo de tiempo y transmite en modo ráfaga (AMDT) sin riesgo de superposición con otros abonados. Sólo se utilizan dos frecuencias para las transmisiones en sentido ascendente y descendente.

Figura 2.2.6 – Ejemplo de una disposición de células y asignación de frecuencias para 14 canales



En la Figura 2.2.7 aparece el formato general de trama y los distintos campos de información en la trama. La Figura 2.2.8 representa el formato típico de un canal de intervalo de tiempo de abonado (conocido como canal V).

La trama de radiocomunicaciones comprende 60 canales de voz (V), un canal de control (C), un canal de supervisión (SV), un canal de intercomunicación de servicios (OW), un canal telegráfico (TELEX), un canal de adquisición y de mantenimiento local (ACQ/LOCAL) y un diagrama de sincronización de trama (F, F'). Se utiliza un periodo de trama de 4 ms. En el diagrama de trama se asignan 7 bits para la sección inicial de los canales C y ACQ/LOCAL. La primera parte de esta sección inicial es una palabra fija de 5 bits y los otros 2 bits corresponden a una palabra variable (ID NO). Estas palabras sirven para distinguir las rutas e identificar la trama. Se utiliza un módulo de prueba para identificación cada 16 tramas. La polaridad de los canales ACQ/LOCAL y C es invertida en la palabra fija y hay una alternancia a intervalos de 2 ms.

Figura 2.2.7 – Formato de trama de un sistema DRMASS MDT/AMDT

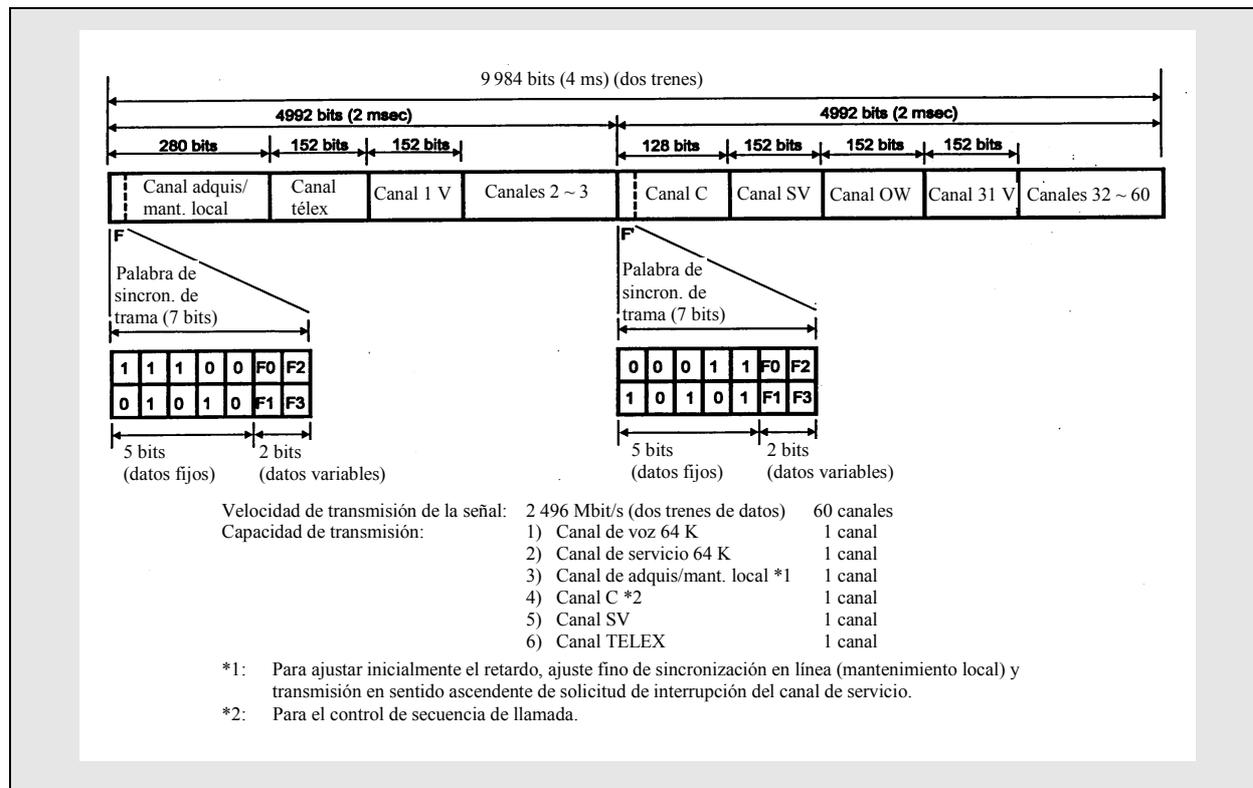
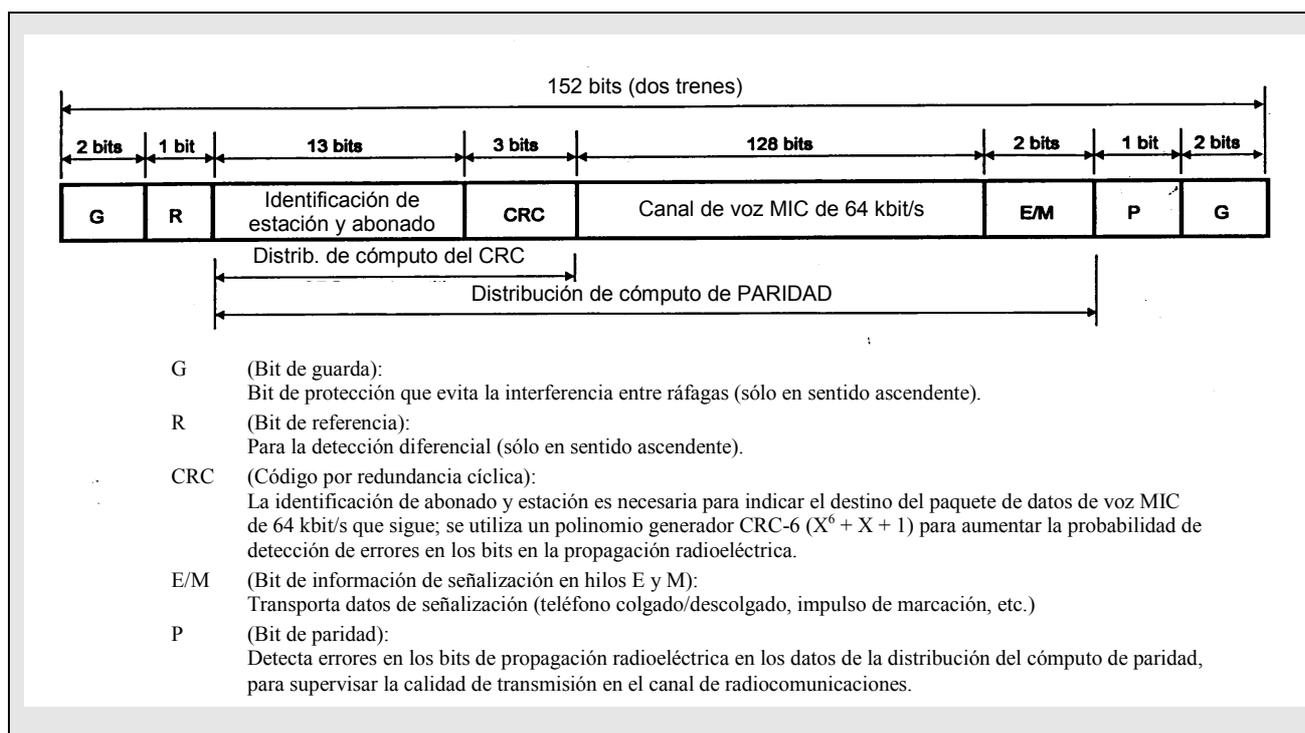


Figura 2.2.8 – Formato de trama del intervalo de tiempo de abonado



Se utiliza un método de búsqueda por desplazamiento de un bit para sincronizar las tramas. La sincronización está protegida por 3 impulsos continuos «sí»/4 impulsos continuos «no».

Cada uno de los canales V, OW y SV tiene 152 bits para el flujo de señal en sentido ascendente y en sentido descendente y transporta los datos propiamente dichos (por ejemplo 64 K de voz) y la información de control. El flujo de señal en sentido ascendente tiene dos intervalos de tiempo de guarda al principio y al final de la trama. El canal C tiene 128 bits y se emplea para secuenciar las conexiones de llamadas. El canal ACQ/LOCAL tiene 280 bits y se utiliza, en modo de adquisición, para ajustar el retardo en la puesta en servicio inicial y, en modo de mantenimiento local, para la regulación fina del retardo. El canal TELEX también tiene 152 bits y puede utilizarse para la transmisión de datos a baja velocidad (hasta 19,2 kbit/s) o hasta 40 canales télex. El canal V tiene la misma estructura en servicio de datos o télex. Se emplea normalmente el sistema de modulación MDP-4 con una transmisión de 2 bits de datos MIC por símbolo, lo que supone una transmisión de 256 bits de datos MIC en una trama de 4 ms (64 kbit/s) en cada canal V.

• Servicios prestados y calidad de servicio

Los sistemas modernos de radiocomunicación de abonado con acceso múltiple utilizan tecnologías avanzadas y deben ofrecer, como mínimo, los siguientes servicios:

- Servicio telefónico ordinario.
- Servicio telefónico de monedas.
- Transmisión de datos, normalmente hasta 384 kbit/s, que permite una videoconferencia de PC a PC de calidad media con los soportes lógicos actuales.
- Servicio télex.
- Canales exclusivos telefónicos y de datos (preasignados).
- Comunicaciones a cuatro hilos con señalización E y M.
- Servicio entre llamadas (llamadas entre abonados conectados a la misma estación terminal).
- Servicio de llamada prioritaria de urgencia. Permite descartar las llamadas no prioritarias.
- Servicio automático de comunicación por intermediario con prioridad. La llamada de un abonado que tenga esta prioridad puede ser colocada en una fila de espera cuando el sistema está ocupado. Será llamado automáticamente cuando se libere un canal, antes de las otras comunicaciones por intermediario ordinarias.
- Servicio automático de comunicación por intermediario ordinario.
- Reenvío de llamada en caso de ocupado/no contesta/incondicional.
- Espera de llamada.
- Llamada tripartita.
- Operaciones de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA).
- Servicio DAMA (acceso múltiple con asignación por demanda) a cuatro hilos.
- RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).

Como el sistema DRMASS funciona con el principio de concentrador, el número máximo de abonados que puede manejar depende del tráfico medio generado por cada abonado del sistema, de la probabilidad de bloqueo decidida y del número de intervalos de tiempo.

Basándose en la experiencia, se ha determinado que un sistema DRMASS tiene un tráfico medio de llamadas, en horas laborables, de 0,09 erlang/línea, suponiendo que los teléfonos de monedas (0,3 erlang/línea) representan un 10% de la capacidad del sistema, las comunicaciones profesionales (0,1 erlang/línea) un 30% y las líneas de abonados privados (0,05 erlang/línea) el 60% de dicha capacidad

del sistema. La probabilidad de bloqueo (es decir, la relación entre las llamadas que se encuentran con la condición de ocupado y el número total de llamadas realizadas en un determinado periodo), es generalmente de 0,01 (1%). Partiendo de estos supuestos, un sistema DRMASS con 60 intervalos de tiempo podrá aceptar 512 abonados. Ahora bien, la función de llamadas entre abonados permite duplicar el número de líneas de abonado del abonado del sistema (1024).

• **La estación base**

Sabiendo que los sistemas de radiocomunicaciones de abonado casi siempre están conectados con la red telefónica conmutada nacional, la solución más práctica es instalar la estación base en una de las centrales ya existentes, posiblemente equipada con una torre de radiocomunicaciones y con equipos generadores de energía de alterna y continua para alimentar la estación base. Si no fuera posible esta solución, una parte de los equipos de la estación base (incluidos los módulos de RF) puede instalarse en cualquier lugar y el resto de los equipos en la central telefónica, siempre que sea posible enlazar estas dos instalaciones mediante una conexión digital de 2 Mbit/s o con enlaces de comunicaciones inalámbricos.

Éstos son los principales componentes de la estación base:

- Un módulo controlador de la estación base (BSCM).
- Una unidad de controlador de MDT (TCU), que incluye el transmisor, el receptor y la antena de RF.
- Uno o varios módulos frontales de bucle abierto (LOEM).
- Una o varias unidades de datos (DU).
- Un sistema informatizado de supervisión y control a efectos de explotación y mantenimiento.

Si no fuera posible instalar todos los equipos de la estación base en la central telefónica, la torre de radiocomunicaciones con la antena y el módulo TCU pueden ubicarse en otro lugar y conectarse al BSCM mediante dos enlaces de 2 Mbit/s. A continuación se describen las funciones del equipo de comunicaciones de la estación base.

Módulo controlador de la estación base (BSCM)

Este módulo hace las veces de controlador y es una interfaz a dos hilos con los circuitos de línea de abonado (hasta 1 024). Concentra 1 024 líneas telefónicas y las convierte en 60 intervalos de tiempo en dos trenes de datos MDT de 2,048 Mbit/s. Los procesadores del concentrador realizan el secuenciamiento de las llamadas y efectúan una supervisión a distancia de todo el sistema, aplicando el programa almacenado.

Módulos frontales de bucle abierto (LOEM) y unidades de datos (DU)

Los LOEM son la interfaz con la central local, mediante tarjetas de circuitos enchufables. Suelen utilizarse dos tipos de tarjetas: una para 8 líneas telefónicas ordinarias y otra para 4 líneas de teléfono de monedas. El tipo y el número de tarjetas necesarias depende de la configuración del circuito de línea (LC) en las estaciones de abonado y repetidoras.

El módulo DU contiene tarjetas enchufables como interfaces del canal de datos con la central telefónica. La configuración de estas tarjetas, que depende de la configuración general del sistema DRMASS, incluye las interfaces para puertos de datos, canales télex y señalización E y M a cuatro hilos.

Unidad de controlador de MDT (TCU)

La TCU convierte los dos trenes de datos de 2,048 Mbit/s del concentrador en dos señales de radiocomunicaciones MDT de 2,496 Mbit/s para el trayecto de transmisión «descendente» y efectúa una inversión para el trayecto de recepción «ascendente». La TCU realiza la multiplexión/demultiplexión de las señales de servicio y de supervisión/mantenimiento. Se utiliza normalmente una configuración duplicada (de funcionamiento y de reserva) para mayor fiabilidad. Existe, además, una versión sin

protección para aplicaciones económicas. La TCU puede instalarse lejos de los equipos del concentrador BSCM conectándola mediante dos enlaces de comunicaciones de 2,048 Mbit/s, con interfaces UIT-T G.703.

Funciones de la parte de radiocomunicaciones o MDT de la unidad de controlador (TCU):

- Convierte los dos trenes de datos de 2,048 Mbit/s del concentrador en paquetes de datos para radiocomunicaciones, y realiza la multiplexión de las señales de control, supervisión y mantenimiento en los paquetes de datos. Los datos son modulados y transmitidos a la estación repetidora más cercana y posteriormente a las siguientes estaciones repetidoras y a las estaciones de abonados.
- Recibe las señales de RF AMDT en modo ráfaga procedentes de la estación repetidora más cercana, regenera los datos del paquete, retira la información de control, supervisión y mantenimiento de los datos de la banda base y convierte las señales en dos trenes de datos de 2,048 Mbit/s dirigidos al concentrador.

El procesador principal de la TCU controla la transferencia de datos entre la TCU y el BSCM, para controlar el protocolo de radiocomunicaciones. El convertidor de trama convierte la trama MIC de banda base de 2,048 Mbit/s al formato de trama de radiocomunicaciones de 2,496 Mbit/s (sentido ascendente), y de 2,496 Mbit/s a 2,048 Mbit/s (sentido descendente). También efectúa la multiplexión/demultiplexión de las tramas de radiocomunicaciones y supervisa los errores de transmisión.

Los 60 intervalos de tiempo se transmiten en portadoras de RF con modulación MDP-4. Generalmente, la potencia de transmisión es del orden de 1 W procedente de un amplificador de transistores, y el receptor tiene un factor de ruido de unos 3 dB. Funcionará con BER aceptables hasta -85 dBm aproximadamente. Se utilizan antenas omnidireccionales (ganancia = 10 dB) o antenas parabólicas de hasta 4 metros de diámetro (ganancia = 32-37 dB), según la configuración del sistema.

• Estaciones repetidoras

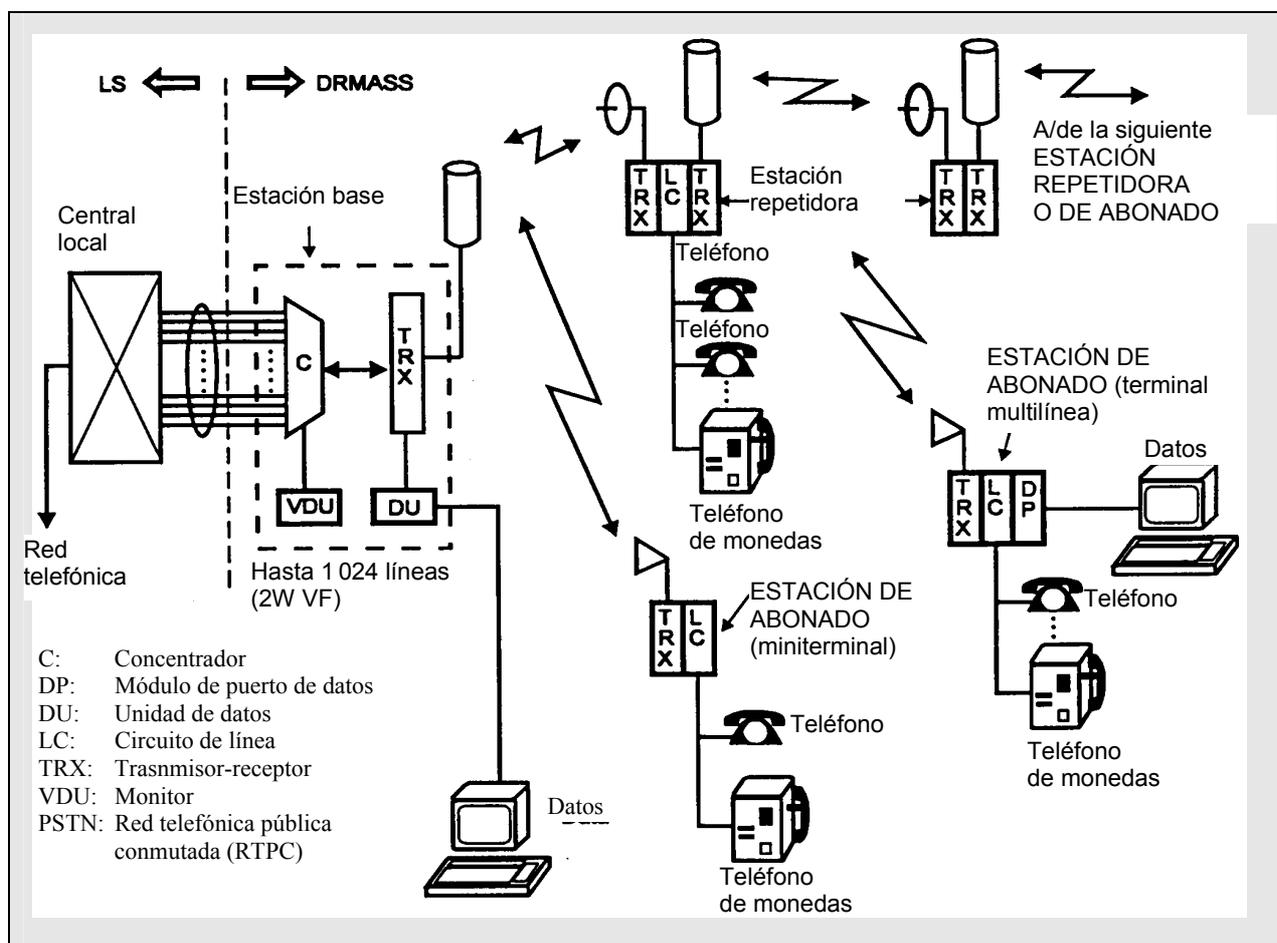
Las estaciones repetidoras tienen dos funciones: comunicar con un determinado número de abonados de la zona de cobertura (es normal una cobertura de 256 abonados) y pasar la llamada a la siguiente estación repetidora si no está destinada a alguno de los usuarios de su zona. El número de estaciones repetidoras de un sistema no está limitado realmente, pero en la práctica los sistemas DRMASS no suelen tener más de 23 repetidores y ni cubren una distancia superior a 1 080 km.

La Figura 2.2.9 muestra un diagrama de bloques de un segmento de una configuración típica de los sistemas DRMASS. Se representan dos estaciones repetidoras y dos estaciones de abonado (un miniterminal con dos líneas telefónicas servidas por la estación base y un terminal multilínea que puede abarcar hasta 16 líneas telefónicas, servido por una estación repetidora).

La estación repetidora recibe la señal «descendente» transmitida desde la estación base (o desde la estación repetidora precedente). Tras regenerar la señal, el repetidor la transmite en una radiofrecuencia diferente tanto a las unidades de abonado situadas dentro de su zona de servicio como a las estaciones repetidoras adyacentes para su retransmisión. La señal «ascendente» es transmitida en dirección contraria hacia la estación base.

La múltiple utilización de estaciones repetidoras permite extender la zona de servicio de forma prácticamente ilimitada sin pérdida notable de calidad de la señal, gracias al principio de transmisión digital con regeneración de la señal.

Figura 2.2.9 – Configuración típica de un segmento del sistema DRMASS



La estación repetidora puede ser interior o exterior. Sus principales componentes son la unidad repetidora propiamente dicha, que recibe, regenera y retransmite señales de RF, y uno o más equipos de derivación. Normalmente, un equipo de derivación de una estación repetidora exterior da servicio a 64 abonados. Las estaciones repetidoras interiores pueden incluir hasta 4 equipos de derivación dando servicio a un total de 256 abonados.

• Estaciones de abonado

Una estación de abonado puede ser un terminal multilínea o un miniterminal. Una estación de abonado multilínea está compuesta por una unidad de abonado (SU) y un equipo de derivación (DOU), con una capacidad de hasta 64 abonados si se trata de repetidores exteriores. En las estaciones repetidoras interiores pueden instalarse un soporte de bastidor de abonado (SRM) y un soporte de bastidor de derivación (DORM) proporcionando capacidad para un total de 256 abonados. Un miniterminal para instalación en el interior tiene poca capacidad de abonados (habitualmente un teléfono y una línea telefónica de monedas).

Como las unidades de abonado de tecnología LSI consumen poca potencia, estos terminales pueden ser alimentados por energía solar. El equipo terminal y la unidad de control de energía solar, que incluye las baterías, pueden instalarse en pequeños armarios fijados a la pared en un local existente o sobre el mástil de una antena en el exterior.

Funciones de la estación de abonado:

- Recibe la transmisión de RF de la estación base o de un repetidor y regenera la información de la señal telefónica analógica de dos hilos retransmitiéndola a la línea de abonado correspondiente.
- Detecta solicitudes de llamada entrante procedente de la línea de abonado y convierte las señales telefónicas analógicas de dos hilos en ráfagas de RF que se transmiten a la estación repetidora o a la estación base.

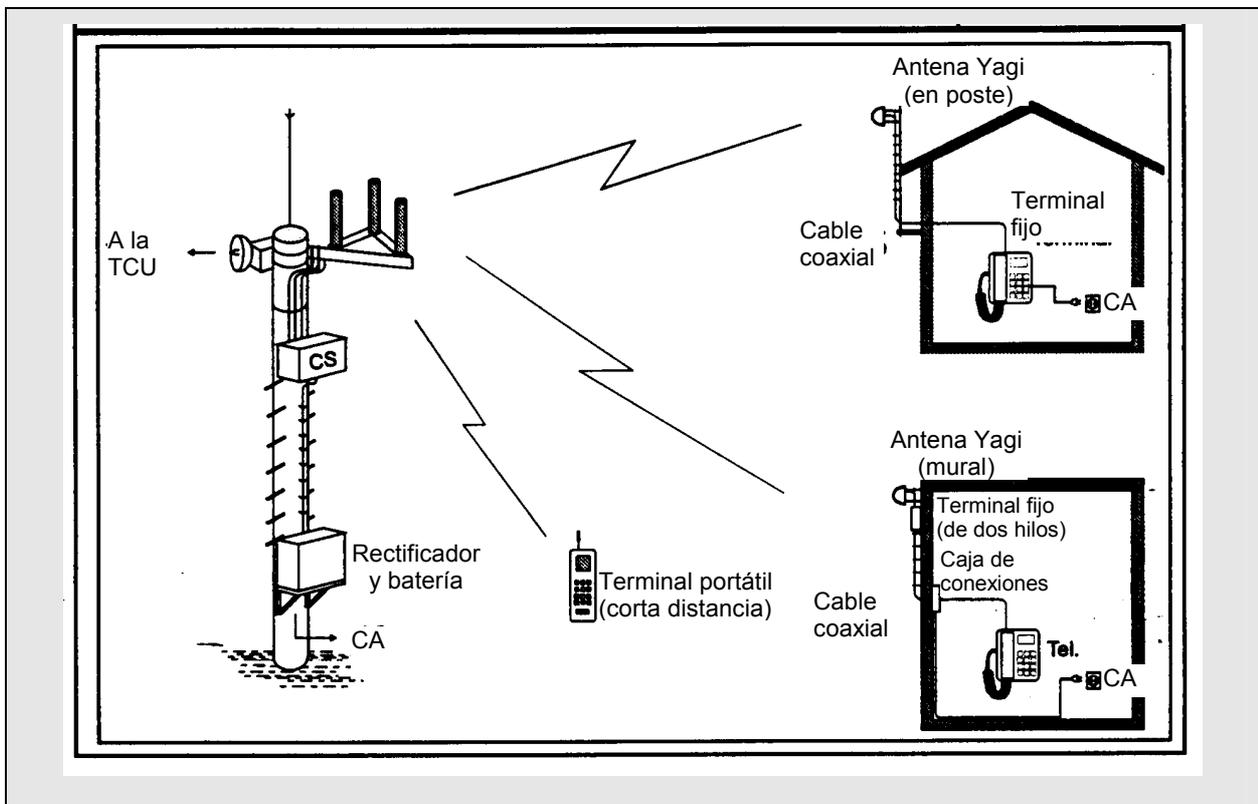
Es posible reemplazar las tarjetas de puerto de datos por tarjetas de circuitos vocales, para crear canales de comunicaciones de datos.

El miniterminal es una solución apropiada si sólo se necesitan una o dos líneas de abonado. Estas líneas pueden ser una combinación de servicios tales como dos teléfonos privados, dos líneas de teléfonos de moneda, un teléfono privado y una línea de teléfono de moneda, un teléfono y una línea de datos, o una línea de teléfono de monedas y una línea de datos.

- **Estaciones de célula de los sistemas telefónicos digitales sin cordón (DCTS)²**

Los sistemas de radiocomunicaciones de abonado permiten integrar terminales telefónicos pequeños y económicos, fijos o móviles, con un alcance limitado, que utilizan la tecnología de telefonía digital inalámbrica más reciente. Los terminales fijos pueden funcionar en distancias de 3-5 km desde una estación celular del sistema DCTS y los aparatos portátiles en distancias de hasta 1 km. En la Figura 2.2.10 se representa una estación celular instalada en un poste con todos los equipos electrónicos, incluida la alimentación eléctrica.

Figura 2.2.10 – Estación celular (CS) del sistema DCTS



² Véase igualmente el Fascículo 2, Capítulo 4.

Generalmente, los terminales portátiles funcionan con una antena de látigo corta y las instalaciones fijas con una pequeña antena Yagi instalada en un poste. Los terminales utilizan modulación por impulsos codificados (diferencial adaptativa (MICDA) de 32 kbit/s y el sistema emplea asignación dinámica de canales. Las estaciones celulares de los sistemas DCTS también funcionan en la banda de 1,9 GHz. Hasta 52 abonados pueden conectarse a una estación celular con las técnicas AMDT, para una carga de tráfico de 0,1 erlang y una relación de bloqueo del 1%. Permite un servicio de datos y fax en la banda vocal con una velocidad máxima de 7,2 kbit/s.

- **Control centralizado de explotación y mantenimiento**

De la misma forma que la explotación y el mantenimiento de los sistemas de comunicaciones modernos, los sistemas de radiocomunicaciones de abonado con acceso múltiple tienen funciones centralizadas y automatizadas de explotación y mantenimiento. Ello es particularmente importante en los sistemas utilizados para comunicaciones rurales, donde todos los equipos funcionan sin vigilancia y muchas veces en condiciones ambientales difíciles, y los recursos técnicos necesarios no están disponibles inmediatamente.

El sistema centralizado de explotación y mantenimiento se instala normalmente con los equipos de la estación base. Incluye funciones para la comprobación técnica del estado de los equipos, el mantenimiento y las pruebas. Un operador debe poder observar y controlar los siguientes aspectos de los equipos desde un puesto central:

- Estado de alarmas y registro.
- Prueba de línea de abonado (resistencia/capacidad de aislamiento) y llamadas de prueba a determinados abonados.
- Registro de estadísticas de tráfico.
- Reconfiguración del sistema.

Estas funciones deben ejecutarse a distancia y controlarse desde la estación base. Integrando las funciones centralizadas en un sistema de radiocomunicaciones de abonado con acceso múltiple, un ingeniero y un técnico de mantenimiento pueden controlar un sistema de 1024 abonados repartidos en un radio de 1080 km a partir de la estación base, siempre que los equipos ofrezcan las mejores condiciones actuales de tiempo medio entre fallos (MTBF).

2.2.5 Redes de radiocomunicaciones digitales

a) *Sistemas de radiocomunicaciones digitales de larga distancia*

Los sistemas de radiocomunicaciones digitales de larga distancia y gran capacidad son una alternativa válida frente a los sistemas de fibra óptica, especialmente si la topografía es difícil (montañas, lagos o ríos), en zonas urbanas con servidumbres de paso costosas o inexistentes, o cuando es importante hacer rápidamente la instalación. Además, los sistemas de radiocomunicaciones digitales de larga distancia pueden reutilizar la importante infraestructura de torres y edificios, antes destinada a los sistemas de radiocomunicaciones analógicos de las redes principales de telecomunicaciones nacionales. Estos sistemas funcionan con la máxima capacidad de canal posible con los esquemas MAQ de alto nivel. Un sistema de conmutación $n + 1$ permite explotar muchos canales en el mismo trayecto. Un gran número de países utilizan las bandas de frecuencias inferiores de 4 y 6 GHz para poder cubrir grandes distancias.

b) *Sistemas de radiocomunicaciones digitales de corto alcance*

Los actuales sistemas de radiocomunicaciones digitales son utilizados frecuentemente cuando es difícil, costoso o muy laborioso tender una red de cable. Estos sistemas pueden instalarse rápidamente, especialmente si las antenas son poco voluminosas y pueden instalarse sobre edificios o torres existentes, y cuando las distancias son relativamente cortas. Los equipos que utilizan frecuencias superiores a 15 GHz satisfacen estas condiciones porque son compactos, resistentes y económicos. La multiplicación de redes celulares para las radiocomunicaciones móviles ha creado un mercado muy importante para los sistemas de ondas milimétricas. Las células están interconectadas mediante centros de conmutación móviles (MSC) de capacidad relativamente baja: 1-DS1 a 4-DS1 o 1-E1 a 4-E1. Algunos sistemas no tienen protección, por su reducida capacidad, o la protección consiste en una conmutación automática del equipo de reserva «en caliente». Como los saltos suelen ser cortos, no es necesario prever un sistema de protección por diversidad en el espacio o de frecuencias contra el desvanecimiento multitrayecto. La atenuación debida a la lluvia es la causa principal de interrupción de la señal; es posible satisfacer las condiciones UIT empleando sistemas de radiocomunicaciones de alta ganancia y acortando los saltos de la señal.

Si se precisan saltos de señal más largos será necesario emplear sistemas de radiocomunicaciones digitales por debajo de 15 GHz. La banda de 2 GHz ha sido muy utilizada en Estados Unidos para conexiones de baja capacidad en empresas de gas y electricidad. Esta banda ahora está atribuida a distintos usos en redes privadas (PCN) y los servicios de radiocomunicación existentes pueden transferirse a las bandas de 6 GHz inferior (L6), de 6 GHz superior (U6) y de 11 GHz, disponibles ahora para aplicaciones digitales de baja capacidad. Estas bandas permiten cubrir grandes distancias porque en ellas la lluvia no provoca desvanecimiento. Los sistemas de diversidad en el espacio o de frecuencias sirven, en estos casos, para compensar el desvanecimiento multitrayecto; los sistemas de diversidad de frecuencias son generalmente sistemas de conmutación de protección $n + 1$. Para conservar el espectro, la FCC (Estados Unidos) exige que el valor «n» aumente a 3 como mínimo en los tres primeros años desde la instalación en una ruta, excluyendo los sistemas de diversidad de frecuencias $1 + 1$. Otros países pueden aplicar condiciones distintas o no exigir nada.

c) *Redes radioeléctricas de área local (RLAN)*

La infraestructura de comunicaciones de las redes de área local (LAN) hoy en día es un elemento muy importante en la informática de las actividades comerciales. La necesidad de extensión de las redes LAN según el aumento de usuarios terminales impone la capacidad de tratamiento de tráfico en ráfagas, para explotar eficientemente los recursos informáticos. Ahora bien, una red alámbrica LAN tiene muchos inconvenientes: costes, mantenimiento e instalación, particularmente si la arquitectura de la red es compleja.

Existen muchas clases de redes RLAN que están en servicio actualmente o cuya instalación está prevista en un futuro cercano. En el cuadro 2.2.1 aparecen ejemplos típicos de redes RLAN que utilizan bandas de frecuencia superiores a 1 GHz y con una velocidad máxima de transmisión de datos de 1 Mbit/s.

Para las tecnologías de bucle local inalámbrico, véase el Fascículo 2, Capítulo 4.2.2.1.

Cuadro 2.2.1 – Ejemplos de características de sistemas RLAN

Banda de frecuencia	Esquema de modulación y/o de acceso	Veloc. de transmisión de datos (típica)	Aplicación	Alcance ¹ (típico)
403-470 MHz 806-869 MHz 946 MHz	MDF 4-niveles	19,2 kbit/s	Equipo de abonado ARDIS ²	Zona de servicio ARDIS
850 MHz (celular)	MDF	14,4 kbit/s 9,6 kbit/s (Fax)	Comunicaciones personales con teléfonos celulares	Zona de servicio del teléfono celular
902-928 MHz	Salto de frecuencias (MDF)	64 kbit/s a 500 kbit/s	Enlace datos punto a punto; redes universitarias y privadas	4 km
	Secuencia directa	2 Mbit/s 215 kbit/s a 1,0 Mbit/s	LAN portátil LANs Ethernet	250 m 100 a 1 000 m
	Espectro ensanchado AMDC/AMDT	Velocidad de línea 1,536 Mbit/s	Redes de comunicaciones personales	450 a 5 000 m ²
	Secuencia directa con selección de canal de frecuencia 1,5 MHz	60 kbit/s	Lectura de código de barras	120 a 210 m
	Secuencia directa código reticular MDP	5,7 Mbit/s	LAN Ethernet (IEEE 802.3)	80 m
2,4 a 2,4835 GHz 2,4 a 2,485 GHz (transceptor a base) 5,745 a 5,830 GHz (base a transceptor)	AMDC, secuencia directa salto de frecuencia Secuencia directa código reticular MDP-16	1 Mbit/s (Aprox.) 5,7 Mbit/s	– LAN Ethernet (IEEE 802.3)	– 80 m
5,2 GHz	MDMG (BT = 0,4)	Velocidad bruta de transmisión de datos 24 Mbit/s	RLAN de altas prestaciones (HIPERLANS)	50 m
17,2 GHz	En proceso de definición	En proceso de definición	RLAN de altas prestaciones (HIPERLANS)	En proceso de definición
18,8 GHz 19,2 GHz	AMDT-TDD MDF-4	15 Mbit/s	LAN Ethernet	40 m (máximo)
19,5 GHz	AMDT-TDD MDF-4	25 Mbit/s	LAN Ethernet	40 m (máximo)

¹ Puede haber grandes diferencias en la gama de alcances de funcionamiento de los sistemas RLAN, según la velocidad de transmisión de datos, la frecuencia, la potencia de RF, la antena y el medio de propagación.

² ARDIS: Servicio avanzado de información de datos radioeléctricos.

2.2.6 Publicaciones de la UIT

El «Manual de sistemas de radioenlace digitales» publicado por el UIT-R en 1996 es un compendio completo de principios básicos, parámetros de diseño y prácticas habituales en la concepción e ingeniería de los sistemas de radioenlace digitales. Existen versiones en todos los idiomas de trabajo de la UIT. Otra referencia interesante es el Manual de la UIT sobre Telecomunicaciones Rurales, Volumen 1 – Sistemas radioeléctricos en zonas rurales, 1994.

2.2.7 Abreviaturas

ACQ/LOCAL CH	Canal de adquisición y mantenimiento local (<i>acquisition and local maintenance channel</i>)
AMDC	Acceso múltiple por división de código
AMDT	Acceso múltiple por división en el tiempo
AMPS	Servicio de telefonía móvil avanzada (<i>advanced mobile phone system</i>)
ARDIS	Servicio avanzado de información de datos radioeléctricos (<i>advanced radio data information service</i>)
ATPC	Control automático de potencia de transmisión (<i>automatic transmission power control</i>)
BCM	Modulación por bloques codificados (<i>block coded modulation</i>)
BER	Proporción de bits erróneos (<i>bit error rate</i>)
BSCM	Módulo controlador de la estación base (<i>base station controller module</i>)
C CH	Canal de control (<i>control channel</i>)
CIM	Circuitos integrados de microondas
CMOS	Semiconductor metal óxido complementario (<i>complementary metal oxide semiconductor</i>)
CRC	Verificación por redundancia cíclica (<i>cyclic redundancy check</i>)
CRR	Conferencia Regional de Radiocomunicaciones
DAMA	Acceso múltiple con asignación por demanda (<i>demand assigned multiple access</i>)
DCS	Sistema celular digital (<i>digital cellular system</i>)
DCTS	Sistema telefónico inalámbrico digital (<i>digital cordless telephone system</i>)
DFE	Ecualizador de realimentación con decisión (<i>decision feedback equaliser</i>)
DMR	Radioenlace digital de microondas (<i>digital microwave relay</i>)
DORM	Equipo de paso en bastidor (<i>drop-out rack mount</i>)
DOU	Unidad de derivación (<i>drop-out unit</i>)
DRMASS	Sistema de radiocomunicaciones digitales de abonado con acceso múltiple (<i>digital radio multiple access subscriber system</i>)
DRRS	Sistema de radioenlaces digitales (<i>digital radio relay system</i>)
DTMF	Multifrecuencia de doble tono (<i>Dual Tone Multi-Frequency</i>)
DU	Unidad de datos (<i>data unit</i>)
ETS	Norma europea de telecomunicación (<i>european telecommunication standard</i>)
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones (<i>federal communications commission</i>)
FD	Diversidad de frecuencia (<i>frequency diversity</i>)
FI	Frecuencia intermedia
HIC	Circuito integrado híbrido (<i>hybrid integrated circuit</i>)
IC	Circuito integrado (<i>integrated circuit</i>)
LAN	Red de área local (<i>local area network</i>)
LC	Circuito de línea (<i>line circuit</i>)
LEO	Órbita terrestre baja (<i>low earth orbit</i>)
LOEM	Módulo frontal de bucle abierto (<i>loop open end module</i>)
LSI	Integración en gran escala (<i>large scale integration</i>)
MAQ	Modulación de amplitud en cuadratura

MDP	Modulación por desplazamiento de fase
MDP-4	Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura
MDT	Multiplexión por división en el tiempo
MEO	Órbita terrestre media (<i>medium earth orbit</i>)
MIC	Modulación por impulsos codificados
MICDA	Modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa
MLCM	Modulación codificada multinivel (<i>multi-level coded modulation</i>)
MLSE	Estimación de secuencia de máxima probabilidad (<i>maximum likelihood sequence estimation</i>)
MSC	Centro de conmutación de los servicios móviles (<i>mobile switching centre</i>)
MTBF	Tiempo medio entre fallos (<i>mean time between failure</i>)
NMS	Sistema de gestión de la red (<i>network management system</i>)
OCH	Canal de servicio (de intercomunicaciones) (<i>orderwire channel</i>)
PCN	Red de comunicaciones personales (<i>personal communication network</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiocrónica (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
RDSI	Red digital de servicios integrados
RF	Radiofrecuencia
RFCOH	Tara complementaria de trama radioeléctrica (<i>radio frame complementary overhead</i>)
RLAN	Red radioeléctrica de área local (<i>radio local area network</i>)
RR	Reglamentación de Radiocomunicaciones
SCADA	Control de supervisión y adquisición de datos (<i>supervisory control and data acquisition</i>)
SD	Diversidad de espacio (<i>space diversity</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SOH	Tara de sección (<i>section overhead</i>)
SONET	Red óptica síncrona (<i>synchronous optical network</i>)
SRM	Equipo de bastidor de abonado (<i>subscriber rack mount</i>)
STM-1	Módulo de transmisión síncrono 1 (<i>synchronous transmission module 1</i>)
SU	Unidad de abonado (<i>subscriber unit</i>)
SV CH	Canal de supervisión (<i>supervisory channel</i>)
TCM	Modulación con código reticular (<i>trellis coded modulation</i>)
TCU	Unidad de controlador de MDT (<i>TDM controller unit</i>)
TELEX CH	Canal de Télex (<i>telex channel</i>)
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-R	Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones
V CH	Canal de voz (<i>voice channel</i>)
VSAT	Terminal de apertura muy pequeña
XPD	Discriminación por polarización cruzada (<i>cross polarisation discrimination</i>)
XPDo	Discriminación por polarización cruzada en condiciones normales (<i>cross polarisation discrimination in normal condition</i>)
XPIC	Supresor de interferencia por polarización cruzada (<i>cross polarisation interference canceller</i>)

2.3 Sistemas de comunicaciones móviles

2.3.1 Introducción

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles permiten a los usuarios desplazarse libremente en la zona cubierta por el servicio y comunicarse con cualquier abonado por teléfono, fax, módem de datos o correo electrónico en todo el mundo, determinar la posición, hacer un seguimiento de mercancías costosas, facilitar la gestión de la flota de vehículos y la distribución de mercancías, mejorar la seguridad del tráfico y establecer enlaces de comunicación vitales en casos de urgencia, en operaciones de búsqueda y salvamento, etc. Es posible establecer comunicaciones sin enlace físico (inalámbricas, sin cordón), intercambiar información, determinar una posición, un trayecto o la distancia recorrida, etc. gracias a una propiedad exclusiva de los sistemas radioeléctricos: la emisión y recepción de ondas electromagnéticas mediante una antena. Si el usuario utiliza un equipo de antena siempre en el mismo lugar (estacionario), se trata de *radiocomunicaciones fijas*. Si el transceptor de radiocomunicaciones puede desplazarse, pero debe permanecer estacionario cuando está funcionando, se trata de *radiocomunicaciones transportables*. Si el transceptor de radiocomunicaciones puede desplazarse y funcionar en movimiento, se trata de *radiocomunicaciones móviles*. Los distintos usuarios pueden establecer comunicaciones directamente o a través de uno o varios intermediarios: *repetidores pasivos de radiocomunicación, estaciones base o centros de conmutación*. Si todos los intermediarios se encuentran en la superficie de la Tierra, se utiliza el término *sistema de radiocomunicaciones terrenales*; si se emplea uno o varios satélites se considera que es un *sistema de radiocomunicaciones por satélite*. Según la situación del usuario, emplean los términos *sistemas de radiocomunicaciones terrestres, marítimas, aeronáuticas, espaciales o en el espacio lejano*. Todos los sistemas de radiocomunicaciones terrenales y por satélite comparten el mismo recurso natural: *las ondas propagadas por el aire (bandas de frecuencias y el espacio)*.

Los recientes desarrollos de **circuítos integrados monolíticos de microondas (MMIC, *microwave monolithic integrated circuit*)**, **circuítos integrados para aplicaciones específicas (ASIC, *application specific application circuit*)**, procesamiento de señales analógicas/digitales (A/DSP) y tecnología de baterías, así como la aplicación en la fabricación de procesos de **diseño asistido por ordenador (CAD)** y robótica, han hecho posible la aparición de transceptores de radiocomunicaciones miniaturizados. El flujo continuo del mercado (estimulado por las posibilidades de implantar un gran número de nuevos servicios y obtener con ello grandes beneficios), la dinámica de las normas nacionales e internacionales (que regulan el recurso natural de las ondas transmitidas por el aire) y los progresos de la tecnología (que permite crear productos viables), han concurrido para desarrollar una oferta muy completa de sistemas de comunicaciones (voz y datos), de información y de navegación. Esta oferta ha propiciado el crecimiento exponencial de los servicios de radiocomunicaciones móviles para viajeros.

La Reglamentación de Radiocomunicaciones de la UIT define los servicios de radiocomunicaciones fijos y móviles:

Servicio fijo: servicio de radiocomunicaciones entre puntos fijos determinados.

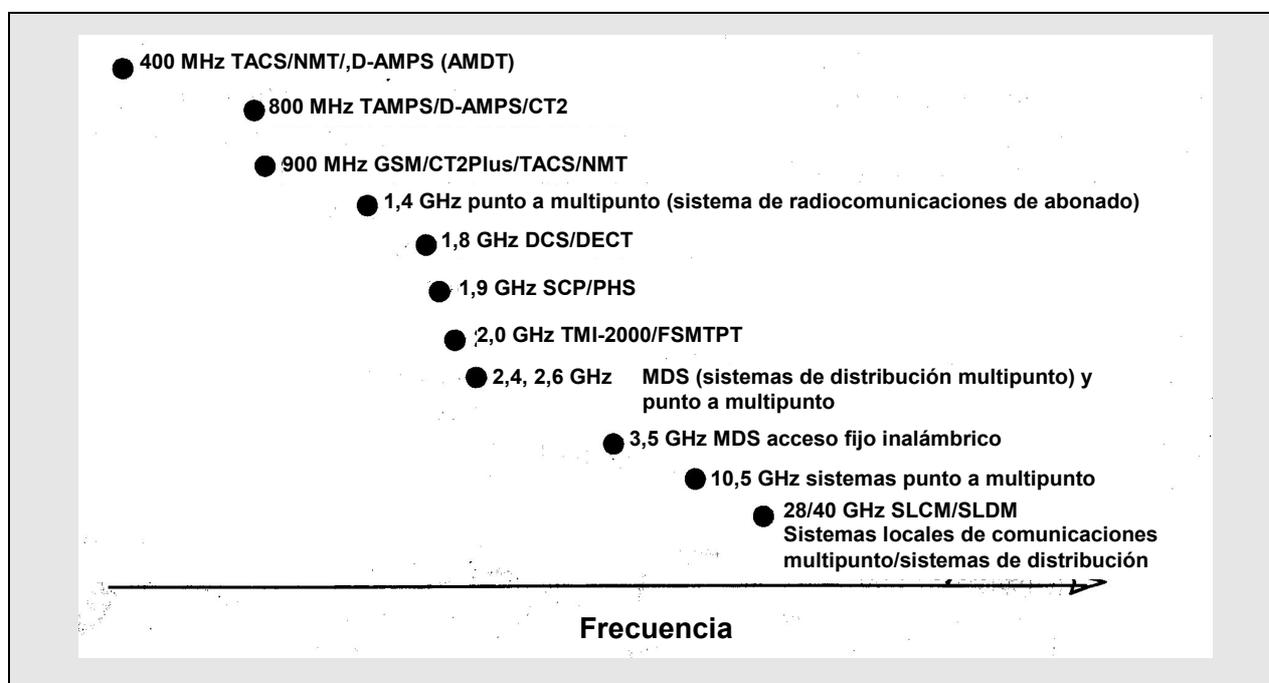
Servicio móvil: servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres o entre estaciones móviles.

Estas definiciones del servicio de radiocomunicaciones determinan la atribución del espectro a escala internacional por la UIT y en el territorio nacional por cada país. Casi siempre la UIT atribuye conjuntamente varias bandas de frecuencia a los servicios fijos y móviles. Algunos países han elegido uno de los dos servicios.

2.3.2 El espectro

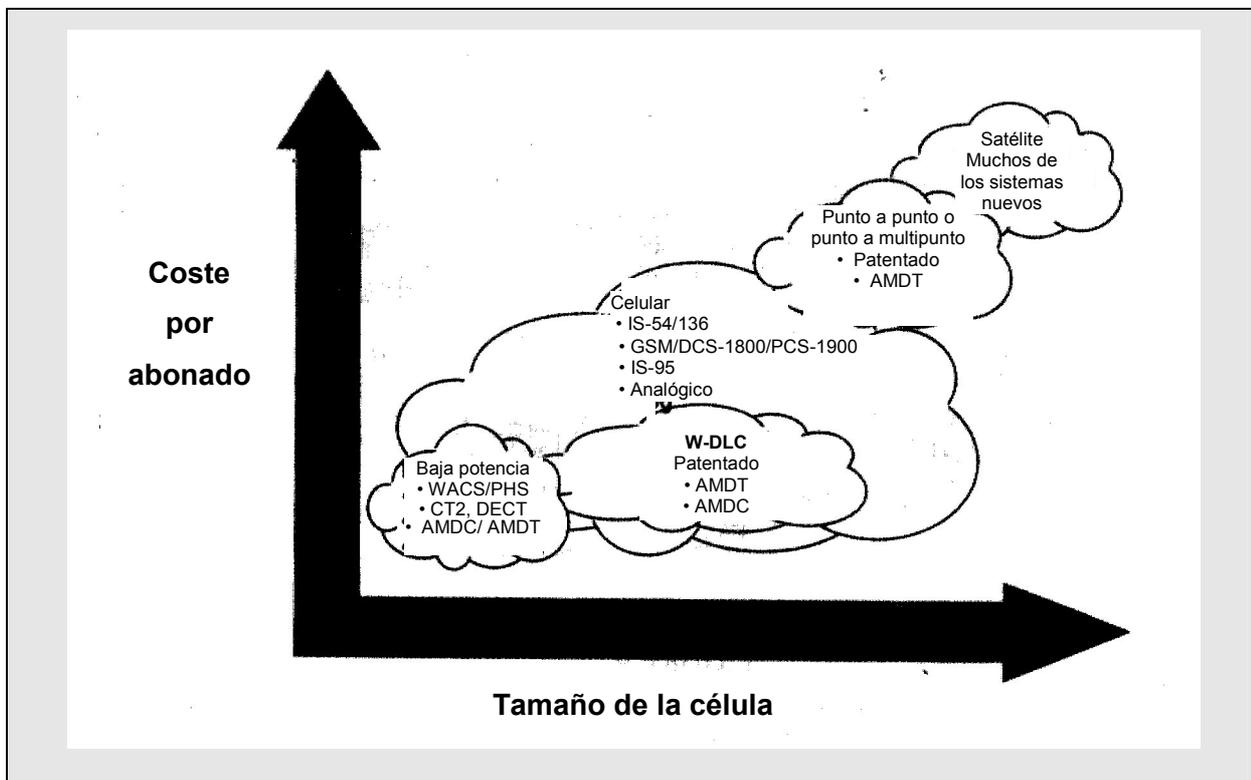
La densidad telefónica a lo largo del tiempo y la utilización media por abonado (Erlangs por abonado) son dos parámetros básicos para el diseño de una red inalámbrica. Estas variables determinan la densidad de tráfico (Erlangs por kilómetro cuadrado) que debe soportar el sistema. La capacidad de tráfico de un sistema de radiocomunicaciones depende de la disponibilidad del espectro, de la canalización de la tecnología concreta de acceso radioeléctrico, de la posibilidad de reutilización de las frecuencias y del tamaño de las células. Los sistemas de acceso inalámbrico, desde el punto de vista de la planificación de una red de RF, se instalan de forma similar a los sistemas celulares aun cuando los requisitos de densidad telefónica pueden ser diferentes. Es necesario considerar las necesidades y la disponibilidad del espectro radioeléctrico. En la Figura 2.3.1 aparecen las bandas del espectro utilizadas por sistemas fijos de acceso inalámbricos en algunos países. La normativa nacional determina la disponibilidad de espectro para estas aplicaciones. Por ejemplo, además de las bandas de 1,4 GHz y 2,4/2,6 GHz, la CEPT y el ETSI han adoptado la banda de 3,5 GHz y la banda de 10,5 GHz para Europa. También se ha considerado la utilización de la banda 3,4-3,7 GHz en la Región 2 para aplicaciones de acceso inalámbrico en algunos países. Las aplicaciones representadas en la Figura 2.3.1 para distintas bandas de frecuencia pueden ser conocidas con diferentes denominaciones relativas al uso tradicional de estas bandas. Ahora bien, todas tienen en común el acceso inalámbrico que puede presentarse de varias formas según las capacidades de transferencia de la señal ofrecidas (voz, datos, imagen, vídeo), según el paquete de servicios (fijo únicamente, fijo y móvil, nómada) y según el alcance (utilización de repetidores).

Figura 2.3.1 – Ejemplos de bandas del espectro radioeléctrico para el acceso inalámbrico



Como puede verse en la Figura 2.3.2, la tecnología más apropiada está determinada por los argumentos de coste y capacidad.

Figura 2.3.2 – Selección de una tecnología según las condiciones de funcionamiento



2.3.3 Sistemas terrenales

En las redes terrenales de radiocomunicaciones móviles, la estación repetidora se instala normalmente en el punto más alto del entorno para lograr la máxima cobertura. A medida que aumenta el número de usuarios el espectro de frecuencias disponible pasa a ser insuficiente para absorber el incremento de tráfico y es necesario reutilizar las frecuencias. Al dividir la zona de servicio en muchas subzonas más pequeñas, llamadas células, apareció el concepto de «radiocomunicaciones celulares». La reutilización de frecuencias aumenta la capacidad del sistema y las células más pequeñas mejoran la calidad del servicio, pero el terminal de usuario y la infraestructura de la red son más complejos. La forma y el tamaño de una red celular dependen de un análisis sobre disponibilidad de locales (estaciones base) y costes, precio de los equipos (de base y móviles), complejidad de la red y dinámica de instalación.

2.3.3.1 Tecnologías celulares analógicas

La modulación celular analógica está basada en el principio de modulación de frecuencia (FM). La portadora es modulada por la señal vocal transmitida haciéndola variar en amplitud o en frecuencia. La mayoría de los sistemas celulares analógicos funcionan con modulación de frecuencia (FM) en transmisión de voz con modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF) en transmisión de datos. Habitualmente, el canal de tráfico de los sistemas celulares analógicos se modula en una sola radiofrecuencia de radiocomunicación.

El cuadro 2.3.1 presenta algunos sistemas celulares analógicos de radiocomunicaciones: actualmente en funcionamiento: el sistema norteamericano AMPS, los sistemas terrestres japoneses MCS-L1 y MCS-L2, el sistema escandinavo NMT-900, el sistema alemán C450 y el sistema británico TACS.

Cuadro 2.3.1 – Comparación de sistemas de radiocomunicaciones

PARÁMETRO	AMPS	MCS-L1 MCS-L2	NMT	C450	TACS
Frec. del transmisor (MHz)					
Base	869-894	870-885	935-960	461-466	935-960
Móvil	824-849	925-940	890-915	451-456	890-915
Acceso múltiple	AMDF	AMDF	AMDF	AMDF	AMDF
Método Dúplex	DDF	DDF	DDF	DDF	DDF
Anchura de banda del canal (kHz)	30,0	25,0 12,5	12,5	20,0 10,0	25,0
Canales de tráfico por canal de RF	1	1	1	1	1
Número total de canales de tráfico	832	600 1 200	1 999	222 444	1 000
Voz	Analógico	Analógico	Analógico	Analógico	Analógico
Comp-Exp silábica.	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1
Veloc. voz kbit/s	-	-	-	-	-
Modulación	de fase	De fase	de fase	de fase	de fase
Desv. máx. kHz	±12	±5	±5	±4	±9,5
Veloc. canal kbit/s	-	-	-	-	-
Control	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital
Modulación	MDF	MDF	MDF	MDF	MDF
Forma de onda en banda base	Manch.	Manch.	Manch.	Manch.	Manch.
Desv. máx. kHz	±8	±4,5	±3,5	±2,5	±6,4
Veloc. canal kbit/s	10,0	0,3	1,2	5,3	8,0
Código canal	BCH	BCH	B 1	BCH	BCH
Base-Móvil	(40,28)	(43,31)	Ráfaga	(15,7)	(40,28)
Móvil-Base	(48,36)	a.(43,31) p.(11,07)	Ráfaga	(15,7)	(48,36)

- **Servicio de telefonía móvil avanzada (AMPS)**

La interfaz aérea del sistema AMPS ha sido especificada por el «American National Standards Institute», la «Electronic Industries Association» (EIA), y la «Telecommunications Industry Association» (TIA). La versión actual es EIA/TIA-553.

- **Sistema nórdico de telefonía móvil (NMT)**

Los sistemas nórdicos normalizados (NMT) funcionan en la banda de 400-470 MHz. El sistema NMT fue desarrollado a finales de los años 70 y entró en servicio antes que los sistemas celulares, con los que comparte muchas características de funcionamiento. Ha sido adoptado por Islandia, Suecia, Finlandia, Suiza y Holanda. Dinamarca utiliza una versión modificada.

- **Sistema de comunicaciones de acceso total (TACS)**

El sistema de comunicaciones de acceso total (TACS) con un espectro de frecuencia de 15 MHz es utilizado en Europa, en algunos países de Asia, en Oriente Medio y en África.

Separación entre canales	25 kHz
Separación dúplex	45 MHz
<i>Gama de frecuencias para los canales:</i>	
Base receptora/móvil transmisor	890,0125-904,9875 MHz
Base transmisora/móvil receptor	935,0125-949,9875 MHz
Número total de canales de voz	558
Canales de señalización	42

- **Sistema de comunicaciones de acceso total extendido (E-TACS)**

El sistema E-TACS completa el anterior sistema TACS con 16 MHz adicionales de espectro y se considera una extensión de este último. Tiene el mismo número de canales de señalización, pero se añaden 640 canales de voz (-320 para la banda A y 320 para la banda B) y hay una separación de 45 MHz entre las frecuencias de transmisión y recepción.

Separación entre canales	25 kHz
Separación dúplex	45 MHz
<i>Gama de frecuencias para los canales:</i>	
Base receptora/móvil transmisor	872,0125-887,9875 MHz
Base transmisora/móvil receptor	917,0125-932,4975 MHz
Número total de nuevos canales de voz	640
Número total de canales de voz (TACS y E-TACS combinados)	1 198

- **Sistema de comunicaciones de acceso total japonés (J-TACS) y Sistema de comunicación de acceso total de banda estrecha (N-TACS)**

El sistema de comunicaciones de acceso total japonés (J-TACS) y el sistema de comunicaciones de acceso total de banda estrecha (N-TACS) funcionan con espectros de una sola banda de frecuencias y son utilizados actualmente en Japón. La banda ocupa 10 MHz del espectro, lo que permite un total de 800 canales. Los canales de estos sistemas no están separados en distintas bandas (A o B). La especificación original (J-TACS) sólo utiliza los canales de números pares. Los canales impares se empezaron a utilizar cuando se especificó el nuevo sistema de banda estrecha (N-TACS).

Separación entre canales	25 kHz
Separación dúplex	545 MHz
<i>Gama de frecuencias para los canales de voz y señalización:</i>	
Base receptora/móvil transmisor	915,025-924,475 MHz
Base transmisora/móvil receptor	860,025-869,975 MHz
Canales de voz (N-TACS)	752 J-TACS 376
Canales de señalización (N-TACS)	48 J-TACS 24

Las células J-TACS/N-TACS reciben en las frecuencias más altas del espectro atribuido, y transmiten en las frecuencias inferiores. Por el contrario, las células AMPS y TACS transmiten en las frecuencias más altas y reciben en las frecuencias inferiores. Por eso, los equipos de abonado J-TACS/N-TACS no pueden ser utilizados en los sistemas AMPS y TACS y viceversa.

- **Sistema de comunicaciones de acceso total universal (U-TACS)**

El sistema de comunicaciones de acceso total universal (U-TACS) es utilizado en Europa, en algunos países de Asia, en Oriente Medio, en China y en Africa. El U-TACS tiene un espectro de frecuencias de 15 MHz, con separación entre canales de 25 kHz, para un total de 920 canales. El espectro de frecuencia y la asignación de canales del U-TACS son los mismos del sistema combinado TACS/E-TACS, excepto los 8 MHz inferiores del espectro. El U-TACS tiene 320 canales menos, debido a esta reducción de espectro de 8 MHz.

2.3.3.2 Sistemas de segunda generación

Todos los sistemas de comunicaciones móviles «de segunda generación» creados en los 80 son digitales. Para llamadas telefónicas, la señal vocal codificada digitalmente se transmite a través de la interfaz radioeléctrica utilizando uno de los muchos esquemas de modulación digital disponibles. Si bien estos sistemas digitales son complejos, tienen dos ventajas importantes:

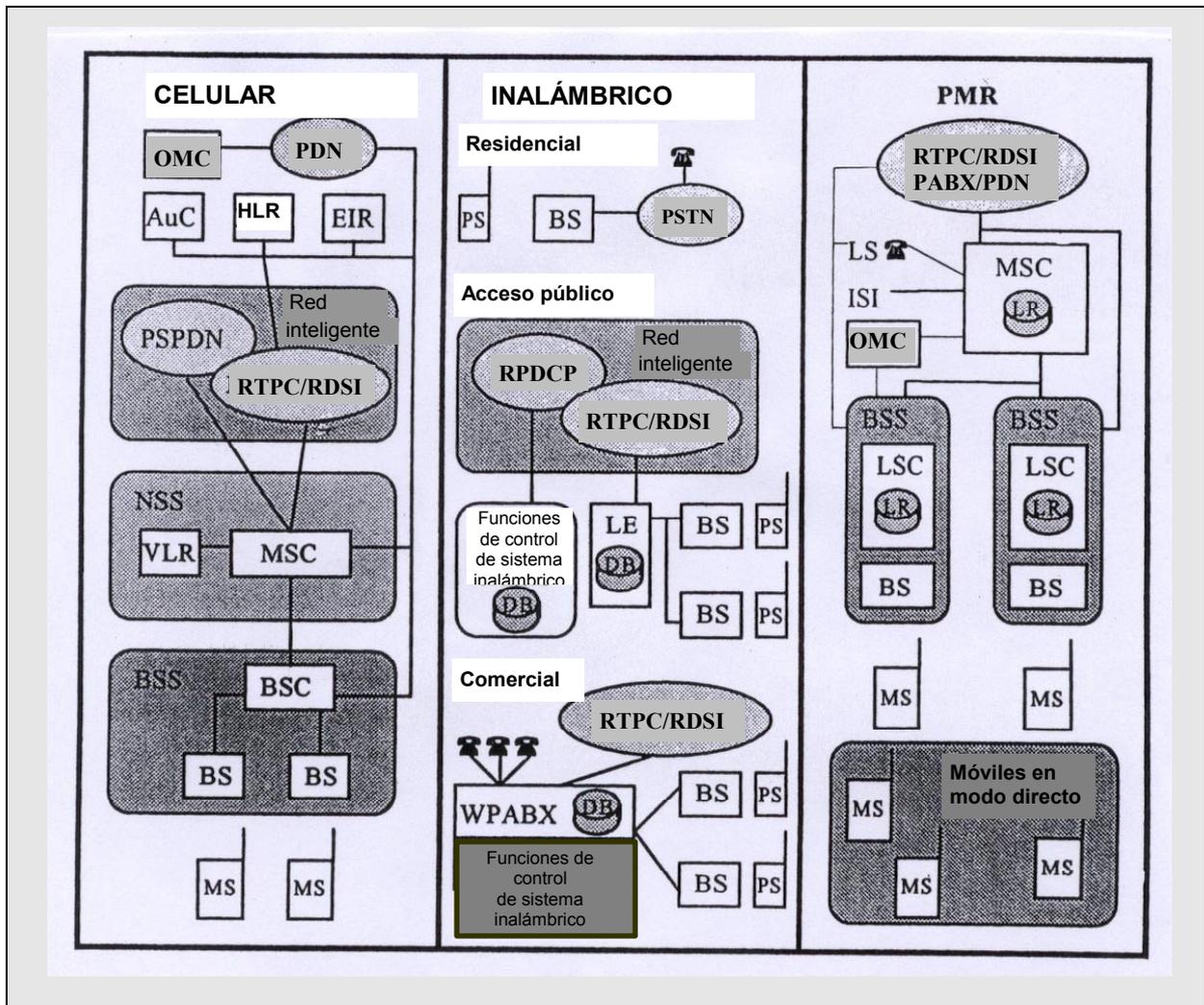
- 1) la posibilidad de adoptar esquemas de transmisión radioeléctrica (acceso múltiple por división en el tiempo –AMDT- o acceso múltiple por división de código –AMDC-) que utilizan el espectro de forma más eficaz que los esquemas analógicos de acceso múltiple por división de frecuencia (AMDF) utilizados anteriormente; y
- 2) la posibilidad de ofrecer muchos servicios (integrados) de voz y datos, así como funciones de seguridad (por ejemplo, cifrado).

La Figura 2.3.3 representa arquitecturas típicas de sistemas celulares, sistemas inalámbricos y sistemas privados de radiocomunicaciones móviles (PMR). Se trata de modelos de referencia que no siempre se aplican totalmente a todos los sistemas descritos a continuación.

El subsistema de estación base (BSS) de los sistemas celulares consiste en un controlador de estación base (BSC) y transceptores de radiocomunicaciones (BS o BTS) que proporcionan comunicaciones radioeléctricas con las estaciones móviles (MS) en la zona cubierta. El subsistema de red (NSS) incluye equipos de conmutación móviles (MSC) exclusivos, que conectan todos los elementos del sistema mediante líneas arrendadas, a la red telefónica pública conmutada (RTPC), la red digital de servicios integrados (RDSI) y la red pública de datos por conmutación de paquetes (RPDCP). Los registros de posición de base y de visitante (HLR/VLR) son bases de datos que contienen la información sobre abonados móviles y se emplean para registrar los abonados y para la gestión de la movilidad. El centro de autenticación (AuC) contiene copias de las claves secretas de los usuarios y los números de serie de los equipos móviles se almacenan en el registro de identidad de equipos (EIR). El Sistema de Señalización N.º 7 (SS7) del UIT-T y los protocolos de aplicación correspondientes son muy utilizados en la red móvil. El centro de explotación y mantenimiento reúne todas las funciones de explotación, control y mantenimiento de todos los elementos del sistema.

La arquitectura de la red inalámbrica está determinada por la aplicación. Para uso residencial, la estación transportable (PS) funciona como un teléfono ordinario y tiene acceso directo a la RTPC a través de la estación base privada. En sistemas de acceso público, las estaciones base están conectadas a una central local (LE) que contiene una base de datos local (DB) para el registro de abonados y la gestión de la movilidad en la zona cubierta. Las centrales locales están conectadas a las redes RTPC/RDSI (para encaminamiento del tráfico) y a elementos centralizados del sistema inalámbrico, a través de la RPDCP (intercambio de señalización). Estos elementos centralizados ejecutan funciones de control (identificación de usuario, tarificación, gestión de red) y pueden incorporar una base de datos centralizada donde se registran las nuevas posiciones de los abonados del sistema inalámbrico para encaminar llamadas entrantes. En aplicaciones comerciales, la misma centralita privada automática (PABX) puede utilizarse para acceso por cable o inalámbrico. La centralita inalámbrica (WPABX) interconecta las estaciones base de la red privada. Los abonados del sistema inalámbrico pueden hacer llamadas a otros abonados de sistemas de cable privados y de las redes RTPC/RDSI. La centralita WPABX suele incluir la estación base de abonado y las funciones de control del sistema inalámbrico.

Figura 2.3.3 – Modelos de referencia de redes



Las redes privadas de radiocomunicaciones móviles (PMR) y las redes celulares tienen arquitecturas similares, pero el subsistema de estación base (BSS) consta generalmente de un solo equipo que incluye la estación base (BS) y el controlador de estación local (LSC). Como el LSC contiene una copia del registro de posición de abonados (LR), es posible establecer llamadas locales (que representan una parte importante del tráfico) y encaminarlas localmente en el BSS. El tiempo de establecimiento de la llamada es corto y se garantiza el funcionamiento local, incluso en modo de reserva, en caso de interrupción del enlace BSS-MSC. Las llamadas entre estaciones son encaminadas por el MSC y hay acceso a otras redes (RTPC/RDSI/PDN) y a otros equipos (PABX) a nivel del MSC o del BSS. Las estaciones de línea (LS) pueden ser conectadas al BSS o al MSC directamente o a través de una red intermedia (por ejemplo, RDSI). Los equipos de interfaz entre sistemas (ISSI) permiten el funcionamiento combinado de distintas redes PMR conformes con las mismas normas. Los aparatos móviles también pueden ser utilizados en comunicaciones simplex directas (modo directo), de forma autónoma o manteniendo contacto con la red (doble control).

El cuadro 2.3.2 presenta los principales sistemas de segunda generación.

Cuadro 2.3.2 – Características de la interfaz aérea de los sistemas de la segunda generación

Norma	Celular				Inalámbrico			PMR	
	GSM1800 (DCS)	IS-54	IS-95	PDC	CT2	DECT	PHPS	TETRA	APCO Proyecto 2 5
Banda de frecuencias (MHz)	Europa	EE.UU.	EE.UU.	Japón	Europa y Asia	Europa	Japón	Europa	EE.UU.
Ascendente	890-915 (1 710-1 785)	824-849	824-849	940-956 (1 429-1 441, 1 453-1 465)	864-868	1880-1900	1 895-1 907	380-400?	Varias bandas, por ejemplo, 150-170 ~800
Descendente	935-960 (1 805-1 880)	869-894	869-894	810-826 (1 477-1 489, 1 501-1 513)					
Separación dúplex (MHz)	45 (95)	45	45	130 (48)	–	–	–	10?	?
Separación de portadoras (kHz)	200	30	1250	25	100	1728	300	25	12,5 (6,25)
Número de canales radioeléctricos en la banda de frecuencias	124 (DCS: 374)	832	20	640	40	10	77	?	Varios cientos de pares de canales
Acceso múltiple	AMDT	AMDT	AMDC	AMDT	AMDF	AMDT	AMDT	AMDT	AMDF
Modo dúplex	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	TDD	FDD	FDD
Número de canales por portadora	(Velocidad mitad 16)	(Velocidad mitad 6)	MABC	(Velocidad mitad 6)	1	12	4	4	1
Modulación	MDMG	Π/4 MDP-4dif.	MDP-4 MDP-2	Π/4 MDP-4dif.	MDFG	MDFG	Π/4 MDP-4dif.	Π/4 MDP-4dif.	C4FM o MDP-4c
Velocidad binaria de portadora (kbit/s)	270,8	48,6	1 288	42	72	1 152	384	36	9,6
Codificador de voz – Velocidad binaria neta (kbit/s)	RPE-LTP 13	VSELP 7,95	QCELP (velocidad variable: 8, 4, 2, 1)	VSELP 6,7	MICDA 32	MICDA 32	MICDA 32	ACELP 4,5	IMBE 4,4
Codificador de canal para transmisión de voz	Convol. índice 1/2 + CRC	Convol. índice 1/2 + CRC	Convol. índice 1/2 (desc.) y 1/3 (asc.) + CRC	Convol. índice 1/2 + CRC	No	No	No	Convol. índices 2/3 y 4/9 + CRC	Códigos de Golay y Hamming
Velocidad binaria bruta + Codificación de voz y canal (kbit/s)	22,8	13	Velocidad variable 19,2, 9,6, 4,8, 2,4	11,2	–	–	–	7,2	7,2
Tamaño de trama (ms)	4,6	40	20	20	2	10	5	57	20
Potencia de transmisión de MS (W)	Valor máx. medio	Valor máx. medio		Valor máx. medio	Valor máx. medio	Valor máx. medio	Valor máx. medio	Valor máx. medio	?
	20 2,5	9 3	0,6 2	0,66 0,01	0,005 0,25	0,01 0,08	0,01 10	10 2,5	
	8 1	4,8 1,6						3 0,7	
	5 0,62 5	1,8 1,6						1 2,5	
	2 0,25								
	DCS1800								
	8 0,12 5								
	0,25 0,03 1								
MS control de potencia	Sí	Si	Sí	Sí	Modo baja potencia en MS	No	Si	Sí	No
Control BS	Sí	Si	Sí	Sí		No	Si	No	No
C/I operacional (dB)	9	16	6	17	20	12	26	19	?
Ecuilizador	Necesario	Necesario	Receptor Rake	Opción	No	Opción	No	Opción	No
Traspaso	Sí	Si	Transf. flexible	Sí	No	Sí	Si	Opción	Opción

2.3.3.2.1 Redes móviles celulares digitales

2.3.3.2.1.1 Sistema mundial de comunicaciones móviles/Sistema celular digital 1800 (GSM/DCS 1800)

La norma GSM fue establecida por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI) para los servicios móviles de radiocomunicaciones celulares digitales en toda Europa. Se han utilizado para las comunicaciones móviles distintos sistemas celulares analógicos incompatibles, como el Sistema Nórdico de Telefonía Móvil (NMT) y los Sistemas de Comunicaciones de Acceso Total (TACS), y hacía falta una norma común. Otras medidas que han contribuido a la creación de una red europea común son la atribución de una banda de frecuencia paneuropea exclusiva, en torno a 900 MHz y el Memorandum de Entendimiento (MoU, *memorandum of understanding*) suscrito entre los países para crear redes GSM nacionales compatibles.

La primera etapa de la norma GSM, que fue definida por el ETSI en 1990 y constituye la base de las redes actuales, permite distintos servicios de voz y datos que se ofrecen progresivamente a los usuarios: telefonía, llamadas de urgencia, llamadas conferencia, transmisión de fax, mensajes cortos y transmisión de datos con velocidades de hasta 9 600 bit/s. Se han definido también otros servicios suplementarios, tales como el de reenvío de llamadas, prohibición de llamadas e identificación de la línea conectada.

La arquitectura de red GSM se ajusta a los principios generales descritos en el punto anterior. Se han normalizado todas las interfaces entre elementos de la red, incluidas las interfaces MSC-BSC (A) y BSC-BTS (Abis). Las interfaces con las redes AuC/HLR/EIR y RTPC/RDSI utilizan el Sistema de Señalización N° 7 con el protocolo de la parte de aplicación móvil (MAP) para la señalización no relacionada con los circuitos. Esta arquitectura facilita la evolución, porque los distintos equipos y las diversas partes funcionales (por ejemplo, la gestión de recursos de radiocomunicaciones en la BSC) están claramente diferenciados.

El módulo de identidad de abonado (SIM, *subscriber identity module*) es determinante para la movilidad; el usuario puede emplear cualquier equipo terminal GSM sirviéndose simplemente de su propia tarjeta SIM. Esta tarjeta inteligente contiene todos los datos del abonado y también realiza funciones de seguridad básicas, como la autenticación de identidad del abonado y la generación de la clave para cifrar el tráfico en la interfaz aérea. Estas funciones evitan el uso fraudulento del sistema y garantizan la confidencialidad.

La interfaz aérea del sistema GSM está organizada según un esquema AMDT de ocho niveles con dúplex por división de frecuencias (DDF). La banda de frecuencia disponible en Europa es 2×25 MHz, con una separación de los canales de radiocomunicaciones de 200 kHz. Los datos son modulados a 270 kbit/s por el sistema de modulación con desplazamiento mínimo gaussiano (MDMG) y se transmiten en ráfagas de 577 μ s. Cada trama AMDT consiste en ocho intervalos de tiempo que corresponden a ocho canales físicos separados. Cada uno de estos canales físicos soporta una combinación de canales lógicos, utilizados a su vez para transportar tráfico de señalización o de datos. Un sistema de saltos graduales de frecuencia compensa unas condiciones de propagación adversas y en la mayoría de las infraestructuras se utiliza diversidad de antenas receptoras en la estación transceptora base (BTS, *base transceiver station*). Con técnicas eficaces de codificación de canales, entrelazado y ecualización, se ha logrado un valor operacional relativamente bajo (9 dB) para la relación portadora/interferencia (C/I). La transmisión de voz se basa en un codificador de predicción lineal denominado sistema de predicción a largo plazo con excitación a intervalos regulares (RPE-LTP, *regular pulse excited-long term prediction*), que permite una velocidad binaria neta de 13 kbit/s y una velocidad binaria bruta de 22,8 kbit/s en canales codificados. El protocolo de la interfaz aérea tiene una estructura de capas tradicional y ofrece funciones avanzadas

específicas de los servicios de radiocomunicación móviles, tales como traspaso móvil asistido (MAHO, *mobile assisted handover*), control de potencia (enlaces ascendente y descendente) y transmisión discontinua (DTX) por detección de actividad de voz (VAD, *voice activity detection*).

El ETSI continúa el proceso de normalización del sistema GSM. En la segunda etapa se ofrecerán nuevos servicios y nuevas funciones (llamada mutipartita, codificador de media velocidad y servicio general de paquetes de datos). También se inició recientemente el proceso de normalización de un sistema GSM especialmente adaptado al ferrocarril, con funciones específicas como las llamadas a grupos de abonados o la compatibilidad con servicios móviles de alta velocidad.

La norma del sistema celular digital 1800 (DCS 1800) diseñada para redes de comunicaciones personales (PCN) es una extensión importante del sistema GSM. Ya se han concedido varias licencias en Europa para esta norma especialmente adaptada al entorno urbano y suburbano. Las principales diferencias con el GSM son la banda de frecuencia (alrededor de 1 800 MHz), la posibilidad de itinerancia nacional y una potencia de transmisión inferior (por tanto, las células también son más pequeñas). Es una de las normas consideradas para los Servicios de Comunicación Personales (PCS *Personal Communication Services*) de Estados Unidos en la banda de 1 900 MHz.

La norma GSM/DCS1800, prevista inicialmente para el mercado europeo, hoy es reconocida y utilizada en todo el mundo. Más de 65 países han adoptado la norma GSM y hay seguramente más de 40 redes GSM/DCS1800 en servicio en todo el mundo. Estas cifras, además, siguen aumentando (véase el Fascículo 2 – Capítulo 3 para mayor información).

2.3.3.2.1.2 Norma provisional (IS-54)

La creciente demanda de servicios celulares en los 80 fue el principal motivo para definir la norma digital de segunda generación en América del Norte. La capacidad de las redes analógicas de sistema telefónico móvil avanzado (AMPS) habría sido insuficiente. La nueva norma digital fue definida por la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones (TIA, *Telecommunications Industry Association*) a iniciativa de la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones Celulares (CTIA, *Cellular Telecommunications Industry Association*), para aumentar la capacidad del sistema de forma significativa, garantizando la compatibilidad ascendente con el popular sistema AMPS. Sin embargo, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) decidió abrir la banda celular existente (2×25 MHz en la gama de 800 MHz) a todas las tecnologías apropiadas.

La norma IS-54 fue seleccionada entre las distintas propuestas y fue publicada en enero de 1991. Contiene especificaciones para estaciones móviles y estaciones base de sistema dual (AMPS/IS-54), lo que permite crear equipos para funcionamiento digital o analógico. Se han definido otras normas conexas, la IS-55 y la IS-56, para definir las especificaciones del comportamiento y los métodos de medición de estaciones móviles y estaciones base, respectivamente. En lo que concierne a la red, desde 1988, la TIA ha definido distintas normas que son independientes del diseño de la interfaz aérea y, por tanto, pueden aplicarse al sistema analógico AMPS, a la norma IS-54 y a otros sistemas.

La norma IS-54 está menos orientada a los servicios RDSI que la norma GSM, pero soporta el servicio telefónico, el servicio de mensajes cortos y los servicios de datos con una velocidad de transmisión máxima de 9,6 kbit/s. Ofrece otros servicios suplementarios (reenvío de llamadas, llamada tripartita y prohibición de llamada). Las funciones de seguridad son el número de identificación personal (PIN), la autenticación del abonado al conectarse al sistema y el cifrado de voz y de datos del abonado.

La interfaz aérea IS-54 utiliza la tecnología AMDT/DDF con tres canales por portadora AMPS de 30 kHz. La velocidad binaria de modulación es de 48,6 kbit/s. Se utiliza el principio de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura diferencial (MDP-4d) $\pi/4$. La velocidad binaria bruta (velocidad

plena) de cada canal es de 13 kbit/s y la voz se codifica a 7,95 kbit/s mediante un algoritmo de predicción lineal activado por suma vectorial (VSELP, *vector sum excited linear prediction*).

Los sistemas perfeccionados de control de los enlaces de radiocomunicaciones (control de potencia y DTX) mejoran la eficacia en la utilización del espectro. El protocolo de la interfaz aérea, compatible con el protocolo AMPS, incluye un modo más completo opcional con otras funciones y otras posibilidades.

Según las previsiones, la capacidad de tráfico de la norma IS-54 es tres o cuatro veces superior a la capacidad de los sistemas AMPS actuales. Un códec de media velocidad (en proceso de normalización) permitirá duplicar esta capacidad. Utilizando la banda de frecuencias original del sistema AMPS, los canales digitales de la norma IS-54 están reemplazando progresivamente a los canales analógicos con lo que se compensa la insuficiencia de espectro se logra una transición de analógico a digital sin discontinuidades. Varios fabricantes producen equipos de red y terminales y ya se ofrece el servicio comercial en las principales ciudades de Estados Unidos.

Hughes ha desarrollado la nueva tecnología E-TDMA basada en la norma IS-54 y ya existen redes operativas en Estados Unidos. También fue adoptada recientemente para varias redes regionales en Rusia y China. Se anuncian capacidades notablemente superiores, gracias a la explotación de funciones avanzadas tales como codificación de media velocidad, interpolación de voz digital (DSI) y agrupación de canales.

2.3.3.2.1.3 Norma provisional IS-95

Introducción

El sistema de acceso múltiple por división de código (AMDC) constituye una solución digital que explota eficazmente el espectro para la telefonía inalámbrica celular de la segunda generación y los servicios de sistemas de comunicación personales (PCS). La interfaz aérea del sistema AMDC utiliza de forma casi óptima la potencia de transmisión de la estación de abonado, lo que permite generalizar la utilización comercial de unidades portátiles ligeras, económicas y con mayor duración de las baterías. Esta tecnología también se distingue por sus ventajas en el número de enlaces necesarios, pudiendo ofrecer una excelente cobertura con un mínimo de estaciones base. La capacidad del sistema tendrá que aumentar a medida que crezca la base de clientes en una determinada zona de servicio. Está demostrado que el sistema AMDC puede aumentar su capacidad como mínimo diez veces más que el servicio de telefonía móvil avanzada (AMPS), y esto significa que el número de estaciones base necesarias puede ser diez veces inferior cuando se desarrolle la demanda de servicios. Un sistema de transferencia flexible de la comunicación elimina prácticamente los problemas de interrupción de llamada, desvanecimiento y mala calidad de la señal vocal.

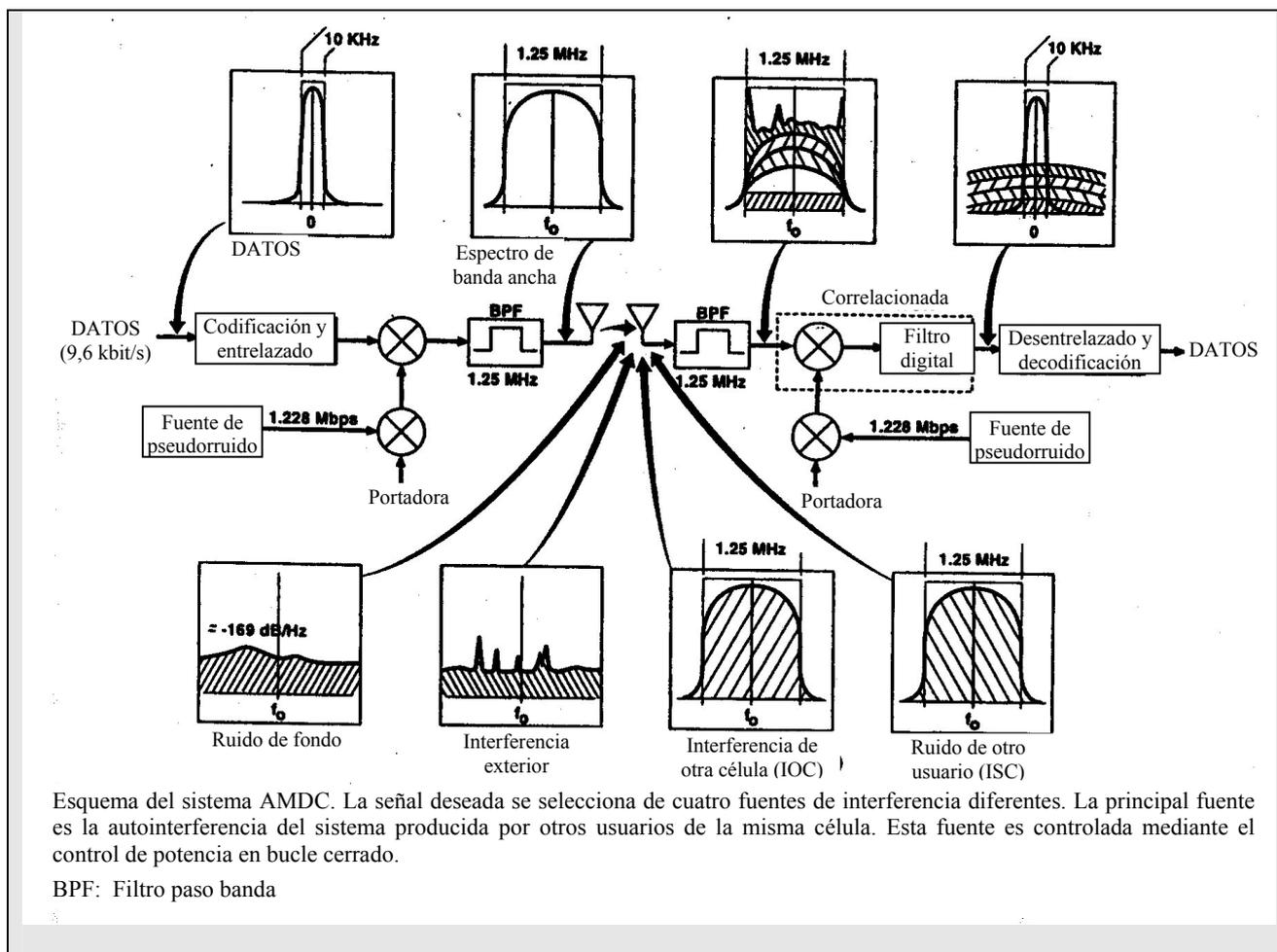
En este contexto, el sistema AMDC no sólo se trata de norma genérica de acceso múltiple por división de código; sino que incluye igualmente las características de puesta en servicio descritas en la norma de interfaz aérea: *TIA/EIA/IS-95-A: Norma de compatibilidad de estación móvil – Estación base para los sistemas celulares de espectro ensanchado, de banda ancha, de modo dual*. La aplicación de esta norma garantiza a los abonados y a los proveedores del servicio que los equipos de todo tipo podrán funcionar correctamente unos con otros.

La norma IS-95-A se inició con el sistema creado por QUALCOMM en abril de 1989. Las primeras condiciones fueron definidas por operadores de sistemas celulares, con información de los fabricantes y los mismos operadores, y las pruebas en servicio. Tras la propuesta y presentación inicial de un proyecto de interfaz aérea, un comité de normalización formado por operadores del sistema y por proveedores de equipos de abonado, de infraestructura y de ensayos examinó, revisó y formalizó dicha interfaz. En diciembre de 1993 fue adoptada formalmente la actual norma IS-95-A.

El sistema AMDC

El esquema de acceso múltiple presenta las siguientes características: aislamiento proporcionado por el sistema de antena, separación geométrica, activación de potencia de las transmisiones por presencia de voz, control de potencia, un módem eficaz y un tipo de señal con codificación de corrección de errores muy poderosa.

Figura 2.3.4 – Descripción del concepto AMDC



Mediante las mediciones de potencia recibida en la estación móvil y en la estación base, un control de potencia combinado en bucle abierto y bucle cerrado hace correcciones en la estación móvil para introducir ajustes de potencia con objeto de mantener sólo el nivel de potencia que exigen las prestaciones. Esta solución limita la interferencia causada a otros usuarios, ayuda a superar el problema del desvanecimiento y preserva la capacidad de las baterías de la estación móvil.

La forma de onda del sistema celular digital AMDC utiliza una portadora de espectro ensanchado de ruido pseudoaleatorio (PN). La frecuencia de segmentos seleccionada para la secuencia de dispersión del PN permite obtener una anchura de banda de aproximadamente 1,25 MHz después de filtrar, lo que supone aproximadamente una décima parte de la anchura de banda total asignada a una portadora del servicio celular.

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de Estados Unidos ha atribuido a los servicios celulares un total 25 MHz para el flujo de la estación móvil a la base de célula, y otros 25 MHz para el flujo de la base de célula a la estación móvil. La FCC ha repartido uniformemente esta atribución entre dos proveedores del servicio (operadores A y B) en cada zona de servicio. La FCC ha atribuido el espectro celular de tal forma que los 12,5 MHz asignados a cada operador en cada sentido del enlace están subdivididos en dos subbandas. El operador B tiene una subbanda de 10 MHz y otra de 2,5 MHz. El operador A tiene una subbanda de 11 MHz y otra de 1,5 MHz. Una señal de anchura de banda inferior a 1,5 MHz pasa por cualquiera de las subbandas, pero una anchura de banda inferior a 2,5 MHz no puede pasar por una de las subbandas.

Cada operador dispone de diez canales AMDC de 1,25 MHz de anchura de banda si todo el espectro atribuido es utilizado para el sistema AMDC. Para ofrecer un servicio digital sólo será necesario inicialmente tomar un canal, o unos pocos canales, del actual servicio analógico PM. Esto facilita la instalación, reduciendo gradualmente la capacidad analógica. Cada segmento AMDC de 1,25 MHz puede ofrecer aproximadamente el doble de capacidad del total de 12,5 MHz atribuido actualmente al sistema FM. La banda de guarda será necesaria cuando se estén utilizando señales de frecuencias celulares, de otro tipo, de alta potencia adyacentes y se necesite la máxima capacidad de la célula AMDC. Puede reducirse la banda de guarda sacrificando una parte de capacidad. La banda de guarda no es necesaria para canales AMDC adyacentes.

Descripción general de la norma IS-95 AMDC

La norma de interfaz aérea común IS-95-A determina con precisión el funcionamiento de las estaciones de abonado de sistema dual AMDC/AMPS y también, aunque en menor medida, el funcionamiento de las estaciones base. Si se utilizan estaciones de abonado conformes con las normas, los fabricantes de las estaciones base tienen una referencia segura en la que pueden basar los diseños de los sistemas. Una estación de abonado según la norma IS-95-A puede acceder al servicio comunicando con una estación base AMPS (PM analógico) o AMDC. La selección del sistema depende de la disponibilidad de sistemas en la zona geográfica de la estación y de las preferencias programadas. Se han definido también prestaciones mínimas para las estaciones base del sistema dual (IS-97) y para las estaciones de abonado (IS-98), que completan las especificaciones básicas de la interfaz aérea.

La norma IS-95-A trata principalmente los requisitos de la estación de abonado, porque el lado de abonado refleja todas las características del procesamiento de la llamada, y porque la especificación es menos compleja en el contexto de un solo usuario. Los requisitos para la estación base no son tan completos como los requisitos detallados para la estación de abonado. En general, la norma sólo precisa los requisitos de la estación base que son importantes para el diseño de las estaciones de abonado, dejando una parte por definir a discreción de los proveedores. Las estaciones base se instalan en cantidades mucho más reducidas, pero cada una de ellas es mucho más costosa. Las consideraciones del mercado hacen que la calidad del diseño sea una prioridad para los fabricantes.

La norma establece que las estaciones móviles en comunicación con estaciones base analógicas deben cumplir las condiciones de compatibilidad analógica para las estaciones móviles indicadas en la especificación EIA/ITA/IS-54-B (*Especificación de compatibilidad de estación móvil – Estación base de sistema dual*, enero de 1992). La incorporación de las partes analógicas de la especificación EIA/ITA/IS-54-B, en lugar de la especificación EIA/ITA/553 (*Especificación de compatibilidad de estación móvil – Estación terrena fija*, de septiembre de 1989) supone la adopción de todas las modificaciones al funcionamiento analógico impuestas por la norma de sistema dual EIA/ITA/IS-54-B.

2.3.3.2.1.4 Sistema celular digital personal (PDC)

Como en América del Norte y Europa, el diseño de la norma japonesa PDC desarrollada a finales de la década de los 80 fue motivado por la saturación de las redes celulares analógicas y por la necesidad de crear servicios nuevos y con mejores prestaciones. El Ministerio japonés de Comunicaciones inició un

estudio en abril de 1989 y la norma de la interfaz aérea PDC fue publicada en abril de 1991 por el Centro de Investigación y Desarrollo de Sistemas de Radiocomunicaciones (RCR) con el nombre STD27 [RCR-STD27, 1991]. Esta norma ha sido completada por especificaciones de interfaz de red que sientan las bases de un sistema celular digital unificado en Japón, y permiten la conectividad con la RDSI fija.

La norma RCR STD27 es una especificación de la interfaz aérea común. Aunque presenta algunas similitudes en cuanto a características técnicas con la norma americana IS-54, no se ha buscado la compatibilidad con los sistemas analógicos existentes. Los nuevos sistemas digitales de Japón tienen una atribución de espectro específica, inicialmente en la banda de 800 MHz, y ulteriormente en la banda de 1,5 GHz.

Funciona con separación de portadoras de 25 kHz y un esquema de acceso múltiple AMDT/DDF de nivel 3 con el actual códec de plena velocidad, y de nivel 6 con el futuro códec de media velocidad. La velocidad binaria de la portadora es 42 kbit/s y se utiliza el principio de modulación MDP $4d \pi/4$. El códec de voz de plena velocidad emplea un algoritmo VSELP con una velocidad binaria bruta de 11,2 kbit/s y neta de 6,7 kbit/s. Se aplica una corrección de errores en recepción basada en un código convolucional (índice $1/2$) y una verificación por redundancia cíclica (CRC). Un método particular de asignación de canales (reutilización flexible de canales entre dos estaciones base) permite aumentar la capacidad del sistema. Esta norma también determina el control de potencia y los procedimientos de traspaso de tipo MAHO.

Los sistemas PDC ofrecerán numerosos servicios: transmisión de voz y datos (fax G3, módem, videotex) y servicio de mensajes cortos. Se han previsto también servicios suplementarios, como la identificación de llamada, el reenvío de llamada o la llamada tripartita. El protocolo de la interfaz aérea está orientado a la RDSI, con una estructura de capas que refleja los principios de interconexión de sistemas abiertos (OSI). Incluye un protocolo de acceso al enlace (LAP DM) en la capa 2; una capa 3 dividida en gestión de transmisión radioeléctrica (RT), gestión de movilidad (MM) y control de llamada (CC, conforme con la Recomendación UIT-T I.451). Utiliza dos funciones de seguridad: autenticación y cifrado.

Las interfaces entre los elementos de la red de un sistema PDC han sido definidas por los operadores celulares en Japón, salvo la interfaz A (BSS-MSC), que se ha dejado a discreción. La arquitectura de red se ajusta al modelo de referencia del SS N.º 7 del UIT-T, si se utiliza entre elementos de la red y en la interfaz con otras redes. Los protocolos de aplicación son una versión más completa de la parte de usuario RDSI (PU RDSI) para la señalización de circuitos y MAP, desarrollada como elemento de servicio de aplicación de la TCAP, para señalización no relacionada con los circuitos.

NTT inició el servicio comercial con una red PDC en 1993 para la banda de 800 MHz y en 1994 para la banda de 1,5 GHz. Otros dos operadores ofrecen servicios celulares en la banda de 500 MHz desde 1994, y el Gobierno japonés decidió recientemente autorizar otros nuevos dos operadores para ofrecer servicios digitales en la banda de 1,5 GHz. La norma PDC será mejorada en un futuro (códec de media velocidad, paquetes de datos, etc.).

2.3.3.3 Telefonía inalámbrica (CT)

La primera generación de teléfonos inalámbricos del Reino Unido (CT1) fue desarrollada para captar un mercado cubierto hasta entonces por grandes importaciones de equipos de radiocomunicaciones técnicamente superiores, pero no homologados. La sencillez y economía de los equipos de radiocomunicaciones analógicas CT1 y las estaciones de base que utilizan ocho canales de RF y el esquema AMDF se derivan de sus aplicaciones limitadas al tratamiento de llamadas entrantes procedentes de un número limitado de usuarios móviles y dirigidas a puntos aislados. El aumento del número de usuarios elevó los niveles de interferencia entre canales y afectó la calidad del servicio. En previsión de estos problemas, se

ha desarrollado la segunda generación de equipos de radiocomunicaciones inalámbricas digitales, y se han definido *normas comunes de la interfaz aérea (CT2/CAI)* que son incompatibles con los equipos CT1. Los sistemas CT2 funcionan con voz digital, pero con los mismos principios AMDF de los sistemas CT1. Todavía no se han tomado las decisiones adecuadas sobre redes y reutilización de frecuencias a fin de satisfacer el aumento de tráfico previsto de usuarios privados, comerciales y telepuntos. Reconociendo estas limitaciones y en previsión de la demanda del mercado, se han desarrollado distintos esquemas AMDF, AMDT, AMDC e híbridos para ofrecer servicios de comunicaciones móviles celulares y de comunicaciones digitales inalámbricas (DCT). El cuadro 2.3.3 resume las características técnicas de algunos sistemas.

Cuadro 2.3.3 – Comparación de sistemas telefónicos inalámbricos digitales

Parámetro	CT2Plus	CT3	DECT	AMDC
Método de acceso múltiple	(F/T)DMA	AMDT	AMDT	AMDC
Método duplexión	DDT	DDT	DDT	DDF
Anchura de banda del canal de RF, MHz	0,10	1,00	1,73	2 × 1,25
Velocidad de transmisión del canal de RF (kbit/s)	72	640	1152	1228,80
Canales de tráfico por cada canal de RF	1	8	12	32
Longitud ráfaga/trama (ms)	1/2	1/16	1/10	n/a
Tipo de modulación	MDFG	MDFG	MDFG	MDP-2/MDP-4
Codificación	Cíclica, RS	CRC 16	CRC 16	Conv 1/2, 1/3
Potencia de transmisión, mW	≤ 10	≤ 80	≤ 100	≤ 10
Incrementos de la potencia transmisión	2	1	1	Muchos
Gama de la potencia del transmisor, dB	16	0	0	≥ 80
Tipo de vocoder	MICDA	MICDA	MICDA	CELP
Veloc. del vocoder (kbit/s)	Fija 32	Fija 32	Fija 32	Hasta 8
Máxima veloc. de transmisión de datos (kbit/s)	32	RDSI 144	RDSI 144	9,6
Retardo de procesamiento (ms)	2	16	16	80
Eficacia de reutilización ³				
Mínima	1/25	1/15	1/05	1/4
Media	1/15	1/07	1/07	2/3
Máxima	1/02 ¹	1/02 ¹	1/02 ¹	3/4
Número teórico de canales voz por célula y 10 MHz	100 × 1	10 × 8	6 × 12	4 × 32
Número real por cada 10 MHz				
Mínimo	4	5-6	5-6	32 (08) ²
Medio	7	11-12	11-12	85 (21)
Máximo	50 ¹	40 ¹	40 ¹	96 (24)
¹ Capacidad de una célula aislada (número de canales de voz). ² La capacidad entre paréntesis puede corresponder a un vocoder de 32 kbit/s. ³ La eficacia de reutilización y la capacidad según estimaciones. Fuente: 4U Communications Research Inc., 1995.02.03-22:39.				

Véase la descripción completa de estos sistemas en el Fascículo 2, Capítulo 4.

2.3.3.4 Radiocomunicaciones móviles privadas (PMR)

Hay una gran diversidad de sistemas PMR, debido a la gran variedad de grupos de usuarios con condiciones de servicio muy diferentes. Los sistemas PMR son utilizados por organizaciones importantes de seguridad pública, como la policía, aduanas, bomberos, protección civil, ambulancias, etc. que necesitan redes de estructura jerárquica con cobertura local, regional e incluso nacional. Otros servicios públicos, servicios sanitarios, de protección medioambiental, correos, etc. emplean redes similares. Distintos grupos de usuarios de pequeña o mediana importancia, con necesidades muy diferentes, utilizan sistemas PMR en toda clase de aplicaciones.

Los sistemas PMR utilizan distintas tecnologías y cubren aplicaciones muy diferentes, desde la comunicación local de grupos de usuarios reducidos hasta las redes de cobertura nacional.

Definiciones

Para entender la flexibilidad y las características únicas de los sistemas PMR, es necesario conocer las propiedades que resultan de sus condiciones de funcionamiento y sus condiciones económicas. A continuación figura una breve descripción de los sistemas PMR:

Los sistemas PMR son una forma de radiocomunicaciones bidireccional de voz, datos o mixta, en redes privadas adaptadas especialmente a las necesidades de grupos de usuarios móviles profesionales. Para lograr una comunicación flexible y eficaz en el territorio cubierto en sus operaciones cotidianas.

Hasta 1980, aproximadamente, la mayoría de los sistemas PMR estaban formados por una sola estación base o repetidora, con modulación analógica FM o PM, símplex, dúplex, o semidúplex. Cada canal de radiocomunicaciones podía servir hasta 80 estaciones móviles, con una cobertura máxima de 30 km. Los sistemas PMR eran principalmente un medio de transmisión de voz controlado por la Administración de Comunicaciones, con un número relativamente limitado de servicios de datos específicos.

Después se añadieron servicios de radiobúsqueda y datos, concentración de enlaces y conmutación digitales, así como conexiones con la RTPC y la RDSI. Se ha introducido la modulación digital avanzada, que incluye principios de envolvente no constante y el procesamiento de la señal digital permite emplear técnicas de transmisión con más canales y menos interferencia. Actualmente se utilizan más los servicios de datos integrados (X.25, X.400, etc.) y es posible formar grupos de usuarios cerrados con reconfiguración dinámica.

El uso de un canal común se ha generalizado y garantiza el uso eficaz del espectro en los sistemas PMR. Muchas aplicaciones necesitan un acceso casi inmediato al canal (por ejemplo, en menos de 200 ms). Es importante observar que el tráfico PMR es muy diferente del de los servicios celulares; las llamadas sólo duran unos segundos, en vez de varios minutos, y la frecuencia de llamadas es muy superior. Por consiguiente, el tiempo de acceso al canal debe guardar relación razonable con la duración de la llamada. Debe garantizarse una cobertura fiable y adaptada a las necesidades de los usuarios, incluso donde las condiciones de propagación son adversas. Sabiendo que existen diferentes sistemas de radiocomunicaciones PMR, cada uno adaptado a las necesidades de sus usuarios, pueden distinguirse varias aplicaciones principales.

Sistemas PMR importantes propios: se trata de redes que comprenden habitualmente más de 300 móviles en zonas de fuerte población. Los principales grupos de usuarios son las empresas de servicios o transporte públicos, el ferrocarril, las empresas suministradoras de energía y las grandes industrias. Estos grupos tienen necesidades particulares, por ejemplo, un acceso limitado a la RTPC y la RDSI.

Pequeñas redes PMR: con menos de 50 móviles. Los principales grupos de usuarios son los servicios de taxis, los servicios de asistencia en carreteras y las empresas. El desarrollo de este segmento presenta incertitudes debido a la transferencia hacia el sistema GSM.

Sistemas PMR suministradores de servicio: conocidos como sistemas de Radiocomunicaciones Móvil de Acceso Público (PAMR, *public access mobile radio*) o Estaciones Base Públicas (CBS, *community base stations*). Son sistemas de operadores conectados a un enlace y funcionan desde mediados de los 80. Las condiciones técnicas y de autorización son diferentes en cada país. Permiten el acceso a la RTPC y a la RDSI, pero más bien se trata de un servicio público que compite con el sistema GSM. Existen muchas redes PMR y PAMR con cobertura regional limitada, y también redes con cobertura nacional para la policía y otras organizaciones de intervención urgente.

Atribución del espectro

Inicialmente se atribuyó la banda de 40-80 MHz a los servicios PMR, por decisión nacional. Como no ha habido armonización, hay tres separaciones de canales diferentes y muchas otras diferencias. La atribución de espectro al servicio PMR es mucho más extensa actualmente.

Equipos

a) Equipos analógicos

Los sistemas PMR tradicionales de un solo canal presentan los inconvenientes de congestión del tráfico y explotación poco eficaz del espectro. En los sistemas de concentración de enlaces, se utilizan canales para el tráfico y la información de control. Las ventajas son una explotación más eficaz del espectro y, por lo tanto, un aumento del tráfico por canal.

Para conservar frecuencias y poder servir a un mayor número de usuarios en las bandas atribuidas a los sistemas PMR, en los 70 y 80, la mayoría de los países europeos decidieron adoptar una separación de canales de 12,5 kHz, en vez de 20 ó 25 kHz, en casi todas las bandas PMR. Ahora bien, si tenemos en cuenta los fenómenos de sombra y desvanecimiento, la ganancia global que se logra en eficacia del espectro se reduce a 1,1, en vez de 2,0.

Actualmente, los sistemas PMR con concentración de enlaces MPT 1327 y MPT 1343 que utilizan transmisión de voz y señalización analógicas a 1200 bit/s, son los más comunes del sector PAMR y existen versiones diferentes. Los sistemas PMR con concentración de enlaces casi siempre emplean protocolos patentados. Muchos usuarios de los sistemas PMR tradicionales prefieren ahora los sistemas con concentración de enlaces, por su mejor utilización de las frecuencias.

b) Equipos digitales

La primera iniciativa de normalización de un sistema PMR digital (DPMR) completo desembocó en el sistema DSRR creado por el ETSI, para canales de 25 kHz en la banda de 900 MHz, con codificadores de voz MDMG y GSM. El sistema TETRA (Trains European Trunk Radio System), conocido actualmente como EP TETRA, es la segunda norma para equipos DPMR que soportan todo tipo de transmisiones digitales (por ejemplo, datos y voz digitalizada). Los resultados de los trabajos de normalización del sistema TETRA han sido publicados en las series de normas ETS 300 392 a 396 del ETSI.

- i) *TETRA* es un sistema AMDT con cuatro intervalos de tiempo por portadora, que funciona en canales de 25 kHz para las bandas 385-470 MHz y 870-921 MHz. La velocidad binaria bruta de 38 kbit/s permite velocidades binarias efectivas de hasta 28,8 kbit/s con agregación del intervalo de tiempo. Los canales de tráfico de un intervalo de tiempo permiten una velocidad binaria bruta de 9 kbit/s y una velocidad binaria de usuario, no protegida, de 7,2 kbit/s.

- ii) Existen otras dos normas PMR de hecho, con especificaciones particulares: MPT 1327 y 1343 (normas creadas por el DTI del Reino Unido que permiten transmisión digital de llamada y datos a 1,2 kbit/s, en combinación con voz analógica), y MOBITEX (inicialmente sólo para datos a 1,2 kbit/s; las normas posteriores MOBITEX II o MOBITEX 8k permiten una velocidad binaria bruta de 8,0 kbit/s en canales de 25 kHz, y en las bandas de 800 y 900 MHz).
- iii) En los últimos años han aparecido varios sistemas PMR patentados, enteramente digitales. Los siguientes sistemas DPMR patentados son los más importantes del mercado:
- *APCO 25* es un sistema AMDF enteramente digital creado en Estados Unidos, para las bandas de 150, 400 y 800 MHz, basado en una separación de canales de 12,5 kHz y un principio de modulación C4FM. Está previsto pasar a canales de 6,25 kHz y adoptar el esquema de modulación lineal (MDP-4c).
 - *ASTRO* es un sistema AMDF desarrollado por Motorola para aplicaciones DMPR en la banda de 2 m y para tres separaciones de canales (12,5, 20 y 25 kHz), con el principio de modulación MDP-4c y una velocidad binaria bruta de 9,6 kbit/s.
 - *EDACS* es el «Sistema de comunicaciones mejorado de acceso digital» desarrollado por Ericsson, con separaciones de canales de 12,5 y 25 kHz y para las bandas de 160, 450, 800 y 900 MHz. Este sistema utiliza la MDFG y permite la evolución del sistema desde AMDF analógico hasta AMDT, de cada canal individualmente. Existe también una versión AMDT puesta en servicio en 1995 y ahora enteramente digital. El sistema EDACS opera con estaciones múltiples, a una velocidad binaria bruta de 9,6 kbit/s y con cobertura geográfica muy amplia.
 - GeoNet es un sistema FHMA creado por Geotek. Utiliza el principio de acceso múltiple por saltos de frecuencias y existen instalaciones en las bandas de 800 y 900 MHz. Cabe decir que esta red presenta una capacidad 30 veces superior a la de un sistema PMR analógico con concentración de enlaces, con un 50% de tráfico de datos. (Ello es posible, porque la velocidad de transmisión es muy superior, comparado con el sistema MPT 1327 y otros similares.)
 - *MIRS* es el «Servicio de radiocomunicaciones integrado de Motorola», desarrollado por Motorola en 1991, en Estados Unidos. En 1995 se adoptó la denominación iDEN (red repartidora integrada mejorada). Es un sistema con modulación lineal AMDT6 que emplea MAQ16 m ($m = 4$) y permite una velocidad binaria bruta de 64 kbit/s. Por tanto, su capacidad es 6 veces superior a la de los sistemas PMR tradicionales, y hasta 18 veces superior si las frecuencias son reutilizadas geográficamente. Este sistema fue creado para las bandas de 800, 900 y 1 500 MHz.
 - El sistema TETRAPOL, creado por Matra y basado en el sistema AMDF, existe desde 1992. Está disponible para la banda de 80 MHz y la gama de 400 MHz, con una separación de canales de 12,5 kHz. También es posible, si se solicita, lograr una separación de canales de 10 kHz. Permite una velocidad binaria bruta de 8,0 kbit/s con MDMG. Actualmente es utilizado principalmente en aplicaciones de seguridad pública.

Los modernos sistemas PMR digitales están organizados según el modelo de capas ISO/OSI, en un orden sistemático y transparente. Estos sistemas ofrecen numerosos servicios especializados. Los servicios telefónicos y de portador son los servicios básicos. También ofrece un servicio suplementario de tipo PMR y servicios telefónicos suplementarios.

Los servicios telefónicos comprenden distintas clases de llamadas, cifradas o no; se trata principalmente de llamadas individuales (punto a punto), llamadas a grupos de abonados (punto a multipunto), llamadas a grupos de abonados con acuse de recibo y llamadas de difusión general. Los servicios de portador comprenden la transmisión de datos por circuitos, con protección o sin protección, y la transmisión por paquetes con conexión o sin conexión, habitualmente disponibles con distintas velocidades de transmisión en la red; por ejemplo, TETRA 2,4 a 9,6 kbit/s con protección de los datos, y 7,2 a 28,8 kbit/s en modo de circuito sin protección de los datos.

Hay muchos otros servicios suplementarios de tipo PMR. Los más interesantes son la prioridad de acceso, prioridad eliminatoria, llamada prioritaria, llamada autorizada por centro repartidor, inserción de llamada, transferencia de control de grupo, ingreso tardío, escucha del local, escucha discreta, selección de área, direccionamiento por número abreviado, identificación de interlocutor y asignación dinámica de número de grupo.

También se ofrecen muchos servicios telefónicos suplementarios tales como llamada por consulta de lista, reenvío de llamada, prohibición de llamada, informe de llamada, retención de llamada, llamada en espera, notificación de identidad de la parte que llama, restricción de identidad de la parte que llama, compleción de llamada, aviso de tarificación y retención de llamada.

La diversidad de servicios permite apreciar la complejidad de los modernos sistemas PMR digitales. También demuestra que estos sistemas, lejos de limitarse a las características PMR habituales, ofrecen servicios adicionales avanzados y una amplia gama de servicios telefónicos.

2.3.3.5 Sistemas móviles de tercera generación – IMT-2000

Los sistemas móviles de la tercera generación IMT-2000 permitirán el transporte de voz, de información gráfica, de vídeo y de otras clase de información de banda ancha directamente al usuario, cualesquiera que sean su situación y la red o terminal que utilice. Estos servicios de comunicaciones enteramente personales permitirán la movilidad de terminales y de servicios en redes fijas y móviles. Además, explotarán las ventajas de la convergencia de las actuales y futuras redes fijas y móviles. Las principales ventajas previstas de los sistemas IMT-2000 son una mayor calidad y seguridad, incorporación de servicios de banda ancha y multimedios de red, flexibilidad para la creación de servicios y portabilidad de servicios ilimitada.

Los servicios multimedios de red son, por ejemplo, la televisión de pago, vídeo y audio por demanda, espectáculos interactivos, servicios informativos y educativos y servicios de comunicaciones tales como videotelefonía y transferencia de ficheros voluminosos.

Para mayor información sobre los sistemas IMT-2000, véase el Fascículo 2, Capítulo 3, y las Actas Finales de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2000.

2.3.3.6 Empleo de sistemas de satélites

El sistema utiliza uno o varios satélites a modo de estación base y/o estaciones repetidoras en una red de radiocomunicaciones móviles. La posición de los satélites con respecto a la zona de servicio es determinante para la cobertura, la calidad del servicio, el precio y la complejidad de la red. Si los satélites cubren la Tierra en un periodo de 24 horas, se habla de *órbita geosíncrona*. Una *órbita inclinada* forma un ángulo con el plano ecuatorial. Si esta inclinación es de 90°, se trata de una *órbita polar*. Una *órbita geosíncrona* circular de 24 horas sobre el plano ecuatorial (inclinación de 0°) es una *órbita geoestacionaria*, porque el satélite parece estacionario desde cualquier punto de la superficie de la Tierra. Es una órbita muy apropiada para servicios móviles terrestres en latitudes bajas y para servicios marítimos y aeronáuticos en latitudes < 80°. Los sistemas INMARSAT, MSAT y AUSSAT utilizan satélites geoestacionarios. La órbita geosíncrona elíptica con un ángulo de inclinación de 63,4° es conocida como *órbita de la tundra*. La órbita elíptica de 12 horas con un ángulo de inclinación de 63,4° es una *órbita Molniya*. Estas dos últimas órbitas (de la tundra y Molniya) han sido elegidas para cubrir las latitudes más septentrionales y la zona que circunda el Polo Norte; los usuarios de estas latitudes tienen la impresión de que los satélites permanecen mucho tiempo en el cenit. Es posible ofrecer la cobertura de una determinada región (*cobertura regional*) o de toda la Tierra (*cobertura mundial*) mediante distintas constelaciones de satélites, incluyendo satélites en órbitas inclinadas y polares. Por ejemplo, se han propuesto constelaciones de órbita circular inclinada para los sistemas GPS (18-24 satélites, inclinación de 55-63°) y Globalstar (48 satélites, inclinación de 47°) que proporcionan una cobertura mundial. El sistema ORBCOM utiliza satélites de órbita baja, lanzados por cohetes Pegasus, que permiten una

cobertura mundial ininterrumpida en latitudes inferiores a $\pm 60^\circ$, y una cobertura intermitente, pero frecuente, de las regiones polares.

Los sistemas de antenas de satélites pueden tener un haz (*sistema mundial de un solo haz global*) o varios haces (*sistema puntual multihaz*). Los sistemas de satélite multihaz similares a los sistemas celulares terrenales se sirven de la directividad de las antenas para reutilizar más eficazmente las frecuencias a expensas de una mayor complejidad del sistema.

Para mayor información, véase el Fascículo 1, Subcapítulo 2.4 y las Actas Finales de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2000.

2.3.4 Abreviaturas

AMDC	Acceso múltiple por división de código
AMDF	Acceso múltiple por división de frecuencias
AMDT	Acceso múltiple por división en el tiempo
AMPS	Servicio de telefonía móvil avanzada (<i>advanced mobile phone system</i>)
ANSI	Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (<i>american national standards institute</i>)
ASIC	Circuito integrado específico de aplicación (<i>application specific integrated circuit</i>)
AuC	Centro de autenticación (<i>authentication centre</i>)
BSC	Controlador de la estación base (<i>base station controller</i>)
BSS	Subsistema de la estación base (<i>base station sub-system</i>)
CAD	Diseño asistido por ordenador (<i>computer aided design</i>)
CBS	Estación base de distrito metropolitano (<i>community base station</i>)
CC	Control de llamadas (<i>call control</i>)
CELP	Predicción lineal con excitación por código (<i>code excited linear prediction</i>)
CRC	Verificación por redundancia cíclica (<i>cyclic redundancy check</i>)
CT	Telefonía inalámbrica (<i>cordless telephony</i>)
CTIA	Asociación de la industria de telecomunicaciones celulares (<i>cellular telecommunications industry association</i>)
CUG	Grupo cerrado de usuarios (<i>closed user group</i>)
DAMA	Acceso múltiple con asignación por demanda (<i>demand assigned multiple access</i>)
DB	Bases de datos (<i>database</i>)
DCS	Sistema celular digital (<i>digital cellular system</i>)
DCT	Telecomunicaciones inalámbricas digitales (<i>digital cordless telecommunications</i>)
DDF	Dúplex por división de frecuencias
DDT	Dúplex por división de tiempo
DPMR	Sistema privado de radiocomunicaciones móviles digitales (<i>digital private mobile radio</i>)
DSI	Interpolación de voz digital (<i>digital speech interpolation</i>)
DSP	Procesamiento de la señal digital (<i>digital signal processing</i>)
DTX	Transmisión discontinua (<i>discontinuous transmission</i>)

EIR	Registro de identificación de equipos (<i>equipment identity register</i>)
ETACS	Sistema de comunicación de acceso total extendido (<i>expanded total access communication system</i>)
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (<i>european telecommunications standards institute</i>)
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones (<i>federal communications commission</i>)
FHMA	Acceso múltiple por salto de frecuencias (<i>frequency hopping multiple access</i>)
FM	Modulación de frecuencia (<i>frequency modulation</i>)
GSM	Sistema comunicaciones móviles de grupo (<i>group system mobile</i>)
HLR	Registro de posiciones de abonados propios (<i>home location register</i>)
IMT	Telecomunicaciones móviles internacionales (<i>international mobile telecommunications</i>)
ISUP	Parte de usuario de la red digital de servicios integrados (<i>ISDN user part</i>)
JTACS	Sistema japonés de comunicación de acceso total (<i>japanese total access communication system</i>)
LAP	Protocolo de acceso a la conexión (<i>link access protocol</i>)
LE	Central local (<i>local exchange</i>)
LR	Registro de posiciones (<i>location register</i>)
LSC	Controlador de estación local (<i>local station controller</i>)
MAHO	Traspaso asistido móvil (<i>mobile assisted handover</i>)
MAP	Parte de aplicación del servicio móvil (<i>mobile application part</i>)
MAQ	Modulación por amplitud de cuadratura
MDF	Modulación por desplazamiento de frecuencias
MDP	Manipulación por desplazamiento de fase
MDP-4	Manipulación por desplazamiento de fase de cuadratura
MDP-4d	Modulación por desplazamiento en cuadratura diferencial
MICDA	Modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa
MIRS	Servicio de radiocomunicación integrado de Motorola (<i>motorola integrated radio service</i>)
MMIC	Circuito integrado monolítico de microondas (<i>microwave monolithic integrated circuit</i>)
MoU	Memorando de entendimiento (<i>memorandum of understanding</i>)
MPEG	Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento (ISO) (<i>moving picture expert group</i>)
MSC	Centro de conmutación móvil (<i>mobile switching centre</i>)
NMS	Sistema de gestión de la red (<i>network management system</i>)
NMT	Sistema nórdico de telefonía móvil (<i>nordic mobile telephone</i>)
NSS	Subsistema de red (<i>network sub-system</i>)
NTACS	Sistema de comunicación de acceso total de banda estrecha (<i>narrow-band total access communication system</i>)
OMC	Centro de operación y mantenimiento (<i>operation and maintenance centre</i>)
OSI	Interconexión de sistemas abiertos (<i>open systems interconnection</i>)
PABX	Centralita privada automática (<i>private automatic branch exchange</i>)
PAMR	Servicio móvil de radiocomunicación de acceso público (<i>Public Access Mobile Radio</i>)
PCS	Servicio de comunicaciones personales (<i>personal communication system</i>)

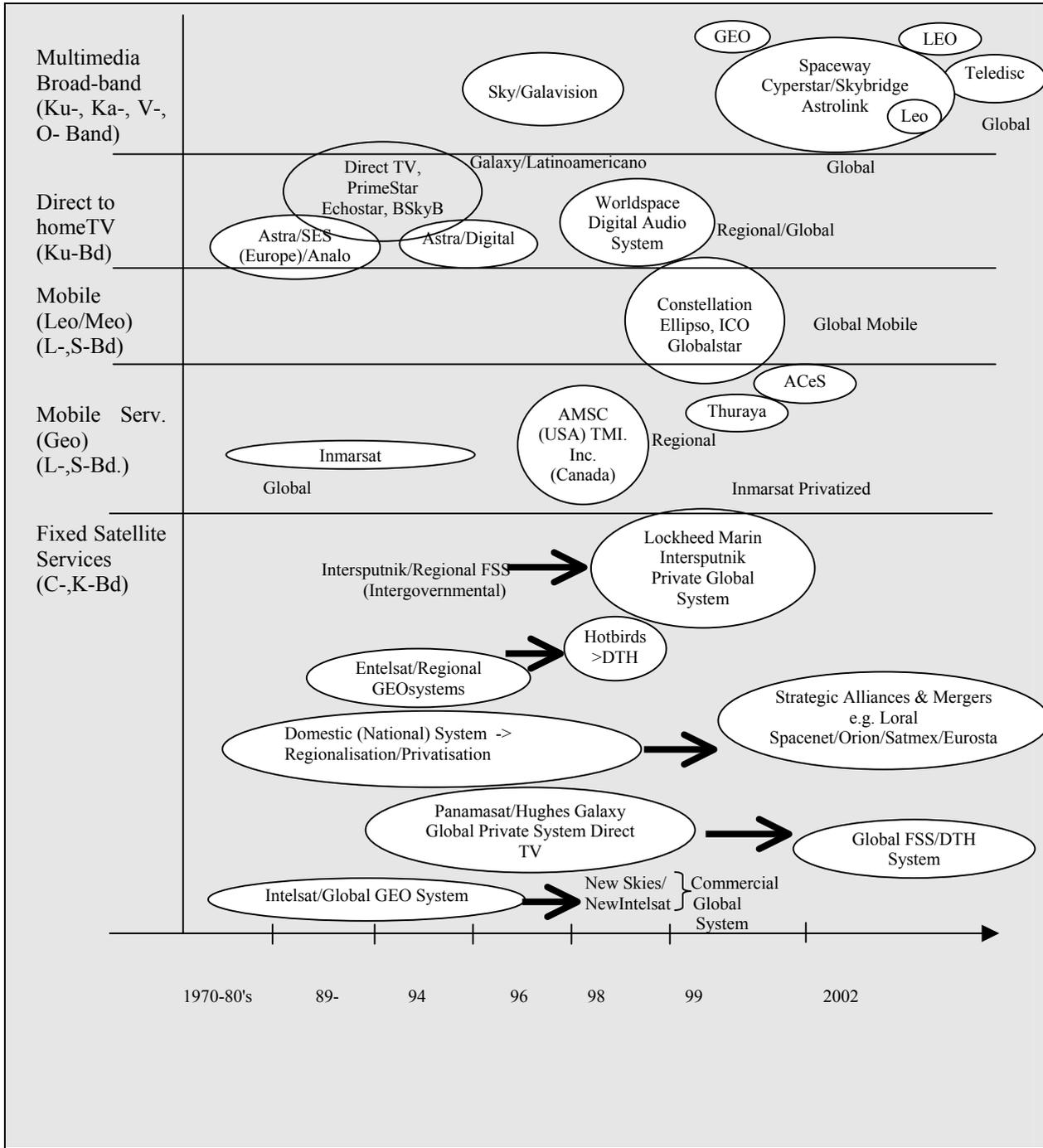
PDC	Servicio celular de comunicaciones personales (<i>personal digital cellular</i>)
PM	Modulación de fase (<i>phase modulation</i>)
PMR	Sistema privado de radiocomunicaciones móviles (<i>private mobile radio</i>)
PS	Estación portátil (<i>portable station</i>)
PU-RDSI	Parte de usuario de la red digital de servicios integrados
RDR	Centro de investigación y desarrollo de sistemas de radiocomunicación (<i>research and development centre for radio systems</i>)
RDSI	Red digital de servicios integrados
RPDCP	Red pública de datos con conmutación de paquetes
RPE-LTP	Excitación por impulsos regulares/codificación lineal predictiva a largo plazo (<i>regular pulse excited – long term prediction</i>)
RT	Radiotransmisión (<i>radio transmission</i>)
RTPC	Red telefónica pública conmutada
SS7	Sistema de Señalización N.º 7 (<i>signalling system No. 7</i>)
TACS	Sistema de comunicación de acceso total (<i>total access communication system</i>)
TCAP	Parte aplicación de capacidad de transacción (<i>transaction capability application part</i>)
TETRA	Sistema radioeléctrico terrenal con concentración de enlaces (<i>trans-european trunk radio system</i>)
TIA	Asociación de industrias de las telecomunicaciones (<i>telecommunications industry association</i>)
VAD	Detector de presencia de voz (<i>voice activity detector</i>)
VLR	Registro de posiciones de visitantes (<i>visitor location register</i>)
VSELP	Predicción lineal con excitación por suma vectorial (<i>vector sum excited linear prediction</i>)
WPABX	Centralita privada automática inalámbrica (<i>wireless private automatic branch exchange</i>)

2.4 Sistemas de satélite

Los sistemas de comunicaciones con cobertura mundial por satélites empezaron a funcionar hace años con estaciones terrenas de gran tamaño. Hoy se ofrece el servicio con terminales móviles cada vez más pequeños. Las tres órbitas de satélites más apropiadas para sistemas de comunicaciones son las siguientes:

- Órbita geoestacionaria (OSG)
- Órbita no geoestacionaria (no OSG)
 - 1) Órbita terrestre media (MEO)
 - 2) Órbita terrestre baja (LEO)

Cuadro 2.4.1 – Desarrollo de los sistemas de satélites



Órbitas de los satélites

- La órbita de los satélites geostacionarios (OSG) permite cubrir todo el mundo, excepto las regiones polares, con sólo tres satélites en órbitas ecuatoriales. Los satélites deben girar a una altitud de unos 35 800 km de la superficie de la Tierra y parecen estacionarios para un observador terrestre.

- En el caso de constelaciones MEO, la altitud de la órbita debe situarse entre los cinturones de radiación Van Allen interior y exterior, normalmente a unos 10 355 km, sobre la superficie de la Tierra. El periodo orbital en este caso es de unas 6 horas. Puede cubrirse todo el mundo utilizando 10-12 satélites situados en 2-3 planos, por ejemplo, 2 planos con 5 satélites en cada uno o 3 planos con 4 satélites en cada uno.
- En el caso de constelaciones LEO, la órbita de los satélites es mucho más baja, normalmente entre 700 y 2000 km. El período orbital es de 100 a 120 minutos. Como los satélites giran a menor altura, tienen menos cobertura de la Tierra, de manera que serán necesarios 6-8 planos, con 6 satélites en cada uno, para cubrir todo el mundo.

La Figura 2.4.1 representa las tecnologías de satélites habituales y las previsiones de evolución.

En los siguientes puntos se explica la tecnología de los sistemas de satélites geoestacionarios y no geoestacionarios.

2.4.1 Satélites geoestacionarios

El concepto de satélites geoestacionarios fue el más utilizado en los primeros sistemas de comunicaciones por satélite. El satélite Syncom-2, lanzado el 19 de julio de 1963, fue el primer satélite geosíncrono (órbita de 33 grados de inclinación) y el satélite Syncom-3, lanzado el 19 de agosto de 1964, fue el primer satélite geoestacionario.

Éstas son las principales ventajas de los satélites geoestacionarios:

- Sólo son necesarios tres satélites operativos para cubrir completamente la Tierra, excluidos los casquetes polares.
- Los satélites geoestacionarios permanecen fijos en el firmamento y, por consiguiente, no es necesario instalar grandes antenas de estación terrena con sistemas de seguimiento automático rápido, como en el caso de los satélites LEO.
- La antena de la estación terrena comunica con un solo satélite geoestacionario para mantener una conexión continua. Con los satélites LEO, la antena de la estación terrena debe conmutar rápidamente del satélite que se oculta al otro que aparece o deben instalarse dos antenas en cada estación terrena.
- La antena a bordo de los satélites geoestacionarios puede ser muy directiva. La baja órbita y el rápido desplazamiento con respecto a la Tierra de los satélites LEO obligan a utilizar antenas de baja ganancia o a instalar sistemas de seguimiento rápido si se emplean a bordo antenas de mayor ganancia.

Inconvenientes de los satélites geoestacionarios con respecto a los satélites LEO

- El retardo de propagación es muy superior y puede provocar un efecto de eco con una diferencia temporal de unos 500 ms.
- La atenuación en el espacio libre es mucho más importante. La distancia entre el satélite y un punto de la superficie terrestre puede variar desde 35 786 km (posición ecuatorial alineada con el satélite y el centro de la Tierra) hasta un máximo de 41 756 km (puntos situados en el cono proyectado por el satélite y las tangentes a la superficie de la Tierra). Por tanto, la atenuación en el espacio libre en enlaces de satélites geoestacionarios varía según las gamas de frecuencia.
- No cubren los casquetes polares.
- No pueden proporcionar cobertura de grandes centros urbanos para las comunicaciones móviles terrestres debido a la sombra de los edificios más altos.

2.4.1.1 Sistemas de satélites geoestacionarios para comunicaciones fijas

Los sistemas de comunicaciones por satélite no móviles seguirán utilizando satélites en órbitas OSG. Ahora bien, las bandas de microondas más bajas atribuidas a estos satélites (por ejemplo, la banda C) están cada vez más congestionadas y por ello los sistemas fijos de satélites tendrán que ocupar bandas de frecuencia más altas (por ejemplo, la banda Ku). Por consiguiente, la prioridad actual es desarrollar equipos para nuevas bandas de microondas más elevadas o aumentar la capacidad de las bandas de frecuencia actuales. A continuación se indican dos sistemas típicos de comunicaciones diferentes que utilizan conceptos digitales avanzados:

- a) acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA); y
- b) acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT).

En el concepto DAMA, se asigna un grupo de canales del transpondedor del satélite a un determinado número de usuarios, lográndose una conectividad inmediata entre un gran número de usuarios. Se trata de una opción interesante porque ofrece una tecnología digital con la relación coste/prestaciones más atractiva y una inversión mínima en equipos. Los costes de funcionamiento también son bajos porque los circuitos DAMA se tarifican de acuerdo con el volumen real de recursos de satélite utilizados por minuto. El sistema AMDT es un servicio digital para redes públicas conmutadas que requieren un alto nivel de conectividad en rutas de tráfico de densidad media. El sistema DAMA es una solución atractiva para ofrecer el servicio INTELSAT con la máxima calidad, gracias a su mayor estabilidad, a la mayor flexibilidad de los equipos y a la mejor BER digital que presenta en comparación con cualquier otro servicio INTELSAT. La calidad y la disponibilidad de este servicio corresponden a la tecnología de fibra óptica moderna.

Ejemplos de soluciones para elevar la capacidad de los sistemas en una determinada anchura de banda:

Tecnología de antenas

Una forma de aumentar la capacidad es utilizar antenas para bandas de microondas más elevadas y reutilizar las bandas de frecuencias con distintas polarizaciones y separaciones de los haces espaciales. Esta tecnología se aplica por igual a los sistemas de satélites y a las estaciones terrenas.

Tecnología de los amplificadores con bajo nivel de ruido y alta potencia

Con los transpondedores de satélite cada vez más potentes y las estaciones terrenas cada vez más sensibles, ha aumentado el número de canales de comunicación que pueden incorporarse a una determinada anchura de banda.

Osciladores y convertidores de frecuencia de alta precisión

La estabilidad y la pureza de los osciladores, así como las fuentes del reloj obtenido a partir de los osciladores, son factores de gran importancia en los sistemas de comunicaciones digitales. Por ejemplo, en los sistemas de AMDT de alta capacidad para comunicaciones por satélite, el instante de llegada al transpondedor del satélite de las ráfagas transmitidas por las numerosas estaciones terrenas participantes es controlado con precisión de microsegundos a pesar de los movimientos físicos del satélite, los desplazamientos por efecto Doppler y otras anomalías de propagación. Si este control estricto no fuese posible, habría que dejar más tiempo de guarda entre ráfagas, lo que supondría una pérdida de capacidad del canal.

Tecnología del módem

Un criterio importante de la tecnología del módem es reducir el valor umbral de la relación C/N (portadora/ruido) para una determinada proporción de bits erróneos (BER). Un módem con una relación C/N baja requiere menos potencia del satélite, lo que significa que esa potencia puede ser utilizada por

otros canales del satélite. La evolución de la tecnología del módem está estrechamente relacionada con la tecnología de la corrección de errores en recepción (FEC).

Utilización del procesamiento de la señal digital

El procesamiento de la señal digital permite, entre otras cosas, la tecnología de corrección de errores en recepción (FEC).

Otros avances en este campo son la utilización del procesamiento de la señal digital para la compresión y descompresión de las señales a velocidades de transmisión cada vez más bajas. Esta tecnología puede aplicarse a toda clase de señales analógicas tales como canales de banda vocal o señales de televisión. Como unas velocidades de transmisión más bajas suponen una disminución de la anchura de banda del transpondedor, es posible aumentar el número de canales que caben en una determinada anchura de banda.

Otro ejemplo del procesamiento de la señal digital en sistemas de satélites para comunicaciones fijas es el equipo de multiplicación de circuitos digitales (DCME) que se describe en el siguiente punto. Esta tecnología permite multiplicar por 5 el número de canales de telefonía y de datos transportados por un canal de RF del satélite.

2.4.1.2 Equipo de multiplicación de circuitos digitales

Una de las grandes ventajas de convertir los sistemas de comunicaciones de tecnología analógica a tecnología digital es disponer de una amplia gama de posibilidades para el procesamiento de las señales. La ingeniería de los sistemas digitales ha evolucionado notablemente gracias a la combinación de tres conceptos de procesamiento que ya han permitido, cada uno por separado, mejoras importantes en el diseño de sistemas digitales. Estos conceptos son los siguientes: 1) técnicas de codificación a baja velocidad (LRE) y de compresión/descompresión, 2) interpolación de voz digital (DSI), y 3) técnicas de corrección de errores en recepción (FEC). El equipo utilizado para los dos primeros procesos combinados es conocido como equipo de multiplicación de circuitos digitales (DCME).

La corrección de errores en recepción (FEC) es incorporada en las portadoras digitales de RF transmitidas por los enlaces de satélite.

Las técnicas LRE y DSI son las dos principales tecnologías combinadas en los DCME. La codificación a baja velocidad (LRE) consiste en una reducción del número de bits necesarios para transmitir un determinado elemento de información. El canal MIC normalizado de 64 kbit/s resulta del muestreo de un canal analógico de entrada (8000 veces por segundo) y de la conversión de cada muestra en un código MIC de 8 bits.

Ahora bien, existen técnicas para disminuir notablemente el número de bits transmitidos en cada muestra. Dicha disminución depende de la calidad de servicio exigida y del tipo de transmisión (conversación, voz-datos o señalización). Es posible lograr reducciones desde 64 kbit/s hasta 8 kbit/s y el UIT-T está desarrollando un codificador de voz que funcionará a 4 kbit/s.

El sistema de interpolación de voz digital (DSI) utiliza técnicas de asignación dinámicas, es decir, se asigna un intervalo de tiempo (canal de satélite) a un determinado canal de comunicaciones internacional, por demanda, pero no se utiliza el mismo intervalo de tiempo durante toda la llamada. Esta técnica es posible porque durante una conversación telefónica la señal vocal no es continua, lo que significa que no es necesario ocupar el canal permanentemente y, por consiguiente, el intervalo de tiempo puede ser asignado a otro canal. Los circuitos DSI concentran varios canales terrenales de entrada (canales principales) en un número más pequeño de intervalos de tiempo (canales portadores o canales de satélite). En el otro sentido de transmisión, los canales portadores concentrados se expanden para obtener un mayor número de canales principales. El sistema admite hasta 61 canales de satélite (intervalos de tiempo) (81 en condiciones sobrecarga).

El sistema de intercambio de intervalos de tiempo (TSI, *time slot interchange*) es una técnica de asignación estática de los DCME; es decir, los canales terrenales son asignados manualmente a canales internacionales hasta que sea necesaria una reasignación manual. Las líneas terrenales de entrada al DCME se presentan en portadoras de 2 Mbit/s (generalmente hasta 10), en las que puede haber muchos intervalos de tiempo libres. Por consiguiente, el número de canales terrenales posibles (generalmente 310) es superior a la capacidad de tratamiento de canales internacionales por los circuitos DSI (216). El proceso de asignación estática (TSI) consiste en seleccionar manualmente 216 canales internacionales de un máximo de 310 canales terrenales. Los 216 canales internacionales seleccionados por esta técnica de asignación estática (TSI) entre los 310 canales terrenales se comprimen en 61 canales de satélite (u 81) utilizando una técnica de asignación dinámica (DSI).

Cada canal principal o de concentración de enlaces es conectado a un determinado canal portador, sólo durante el tiempo de actividad (incluido el tiempo pertinente de bloqueo); es decir, mientras el canal principal esté transportando una ráfaga de conversación o transmitiendo datos en la banda vocal o señalización. Si se considera el intervalo habitual entre ráfagas de conversación en las llamadas telefónicas, el canal principal sólo estará activo durante un 30-40% del tiempo. Por tanto, cuando el servicio tiene un alto número de canales principales, es posible reducir sensiblemente el número de canales portadores (satélite) (2,5 a 3,0 veces menos), asignando los portadores de satélite «por demanda». Ahora bien, el equipo debe ofrecer también la posibilidad de preasignar los canales.

Es necesario transmitir frecuentemente información para asignación de principal/portador, entre las estaciones terrenas correspondientes, a fin de asegurar la conexión del canal principal transmisor al canal receptor apropiado en destino durante la conversación telefónica o la transmisión de datos en la banda vocal. Esta información es transmitida por un canal de asignación (AC, *assignment channel*) especial.

En el lado de la interfaz terrenal, todos los módulos DCME están conectados a un centro de conmutación internacional (ISC) que comprende hasta 10 enlaces de comunicaciones de 2 Mbit/s: un total de 310 canales de voz o datos (64 kbit/s) y 20 canales de sincronización y señalización. En el lado de la interfaz de satélite, todos los módulos DCME están conectados a un módem de velocidad de transmisión de datos intermedia (IDR, *intermediate data rate*) que permite transmitir los datos de información a una velocidad de 2,048 Mbit/s.

El DCME puede utilizarse en aplicaciones diferentes de los sistemas de comunicaciones por satélite (cables submarinos, por ejemplo). Si se emplea para aplicaciones de satélites, los modos operativos son los siguientes:

- Modo de un solo destino (SD).
- Modo multigrupo (MC).
- Modo multidestino (MD).
- Modo mixto SD/MD.

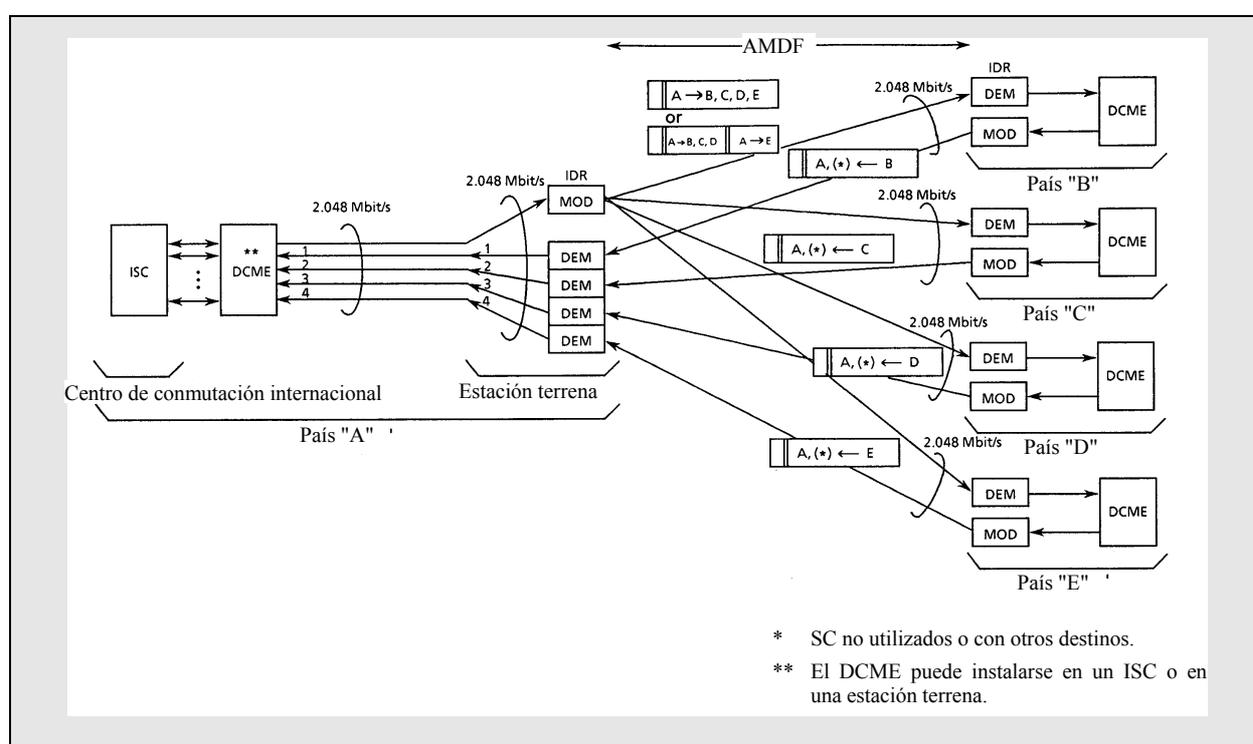
Como su nombre lo indica, el modo de un solo destino es el más sencillo y también el más económico para grandes usuarios. En lo que concierne al equipo DCME/IDR, es suficiente una serie de módulos DCME redundantes y un conjunto de módems IDR redundantes. Además, la estación terrena necesita convertidores amplificadores y reductores, amplificadores de bajo nivel de ruido, amplificadores de potencia y una antena. El equipo DCME/IDR puede instalarse en una configuración nueva de estación terrena o en una estación existente. En este último caso puede que la estación ya disponga de algunos elementos tales como el enlace por microondas terrenal, el sistema de alimentación de energía y la climatización.

En modo multigrupo, los canales portadores de satélite del lado de transmisión están divididos en uno o dos bloques separados. Cada uno de estos «grupos» corresponde a un destino diferente. Es necesario instalar dos demoduladores (IDR) en la estación terrena para cubrir dos destinos. La salida de los dos demoduladores comprende los canales deseados y no deseados. Para no enviar estos últimos al ISC (lo cual reduciría la capacidad del enlace terrenal), el sistema selecciona únicamente los canales deseados

y utiliza un equipo de interconexión digital o de ramal digital para enviarlos al ISC. Si el DCME se instala en el ISC, en vez de en la estación terrena, la disminución del número de canales de satélite indispensables se extiende al enlace terrenal.

El modo multidestino permite cubrir hasta 4 destinos con una instalación DCME y es económico para pequeños usuarios que transmiten a diferentes destinos. Todos los canales portadores de satélite son tratados por el sistema DSI, sea cual sea el destino del canal. En la Figura 2.4.2 se representa un sistema con 4 destinos. En este ejemplo, una instalación DCME necesita un modulador IDR y 4 demoduladores. El DCME puede instalarse en la estación terrena o en el ISC.

Figura 2.4.2 – Principios de funcionamiento del sistema DCME/IDR multidestino



El DCME en un enlace de satélite asegura la prestación de servicios portadores RDSI (red digital de servicios integrados). Ello significa que el DCME debe ser transparente a canales terrenales de 64 kbit/s en modo de circuito, no restringidos, utilizados con diferentes protocolos de acceso. También es necesario que el canal de 64 kbit/s pueda transmitir datos en la banda vocal de 3,1 kHz a partir de un módem. Por otra parte, el DCME debe tratar alternativamente transmisiones de voz y de datos durante la misma llamada.

2.4.1.3 Sistemas de telefonía y datos por satélite internacionales de gran capacidad

La capacidad es la principal diferencia entre los sistemas de comunicaciones por satélite utilizados para enlaces internacionales y para comunicaciones nacionales o regionales. Las estaciones terrenas internacionales son generalmente instalaciones de gran capacidad que pueden tratar cientos, incluso

miles, de canales de voz y datos, y múltiples canales de televisión. La mayoría de los sistemas nacionales o regionales son instalaciones de baja o media capacidad, quizás desde algunas docenas hasta varias centenas de canales y un solo canal de televisión.

Las estaciones terrenas tienen, básicamente, la misma tecnología, sea para enlaces internacionales de alta capacidad o para comunicaciones nacionales o regionales de baja capacidad. La diferencia consiste en adaptar las características de los equipos a la aplicación y en utilizar equipos para aumentar el número de canales en los enlaces de alta capacidad.

En este punto se consideran los distintos subsistemas de equipos con que cuenta una estación terrena típica. A continuación se indican las principales diferencias entre las estaciones terrenas de alta y de baja capacidad:

- La antena es más grande para aumentar la ganancia y, por tanto, la capacidad de la estación. Generalmente, se utiliza una antena de 16-18 metros de diámetro. El factor de calidad de la estación está determinado por el valor G/T (relación entre la ganancia de la antena receptora y la temperatura de ruido térmico del sistema en grados Kelvin). Por ejemplo, una antena de 16 metros de diámetro que funciona a 4 GHz puede tener una ganancia de recepción de $3,16 \times 10^{-5}$ (55 dB) y una temperatura de ruido de 100°K en el ángulo de elevación de funcionamiento. Esta temperatura de ruido tiene dos componentes principales: la temperatura del amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) (por ejemplo, 50°K) y la temperatura de ruido de la antena (50°K). En estas condiciones, el valor G/T de la estación es 35 dB/K, característico de una estación terrena internacional. En el siguiente punto de este Manual pueden verse las características de los equipos de alimentación y de seguimiento de la antena.
- Los amplificadores de alta potencia (HPA) necesitan una potencia de salida superior. Dado que las estaciones internacionales importantes transmiten normalmente dos o más portadoras de RF por el mismo HPA, la reducción de potencia necesaria en el amplificador puede ser relativamente importante debido a las condiciones de intermodulación y los HPA deben ofrecer una capacidad suficiente.
- Es preciso que los moduladores y demoduladores puedan manejar trenes de datos de información de alta capacidad, habitualmente de 2,048, 6,312, 8,448, 32,064, 34,368 y 44,736 Mbit/s. Algunas aplicaciones de los sistemas de comunicaciones por satélite pueden necesitar velocidades aún superiores, tales como 139,264 Mbit/s en la jerarquía digital plesiócrona (PDH) y 155,52 Mbit/s en la jerarquía digital síncrona (SDH).
- Muchas estaciones terrenas de gran capacidad están formadas por equipos de multiplicación de circuitos digitales (DCME) que utilizan las tecnologías de codificación a baja velocidad (LRE) y de interpolación de conversación digital (DSI) para aumentar (hasta 5 veces más) el número de canales de voz o canales de datos en la banda vocal en una determinada anchura de banda del transpondedor del satélite.

Módems de gran capacidad

La tecnología del modulador-demodulador (módem) ha evolucionado mucho en los últimos años. Los equipos son más pequeños y se han incorporado numerosas funciones en circuitos de integración a gran escala (LSI, *large scale integration*). Una de ellas es la tecnología de corrección de errores en recepción (FEC) que permite utilizar el demodulador con valores cada vez más bajos de la relación portadora/ruido (C/N) o de la relación densidad de energía por bit/ruido (E_b/N_0), para una determinada proporción de bits erróneos (BER).

El mercado ofrece actualmente módems de gran capacidad para estaciones terrenas en diversas configuraciones tales como moduladores y demoduladores separados físicamente, módems combinados, módems con velocidad de transmisión fija, módems con velocidad de transmisión variable y módems en tarjeta de circuito impreso enchufable o en bastidor.

En la configuración de módem combinado, en cada estante permanece un módem en reserva para los otros 8 módems en línea; el estante lleva incorporados dispositivos de control de conmutación automáticos y manuales. Además, el estante tiene otros componentes: combinadores de FI, divisores y un tablero de conexiones. En lo que concierne a la capacidad de canales, un bastidor de 210 cm permite instalar hasta 32 módems en línea, con una capacidad total máxima de 3 840 canales de voz y/o datos de 64 kbit/s, con 64 canales de sincronización y señalización. La capacidad medida del bastidor en bits por segundo es de unos 270 Mbit/s.

El módem, como unidad separada o combinado, puede funcionar con índices de corrección de errores en recepción (FEC) de 1/2, 3/4 y 7/8, y puede utilizar la tecnología de codificación concatenada Reed-Solomon. Las interfaces de usuario son RS-422/449 o V.35 (48-8 448 kbit/s), o la de la Recomendación UIT-T G.703 (1 544-8 448 kbit/s). Para un índice de FEC de 1/2, la proporción de bits erróneos (BER) del demodulador es normalmente de 1×10^{-6} o inferior, para una relación Eb/No de 6,1 dB. Para unos índices de FEC 3/4 y 7/8, los valores de la relación Eb/No son 7,6 dB y 8,7 dB, respectivamente.

El modulador y el demodulador utilizan las tecnologías de modulación por desplazamiento de 4 fases (MDP). La frecuencia intermedia (FI) es de 70 ó 140 MHz, y el módem puede sintonizar en pasos de 2,5, 22,5 ó 25 kHz en la banda de paso de la FI. El valor típico de estabilidad de frecuencia es $\pm 1 \times 10^{-6}$ anual. El modulador también produce las señales de sincronización y las señales del canal de servicio técnico (ESC) para los demoduladores correspondientes; se dispone, además, de señales multiplexadas de interrupción e inserción en velocidades de transmisión de datos entre 64 y 1 920 kbit/s. Para mantener los demoduladores sincronizados con los moduladores pueden instalarse equipos intermedios plesiócronicos/Doppler. El consumo de energía de un estante con el equipo completo (9 módems) es de unos 0,8 KVA.

Es preciso instalar dispositivos muy completos de comprobación y de control, local y a distancia, para asegurar el buen funcionamiento de los módems de gran capacidad. En los cuadros 2.4.1 y 2.4.2 aparecen los parámetros característicos de los dispositivos de comprobación y control en los módems actuales.

Cuadro 2.4.1 – Parámetros de comprobación y control de un modulador de gran capacidad

Parámetro	Control	Monitor
Estado del equipo		0
Frecuencia portadora (N.º de canal)	0	0
Nivel de portadora transmitida	0	0
Velocidad de transmisión de datos de información	0	0
Índice de FEC	0	0
Tipo de trama de transmisión	0	0
Interfaz terrenal de transmisión	0	0
Portadora activa/inactiva	0	0
Dispositivo de bucle de retorno activo/inactivo	0	0
Aleatorizador activo/inactivo	0	0
Alarma AIS		0
Pérdida registro de datos		0
Alarma de retorno		0

Cuadro 2.4.2 – Parámetros de comprobación y control de un demodulador de gran capacidad

Parámetro	Control	Monitor
Estado del equipo		0
Frecuencia portadora (N.º de canal)	0	0
Velocidad de transmisión de datos de información	0	0
Índice de FEC	0	0
Tipo de trama de recepción	0	0
Interfaz terrenal de recepción	0	0
Dispositivo de bucle de retorno activo/inactivo	0	0
Desaleatorizador activo/inactivo	0	0
Reposición de equipo intermedio	0	0
Proporción de bits erróneos		0
Pérdida de sincronización		0
Alarma AIS		0
Alarma de alta proporción de bits erróneos		0
Alarma de retorno	4 destinos	0

2.4.1.4 Sistemas de satélites nacionales y regionales de baja y media capacidad (DOMSAT)

La liberalización de la política de telecomunicaciones que ha invadido el mundo en los últimos años y las perspectivas de una mayor liberalización han provocado la aparición de nuevos sistemas de satélites en todo el mundo implantados por organizaciones que anteriormente, bajo los regímenes de monopolio, no podían establecer sus propios sistemas. Estos sistemas, que normalmente tienen más capacidad de tráfico que la que pueden proporcionar los sistemas VSAT (terminales de apertura muy pequeña, *very small aperture terminal*), generalmente cubren el territorio de un cierto país (Domsats), pero también pueden cubrir una región de países.

La multiplicación de nuevos sistemas de satélite y la evolución hacia bandas de frecuencias superiores obliga a utilizar sistemas muy flexibles en las estaciones terrenas, y subsistemas particularmente fiables y económicos, porque muchas estaciones funcionarán sin vigilancia. El consumo de potencia es otro criterio importante en el diseño de estos nuevos equipos, dado que cada vez más estaciones terrenas son alimentadas por fuentes de energía alternativa, por ejemplo, generadores solares.

Las estaciones terrenas digitales actuales están formadas por una gran diversidad de equipos:

- 1) sistema de antena con dispositivos de alimentación y seguimiento (en su caso);
- 2) dispositivos de bajo nivel de ruido;
- 3) dispositivos de alta potencia;
- 4) convertidores de frecuencia (amplificadores y reductores);
- 5) módems (descritos en el apartado anterior);
- 6) sistemas centralizados de comprobación y control.

Para ofrecer una tecnología de antena flexible, se emplean sistemas que funcionan simultáneamente en las bandas C y Ku (bandas de 6/4 y 14/11 GHz). Esto es importante porque muchos satélites modernos van equipados con transpondedores para las dos bandas de frecuencia del SFS. Además, la flexibilidad es una ventaja para los enlaces ascendentes de televisión y las estaciones terrenas de restablecimiento de cable que tienen que acceder a satélites diferentes que funcionan en banda C, en banda Ku o en ambas bandas simultáneamente.

El desarrollo de dispositivos de bajo nivel de ruido como sección de entrada de la estación terrena se ha centrado principalmente en la reducción de la temperatura de ruido y de las dimensiones del equipo, en ampliar el tiempo medio de funcionamiento entre fallos (MTBF) y en ofrecer equipos que no necesiten mantenimiento y puedan funcionar sin refrigeración. No es raro utilizar actualmente amplificadores de bajo nivel de ruido (LNA) que permiten valores de MTBF de 500 000 horas.

Los primeros amplificadores de potencia (klistrones y dispositivos de onda progresiva) han sido reemplazados por amplificadores de transistores de efecto de campo (FET) conocidos con la denominación genérica de amplificadores de potencia de estado sólido (SSPA, *solid state power amplifiers*). Las dimensiones se han reducido considerablemente, y son mucho más fiables, principalmente gracias a la alimentación menos compleja.

Los convertidores de frecuencia son componentes esenciales de una estación terrena para realizar la conversión entre las bandas de frecuencia intermedia (FI) comunes y las frecuencias de RF asignadas en el transpondedor del satélite. Debido a la evolución de la tecnología de comunicaciones de analógica a digital, las prestaciones de los convertidores influyen más en los valores de ruido de fase, linealidad, señales de salida no esenciales y fiabilidad. Los convertidores de frecuencia modernos utilizan tecnologías avanzadas tales como amplificadores de RF monolíticos FET, amplificadores de FI monolíticos bipolares, y circuitos integrados híbridos de microondas (MHIC, *microwave hybrid integrated circuits*) de película delgada y de película gruesa.

Es importante diseñar correctamente los moduladores y demoduladores de las estaciones terrenas digitales porque influyen notablemente en la calidad general del enlace de satélite, pueden permitir el funcionamiento con una potencia de RF inferior desde el satélite y mantienen un enlace de comunicaciones de excelente calidad. Ello se logra utilizando esquemas sofisticados de corrección de errores en recepción (FEC) que reducen el umbral del demodulador a valores mínimos.

Por último, es importante prever un sistema de control y comprobación centralizado de una o varias estaciones terrenas o un sistema Domsat o regional completo porque el equipo funciona frecuentemente sin vigilancia, no sólo en la estación terrena principal (central) sino también en las estaciones distantes que dependen de la central. Un subsistema moderno de comprobación y control consiste en un equipo informatizado (generalmente un ordenador personal, o varios funcionando en una red de área local) que permite a un solo operador vigilar y realizar el seguimiento de todos los equipos de las estaciones terrenas principales y distantes. El soporte lógico utilizado al efecto refleja el desarrollo de las modernas arquitecturas windows, con una interfaz lógica para el usuario.

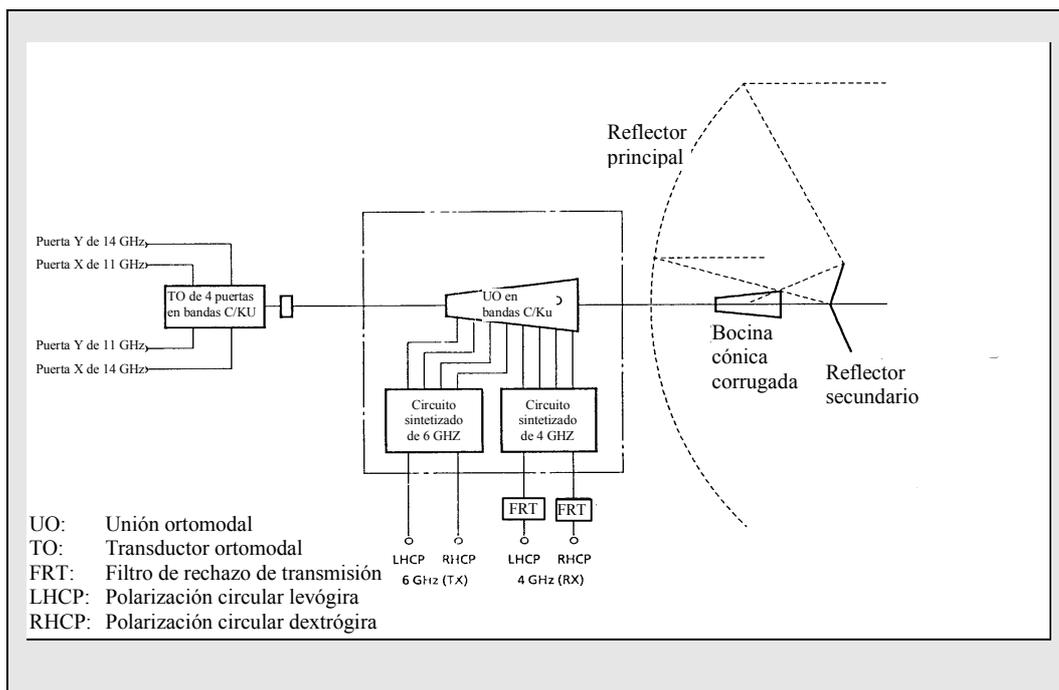
Estructuras de antena combinada para bandas C/Ku

Para cubrir los diferentes tipos de estaciones terrenas y las distintas bandas de frecuencias, se dispone actualmente de tecnología de antenas parabólicas que combina las bandas C y Ku, con excitación de transmisión y recepción simultánea de doble banda y doble polarización y para diámetros de antena entre 7,6 y 16 metros. Se ha acostumbrado utilizar polarización circular doble en las bandas C de 4/6 GHz y polarización lineal doble en las bandas Ku de 11-12/14 GHz. Debido al aumento en la demanda de bandas de frecuencia, es probable que las polarizaciones lineal y circular también se utilicen en las bandas C y Ku, respectivamente. También es de esperar la introducción de una tecnología de excitación con conmutación entre polarización lineal y circular en los sistemas de satélites.

Excitación combinada en las bandas C/Ku

La evolución reciente de la tecnología de antenas se ha concentrado en la excitación combinada en las bandas C/Ku. La Figura 2.4.3 representa el concepto básico de antena parabólica combinada de doble banda/doble polarización. El sistema de excitación es una estructura física integrada de unos 3 metros de longitud, que contiene exclusivamente dispositivos de microondas pasivos.

Figura 2.4.3 – Excitación de antena combinada en bandas C/Ku de doble frecuencia/doble polarización



En el cuadro 2.4.3 pueden verse los valores de la ganancia (dB) total de transmisión y recepción de la antena en las bandas C y Ku, así como la temperatura de ruido térmico en grados Kelvin (K).

Seguimiento de satélites

Según el diámetro de la antena de una estación terrena determinada y los de movimientos del vehículo espacial correspondiente, en algunos casos es necesario un seguimiento del satélite manual o automático y en otros no. El grado de sofisticación del equipo de seguimiento puede variar de un usuario a otro.

No siempre es necesario instalar equipos de seguimiento en terminales de pequeñas estaciones terrenas que están equipados con antenas de hasta 5-6 metros de diámetro y utilizan satélites geoestacionarios porque la anchura del haz de la antena es tan amplio que el satélite nunca sale fuera del haz. Algunas estaciones sólo necesitan un mínimo de equipos de seguimiento de forma manual o motorizada, para la reorientación esporádica de la antena.

Cuadro 2.4.3 – Valores de ganancia y temperatura de ruido térmico de las antenas de bandas combinadas

	Diámetro de la antena combinada en bandas C/Ku																			
	7,6-metros				9,2-metros				11-metros				13-metros				16-metros			
	Ganancia (dB)				Ganancia (dB)				Ganancia (dB)				Ganancia (dB)				Ganancia (dB)			
Banda de recepción 4,0 GHz	48,0				49,7				51,4				53,0				54,9			
Banda de transmisión 6,0 GHz	51,7				53,7				55,4				56,9				58,1			
Banda de recepción 11,2 GHz	55,2				57,6				59,6				61,1				61,2			
Banda de transmisión 14,25 GHz	56,8				59,0				60,9				62,3				62,3			
Elevación (grados)	5	10	20	40	5	10	20	40	5	10	20	40	5	10	20	40	5	10	20	40
Ruido térmico a 4 GHz (K)	59	46	40	37	58	45	39	36	57	44	38	35	56	44	38	35	58	46	41	38
Ruido térmico a 11,2 GHz (K)	93	75	63	56	90	73	61	54	89	72	60	53	89	72	60	53	94	77	66	59

Las estaciones terrenas más importantes, de la categoría Intelsat Norma A, que tienen antenas de 16 metros o más de diámetro necesitan un equipo de seguimiento automático cualquiera que sea el satélite utilizado. Ello se debe a la muy reducida anchura del haz de las antenas de estas estaciones. Por ejemplo, con una antena de 16 metros para la banda Ku, la anchura del haz a potencia mitad será de unos 0,12 grados a 11,2 GHz. La capacidad de seguimiento automática o manual sencilla es un requisito mínimo para estas estaciones si funcionan con satélites geoestacionarios estables, pero el grado de complejidad de la tecnología de los equipos de seguimiento aumenta rápidamente si una estación terrena determinada debe funcionar con satélites menos estables o no geoestacionarios; si la estación tiene que conmutar rápidamente entre dos o más satélites; si se encuentra en una región expuesta a problemas frecuentes de atenuación o centelleo; o incluso si va a funcionar con satélites en órbitas estables pero inclinadas con respecto a la órbita de los satélites geoestacionarios.

La tecnología de seguimiento de satélites ha evolucionado desde los sistemas analógicos monoimpulsos, basados en las primeras técnicas de radar, hasta la moderna tecnología digital de seguimiento por pasos con control informático, que es más económica y permite otras funciones. La unidad de control de antena (ACU, *antenna control unit*) es el sistema de mando por microprocesador empleado generalmente para realizar estas funciones.

Los sistemas ACU más sencillos consisten en equipos motorizados para seguimiento únicamente manual. Pueden instalarse sin convertidor descendente ni receptor de radiobaliza, a no ser que sea necesaria una indicación de señales de radiobaliza. En los equipos de seguimiento automático, la ACU mide periódicamente el nivel de cc de la radiobaliza. Si la señal cae por debajo de un nivel predeterminado, la ACU

desplaza por pasos la estructura de la antena en acimut y elevación hasta obtener la señal adecuada. Estos movimientos de la antena vienen determinados por una unidad de control del motor que alimenta los motores que desplazan la antena (ca o cc). Tras optimizar el nivel de la señal adecuada, la ACU desconecta el equipo de seguimiento durante un tiempo predeterminado o hasta el siguiente estado de caída de la señal.

A continuación se indican los modos de seguimiento habituales (uno o varios) en las estaciones terrenas modernas, según las condiciones de funcionamiento:

- Modo manual. Desde el panel frontal de la ACU, el operador de la estación terrena desplaza manualmente la antena en acimut y elevación hasta lograr la orientación deseada.
- Modo automático. El sistema de seguimiento funciona de forma totalmente automática, siguiendo los movimientos del satélite.
- Modo predeterminado. El operador de la estación terrena, mediante el panel frontal de la ACU registra una posición del satélite en acimut y elevación. La ACU desplazará la antena a la posición registrada en un instante determinado o al pulsar un botón.
- Modo programado. El operador de la estación terrena registra 11 parámetros de datos efímeros proporcionados por el operador del satélite. Con esta información, la ACU hace los cálculos y desplaza la antena periódicamente orientándola hacia la posición del satélite.
- Modo de memoria. Para seleccionar este modo de seguimiento es preciso hacer inicialmente un periodo de seguimiento automático de las últimas 26 horas como mínimo. La ACU utilizará esta información para realizar a partir de entonces el seguimiento del satélite. Se supone que la órbita no varía de un día a otro, o lo hace sólo muy ligeramente.
- Modo de seguimiento con programa inteligente de autoaprendizaje. Este modo de seguimiento, que podría llamarse activo, es una forma perfeccionada del modo de memoria (pasivo). En este modo inteligente, la ACU analiza la información de seguimiento de las últimas 24 horas, y basándose en los resultados prevé la posición del satélite en adelante. Es más preciso que cualquier otro modo, incluido el de seguimiento automático. Como el equipo se activa con menos frecuencia, los mecanismos físicos de la antena sufren menos desgaste. Puede funcionar sin señal de radiobaliza y es particularmente apropiado para estaciones terrenas con problemas frecuentes de centelleo.

La sofisticación de la ACU y del sistema de seguimiento es muy conveniente si se tiene en cuenta que el equipo no puede saber si una caída de la señal de cc se produce:

- 1) porque el satélite está saliendo del haz principal de la antena;
- 2) debido a una reorientación del haz principal de la antena de la estación terrena, por ejemplo, debido a un fuerte viento;
- 3) por anomalías de propagación de la señal de la radiobaliza en amplitud y fase (aplicable particularmente a los sistemas de 14/11 GHz);
- 4) a causa de ausencia o avería de la señal de la radiobaliza. La ACU debe analizar y resolver todos estos problemas.

Amplificadores/convertidores de bajo nivel de ruido

La fiabilidad de los enlaces de comunicaciones por satélite depende en gran medida de un pequeño FET de arseniuro de galio (GaAs) de bajo nivel de ruido, instalado en la estructura de la antena próxima al alimentador. La cadena de amplificación es conocida como amplificador de bajo nivel de ruido (LNA). En algunos casos, las señales recibidas del satélite se reducen en frecuencia en el mismo dispositivo físico, en cuyo caso el amplificador frontal recibe el nombre de convertidor de bajo nivel de ruido (LNC).

La tecnología de amplificador de bajo nivel de ruido para las comunicaciones de satélite ha evolucionado desde los iniciales amplificadores de diodos de banda estrecha, refrigerados por helio o nitrógeno líquido, hasta los modernos dispositivos FET de GaAs de banda ancha que no requieren refrigeración. Al mismo tiempo, se ha reducido enormemente el tamaño de los LNA, hasta tal punto que algunos sistemas integran prácticamente el amplificador en el guíaondas.

Cuando se utiliza la banda Ku, las estaciones terrenas pueden funcionar con sistemas LNA o LNC en dicha banda Ku. En el primer caso, el amplificador tiene aproximadamente las mismas dimensiones que un LNA de banda C. La temperatura de ruido de estos LNA está entre 80°K y 180°K, y la ganancia es de unos 55 dB. Según las aplicaciones, la anchura de banda del LNA puede ser muy grande, por ejemplo, para cubrir todas las bandas de frecuencia del servicio fijo por satélite (SFS) (10,95-12,75 GHz).

Si en las estaciones terrenas de la banda Ku el amplificador de la sección de entrada es un convertidor de bajo nivel de ruido (LNC), este sistema reduce la frecuencia de las señales entrantes de 11-12 GHz del satélite, a una banda de FI fija, generalmente de 1,0-1,5 GHz. Los valores de temperatura de ruido y ganancia son, generalmente, del mismo orden que en el sistema LNA, entre 80°K y 180°K, y la ganancia de 55 dB, según la aplicación.

Amplificadores de alta potencia (HPA)

Si la estación terrena necesita una potencia de transmisión del orden de kilowatts para las bandas del SFS, se instalará un amplificador de alta potencia (HPA) constituido esencialmente por un tubo de ondas progresivas (TWT) o un Klistrón. Las características técnicas y los costes, iniciales y de funcionamiento, determinan la solución adecuada en cada aplicación.

Gracias a la evolución de la tecnología de estado sólido, muchos de los HPA de las estaciones terrenas son amplificadores FET, adaptados progresivamente de las bandas de frecuencia de microondas más bajas a la banda Ku o bandas más altas con potencia de salida cada vez más alta. Estos amplificadores suelen recibir el nombre genérico de amplificadores de potencia de estado sólido (SSPA) y son soluciones interesantes por sus buenas prestaciones técnicas, su bajo consumo de potencia y su elevada fiabilidad. Por estos mismos motivos, también son utilizados, cada vez más, como amplificadores de potencia en los modernos transpondedores de satélite.

Los actuales amplificadores de potencia para nuevas estaciones terrenas deben incorporar las siguientes características:

- Excelente nivel de fiabilidad y elevado tiempo medio entre fallos (MTBF).
- Valores altos de la ganancia y de estabilidad de la ganancia.
- Baja distorsión de intermodulación.
- Bajo consumo de potencia.
- Baja conversión AM/PM.
- Bajos niveles de ruido residual de MA y de fase.
- Bajos niveles de sobreintensidad de entrada.
- Bajos niveles de señales de salida no esenciales.
- Facilidad de funcionamiento y mantenimiento.
- Indicadores adecuados de estado y de fallos.
- Protección adecuada y circuitos de alarma con secuencia lógica para evitar problemas de funcionamiento.
- Reiniciación automática tras interrupción de la alimentación u otros problemas.

- Conjunto compacto e integrado.
- Integración posible en una cadena de transmisión redundante con conmutación automática entre los HPA activo y de reserva.
- Posibilidad de supervisión y control a distancia.

El HPA adecuado para cada estación terrena depende del satélite utilizado y de la banda de frecuencias de funcionamiento. El cuadro 2.4.4 resume las capacidades típicas de la potencia de salida de los HPA en las bandas de frecuencias atribuidas a las comunicaciones por satélite, para las tres clases principales de amplificadores.

Cuadro 2.4.4 – Cuadro 2.4.4 – Potencia de salida de los HPA en distintas bandas de frecuencias

	Banda de frecuencias	Potencia de salida
HPA de tipo TWT	5,850-6,425 GHz	700W, 3KW
	12,75-13,25 GHz 13,75-14,50 GHz	13W, 300W, 600W
	14,00-14,50 GHz	1KW
	17,20-18,10 GHz	400KW
	Banda de 30 GHz	100W, 200W, 500W
HPA de KLYSTRON	5,850-6,475 GHz	1,7KW, 3,4KW
	14,00-14,50 GHz	2KW, 3KW
	17,30-18, GHz	1,5KW
	Banda de 30 GHz	350KW, 450KW
HPA de tipo SSPA	1,626-1,661 GHz	5W, 50W
	5,850-6,425 GHz	10W, 20W, 50W, 100W
	14,00-14,50 GHz	6W, 15W, 35W

Convertidores de frecuencia

La función de los convertidores de frecuencia es más importante ahora que se utilizan sistemas de comunicaciones por satélite digitales en vez de analógicos.

Se utilizan convertidores elevadores y reductores de frecuencia para realizar la conversión entre las bandas de RF y de FI. Los convertidores elevadores colocan una o varias portadoras de RF, en la banda de paso de frecuencias del transpondedor del satélite asignada en sentido de transmisión. De forma similar, los convertidores permiten recibir una o varias portadoras de RF en la banda de paso de frecuencias del transpondedor asignada en sentido de recepción. Los convertidores (elevadores y reductores) están sintonizados normalmente a la frecuencia central del transpondedor. La FI tiene un valor de 70 ó 140 MHz. Si está previsto el funcionamiento con un transpondedor de satélite de 36 MHz normalizado, la FI de 70 MHz es suficiente. Para utilizar transpondedores con una banda de frecuencias más amplia, por ejemplo de 72 MHz, la FI de 140 MHz será más apropiada.

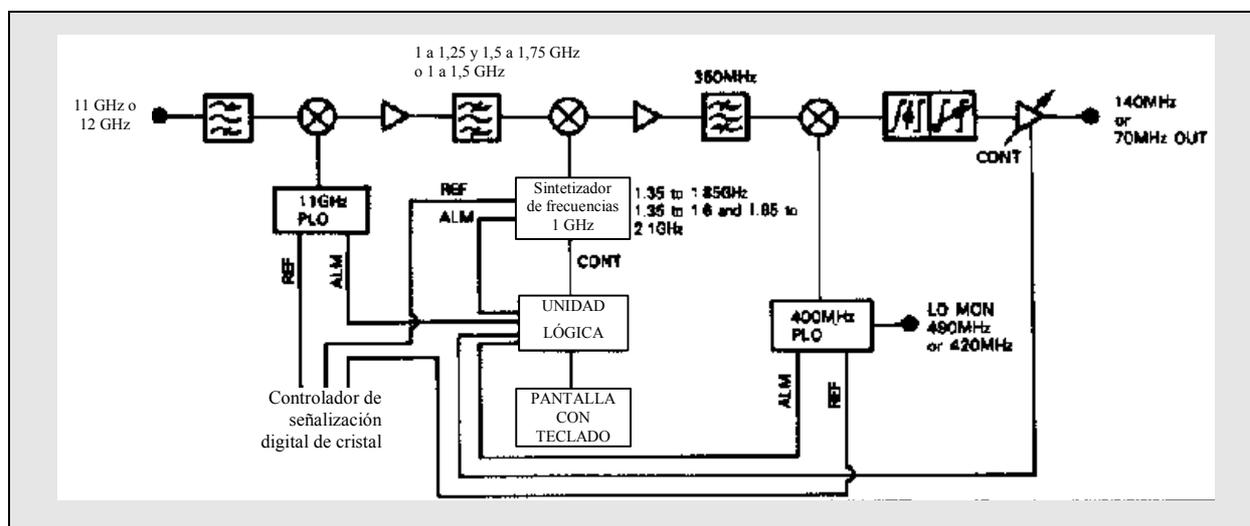
Los convertidores elevadores y reductores de frecuencia deben tener las siguientes características:

- Excelente nivel de fiabilidad y elevado tiempo medio entre fallos (MTBF).
- Valores altos de la estabilidad de la ganancia.

- Valores altos de linealidad.
- Baja distorsión de intermodulación.
- Respuesta plana de amplitud/frecuencia en FI/RF.
- Respuesta adecuada de retardo de grupo de FI/RF.
- Bajo consumo de potencia.
- Bajo nivel de ruido de fase.
- Bajo nivel de ruido térmico.
- Bajos niveles de señales de salida no esenciales.
- Facilidad de funcionamiento y mantenimiento.
- Indicadores adecuados de estado y de fallos.
- Posibilidad de supervisión y control a distancia.
- Conjunto compacto e integrado.
- Integración posible en una cadena de transmisión o recepción redundante con conmutación automática entre las unidades activa y de reserva.

El reductor convertidor reductor de frecuencia también ha de permitir la integración de sistemas de control automático de ganancia (CAG) y control automático de frecuencia (CAF), si éstos no forman parte del diseño básico. La Figura 2.4.4 representa un típico conversor reductor de triple conversión a 12 GHz.

Figura 2.4.4 – Diagrama de bloques de un convertidor reductor de triple conversión en la banda Ku



El empleo de circuitos integrados híbridos de microondas (MHIC) de película delgada y de película gruesa, así como de circuitos monolíticos del tipo de circuitos FET de GaAs y amplificadores de transistores bipolares, garantiza un alto nivel de fiabilidad y un elevado tiempo medio entre fallos (MTBF). Para facilitar y flexibilizar el funcionamiento, es recomendable emplear un oscilador local sintetizado en vez de un oscilador local de valor preasignado fijo. Por otra parte, los sistemas de triple conversión tienen la ventaja de reducir los pasos de frecuencia en el proceso de sintonización del convertidor elevador o reductor en la banda de paso seleccionada.

Moduladores y demoduladores

Los moduladores y demoduladores digitales empleados en los sistemas de satélites nacionales y regionales no son muy distintos, desde el punto de vista de la tecnología de los equipos empleados en sistemas de alta capacidad descritos en otro apartado del Manual. La capacidad de tráfico es la principal diferencia.

Es posible crear un sistema de satélites nacional de baja capacidad con un número reducido de canales de voz digitales preasignados, que pueden operar a velocidades de información muy bajas (16 kbit/s). Los sistemas de gran capacidad cubren varios cientos de canales de voz y datos. Como no es probable que todos los canales estén activos simultáneamente y teniendo en cuenta que no todos son necesarios entre los mismos emplazamientos geográficos cada vez que se utilizan, no será preciso asignar un espacio de frecuencia fijo a cada canal en el transpondedor del satélite. Estos sistemas funcionan con una forma de asignación de los canales de satélite por demanda, es decir, el sistema de satélites cuenta con un subsistema de *acceso múltiple de asignación por demanda* (DAMA) centralizando que asigna los canales según las necesidades. Así se consigue disminuir la anchura de banda del transpondedor del satélite y, por tanto, los costos de explotación del sistema de satélites.

La difusión de programas de televisión es una función muy importante de muchos sistemas de satélites nacionales. Los actuales transpondedores de satélite de gran potencia permiten sintonizarlos mediante pequeños receptores de TV con antenas en el tejado. La transmisión de TV analógica existe desde el inicio de las comunicaciones por satélite y aún hoy en día es el sistema adoptado en las nuevas instalaciones de estaciones terrenas, principalmente por el gran número de receptores de TV analógica en uso en la mayoría de los países. Ahora bien, la televisión analógica está siendo reemplazada poco a poco por la televisión digital, que permite utilizar más eficazmente la anchura de banda y la potencia de los sistemas de satélites, con las técnicas de compresión actuales, tales como MPEG-2. Las condiciones de la calidad de imagen y sonido definidas determinarán la velocidad de transmisión de datos de los moduladores y demoduladores de televisión digital. Por ejemplo, una velocidad de transmisión de datos de 64 kbit/s puede ser suficiente para una videoconferencia privada celebrada mediante ordenadores personales, pero los sistemas para transmisión de imagen y sonido con calidad de estudios necesitan una velocidad de 2 Mbit/s o superior.

Sistema de supervisión y control centralizado

Una solución adoptada frecuentemente para la explotación y el mantenimiento de los complejos sistemas de comunicaciones actuales consiste en instalar un sistema de supervisión y control en la estación terrena. Este sistema muy perfeccionado cubre la explotación y el mantenimiento de una a varias estaciones desde una instalación central, que no tiene por qué estar necesariamente situada en la estación terrena. También son conocidos como sistemas CSMS (sistemas informatizados de gestión de estaciones). Las funciones de un sistema de supervisión y control también pueden ampliarse a la supervisión y el control de estaciones terrenas distantes, colocadas bajo control de una estación terrena central en un sistema de satélites nacional o regional.

Un moderno sistema CSMS actual para supervisión y control de una estación terrena (o un complejo de varias estaciones terrenas) debe tener las siguientes características:

- Definido especialmente según la aplicación. Puede que un sistema de supervisión y control normalizado no funcione adecuadamente debido a la complejidad de las estaciones terrenas actuales.
- Debe ser completo y cubrir todos los procesos de explotación y mantenimiento de todos los subsistemas de equipos, tanto si proceden del mismo fabricante como si hay equipos de fabricantes diferentes. También debe poder realizar la supervisión de los equipos auxiliares tales como los detectores de humo y fuego o los detectores de intrusión.

- Debe tener un alto grado de flexibilidad. En caso de transformación de la estación terrena, por ampliación o sustitución de equipos, el personal de mantenimiento de la estación debe poder reconfigurar el sistema CSMS, sin necesidad de reprogramar su soporte lógico. Una función de formación y capacitación puede resultar muy útil.
- Debe incorporar funciones completas de registro para poder analizar las prestaciones de la estación o estaciones sin estar conectado.
- Debe ser fácil el aprendizaje de sus mecanismos de explotación. Ello significa que siempre que sea posible debe utilizarse un soporte físico normalizado y un sistema operativo informático claro y lógico, a imagen de los recientes desarrollos de soportes lógicos.

2.4.1.5 Sistemas VSAT

En los sistemas de satélites, el terminal de abertura muy pequeña (VSAT) es una solución muy eficaz para las comunicaciones de voz y datos con configuraciones que pueden cubrir miles de posiciones, pero con capacidad limitada en cada posición. Los sistemas VSAT son muy flexibles puesto que pueden ponerse en servicio rápidamente cubriendo unos pocos emplazamientos, y posteriormente pueden ampliarse a medida que lo vaya permitiendo el crecimiento del tráfico o las posibilidades económicas. Es, pues, un medio de comunicación muy apropiado para las comunicaciones rurales, donde cada pequeña comunidad puede necesitar únicamente unos pocos canales de voz y datos pero pueden existir cientos o incluso miles de telecomunidades dispersas a lo largo del país.

La solución VSAT también es interesante para ofrecer radiodifusión sonora y de televisión unidireccional con fines educativos o de otro tipo, además de las comunicaciones de voz y datos. En estos casos, los terminales VSAT distantes se utilizarán no sólo como estaciones emisoras y receptoras de voz y datos sino también como estaciones receptoras únicamente de televisión y radio.

Por otra parte, los terminales VSAT actuales permiten reconfigurar según demanda los canales de datos digitales, para adaptarse a condiciones particulares. Esta posibilidad promete muchas aplicaciones nuevas de las que la teleconferencia, en general, y la telemedicina, en particular, son algunas de las más importantes. Por ejemplo, las comunidades VSAT podrán recibir atención sanitaria completa de forma periódica, sin contar necesariamente con médicos de todas las especialidades, utilizando una cámara de vídeo y el equipo médico adaptado a las comunicaciones de datos. Durante la visita, se pondrá a disposición para las consultas entre pacientes y personal médico cualificado situado en centros especializados del país unos canales por satélite bidireccionales de voz y vídeo.

La flexibilidad de los sistemas VSAT también permite adaptarse a todas las condiciones de tráfico. Las necesidades de las distintas organizaciones, públicas y privadas, son diferentes. Por ejemplo, unas organizaciones necesitan 1) canales para comunicaciones de voz y comunicaciones continuas de datos con distintas velocidades de transmisión, entre muchas posiciones; otras organizaciones necesitan 2) comunicaciones de datos interactivas rápidas y frecuentes, y la transmisión ocasional de datos por lotes con velocidad fija, entre un ordenador central y muchas posiciones distantes; o 3) necesidad inmediata de estas dos formas de comunicaciones. También es necesario considerar el encaminamiento del tráfico según las condiciones. El sistema VSAT debe tratar 4) tráfico «*en estrella*», que tiene lugar totalmente o en su mayor parte entre un centro repartidor y los terminales VSAT distantes, y/o 5) tráfico «*en malla*», que está repartido uniformemente entre los terminales VSAT y la estación central, totalmente o en su mayor parte). También debe soportar 6) el modo de *difusión*, es decir, con transmisión simultánea de la estación de control o repartidora a un grupo determinado o a todos los terminales VSAT. Por último 7) debe ofrecer la posibilidad de realizar transmisiones de señales de televisión analógicas o digitales con el mismo equipo de RF utilizado para los canales de voz y datos en la estación repartidora y en los terminales VSAT.

Idealmente, el sistema VSAT debe ofrecer todas las funciones de comunicación antes descritas, y debe permitir distintas velocidades de transmisión entre usuarios. Además, el sistema VSAT debe poder utilizar el canal de satélite disponible (un transpondedor o parte de éste) de forma económica (desde el punto de vista de la potencia, la anchura de banda y el tiempo). También es importante que las condiciones de *gestión, supervisión y control* del sistema VSAT sean apropiadas.

Para preservar la *potencia* del transpondedor del satélite, el sistema VSAT incluye esquemas de codificación eficaces para la corrección de errores en recepción (FEC) que permiten el funcionamiento de los demoduladores del sistema con una relación portadora-ruido (C/N) muy baja y, por tanto, necesitan menos potencia del transpondedor. En sistemas para comunicaciones vocales, la codificación debe realizarse a la velocidad más baja posible de acuerdo siempre con la calidad deseada de la señal vocal.

Como la mejor solución es un sistema VSAT que pueda soportar distintas velocidades de transmisión para canales de voz y datos entre los usuarios, la *anchura de banda* del transpondedor del satélite debe asignarse por demanda. El concepto de anchura de banda por demanda (BOD) debe extenderse a las velocidades de transmisión entre todos los moduladores y demoduladores del sistema.

Es importante emplear el *tiempo* del transpondedor del satélite de la forma más eficaz posible. El control del sistema VSAT por acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA) es una solución; los circuitos del satélite (voz o datos) sólo son asignados por demanda (es decir, cuando son necesarios).

Un sistema VSAT fiable, capaz de funcionar regularmente y con un mínimo número de técnicos capacitados necesita un sistema de gestión de red (NMS: *network management system*) incorporado que pueda realizar todas las funciones de *gestión, supervisión y control*.

Los sistemas VSAT pueden utilizar las bandas C y Ku atribuidas a las comunicaciones por satélite. Los equipos y el soporte informático de los sistemas VSAT representan un avance tecnológico importante. Puede ponerse en servicio un sistema nuevo autónomo, pero también es posible integrar el sistema en la instalación existente de una estación terrena, lo cual representa una solución más rápida y más económica.

El anexo A describe con detalle una realización concreta de un sistema VSAT.

2.4.1.6 Sistema de transmisión de estación terrena DSNG TV transportable

Para satisfacer la creciente demanda de cobertura de televisión en el lugar de los hechos, el mercado ofrece actualmente equipos muy compactos con técnicas de compresión de vídeo y sonido según la norma MPEG-2 (más concretamente, ISO/IEC 13818-2). Estos equipos funcionan en las bandas Ku atribuidas a las comunicaciones de satélite para ofrecer sistemas prácticos, en cuanto a peso y dimensiones, y aprovechar las ventajas de los potentes satélites actuales.

Simplificando, puede decirse que el equipo consiste en una unidad exterior (ODU, *outdoor unit*) y una unidad interior (IDU, *indoor unit*).

Unidad exterior

La ODU contiene la antena, que según la capacidad de satélite disponible puede tener 75 ó 120 cm de diámetro, para la banda de transmisión de 14,0-14,5 GHz y la banda de recepción de 12,25-12,75 GHz. En la sección de entrada de la estación, el subsistema amplificador/convertidor con transistores de bajo nivel de ruido tiene una temperatura de ruido nominal de 120°K y la relación ganancia/temperatura (G/T) de la estación es de 15,25 dB/K aproximadamente para una elevación de 40 grados y una antena de 75 cm.

El equipo de transmisión consiste en un amplificador/convertidor de potencia TWT, con una potencia de salida nominal de 50 ó 100 W, según las capacidades del satélite. La estación alcanza una máxima potencia de transmisión (PIRE saturada) de unos 54 dBW, con una antena de 75 cm y el amplificador de 50 W.

El seguimiento del satélite es manual y la estación puede desplazarse libremente 360 grados en acimut y entre 25 y 55 grados en elevación. Puede transmitir con una fuerza de viento máxima de 20 metros/segundo. La ODU pesa aproximadamente 50 kg.

Unidad interior

El equipo de la IDU también está instalado en una caja de protección impermeable, de 52,2 × 49,4 × 50,2 cm y 60 kg de peso. La alimentación es de 115 ó 200 V de ca y consume aproximadamente 1 kVA (incluido el equipo de la ODU). Acepta señales normalizadas de vídeo y audio compuestas NTSC o PAL, con niveles de 1 Vp-p y 0 dBm, respectivamente. Las señales son comprimidas a una de las cuatro velocidades de codificación de vídeo, que el operador puede seleccionar en el equipo.

La velocidad de codificación de vídeo seleccionada depende, principalmente, de la potencia y la anchura de banda del satélite disponibles. En el cuadro 2.4.5 se resumen los parámetros de cuatro modos de transmisión. El modo «Normal» corresponde aproximadamente a la calidad de vídeo y audio de los receptores domésticos habituales. Este modo funciona con un vídeo codificado a una velocidad de 7 Mbit/s y una velocidad de transmisión en el satélite de 11,3 Mbit/s. Una FEC convolucional de índice 3/4 permite funcionar con una anchura de banda del transpondedor del satélite de 8 MHz. Por tanto, es posible integrar otras tres portadoras de televisión similares en un transpondedor normalizado de 36 MHz, siempre que tenga la potencia suficiente. El tren de datos de salida en el demodulador tiene una proporción de bits erróneos (BER) de 1×10^{-8} , o inferior, para una relación portadora/ruido (C/N) en recepción de 6,8 dB.

Cuadro 2.4.5 – Principales parámetros de transmisión de una estación terrena DSNG transportable

	Modo de transmisión			
	Normal	Extensión del umbral	Calidad media	Alta calidad
Velocidad de codificación de vídeo (Mbit/s)	7	5	10	13
Velocidad de transmisión (Mbit/s)	11,3	13,3	13,3	17,7
Anchura de banda de la portadora (MHz)	8	7	8	10,6
Índice de FEC convolucional	3/4	1/2	7/8	7/8
Número de portadoras del transpondedor de 36 MHz	4	4	4	3
C/N umbral con una BER de 1×10^{-8} (dB)	6,8	3,6	8,8	8,8

En los sistemas de transmisión donde la potencia del transpondedor del satélite está muy limitada, el operador puede seleccionar el «Modo umbral», en cuyo caso la velocidad de codificación de vídeo disminuye y la velocidad de transmisión aumenta comparada con el modo «Normal». El aumento se debe a la utilización de una FEC de índice 1/2, y el demodulador puede funcionar con una relación C/N de 3,6 dB solamente para la misma BER del modo «Normal».

Si los valores de potencia y anchura de banda del transpondedor del satélite son suficientes, el operador puede elegir los modos «Calidad media» o «Alta calidad» (que utilizan los parámetros de transmisión indicados en el cuadro). El modo de «Calidad media» corresponde, aproximadamente, a la calidad de

imagen de las transmisiones de televisión FM analógica de los sistemas transpondedor actuales. El modo «Alta calidad» ofrece niveles de imagen y sonido que son considerados excelentes por la mayoría de los usuarios, si bien no alcanzan el nivel de los sistemas de televisión de alta definición (TVAD).

La velocidad binaria de audio es 384 kbit/s, en 2 canales monofónicos o 1 canal estereofónico. Soporta igualmente las comunicaciones de la línea de servicio, con cuatro canales de voz de 32 kbit/s y un canal de datos de 64 kbit/s.

Estación terrena móvil transportable

Los equipos descritos anteriormente pueden ser adaptados para instalación en un vehículo; por ejemplo, un todo terreno de unos 5 metros de longitud y 1,8 metros de anchura. La antena puede instalarse en el techo del vehículo y la IDU en su parte posterior. Se utiliza generalmente una antena de 1,2 metros de diámetro. El HPC normalmente es un TWT de 100 W, y la temperatura de ruido del LNC es 80°K. En lo que concierne al equipo de la IDU, básicamente no hay diferencias entre esta aplicación y una estación terrena portátil.

2.4.2 Tecnología de los sistemas móviles de satélites geoestacionarios

Desde los orígenes de las comunicaciones comerciales por satélite, en 1965, las ventajas de utilizar satélites geoestacionarios siempre han superado a los inconvenientes, uno de los cuales son las enormes pérdidas de propagación en espacio libre que se producen entre la estación terrena y el satélite. Las estaciones terrenas suelen ser de gran tamaño, precisamente debido a este problema y sólo en los últimos años la tecnología de las comunicaciones por satélite ha evolucionado lo suficiente como para poder fabricar terminales portátiles que pueden utilizarse con satélites geoestacionarios.

Immarsat, la organización internacional para las comunicaciones marítimas por satélite que reúne a 79 países miembros, ha abierto este camino con sistemas de comunicaciones móviles terrestres y aéreos. Las normas de equipos definidas por Immarsat para el acceso a sus satélites reflejan fielmente la evolución de la tecnología y la disminución del tamaño de los terminales. A largo plazo, se pretende crear un terminal de comunicaciones portátil (de bolsillo) que pueda funcionar con satélites geoestacionarios y no geoestacionarios.

El terminal Immarsat A es el más utilizado para comunicaciones móviles. Utiliza tecnología analógica y puede soportar servicios de telefonía de marcación directa de alta calidad, télex, fax y datos (9,6 y 64 kbit/s). Las versiones portátiles de este equipo normalizado no ocupan más que uno o dos maletines, y pueden funcionar con antenas plegables.

El terminal Immarsat B es una versión posterior al terminal A y proporciona los mismos servicios. Se trata de un equipo de tecnología digital, más compacto, ligero y económico, y con costos inferiores para el usuario. Ofrece servicios de datos a velocidades de hasta 64 kbit/s.

Immarsat C es un pequeño terminal de datos bidireccional (unos cuantos kilos) y es el único con antena omnidireccional. Puede utilizarse en aplicaciones fijas, móviles, transportables, marítimas y aeronáuticas. Soporta comunicaciones de mensajes con almacenamiento y retransmisión, de texto y de datos a una velocidad de 600 bit/s.

El sistema Immarsat M también hace uso de tecnología digital y ofrece servicios de telefonía con marcación directa, de facsímil y de datos a 2,4 kbit/s. Los terminales de tipo M siempre han sido muy compactos, desde el tamaño de un maletín (11 kg) hasta el de un ordenador portátil (2,6 kg), actualmente. Véase una descripción más completa de los equipos utilizados en el sistema Immarsat M en el anexo B.

2.4.3 Sistemas de satélites no geoestacionarios

Los sistemas no OSG necesitan muchos satélites para ofrecer servicios sin interrupción. Continuamente deben aparecer nuevos satélites en el horizonte para sustituir a los que se alejan y se pierden de vista en su recorrido alrededor del planeta. Las órbitas seleccionadas para los distintos satélites de la constelación permiten una cobertura mundial. Los sistemas no OSG (de satélites no geoestacionarios) pueden ocupar órbitas terrestres bajas, medias o intermedias.

Las constelaciones de satélites se definen especialmente para ofrecer una cobertura regional específica o una cobertura mundial. Globalstar es un ejemplo de aplicación de la dinámica galáctica y de la geometría de la constelación de vehículos espaciales para lograr una zona de servicio con cobertura mundial.

Como los satélites no geoestacionarios se encuentran más cerca de la Tierra que los satélites geoestacionarios, pueden realizar su función con antenas más pequeñas, y no es necesaria tanta potencia por célula de comunicaciones. Los satélites no geoestacionarios también producen menos retardo, porque el tiempo de propagación de las señales hacia la Tierra y desde la Tierra es más corto.

Ahora bien, estos sistemas plantean otras dificultades tales como la brevedad de los periodos de visibilidad del satélite para la estación terrena que realiza las funciones de seguimiento, teledirigida y teledirigido. Los recursos terrenos (sistemas de control de vehículos espaciales y soporte de teledirigida) deben ser programados para que los tiempos de contacto se produzcan a medida que estos satélites en desplazamiento entran en el campo de visión de la antena de la estación terrena.

La tecnología ha evolucionado en todos los aspectos de las comunicaciones por satélite. Los satélites actuales son más potentes y más sensibles, y las estaciones terrenas son mucho más reducidas y compactas. El objetivo evidente es reducir un día la estación terrena al tamaño de un teléfono portátil. Todavía ello no es posible cuando se utilizan satélites geoestacionarios porque las grandes distancias de propagación dan lugar a unos importantes valores del retardo y de la atenuación de la señal.

Para remediar los inconvenientes de los satélites geoestacionarios, pueden crearse sistemas de comunicaciones utilizando constelaciones de satélites en órbita terrestre baja (LEO, *low earth orbit*) o media (MEO, *medium earth orbit*). La tecnología disponible a principios del siglo XXI permite realizar sistemas con pequeñas estaciones terrenas transportables. De hecho, el mercado ofrecerá equipos portátiles para comunicaciones terrenales y por satélite con conmutación automática entre los dos sistemas de comunicaciones.

Constelaciones orbitales

Los satélites en constelaciones LEO se encuentran a una altura muy inferior, generalmente entre 700 y 2 000 km, y el periodo orbital es de 100 a 120 minutos.

El campo de visión de la Tierra desde estos satélites a altitudes más bajas es relativamente reducido y por eso es necesario aumentar a 6-8 el número de planos para cubrir todo el planeta, y utilizar de 6 a 12 satélites. Por consiguiente, el número de satélites en órbita es relativamente importante.

Segmentos espaciales

Los satélites pueden ser simples amplificadores repetidores con conversión de frecuencia o pueden llevar a bordo equipos para el procesamiento de las señales.

El tiempo de servicio previsto (vida útil) de los satélites es uno de los criterios del costo de funcionamiento del sistema. Los satélites LEO deben ser reemplazados más pronto que los satélites MEO y tienen un tiempo de servicio previsto de 5 a 15 años.

Para producir la potencia adecuada en la superficie de la Tierra, los satélites se diseñan con un gran número de haces puntuales. Ello hace que los procedimientos de sincronización y «transferencia» en las estaciones de cabecera sean relativamente complejos, porque un abonado que realiza una llamada telefónica puede estar iluminado por dos o más haces de barrido del satélite.

Plan de frecuencias

Los enlaces de comunicaciones entre las estaciones de cabecera y los satélites se realizan en frecuencias de las bandas C o Ku. También se utilizan las bandas Ka alrededor de 30 GHz para los enlaces ascendentes y de 20 GHz para los enlaces descendentes.

Como algunas de las bandas de frecuencia son compartidas con los sistemas OSG, es necesario proteger los servicios OSG existentes y a la vez permitir que los sistemas que no son OSG puedan funcionar sin demasiadas limitaciones. La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2000, celebrada en Estambul, adoptó nuevos acuerdos. Entre otras cosas, limitaciones para las estaciones terrenas de redes de satélites geostacionarios y límites de potencia para sistemas no OSG que sientan las bases para compartir la banda Ku (10-18 GHz).

Terminales de usuario

El mercado ofrecerá muchas clases de terminales de usuario para los sistemas de satélites LEO/MEO, principalmente teléfonos portátiles compactos, muchos de ellos compatibles con las normas de comunicaciones celulares terrenales. Inicialmente serán utilizados por viajeros internacionales que podrán hacer llamadas desde cualquier lugar del mundo. También atraerá a usuarios de regiones alejadas que actualmente no disponen de infraestructura de telecomunicaciones o sólo de instalaciones primarias.

También se ofrecerán terminales fijos en cabinas telefónicas, en aviones, en barcos o en residencias particulares, así como equipos multilínea con terminales compartidos por varios usuarios. En la mayoría de los casos, los terminales de usuario soportarán comunicaciones de voz interactivas y de datos en la banda vocal tales como facsímil, comunicaciones por ordenadores personales y, en algunos casos, videoconferencias.

Soportarán igualmente servicios de comunicaciones no interactivas en forma de sistemas unidireccionales de radiobúsqueda, con cobertura mundial, que permitirán avisar a un abonado y transmitir mensajes alfanuméricos.

2.4.3.1 Descripción del sistema

Los anexos del punto 2.4 describen algunos sistemas de comunicaciones por satélite LEO/MEO. Otros sistemas están en preparación actualmente y la presentación de los anteriores sólo sirve para ilustrar configuraciones representativas, sin implicar que éstos sean los más apropiados. La descripción y las características de los sistemas no son exhaustivas. El hecho de mencionar un determinado equipo o unas determinadas funciones para un sistema no significa necesariamente que otros sistemas no tienen este equipo o estas funciones, aunque no se mencionen.

2.4.4 Sistemas mundiales de comunicaciones móviles personales por satélite (GMPCS)

La denominación GMPCS (sistemas mundiales de comunicaciones móviles personales por satélite) se aplica a todos los sistemas de comunicaciones que utilizan una constelación de satélites para ofrecer servicios directamente a los usuarios finales. Los GMPCS constituyen la siguiente etapa en el desarrollo de la telefonía inalámbrica, integrando las posibilidades de los satélites para el servicio de larga distancia con la movilidad de los teléfonos celulares. Se utilizan terminales de usuario portátiles que incorporan todas las funciones de transmisión y recepción realizadas antes por las estaciones terrenas de cabecera del servicio fijo y se sustituyen las redes terrenas inalámbricas por satélites. Los GMPCS son una combinación de configuraciones de satélites geoestacionarios y no geoestacionarios, regionales y mundiales, sistemas fijos y móviles, para interconectar los terminales de usuario. Los GMPCS pueden realizar todo tipo de transmisiones telefónicas (voz, datos, fax y sistemas de radiobúsqueda) a cualquier lugar del mundo.

Por consiguiente, los GMPCS utilizan muchos de los sistemas y servicios descritos en este capítulo.

Para mayor información, véase el Manual de Referencia de la UIT sobre GMPCS, de diciembre 1999.

2.4.5 Sistemas mundiales de determinación de posición por satélite

Estos sistemas utilizan satélites para determinar una posición con gran precisión y tienen numerosas aplicaciones: navegación terrestre, aérea, marítima y espacial, seguridad nacional y nuevas aplicaciones de determinación de posición para el público general.

En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2000 se acordaron nuevas asignaciones para los servicios de radionavegación por satélite. Con este espectro adicional, los dos sistemas actuales (el sistema ruso de navegación mundial por satélite – GLONASS – y el sistema estadounidense mundial de determinación de posición – GPS –) podrán evolucionar y ofrecer mayor precisión con los sistemas de segunda generación. También se ha abierto espacio para el nuevo sistema europeo Galileo.

2.4.6 Publicaciones del UIT-R

La UIT-R ha publicado los siguientes Manuales y Suplementos dedicados a las comunicaciones por satélite:

- Comunicaciones por satélite (servicio fijo por satélite), 2ª edición 1988
- Suplemento N.º 1 al Manual sobre Comunicaciones por satélite: «Servicio fijo por satélite», 1995
- Suplemento N.º 2 al Manual sobre Comunicaciones por satélite: «Programas de computador para las comunicaciones por satélite»
- Suplemento N.º 3 al Manual sobre Comunicaciones por satélite: «Sistemas VSAT y estaciones terrenas», 1995
- Información sobre la propagación de las ondas radioeléctricas para la predicción de los trayectos de comunicación Tierra-espacio, 1996.

2.4.7 Abreviaturas

AC	Canal asignado (<i>assignment channel</i>)
ACU	Unidad de control de antena (<i>antenna control unit</i>)
AM	Modulación de amplitud (<i>amplitude modulation</i>)
AMDT	Acceso múltiple por división en el tiempo
AOR	Región del océano Atlántico (<i>atlantic ocean region</i>)
BER	Proporción de bits erróneos (<i>bit error rate</i>)

C/N	Relación portadora/ruido (<i>carrier-to-noise</i>)
ca	corriente alterna
CAF	Control automático de frecuencia
CAG	Control automático de ganancia
cc	Corriente continua
CSMS	Sistema informatizado de gestión de la estación (<i>computerised station management system</i>)
DAMA	Acceso múltiple con asignación por demanda (<i>demand assigned multiple access</i>)
DCME	Equipo de multiplicación de circuitos digitales (<i>digital circuit multiplication equipment</i>)
DOMSAT	Satélite nacional (<i>domestic satellite</i>)
DSI	Interpolación digital de la palabra (<i>digital speech interpolation</i>)
DTMF	Multifrecuencia bitono (<i>dual tone multi-frequency</i>)
ESC	Canal de servicio técnico (<i>engineering service channel</i>)
FEC	Corrección de errores en recepción (<i>forward error correction</i>)
FET	Transistor de efecto de campo (<i>field effect transistor</i>)
FI	Frecuencia intermedia
FM	Modulación de frecuencia (<i>frequency modulation</i>)
GaAs	Arseniuro de galio (<i>gallium arsenide</i>)
HIC	Circuitos integrados híbridos (<i>hybrid integrated circuits</i>)
HPA	Amplificador de alta potencia (<i>high power amplifier</i>)
IDR	Velocidad media de transmisión de datos (<i>intermediate data rate</i>)
IDU	Unidad interior (<i>indoor unit</i>)
IOR	Región del océano Índico (<i>Indian Ocean Region</i>)
ISC	Centro de conmutación internacional (<i>international switching centre</i>)
LCD	Pantalla de cristal líquido (<i>liquid crystal display</i>)
LEO	Órbita terrestre baja (<i>low earth orbit</i>)
LES	Estación terrena terrestre (<i>land earth station</i>)
LNA	Amplificador de bajo nivel de ruido (<i>low noise amplifier</i>)
LNC	Convertidor de bajo nivel de ruido (<i>low noise converter</i>)
LRE	Codificación de baja velocidad (<i>low rate encoding</i>)
LSI	Integración en gran escala (<i>large scale integration</i>)
MC	Multigrupos (<i>multi-clique</i>)
MD	Multidestinos (<i>multi-destination</i>)
MDP	Modulación por desplazamiento de fase
MDP-4	Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura
MDT	Multiplexión por división en el tiempo
MEO	Órbita terrestre media (<i>medium earth orbit</i>)
MHIC	Circuito integrado híbrido de microondas (<i>microwave hybrid integrated circuit</i>)
MIC	Modulación por impulsos codificados
MPEG	Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento (<i>moving picture expert group</i>) (ISO)
MTBF	Tiempo medio entre fallos (<i>mean time between failure</i>)
NMS	Sistema de gestión de la red (<i>network management system</i>)

ODU	Unidad exterior (<i>outdoor unit</i>)
OSG	Órbita de los satélites geoestacionarios
PC	Ordenador personal (<i>personal computer</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiósincrona (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PIN	Número de identificación personal (<i>personal identification number</i>)
PM	Modulación de fase (<i>phase modulation</i>)
POR	Región del océano Pacífico (<i>Pacific Ocean Region</i>)
RDSI	Red digital de servicios integrados
SD	Diversidad única o diversidad de espacio (<i>single diversity/space diversity</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SIM	Módulo de identidad del abonado (<i>subscriber identity module</i>)
SSPA	Amplificador de potencia de estado sólido (<i>solid state power amplifier</i>)
TSI	Intercambio de intervalos de tiempo (<i>time slot interchange</i>)
TV	Televisión
TVAD	Televisión de alta definición
TWT	Tubo de ondas progresivas (<i>travelling wave tube</i>)
VSAT	Terminal de abertura muy pequeña (<i>very small aperture terminal</i>)

ANEXO 2A

Sistema VSAT

Este anexo es la descripción detallada de un sistema VSAT

Estación repartidora o de control

El equipo repartidor VSAT puede constituir una nueva estación terrena, pero también puede integrarse en el equipo de una estación terrena existente a nivel del equipo terreno de comunicaciones. Es posible que las estaciones terrenas tengan ya los siguientes elementos: antena de 13 metros, amplificadores de bajo nivel de ruido (LNA), amplificadores de alta potencia (HPA), convertidores elevadores y reductores, multiplexadores (MUX), combinadores de RF, divisores de RF y un enlace de radiocomunicaciones digital de 140 Mbit/s con el centro internacional de mantenimiento de transmisiones (ITMC).

Los siguientes subsistemas completan la estación repartidora para operaciones VSAT:

- Convertidores elevadores y reductores para las bandas de frecuencia C o Ku utilizadas.
- Módems para canales de voz y datos. Pueden ser tarjetas enchufables para comunicaciones continuas de voz y datos, con distintas velocidades de transmisión de datos. Por ejemplo, los módems de voz transmiten habitualmente a velocidades de codificación de la información de 16 y 32 kbit/s y los módems de datos a distintas velocidades entre 9,6 y 2 048 kbit/s. Es posible determinar separadamente la velocidad de transmisión de cada módem (función de la anchura de banda por demanda). En lo concerniente a la duración, el uso de canales de comunicaciones continuas en vez de comunicaciones interactivas no implica necesariamente que los canales de comunicaciones tengan que ser asignados de forma permanente. Los canales pueden asignarse durante el tiempo de duración de la llamada, de forma permanente o por un periodo de tiempo determinado.
- Subsistema DAMA, en el cual los circuitos del transpondedor del satélite son asignados por demanda para las comunicaciones de voz o datos, entre la estación repartidora y las estaciones VSAT (configuración en estrella) o entre los distintos terminales VSAT (configuración en malla). El subsistema DAMA comunica con los terminales VSAT distantes a través de un canal común de señalización (CSC) con multiplexión por división en el tiempo (MDT) (comunicaciones de salida o transmisión), y mediante ráfagas de acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT) de los terminales VSAT (comunicaciones entrantes o recepción). Los equipos DAMA actuales permiten controlar miles de terminales VSAT.
- Subsistema AA/AMDT (Asignación adaptable/acceso múltiple por división en el tiempo). Para comunicaciones interactivas rápidas y frecuentes con los terminales VSAT distantes. Los modos de comunicación con los terminales VSAT distantes son los mismos que se utilizan para las operaciones DAMA; es decir, MDT de salida y AMDT de entrada.
- Equipo de multiplexión de voz y datos (DVM). Los canales de comunicaciones VSAT son conectados al equipo MUX digital existente. La interfaz con el MUX existente se realiza a 2 048 kbit/s, y a distintas velocidades de transmisión de datos con el equipo repartidor VSAT.
- Sistema de gestión de la red (NMS), para la gestión, la supervisión y el control de toda la red VSAT. El NMS es un potente ordenador de puesto de trabajo con el soporte lógico apropiado para realizar la supervisión y el control del sistema VSAT y sus usuarios así como las funciones de facturación.

Canales vocales en la estación repartidora

Los canales vocales pueden ser configurados desde el NMS para transmitir información a velocidades de 16 ó 32 kbit/s. La velocidad puede reducirse en el futuro a 8 kbit/s sin modificar los equipos. Para pasar a 8 kbit/s sólo es necesario cargar información desde el NMS al equipo de la estación repartidora y a los distintos terminales VSAT. Las transmisiones (entrada y salida) entre los canales vocales de 16 ó 32 kbit/s de la estación repartidora y los módems del canal vocal de anchura de banda por demanda (BOD) se realizan según el principio de canales analógicos.

El centro internacional (ITMC) utiliza equipos DVM similares a los de la estación repartidora para realizar la conversión analógica/digital entre los canales de telefonía analógica de la central telefónica y los equipos MUX existentes de radiocomunicaciones digitales. La transmisión en esta interfaz también es de 2 Mbit/s. En modo de funcionamiento vocal, una unidad del equipo DVM puede tratar normalmente hasta 30 canales vocales.

Canales de datos en la estación repartidora

Los canales de datos de anchura de banda por demanda (BOD) también pueden configurarse desde el NMS para velocidades de transmisión de datos de 9,6 a 2 048 kbit/s. Es necesario convertir la velocidad de transmisión, porque la interfaz entre la estación repartidora y los equipos MUX existentes de enlaces de radiocomunicaciones digitales trabaja a 2 Mbit/s. La conversión de velocidad tiene lugar en el equipo MUX de voz y datos descrito anteriormente.

El equipo DVM tiene 5 tarjetas de circuitos enchufables. Para transmisión de voz, cada una de estas tarjetas puede soportar 6 canales vocales para lograr un total de 30 canales. En los canales de datos cada una de estas tarjetas puede soportar de 2 a 4 canales, según la velocidad de transmisión. El DVM puede funcionar combinando canales vocales y canales de datos, pero la suma de velocidades binarias de todos los canales de entrada no puede rebasar en ningún caso la de 2 048 kbit/s, que es la velocidad de transmisión de datos de salida.

Canales de datos AA/AMDT interactivos en la estación repartidora

Las ráfagas de información interactiva que son transmitidas frecuentemente a los terminales VSAT distantes proceden de un ordenador central de la sección de entrada situado en las instalaciones del usuario o del propietario del sistema VSAT. El canal de datos MDT utilizado para las comunicaciones de salida transmite habitualmente a 64 ó 128 kbit/s y la ráfaga de información de retorno procedente de los terminales VSAT llega normalmente a 64 kbit/s. Como el ordenador central no está en la estación terrena (ni tampoco en el ITMC), es necesario instalar equipos de multiplexión en la estación terrena y en el ITMC para tratar el canal interactivo AA/AMDT.

Los terminales VSAT

Según las bandas de frecuencia necesarias y la capacidad de transmisión de las estaciones VSAT distantes, se utilizan normalmente antenas de 1,2, 1,8, 2,4 y 3,7 metros. Los valores normales de temperatura de ruido de los convertidores de bajo nivel de ruido (LNC) son de 60°K en la banda C y 140°K en la banda Ku. Los convertidores de potencia (HPC) en la banda C pueden emplear amplificadores de potencia de estado sólido (SSPA) de 3, 10 ó 20 W de potencia de salida. El tamaño de la antena y las características de los sistemas LNC y SSPA de un terminal determinado dependen del número de portadoras transmitidas y de si dichas portadoras se dirigen a la estación repartidora únicamente (configuración en estrella) o a otros terminales VSAT (configuración en malla). Si la mayoría de las portadoras son transmitidas a la estación repartidora, se puede utilizar un terminal VSAT de dimensiones mínimas o, como alternativo, aumentar el número de portadoras. Esto también influye directamente en el consumo de potencia y el costo del terminal VSAT.

Los terminales VSAT suelen ser instalados con generadores solares, especialmente en sistemas de comunicaciones rurales. En el cuadro 1 se muestra la capacidad de transmisión en la banda C y el consumo de potencia de distintos terminales que funcionan con un satélite del tipo Intelsat 7.

Cuadro 1 – Capacidades de transmisión del terminal en la banda C

Antena	ODE	N.º de canales	Consumo de potencia
1,8 M	5 W	5	337 W
1,8 M	20 W	5	500 W
2,4 M	5 W	5	337 W
2,4 M	20 W	10	700 W
3,7 M	5 W	5	337 W
3,7 M	20 W	10	700 W

Los terminales VSAT pueden limitarse inicialmente a la antena, la unidad exterior (ODE) y la unidad interior principal. La IDU es un equipo de sobremesa que no exige condiciones particulares de instalación. Comprende hasta 5 módems de voz/datos enchufables, uno de los cuales se utiliza como canal de señalización común (CSC) para las comunicaciones con la estación repartidora. La IDU principal puede ampliarse añadiendo otras 2 IDU dependientes, para disponer de un total de 15 módems enchufables (incluido el módem CSC).

La IDU principal también puede ser ampliada añadiendo la unidad interior AA/AMDT para las comunicaciones interactivas con la estación repartidora. Los principales componentes de esta IDU son la unidad de interfaz del canal de satélite (SCI) (módem y sintetizador de frecuencia), el equipo de la interfaz del procesador de banda base (BBP), el panel de operaciones (OPP) y el módulo de alimentación.

Aunque los terminales VSAT son considerados generalmente como estaciones terrenas de baja capacidad, la capacidad de estos terminales está limitada principalmente por la potencia transmitida o por la sensibilidad de recepción del transpondedor del satélite, más que por el mismo equipo. Si los 15 canales de un terminal VSAT se configuran con módem de datos de 2 048 kbit/s, teóricamente podrán transmitirse 450 canales de 64 kbit/s. Si estos canales de 64 kbit/s son utilizados con un equipo de codificación de baja velocidad (LRE), actualmente disponible a 16 kbit/s con una calidad aceptable, un terminal VSAT puede lograr una capacidad teórica de transmisión de 1 800 canales.

Distribución de televisión analógica y digital desde la estación repartidora

Los equipos de RF utilizados para los canales VSAT en la estación repartidora y en los terminales VSAT distantes también pueden utilizarse para la transmisión de televisión analógica o digital desde la estación repartidora. Tal vez sea necesaria una antena VSAT más grande para las transmisiones de televisión analógica. La integración de forma económica de los servicios de televisión digital es una alternativa interesante. Ello es posible porque las antenas de los tamaños mencionados pueden ser utilizadas por los terminales VSAT, sin que sea necesario introducir ninguna modificación en los terminales. El receptor de televisión se conecta directamente a la IDU en el nivel de FI de 1 GHz.

Sistema de gestión de la red (NMS)

El control técnico y administrativo de la red VSAT se realiza desde la estación terrena repartidora, aunque funciones del NMS también pueden ejecutarse a distancia desde otro lugar (por ejemplo, el ITMC).

Éstos son los principales tipos de funciones del NMS:

- 1) Supervisión del estado de la red.
- 2) Gestión de configuración de la red.
- 3) Control de la red.
- 4) Fiabilidad de la red (funciones de conmutación).
- 5) Gestión de alarmas.
- 6) Gestión de estadísticas.
- 7) Gestión de registros.

Equipo generador de energía

El equipo de un terminal VSAT es muy compacto y no requiere un recinto especial. La unidad exterior (ODE) se instala directamente en la estructura de la antena y las cajas de la unidad interior (IDU) pueden instalarse en cualquier lugar que ofrezca las condiciones necesarias, a una distancia máxima de 80 metros de la antena. Esta distancia puede ser mayor si se utilizan cables de baja resistencia.

Dado que la IDU funcionará normalmente con una temperatura máxima de 40°C, no es preciso instalar aire acondicionado, excepto en casos extremos. Si no hubiera una alimentación general, o esta alimentación no fuera fiable, los terminales VSAT pueden ser alimentados mediante energía solar. En un cuadro anterior se indica el consumo característico de los equipos VSAT. También se puede utilizar un generador diesel transportable.

ANEXO 2B

El sistema Inmarsat

Las normas Inmarsat A, B, C y M se utilizan para equipos destinados a aplicaciones marítimas o terrestres. Las siguientes normas son para servicios aeronáuticos:

- Aero-C, para mensajes de almacenamiento y retransmisión (voz y datos), enviados y recibidos por aeronaves en cualquier lugar del mundo.
- Aero-L, para el servicio de comunicaciones de datos únicamente en tiempo real, de baja ganancia, para la cabina y las operaciones de líneas aéreas.
- Aero-H, para el servicio de alta ganancia, con múltiples canales para transmisiones de voz de la cabina y telefonía de viajeros.

Están en preparación las normas Inmarsat D, que se trata de un sistema de radiobúsqueda, y Aero-I, que es un servicio móvil de voz y datos con equipos de aviónica más ligeros y económicos, y antenas diseñadas para aviones en vuelos a distancias cortas y medias.

Las llamadas procedentes de cualquiera de los equipos normalizadas del sistema Inmarsat pueden encaminarse por una estación terrena terrestre (LES, *land earth station*), también denominada a veces estación terrena costera o estación terrena en el suelo aeronáutica. El servicio dispone de muchas LES en las regiones del océano Atlántico (AOR), el océano Índico (IOR) y el océano Pacífico (POR).

Es importante precisar que el sistema Inmarsat no ofrece el servicio directo entre dos terminales móviles. Su objetivo es que los terminales móviles puedan comunicarse a través de la LES con los abonados conectados a una red telefónica pública conmutada o a una red de datos. Los enlaces de comunicaciones establecidos entre dos terminales móviles sufrirán, pues, un retardo de propagación causado por el doble salto de satélite que es absolutamente inaceptable para las conexiones telefónicas, pero no constituye necesariamente un problema en enlaces para comunicaciones de datos.

Si el objetivo de la comunicación rural es crear enlaces de voz y/o datos con centros urbanos ya conectados a una LES, actualmente el sistema Inmarsat M tal vez sea la solución más rápida y económica para integrar las comunidades rurales en la red de comunicaciones pública existente, para intercambios comerciales, telemedicina, relaciones personales y muchas otras necesidades de comunicaciones. Si el principal objetivo es establecer la intercomunicación entre distintos puntos de una localidad rural, o entre localidades rurales, existen otras arquitecturas de comunicaciones que pueden ser más apropiadas.

Terminal portátil para el sistema Inmarsat M

El sistema Inmarsat-3 estará formado por una serie de 5 satélites que cubrirán todas las regiones oceánicas. En un sistema con haces puntuales, la potencia de los equipos transpondedores de los satélites Inmarsat-3 permitirá utilizar terminales pequeños, del tamaño de un ordenador portátil, para funcionar con una LES y conectarse así a la red pública internacional de telecomunicaciones.

El terminal utiliza la banda de frecuencias de transmisión normalizada de Inmarsat de 1 626,5 a 1 660,5 MHz, y la banda de recepción de 1 525,0 a 1 559,0 MHz. Soporta canales de voz codificados a 4,8 kbit/s con técnicas de excitación multibanda avanzadas. Permite la transmisión y la recepción de facsímil por la norma G3 a 2,4 kbit/s y la transmisión de datos asíncrona a una velocidad de hasta 2,4 kbit/s.

El equipo se alimenta por una batería litio recargable. Con la carga completa, el terminal puede funcionar durante 4,5 horas en modo recepción y durante 1,2 horas aproximadamente en modo transmisión. Puede recargarse conectándola a fuentes de 90-260 Vca o 12 Vcc.

El terminal es muy fácil de utilizar. La antena plana se orienta hacia el satélite correspondiente a la región oceánica donde se utiliza el terminal. Pulsando el botón «Menú» se obtiene una indicación de la intensidad de las señales procedentes del satélite en la pantalla de cristal líquido del terminal. Puede conseguirse la máxima intensidad de las señales reorientando la antena. El usuario dispone de una brújula que facilita la orientación inicial si no conoce la dirección del satélite. Los iconos del visualizador indican cuándo se establece la conexión entre el terminal y el satélite.

Unidad base del terminal portátil

La unidad base del terminal portátil comprende los sistemas electrónicos de transmisión y recepción, la antena, la batería recargable y el soporte del microteléfono. Este soporte es desmontable y puede conectarse a la unidad base mediante un cable de hasta 4,5 metros de longitud, lo que permite utilizar el terminal desde el despacho, situando la base y la antena cerca de una ventana. Además, la antena también puede desmontarse para colocarla alejada de la base hasta 10 metros.

El soporte del microteléfono también tiene los conectores para un facsímil, un teléfono externo o un ordenador personal.

En la unidad base también se ha integrado el lector de las tarjetas de identificación de usuario (SIM). Esta tarjeta «inteligente», del tamaño de una tarjeta de crédito, tiene un microcircuito integrado que garantiza la seguridad y ofrece muchas funciones de valor añadidos tales como:

- 1) agenda telefónica personal electrónica de fácil utilización para edición, marcado rápido y otros servicios;
- 2) número de identificación personal (PIN) que restringe el uso del terminal;
- 3) identificación personal con un código único independiente de la posición del terminal;
- 4) clave de seguridad y algoritmo secreto de identificación como protección contra el uso fraudulento;
- 5) varios idiomas para los mensajes en la pantalla de cristal líquido;
- 6) funciones de prohibición de llamada, y
- 7) mensajes breves para comunicaciones bidireccionales.

La tarjeta SIM completa el servicio y permite la movilidad del usuario. Cuando se utiliza dicha tarjeta, el terminal detecta el número y carga automáticamente los gastos a una cuenta predeterminada.

Microteléfono del terminal portátil

La introducción de la tarjeta SIM es la única operación del terminal Inmarsat M que no se hace en el microteléfono. A pesar de su reducido tamaño, en este microteléfono inteligente se han integrado muchas funciones, principalmente:

- *Almacenamiento de números de teléfono*

El usuario puede almacenar nombres y números en el microteléfono y consultarlo como una agenda electrónica. También puede consultar los números almacenados en la tarjeta SIM.

- *Indicación de carga de la batería*

Un icono indica la carga de la batería en la pantalla del microteléfono, con cuatro estados. Si la batería está descargada, el usuario es advertido por un pitido y por mensajes en la pantalla, antes de que expire el tiempo de conversación.

- *Indicación de llamada no contestada*

Un icono de la pantalla indica al usuario que ha recibido llamadas. Para llamadas en la RDSI, indicación de las últimas 10 llamadas, con identificación de la persona que llama, la hora y la fecha.

- *Llamada con tarjeta de crédito*

El usuario puede utilizar esta forma de pago, introduciendo un código de dos cifras seguido del número de su tarjeta de crédito.

- *Indicación de duración de la llamada*

Indicación del tiempo de conversación al final de cada llamada. El microteléfono también indica la duración de la llamada anterior.

- *Indicación de intensidad de la señal (visual y sonora)*

La pantalla da una indicación de los niveles de intensidad de la señal. Pulsando el botón «Menú» se obtiene la indicación en ese momento. El usuario puede configurar el terminal para indicar la potencia de la señal mediante pitidos.

- *Prohibición de llamadas*

El usuario puede configurar el terminal para prohibir llamadas a determinados números o países.

- *Otras funciones*

Modo ahorro de energía, retroiluminación, repetición de marcación, visualización de los números y la región oceánica del usuario, bloqueo del teléfono, marcación rápida, supresión de micrófono.

ANEXO 2C

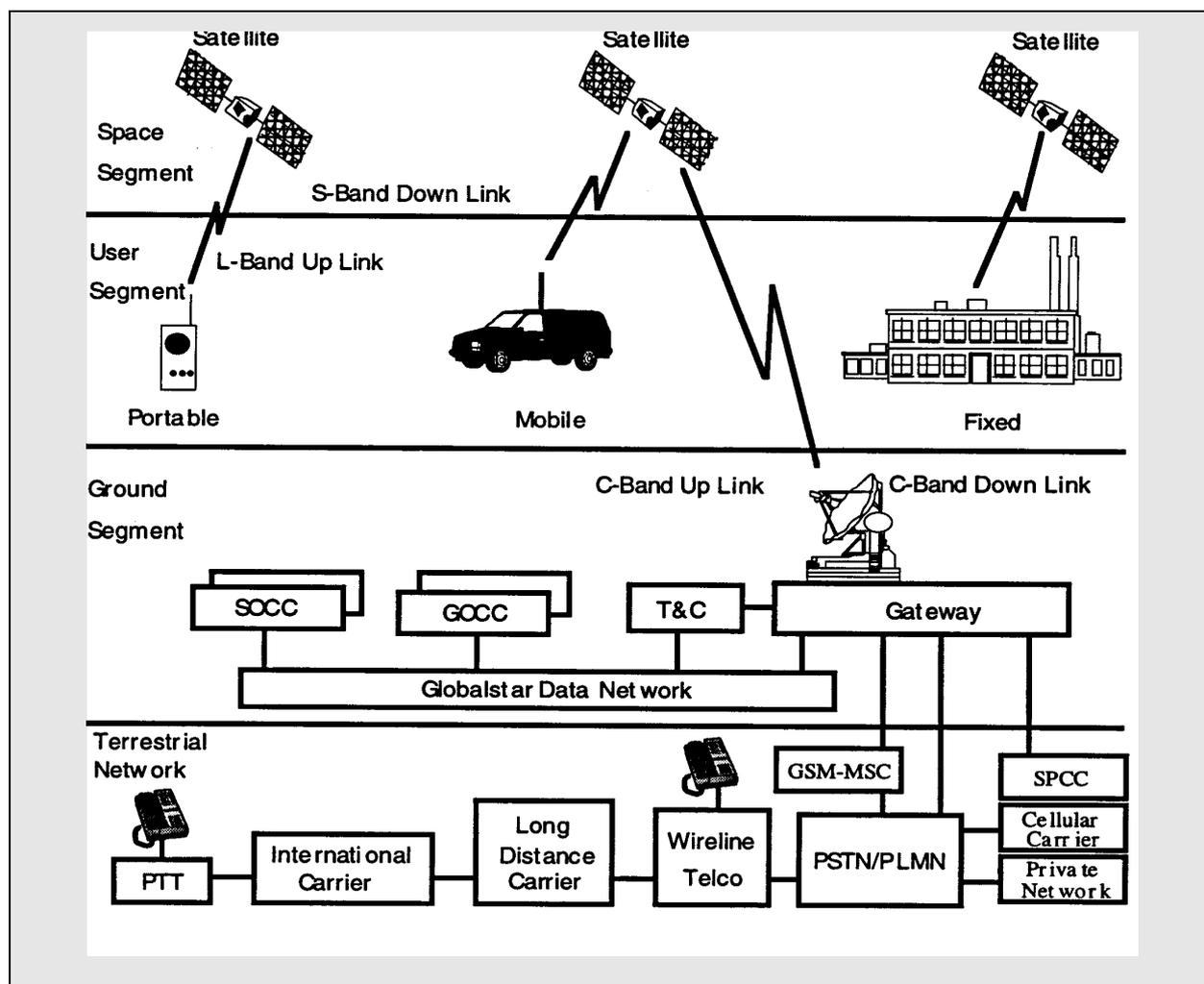
El sistema Globalstar

Consideraciones generales

La siguiente información se ha extraído de la documentación facilitada por Globalstar L.P.:

El sistema Globalstar está formado por un segmento espacial, un segmento de usuario, un segmento terrestre y una red terrenal (véase la Figura 1). El sistema Globalstar permite establecer comunicaciones entre dos puntos cualquiera situados en la superficie de la Tierra, excluidas las regiones polares. Se han elegido las órbitas de satélites que ofrecen la mayor disponibilidad de enlace en la zona situada entre 70 grados de latitud sur y 70 grados de latitud norte. El servicio es posible en latitudes superiores, pero no con la misma disponibilidad del enlace.

Figura 1 – Esquema del sistema Leo Globalstar



Los terminales de usuario son cubiertos por los satélites durante 10 a 15 minutos en cada órbita. Un proceso de transferencia progresiva entre los distintos haces de un satélite, y entre los distintos satélites, garantiza a los usuarios la continuidad de comunicaciones. Los planos orbitales tienen una inclinación

de 52 grados. La cobertura es máxima en las regiones templadas, con un mínimo de dos satélites visibles, que ofrecen condiciones de diversidad de trayecto en la mayor parte de esas regiones. Hay una ligera pérdida de cobertura del satélite en el Ecuador y en latitudes superiores a 60 grados.

Las estaciones de cabecera de la red terrenal están iluminadas por un haz de cobertura de la Tierra. Dichas estaciones de cabecera conectan los terminales de usuario a la red terrenal a través de un terminal terreno. La red terrenal no forma parte del sistema Globalstar.

Globalstar puede determinar la posición de un terminal de usuario. Ofrece el servicio de determinación de posición, con un grado de precisión que depende de varios factores:

- a) el número de satélites visibles;
- b) la precisión que desea obtenerse en la posición de los satélites;
- c) la geometría de los terminales de usuario, de los satélites y de las estaciones de cabecera;
- d) el tiempo de conexión entre el terminal de usuario y la estación de cabecera.

La estación de cabecera también soporta un servicio de determinación de posición del terminal de usuario con mayor precisión. Con un mínimo de dos satélites claramente visibles, separados al menos 22 grados vistos desde el terminal del usuario, la estación de cabecera puede determinar la posición de dicho terminal del usuario con un margen de 300 metros y con una probabilidad del 95%, en menos de 10 segundos.

Segmento espacial y constelación orbital

El segmento espacial del sistema Globalstar está formado por 48 satélites en una órbita terrestre baja de 1 410 km. Las órbitas bajas autorizan el uso de microteléfonos de baja potencia similares a los teléfonos celulares. Estos satélites están repartidos en 8 planos orbitales, con 6 satélites uniformemente separados en cada plano orbital. Los satélites completan la órbita en 114 minutos. Al paso del satélite, una antena del satélite de 16 haces cubre los terminales de usuario situados en cualquier parte de la superficie de la Tierra.

El sistema Globalstar utiliza satélites sencillos y económicos, para minimizar el coste de los propios satélites y los costos de lanzamiento. Los terminales de usuario transmiten al satélite en la banda L. La señal entra al satélite por el amplificador de bajo nivel de ruido en la banda L, se amplifica y a continuación se convierte a la banda C, tras lo cual es amplificada nuevamente. Esta señal se emite a la estación de cabecera, que regula los conversores reductores para obtener una frecuencia intermedia. Una muestra de esta frecuencia intermedia es procesada en la TCU. El equipo de AMDC recibe el tráfico de comunicaciones para efectuar la demodulación.

En sentido de transmisión, la cabecera combina las señales AMDC del enlace ascendente con la señal procedente del transmisor de órdenes y la radia al satélite en la banda C. El satélite realiza una conversión reductora de esta señal y la transmite por un enlace descendente en banda S a los terminales de usuario. En el cuadro 1 aparecen los balances del enlace característicos para todas las frecuencias del sistema Globalstar.

Los procesos de telemetría y telemando (T/T, *telemetry and commanding*) comparten la banda C con los enlaces de conexión de comunicaciones. El sistema de T/T se conecta a la antena normal de comunicaciones en la banda C para operaciones en órbita. El satélite tiene otra antena de T/T en su cara opuesta a la Tierra, que funciona si el satélite no está orientado correctamente o cuando aparece algún problema. La antena opuesta a la Tierra permite asegurar las lecturas de la telemetría y la ejecución del telemando en todas las circunstancias. La señal no pasa por el amplificador de bajo nivel de ruido cuando se activa la antena opuesta a la Tierra. Ello significa que, la potencia transmitida desde el terminal terreno de control ha de ser superior a la potencia normalmente necesaria para realizar dicho control. El sistema lo permite, ya que no hay tráfico de comunicaciones cuando el satélite no está orientado correctamente.

El satélite se orienta en guiñada para mantener los paneles solares dirigidos al sol y captar la máxima energía. De esta forma se aumenta la capacidad de comunicaciones del sistema Globalstar. Algunos inconvenientes ligeros hacen que el tiempo de adquisición sea ligeramente superior, y que se necesite un número superior de transferencias.

Cuadro 1 – Valores característicos del balance del enlace para todas las bandas de frecuencia

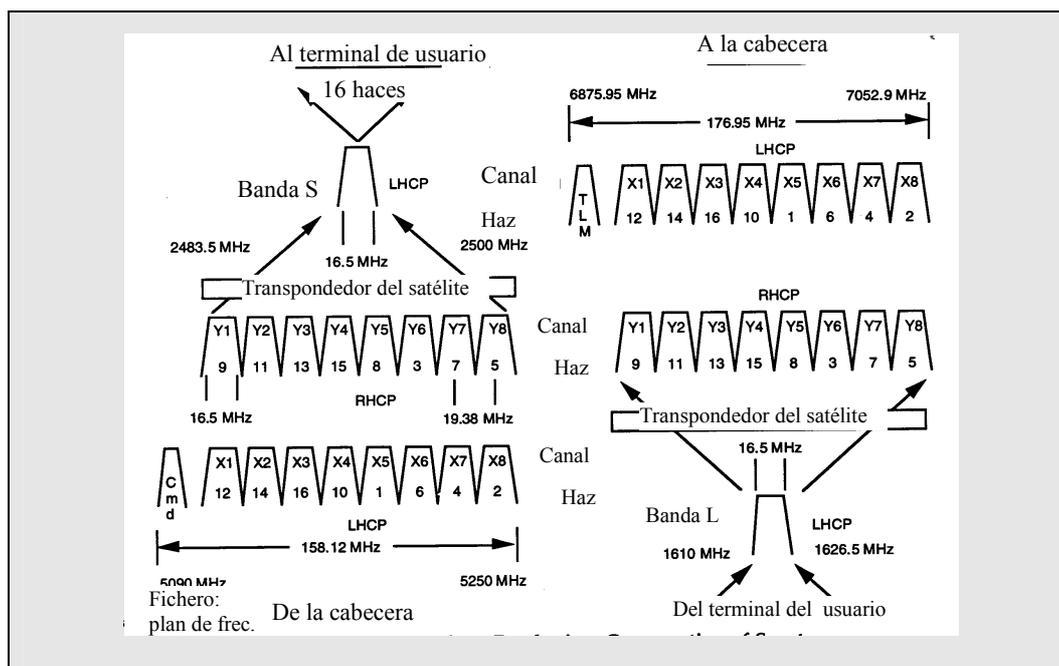
Parámetro	Enlace de ida		Enlace de retorno		Unidades
	Satélite a terminal del usuario	Cabecera a satélite	Terminal del usuario al satélite	Satélite a cabecera	
Frecuencia nominal	2,5	5	1,6	7	GHz
p.i.r.e./usuario (nadir, despejado)	1,1	36,4	-14,3	-33,3	dBW
Pérdidas en el espacio (nadir, despejado)	163,4	169,7	159,6	172,3	dB
Otros factores	1,4	7,90	2,10	1,60	dB
G/T (de mano)	-26	-29,6	-14,25	27,5	dB/K
Eb/No*	5,1	24	4,5	15,1	dB
Veloc. media transm. datos	2 400	2 400	2 400	2 400	bit/s
Ventaja de diversidad			2.2		dB
Eb/No compuesto	5		6,3		dB

* Los valores de la relación Eb/No del enlace satélite a unidad del usuario y del enlace satélite a estación de cabecera son los resultados combinados de los trayectos ascendente y descendente.

Plan de frecuencias

La Figura 2 representa el plan de frecuencias adoptado por Globalstar.

Figura 2 – Plan de frecuencias de Globalstar



LHCP = Polarización circular levógira
RHCP = Polarización circular destrógira

Segmento terreno

Estaciones de cabecera

La estación de cabecera interconecta la red inalámbrica de satélites Globalstar a la red móvil terrestre pública (RMTP), AMPS y GSM por ejemplo, o directamente al servicio telefónico local (RTPC). En consecuencia, es un punto de terminación para la transmisión de red y la señalización de red. La estación de cabecera puede conectarse a la RTPC existente mediante un enlace principal normalizado E1/T1 que soporta distintos protocolos de señalización. Para las redes GSM, la estación de cabecera funciona como un subsistema de la estación base GSM. Para los conmutadores móviles del entorno EIA/TIA, funciona como otro conmutador móvil que soporta la norma de funcionamiento entre sistemas IS-41. El interfuncionamiento del sistema Globalstar con los sistemas telefónicos/celulares está garantizado en todos los casos y se ofrece una facturación centralizada que es la más práctica para el usuario.

La estación de cabecera está diseñada de forma modular de manera que proporciona la flexibilidad necesaria para ir creciendo paulatinamente a medida que así lo exijan las condiciones del mercado. La estación de cabecera Globalstar puede ser utilizada por varios proveedores de servicios que así comparten las inversiones en los equipos iniciales. Esta solución ofrece garantías contra los proveedores asociados en la estación y permite planificar el desarrollo según vayan aumentando los ingresos.

Cada estación de cabecera tiene hasta 4 antenas de seguimiento y secciones de entrada de radiofrecuencia que realizan el seguimiento de los satélites en las órbitas visibles. Se ha estimado que una estación de cabecera cuesta entre 2 y 5 millones USD, según el número de abonados a los que da servicio la estación de cabecera, y suponiendo que ésta se encuentra instalada en el emplazamiento de un centro de conmutación, de una red celular o de otra red de telecomunicaciones apropiada. Cada país que tenga al menos una estación de cabecera en su territorio podrá controlar completamente el acceso de los usuarios nacionales al sistema. Se prevé que una estación de cabecera sea suficiente para proporcionar cobertura fija en un territorio más grande que Arabia Saudita, y cobertura móvil en un territorio casi tan grande como Europa Occidental. Teóricamente, sería posible una cobertura completa desde tierra de prácticamente todas las regiones habitadas del planeta con sólo 100 estaciones de cabecera. Sin embargo, Globalstar ha estimado que deberán instalarse unas 210 estaciones para reducir los costos de las comunicaciones terrestres de larga distancia y respetar las fronteras nacionales.

Globalstar ha determinado el diseño de las estaciones de cabecera para su sistema, pero los proveedores de servicios serán los propietarios y los encargados del funcionamiento de dichas estaciones en todos los países o regiones donde se autorice el uso de Globalstar.

Control del satélite

Los centros de control de operaciones del satélite (SOCC) de Globalstar hacen el seguimiento y el control de la constelación de satélites con equipos de telemando y teledirigidos instalados en varias estaciones de acceso repartidas en todo el mundo y en estaciones de teledirigidos situadas en dos lugares de Estados Unidos. Los SOCC controlarán la posición orbital de los satélites así como las maniobras y el mantenimiento de posición de los mismos y, además, supervisarán el estado de funcionamiento de todos los subsistemas del satélite.

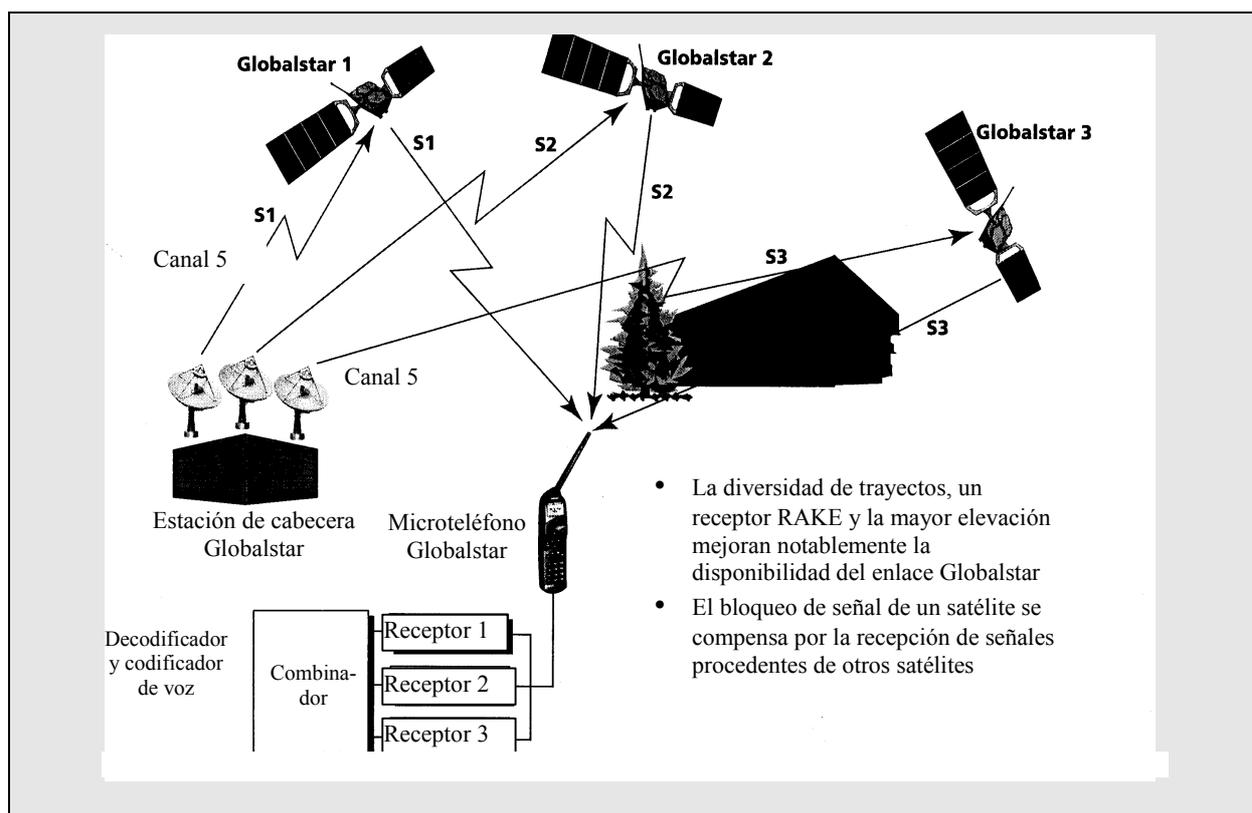
Globalstar ha suscrito un contrato con QUALCOMM Inc. para el diseño, desarrollo, fabricación, instalación, pruebas y mantenimiento de dos centros de control de operaciones terrenas (GOCC). Los GOCC, que funcionarán las 24 horas del día, planificarán y controlarán la utilización de los satélites por los terminales de la estación de cabecera y coordinarán la información recibida de los SOCC. Los GOCC también harán un seguimiento de las prestaciones del sistema, registrarán la información necesaria para la facturación a los proveedores de servicios y evitarán que el tráfico sea superior a la capacidad asignada a las estaciones de cabecera. Los GOCC distribuirán dinámicamente la capacidad de sistema entre las regiones vecinas, para satisfacer las variaciones en la demanda de la mejor forma posible.

Terminal de usuario

- *Terminal de usuario en modo doble*

El terminal de usuario en modo doble Globalstar/GSM ofrece una solución de itinerancia mundial para los usuarios de teléfonos celulares GSM. Globalstar extiende el servicio inalámbrico ofreciendo servicios comparables a los celulares fuera de la zona habitual de cobertura del sistema celular GSM. Dentro de la zona de servicio GSM un abonado Globalstar puede seguir utilizando dichos servicios GSM. Fuera de esta zona, el abonado puede buscar otras redes celulares GSM o pasar a la red Globalstar. Globalstar garantiza comunicaciones móviles fiables, de primera calidad y de un nivel costo/prestaciones razonable, incluso en las zonas no cubiertas por los operadores de servicios celulares. La constelación de satélites Globalstar en órbita terrestre baja permitirá disponer de servicios de voz de gran claridad, datos y facsímil digitales. El funcionamiento combinado Globalstar/GSM siempre está asegurado y la facturación centralizada es más práctica para el usuario. Existe un conjunto de instalación en vehículos para los abonados móviles. El microteléfono Globalstar va colocado sobre un soporte de alimentación que prolonga la duración de la batería y permite comunicar manteniendo las manos libres, lo cual es más práctico y más seguro cuando se conduce.

Figura 3 – Diversidad de trayectos del sistema Globalstar



- *Terminal de usuario en modo triple*

El terminal de usuario en modo triple Globalstar/IS-95/AMPS ofrece una solución de itinerancia mundial para los usuarios de teléfonos celulares AMPS/IS-95. Globalstar extiende el servicio inalámbrico, ofreciendo servicios comparables a los celulares fuera de las zonas habituales de cobertura del sistema celular. Un abonado Globalstar puede seguir utilizando los servicios terrestres dentro de la zona de

cobertura AMPS celular o IS-95 de acceso múltiple por división de código (AMDC) digital. Globalstar garantiza comunicaciones móviles fiables, de primera calidad y de un nivel costo/prestaciones razonable, incluso en las zonas no cubiertas por los operadores de servicios celulares. El sistema Globalstar de satélites en órbita terrestre baja permitirá disponer de servicios de voz de gran claridad, datos y facsímil digitales, con microteléfonos, teléfonos en vehículos o teléfonos fijos. El funcionamiento combinado Globalstar/redes celulares siempre está asegurado y la facturación centralizada es más práctica para el usuario.

Existe un conjunto de instalación en vehículos para los abonados móviles. El microteléfono Globalstar va colocado sobre un soporte de alimentación que prolonga la duración de la batería y permite comunicar manteniendo las manos libres, lo cual es más práctico y más seguro cuando se conduce.

Línea única fija

La oferta de productos fijos Globalstar satisface la demanda actual para transmisiones de voz, de facsímil y entre ordenadores. Sus condiciones de flexibilidad, capacidad y calidad permiten una ampliación futura según la demanda. El acceso inalámbrico es una solución innovadora para establecer enlaces de comunicaciones con abonados «alejados» de forma rápida y eficaz, sin los problemas de costos y de tiempos de ejecución que implican las soluciones tradicionales de cable. Globalstar constituye una solución mundial inalámbrica continua para cerrar el «último eslabón» de conectividad con la red telefónica.

Los productos de estación fija Globalstar permiten un contenido local y son flexibles en relación con la configuración de usuarios. Globalstar proporciona la antena, la unidad de radiocomunicaciones y opcionalmente el teléfono digital. La pantalla del teléfono da indicaciones sobre el proceso de llamada, presenta iconos para el correo vocal y permite consultar una memoria que contiene los números llamados con más frecuencia. El equipo de abonado puede obtenerse localmente del proveedor de servicios nacional. La antena se instala en un lugar apropiado en el exterior, sin obstáculos y se conecta al equipo del abonado. Globalstar ofrece una interconexión a una central telefónica para abonados «alejados», en entornos urbanos o rurales de países desarrollados o en vías de desarrollo, con una relación costo/prestaciones atractiva.

Unidad multilínea

Globalstar constituye una solución mundial inalámbrica continua para cerrar el «último eslabón» de la conectividad con la red telefónica. Las condiciones de flexibilidad, capacidad y calidad de los productos fijos Globalstar permiten a los operadores locales una ampliación futura según la demanda. El acceso inalámbrico es una solución innovadora para establecer enlaces de comunicaciones con abonados «alejados», de forma rápida y eficaz, sin los problemas de costos y tiempos de ejecución que implican las soluciones tradicionales de cable.

La unidad Globalstar Multiline es una emulación del circuito principal normalizado para la interconexión con centralitas privadas automáticas, PABX, y otros concentradores de conmutación. Los abonados pueden conectarse a la PABX utilizando las conexiones habituales de cable, ópticas o inalámbricas, y los usuarios de una centralita también pueden comunicar entre ellos. El sistema Globalstar interviene cuando las comunicaciones salen del sistema de conmutación. El abonado de una centralita marca el número de acceso a una línea exterior y Globalstar lo conecta con la central telefónica pública o con otro centro de conmutación.

ANEXO 2D

El sistema ICO

La siguiente información se basa en la documentación facilitada por ICO:

Consideraciones generales

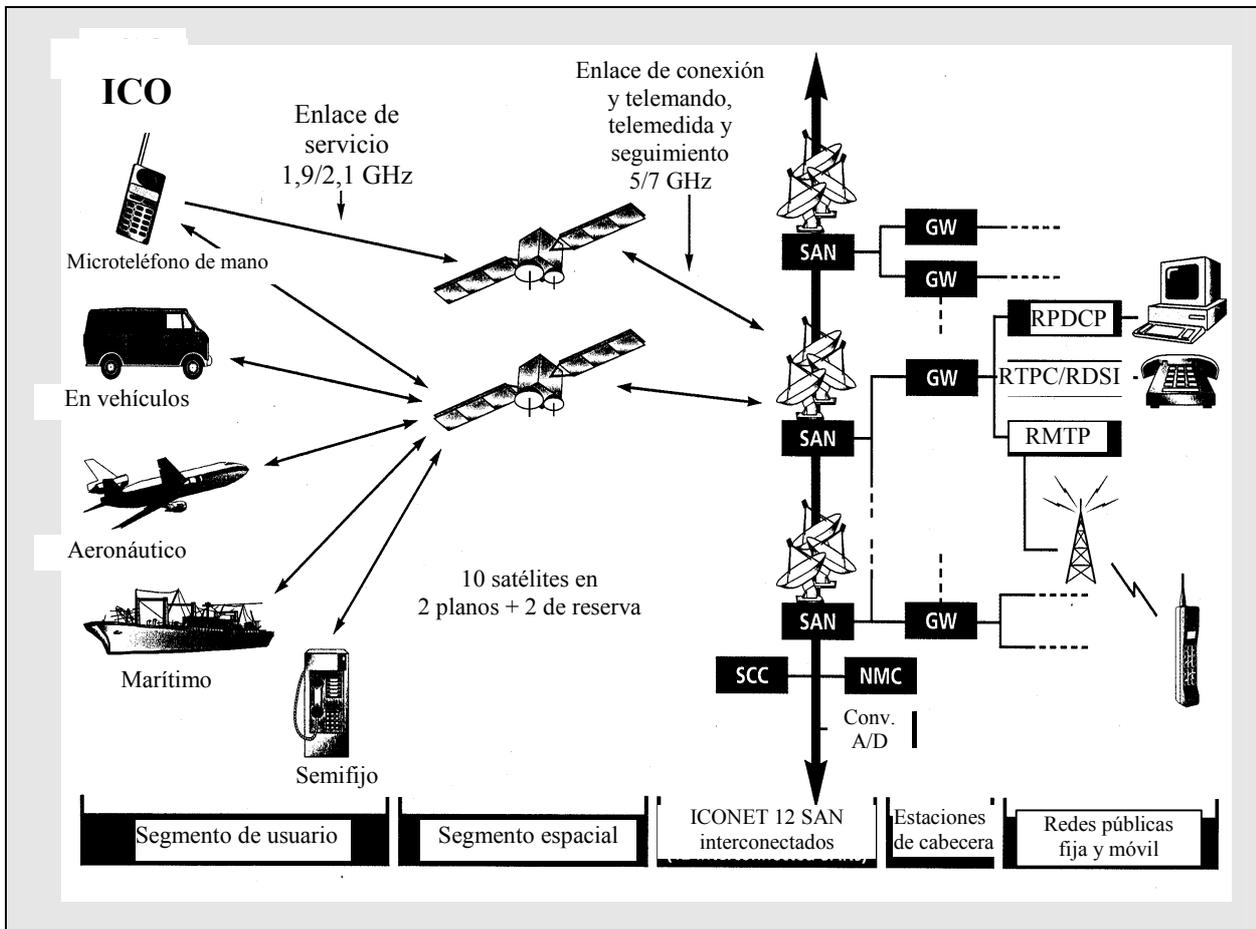
ICO es un sistema de comunicaciones móviles por satélite, diseñado principalmente para ofrecer servicios con teléfonos de bolsillo. El sistema ofrecerá servicios de voz, datos, facsímil y una serie de servicios de mensajería digitales en cualquier lugar de las zonas cubiertas en todo el mundo. La Figura 1 representa la configuración general del sistema ICO.

Este sistema permite comunicaciones móviles por satélite utilizando las redes móviles terrestres públicas (RMTP) y funciona con microteléfonos móviles de mano, que ofrecen aproximadamente los mismos servicios que los teléfonos celulares en entornos exteriores. Las llamadas son encaminadas desde las RMTP y las RTPC hacia las estaciones terrestres SAN (nodos de acceso a los satélites), que seleccionan uno de los satélites a través del cual se conectará la llamada. Las llamadas de los terminales móviles se encaminan por la constelación de satélites a las redes fijas o móviles apropiadas o a otro terminal móvil de satélite. Los microteléfonos serán producidos por los grandes fabricantes de material de telecomunicaciones que poseen la tecnología celular/PCS terrenal. Existirán versiones mono-sistema (sólo para satélite), pero la mayoría de los equipos comercializados podrán funcionar en modo doble, con sistemas de satélites y sistemas celular/PCS terrenales. La selección del sistema de satélites o terrenal en los microteléfonos en modo doble será automática o por control del usuario, según la disponibilidad de uno u otro sistema y la configuración del servicio preferida por el usuario. Una característica del sistema ICO será el conjunto de funciones de mensajería de gran penetración capaces de transmitir alarmas o mensajes breves.

En distintos entornos urbanos, suburbanos y rurales característicos se llevaron a cabo mediciones exhaustivas de la propagación de ondas radioeléctricas prevista para los usuarios de microteléfonos de satélite, incluidos los efectos de sombra y de reflexiones no deseadas. Estos resultados y la geometría en movimiento de la constelación de satélites han permitido determinar la disponibilidad del servicio, expresada como la probabilidad que tiene un usuario de iniciar o recibir una llamada en un momento dado.

Puede garantizarse una disponibilidad superior al 90% en zonas rurales y suburbanas, al aire libre, proporcionando un margen de potencia del enlace de unos 7 dB y utilizando diversidad de trayecto. Sin diversidad de trayecto, sería necesario un margen del enlace de 16 dB, aproximadamente, para garantizar una disponibilidad comparable en las mismas zonas. Estos resultados confirman las ventajas que ofrece la diversidad de trayecto como principio de diseño de un sistema; se limita la potencia transmitida y la sensibilidad de recepción necesarias en los satélites de la constelación y, en consecuencia, se reduce su complejidad.

Figura 1 – Configuración del sistema ICO



Segmento espacial y constelación orbital

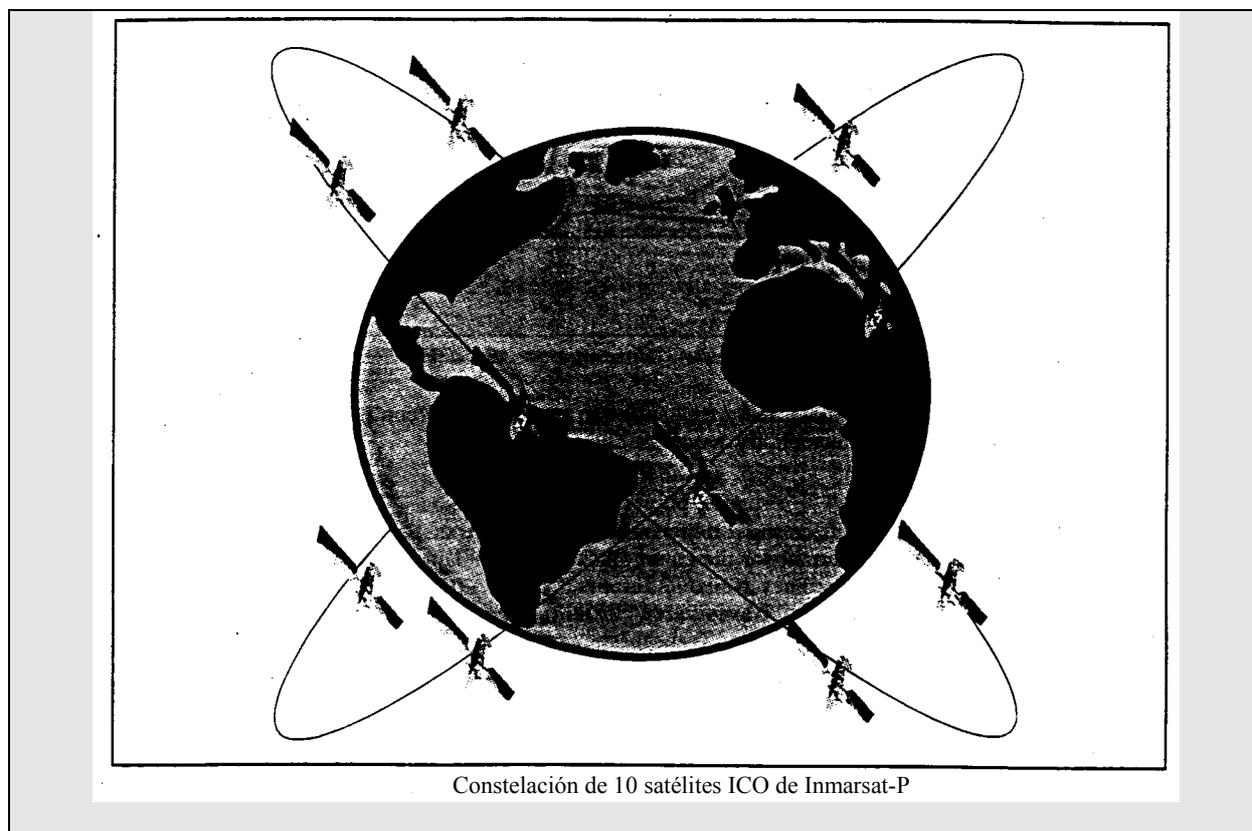
Una constelación de 10 satélites en una órbita terrestre media (MEO), a 10 355 km sobre la superficie de la Tierra, se dispondrá en dos planos de cinco satélites y un satélite de reserva cada plano (12 satélites en órbita). Los planos orbitales tienen una inclinación de 45° con respecto al Ecuador. Los 12 nodos de acceso a los satélites (SAN) se encuentran instalados por todo el mundo. *Hughes Space & Communications International, Inc.*, fabricará los satélites según las condiciones del contrato suscrito en julio de 1995.

La configuración asegura la cobertura de toda la superficie terrestre en cualquier momento y ofrece un sistema con la máxima diversidad de trayecto. Existe diversidad de trayecto cuando el usuario dispone de varios satélites en un momento dado, y de una vía alternativa de transmisión en caso de obstrucción de un satélite, lo que ofrece mayores garantías de llamada sin interrupción.

Constelación de satélites

La configuración orbital también se diseña para obtener una superposición de cobertura importante asegurando que un usuario y uno de los SAN están cubiertos en cualquier instante por dos satélites, como mínimo y algunas veces por tres o cuatro. Cada satélite cubre aproximadamente un 30% de la superficie terrestre en un momento dado. Las órbitas de los satélites se han seleccionado para garantizar una cobertura continua de toda la Tierra y permiten ángulos de elevación importantes para los usuarios (40-50 grados de media). La Figura 2 representa la constelación orbital ICO.

Figura 2 – Constelación orbital ICO



Diseño de los satélites

Se utiliza el diseño de satélites geoestacionarios HS601, de probada fiabilidad, modificando los sistemas de actitud y control para adaptarse a las condiciones particulares de la órbita MEO. La carga útil de comunicaciones es transparente y permite flexibilidad en los formatos de transmisión. Utiliza un alto grado de tecnología digital para la canalización y la generación del haz, que son funciones tradicionalmente ejecutadas por tecnologías analógicas. Gracias al uso de tecnología digital, la configuración del satélite es muy flexible (por ejemplo, atribución flexible de la capacidad en los 30 MHz disponibles en las bandas de enlace de servicio de 2 GHz). Las ventajas de la tecnología digital sobre la analógica en términos de condiciones de fabricación son significativas, dado que este sistema utiliza un número de satélites relativamente importante, comparado con las configuraciones habituales de satélites geoestacionarios.

Los usuarios serán conectados a los satélites mediante antenas de servicio instaladas en cada uno de los satélites. Para asegurar la fiabilidad de enlaces de radiocomunicaciones con las unidades de microteléfono, los satélites emplean antenas con una apertura superior a los dos metros. La presencia de varios haces para enlaces de servicio en cada satélite también permite reutilizar las frecuencias y aumentar la eficacia de la atribución del espectro.

Los SAN son la principal interfaz con los satélites para la coordinación y el encaminamiento del tráfico. El SAN realiza el encaminamiento de las llamadas para garantizar la mejor calidad de servicio al usuario. A este respecto, cada SAN efectúa un seguimiento de los satélites visibles y encamina el tráfico de comunicaciones a través del satélite óptimo.

Cada satélite soporta 4 500 canales telefónicos como mínimo, repartidos en unas 750 ondas portadoras, utilizando la tecnología de acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT) para integrar un grupo de

canales en una onda portadora. La tecnología AMDT fue seleccionada después de un estudio detenido de otras tecnologías, incluido el AMDC. Los estudios realizados por ingenieros de la sociedad y por terceros han demostrado las ventajas del AMDT sobre el AMDC para el sistema ICO debido a su mayor capacidad de tráfico, a unas condiciones técnicas menos exigentes y a la menor probabilidad de fallo en la llamada por problemas de interferencia. Con la capacidad de satélites prevista, esta constelación soportará al menos 2 400 millones de minutos de voz/año, en las condiciones típicas de distribución del tráfico, con puntos de concentración. Fuera de estos puntos de concentración del tráfico, la capacidad adicional permitirá otras formas de tráfico. La estimación de tiempo de servicio de los satélites ICO es de unos 12 años.

Tecnología de los satélites

Enlace de servicio y número de haces: Las prestaciones del sistema superarán ampliamente las exigidas para obtener la calidad de servicio esperada. Los 163 haces del enlace de servicio en transmisión y recepción permiten conexiones con un margen de potencia superior a 8 dB. El margen de potencia medio de los enlaces será de 10 dB, pudiendo alcanzar 10-11 dB para un usuario situado bajo el satélite (en el punto subsatelital).

Antenas de enlace de conexión: Las antenas del enlace de conexión soportan la transmisión entre los satélites y los SAN. Normalmente, todos los satélites están siempre en contacto directo con dos, tres o cuatro SAN en cualquier instante. Antes de salir del campo de visión de un SAN, el satélite establece contacto con otro SAN, que mantiene el seguimiento mientras lo tiene en su campo de visión, y dirige las llamadas a uno de los satélites en su campo; precisamente al que ofrezca la mejor calidad de señal.

Estimaciones sobre la masa y la potencia de los satélites: Un sistema de lanzamiento puede colocar directamente varios satélites en una órbita circular, dado que la masa total de lanzamiento del satélite es de unos 2 600 kg. La colocación directa en órbita permite simplificar el HS601, porque no es necesario un motor de apogeo para situar al satélite en la órbita definitiva. Los paneles solares con células de arseniuro de galio de la tecnología más reciente aseguran una potencia de más de 8 700 W al final del periodo de utilización.

Determinación de la configuración orbital

La configuración orbital MEO fue elegida por Inmarsat, principal accionista y promotor del sistema ICO, después de analizar detalladamente todas las opciones técnicas disponibles. En estos análisis se consideraron las características del servicio, los costos, los riesgos técnicos y las posibilidades del mercado. Las investigaciones fueron realizadas por Inmarsat, en colaboración con Inmarsat Signatory, y mediante estudios encargados a las principales industrias aeroespacial y de telecomunicaciones.

En los estudios de Inmarsat se analizaron las ventajas relativas y las opciones técnicas viables de un servicio de telecomunicaciones con teléfonos de satélite de las siguientes características:

- i) en órbita terrestre baja (LEO): menos de 2 000 km de altura,
- ii) en órbita terrestre media (MEO): 8 000 a 20 000 km de altura, o
- iii) en órbita de los satélites geoestacionarios (GEO).

Para cubrir toda la Tierra son necesarios 40-70 satélites LEO, 6-20 satélites MEO, y 3-6 satélites GEO.

Los estudios de Inmarsat demostraron que la configuración MEO ofrece la mejor calidad de servicio para el mercado previsto debido a las propiedades orbitales que proporcionan, con un número razonable de satélites, las siguientes ventajas:

- i) alto valor medio del ángulo de elevación del usuario al satélite, lo cual reduce al mínimo las probabilidades de bloqueo;
- ii) alta probabilidad de que un usuario se encuentre en el campo de cobertura de varios satélites, lo que supone buenas condiciones de diversidad de trayecto al satélite;
- iii) satélites de desplazamiento lento (aproximadamente 1 grado por minuto en el firmamento, desde el punto de vista del usuario).

Las ventajas relativas de la solución MEO fueron confirmadas por estudios técnicos sobre las constelaciones de satélites LEO, MEO y GEO. En el caso de la configuración LEO, el gran número de satélites necesarios y el periodo de utilización relativamente corto en el entorno de radiación previsto, plantean problemas logísticos y de fabricación para mantener la constelación.

Características del servicio de la constelación

Cada configuración orbital tiene ventajas e inconvenientes con respecto al servicio, los costos, la complejidad y los riesgos y, por consiguiente, es necesario llegar a soluciones de compromiso. Las condiciones de conectividad y el retardo de propagación son las características más visibles para los usuarios.

Conectividad: En cualquier configuración orbital, normalmente el usuario debe tener un satélite en su campo de visibilidad para iniciar y mantener una conexión. Los obstáculos entre el usuario y el satélite (edificios y montañas, por ejemplo) pueden impedir el establecimiento del enlace o interrumpir un enlace existente. El paso por un cañón, natural o urbano, puede crear dificultades.

La superposición de la cobertura de varios satélites es común en los sistemas MEO y LEO, y ello aumenta la probabilidad de que el usuario tenga al menos un satélite en su campo de visión para establecer un enlace. Como los satélites de estos sistemas se desplazan en relación con la Tierra, salen de la línea de visibilidad del usuario o del SAN cuando pasan el horizonte o se ocultan detrás de un obstáculo. Los sistemas MEO y LEO necesitan un sistema de «transferencia» para mantener los enlaces.

Como los satélites MEO se desplazan más lentamente que los satélites LEO en el campo de visión del usuario al ser la órbita más alta, se reduce el número de transferencias necesarias.

Retardo de propagación: Es el retardo de tiempo en el transporte de la señal radioeléctrica proporcional a la suma de las distancias entre el satélite y el usuario, y entre el satélite y el SAN. El retardo de propagación alcanza sus valores máximos si se utilizan satélites GEO y es mínimo con sistemas LEO. El retardo de propagación típico de los sistemas MEO es inferior a 200 milisegundos, lo cual es perfectamente aceptable.

Plan de frecuencias

Espectro del enlace de servicio necesario para conectar los terminales de usuario a los satélites: Las bandas para enlaces de servicio en sistemas del SMS son 1,6/1,5 GHz, 1,6/2,4 GHz y alrededor de 2 GHz. El sistema ICO funcionará en las bandas de 2 GHz, entre 1 985-2 015 MHz y 2 170-2200 MHz.

Para las previsiones de distribución y volumen de tráfico, el sistema necesita un espectro de 10 MHz aproximadamente para el enlace de servicio en los sentidos del enlace ascendente y del enlace descendente. La flexibilidad de los satélites ICO permitirá utilizar al máximo el espectro disponible en los dos sentidos, en las bandas de 1 985-2 015 MHz y 2 170-2 200 MHz.

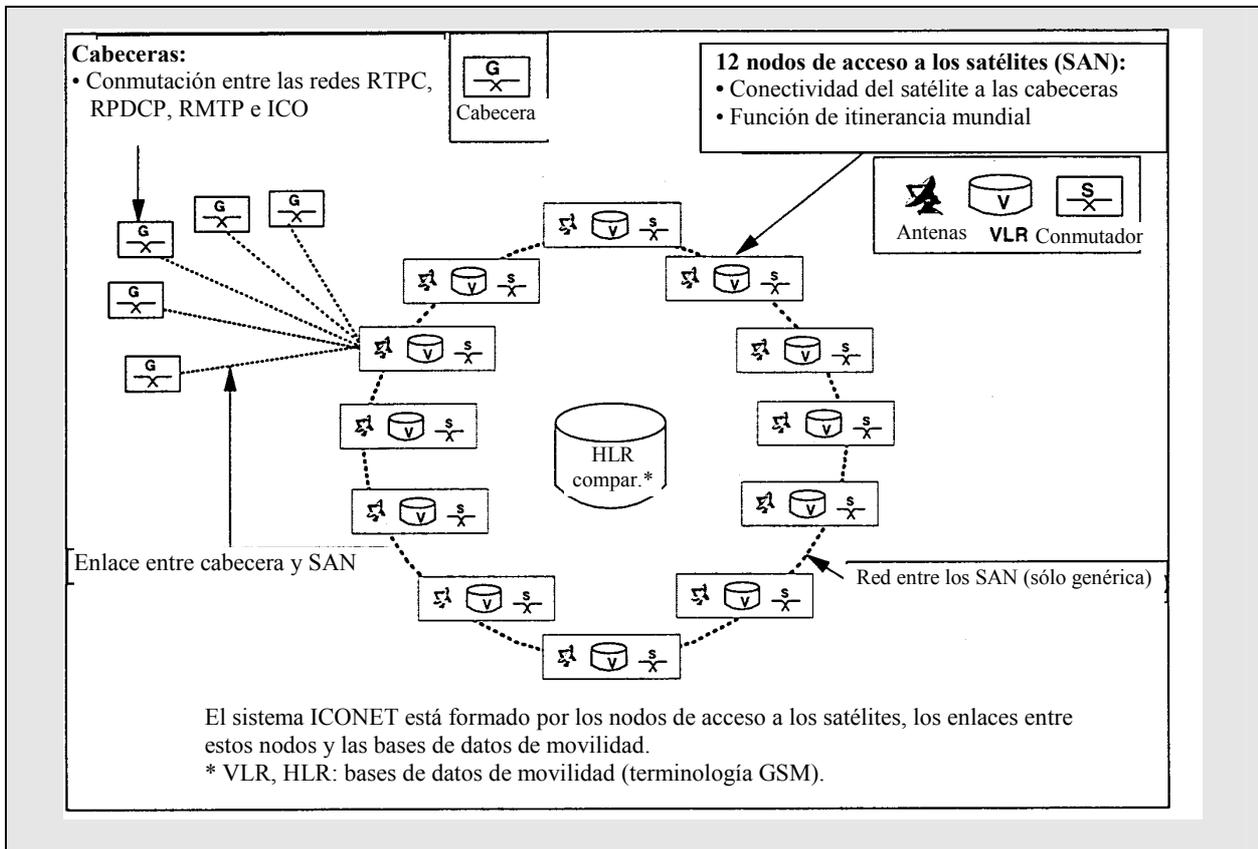
Espectro necesario para el enlace de conexión entre los satélites y los SAN: En lo que respecta al enlace de conexión, el sistema ICO utilizará las bandas de 5 150-5 250 MHz y 6 975-7 075 MHz. Estas bandas forman parte de un par de nuevas atribuciones efectuadas por la CMR-95 para los enlaces de conexión con satélites no geostacionarios en sistemas del SMS.

Segmento terreno

Los satélites estarán conectados con una red terrena (ICONET) que interconecta 12 SAN repartidos idealmente en todo el mundo. Los SAN consisten en una estación terrena con múltiples antenas para comunicar con los satélites así como el equipo de conmutación y las bases de datos correspondientes.

La red ICONET y los SAN encaminarán las llamadas para asegurar a los usuarios las mejores condiciones de calidad y disponibilidad del servicio. La Figura 3 muestra un diagrama de bloques de la red ICONET.

Figura 3 – La red ICONET



Las cabeceras estarán repartidas en todo el mundo y conectadas a la red ICONET, como interfaces con las redes RTPC y RMPT. Serán propiedad de terceros, autorizados para acceder al sistema ICO.

ICONET y nodos de acceso a los satélites (SAN)

Los SAN serán la principal interfaz entre los satélites y las cabeceras. En ellos se instalarán los equipos que encaminan las señales de los satélites hacia las cabeceras apropiadas. Los tres elementos principales de un SAN son los siguientes:

- i) Cinco antenas y los equipos asociados para establecer las comunicaciones con los satélites.
- ii) El sistema de conmutación para encaminar el tráfico en la red ICONET y hacia las cabeceras.
- iii) Bases de datos para soportar la gestión de movilidad.

Cada SAN tiene una base de datos con la identidad de los terminales de usuarios que están registrados en ese nodo en un momento dado (en el sistema GSM es conocida como registro de posiciones de visitantes o VLR). Al menos un SAN contendrá también otra base de datos con información sobre usuarios (registro de posiciones base o HLR), aunque esta función puede estar distribuida entre varios SAN o en la RMPT.

Cada uno de los SAN hace el seguimiento de los satélites dentro de su campo de visión, dirige el tráfico de comunicaciones al satélite que ofrece el enlace más fiable y realiza la transferencia entre el satélite de enlace menos fiable a otro en la posición óptima dentro de su campo de visión, para mantener una comunicación ininterrumpida.

El sistema ICO creará 12 SAN repartidos estratégicamente en todo el mundo (aproximadamente dos en cada continente) y será propietario de estos equipos encargándose de su diseño y suministro, pero la instalación y explotación de los SAN serán confiadas a operadores con contratos especiales. La red de SAN estará interconectada mediante una red central terrena ICONET, que permitirá encaminar las llamadas por el segmento terreno de la red hacia el SAN mejor situado para completar la llamada. La red ICONET será gestionada por un centro de central de red.

Cabeceras

Las estaciones de cabecera son centros de conmutación que sirven de enlaces entre los SAN y las redes terrenales públicas. Todas las estaciones de cabecera estarán conectadas a la red ICONET, que permitirá flexibilidad en la asignación del tráfico y en el encaminamiento del tráfico de reserva. La conmutación puede ser autónoma o especializada, pero también puede crearse como función adicional en un centro de conmutación existente.

Las cabeceras serán propiedad de terceros, encargados de su explotación. El número de cabeceras que pueden incorporarse a un sistema no está limitado por condiciones técnicas y su ubicación vendrá determinada por la proximidad del mercado y el acceso a los centros de conmutación de la RPTC, la RPDCP y la RMPT.

Gestión de movilidad de los usuarios

Para permitir la itinerancia en todo el mundo, la red ICONET dispondrá de un sistema de gestión de la movilidad de los usuarios, basado en la norma celular existente GSM.

Los registros de posiciones HLR y VLR verificarán la información y el estado de los usuarios y los ubicarán en todo el mundo. Todos los microteléfonos activados enviarán señales al registro HLR, a través del satélite y el SAN, para verificar el estado del usuario y permitir el acceso al sistema. El sistema comunicará la autorización al SAN y la registrará en su VLR. La segunda función del registro HLR es comunicar la posición VLR de todos los usuarios al SAN que trata la llamada entrante. Entonces se podrá dirigir la llamada al SAN que se encuentre más cerca del destinatario de la llamada, que se completará a través del enlace del satélite.

Integración de la red celular

Una de las principales características del sistema ICO es su integración en las RMTP existentes. En la mayoría de los casos, la red de satélites será considerada como un servicio complementario para los abonados de la RMTP, que deseen poder realizar y recibir llamadas en zonas no cubiertas por esta red.

La arquitectura de la red ICO permitirá definir dos grandes grupos de usuarios, con las correspondientes distinciones de servicios: usuarios locales o regionales y usuarios a nivel mundial.

ICO Global Communications está considerando varias soluciones alternativas de integración, incluidos los requisitos del sistema para la numeración mundial y la logística para ubicar los usuarios y conectar las llamadas dentro y fuera de las redes celulares. La red ICO funcionará con un microteléfono en modo doble que permitirá acceder tanto al satélite como a las RMTP desde el mismo terminal.

Telemedida, seguimiento y control (TSC)

Las estaciones TSC del sistema ICO realizan el seguimiento de los movimientos del satélite y ajustan sus órbitas para mantener la constelación. También controlan el estado general de los satélites, recopilando información sobre la alimentación, la temperatura, la estabilidad y otros parámetros de funcionamiento. Esta información se retransmite a las estaciones que la procesan y toman las medidas necesarias.

Control de la red de satélites

El sistema de control de la red de satélites implantado en las estaciones TSC y los SAN controla los enlaces del transpondedor entre el alimentador y las antenas de servicio de los satélites. Este proceso determina, entre otras cosas, la reconfiguración de frecuencias dentro de los haces del enlace de conexión y la asignación óptima de canales entre haces puntuales de alto y bajo nivel de tráfico.

Terminales de usuario*Microteléfonos de bolsillo*

Se espera que la gran mayoría de los terminales de usuario ICO sean, teléfonos portátiles de bolsillo capaces de funcionar en modo doble (satélite y celular o PCS) y muy similares a los actuales teléfonos celulares/PCS de bolsillo en cuanto al aspecto, dimensiones y calidad de la señal vocal. Si el volumen de producción es importante, los teléfonos ICO de modo doble no serán más costosos que otros sistemas de satélite comparables cuando se introduzca el servicio.

Se han previsto algunas opciones para el teléfono de bolsillo ICO tales como conectores de datos externos y una memoria tampón interna para soportar comunicaciones de datos, funciones de mensajería, facsímil y utilización con tarjetas inteligentes (SIM).

Seguridad

El teléfono de bolsillo del sistema ICO será conforme con las condiciones de seguridad relativos a la radiación de radiofrecuencias. Normalmente, la potencia transmitida media durante la utilización no rebasará los 0,25 W. Los actuales teléfonos celulares tienen unos valores medios de potencia transmitida de 0,25 a 0,6 W.

Otros tipos de terminales de usuario derivados

También está previsto integrar la tecnología de los teléfonos de bolsillo ICO en muchos otros tipos de terminales de usuario, incluidos los terminales móviles en vehículos, aeronáuticos y marítimos y los terminales fijos y semifijos tales como las cabinas telefónicas rurales o los teléfonos de distrito. Muchos de estos terminales permitirán el uso de antenas de mayor ganancia y/o una potencia de transmisión superior, en comparación con los teléfonos de bolsillo y, por tanto, permitirán ofrecer servicios con velocidades binarias superiores.

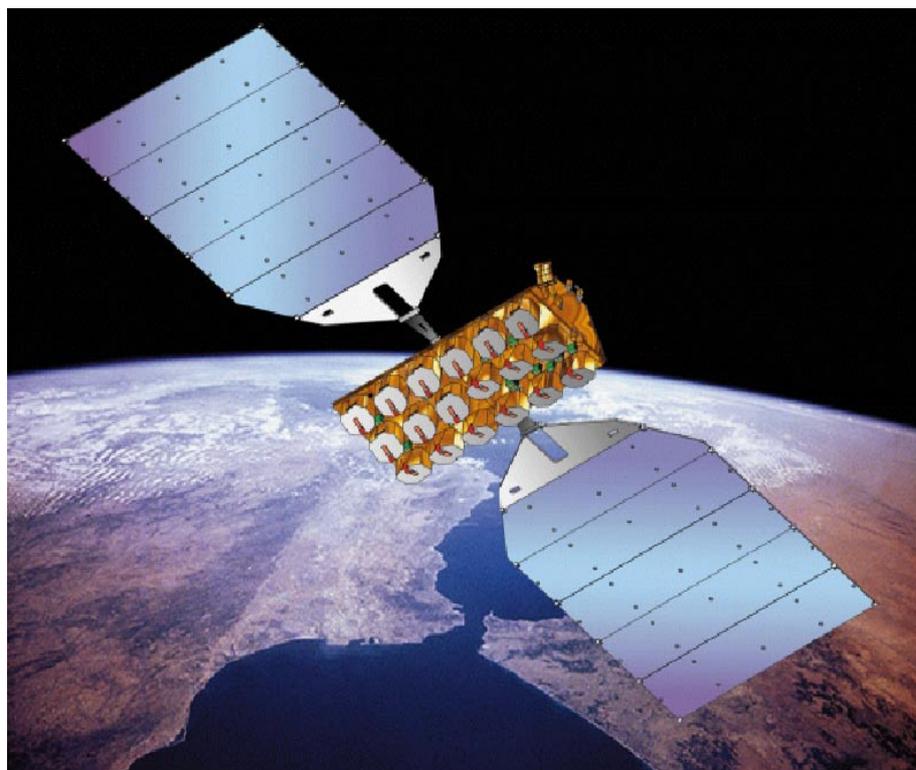
ANEXO 2E

Sistema Skybridge para acceso global multimedios

La siguiente información se basa en la documentación facilitada por Skybridge:

Introducción

Muchas empresas y usuarios individuales han adoptado Internet en los últimos años, por su facilidad para consultar información de todo el mundo con pocos gastos y las posibilidades del comercio electrónico. Ahora bien, los potentes servicios multimedios interactivos que caracterizan la nueva era de la información necesitan circuitos de capacidad aún mayor para transportar texto, imágenes, vídeo, sonido y datos. Estos servicios requieren velocidades de transmisión muy superiores. Deben ser decenas o incluso miles de veces más rápidos que los servicios tradicionales de llamadas telefónicas. Según las previsiones, unos 400 millones de usuarios en todo el mundo utilizarán estos servicios de banda ancha en el año 2005.



Para satisfacer esta demanda, los operadores de telecomunicaciones han realizado fuertes inversiones en la instalación de redes centrales de fibra óptica que pueden transportar información multimedios a la velocidad de la luz por todo el mundo. El problema es que las redes locales, a las que se conectan los usuarios finales, distan mucho de ofrecer estas prestaciones y provocan los atascos que todos conocemos; de ahí las esperas interminables para cargar una página Internet. Naturalmente, sería muy costoso reemplazar o mejorar la infraestructura de acceso local, que representa más del 70% del total de inversiones en la red. Es imposible, tanto desde el punto de vista físico como económico, sustituir el bucle local instalado por sistemas de fibra óptica de alta velocidad en los próximos años.

Las tecnologías actuales, como la línea de abonado digital asimétrica (ADSL) o los módems de cable, constituyen alternativas interesantes para utilizar las actuales redes telefónicas de cobre y redes de cable. Sin embargo, hay limitaciones técnicas o de costes para ofrecer estas tecnologías en muchos casos (por ejemplo, en zonas de baja densidad con redes de baja calidad). Muchos usuarios seguirán sufriendo atascos del tráfico. En consecuencia, los operadores están perdiendo ingresos importantes que podrían obtener ofertando servicios de banda ancha a todos sus abonados.

La cuestión que se plantea es la forma de resolver este problema de manera económica. SkyBridge es una solución razonable pues se trata de un sistema de acceso a satélites que evita las limitaciones de los bucles locales, ofreciendo un acceso de alta velocidad a las redes centrales de fibra óptica. Los operadores de telecomunicaciones podrán utilizar el sistema SkyBridge a partir de 2003 para ofrecer acceso de banda ancha a más de 20 millones de usuarios en todo el mundo, con una constelación de 80 satélites en órbita terrestre baja (LEO). Será el primer sistema de satélites LEO de banda ancha y el único enteramente dedicado al acceso local. La interconexión de la red de acceso a satélites SkyBridge con las redes centrales de fibra óptica permitirá lograr una conectividad de extremo a extremo de alta velocidad a nivel mundial y a un coste razonable. Los operadores podrán aprovechar las ventajas del bajo coste, la flexibilidad, la rápida puesta en servicio y la alta calidad de servicio. Como se trata de un sistema de «anchura de banda según demanda», SkyBridge puede asignar capacidad en el lugar y en el momento apropiados para satisfacer las necesidades de los usuarios. Es un sistema con una relación coste/prestaciones interesante para los usuarios a fin de acceder a los servicios multimedios con una antena pequeña y económica.

La tecnología de satélites de SkyBridge está libre de las limitaciones que impone la topografía o la infraestructura existente y, en consecuencia, permite a las personas y a las empresas ubicadas en zonas rurales o alejadas y en los países en desarrollo, aprovechar las ventajas de la era de la información y estimular la economía local.

El sistema SkyBridge

SkyBridge utiliza una constelación de 80 satélites en órbitas terrestres de 1 469 km de altura y funciona en la banda Ku (10 a 18 GHz), lo que significa altos niveles de disponibilidad basados en la utilización de una tecnología de satélites fiable. Además, la banda Ku es mucho más resistente a la atenuación debida a la lluvia que las bandas de frecuencias superiores, lo que permite garantizar una elevada calidad de servicio incluso en malas condiciones meteorológicas. La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) aprobó unánimemente el empleo de esta banda, que SkyBridge comparte con otros sistemas de satélites geoestacionarios y sistemas terrenales de microondas.

El tráfico es encaminado, a través de los satélites LEO, desde la antena del usuario hasta la estación de cabecera terrenal que sirve de interfaz con la infraestructura terrenal. Los procesos de conmutación y encaminamiento pueden realizarse en la cabecera o en instalaciones de conmutación distantes situadas en la red del operador.

El principio de funcionamiento sencillo del sistema SkyBridge, sin conmutación a bordo ni enlaces de comunicación entre satélites, es una garantía de flexibilidad y de capacidad para evolucionar progresivamente. En consecuencia, los operadores pueden gestionar la capacidad de sus redes según las

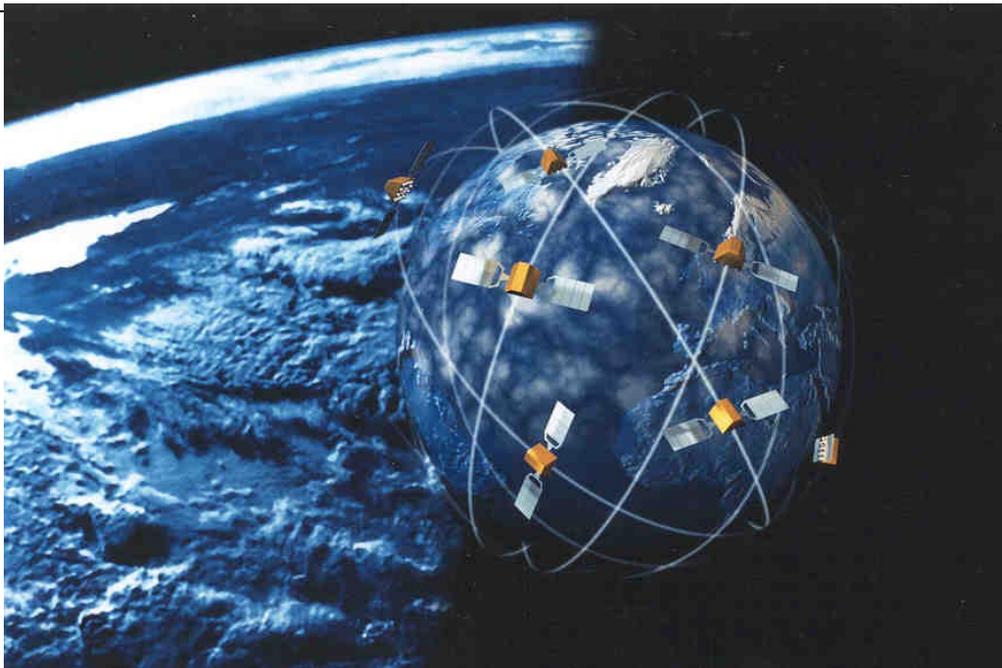
circunstancias y desarrollar servicios que respondan a las necesidades de los usuarios. Esta flexibilidad será una condición indispensable para mantener la competitividad en el mercado a medio plazo.

Arquitectura

La arquitectura del sistema está dividida en un segmento espacial y un segmento de telecomunicaciones. El segmento espacial comprende:

- Una constelación de 80 satélites LEO y satélites de reserva.
- Dos centros de control de satélites (SCC).
- Estaciones terrenas de seguimiento, telemetría y telemando.
- Dos centros de control de misión.

Los satélites serán colocados en la órbita de la denominada constelación Walker, formada por 20 planos con una inclinación uniforme de 53° con respecto al Ecuador. Cuatro satélites en cada plano, en una órbita de 1 469 km de altura.



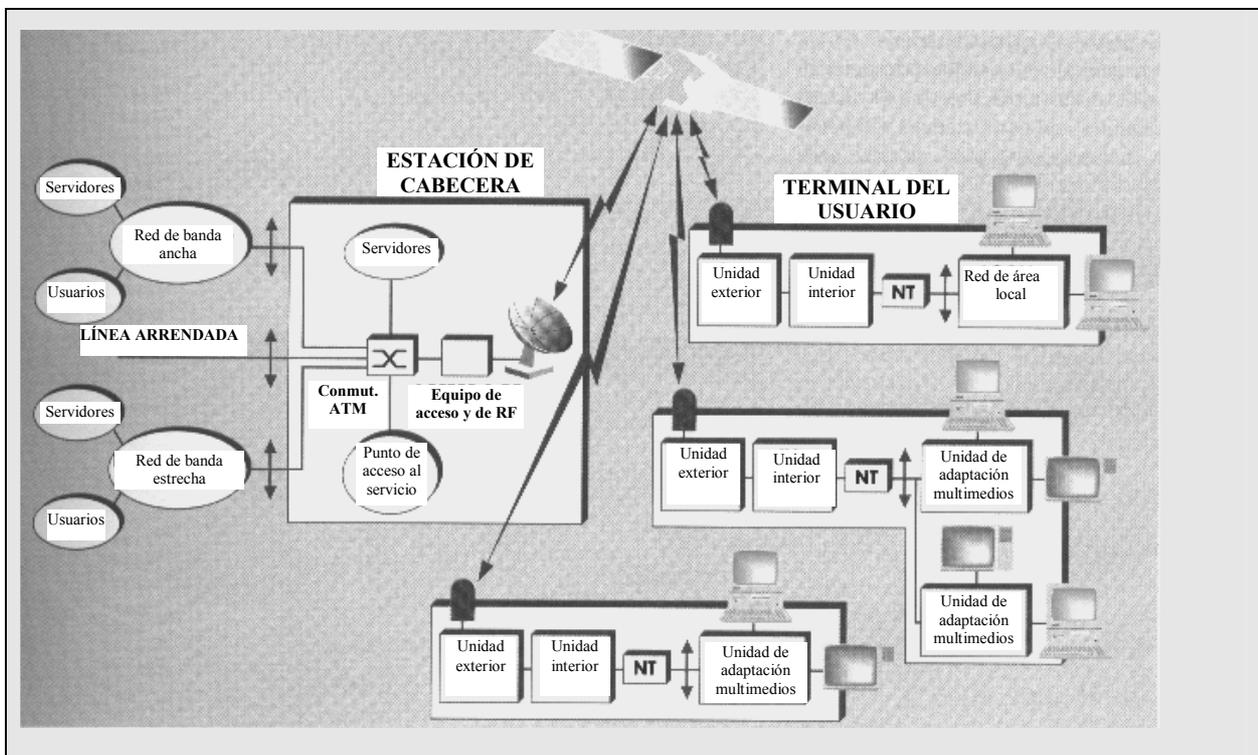
Una característica de diseño fundamental de los satélites es el empleo de antenas activas que generan haces puntuales y los mantienen orientados hacia las correspondientes estaciones de cabecera terrenales. Cada uno de estos haces ilumina una célula de 700 km de diámetro y puede cubrir terminales de usuario con un ángulo de elevación de más de 10°.

La figura representa el segmento de telecomunicaciones, formado por los terminales de usuario y las estaciones de cabecera, que constituyen las interfaces con los servidores locales, las redes terrenales de banda ancha o de banda estrecha y líneas arrendadas. Los terminales de usuario incluyen el equipo de antena y la interfaz para la conexión con el equipo de usuario, por ejemplo, un ordenador personal multimédios. Está previsto instalar hasta 200 cabeceras para asegurar una cobertura mundial. Una sola cabecera podrá cubrir varias células en regiones con baja densidad de población.

Los usuarios privados equipados con pequeñas antenas de techo de 50 cm de diámetro pueden recibir a una velocidad de hasta 20 Mbit/s (enlace hacia el abonado) y transmitir con una velocidad de hasta 2 Mbit/s (enlace de retorno). Los terminales comerciales provistos de antenas de 80 a 100 cm de diámetro pueden recibir y transmitir con velocidades binarias de 3 a 5 veces superiores.

El funcionamiento con los principios normalizados de modo de transferencia asíncrono (ATM: *asynchronous transfer mode*) y protocolo Internet/protocolo de control de transmisión (IP/TCP) garantiza la compatibilidad total de SkyBridge con las redes terrenales actuales y futuras.

Figura 1 – Segmento de telecomunicaciones del sistema SkyBridge



Traspaso de un satélite a otro

Cuando un satélite sale del campo de visión de un terminal, el tráfico gestionado por este terminal se transfiere a otro satélite para mantener la continuidad del servicio. El primer satélite enfoca entonces otros terminales. El traspaso en una célula es controlado por la estación de cabecera correspondiente. El enlace con el satélite que sale del campo de visión se mantiene durante el tiempo necesario para que las antenas del terminal y la cabecera sean enfocadas y sincronizadas con el satélite que está entrando en el campo de visión. Las llamadas se conmutan en cuanto se logra la sincronización.

Los servicios SkyBridge

Sabiendo que es necesario acusar recibo de los datos, el retardo de transmisión ida y vuelta al satélite influye en gran medida en el comportamiento del transporte de paquetes IP (caudal, tamaño de la ventana). El retardo a la transmisión de las señales en la constelación SkyBridge es muy bajo en comparación con los satélites geoestacionarios (30 ms en lugar de 500 ms), lo que asegura una transferencia eficaz para soportar servicios de acceso a Internet.

Por otra parte, SkyBridge es compatible con las actuales y futuras normas de Internet (por ejemplo, el protocolo de reserva de recursos/servicios diferenciados o el protocolo punto a punto en Ethernet) definidas actualmente para soportar la calidad de servicio en tiempo real en Internet y en otras redes de banda ancha por paquetes.

Servicios para el usuario final

El sistema SkyBridge soporta muchos servicios diferentes:

- Aplicaciones multimedios en Internet: para satisfacer la creciente demanda de difusión en tiempo real (videoconferencias de prensa en directo, radio Internet en directo) y de nuevos servicios de telefonía y videoconferencias en Internet.
- Acceso directo a servicios y contenidos en línea: SkyBridge puede encaminar el tráfico directamente a un servidor local que ofrece servicios y contenidos locales.
- Interconexión LAN y redes privadas: interconexión de terminales y redes de área local (LAN) por enlaces de satélite. Los operadores también pueden prestar servicios LAN virtuales, permitiendo el acceso remoto a las LAN (personas que trabajan en casa y empleados en desplazamientos) y a redes de área amplia (WAN).
- Conexión a la red pública de banda estrecha: permite a cualquier usuario final utilizar un teléfono convencional o digital, así como otros tipos de terminales de usuario final (teléfonos de pantalla o unidades de adaptación multimedios).
- Videotelefonía y videoconferencias: permite a varios usuarios situados en dos o más lugares comunicar en tiempo real con intercambio bidireccional o multidireccional de audio, vídeo y otros datos (aplicaciones y documentos de empresas, entre otras cosas).
- Comercio electrónico: incluye la comercialización, los pedidos, la entrega y el pago de mercancías y servicios en línea. Las previsiones indican que esta aplicación será uno de los principales motores de la demanda de servicios de banda ancha en las redes Internet, intranet y extranet.
- Trabajo a domicilio: permite la actividad profesional fuera de la oficina tradicional, mediante conexiones LAN/WAN distantes. El sistema SkyBridge también ofrece acceso a conexiones LAN distantes.
- Educación a distancia en «clases virtuales»: el profesor y los alumnos están en diferentes lugares, conectados por SkyBridge.
- Telemedicina: una combinación de vídeo por demanda, consulta de información multimedios y videoconferencias.

Servicios de transporte de banda estrecha y banda ancha

SkyBridge soporta los servicios de banda estrecha para la prestación de telefonía en zonas suburbanas y en regiones poco pobladas y también para la rápida instalación de infraestructuras públicas y redes privadas.

La capacidad de transporte de SkyBridge también permite la conexión con otros sistemas de acceso de banda ancha (por ejemplo, ADSL) y la interconexión de grupos de usuarios distantes a una cabecera SkyBridge.

Usuarios finales de SkyBridge

El sistema SkyBridge cubre dos categorías de usuarios:

- usuarios profesionales que consultan bases de datos distantes y comparten aplicaciones interactivas con otros usuarios situados fuera de la red de su empresa;
- usuarios privados con demanda de servicios de ocio, comunicaciones de vídeo, acceso a un proveedor de servicios Internet, etc.

Usuarios profesionales

Los usuarios profesionales necesitan una conectividad punto a punto o punto a multipunto, para aplicaciones tales como teleconferencias, trabajo en equipo o interconexión LAN-LAN. SkyBridge permite la comunicación de un usuario profesional con otro usuario profesional conectado a una red de empresa exterior (por ejemplo, WAN, Intranet o red virtual privada –VPN–) o a cualquier otro usuario equipado con un terminal SkyBridge.

Usuarios privados

Pueden establecerse comunicaciones entre varios usuarios privados (residenciales) de SkyBridge situados dentro de la zona de cobertura del servicio SkyBridge o entre usuarios privados y proveedores de servicios conectados a las cabeceras SkyBridge.

Operadores

En algunos casos, los operadores de la red también pueden considerarse usuarios finales. En particular, SkyBridge permite la transmisión de enlaces E1 y T1 conmutados o transparentes.

Concepto de reutilización de frecuencias

Uno de los aspectos más importantes de la gestión eficaz de las frecuencias es el concepto de compartición entre los distintos servicios y sistemas de telecomunicaciones. Las técnicas de compartición apropiadas permiten la utilización de nuevas tecnologías para ofrecer nuevos servicios muy interesantes sin afectar los servicios existentes. SkyBridge es un ejemplo de este concepto de uso compartido. El diseño innovador de SkyBridge permite ampliar en gran medida el acceso a telecomunicaciones avanzadas a un mayor número de usuarios, reutilizando las frecuencias de otros sistemas, incluidos los satélites geoestacionarios y los servicios fijos.

SkyBridge está desempeñando un cometido determinante a la hora de crear un entorno que permita mantener el uso compartido y eficaz de las frecuencias para los sistemas del servicio fijo por satélite con satélites no geoestacionarios (SFS no OSG). La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 1997 (CMR-97) dio un primer paso estratégico introduciendo el concepto de límites para la densidad de flujo de potencia donde se especifican los parámetros técnicos que deben satisfacer las constelaciones de satélites no geoestacionarios, para proteger eficazmente los servicios de satélites geoestacionarios y los servicios terrenales. La CMR-97 también creó un foro técnico de ingenieros de todo el mundo, encargado de definir las medidas concretas de protección para los sistemas de satélites geoestacionarios (OSG) y los servicios terrenales, que no impidan introducir el SFS no OSG. Se ha avanzado bastante en este esfuerzo

colectivo y la CMR-2000 deberá completar estas normas y adoptar el trabajo realizado por el Grupo de Trabajo del UIT-R en este tema.

Como el sistema SkyBridge comparte la banda de frecuencias Ku (10 a 18 GHz) con los actuales sistemas de radiodifusión por satélite con satélites geoestacionarios, con las redes terrenales, con los proyectos científicos espaciales y con los servicios de radiolocalización, uno de los principales retos del diseño fue asegurar que no se causarán interferencias perjudiciales a estos sistemas o al cualquier futuro sistema que utilice esta banda.

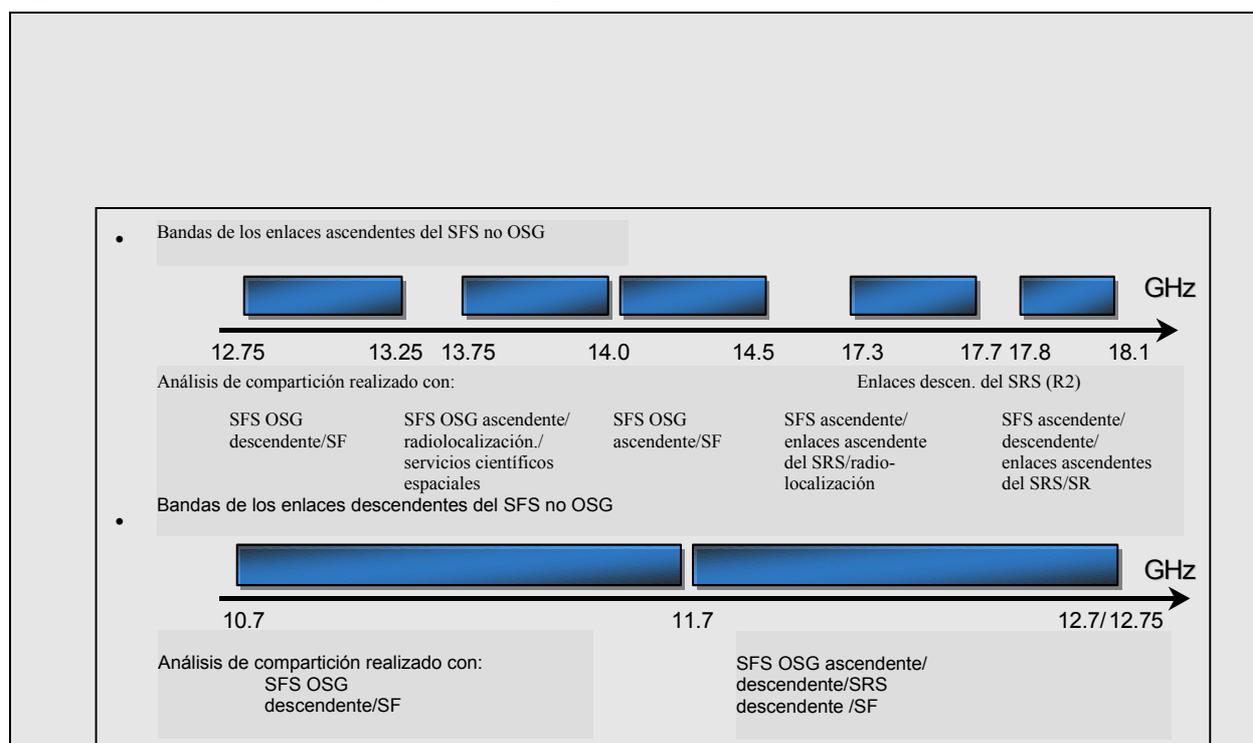
SkyBridge ha optimizado los distintos parámetros radioeléctricos del sistema para ofrecer estas garantías. En primer lugar, se ha seleccionado cuidadosamente el plan de frecuencias, incluida la atribución de algunas bandas exclusivamente a las estaciones cabecera sin terminales de usuario. En segundo lugar, las antenas de satélites se han diseñado de forma que proporcionen el comportamiento óptimo. Por último, se ha elegido una forma de onda que minimice la potencia requerida y asegure la robustez del sistema contra la interferencia procedente de otros usuarios de la banda Ku.

Protección de los sistemas de satélites geoestacionarios

Los sistemas de satélites geoestacionarios existentes tienen un entorno de funcionamiento bien definido. La primera condición para compartir las frecuencias con los sistemas de satélites geoestacionarios que emplean la misma banda Ku es garantizar una protección eficaz contra tres posibles formas de interferencia:

- Interferencia entre el haz principal de un transmisor SkyBridge y el haz principal de un receptor de satélite geoestacionario.
- Interferencia entre el haz principal de un transmisor SkyBridge y el lóbulo lateral de un receptor de satélite geoestacionario.
- Interferencia entre el lóbulo lateral de un transmisor SkyBridge y el lóbulo lateral de un receptor de satélite geoestacionario.

Figura 2 – Plan de frecuencias y temas de compartición



SkyBridge protege los actuales sistemas de satélites geoestacionarios contra estas interferencias de una forma transparente para los usuarios, aprovechando la directividad de las antenas de las estaciones terrenas de su propio sistema y de los satélites geoestacionarios. Como todas las estaciones terrenas OSG están orientadas al arco OSG, la discriminación angular de la antena es importante en el resto del espacio. En particular, para evitar las interferencias con receptores de sistemas de satélites geoestacionarios, los satélites SkyBridge dejan de transmitir a una determinada célula cuando una estación terrena detecta su proximidad con la dirección de puntería OSG.

Se ha determinado una «zona no operativa» para cada cabecera, que incluye todas las posiciones de satélites que podrían crear interferencias con un satélite geoestacionario y las correspondientes estaciones terrenas. Cuando un satélite SkyBridge entra en esta zona, deja de transmitir a la célula de cabecera que corresponde a la zona de exclusión; al mismo tiempo, la cabecera y todos los terminales de usuario de esa célula también interrumpen las transmisiones hacia el satélite. El tráfico de esta célula es transferido de forma transparente a otros satélites de la constelación para garantizar la continuidad del servicio.

Después de estudiar detenidamente el entorno de interferencia, se ha definido la zona no operativa como una franja de $\pm 10^\circ$ a cada lado del arco geoestacionario, visto desde una estación terrena en una célula de cabecera. Por tanto, la zona no operativa se extiende más allá de $\pm 10^\circ$ en la mayor parte de los puntos dentro de la zona, lo que supone una protección aún más eficaz. Esta medida limita la potencia residual del haz principal al lóbulo lateral y del lóbulo lateral al haz principal.

Protección de los servicios terrenales

Una selección cuidadosa de bandas de frecuencias para recepción y transmisión de los pequeños terminales de usuario SkyBridge es la principal forma de protección adoptada por este sistema para los servicios terrenales fijos contra las interferencias. Sólo las cabeceras operan en las bandas de frecuencias utilizadas habitualmente por el servicio fijo. La coordinación entre los dos sistemas viene facilitada como resultado de la mejor coordinación que proporcionan las grandes antenas de las estaciones de cabecera y el número limitado de estaciones terrenas a coordinar. Si bien ello supone una restricción para el sistema SkyBridge, simplifica la protección de los enlaces del servicio fijo que funcionan en la banda Ku.

El estudio minucioso de los modelos de propagación utilizados en los procedimientos de coordinación ha permitido reducir al mínimo la distancia entre una estación terrena y un enlace del servicio fijo por debajo de la cual es necesaria una coordinación entre las dos partes implicadas. Estos procedimientos han sido objeto de un acuerdo general.

También es preciso proteger la recepción del servicio fijo contra emisiones de los satélites no geoestacionarios, definiendo los límites de dfp apropiados. Estos límites han sido igualmente objeto de un acuerdo general.

Protección del servicio de radiolocalización y de los servicios científicos espaciales

El actual Reglamento de Radiocomunicaciones establece un valor máximo para la potencia isotropa radiada equivalente (p.i.r.e.) emitida por las estaciones terrenas, a fin de proteger los sistemas científicos espaciales cuyo funcionamiento está previsto en la banda Ku. También especifica el valor de p.i.r.e. mínima que garantiza la protección de las estaciones terrenas contra el servicio de radiolocalización.

SkyBridge ha emprendido un estudio técnico minucioso para determinar los posibles efectos en estos servicios. Utilizando una forma de onda poco sensible a la interferencia, SkyBridge ha demostrado que puede funcionar en la banda Ku junto con los servicios de radiolocalización.

Por otra parte, SkyBridge propone limitar la potencia transmitida por sus estaciones de cabecera a valores inferiores a los indicados actualmente en el Reglamento de Radiocomunicaciones, para asegurar la protección de las aplicaciones científicas espaciales contra la interferencia procedente de las estaciones terrenas no OSG.

ANEXO 2F

El sistema Teledesic

La siguiente información se basa en la documentación facilitada por Teledesic:

El sistema Teledesic es una importante iniciativa colectiva que ofrecerá un acceso económico a servicios de telecomunicaciones con la calidad de los sistemas de fibra óptica, en las regiones del mundo que no sería rentable cubrir mediante instalaciones terrenales.

Actualmente, en el mundo sólo las zonas urbanas desarrolladas disponen de una infraestructura avanzada de telecomunicaciones. En consecuencia, la mayor parte de la población mundial no dispone de acceso ni siquiera a los servicios de comunicaciones básicos. Muchas regiones que tienen el servicio básico de telefonía utilizan una tecnología analógica centenaria, con redes de conductores de cobre, que en la mayoría de los casos nunca será adaptada para soportar los servicios digitales de banda ancha.

Teledesic está construyendo el sistema de banda ancha mundial «Internet por satélites». Mediante una constelación de varios cientos de satélites en órbita terrestre baja, Teledesic creará la primera red que podrá ofrecer de manera económica servicios de telecomunicaciones con la calidad de los sistemas de fibra óptica en todo el mundo, tales como acceso a Internet de banda ancha, videoconferencia, voz de alta calidad y otras aplicaciones de datos digitales. Desde el mismo día de su puesta en marcha, el sistema Teledesic permitirá el acceso a las telecomunicaciones de banda ancha a las empresas, las escuelas y los usuarios privados en cualquier lugar del mundo.

Teledesic es respaldado por los organismos competentes de países desarrollados y en vías de desarrollo, lo que asegura la asignación de las frecuencias necesarias para el servicio de satélites de la red Teledesic a nivel nacional e internacional. En marzo de 1997, la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos autorizó la construcción, puesta en servicio y explotación de la red Teledesic.

La red Teledesic

Teledesic no ofrecerá servicios directamente a los usuarios finales; pondrá en servicio una red abierta que será utilizada por terceros para ofrecer estos servicios. Los proveedores de servicios podrán utilizar la red Teledesic para ampliar sus propias redes, tanto en términos de cobertura geográfica como de tipos de servicios que pueden ofrecer. Las estaciones de cabecera terrenas permitirán a los proveedores de servicios ofrecer enlaces transparentes con otras redes de conductores o inalámbricas, como por ejemplo, Internet.

La red Teledesic estará formada por 288 satélites operacionales repartidos en 12 planos con 24 satélites en cada uno de ellos. Para utilizar eficazmente el espectro radioeléctrico, las frecuencias se asignan de forma dinámica y son reutilizadas muchas veces dentro de la huella de cada satélite. La red Teledesic puede soportar velocidades superiores a 500 Mbit/s en la transmisión de datos hacia los terminales de usuario y procedente de los mismos, en el interior de cualquier círculo de 100 km de radio. La red Teledesic soporta la anchura de banda por demanda, lo que permite a los usuarios solicitar y liberar capacidad según sus necesidades. Los usuarios sólo pagan por la capacidad que realmente utilizan y la red puede soportar un número muy superior de usuarios.

El sistema Teledesic ocupará una porción de la banda Ka de alta frecuencia (28,6-29,1 GHz el enlace ascendente y 18,8-19,3 GHz el enlace descendente). La órbita baja de la red Teledesic evita el problema de un retardo de la señal de comunicaciones demasiado importante que aparece con los satélites geoestacionarios tradicionales y permite utilizar terminales y antenas de baja potencia y de pequeño tamaño, aproximadamente el mismo que el de las antenas parabólicas utilizadas para la radiodifusión directa por satélite.

La red Teledesic ha sido diseñada para soportar millones de usuarios simultáneamente. La mayoría de ellos dispondrán de conexiones bidireccionales con enlace descendente de hasta 64 Mbit/s y enlace ascendente de hasta 2 Mbit/s. Los terminales de banda ancha tendrán una capacidad bidireccional de 64 Mbit/s, lo que supone una velocidad de acceso hasta 2 000 veces superior a la velocidad de los módems analógicos actuales. Por ejemplo, la red Teledesic permitirá enviar en 7 segundos una serie de radiografías cuyo tiempo de transmisión sería actualmente de hasta cuatro horas utilizando dichos módems.

Los costes de diseño, producción y puesta en servicio de la red Teledesic han sido estimados en 9 000 millones USD. Los proveedores de servicios definirán las tarifas para los usuarios, pero según las estimaciones de Teledesic no han de ser muy diferentes de las tarifas que se aplicarán a los futuros servicios por redes de cable urbanas para el acceso de banda ancha.

Compatibilidad transparente con las redes terrenales

No pueden preverse con exactitud todas las aplicaciones y todos los protocolos de datos que tendrán que cubrir las redes de banda ancha en el próximo siglo, pero sí es posible suponer razonablemente que las aplicaciones serán desarrolladas en las zonas urbanas de los países desarrollados, donde se utiliza la fibra óptica. Los sistemas de satélites pueden ofrecer el acceso de banda ancha conmutado desde cualquier lugar, para extender las posibilidades de las redes y las aplicaciones a todo el mundo. El sistema de satélites ha de tener las mismas características básicas que las redes de fibra óptica (canales de banda ancha, baja tasa de errores de bits y retardos mínimos), para asegurar una compatibilidad transparente y completa.

Existen dos clases de sistemas de satélites: los sistemas de satélite estacionarios (GEO) y los sistemas de satélites no geoestacionarios, principalmente situados en órbita terrestre baja (LEO). Los satélites geoestacionarios se encuentran en una órbita situada a una altura de 36 000 km sobre el Ecuador y es la única órbita que permite a los satélites mantener una posición fija con respecto a la Tierra. Por su altura, las comunicaciones con satélites GEO sufren de un inevitable retardo de transmisión en las dos direcciones que, como mínimo, es de medio segundo. Por tanto, un sistema GEO no podrá igualar nunca el retardo de un sistema de fibra óptica.

Este inconveniente de los sistemas GEO explica un retardo molesto en muchas llamadas telefónicas intercontinentales, que dificulta la comprensión y deforma el tono de la voz. Lo que quizás es solo un ligero inconveniente en comunicaciones vocales se convierte en absolutamente inaceptable en aplicaciones de tiempo real como la videoconferencia y muchos protocolos de datos normalizados, incluso protocolos de Internet.

Uno de los principios fundamentales de Internet es la noción de que todas las aplicaciones pasan por una plataforma de red común; se trata de una red abierta basada en normas y protocolos comunes. La idea de redes autónomas y particulares o redes para aplicaciones específicas está siendo relegada rápidamente. Todas las aplicaciones pasarán por las mismas redes utilizando los mismos protocolos. En estas redes de conmutación de paquetes en las que la voz, el vídeo y los datos son simplemente paquetes de bits digitalizados, no sería práctico separar las aplicaciones que pueden tolerar un retardo de las que no lo pueden tolerar. Por tanto, la red debe satisfacer las condiciones de las aplicaciones más exigentes. La calidad de servicio de extremo a extremo de la red Teledesic permitirá una interconexión mundial satisfaciendo las exigencias de Internet en el futuro.

Arquitectura distribuida y arquitectura centralizada

Al igual que las redes terrenales, que han evolucionado de sistemas centralizados construidos alrededor de un solo ordenador central, a redes distribuidas de ordenadores interconectados, las redes de satélites basadas en el espacio están pasando de ser redes centralizadas basadas en un solo satélite geoestacionario a convertirse en redes distribuidas formadas por satélites interconectados situados en órbita terrestre baja. La pérdida o el fallo de un satélite es una situación catastrófica en los sistemas de satélites

geoestacionarios. Para reducir esta contingencia a niveles aceptables el alto grado de fiabilidad necesario sacrifica seriamente la rentabilidad del sistema.

En una red distribuida, como la red Teledesic, la fiabilidad puede basarse en la red en vez de en cada unidad individual, reduciendo de esa forma la complejidad y los costes de cada satélite y logrando unos procesos de fabricación simplificados y automáticos y mejores soluciones de ingeniería. Por sus características de arquitectura distribuida, encaminamiento dinámico y gran fiabilidad, la red Teledesic es una emulación de Internet, la más famosa de las redes distribuidas, con las ventajas de capacidad en tiempo real y el acceso desde cualquier lugar.

Sistemas de satélites de órbita terrestre baja

La evolución de satélites geoestacionarios a satélites en órbita terrestre baja (LEO), ha dado lugar a la aparición de un cierto número de sistemas mundiales por satélite propuestos, que se pueden clasificar básicamente en tres grupos por analogía con los sistemas terrenales: sistemas de radiobúsqueda, celulares y de fibra óptica.

Los sistemas LEO grandes, por ejemplo, ofrecen servicios económicos móviles de comunicación telefónica de banda estrecha. Teledesic ofrece principalmente conexiones fijas de banda ancha con un coste comparable al del servicio urbano con red de conductores. Al igual que los sistemas celulares y los sistemas de fibra óptica no pueden compararse directamente, los sistemas Teledesic y LEO grandes sólo tienen en común el uso de satélites en órbita terrestre baja.

Ángulo de elevación

La red Teledesic está diseñada de tal forma que desde cualquier lugar de la Tierra puede verse siempre un satélite Teledesic, prácticamente en la vertical. Esta condición se asegura manteniendo un ángulo de elevación de al menos 40° en todo instante y en todas las posiciones.

El ángulo de elevación de 40° de los satélites Teledesic permite a los usuarios situar los terminales en despachos, escuelas y viviendas privadas orientándolos hacia el firmamento sin que aparezcan obstáculos en ninguna dirección. Un ángulo de elevación inferior supone un riesgo mucho mayor de obstrucción por parte del relieve, los edificios o los árboles, lo cual afecta al servicio. En muchas zonas, con un ángulo de elevación bajo resultaría muy difícil o simplemente imposible ofrecer ningún servicio.

Por otra parte, la lluvia puede bloquear las señales de alta frecuencia, especialmente si son transmitidas con un ángulo de elevación más bajo. El ángulo de elevación de 40° de Teledesic es esencial para satisfacer los criterios de calidad Teledesic, proporcionando una disponibilidad comparable a la de las redes terrenales. También permite utilizar terminales de usuario más pequeños y económicos y facilita la coordinación de las radiofrecuencias con otros sistemas y servicios.

El mercado de Teledesic

Debido a la convergencia de la informática y las comunicaciones, las condiciones de calidad de vida (educación, salud, desarrollo económico y servicios públicos) dependen cada vez más del flujo de información. Las zonas más densamente pobladas disponen de excelentes conexiones de fibra óptica de alta calidad y gran anchura de banda, que satisfacen esta demanda de información. Un creciente número de entidades y particulares utilizan hoy en día conexiones de banda ancha para el acceso a Internet, la informática en red, la combinación de líneas de voz y su transmisión por líneas troncales o el trabajo a domicilio. Pero las telecomunicaciones con la calidad de estas redes de fibra óptica son prohibitivas fuera de las ciudades o simplemente no existen.

La red Teledesic será una extensión invisible de la actual infraestructura terrenal de fibra óptica, para ofrecer servicios de información avanzados en cualquier lugar del mundo. Proporcionará una solución para los profesionales de la información ansiosos por salir de los centros urbanos cada vez más congestionados, para muchos países que podrán transportar líneas de voz combinadas desde posiciones celulares distantes, o para conectar filiales de sociedades multinacionales en todo el mundo con una red mundial propia. La red Teledesic será la solución para entidades y particulares que deseen utilizar los servicios de telecomunicaciones con la calidad de las redes de fibra óptica disponibles en la actualidad sólo en los centros urbanos más desarrollados.

Como los satélites Teledesic se desplazan en relación con la Tierra, ofrecen la misma calidad y capacidad de servicio en todas partes. En este sentido, la tecnología de «Internet por satélites» es igualitaria por naturaleza. Desde el primer día de su puesta en marcha, Teledesic ayudará a transformar los parámetros económicos de las telecomunicaciones para permitir un acceso universal a Internet y a la nueva era de la información.

ANEXO 2G

El sistema «Final Analysis»

La siguiente información se basa en la documentación facilitada por Final Analysis:

La nueva industria de los sistemas de comunicaciones personales móviles mundiales por satélite (GMPCS, *global mobile personal communications by satellite*) es uno de los principales focos de inversiones y una de las más prometedoras en servicios y fabricación. Los sistemas GMPCS constituyen la infraestructura de las telecomunicaciones por satélite para el nuevo milenio.

Los analistas de la industria y los grandes inversores prevén una explosión del mercado para los nuevos servicios de comunicaciones ofrecidos mediante constelaciones de satélites que pueden estar constituidas por decenas o centenas de pequeños satélites en órbitas terrestres, sincronizados para ofrecer servicios homogéneos en todo el mundo. Se trata de un nuevo campo de inversiones que está siendo ocupado rápidamente. Los distintos operadores redoblan esfuerzos para completar la financiación, implantar los sistemas y empezar a ofrecer los servicios, y la mayoría de las oportunidades ya están cubiertas.

Las tecnologías, los costes y los mercados de la industria GMPCS pueden ser muy diferentes. Existen sistemas de satélites diseñados para proporcionar servicios de voz, para cubrir las necesidades de desplazamientos profesionales con teléfonos portátiles, pero también hay sistemas de satélites preparados para ofrecer sofisticadas redes de datos entre ordenadores.

Los sistemas LEO pequeños constituyen otro grupo que atrae la atención de los inversores, los empresarios comerciales y los mercados. Las ventajas de los sistemas LEO pequeños (un mercado rentable, una tecnología fiable y experimentada y costes de servicio razonables) han decidido a la sociedad Final Analysis Communication Services Inc. («Final Analysis» o FACS) a elegir esta opción de la industria GMPCS.

Final Analysis se perfila como un proveedor competitivo y una de las dos referencias de la industria. Final Analysis no se limita a estudios teóricos; ha diseñado, fabricado y lanzado dos satélites; ha fabricado tres estaciones terrenas, las ha sometido a las pruebas pertinentes y las ha puesto en servicio; ha fabricado un centro de control de satélites, lo ha probado y lo ha puesto en servicio; tiene reservados los servicios de lanzamiento para la constelación de satélites y ha realizado prototipos de terminales de usuario funcionales. Final Analysis trabaja en aplicaciones de datos digitales y desarrolla mercados en distintos sectores clave. Está desarrollando, además, un servicio nacional e internacional que representa más de cuatro veces el importe de inversiones de capital de Final Analysis.

El principal objetivo de los sistemas de satélites LEO pequeños es ofrecer un servicio económico de mensajes para los mercados mundiales aún no cubiertos y aplicaciones de mensajería bidireccional a bajo coste, seguimiento de bienes de activo y otras aplicaciones de supervisión de datos. Estos nuevos servicios estarán disponibles próximamente, con ventajas de volumen y bajos costes, para la industria y los particulares en países desarrollados o en desarrollo. Una ventaja de los servicios LEO pequeños es la posibilidad de cubrir, a un coste razonable y de forma rentable, las regiones menos desarrolladas y más alejadas.

La denominación «LEO pequeños» fue adoptada para distinguir estos sistemas de *datos digitales* de los sistemas de *voz* conocidos como «LEO grandes». En ambos casos se trata de constelaciones de satélites en órbita terrestre baja (LEO). Los sistemas LEO pequeños funcionan en las bandas de ondas métricas y

decimétricas por debajo de 1 GHz, donde la tecnología de radiocomunicaciones ha sido desarrollada, probada y utilizada con excelentes resultados desde los años 70. Los sistemas LEO grandes necesitan esfuerzos considerables de investigación y desarrollo para poner a punto transceptores de radiocomunicaciones fiables que pueden funcionar a frecuencias superiores y con un coste razonable, lo que supone un riesgo tecnológico más importante que en el caso del mercado de sistemas LEO pequeños.

Final Analysis ha centrado su oferta en una serie de servicios de gran demanda y muy rentables, a saber:

Mensajería personal y correo vocal: El sistema de satélites Final Analysis permitirá la transmisión bidireccional de mensajes de radiobúsqueda y otros (teclado y pantalla alfanuméricos) más extensos que los mensajes posibles con los actuales sistemas de radiobúsqueda. La mensajería vocal de Final Analysis (micrófono y sistema digitalizador/decodificador de señales vocales) es una solución ideal para usuarios analfabetos puesto que la voz grabada es digitalizada y transmitida en un enlace de datos. La mensajería vocal de Final Analysis constituye un sistema de comunicaciones económico y disponible inmediatamente para zonas rurales y pequeñas localidades de países en desarrollo, que carecen de servicios telefónicos y de plantas de energía. Los satélites flexibles de Final Analysis también pueden transmitir voluminosos ficheros informáticos y de datos.

Seguimiento y gestión de bienes de activo: Los terminales terrenos de Final Analysis (que incluyen receptores GPS) ofrecen una solución económica para determinar de forma rápida y precisa la posición de mercancías transportadas, contenedores, vagones de ferrocarril, barcas y camiones. El mismo equipo proporciona fácilmente información de control. Es posible hacer un diagnóstico de vehículos y comunicarlo por satélite. Los dispositivos contra robo pueden informar sobre la posición de un vehículo robado en cualquier lugar del mundo y bloquear el motor al recibir una instrucción transmitida por el satélite. Es posible realizar el control de aduanas de un camión mediante detectores distantes que permiten comprobar si el contenedor fue abierto. Cualquier objeto móvil puede ser objeto de un seguimiento y, por tanto, puede protegerse.

Supervisión y control de datos: Los terminales terrenos de Final Analysis (que incluyen microprocesadores) ofrecen sistemas de memoria y operativos para supervisar las cantidades de bienes fungibles de máquinas distribuidoras o copiadoras, las condiciones climáticas en las estaciones meteorológicas, las condiciones de los cultivos o la provisión de piensos de grandes granjas, el consumo de servicios públicos en viviendas y empresas, la calidad del agua mediante boyas marinas, informes de puntos de venta del comercio minorista y toda una serie de datos para la gestión de inventarios. Algunas empresas, de servicios públicos entre otras, trabajan en la implantación de sistemas inalámbricos, pero siempre será necesario que un técnico se desplace a cada instalación para registrar los datos. Los satélites son más eficaces y más económicos porque pueden leer decenas de miles de instalaciones en un solo paso.

CAPÍTULO 3

3 Sistemas de conmutación digitales

3.1 Introducción

3.1.1 Conceptos

La función principal de las telecomunicaciones es la transmisión de mensajes. El sistema de comunicación debe garantizar la entrega de los mensajes al destinatario. La transferencia es el proceso de convertir un mensaje en unidades de señalización, transportar estas unidades y reconstituir el mensaje a partir de ellas.

El proceso de transferencia de mensajes consiste efectivamente en operaciones de transmisión y de conmutación. La tecnología de transmisión permite disponer de canales para transmitir información prolongadamente. Estas condiciones de disponibilidad son flexibles y variadas. La trama de distribución representaba la flexibilidad de la tecnología de transmisión de los primeros sistemas. Actualmente se utilizan instrucciones de gestión para establecer y controlar vías de transmisión. El desarrollo de los sistemas de control se traduce en sistemas de transmisión con características cada vez más similares a las características de la tecnología de conmutación. La principal diferencia es el sistema de control: en un caso para tratar mediciones de gestión de la red (tecnología de transmisión), y en el otro para tratar señalizaciones durante el establecimiento de conexiones (tecnología de conmutación).

Red de conmutación

La red de conmutación conecta los equipos terminales (equipos que intercambian mensajes).

La red de conmutación debe garantizar las siguientes funciones básicas:

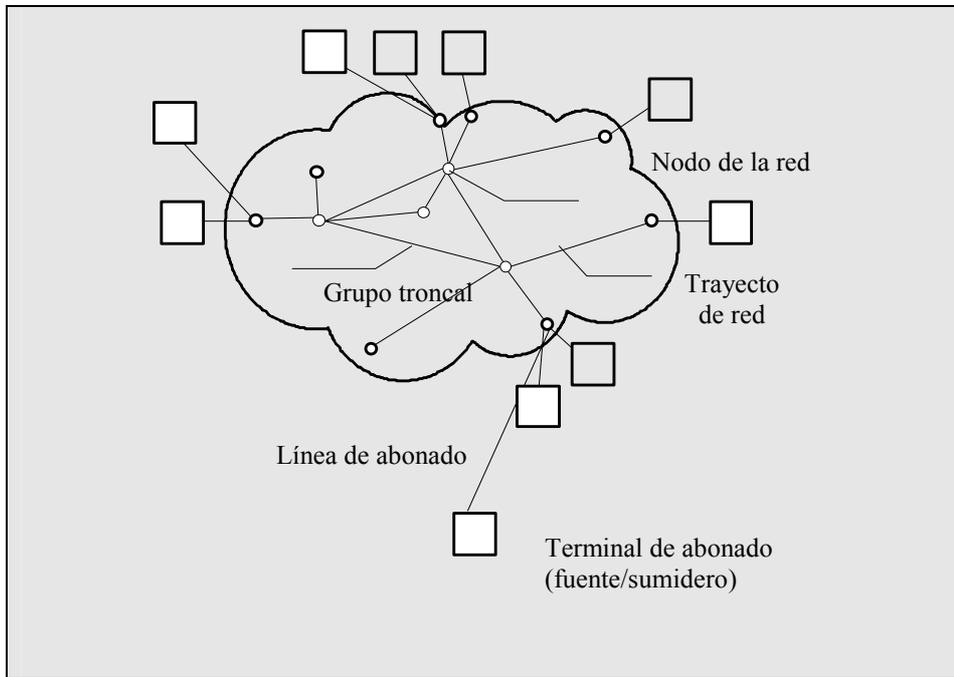
- asegurar, en principio, la posibilidad de conexión a todos los equipos terminales de la red o la transferencia a otras redes, desde todos los equipos terminales o desde todos los puntos de acceso;
- el usuario ha de poder controlar todas las conexiones.

Por una parte, la red debe ofrecer suficientes garantías para realizar las solicitudes de conexión previstas, y satisfacer los criterios de calidad garantizados. Por otra parte, ha de ser posible ejecutar las solicitudes de conexión con esfuerzos técnicos razonablemente limitados.

La estructura de la red de conmutación depende de varios factores:

- las condiciones del principio de conmutación utilizado;
- el volumen de tráfico;
- los parámetros técnicos y económicos de la tecnología utilizada;
- los reglamentos aplicables.

Figura 3.1 – Red de conmutación



Los nodos y los trayectos son los principales elementos de la red. Se utilizan trayectos para transportar la cabida útil entre los nodos. Los límites de la red son líneas de conexión entre equipos terminales, y líneas troncales entre los nodos y los usuarios. Las conexiones o los canales entre los nodos de la red están reunidos en grupos troncales. Los nodos de la red determinan la cabida útil.

Conexiones

Establecer una conexión es enlazar dos, o más de dos, equipos terminales a través de interfaces de acceso, trayectos y nodos de la red, para realizar un intercambio de información.

Para cualquier forma de intercambio de información, se establece siempre inicialmente una conexión en la red, sea una conexión abierta continuamente o sólo durante un tiempo determinado. Los procesos de conmutación son necesarios en las conexiones creadas para un tiempo determinado. La conexión se establece durante el tiempo de transmisión de toda la información (en una red telefónica, por ejemplo) o durante la transmisión de una parte de la información (redes ATM, por ejemplo). El proceso de conmutación tiene lugar en los nodos de la red.

Todo proceso de conmutación corresponde a una relación de comunicación determinada.

Conmutación

La conmutación es la creación de conexiones temporales en una red, mediante canales de enlace que constituyen los segmentos parciales de una conexión. La conmutación consiste en establecer una conexión mediante una señalización de control.

Tecnología de conmutación

La expresión «tecnología de conmutación» designa todos los equipos técnicos empleados en los procesos de conmutación de una red.

Gracias a la tecnología de conmutación, la información es transmitida exactamente a los nodos o abonados de una red a los que está destinada, en conformidad con los principios de conmutación aplicados en esa red.

Cada uno de los usuarios puede considerar la conmutación como un servicio que permite intercambiar información con otro usuario o con muchos otros usuarios de una red.

El nodo de conmutación es el elemento de una red donde se reúnen segmentos parciales para una conexión, evaluando información técnica de conmutación. En este proceso, la conmutación concentra el tráfico de muchos terminales de la red en algunos trayectos de la misma, según el volumen de tráfico.

Las instalaciones de nodos de conmutación son las «centrales» de la red.

Hay diferencias entre los nodos de conmutación, según su posición en la jerarquía de la red, y según su configuración técnica.

3.1.2 Principios de conmutación

El principio de conmutación es la forma en que se realiza la conmutación de conexiones o mensajes.

Transmisión sin conexión

El modo de transmisión sin conexión es apropiado cuando los terminales de una red intercambian segmentos de información breves y esporádicos, porque se reduce el tiempo necesario para establecer y terminar una conexión. Por sus características de funcionamiento, estas redes se han desarrollado principalmente para comunicaciones entre ordenadores. El inconveniente de este tipo de redes es que todos los nodos reciben una carga de tráfico importante, incluso los que no son destinatarios de la información.

Transmisión con conexión

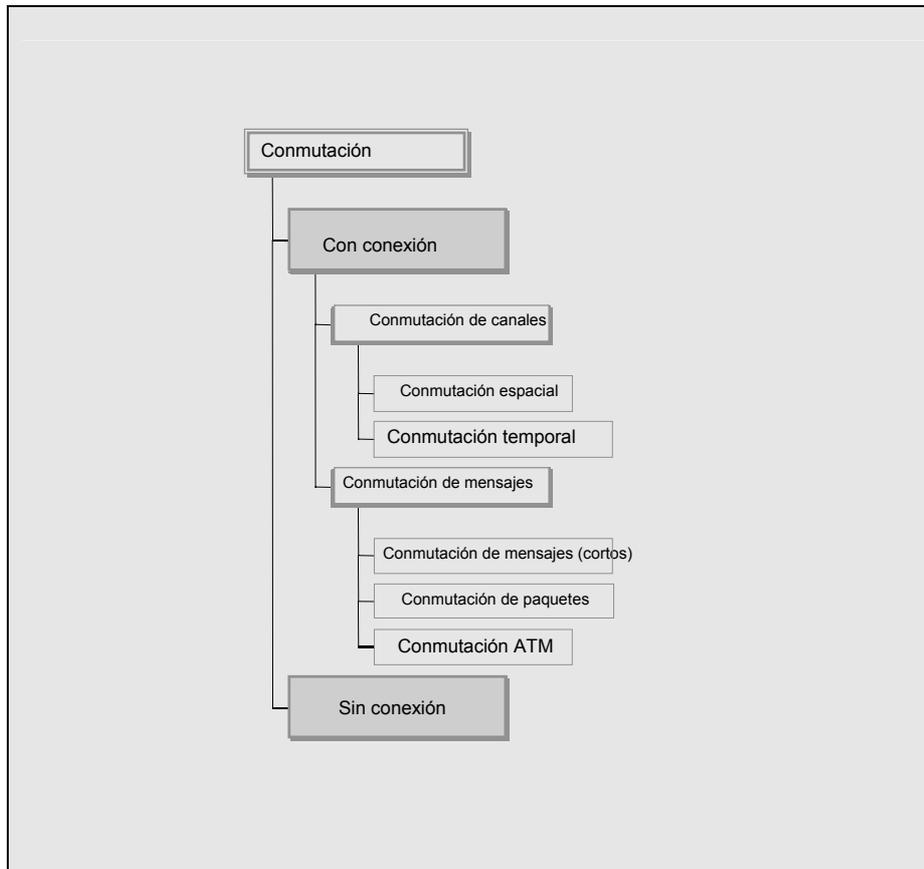
Es preferible utilizar servicios con conexión si el tiempo que se invierte en establecer la conexión es corto, en comparación con el tiempo que dura la conexión. Sólo se transmite información a los nodos que intervienen necesariamente en la comunicación. Las redes telefónicas se han desarrollado según estos modelos. Las redes con conexión pueden funcionar por conmutación de canales o conmutación de mensajes (conmutación de paquetes o conexiones virtuales).

En los sistemas de conmutación de canales con conexión se realizan operaciones de conmutación espacial (separación espacial de los canales) y de conmutación temporal (multiplexión temporal de los canales).

La conmutación de mensajes consiste en operaciones de conmutación de paquetes (mensajes de varios paquetes) y conmutación de envíos (mensajes de un paquete).

Se destaca aquí el sistema de conmutación en el modo de transmisión asíncrono (ATM). El punto 3.3.3 está dedicado a este sistema cada vez más importante.

Figura 3.2 – Cuadro de principios de conmutación



3.1.3 Referencias

Walrand, J.: Communication Networks.– Boston: Irwin, 1991.

Schwartz, M.: Telecommunication Networks.– Reading: Addison-Wesley, 1988.

3.2 Conmutación de canales

En el sistema de conmutación de canales, los interlocutores establecen una relación de comunicación conectando canales. Una vez establecida la relación, los dos abonados permanecen conectados directamente durante todo el tiempo de comunicación.

La conmutación espacial de canales es el sistema «tradicional» de conexión. Los sistemas más elementales funcionan con conexiones eléctricas, puestas en relación mediante contactos. Unos sistemas funcionan con conexiones conmutadas, y otros con conexiones fijas. Si se trata de conexiones conmutadas, los terminales activos son conectados automáticamente entre ellos durante un determinado tiempo, que depende de la información transmitida por la fuente (mediante la tecnología de conmutación y la señalización). Los procedimientos de gestión de la red crean conexiones reservadas durante un tiempo determinado. La red telefónica es la más antigua de las redes que funcionan con el principio de conexión.

La conmutación espacial es la conmutación de canales eléctricos separados físicamente.

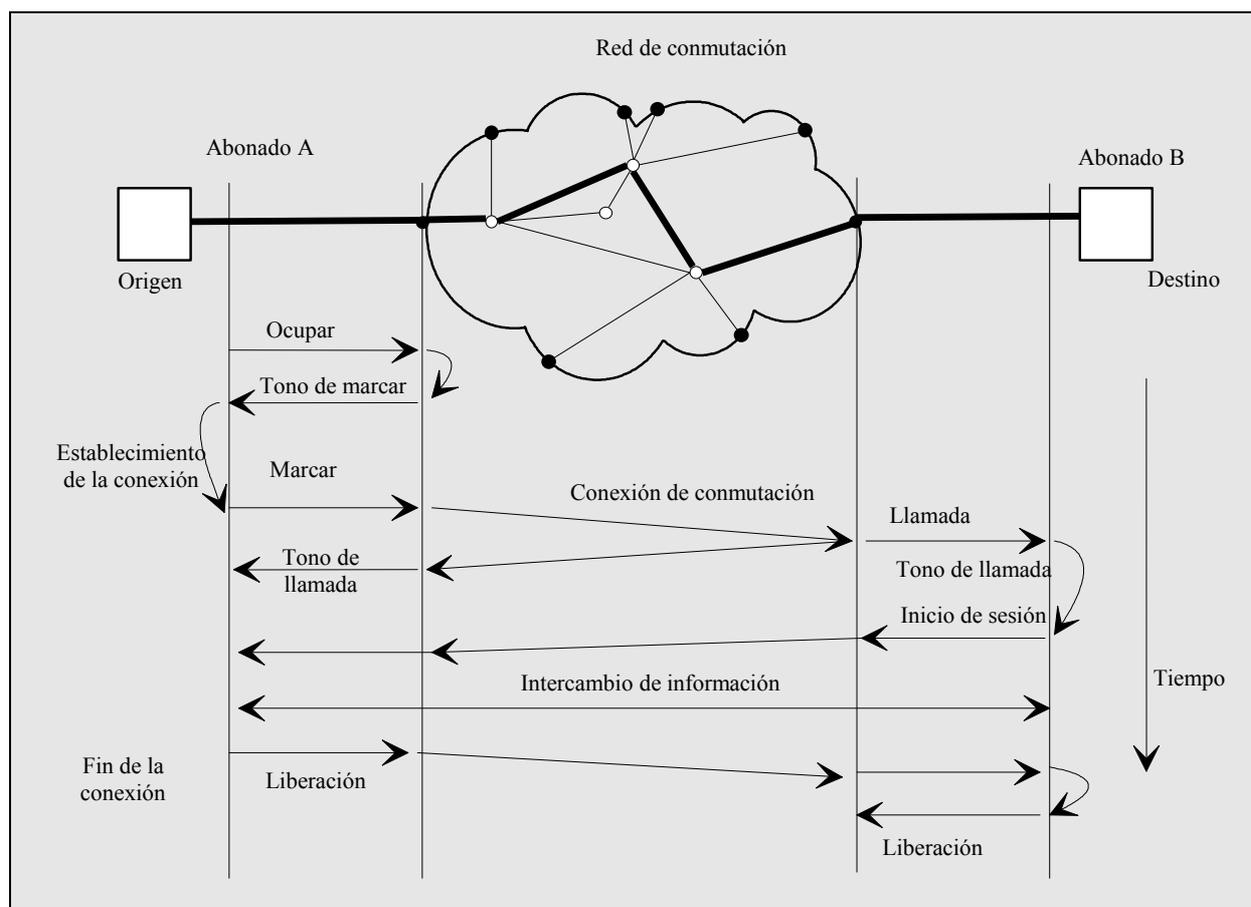
La conmutación temporal es la conmutación (reordenamiento) de segmentos de tiempo; en estos sistemas, la información de cada canal es transportada en segmentos de tiempo.

La conmutación de canales también es conocida como conmutación de circuitos. El sistema de conmutación de circuitos necesita establecer una conexión antes de realizar la comunicación propiamente dicha, y suspender la conexión al terminar la comunicación. En estos sistemas se observan varias fases de conexión.

3.2.1 Fases de conexión

Establecimiento de la conexión. La conexión se establece intercambiando información de señalización entre el equipo terminal activo y la central, y entre las distintas centrales. Es iniciado por el terminal que desea establecer una relación de comunicación (en la tecnología de telecomunicaciones y en el ejemplo de la Figura 3.3 es el abonado «A»). En la segunda fase, se reserva el equipo de conmutación al que está conectado el abonado «A». El equipo terminal será informado si la reserva es aceptada, es decir, si hay una instalación disponible para tratar la solicitud de conexión: la red telefónica informa con el tono de marcar. Luego, el equipo terminal marca para especificar cuál es el otro terminal al que desea conectarse (información de marcado, información de dirección). Entonces se intenta abrir un trayecto hasta el terminal de destino (abonado «B»). Si esta operación se realiza, el abonado «B» recibe la llamada, y se informa al abonado «A» que la conexión ha sido establecida (visualizador de llamada; en la red telefónica: tono de llamada). Si el abonado «B» acusa recibo de la llamada (inicia la sesión), la conexión pasa a la segunda fase. Para el abonado «A», este estado de ocupación es una llamada en emisión, y para el abonado «B» es una llamada entrante.

Figura 3.3 – Diagrama de las operaciones sucesivas de una conexión de conmutación de circuitos



En general, la conexión solicitada necesita varias configuraciones de conmutación, así como un proceso de señalización entre ellas.

Intercambio de información. El intercambio de información propiamente dicho tiene lugar en la segunda fase de la conexión, eventualmente también con señalización. El proceso de una conexión consiste en operaciones para poner en servicio/fuera de servicio distintos componentes del servicio, y en una gestión de teleservicios.

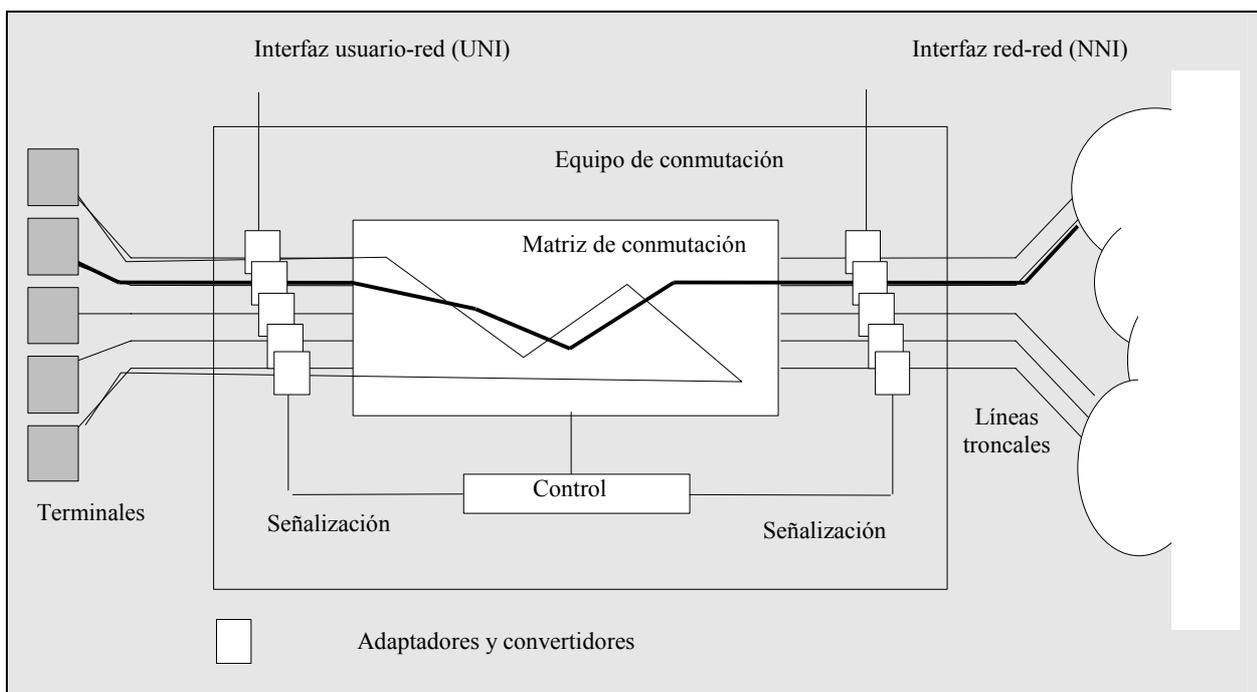
Liberación de la conexión. La tercera fase es la liberación de la conexión, iniciada mediante señalización de uno de los terminales. El equipo de conmutación activo y los canales ocupados quedan nuevamente libres. En este punto se registra la información necesaria para calcular los gastos de conexión.

3.2.2 Estructura de un sistema de conmutación

Bloques funcionales. Una configuración de conmutación está formada por diferentes bloques funcionales que participan en el proceso de conmutación o sirven de soporte:

- **Conmutación:** conexión de abonados mediante líneas de abonado y líneas de unión, para crear relaciones de comunicación.
- **Administración:** administración de las líneas de abonado que forman parte del intercambio, líneas troncales, instalaciones de la central y los procesos que se realizan en estas instalaciones. También el registro y el tratamiento de información de tasación y de tráfico.
- **Mantenimiento:** garantizar la disponibilidad de los equipos de la unidad central.
- **Operación:** comunicación entre las unidades centrales y el personal de operación.

Figura 3.4 – Elementos principales de una configuración de conmutación, en lo que se refiere al proceso de conmutación



La Figura 3.4 representa una central local. Es la imagen típica de un sistema de conmutación, con las conexiones a los abonados y las conexiones a otras centrales. A la izquierda se representan las líneas de abonado que conectan los equipos terminales con interfaces usuario-red (UNI, *user network interface*). A la derecha figuran las líneas troncales entre las estaciones de conmutación. Las centrales están conectadas mediante interfaces de red a red (NNI, *network network interface*).

Una conexión entre dos terminales que dependen de la misma estación de conmutación suele llamarse «conexión interna» (representada por líneas discontinuas en la Figura 3.4). Una conexión con origen/destino en un abonado que depende de otra central suele llamarse «conexión externa» (representada en la figura en trazo grueso).

Control. El control es un elemento importante del sistema de conmutación. Trata la información de señalización con origen/destino en los equipos terminales y entre las centrales. El sistema de control obtiene información de los adaptadores, los convertidores, las líneas de abonado y las líneas troncales, que es necesaria para modular el sistema.

Matriz de conmutación. La creación de una conexión propiamente dicha tiene lugar en la matriz de conmutación, o «red de conmutación». Es el elemento fundamental de un sistema de conmutación y está determinada por el sistema de control.

Periferia. Otras funciones son necesarias en la periferia del sistema de conmutación, para que el nodo de conmutación pueda integrarse correctamente en el entorno general. Estas son las principales funciones de la periferia:

- proveer la alimentación de energía eléctrica para la línea de abonado;
- proteger el sistema de conmutación contra las condiciones eléctricas en las conexiones (por ejemplo, errores de cableado, sobretensiones, descargas eléctricas, etc.);
- separar la cabida útil y las señales de control, en la señalización dentro de la banda (por ejemplo, transmisiones con origen/destino en los abonados de una red telefónica);
- evitar interferencias de la cabida útil y las señales de control;
- convertir los formatos de mensajes (por ejemplo, conversión bifilar, tetrafilar);
- identificar la señalización entrante;
- crear la señalización;
- identificar errores para efectos de mantenimiento.

Estas funciones son ejecutadas en los «circuitos principales» y en los «circuitos de abonado». El circuito de abonado realiza el grupo de funciones BORSCHT, sigla inglesa formada por las iniciales de distintas funciones:

- carga de la batería;
- protección contra sobretensiones;
- señal de llamada;
- señalización;
- codificación (por ejemplo, conversión analógica a digital);
- acoplador híbrido (conversión bifilar, tetrafilar);
- prueba (detección de errores).

3.2.3 Tareas realizadas por la unidad funcional «conmutación» de un sistema de conmutación

Entre las tareas realizadas por las principales unidades funcionales de una central de conmutación, se describen los elementos del servicio «conmutación» disponibles para el usuario. Estas son las principales tareas realizadas:

- Buscar una unidad libre para ejecutar una función. En unos casos será un enlace libre en determinada dirección (búsqueda de trayecto), y en otros casos será un procedimiento de programa informático para realizar una característica del servicio.
- Comprobar las identidades y los privilegios de acceso.
- Ocupación de una unidad de larga distancia a petición: es asignada a una conexión que será creada, y bloqueada para otros intentos de ocupación.
- Activar los tonos de marcar.
- Registrar y analizar la información de marcado. Recibe esta información y determina la dirección seleccionada, el abonado o las características del servicio.
- Transmisión de señalización: transmisión de un número de teléfono del sistema de conmutación a otro sistema de conmutación o a un equipo terminal.
- Conexión: establecer una conexión en la red de conmutación.
- Terminación de la conexión: determinación de la tasación, señalización de fin de conexión, liberación del equipo.
- Poner fuera de servicio una instalación que no funciona correctamente o está en mantenimiento, o por cualquier otro motivo (por ejemplo, para evitar una sobrecarga de tráfico en otros elementos de la unidad central o de la red).
- Liberar los equipos utilizados o puestos fuera de servicio en la central.

3.2.4 Matriz de conmutación

La matriz de conmutación es una instalación de elementos de conmutación que permiten conectar canales de cabida útil en un sistema de conmutación.

La red de conmutación es el elemento central de una instalación de conmutación. La red de conmutación establece las conexiones necesarias de canales de transmisión entre las centrales de conmutación.

Según la información de señalización y los canales disponibles, la instalación de conmutación conecta puertas de entrada y puertas de salida. La tarea de la matriz de conmutación es establecer y liberar conexiones, y administrar las conexiones establecidas simultáneamente.

En general, una red de conmutación es una estructura con varios estados de conexión o estratos diferentes, con múltiples elementos de conmutación de funciones paralelas.

Grupos funcionales

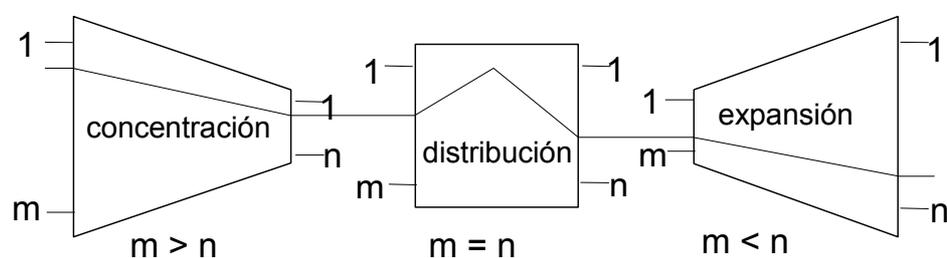
La red de conmutación está dividida en tres grandes grupos funcionales, que concentran, distribuyen y amplían nuevamente el tráfico conmutado. La distribución del tráfico es la función más importante. Los equipos técnicos necesarios son muy complejos, y la concentración permite una explotación más eficaz. El sistema de concentración-distribución-ampliación es una estructura funcional. Esta estructura básica de los sistemas de conmutación es la misma en todos los principios: conmutación de varias conexiones espaciales, de segmentos de tiempo o de paquetes.

Concentración. Se emplean redes de conmutación concentradoras si el número de entradas es superior al número de salidas. Concentrar es conmutar muchas líneas de entrada en unas cuantas líneas de salida. El tráfico de las líneas de entrada, con poca densidad, es concentrado en líneas de salida con mayor densidad. Esto también permite utilizar eficazmente los costosos equipos asignados a las líneas de salida.

Distribución. Se emplean redes de conmutación lineales si el número de entradas es igual al número de salidas. El tráfico es distribuido según su dirección.

Ampliación. Se emplean redes de conmutación ampliadoras si el número de entradas es inferior al número de salidas. Es necesario reconstituir el tráfico distribuido, separando las distintas líneas de abonado en la central local de destino: el tráfico es ampliado.

Figura 3.5 – Procesos de concentración, distribución y ampliación en una red de conmutación



Un sistema utiliza distintas estructuras de conmutación para realizar las conexiones: concentración, distribución y ampliación. Esta diferenciación de los distintos componentes de una red de conexión sólo es funcional. En la realización efectiva de una red de conmutación, las estructuras de conmutación para concentración y ampliación pueden compartir los mismos elementos físicos.

Matrices de conmutación diferenciadas espacialmente

La diferenciación espacial es la primera de las soluciones de conmutación. Los canales están formados por un determinado número de líneas (hilos) conectados entre ellos mediante contactos eléctricos. Existen distintos tipos de contactos:

- relés;
- selectores (selector de dos movimientos, selector motorizado);
- conmutadores de coordinación, o
- bloques funcionales electrónicos (transistores).

La Figura 3.6 es la representación de una matriz de conmutación con tres hilos por canal y un sistema de selector Strowger con base de 4×4 canales. El conjunto de tres conmutadores mecánicos conectados representa un punto de cruce.

Estructura de conmutación. La estructura de conmutación constituye una matriz, con puntos de cruce donde pueden crearse conexiones. La Figura 3.7 es la representación de una matriz de acoplamiento de este tipo (estructura expandida). La conexión de una entrada a una salida necesita un punto de cruce: un sistema de m entradas y n salidas necesita $m \cdot n$ puntos de cruce. No hay riesgo de bloqueo en la red de conmutación, es decir, las conexiones existentes no pueden bloquear nuevas conexiones. La parte a) del diagrama representa todos los puntos de conexión; en la representación simplificada de la parte b) del diagrama sólo aparece el número de entradas y salidas.

Figura 3.6 – Representación de los principios de funcionamiento de una matriz de conmutación mecánica

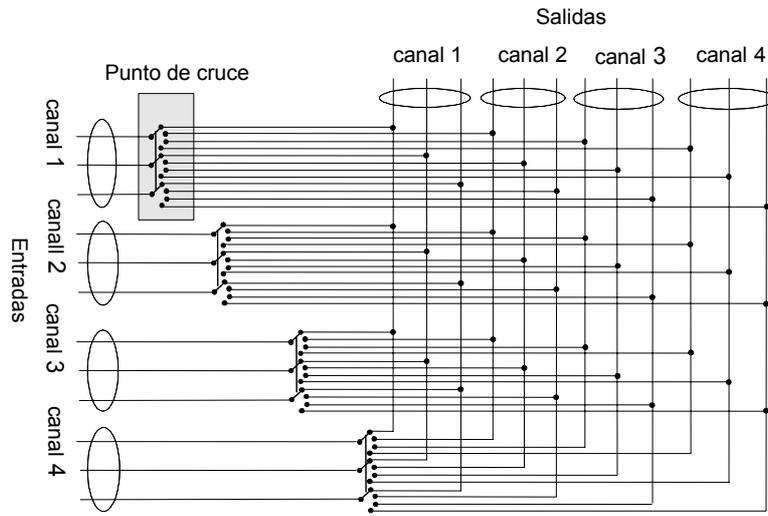
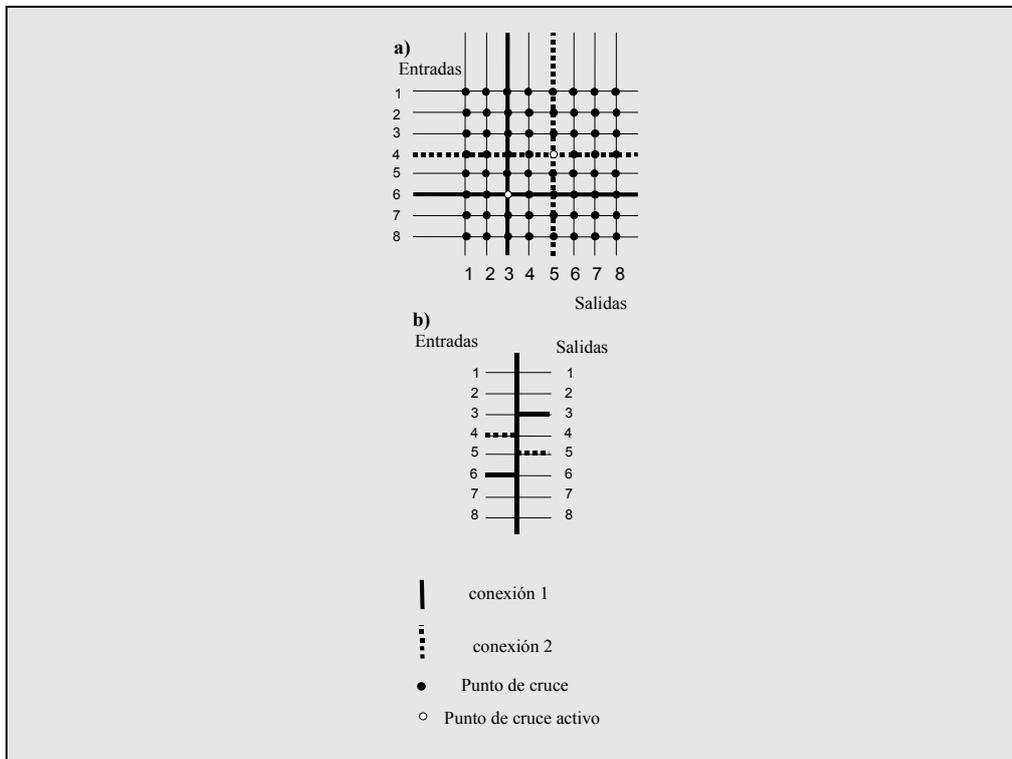


Figura 3.7 – Matriz de conmutación de un solo nivel en una estructura expandida:

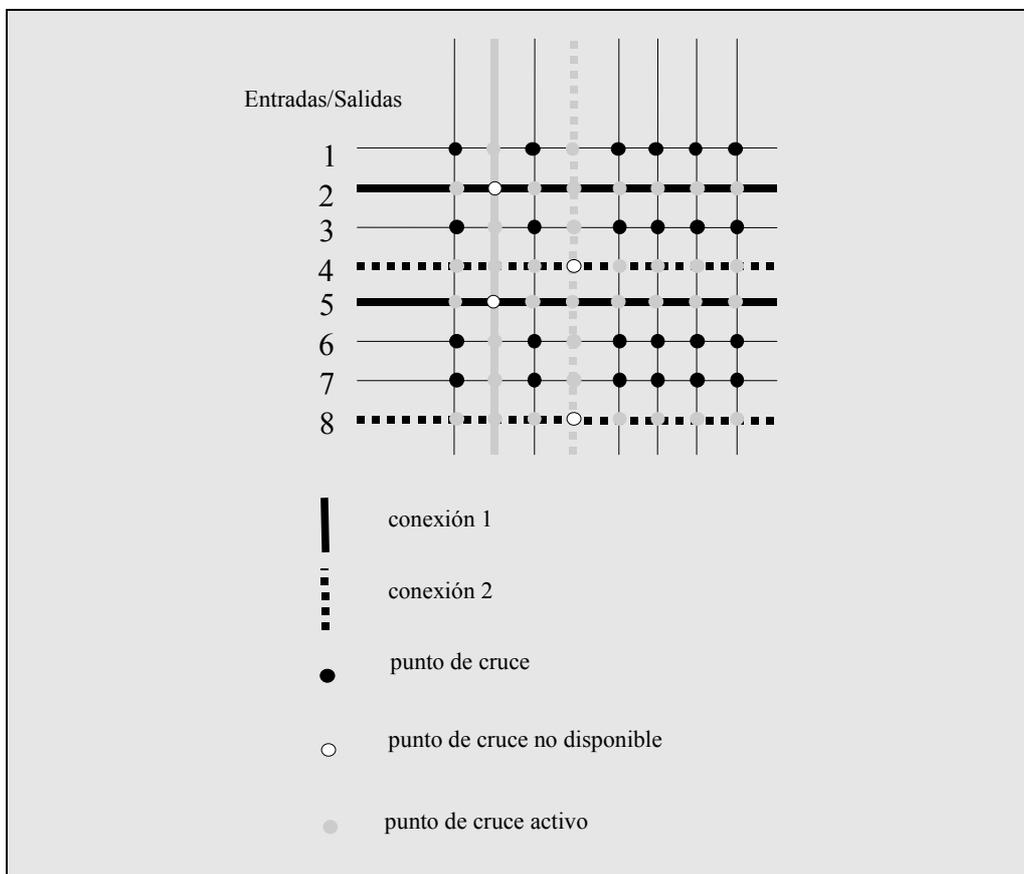
- a) representación completa;
- b) representación simplificada



Ejemplo: la estructura de conexión representada en la Figura 3.7 tiene $m = 8$ entradas y $n = 8$ salidas, de modo que son necesarios $m * n = 64$ puntos de cruce. Todas las entradas pueden conectarse a todas las salidas. Las conexiones existentes no impiden la conmutación de otras conexiones, con otras entradas y otras salidas. En este ejemplo, la entrada 4 y la salida 5 están conectadas, así como la entrada 6 y la salida 3.

Las matrices de conmutación no son siempre de estructura expandida; algunas matrices son de estructura invertida. En estos casos, las entradas y las salidas se conectan al mismo lado (filas) de la matriz. Las columnas conectan las filas de la matriz. Una matriz de p columnas necesita $(m + n) * p$ puntos de conexión. Para establecer una conexión serán necesarios dos puntos de cruce. El número máximo de conexiones simultáneas es p . El inconveniente de esta matriz de acoplamiento es que no permite establecer conexiones entre determinadas entradas y salidas en determinadas condiciones, porque ya existen otras conexiones (bloqueo interno).

Figura 3.8 – Matriz de conmutación de estructura invertida



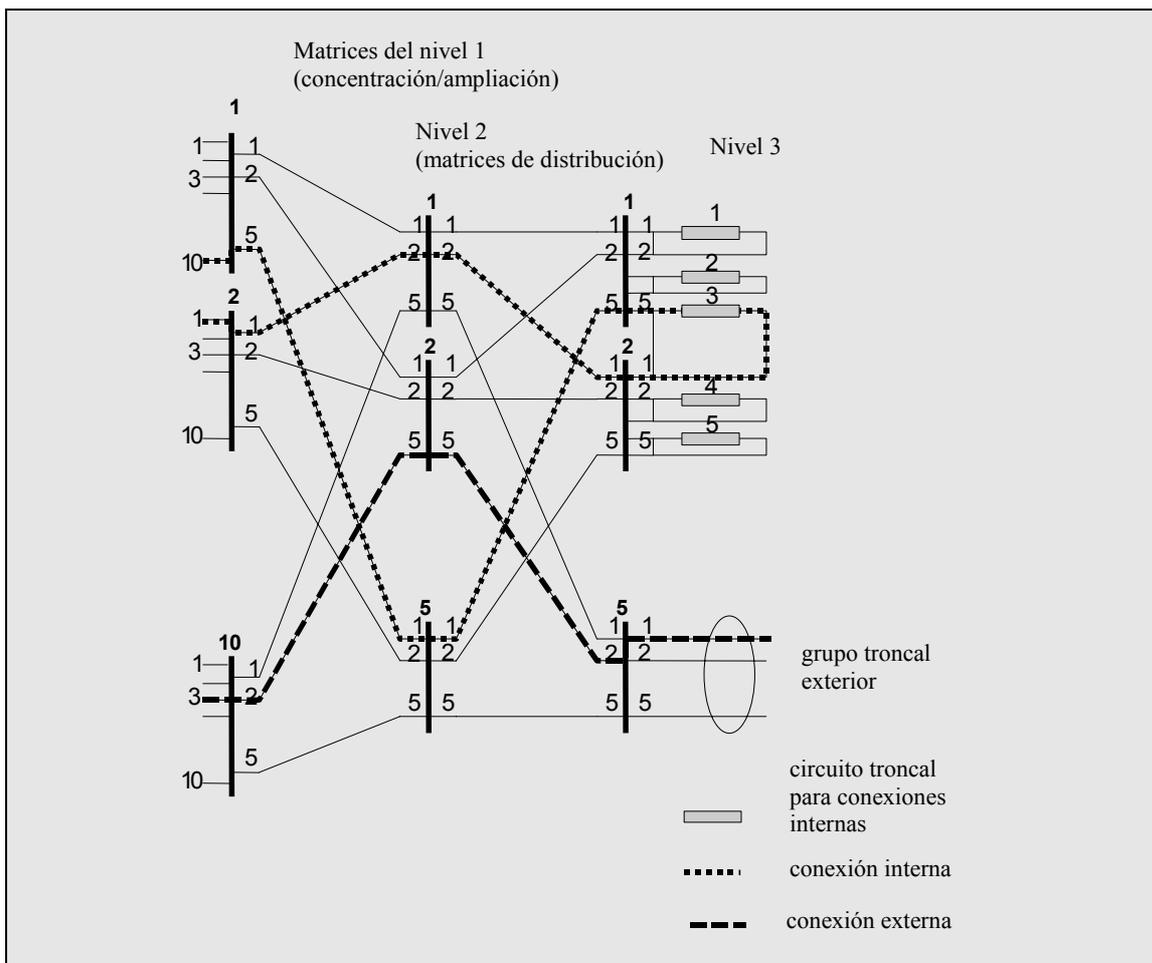
Ejemplo: la estructura de conexión representada en la Figura 3.8 tiene $m + n = 8$ conexiones, que pueden ser entradas o salidas. Sabiendo que la matriz de acoplamiento tiene $p = 8$ columnas, serán necesarios $p * (m + n) = 64$ puntos de cruce. Como cada conexión utiliza una columna de la matriz (representada en gris en este ejemplo) para completar el circuito, la conmutación no puede hacer más de p conexiones. Cada vez que se establece una conexión por conmutación, los puntos de acoplamiento de las filas y las columnas que son necesarias para realizar el circuito ya no pueden ser utilizadas para otras conexiones. Aparecen en gris igualmente los puntos de acoplamiento que ya no están activos.

Esta configuración de la matriz de acoplamiento satisface una condición importante para la configuración de matrices de conmutación: un número de elementos técnicos aproximadamente proporcional a la capacidad de conexión. Las matrices de acoplamiento de estructura expandida tienen una relación cuadrática y no satisfacen esta condición.

La necesidad de ampliación de las redes de conmutación exige una estructura modular. Una solución es dividir grandes matrices de conmutación en matrices más pequeñas, y hacer la conmutación de éstas en varios niveles. La solución de redes de conmutación de varios niveles, y una combinación de matrices más pequeñas, requiere menos puntos de cruce que las redes de conmutación de un solo nivel. Ahora bien, en las estructuras de conmutación de varios niveles pueden producirse bloqueos internos. La probabilidad de estos bloqueos aumenta con el factor de concentración de la matriz de conmutación, y disminuye con el tamaño de cada matriz de conmutación.

Ejemplo: La red de conmutación representada en la Figura 3.9 permite conectar hasta 100 abonados. Permite establecer hasta cinco conexiones internas simultáneas, y hasta tres grupos troncales externos, cada uno con un máximo de cinco conexiones.

Figura 3.9 – Red de conmutación de varios niveles



En un sistema con $m = 10$ entradas, y $n = 5$ salidas, serán necesarios $m * n * 10 = 500$ puntos de cruce en cada matriz de conmutación de estructura expandida en el nivel 1.

En el nivel 2, las matrices de conmutación también tienen $m = 10$ entradas, y $n = 5$ salidas. Por tanto, las cinco matrices de conmutación de este nivel tienen un total de $10 * 5 * 5 = 250$ puntos de cruce.

El número de puntos de cruce del nivel 3 puede calcularse sabiendo que $m = 5$, $n = 5$ y el número de 5 matrices: $5 * 5 * 5 = 125$.

En total, serán necesarios 875 puntos de cruce.

El bloqueo interno impide establecer más de cinco conexiones para un grupo de abonados, con 10 abonados integrados en la misma matriz de conmutación del primer nivel. Es imposible establecer simultáneamente más de cinco conexiones internas, y más de cinco conexiones al grupo troncal externo.

Se representan dos conexiones:

- línea 10 de la primera matriz del nivel 1 conectada a la línea 1 de la segunda matriz del nivel 1 (conexión interna), y
- conexión 3 de la décima matriz del nivel 1, conectada a la línea 1 del grupo troncal externo (conexión externa).

Una disposición correcta de los niveles de la red de conmutación y de las conexiones entre niveles permite ofrecer una solución aceptable por el número de puntos de cruce y las probabilidades de bloqueo. Estas descripciones de redes de conmutación corresponden principalmente a una conmutación entre canales separados espacialmente, que puede realizarse con selectores Strowger o conmutadores de coordinación. Ahora bien, existen varias soluciones de canales.

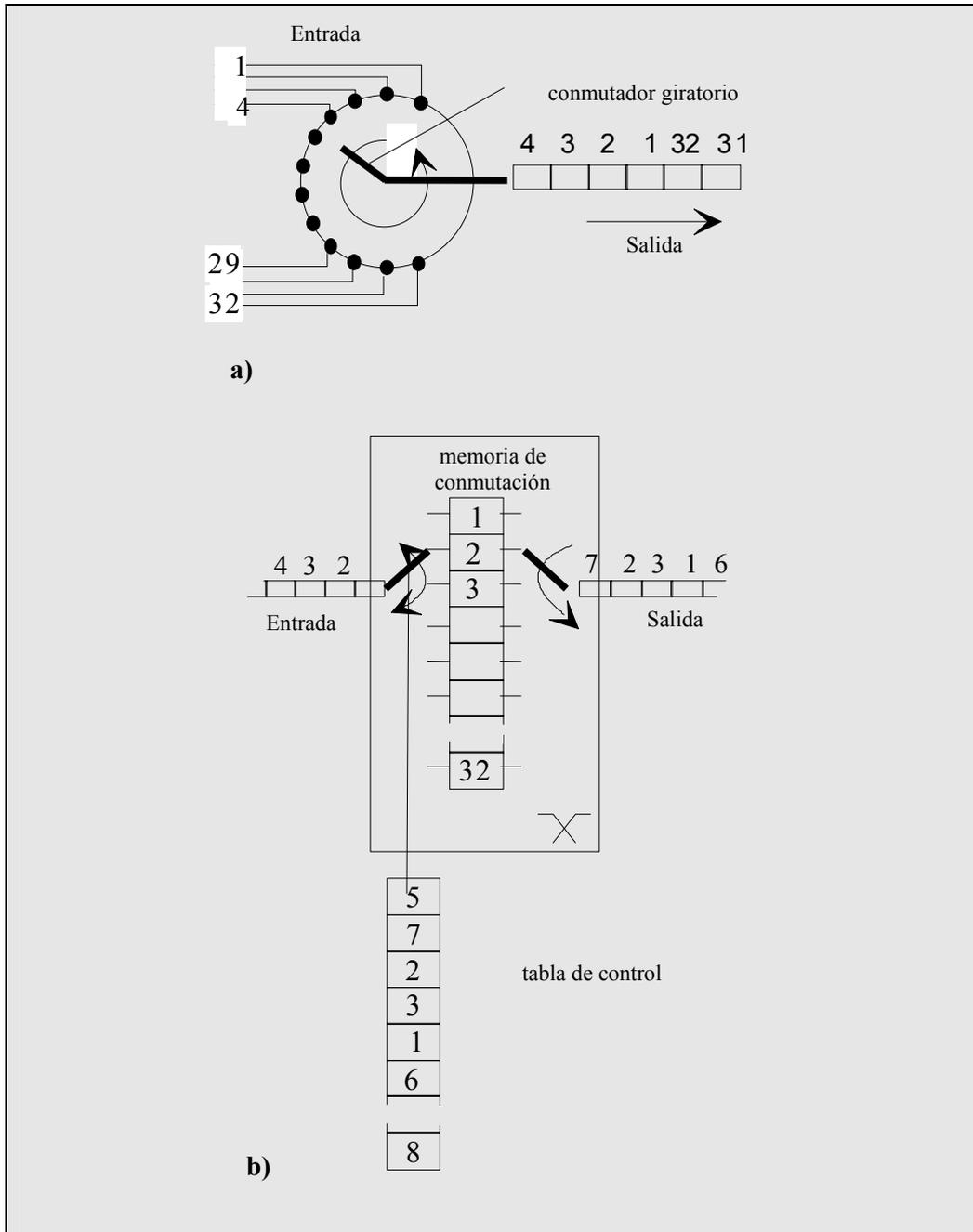
Puede asignarse una frecuencia portadora fija a un canal, y hacer la conmutación de portadora en el sistema, pero también es posible asignar un segmento de tiempo a un canal. La tecnología de conmutación digital utiliza los dominios espacial y temporal. Muchos dispositivos de conmutación combinan las estructuras de conmutación espacial y temporal.

Redes de conmutación por división temporal

Separación de canales síncronos por división temporal. En el sistema de separación de canales por división temporal, la información a transmitir en estos canales es asignada a segmentos de tiempo. El sistema de modulación por impulsos codificados (MIC) es una de las aplicaciones de esta tecnología. La Figura 3.10 representa la asignación de determinados canales a segmentos de tiempo. Esta asignación está determinada precisamente en una estructura de trama. La posición de cada bit en esta trama indica la relación de información correspondiente. La sincronización de una trama debe durar el tiempo necesario para recorrer completamente las tramas. En la Figura 3.10 a), la trama temporal está representado como un ciclo completo del conmutador giratorio. Esta trama temporal comprende 32 canales, y el ciclo dura 125 ms.

Estructura de conmutación temporal. La Figura 3.10 b) ilustra el principio de una estructura de conmutación simple, para la conmutación de posición temporal de un determinado canal. En este caso, la información alimentada en la entrada, en segmentos de tiempo separados, es registrada por un controlador en determinados campos de la memoria de conmutación, y almacenada temporalmente. Una tabla de control regula este proceso de registro. El sistema lee la información de la memoria en una secuencia determinada. La tabla de control contiene la asignación de los segmentos de tiempo de las líneas de salida a segmentos de las líneas de entrada. Otra posibilidad es registrar la información en una secuencia determinada, y leerla con una tabla de control.

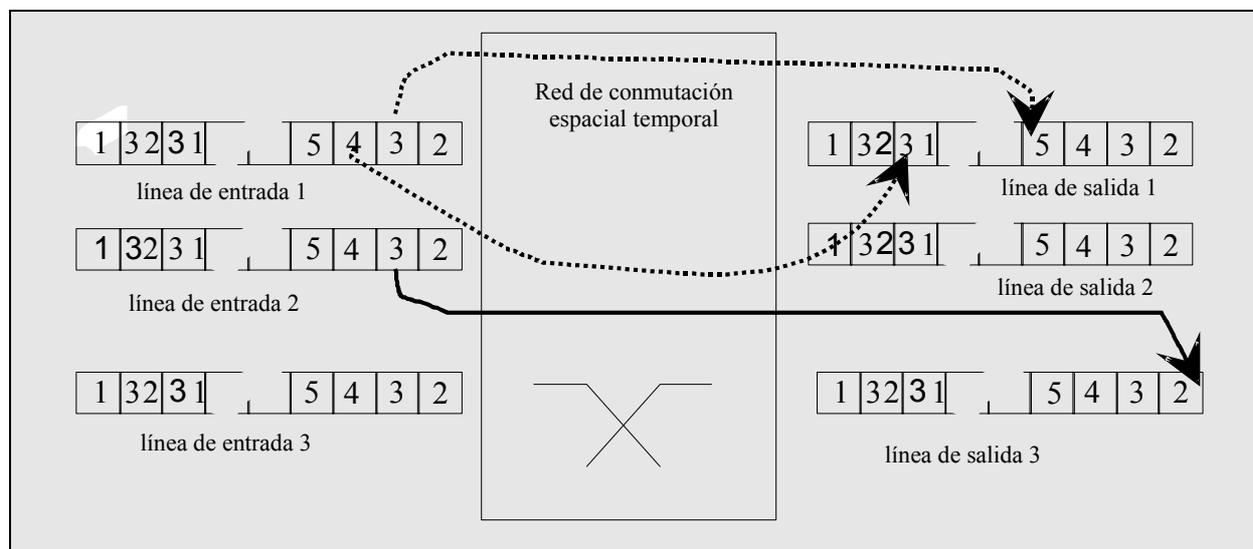
Figura 3.10 – a) Asignación de canales a segmentos de tiempo
 b) Reordenamiento de segmentos de tiempo en almacenamiento intermedio



Todos los sistemas necesitan un almacenamiento de información de segmentos de tiempo, para reordenar estos segmentos. Puede hacerse en la entrada o en la salida del campo de acoplamiento, en una posición central para toda la matriz de acoplamiento, o de forma distribuida para cada posición de acoplamiento. El apartado dedicado a la conmutación ATM describe en detalle las formas de almacenamiento (se aplican los mismos principios).

Conmutación temporal/espacial. En general, una red de conmutación trata una serie de líneas de entrada PCM. La función de la red de conmutación es reorganizar los segmentos de tiempo y coordinar las conexiones PCM. Esta función necesita una red de conmutación espacial y temporal (Figura 3.11).

Figura 3.11 – Conmutación espacial/temporal



Ejemplo de la Figura 3.11: El segmento temporal 3 de la línea de entrada 2 debe ser asignado al segmento temporal 2 de la línea de salida 3 (trazo continuo). Es necesario un proceso de conmutación temporal y espacial para realizar esta función. Las disposiciones representadas por líneas discontinuas sólo necesitan una conmutación temporal. Es posible, técnicamente, realizar al mismo tiempo la conmutación espacial y la conmutación temporal. Por eso, todas las líneas de entrada de una conexión diferenciadas espacialmente son sometidas a multiplexión y almacenadas (observación: es necesario que las entradas de esta conexión sean tratadas a una velocidad superior a un múltiplo de n). Todas las líneas de salida diferenciadas espacialmente de la estructura de acoplamiento, paralelas entre ellas, son leídas en el segmento de tiempo correspondiente de la memoria común.

3.2.5 Control de los dispositivos de conmutación

El sistema de control del dispositivo de conmutación está determinado por una característica especial: las conexiones casi siempre pasan por varios nodos de la red, o sea por varias estaciones de conmutación, y todas estas estaciones de conmutación están incorporadas en el sistema de control de la conexión.

La señalización transmite información de control entre las estaciones de conmutación, a partir de un equipo terminal o con destino a un equipo terminal.

Todas las conexiones se forman paso a paso seleccionando canales. Esta selección se subdivide en:

- selección forzada, que determina una dirección para establecer la conexión;
- selección libre, que determina automáticamente un canal libre en esta dirección, por marcación;
- la selección forzada siempre está controlada por la información de marcación.

El terminal que llama determina la información de marcado necesaria para el sistema de control del dispositivo de conmutación activo. En un control directo, la información de marcado es utilizada directamente para controlar el sistema de conmutación. En un control indirecto, primero se almacena temporalmente la información de marcado, antes de hacer una evaluación.

El sistema de control directo existe desde la introducción del selector de Strowger de dos movimientos. Los impulsos de un dispositivo para marcar controlan directamente los pasos verticales. Durante la pausa entre dos cifras marcadas se realiza la selección libre de un canal en la dirección seleccionada. Entonces, la siguiente cifra marcada controla directamente un selector en el siguiente nivel de selección o en otra estación de conmutación.

El sistema de control indirecto es utilizado principalmente para la conmutación SPC y en sistemas de conmutación accionados por un ordenador.

El sistema de control directo ya no se utiliza. El sistema de control indirecto tiene las siguientes ventajas:

- Es posible determinar si hay un trayecto en la red hasta la instalación terminal de destino, antes de ocupar segmentos de una conexión. Se evita así una ocupación gradual de los canales antes de realizar efectivamente la conexión.
- Comparado con el proceso de establecimiento gradual de la conexión, permite emplear métodos de búsqueda de trayecto (encaminamiento) mucho más complejos para establecer conexiones en la red.

3.2.6 Referencias

Referencias UIT-T

Centrales – Introducción y campo de aplicación

- [Q.511] (11/88) – Interfaces de central con otras centrales.
- [Q.512] (02/95) – Interfaces de centrales digitales para acceso de abonado.
- [Q.513] (03/93) – Interfaces de central digital para operación, administración y mantenimiento.
- [Q.521] (03/93) – Funciones de central digital.
- [Q.522] (11/88) – Conexiones, señalización y funciones auxiliares de las centrales digitales.
- [Q.541] (03/93) – Objetivos de diseño de las centrales digitales – Generalidades.
- [Q.542] (03/93) – Objetivos de diseño de las centrales digitales – Operación y mantenimiento.
- [Q.543] (03/93) – Objetivos de diseño para la calidad de funcionamiento de las centrales digitales
- [Q.544] (11/88) – Medidas en centrales digitales.
- [Q.551] (11/96) – Características de transmisión de las centrales digitales.
- [Q.552] (11/96) – Características de transmisión en las interfaces analógicas a dos hilos de una central digital.
- [Q.553] (11/96) – Características de transmisión en las interfaces analógicas a cuatro hilos de una central digital.
- [Q.554] (11/96) – Características de transmisión en las interfaces digitales de centrales digitales.
- [Q.700] (03/93) – Introducción al sistema de señalización N.º 7 del CCITT (Serie Q.700 – Q.788).
- [Q.920] (03/93) – Sistema de señalización digital de abonado N.º 1 (DSS1) – Aspectos generales de la capa de enlace de datos de la interfaz usuario-red de la RDSI (Serie Q.920 – Q.957).
- [Q.1200] (09/97) – Estructura general de la serie de recomendaciones sobre la red inteligente.
- [Q.2010] (02/95) – Descripción general de la red digital de servicios integrados de banda ancha – Conjunto 1 de capacidades de señalización, versión 1.

3.3 Conmutación de mensajes

Los sistemas de conmutación de mensajes, en lugar de crear canales para intercambiar información, transfieren unidades de mensaje, o paquetes en la mayoría de los casos, que contienen una parte o toda la información a transmitir.

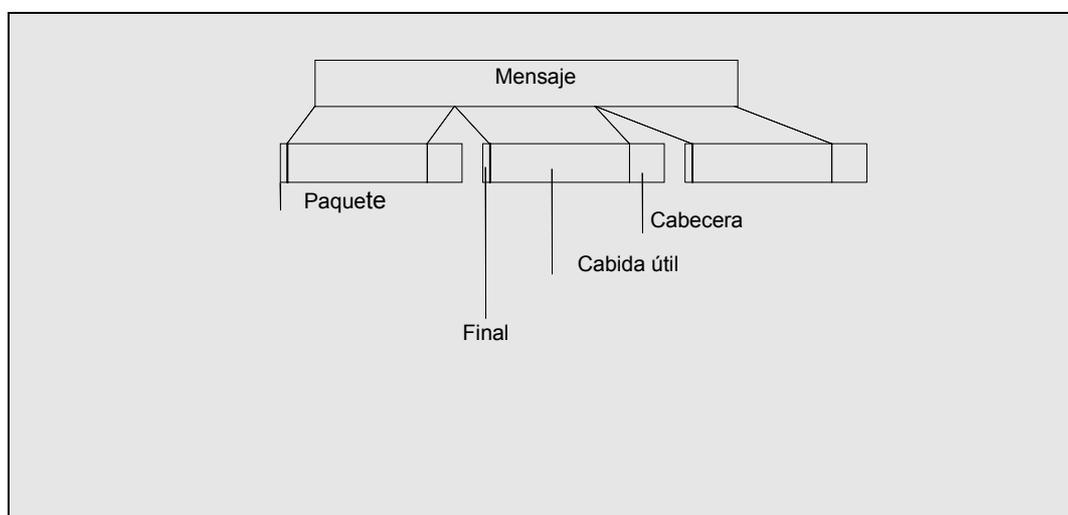
Se puede comparar con el encaminamiento de la correspondencia en una red de despachos de correos: los paquetes introducidos en el sistema llevan la dirección del destinatario. Las estaciones encaminadoras analizan la dirección y dirigen el mensaje en una dirección hacia el destino. Como cada unidad de mensaje es encaminada separadamente, no es necesario establecer una conexión. Varios paquetes con la misma relación de información pueden seguir trayectos diferentes en la red.

Conmutación con almacenamiento y retransmisión. Es frecuente referirse a la conmutación de mensajes como «conmutación con almacenamiento y retransmisión». Esta configuración se caracteriza por el encaminamiento de paquetes paso a paso (de un sistema de conmutación a otro) a través de la red. Los paquetes son almacenados temporalmente en cada uno de los nodos de la red.

3.3.1 Conmutación de paquetes

En un sistema de conmutación de paquetes, la información a encaminar está repartida en varios paquetes. Esta es la estructura básica de un paquete de información:

Figura 3.12 – Formación de paquetes en sistemas de conmutación de paquetes

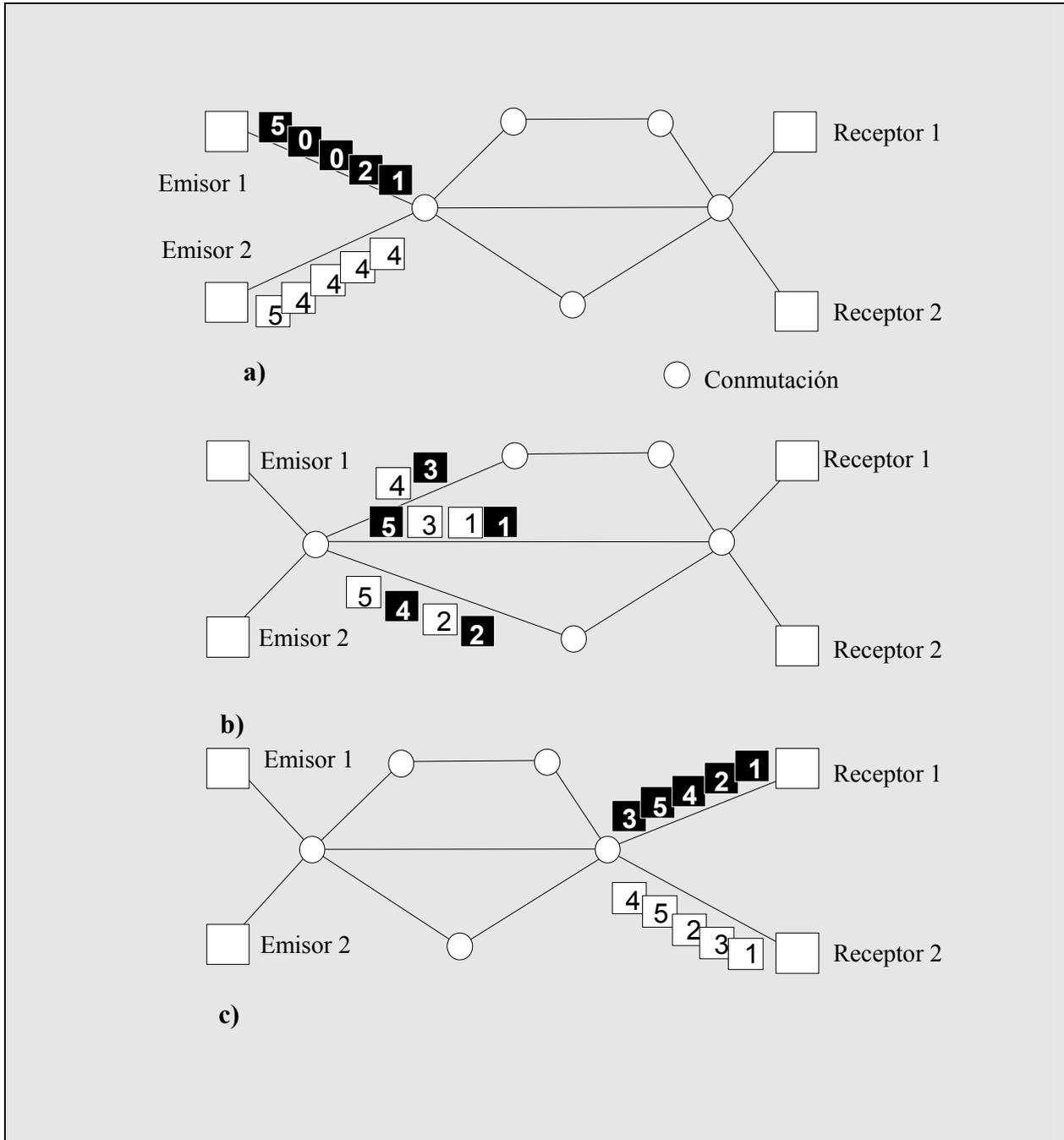


Paquete. Los mensajes están divididos en varias unidades, cada una con una cabecera y un final. La cabecera, la cabida útil y el final constituyen el paquete de información. La longitud de un paquete puede ser fija o variable, y el final de mensaje no es indispensable en algunos procedimientos de conmutación.

El equipo terminal que transmite crea los mensajes. Cada nodo de la red analiza la dirección y dirige los paquetes en una dirección hacia el destino, pero no todos los paquetes deben seguir necesariamente la misma trayectoria. El proceso de retransmisión depende de la intensidad de tráfico de la red.

Figura 3.13 – Funcionamiento de una red de conmutación de paquetes;

- a) Fase 1: transmisión de paquetes
- b) Fase 2: conmutación de los paquetes a un nodo de red
- c) Recepción de los paquetes por el receptor



Explicación de la Figura 3.13: se ha representado la transmisión simultánea, pero independiente, de dos unidades de mensajes. En la primera fase, los dos transmisores reparten la información en cinco paquetes que son introducidos en la red sucesivamente, de 1 a 5 (Figura 3.13 a)). El primer nodo de conmutación intenta transmitir los paquetes por el trayecto más corto hacia el receptor. Los dos receptores están conectados al mismo nodo de conmutación. Los dos primeros paquetes son transmitidos por este trayecto,

pero la conexión directa al receptor ya no tiene más capacidad de transmisión, y entonces el segundo paquete de cada mensaje es enviado por el trayecto inferior alternativa de la red. Como esta transmisión utiliza toda la capacidad de esta vía alternativa, el tercer paquete de la primera relación de transmisión debe ser enviado por otro trayecto más largo, en la parte superior de la red. Entonces ya es posible enviar otro paquete por el trayecto directo (paquete N.º 3 de la relación de información 2), y el siguiente (paquete N.º 4 de la relación de información 1) es enviado por la primera alternativa, la más corta. El paquete 4 de la conexión 2 pasa por la alternativa más larga. Nuevamente es posible enviar otro paquete por el trayecto directo, y enviar el último paquete (N.º 5 de la relación 2) por la alternativa más corta (Figura 3.13 b)). Como el tiempo de transmisión de cada ruta es diferente, los paquetes llegan a los receptores en el orden indicado en la Figura 3.13 c)).

Ventajas del sistema de conmutación de paquetes:

- transmisión rápida sin tiempo de establecimiento de conexión; especialmente apropiado para la transmisión de información breve y esporádica, con un número reducido de paquetes;
- explotación eficiente de los recursos de la red, en capacidad temporal y espacial, especialmente con tráfico esporádico, por ráfagas.

Inconvenientes del sistema de conmutación de paquetes:

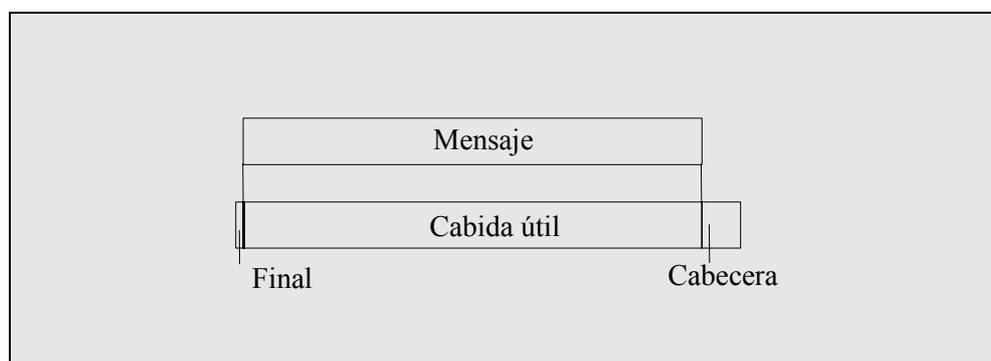
- el tiempo de transmisión es variable y no se puede garantizar;
- es imposible garantizar los recursos (anchura de banda);
- unos paquetes pueden ser entregados más pronto que otros (véase la Figura 3.13 c));
- es necesaria una capacidad de cálculo superior para encaminar los paquetes.

3.3.2 Conmutación de mensajes

Los sistemas de conmutación de mensajes transfieren paquetes con todo el contenido de una relación de información.

Esta es la estructura de un paquete mensaje transmitido por un sistema de conmutación.

Figura 3.14 – Formación de un paquete para conmutación de mensajes



Todos los paquetes no tienen la misma longitud. Como el paquete contiene el mensaje completo en este sistema, a diferencia del sistema de conmutación de paquetes, no es necesario dividir el mensaje en bloques de datos y dedicar recursos en protocolo. El proceso no es diferente de la conmutación de paquetes, desde un punto de vista técnico, y se utiliza, por ejemplo, para el servicio de mensajes breves (SMS, *short message service*) en las redes de telefonía móvil (GSM).

3.3.3 Conmutación ATM

La composición de los paquetes de información en el sistema de conmutación ATM y en el sistema de conmutación de paquetes es similar. Todos los paquetes de una conexión ATM tienen una longitud de 53 bytes, y todos siguen el mismo trayecto en la red, donde se ha reservado una capacidad de transmisión con antelación.

Las diferencias entre el sistema de conmutación ATM y el sistema tradicional de conmutación de paquetes son la longitud uniforme de los paquetes y la determinación de un trayecto de conexión. Gracias a estas características, la conmutación de células ATM es más sencilla y más fácil de controlar desde el punto de vista de los cálculos.

Principios de almacenamiento

Para poder realizar la conmutación de células ATM es necesario almacenar temporalmente las células de todos los sistemas de conmutación. Para satisfacer esta condición pueden aplicarse los siguientes principios básicos:

- Memoria de entrada: En cada entrada, las células entrantes son almacenadas en memoria de forma que la primera en entrar será la primera en salir (FIFO). El proceso de conmutación se realiza en una matriz interna sin riesgo de bloqueo. El inconveniente de esta forma de almacenamiento es la posibilidad de un bloqueo de células en espera, debido al principio FIFO: es posible que una célula tenga que esperar para ser conmutada, incluso si la salida correspondiente está libre, porque el sistema debe tratar primero las células anteriores para otras salidas.
- Memoria de salida: Las células recibidas son conmutadas inmediatamente a una memoria de tipo FIFO por cada salida, donde son leídas con los ciclos de línea de salida. En la entrada sólo es necesario almacenar una célula por cada conductor. El inconveniente de esta forma de almacenamiento es que necesita una matriz de conmutación con una velocidad interna superior a la velocidad de todas las células entrantes.
- Memoria central: Todas las células entrantes son almacenadas en una memoria común. Esta memoria común puede ser más reducida que la suma de todas las necesidades de memoria separadas, pero el sistema de control para acceso a la memoria es complejo, y es necesaria una velocidad muy alta de acceso a la memoria.

Memoria distribuida: Las matrices formadas por líneas de entrada y líneas de salida necesitan una asignación de memoria a todos los puntos de cruce, para realizar la multiplexión de células de las líneas de salida. El inconveniente de este método es la gran cantidad de memoria necesaria.

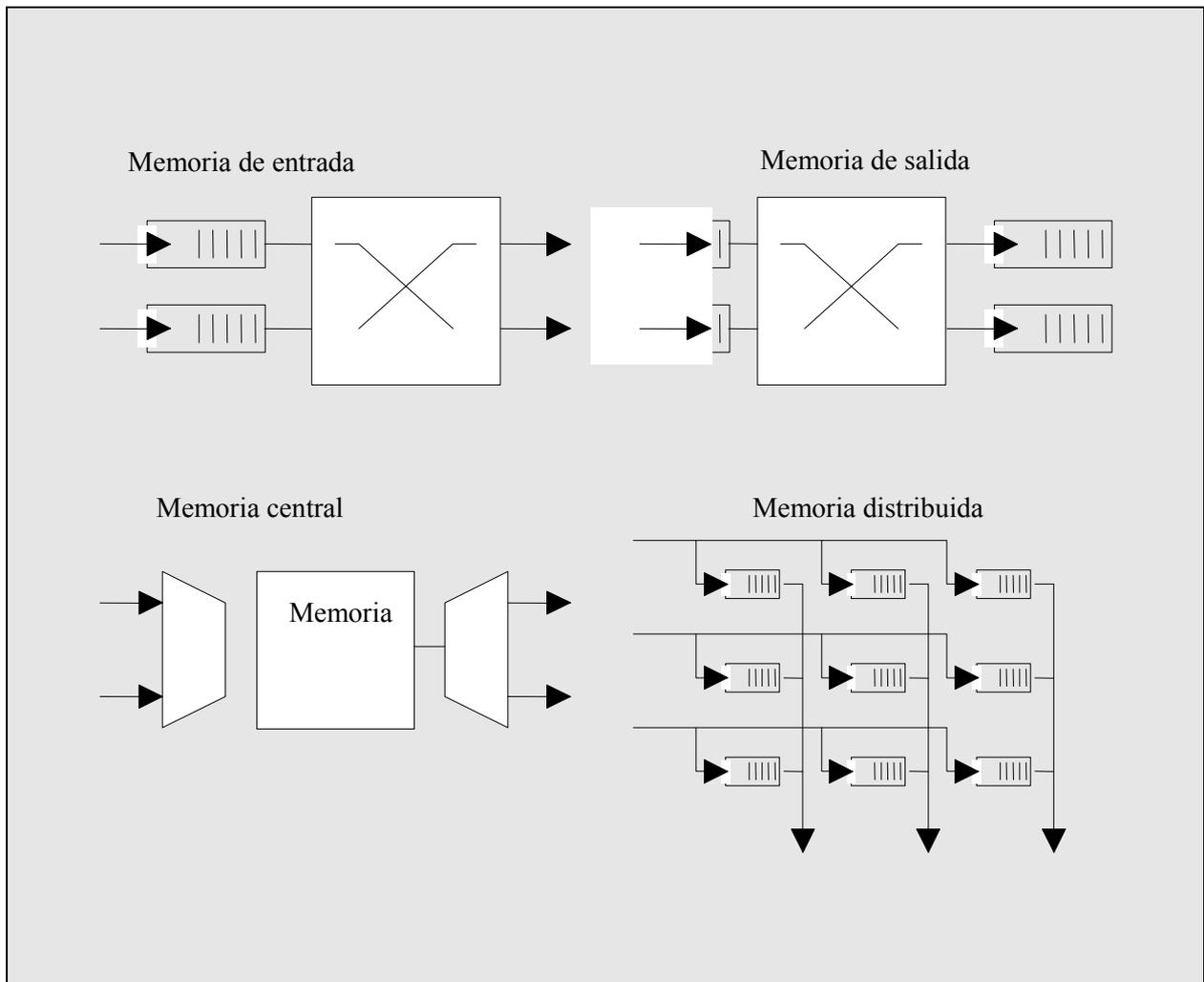
3.3.4 Conexiones virtuales

Los sistemas de conexiones virtuales funcionan por conmutación de paquetes separadamente, pero todos los paquetes de una relación de información son transmitidos por un solo trayecto definido al establecer la conexión.

Orientación de la conexión. Antes de iniciar el intercambio de información, se establece una conexión y se determina si hay un trayecto con la capacidad de transmisión necesaria entre el origen y el destino. Este canal no será ocupado durante todo el tiempo de conexión, sólo cuando la capacidad de transmisión sea necesaria. Durante los períodos en que no hay paquetes a transmitir, el canal de transmisión puede ser utilizado para otras conexiones virtuales. Incluso es posible rebasar, hasta cierto punto, la capacidad de

las secciones de transmisión (ganancia de multiplexión estadística), siempre con la seguridad de que todas las conexiones virtuales tendrán acceso a recursos garantizados, y algunas veces será posible utilizar una anchura de banda superior al valor garantizado.

Figura 3.15 – Principios de almacenamiento en conmutación ATM

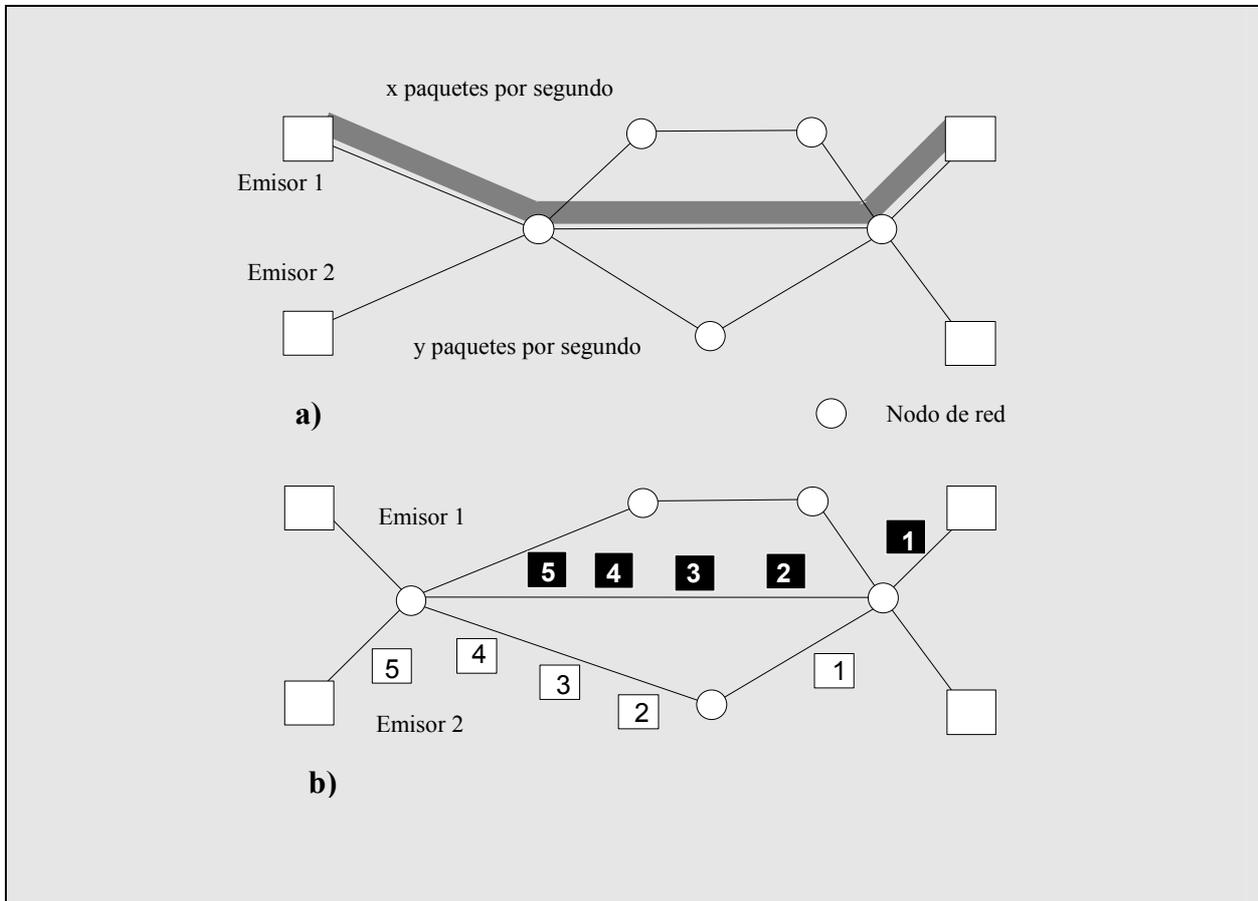


Las conexiones virtuales combinan las ventajas de la conmutación de paquetes y la conmutación de canales, es decir:

- utilizan eficazmente los recursos de la red (ventaja de la conmutación de paquetes);
- permiten disponer rápidamente de grandes capacidades de transmisión (ventaja de la conmutación de paquetes);
- garantizan los recursos (ventaja de la conmutación de canales), y
- tienen un sistema de control eficaz, con características que permiten una ejecución más sencilla que el control de un sistema exclusivamente de conmutación de paquetes.

Figura 3.16 – Red de conmutación de paquetes con conexiones virtuales

- a) Fase 1: establecimiento de la conexión
- b) Fase 2: conmutación de los paquetes en los trayectos establecidos



En la primera fase (establecimiento de la conexión), se reserva la capacidad de transmisión en los dos trayectos determinados. En este ejemplo, las dos conexiones seguirán trayectos diferentes, para garantizar la anchura de banda adecuada. Para el transporte de paquetes en la segunda fase (intercambio de información), la reserva de un trayecto y el valor de anchura de banda conforme con los criterios de calidad de servicio (QoS) evitan la superposición de paquetes y garantizan su entrega en los plazos previstos.

3.3.5 Conmutación y encaminamiento

Conmutación

La conmutación es la creación de conexiones temporales en una red de telecomunicaciones tradicional, mediante la interconexión de canales (conmutación de línea o de circuito). Cuando se establece la conexión, antes del intercambio de información propiamente dicho, un proceso de señalización controla la creación de esta conexión. Algunos sistemas (conmutación ATM) funcionan con conexiones virtuales.

La conmutación tiene lugar en la capa 2 del Modelo de Referencia OSI.

Encaminamiento

Encaminar es dirigir los paquetes de información al receptor, según la dirección completa del emisor, especificada en la cabecera del mensaje, a través de un número variable de nodos (encaminadores) de la red. La función de encaminamiento consiste, por ejemplo, en transportar datagramas en una red de paquetes, de un emisor a uno o varios destinos (un solo destinatario, destinatario múltiple o difusión general). El encaminamiento está dividido en dos funciones parciales:

- la construcción de tablas de encaminamiento, y
- el envío de los datagramas con las tablas de encaminamiento.

El proceso de encaminamiento aquí descrito es el envío de paquetes de información. Es diferente de la búsqueda de trayecto para circuitos conmutados en determinados estados de la red, por ejemplo, en caso de sobrecarga o errores, o para optimizar los costos de conexión (encaminamiento más económico).

Los datagramas son transmitidos de un encaminador (salto siguiente) al siguiente (salto a salto). Cada encaminador conoce el siguiente en la dirección de transmisión. La dirección de destino del datagrama (encaminamiento según el destino) determina el siguiente encaminador (siguiente salto). Cada asiento de las tablas de encaminamiento contiene el destino, los siguientes saltos correspondientes y otras informaciones complementarias.

La tabla de encaminamiento determina el siguiente nodo, al que se han de enviar los paquetes de información para alcanzar el destino establecido. Hay dos clase de tablas de encaminamiento:

- estáticas,
- dinámicas.

En los sistemas de encaminamiento estático, el siguiente salto en el trayecto es definido como una posición fija en las tablas. El encaminamiento estático es apropiado para redes pequeñas o con una topología sencilla. En los sistemas de encaminamiento dinámico, el siguiente salto es definido a partir de información de estado de la red. Es apropiado para redes más grandes con una topología compleja, y para adaptar automáticamente el trayecto en caso de error (solución de reserva) o en caso de sobrecarga de secciones de la red.

3.3.6 Referencias

Referencias UIT-T

- [I.232.1] (11/88) – Categorías de servicios portadores en modo paquete: llamada virtual y circuito virtual permanente.
- [I.232.2] (11/88) – Categorías de servicios portadores en modo paquete: categoría de servicio portador sin conexión.
- [I.232.3] (03/93) – Categorías de servicios portadores en modo paquete: categoría de servicio portador de señalización de usuario (USBS).
- [I.233] (10/91) – Servicios portadores en modo trama: servicio portador RDSI con retransmisión de tramas, y servicio portador RDSI con conmutación de tramas.
- [I.233.1 Anexo] (07/96) – Servicios portadores en modo trama: servicio portador RDSI con retransmisión de tramas – Anexo F: multidistribución con retransmisión de tramas.

Referencias generales

Schwartz, M.: Redes de telecomunicaciones. – Reading: Addison-Wesley, 1988

3.4 Tecnología de la conmutación telefónica

La tecnología de la conmutación telefónica es la base técnica de los sistemas de conmutación de conexiones en redes analógicas y digitales para el servicio de telefonía y el servicio RDSI. Es un sistema de conmutación de canales de banda estrecha.

La red telefónica es la primera de las redes de telecomunicación del mundo. En esta red fueron introducidas las primeras funciones de conmutación.

Cuadro 3.1A – Evolución de la tecnología de la conmutación telefónica

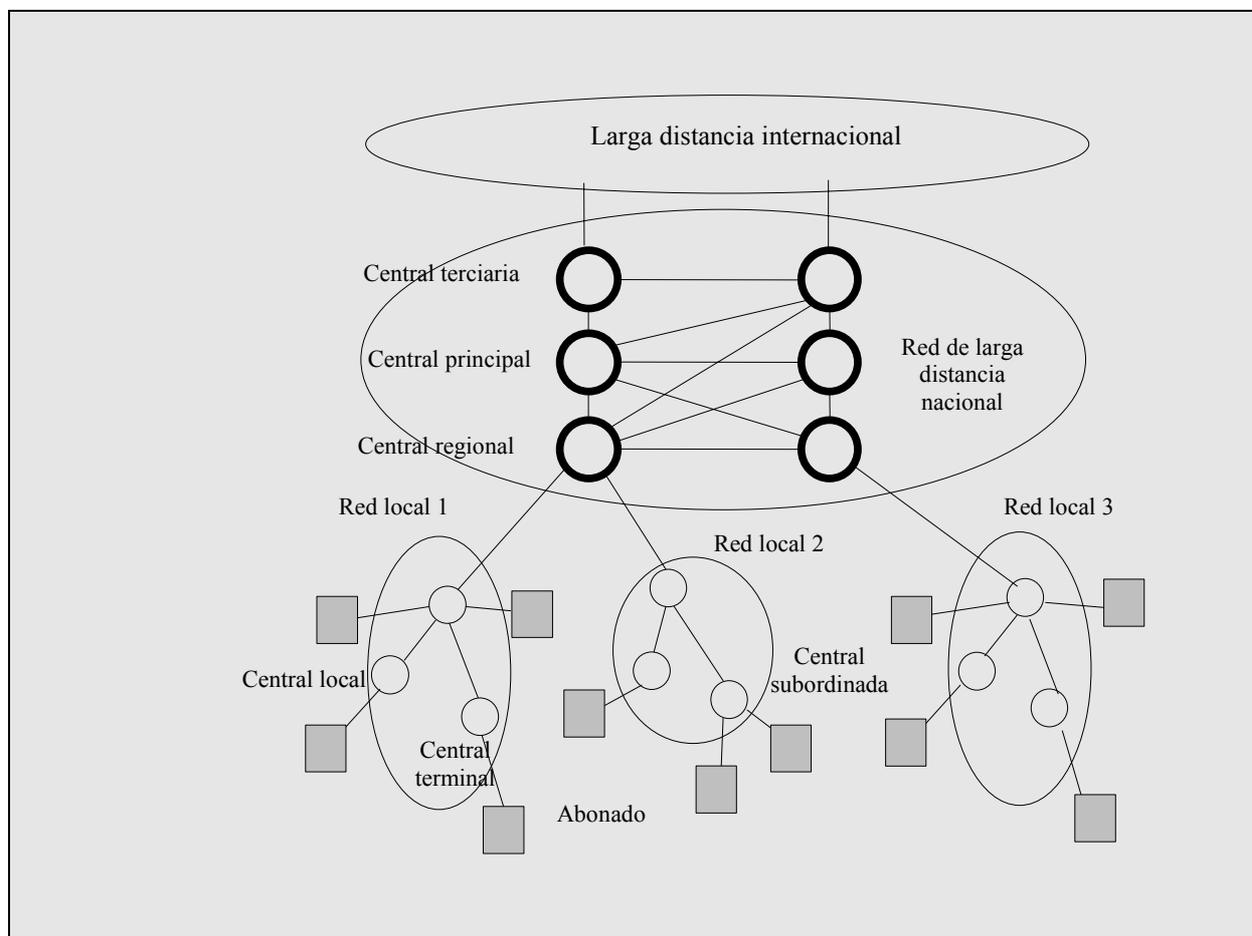
1877	Primera conmutación telefónica (conmutación manual en EE.UU.)
1892	Primera conmutación automática (EE.UU.)
1965	Primer sistema de conmutación local totalmente electrónico (EE.UU.)

Cuadro 3.1B – Evolución de la tecnología de conmutación telefónica en Alemania

1881	Primera central telefónica en Alemania (Berlín, 8 abonados)
1908	Primera conmutación automática en Europa (Hildesheim, 900 abonados)
1923	Primera conmutación totalmente automática con cobertura no sólo regional (Weilheim)
1970	Servicio de automarcado con cobertura completa en Alemania
1975	Tecnología de conmutación local informática en Alemania
1984	Primer puesto de conmutación digital a distancia en Alemania
1985	Primer puesto de conmutación digital local en Alemania
1998	Digitalización completa de la red telefónica alemana

La Figura 3.17 representa la estructura actual de la red telefónica mundial.

Figura 3.17 – Estructura de la red telefónica mundial



3.4.1 Red local

El primer nivel de la red telefónica es la red local, a la que está conectado el abonado. Está formada por centrales locales, centrales terminales y centrales subordinadas, controladas a distancia por otras centrales locales.

Las redes locales no tienen siempre las mismas dimensiones. Las redes locales más modestas, con sólo unos cientos de abonados, pueden funcionar con concentradores digitales; para las redes locales con varios miles de abonados se utilizarán estaciones de conmutación controladas a distancia. Las redes locales más importantes pueden reunir hasta 100 000 abonados y funcionan con centrales locales independientes.

Las líneas de abonado conectan a los distintos abonados a la red local. Las centrales locales están conectadas entre ellas por líneas troncales o interurbanas locales.

3.4.2 Red de larga distancia

Las redes locales están conectadas por redes de larga distancia nacionales, constituidas por centrales regionales, centrales principales y centrales terciarias.

La numeración del abonado también refleja esta estructura: dentro de la red local sólo se selecciona el número de teléfono del abonado para conectar con otro abonado de la misma red local; desde el exterior de la red local, el usuario debe marcar el código de esta red local y, si se trata de un abonado de otro país, también el código nacional.

La estructura interna de las redes locales y las redes de larga distancia puede dividirse en varios niveles jerárquicos. Ahora bien, en algunos países no hay diferencia entre los niveles local y de larga distancia.

El trayecto que sigue efectivamente una conexión en la red no corresponde necesariamente a la jerarquía de la numeración. Un procedimiento de «encaminamiento del tráfico» puede determinar trayectos más cortos y, por tanto, más eficientes. Los sistemas digitales de telecomunicaciones, controlados por ordenador, funcionan con principios de numeración que son independientes de la estructura jerárquica de la red.

Las distintas redes larga distancia nacionales están conectadas, a su vez, por una red larga distancia internacional. Esta red también está organizada en dos niveles: la red de larga distancia intercontinental tiene centrales en Nueva York, Londres, Sydney, Moscú y Tokio. Las redes de larga distancia continentales constituyen el nivel subordinado. Estos son los códigos de las redes de larga distancia continentales:

- 1) América del Norte
- 2) África
- 3) y 4) Europa
- 5) América Central y América del Sur
- 6) Australia, Oceanía
- 7) Federación Rusa
- 8) Asia (excepto Rusia, India y los países árabes)
- 9) India y los países árabes

3.5 Transferencia de mensajes sin conexión

3.5.1 Principios de funcionamiento

El sistema sin conexión transfiere los mensajes en paquetes que contienen las direcciones de origen y de destino. Todos los paquetes son distribuidos a todos los nodos y terminales de la red correspondiente; los receptores hacen una búsqueda y recuperan sus «propios» mensajes, según la información de dirección.

Esta forma de transferencia de mensajes se utiliza principalmente en redes de transmisión de datos, por ejemplo en aplicaciones LAN y WAN. Su ventaja es que permite enviar información sin establecer previamente una conexión, y que no necesita mecanismos de encaminamiento. Estas condiciones son particularmente apropiadas para relaciones esporádicas con informaciones breves.

La transmisión sólo es posible en tramas o paquetes. Como cada paquete contiene las direcciones de origen y destino, no es necesario establecer y terminar una conexión. Los paquetes son transmitidos espontáneamente. Ahora bien, no se puede garantizar la disponibilidad de recursos suficientes en toda la red, ni que el destino podrá aceptar la información transmitida. Por eso, es necesario adoptar procedimientos para comprobar la entrega de los mensajes en destino.

Esta función es realizada mediante protocolos en un nivel superior del modelo de referencia OSI.

Un soporte compartido es un soporte de transmisión utilizado por varias relaciones de comunicación. La capacidad de transmisión para una determinada conexión depende del tráfico de las otras relaciones de comunicación.

Acceso al soporte. En este sistema no se establece una conexión para cada una de las relaciones de información. Por eso, todas las relaciones de información existentes deben compartir el soporte de transmisión (soporte compartido), y esto necesita medidas de organización temporal y de regulación de acceso. Puede hacerse de forma aleatoria y no coordinada, es decir, sin acordar previamente el acceso con otros puestos (acceso aleatorio), o dando a cada puesto derechos de transmisión en determinados segmentos de tiempo (acceso por ficha de paso).

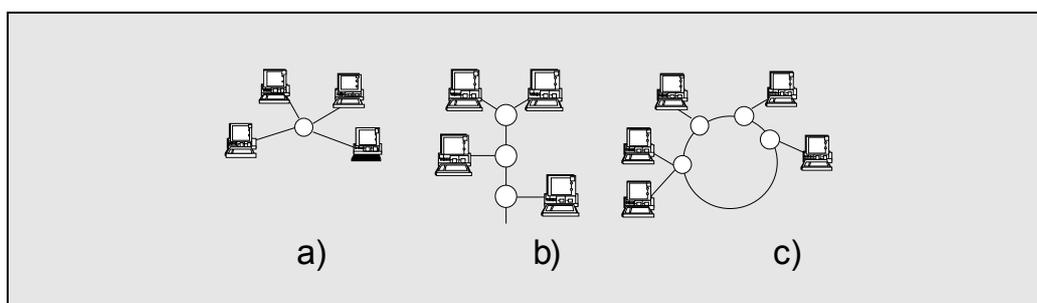
Topologías de red. La Figura 3.18 representa las configuraciones de red posibles para la transferencia de mensajes sin conexión. Es evidente que la red no puede tener una estructura jerárquica, a diferencia de las redes ramificadas o malladas.

Para interconectar redes sin conexión es preciso establecer jerarquías, lo que supone distinguir selectivamente el tráfico interno (origen y destino en la misma red) del tráfico externo (origen y destino en redes diferentes). Con este fin, las redes LAN y WAN suelen incluir ahora dispositivos de puentes y encaminadores. Estos dispositivos analizan la información de dirección de los paquetes de datos y filtran el tráfico externo para la transferencia al nivel inmediatamente superior de la red.

Las redes con establecimiento de conexión que también ofrecen un servicio sin conexión necesitan nodos especiales (servidores) que pueden aceptar un tráfico sin conexión, analizan la información de dirección y lo hacen llegar a destino. En estos sistemas, el tráfico sin conexión es tratado por una subred lógica de conexiones de dirección fija.

Figura 3.18 – Topologías de red para la transferencia de mensajes sin conexión

- a) Red en estrella
- b) Red en bus
- c) Red en anillo



3.5.2 Las diferentes técnicas

CSMA/CD (detección de señal con acceso múltiple y detección de colisión, *carrier sense multiple access/with collision detection*). Se trata de un método de acceso probabilista al soporte de transmisión, no sincronizado con otras estaciones. El soporte es consultado brevemente antes de transmitir. La estación transmite si el medio está libre, o consulta nuevamente el soporte después de un tiempo de espera. Hay un riesgo de colisión si varias estaciones «consultan» simultáneamente y empiezan a transmitir una vez que el soporte está libre. El procedimiento CSMA/CD está determinado por la norma IEEE 802.3. Funciona con una topología de red en bus (Figura 3.18 b). La red Ethernet es un ejemplo típico de los sistemas CSMA/CD. Una red Ethernet puede alcanzar capacidades de transmisión superiores a 10 Mbit/s. Actualmente se preparan las normas para una red Ethernet gigabit, que podrá ofrecer una capacidad de transmisión de 1 Gbit/s y podrá ser explotada en redes de área amplia (WAN).

Ficha circulante. El modelo de ficha es un procedimiento determinista de acceso al soporte, con un sistema de control descentralizado. Cada estación pasa una autorización de transmisión (ficha) a la siguiente. Una estación preparada para transmitir ocupa una ficha libre y envía un mensaje. Entonces se crea una nueva ficha. Las fichas pasan por un anillo físico en este sistema circulante (véase la Figura 3.18 c)). La ficha es transmitida por esta topología de anillo. El sistema IBM de ficha circulante descrito en la norma IEEE 802.5 es un ejemplo característico.

Ficha en bus. Todas las estaciones conectadas en un bus (véase la Figura 3.18 b)) forman un anillo lógico. Las direcciones de las estaciones conectadas determinan la transmisión de las fichas. En el método de ficha en bus es necesario conocer las direcciones de la estación anterior y la siguiente. La norma IEEE 802.4 describen un proceso de ficha en bus.

FDDI (interfaz de datos distribuidos por fibra, *fibre distributed data interface*). El sistema FDDI funciona con la ficha en bus en una estructura de doble anillo, con anillos de direcciones opuestas formados por conexiones de fibra óptica. La información es transportada en paquetes de longitud variable. Los sistemas FDDI tienen una tolerancia de errores y permiten una capacidad de transmisión muy grande en redes LAN de alta velocidad (HSLAN), hasta 100 Mbit/s. El procedimiento de acceso permite ofrecer un servicio síncrono y también transmitir información de forma asíncrona. En este caso, se asigna una parte determinada de la anchura de banda a cada estación.

DQDB (bus doble en fila de distribución, *distributed queue dual bus*). A diferencia del sistema FDDI, el sistema de ficha y el sistema CSMA/CD, creados para la transmisión en redes de área local, el sistema DQDB es un procedimiento de transmisión en redes metropolitanas (MAN, *metropolitan area networks*). Descripción en la norma IEEE 802.6.

Los sistemas DQDB transmiten la información en una estructura de tramas sobre un bus doble con direcciones contrarias. Según la posición del destino de los mensajes de una estación, el sistema solicita una transmisión en el bus de dirección contraria. Los segmentos libres en la dirección de transmisión apropiada son ocupados, y se crea una fila de espera de distribución en todas las estaciones. Las estaciones pueden transmitir su información con los mismos derechos y sin interferencias, según el estado general de la red.

3.6 Abreviaturas

ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BORSCHT	Funciones de carga de la batería, protección contra sobretensiones, señal de llamada, señalización, codificación, acoplador híbrido y prueba (<i>battery, over voltage protection, ringing, signalling, coding, hybrid, test</i>)
CSMA/CD	Detección de señal con acceso múltiple y detección de colisión (<i>carrier sense multiple access/with collision detection</i>)
DQDB	Bus doble en fila de distribución(<i>distributed queue dual bus</i>)
DSS1	Sistema digital de señalización de abonado N.º 1 (<i>digital subscriber signaling system No. 1</i>)
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (<i>European Telecommunications Standards Institute</i>)
FDDI	Interfaz de datos distribuidos por fibra (<i>fibre distributed data interface</i>)
FIFO	El primero en entrar es el primero en salir (generalmente memorias intermedias) (<i>first in first out</i>)
GSM	Grupo Especial Móviles (Comisión del ETSI para sistemas celulares de la segunda generación) (<i>group special mobile</i>)
HSLAN	Red de área local de alta velocidad (<i>high speed local area network</i>)

IEEE	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>)
LAN	Red de área local (<i>local area network</i>)
MAN	Red metropolitana (<i>metropolitan area network</i>)
MIC	Modulación por impulsos codificados
RDSI	Red digital de servicios integrados
NNI	Interfaz de red a red (<i>network network interface</i>)
OSI	Interconexión de sistemas abiertos(<i>open systems interconnection</i>)
QoS	Calidad del servicio (<i>quality of service</i>)
SMS	Servicio de mensajes breves (<i>short message service</i>)
UNI	Interfaz de usuario a red (<i>user network interface</i>)
USBS	Servicio portador de señalización de usuario (<i>user signalling bearer service</i>)
WAN	Red de área amplia (<i>wide area network</i>)

CAPÍTULO 4

4 Nuevos sistemas de señalización y sistema de señalización N.º 7

4.1 Introducción

Se utiliza el término general «señalización» para designar la sintaxis y la semántica de las señales transmitidas entre el usuario y la red, o entre los nodos de la red, para establecer o liberar una llamada, para controlar los servicios de telecomunicaciones en general. Estas señales eran elementales (cambio de estado y combinaciones de frecuencias), pero ahora son cada vez más complejas en las redes digitales, están estructuradas como mensajes y elementos de información y explotan los desarrollos paralelos de la tecnología de comunicación de información (el modelo OSI, por ejemplo).

Con los nuevos tipos de redes de telecomunicaciones RDI (Red Digital Integrada), y más recientemente RDSI-BE (Red Digital de Servicios Integrados de banda estrecha), se han adoptado nuevos sistemas de señalización de canal común en la red (sistema de señalización N.º 7 entre los nodos de la red) y en el bucle de abonado (sistema de señalización digital de abonado N.º 1 entre la instalación del usuario y la red).

En los últimos 20 años, estos sistemas se han convertido en el sistema nervioso de las nuevas redes de telecomunicaciones, y se han logrado los objetivos definidos cuando fueron introducidos en el decenio de 1970: fiabilidad y flexibilidad. Las funciones de señalización para los servicios telefónicos ordinarios (POTS) se han transformado en complejos programas de funciones y protocolos que los operadores de la red utilizan para ofrecer toda una serie de servicios a sus clientes (telefonía ordinaria, RDSI, celular, banda ancha, etc.) y optimizar el funcionamiento de las redes (concepto de Red Inteligente, por ejemplo). La evolución más reciente está permitiendo la convergencia o el funcionamiento en paralelo con el protocolo Internet (IP).

Los siguientes apartados son una presentación general de esta evolución.

4.2 El sistema de señalización N.º 7 (SS7)

El sistema de señalización N.º 7 es el segundo de los sistemas de señalización de canal común recomendados por el CCITT en 1980, después de 8 años de estudio. Integra el entorno de la telefonía, los principios y las técnicas de las redes de comunicación de información, desarrollados según el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI), y satisfacen los criterios específicos de la señalización (altas exigencias de seguridad y condiciones de servicio en tiempo real).

Para satisfacer las condiciones de flexibilidad y permitir la evolución del sistema, la solución adoptada es modular y estructurada, con una separación clara entre las funciones básicas para la transmisión fiable de mensajes de señalización (parte de transferencia del mensaje) y las funciones relativas a la aplicación (parte de usuario). Algunas partes de usuario pueden compartir varias funciones, por ejemplo, la parte de control de conexión de señalización (SCCP) o la parte aplicación de capacidad de transacción (TCAP). La publicación de Recomendaciones SS7 sucesivas desde 1980 demuestra un esfuerzo continuado para definir aplicaciones de señalización más estructuradas y con más partes comunes. Los siguientes apartados son una presentación general de los protocolos SS7 para servicios de banda estrecha.

4.2.1 Parte de transferencia de mensajes (MTP)

4.2.1.1 Introducción

Las funciones de la parte de transferencia de mensajes (MTP) permiten comunicar información importante de la Parte Usuario por la red del sistema de señalización N.º 7 al destino apropiado (puntos de señalización). Otras funciones de la MTP permiten resolver fallos del sistema y de la red, que podrían afectar la transferencia de información de señalización. Gracias a los procedimientos MTP, los mensajes creados por un usuario en un punto de señalización son entregados al usuario en el punto de destino especificado por el emisor, sin pérdida ni duplicación de mensajes.

La MTP está dividida en varios subniveles:

- 1) Nivel físico (nivel 1) o enlace de datos de señalización.
- 2) Nivel de enlace de información (nivel 2) o enlace de señalización.
- 3) Nivel de red (nivel 3) o gestión de red de señalización.

Un protocolo de nivel entre dos sistemas ejecuta las funciones en cada uno de los niveles de la MTP. Este protocolo presta un «servicio de nivel» a los niveles superiores (nivel 1 o enlace de datos de señalización, nivel 2 o enlace de señalización, y nivel 3 o red de señalización), de acuerdo con las Recomendaciones Q.702, Q.703 y Q.704, respectivamente.

Éstas son las principales funciones de la Parte de Transferencia de Mensajes:

- a) permite transportar y entregar de forma fiable la información de señalización de la «Parte Usuario» en la red SS7;
- b) permite reaccionar a los fallos del sistema y de la red que afectan la transferencia de información, y aportar soluciones para garantizar la continuidad del servicio.

4.2.1.2 Descripción

Véase una descripción más completa en las Recomendaciones UIT-T Q.702 a Q.707.

Nivel 1 (enlace de datos de señalización)

El enlace de datos de señalización es el primero de los niveles funcionales (nivel 1) en la jerarquía del sistema de señalización N.º 7. Es un trayecto de transmisión bidireccional para señalización, con dos canales de datos que funcionan al mismo tiempo en sentidos contrarios, con la misma velocidad de transmisión de datos.

Un enlace de datos de señalización digital consiste en canales de transmisión y conmutadores digitales, o los correspondientes equipos terminales como interfaz con terminales de señalización. Los canales de transmisión digitales pueden resultar de una señal múltiplex digital de 1 544, 2 048 u 8 448 kbits/s, con la estructura de trama definida por la Recomendación G.704 [1].

El sistema de señalización N.º 7 puede funcionar con enlaces de transmisión terrenales o por satélite.

Nivel 2 (enlace de señalización)

Las funciones del enlace de señalización, y el enlace de datos de señalización como portador, permiten una transferencia fiable de mensajes de señalización entre dos puntos de señalización conectados directamente.

Las principales características son la delimitación de mensajes, la validación de secuencias, la verificación de errores y el control del flujo. En caso de error en un enlace de señalización, el mensaje (o una serie de mensajes) es retransmitido. Se han definido dos métodos de retransmisión: el procedimiento básico para enlaces terrenales, con un tiempo de recorrido ida y vuelta inferior a 30 ms, y el procedimiento de retransmisión cíclica preventiva, principalmente para enlaces de satélite o terrenales con un tiempo de recorrido ida y vuelta superior a 250 ms. Los dos métodos son apropiados si el tiempo de recorrido ida y vuelta está entre estos dos límites.

El mensaje de nivel 2 de la MTP constituye una «unidad de señalización» (SU, *signal unit*). Hay tres tipos de unidades de señalización: las unidades de señalización de relleno (FISU), las unidades de estado de enlace (LSSU) y las unidades de señalización de mensaje (MSU).

Las unidades de señalización de relleno (FISU, *fill-in signal units*) son transmitidas continuamente sobre un enlace de señalización en los dos sentidos, excepto durante la transmisión de otras unidades de señalización (MSU o LSSU).

Las FISU sólo transmiten información básica de nivel 2 (por ejemplo, acuse de recibo de unidades de señalización por el punto de señalización distante). El cálculo de un total de control en cada FISU garantiza el control permanente de calidad del enlace de señalización por los dos puntos en los extremos del enlace.

Las unidades de estado de enlace (LSSU, *link status signal units*) transmiten uno o dos octetos de información sobre el estado del enlace, entre los puntos de señalización de los extremos. Esta información permite controlar la alineación del enlace y también indicar el estado del enlace en el extremo distante.

Las unidades de señalización de mensaje (MSU, *message signal units*) transmiten todos los datos de usuario generados por el nivel superior (MTP nivel 3).

La longitud de la SU indica si se trata de unidades FISU, LSSU o MSU. El valor del indicador de longitud (LI, *length indicator*) determina el tipo de unidad de señalización:

LI	Tipo de mensaje
0	FISU
1 ó 2	LSSU
3 .. 63	MSU

La longitud máxima del mensaje es 279 octetos.

Véase una descripción más completa en la Recomendación UIT-T Q.703.

Nivel 3 (gestión de la red de señalización)

La gestión de la red de señalización está dividida en dos categorías básicas:

- El tratamiento de mensajes
- La gestión de la red

El nivel 3 de la MTP tiene las mismas funciones que la capa de red OSI.

Tratamiento de mensajes

El nivel 3 de la MTP encamina los mensajes de acuerdo con la etiqueta de encaminamiento de las correspondientes unidades de señalización. La etiqueta de encaminamiento está formada por los campos de código de punto de destino (DPC), código de punto de origen (UPC) y selección de enlace de señalización (SLS). Los código de punto de destino y de origen se identifican exclusivamente por direcciones numéricas en la red SS7. La MTP distribuye el mensaje en destino al usuario designado e identificado en el mensaje (SIO).

Gestión de la red

Se han previsto grupos de procedimientos para compensar fallos y recuperar elementos en la red (enlace, conjunto de enlaces y nodo). Éstos son los grupos disponibles:

- Gestión del enlace
- Gestión de la ruta
- Gestión del tráfico

En caso de cambio de estado del enlace de señalización, la ruta o el nodo, se activan los procedimientos apropiados en los conjuntos.

Gestión del enlace

<i>Control del conjunto de enlaces</i>	gestión a nivel del conjunto de enlaces.
<i>Control de actividad en el enlace de señalización</i>	supervisión de todas las acciones que tienen lugar a nivel del enlace.
<i>Control de activación del enlace de señalización</i>	activación inicial y la integración del enlace en la gestión de la red.
<i>Restablecimiento del enlace de señalización</i>	restablecer un enlace interrumpido después del procedimiento de gestión del tráfico.
<i>Desactivación del enlace de señalización</i>	interrupción del tráfico en un enlace y retirar el enlace de la gestión de la red.

Gestión de la ruta

<i>Control de prohibición de transferencia</i>	la prohibición de transferencia (TFP) es una función de los puntos de transferencia de señalización (STP), que informan a los nodos adyacentes que ya no hay acceso a un determinado destino a través de ese punto.
--	---

<i>Control de prueba de establecimiento de la ruta de señalización</i>	para comprobar el estado de las rutas desde un STP distante.
<i>Control de autorización de transferencia</i>	la autorización de transferencia (TFA) es una función de los puntos de transferencia de señalización (STP), que informan a los nodos adyacentes que ahora hay acceso a un determinado destino a través de ese punto.
<i>Control de transferencia controlada</i>	para informar a un nodo adyacente que el trayecto a un determinado destino está congestionado.
Gestión del tráfico	
<i>Control de paso a otro enlace</i>	desviación del tráfico de un enlace de señalización no disponible a otro enlace disponible (o varios).
<i>Control de retorno a enlace de servicio</i>	desviación del tráfico de un enlace de señalización de reserva (o varios) a un enlace que ahora está nuevamente disponible.
<i>Control de disponibilidad de enlace</i>	sincronización de diferentes eventos que influyen en las tablas de encaminamiento en lo concerniente al enlace.
<i>Control de reencaminamiento forzado</i>	desviación del tráfico de una ruta de señalización no disponible en ese momento a otra ruta disponible (o varias).
<i>Control de reencaminamiento controlado</i>	desviación del tráfico de una ruta de señalización de reserva (o varias) a una ruta que ahora está nuevamente disponible.
<i>Reactivación de punto de señalización</i>	introducción progresiva de un nodo en la red SS7 al reiniciar. También se utiliza para reiniciar un nodo adyacente.
<i>Control de flujo de tráfico de señalización</i>	gestión de una situación de congestión de una situación de congestión detectada localmente o a distancia.
<i>Control de ruta de señalización</i>	sincronización de diferentes eventos que influyen en las tablas de encaminamiento en lo concerniente al destino.

Véase una descripción más completa en la Recomendación UIT-T Q.704.

4.2.1.3 Evolución futura

Desde 1996, la Recomendación UIT-T Q.704 ofrece, como opción nacional, la especificación de un enlace de señalización de alta velocidad para transmisiones de señalización a 2 Mbit/s por modulación por impulsos codificados (MIC) no canalizada. Es un enlace apropiado en los países donde todavía no se utiliza el modo de transporte ATM. Para los países donde ya está disponible el modo de transporte ATM, se utiliza preferentemente la solución con MTP3 ATM, en lugar de los niveles 1 y 2 de la MTP.

4.2.2 Parte control de la conexión de señalización (SCCP)

4.2.2.1 Introducción

Sobre la red (o las redes) MTP, los servicios sin/con conexión de la parte control de la conexión de señalización (SCCP, *signalling connection control part*) permiten transferir información de señalización, relativa o no a circuitos, y otros tipos de información entre los nodos, para efectos de gestión y mantenimiento. La estructura de la MTP y la SCCP es la «parte de servicio de la red» (NSP, *network service part*). La parte de servicio de la red (NSP) en el sistema SS7 realiza el protocolo en transmisión sin y con conexión. La PSR del sistema SS7 puede ser considerada como la capa de red del Modelo de Referencia OSI.

Principales funciones de la SCCP:

- permite controlar conexiones de señalización lógicas en una red SS7;
- permite transferir unidades de datos de señalización en la red SS7 utilizando o no conexiones de señalización lógicas.

El protocolo empleado por la SCCP para ofrecer servicios de red está dividido en las siguientes cuatro clases:

- Clase 0: Clase básica sin conexión.
- Clase 1: Clase temporizada sin conexión.
- Clase 2: Clase básica, con conexión.
- Clase 3: Clase con control del flujo, con conexión.

4.2.2.2 Descripción

La SCCP realiza una función de encaminamiento: los mensajes de señalización son encaminados a un punto de señalización, por ejemplo, según las cifras marcadas. Este proceso necesita una función de traducción, que convierte el título general (por ejemplo, las cifras marcadas) en un código de punto de señalización y, eventualmente, en un número de subsistema. La función de encaminamiento incluye medidas de control de congestión que limitan el tráfico en caso de congestión de la MTP, de la SCCP o del nodo SCCP.

La SCCP también incluye una función de gestión que controla la disponibilidad de los «subsistemas» y hace una difusión general de esta información para otros nodos de la red que necesitan conocer el estado del «subsistema». Los subsistemas de la SCCP son considerados como usuarios de la SCCP.

Las funciones de compatibilidad de la SCCP permiten explotar de forma eficaz y transparente los diferentes tipos de redes MTP (redes con enlaces de banda estrecha o enlaces de banda ancha, como el ATM). Ahora bien, esta función sólo está disponible para servicios sin conexión en la versión actual. El trabajo de desarrollo debe continuar para extender esta función a los servicios con conexión.

Véase una descripción más completa en las Recomendaciones UIT-T Q.711 a Q.716.

Función de encaminamiento

El direccionamiento, primera condición esencial de la comunicación, permite establecer una asociación entre dos usuarios de la SCCP. La SCCP permite el direccionamiento lógico de la entidad distante para los usuarios. En este caso, la función de traducción del título general obtiene una dirección de red SS7 (por ejemplo, la dirección física de este usuario distante). Si la asociación entre la dirección lógica y la dirección física final no es posible a nivel local, la SCCP entrega el mensaje al siguiente nodo SCCP, para realizar la asociación. Esta propagación continúa hasta que la traducción realice la asociación final entre esta dirección y el usuario local SCCP en uno de los nodos SCCP del trayecto.

Estos son los diferentes elementos de información de direccionamiento utilizados por la función de encaminamiento de la SCCP (SCRC):

- 1) **Código del punto (PC, *point code*)** – Identificación única de un nodo en una red MTP SS7. Este PC identifica el siguiente nodo SCCP.
- 2) **Título general (GT, *global title*)** – Una dirección utilizada por la SCCP, formada por cifras marcadas u otras formas de dirección. Dado que no es reconocida por la capa de red SS7, es necesario traducir esta información en una dirección de red SS7.
- 3) **Número de subsistema (SSN, *sub-system number*)** – Identifica un subsistema al que se accede gracias a la SCCP, en un nodo o, eventualmente, una Parte Usuario (por ejemplo, gestión de SCCP o entidad de aplicación que contiene la capa TCAP).

El mensaje será enviado o descartado, según la prioridad del mensaje y el grado de congestión del destino (el siguiente nodo), que están determinados por el GT.

En unos casos se realiza una segmentación, y en otros no, según las posibilidades de la red en el trayecto.

Servicios sin conexión

Las capacidades de las diferentes clases de protocolos sin conexión permiten transferir un mensaje de usuario en el campo «datos» de un mensaje SCCP.

Si un mensaje sin conexión no fuera suficiente para transmitir la información de usuario con los servicios MTP de una red MTP de banda estrecha (longitud máxima de los mensajes MTP 272 octetos, incluyendo la etiqueta de encaminamiento MTP), se utiliza una función de segmentación/recomposición para los protocolos Clase 0 y Clase 1. En este caso, en el nodo de origen o un nodo relé, la SCCP divide la información en varios segmentos antes de hacer la transferencia en el campo «datos» de los mensajes SCCP. Estos segmentos serán reunidos en el nodo de destino antes de entregar al usuario.

Cuando se tiene la certeza de que la red sólo utiliza servicios MTP que soportan mensajes largos (según la Recomendación Q.2210), no es necesario hacer una segmentación de la información.

Protocolo Clase 0

Los datos de usuario, comunicados por capas más altas a la SCCP en el nodo de origen, son entregados por la SCCP a capas más altas en el nodo de destino. Como cada uno es transferido independientemente, pueden entregarse a la SCCP usuario sin ningún orden. Esta clase de protocolo corresponde a un verdadero servicio de red sin conexión.

Protocolo Clase 1

El protocolo Clase 1 realiza las funciones de la Clase 0 y una función adicional (el parámetro de control de secuencia incluido en la primitiva de solicitud), que permite a la capa superior notificar a la SCCP la entrega de una secuencia determinada de datos de usuario. El parámetro de selección de enlace de señalización (SLS), para encaminamiento en MTP SCCP, es determinado en el punto de origen según el valor del parámetro de control de secuencia. Otra cadena de datos de usuario con el mismo parámetro de control de secuencia produciría la misma selección de enlace de señalización. La MTP codifica el campo de selección de enlace de señalización en la etiqueta de encaminamiento de los mensajes MTP que tengan relación con estos datos de usuario. En condiciones normales, esto garantiza el orden de encaminamiento en la MTP y la SCCP. La SCCP y la MTP garantizan la entrega en orden al usuario, con las anteriores limitaciones. Esta clase de protocolo corresponde pues a un servicio perfeccionado sin conexión, con una función adicional de entrega en secuencia.

Servicios con conexión

Los protocolos con conexión (clases 2 y 3) permiten establecer conexiones de señalización para intercambiar distintos mensajes de usuario relacionados. Las clases de protocolos con conexión también permiten procesos de segmentación y recomposición. Los mensajes de usuario de más de 255 octetos son divididos en varios segmentos en el nodo de origen, antes de hacer la transferencia en el campo «datos» de los mensajes SCCP. Cada segmento tiene una longitud máxima de 255 octetos. El mensaje de usuario será reconstruido en el nodo de destino antes de entregar al usuario.

Protocolo Clase 2

En el protocolo Clase 2, una conexión de señalización temporal o permanente, que puede constar de una o varias secciones de conexión, permite la transferencia bidireccional de datos de usuario, entre el usuario de la SCCP en el nodo de origen y el usuario de la SCCP en el nodo de destino. Es posible hacer una multiplexión de varias conexiones de señalización en la misma relación de señalización. Cada conexión de señalización en esta cadena de multiplexión se identifica con un par de números de referencia, conocidos como «números de referencia locales». El valor del campo SLS ha de ser el mismo en todos mensajes de una determinada conexión de señalización, para garantizar el mismo tratamiento en orden descrito en el sistema de secuencia sin conexión. Por consiguiente, esta clase de protocolo es un servicio de red simple, con conexión, sin control de flujo SCCP ni detección de pérdida o entrega en orden incorrecto.

Protocolo Clase 3

El protocolo Clase 3 ofrece las funciones del protocolo Clase 2 y una función de control del flujo, con las correspondientes capacidades de transferencia acelerada de datos. También incluye capacidades para detección de pérdida o entrega en orden incorrecto de mensajes para cada sección de conexión. En estos casos, se establece nuevamente la conexión de señalización y la SCCP envía la notificación correspondiente a las capas superiores.

Gestión

Los procedimientos previstos en la gestión de la SCCP permiten mantener las prestaciones de la red, reencaminando o regulando el tráfico en caso de fallo o congestión de la red.

Bases para los procedimientos de gestión de la SCCP:

- 1) información de fallo, recuperación y congestión proporcionada por las primitivas de indicación para la gestión MTP (indicación de pausa-MTP, indicación de reanudación-MTP, y indicación de estado-MTP);
- 2) información de fallo y recuperación de subsistema, y de congestión de la SCCP (SSN = 1), recibida en los mensajes de gestión SCCP.

La gestión SCCP mantiene el estado de los nodos SCCP distantes y el estado de los subsistemas locales o distantes. Informa a los usuarios locales mediante una difusión general y a los nodos SCCP distantes mediante una difusión general o respondiendo a los mensajes recibidos.

La gestión SCCP se combina con el control de encaminamiento SCCP (que incluye la función de traducción) para interrumpir el tráfico a destinos inaccesibles, y reencaminar el tráfico por rutas alternativas o seleccionando subsistemas distantes alternativos.

La información de gestión SCCP es transferida por el servicio SCCP sin conexión.

4.2.2.3 Evolución futura

No se prevén modificaciones significativas.

4.2.3 Capacidades de transacción (TC)

4.2.3.1 Introducción

Las capacidades de transacción (TC, *transaction capabilities*) del sistema de señalización N.º 7 soportan aplicaciones de señalización interactivas que no están asociadas a una portadora. Dos aplicaciones típicas son las interacciones entre un centro de conmutación y una base de datos externa, o entre dos bases de datos. Actualmente, los principales usuarios se encuentran en los sectores de Redes Inteligentes (INAP) y de redes móviles (MAP). Las TC pueden considerarse como una realización particular del paradigma de operaciones distantes definido en la Recomendación X.880 (ROS). Las interacciones entre usuarios de TC toman la forma de operaciones. Una entidad (origen) solicita una operación, y la otra entidad (destino) intenta realizar la operación y, eventualmente, comunica el resultado de este intento.

4.2.3.2 Descripción

Podemos considerar las capacidades de transacción como un grupo de funciones que constituyen un mecanismo de llamada por procedimiento a distancia (RPC, *remote procedure call*) en redes SS7. Refiriéndonos a los principios OSI, reúnen el elemento de servicio de operaciones a distancia (ROSE – véanse las Recomendaciones X.881 y X.882), el elemento de servicio de control de asociación (ACSE – véanse las Recomendaciones X.217 y X.227) y, de alguna manera, la capa de presentación (Recomendaciones X.216 y X.226).

Las TC están estructuradas en dos subcapas:

- a) la subcapa componente (CSL), que realiza el servicio a distancia propiamente dicho y permite al usuario de las TC controlar la asociación (en su caso) donde se intercambian las solicitudes y las respuestas;
- b) la subcapa transacción (TSL), que permite disponer (si es necesario) de un servicio de conexión de extremo a extremo entre dos entidades de las TC.

Subcapa transacción: La subcapa transacción está en relación directa con la parte de control de conexión de señalización (SCCP), que ofrece el servicio de red sin conexión SS7. Reemplaza, hasta cierto punto, las funciones no disponibles de capa de transporte. Como la capa de transporte, la TSL se utiliza en modo con conexión, lo que supone establecer una transacción, o en modo sin conexión. La TSL utiliza los siguientes mensajes para transportar las unidades de datos del protocolo que son intercambiadas entre dos subcapas componente:

- El mensaje «Iniciar», utilizado para abrir una transacción.
- El mensaje «Continuar», utilizado para transferir información durante una transacción ya establecida.
- El mensaje «Terminar», utilizado para cerrar una transacción.
- El mensaje «Suspender», utilizado para rechazar el establecimiento de una transacción, o para abandonar una transacción ya establecida, si hay errores de protocolo.

En todos los mensajes pueden incluirse unidades de datos de protocolo generadas por la subcapa componente.

Subcapa componente: La subcapa componente, a su vez, está dividida en dos bloques funcionales:

- a) El bloque de tratamiento de componente (CHA, *component handling*), que realiza el servicio básico de operaciones a distancia.
- b) El bloque de tratamiento de diálogo (DHA, *dialogue handling*), que realiza una función de control de asociación.

Las unidades de datos de protocolo (PDU) generadas o interpretadas por el bloque CHA son los «componentes». Estas son las distintas clases de componentes:

- El componente «Solicitar», para solicitar a un usuario distante que realice una acción (ejecutar una operación).
- Los componentes «Notificar resultado, no el último» y «Notificar resultado, el último», para confirmar que una operación ha sido ejecutada correctamente.
- El componente «Notificar error», para informar que una operación no ha sido ejecutada correctamente.
- El componente «Notificar rechazo», para informar sobre un error de protocolo.

Estas PDU coinciden perfectamente con las unidades definidas en la Recomendación X.880, con una extensión: la PDU específica «Notificar resultado, no el último», que sólo transporta segmentos del resultado de una operación ejecutada correctamente, que sobrepasa la longitud máxima de datos de usuario en la SCCP sin conexión.

Los servicios DHA controlan el establecimiento y el cierre de un diálogo (asociación). Para controlar el establecimiento de un diálogo es necesario negociar un contexto de aplicación. Con el bloque DHA, el usuario de TC también puede controlar la concatenación de PDU (una o varias) en un solo mensaje TSL. Las unidades de datos de protocolo del bloque DHA son un subconjunto de las unidades definidas en la Recomendación X.217 para el elemento de servicio de control de asociación (ACSE, *association control service element*).

4.2.3.3 Evolución futura

No se prevén modificaciones significativas de las Recomendaciones para capacidades de transacción. Podrían definirse otros elementos de la capa de aplicación común (para la gestión de seguridad, por ejemplo), que completarían las capacidades de transacción, pero probablemente no necesitarán su adaptación.

4.2.3.4 Referencias

Las siguientes Recomendaciones determinan las actuales capacidades de transacción del sistema de señalización N.º 7:

- Recomendación Q.771 (06/97): Capacidades de transacción – Descripción funcional de las capacidades de transacción.
- Recomendación Q.772 (06/97): Capacidades de transacción – Definiciones de los elementos de información de las capacidades de transacción.
- Recomendación Q.773 (06/97): Capacidades de transacción – Formatos y codificación de las capacidades de transacción.
- Recomendación Q.774 (06/97): Capacidades de transacción – Procedimientos relativos a las capacidades de transacción.
- Recomendación Q.775 (06/97): Capacidades de transacción – Directrices para la utilización de capacidades de transacción.

4.2.4 Parte usuario de la RDSI (ISUP)

4.2.4.1 Introducción

Las llamadas telefónicas son mucho más complejas hoy que en los años 1980: inicialmente se trataba de establecer un circuito entre dos usuarios, pero ahora se ofrecen otros servicios a los usuarios, y las redes presentan otras características. Esto ha obligado a definir un nuevo protocolo de señalización con capacidad para transportar grandes cantidades de información en las dos direcciones, en el proceso de establecimiento de la llamada y también durante la llamada. La parte usuario de la RDSI (ISUP) fue definida como soporte del sistema RDSI, para incluir los servicios de usuarios del sistema RDSI, ofrecer nuevos servicios a los usuarios del sistema análogo y tomar en consideración los nuevos equipos desarrollados en el concepto de red inteligente (RI).

4.2.4.2 Descripción

4.2.4.2.1 Identificación y encaminamiento de llamadas

La información de señalización es transportada por enlaces de señalización reservados e independientes del circuito. Todos los mensajes contienen la información necesaria para que todos los conmutadores que participan en la llamada puedan reunir los mensajes y asociarlos al circuito seleccionado para esa llamada. Todos los mensajes tienen una etiqueta de encaminamiento definida por la recomendación para la MTP (código de punto de origen: código de punto del conmutador emisor; código de punto de destino: código de punto del conmutador adyacente) y el CIC (Código de identificación del circuito): identificación única del circuito entre dos conmutadores adyacentes. El IAM (Mensaje de dirección inicial), el primero de los mensajes de establecimiento de la llamada, contiene la dirección de la parte llamada (dirección E.164 del usuario llamado), que permite encaminar la llamada. Así, todos los conmutadores en el trayecto de llamada reconocen todos los mensajes, cualquiera que sea su dirección.

4.2.4.2.2 Sintaxis de la ISUP

La señalización de la ISUP consta de varios mensajes. Cada uno de los mensajes ISUP aparece en el campo de información de un mensaje MTP. Como ya se ha dicho, todos los mensajes tienen una etiqueta de encaminamiento, el CIC, el código de tipo de mensaje y la información de aplicación propiamente dicha. Esta información de aplicación está formada por parámetros obligatorios de longitud fija, punteros para cada parámetro obligatorio de longitud variable y para la parte opcional, parámetros obligatorios de longitud variable, parámetros opcionales de longitud variable.

4.2.4.2.3 Características de la ISUP

La ISUP soporta servicios básicos de portadora y servicios suplementarios para aplicaciones en una red digital de servicios integrados.

4.2.4.2.3.1 Servicios básicos

Generalmente, la ISUP soporta tres servicios de portadora (voz, audio de 3,1 kHz y 64 kbit/s), pero puede soportar servicios de velocidad variable y $N \times 64$ kbit/s. Este servicio de portadora es iniciado por la central local de origen, si el usuario que llama es análogo (generalmente 3,1 kHz), o por el usuario RDSI que llama, en el mensaje de establecimiento del sistema DSS1.

Para el encaminamiento, además del número de la parte llamada, la ISUP permite introducir una señalización ISUP (preferente u obligatoria) y notificar de retorno si la ISUP ha sido utilizada.

Los mensajes ISUP también transportan elementos de información introducidos por usuarios RDSI.

La ISUP incluye igualmente procedimientos para la supervisión del circuito (bloqueo/desbloqueo, reposición) y para control de eco.

4.2.4.2.3.2 Segmentación simple

En el procedimiento de segmentación simple, los mensajes de segmentación transportan segmentos de mensajes que tienen una longitud superior a 272 octetos (límite MTP), pero inferior a 544 octetos.

4.2.4.2.3.3 Compatibilidad

Una de las características principales del protocolo ISUP es la posibilidad de interconectar dos conmutadores que no tienen exactamente la misma implementación de la ISUP. Antes del protocolo ISUP'92, si un conmutador recibía un mensaje o un parámetro desconocidos, la información desconocida era descartada. Con las modificaciones del protocolo ISUP'92, todos los mensajes y parámetros nuevos incluyen información de compatibilidad, que indica la acción apropiada a los conmutadores que no reconozcan un mensaje o un parámetro (descartar, transmitir, liberar llamada, etc.). Esta modificación permite adaptar una red en algunas centrales (centrales locales, por ejemplo), sin que sea necesario adaptar todas las centrales (las centrales de tránsito, por ejemplo).

4.2.4.2.3.4 Mecanismo de transporte de aplicación (APM)

El mecanismo de transporte de aplicación (APM, *application transport mechanism*) fue introducido en el protocolo ISUP'2000 para comunicar información propia de determinadas aplicaciones, por ejemplo de la red privada virtual (VPN, *virtual private network*). El mecanismo APM es soportado por la ISUP mediante un parámetro específico transportado por mensajes de tratamiento de llamada, o por un mensaje específico (parte de la ISUP) si los mensajes de tratamiento de llamada no están disponibles en el momento de enviar la información APM.

4.2.4.2.3.5 Servicios suplementarios

La ISUP soporta varios servicios. Los soporta la ISUP directamente o en combinación con procedimientos genéricos que hacen intervenir el nivel SCCP. Para algunos servicios suplementarios, la información transportada por la ISUP debe pasar por conmutadores. En otros casos, la ISUP sólo es una forma de transportar notificaciones, particularmente si el servicio suplementario se ofrece a nivel local (por ejemplo, en un acceso DSS1).

En la especificación de cada «versión» de la ISUP se indican los servicios suplementarios soportados. Estos son algunos de los servicios suplementarios:

- CLIP/CLIR (*calling line identification presentation/restriction*) (presentación/restricción de identificación de la línea que llama): el número de la parte llamada es transmitido en el mensaje inicial de dirección para visualización en el acceso en destino.
- CUG (*closed user group*) (grupo cerrado de usuarios): la información de un CUG es transmitida por el mensaje inicial de dirección para análisis en la aplicación CUG, en los conmutadores que intervienen.
- UUS (*user-to-user signalling*) (señalización de usuario a usuario): este servicio RDSI consiste en un intercambio de información entre dos usuarios RDSI.
- CFU, CFNR, CFB (*call forwarding unconditional, no reply, busy*) (transmisión de llamada incondicional, sin respuesta, ocupado): transporte de información relativa al tipo de transmisión de llamada y la identidad de las partes llamadas, para realizar un tratamiento (por ejemplo, para tarificación) o para visualización en conmutadores locales o en accesos DSS1.
- CCBS (*completion of calls to busy subscriber*) (realización de llamadas a usuario ocupado): servicio iniciado por el mensaje de liberación de la ISUP, para indicar a la central local de origen que puede llamar nuevamente al usuario llamado, ahora ocupado, cuando esté libre. La SCCP soporta el resto del procedimiento.

4.2.4.3 Evolución futura

El protocolo ISUP es adaptado actualmente para integrar nuevas necesidades. Por ejemplo, la versión ISUP'2000 incluye el criterio de portabilidad del número, lo que supone nuevos procedimientos (redireccionamiento, encaminamiento en pivote) y nuevas informaciones. Las redes inteligentes (RI) han creado otras necesidades. Los servicios de las RI exigen intercambios de información cada vez más importantes entre nodos RI, o entre los nodos y conmutadores RI y los usuarios.

La ISUP también ha evolucionado para soportar nuevas portadoras, como ATM o IP. Para facilitar el desarrollo de las redes centrales ATM/IP, se estudia actualmente el desarrollo de un nuevo protocolo ISUP, basado en el protocolo N-ISUP, que permitirá tratar las llamadas independientemente de la portadora. El nuevo protocolo ISUP podrá funcionar en combinación con el protocolo N-ISUP.

4.2.4.4 Referencias (Q.761 a Q.764, y la serie Q.730)

- 2000: ISUP'2000 (APM, VPN, portabilidad del número, RI CS2, nuevos servicios suplementarios)
- 1997: ISUP'97 (nuevos procedimientos, RI CS1, nuevos servicios suplementarios)
- 1993: Libro Blanco de la ISUP'92 (segmentación, compatibilidad, nuevos servicios suplementarios)
- 1991: PUSI Q.767 (subconjunto de la PUSI para interfaz internacional)
- 1988: Libro Azul de la ISUP.

4.2.5 Parte de aplicación de red inteligente (PARI)

4.2.5.1 Introducción

Los nuevos sistemas de telecomunicaciones ofrecen muchos servicios. La liberalización del mercado permite ofrecer un creciente número de funciones a los usuarios y abre nuevas posibilidades para elevar la renta de los operadores y los proveedores del servicio.

Para imponerse frente a la competencia y aprovechar todas las posibilidades, los operadores de redes deben reconsiderar la infraestructura de las redes, los costes y las condiciones de flexibilidad, y adaptar los servicios a la demanda evolutiva de sus clientes.

El concepto de Red Inteligente (RI) satisface estas necesidades y puede aplicarse a todas las redes. Estas son las principales ventajas de la RI:

- facilita la introducción de nuevos servicios, sin alterar la estructura básica de la red;
- permite personalizar el servicio, según las necesidades individuales;
- permite mejorar progresivamente el sistema;
- mejora las fuentes de renta y permite recuperar rápidamente la inversión;
- reduce el coste de las operaciones de servicio de la red;
- garantiza la independencia al proveedor;
- crea interfaces abiertas.

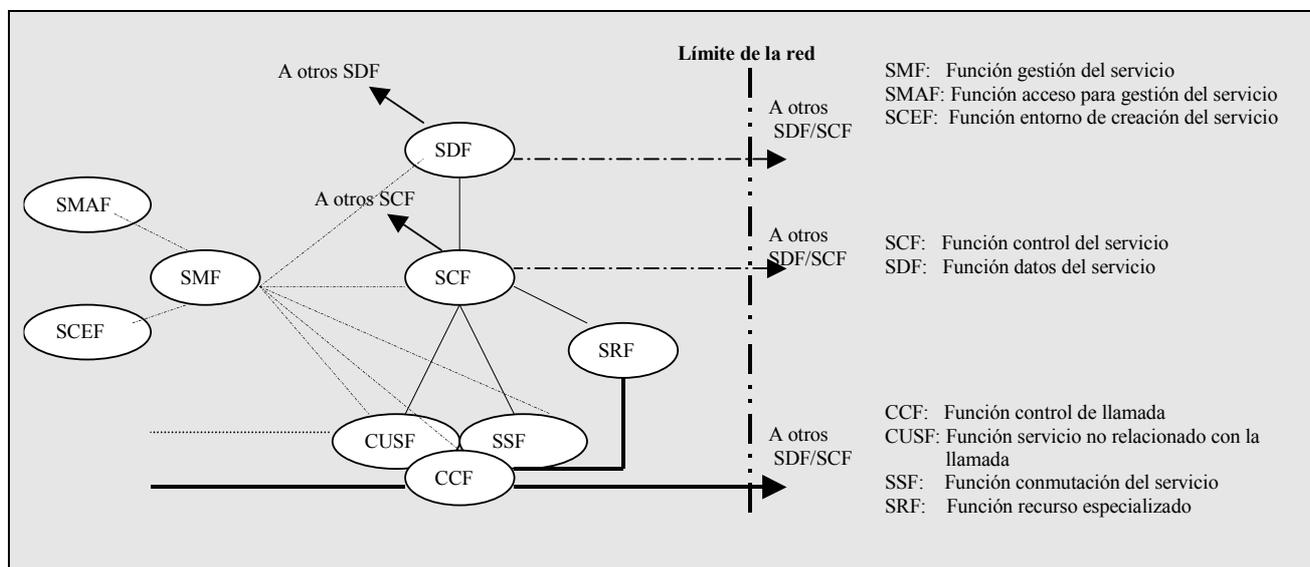
4.2.5.2 Descripción

El concepto de red inteligente se refiere a la arquitectura y puede aplicarse a redes de sistemas fijos, móviles, Internet, de datos y otras, así como a sistemas de comunicaciones de banda estrecha, de datos o multimedia.

Se ha iniciado un proceso gradual de normalización y próximamente se publicarán las Recomendaciones para el Grupo 3 de capacidades. Para evolucionar progresivamente hacia los objetivos, las Recomendaciones para cada grupo de capacidades han de ser compatibles con las anteriores y permitir la evolución hacia objetivos a largo plazo.

Una red inteligente está formada por una serie de entidades funcionales integradas como se indica en la siguiente figura. Cada una de estas entidades puede ser soportada por un nodo físico independiente, pero también pueden encontrarse sobre la misma plataforma. Gracias al principio de integración modular, un operador puede hacer una adaptación modesta de servicios de RI, siempre con la posibilidad de desarrollar ulteriormente las soluciones de RI.

Figura 4.1 – Entidades funcionales de una red inteligente



La función CCF realiza el control de las llamadas en la red, del tratamiento de llamadas/conexiones.

La función SSF identifica las llamadas de RI, reconoce los servicios solicitados y ejecuta los comandos SCF. La función SSF suele ser soportada por un conmutador, por ejemplo, en redes de sistemas fijos o móviles.

La función CUSF es la contraparte de la función SSF, para llamadas que no necesitan portadora.

La función SCF incluye las funciones en tiempo real de escenarios de servicio, hace el seguimiento de los eventos a través de la SSF, solicita el indicador vocal y recibe el control de usuario a través de recursos especializados administrados por la función SRF.

La función SDF es la base de datos que contiene la información del servicio, por ejemplo, la identidad de usuario del servicio de RI.

La función SMF centraliza las funciones necesarias para la gestión y para personalizar los servicios, la configuración alarmas y otras funciones relacionadas.

La función SMAF constituye una interfaz entre los administradores del servicio y la SMF.

La función SCEF es el grupo de programas informáticos necesarios para crear y desarrollar servicios.

Estas entidades funcionales intercambian información a través de interfaces estándar que utilizan el método de codificación ASN.1. Suele utilizarse el sistema de transporte SS7 TCAP/SCCP, pero es perfectamente posible utilizar también la tecnología TCP/IP.

Las Recomendaciones CS1 describen el primer grupo básico de capacidades de RI aplicables para una llamada de dos partes. Estas capacidades permiten un servicio con las siguientes ventajas:

- inicio flexible;
- encaminamiento flexible;
- tarificación flexible;
- interacción de usuario flexible.

Estas capacidades han permitido ofrecer una diversidad de servicios CS1 de RI, entre ellos toda la serie de servicios con tarjeta prepagada o de pago ulterior, servicios de redes privadas virtuales, los servicios del número 800 o la movilidad de usuario (UPT).

Las Recomendaciones CS2 completan estas posibilidades:

- comando de conexión flexible, que permite supervisar las llamadas de RI con participación de varios usuarios;
- interfaz entre operadores: SCF-SDF, SDF-SDF y otras funciones (véase la Figura 4.1);
- servicio para llamadas sin portadora, por ejemplo gestión de movilidad (véase CUSF en la Figura 4.1).

Los servicios CS2 aún no están disponibles. Serán sin duda servicios definidos para el usuario, mucho más que servicios definidos para la red.

El sistema CS3 está en proceso de estabilización. Como no añade otras características significativas, puede ser considerado como una mejora del sistema CS2.

Véase una descripción más completa en el Fascículo 2, Capítulo 2.3 de este Manual.

4.2.5.3 Evolución futura

Los sistemas de RI tienen muchas posibilidades de evolución. Los principales campos de trabajo son la integración de la red Internet, adaptación a la tecnología para servicio de voz en IP y la movilidad con el concepto de «entorno doméstico virtual» aplicable a la nueva generación de redes móviles en el grupo IMT-2000.

4.2.5.4 Referencias

Grupo de capacidades de RI N.º 1: Q.1214 a Q.1219, mayo 1995.

Grupo de capacidades de RI N.º 2: Q.1224 a Q.1229, septiembre 1997.

Grupo de capacidades de RI N.º 3: Q.1238.1, Q.1238.2, Q.1238.3, Q.1238.4, Q.1231 (prevista en 2001).

Grupo de capacidades de RI N.º 4: Q.1241 a Q.1248, especificaciones previstas 2001.

4.3 Sistema de señalización digital de abonado N.º 1 (DSS1)

4.3.1 Introducción

Los protocolos RDSI extienden la señalización en canal común hasta los equipos terminales en las instalaciones de abonados. El canal «D» de la línea de acceso usuario-red transporta la señalización para los canales de la misma línea. El principal objetivo es ofrecer todos los servicios RDSI de una forma integrada, y se prevé que pueda ser utilizado por los numerosos tipos de equipos de abonado que pueden conectarse a las redes públicas y privadas.

El protocolo del canal D está organizado en capas:

El nivel físico (capa 1) de la interfaz usuario-red está definida en la interfaz S (punto a multipunto) o T (punto a punto) en acceso de velocidad básica (2B + D) o primaria (30B + D).

El nivel de enlace (capa 2) permite la transmisión de tramas entre dos entidades conectadas por la interfaz.

El nivel de red (capa 3) es la estructura de control y supervisión de llamadas y servicios suplementarios. Es conocido como Sistema de señalización digital de abonado N.º 1 (DSS1, *digital subscriber signalling system number 1*).

4.3.2 Descripción

4.3.2.1 Control de llamadas

Las funciones de control de llamadas en el sistema DSS1 comprenden el tratamiento de mensajes y la gestión de los recursos asignados a la llamada, en los modos de funcionamiento por circuitos, por paquetes y sin conexión.

4.3.2.1.1 Definición del protocolo

Para efectos de control de llamadas, el usuario y la red comunican mediante mensajes de longitud variable. El protocolo DSS1 permite dividir en varios segmentos los mensajes de longitud superior a la longitud de trama que soporta la capa de enlace.

Se han definido varios tipos de mensajes que determinan, cada uno, una acción en el lado del usuario o de la red. Por ejemplo:

- ESTABLECIMIENTO, para la solicitud de establecimiento de llamada.
- LLAMADA EN CURSO, como respuesta al mensaje ESTABLECIMIENTO, significa que la información está disponible y la llamada está en preparación.
- AVISO, para indicar que se avisa al usuario llamado.
- CONECTAR, enviado cuando el usuario llamado contesta.
- DESCONECTAR, LIBERAR y DESCONECTADO, para terminar la llamada.

Cada mensaje contiene elementos de información, generalmente de longitud variable, que determinan el tipo de solicitud, los recursos a asignar, las características de direccionamiento o el resultado de una operación de tratamiento. Por ejemplo:

- «Capacidad de portadora» indica el servicio de portadora que la red ha de proveer (modo circuitos/ modo paquetes, voz / 64 kbits/seg, etc.).
- «Identificación de canal» indica el canal que se ha de utilizar para la llamada (B o D).
- «Compatibilidad de capa superior» indica el medio de verificación de compatibilidad que ha de utilizar el usuario distante.
- «Número de la parte que llama» y «Número de la parte llamada» contiene información de direccionamiento.

4.3.2.1.2 Control de llamadas por conmutación de circuitos

El usuario que inicia selecciona una referencia para cada llamada. El canal B que será utilizado (o varios canales) es negociado entre el usuario y la red al establecer la llamada.

El terminal que llama provee las indicaciones de servicio y las direcciones. Esta información determina las funciones a realizar en la red y permite seleccionar el(los) terminal(es) apropiado(s) en las instalaciones del abonado llamado.

4.3.2.1.3 Control de llamadas por conmutación de paquetes

Los usuarios de una red RDSI se benefician de los servicios por conmutación de paquetes disponibles en la red pública de datos con conmutación de paquetes (RPDCP) o los servicios de una función de tratamiento de paquetes de la red RDSI.

Si la información es transferida por el canal B, la conexión en el canal D es establecida por el mismo procedimiento utilizado para establecer una llamada con conmutación de circuitos. El paquete de solicitud de llamada es enviado después de establecer un enlace físico.

El canal D también puede utilizarse para transferir paquetes.

4.3.2.2 Control de servicios suplementarios

Existen tres formas de control de los servicios suplementarios: el procedimiento de estímulo, el procedimiento de gestión de teclas de funciones, y el procedimiento funcional.

En el protocolo de estímulo, el usuario genera una solicitud pulsando teclas de función o numéricas. No es interpretada por el terminal; éste la introduce en los elementos de información «teclado» de los mensajes ESTABLECIMIENTO o INFORMACIÓN, y no tiene en cuenta el tipo de solicitud.

En la dirección usuario a red, se utiliza el elemento de información «Visualización» y la información es visualizada en el terminal, pero no es interpretada.

Sólo la red analiza esta información para determinar qué acciones son necesarias. Por tanto, no es necesario estandarizar los servicios suplementarios en la interfaz de usuario a red. El procedimiento de estímulo simplifica la configuración del terminal y facilita la introducción de nuevos servicios suplementarios.

El procedimiento de gestión de teclas de funciones también es un procedimiento de estímulo, porque también se realiza sin conocimiento de los servicios suplementarios en el equipo terminal del usuario.

Está basado en dos elementos de información: el elemento «Activación de función» puede incluirse en los mensajes ESTABLECIMIENTO o INFORMACIÓN, en la dirección usuario a red. El elemento «Indicación de función» puede incluirse en los mensajes básicos de control de la llamada, en la dirección red a usuario.

El servicio complementario asociado con el identificador de función depende del proveedor del servicio. Será determinado conjuntamente por el proveedor de servicios y el usuario que suscribe un abono.

En el procedimiento funcional, el terminal analiza la información introducida por el usuario, para incorporar la solicitud en un elemento de información reservado, o en el elemento de información «Prestación» que es compartido por varios servicios suplementarios y forma parte de un mensaje de control de llamada o del mensaje PRESTACIÓN.

Dado que tanto el terminal como la red analizan la información, el procedimiento funcional necesita una definición precisa para cada servicio suplementario. El protocolo funcional permite definir servicios suplementarios muy completos.

4.3.2.3 Evolución futura

Continuamente se definen nuevos servicios suplementarios en el procedimiento funcional.

El DSS1 también fue extendido recientemente al tratamiento de llamadas entre usuarios en las redes de telecomunicaciones de empresas.

Actualmente, el protocolo DSS1 se adapta a las exigencias del tratamiento de los servicios suplementarios por los servidores de RI, de forma transparente para la central de origen.

4.4 Señalización de banda ancha

4.4.1 Capas bajas que soportan la señalización RDSI-BA

Interfaz UNI

Para la transferencia de información de señalización DSS2 en la interfaz de usuario a red (UNI) se utiliza el siguiente grupo de protocolo:

DSS2
SAAL
ATM (I.361)
PH (I.432)

Las capas PH y ATM no son específicas para señalización, y son las mismas a nivel de usuario y a nivel de control (UNI y NNI). La capa física puede ser cualquiera de los sistemas de transmisión que pueden transportar células ATM. La capa ATM permite la multiplexión de información de señalización con información del nivel de usuario en la misma capa física. Como la identificación de trayecto virtual (VPI), la identificación de canal virtual VCI = 5 está reservada exclusivamente al transporte de información de señalización. La identificación de trayecto virtual en la interfaz UNI depende de la configuración de acceso de esta interfaz. La opción predeterminada es VPI = 0.

Interfaz NNI

Para la transferencia de información de señalización en la interfaz NNI, puede emplearse la red ATM o, como opción nacional, la red del sistema de señalización N.º 7. En el caso de la red ATM, se utiliza el siguiente grupo de protocolo:

PU-RDSI-BA
B-MTP 3 (Q.2210)
SAAL
ATM (I.361)
PH (I.432)

La MTP-BA 3 es una evolución del sistema RDSI-BE MTP 3, con modificaciones para el sistema SAAL. Estas son las diferencias:

- Primitivas SAAL/MTP-BA 3.
- Nuevos códigos para identificar la PU-RDSI-BA (por ejemplo, nuevo indicador de servicio).
- Aumento de capacidad máxima de la unidad de datos de servicio (SDU), de 272 a 4,091 octetos.
- Adaptación del procedimiento de paso a enlace de reserva.

En el caso de adoptar, como opción nacional, el sistema de señalización N.º 7 en vez de la red ATM, se utiliza el siguiente grupo de protocolo:

PU-RDSI-BA
MTP 3 (Q.704)
MTP 2 (Q.703)
MTP 1 (Q.702)

En este caso, deberá utilizarse la función de segmentación definida en la PU-RDSI-BA.

SAAL

La capa de adaptación ATM (AAL) completa los servicios que ofrece la capa ATM para soportar las funciones necesarias para la capa superior. La capa de adaptación ATM para señalización (SAAL, *signalling ATM adaptation layer*) es una forma particular de la anterior, empleada como soporte de señalización. En las figuras anteriores puede verse que la capa SAAL es utilizada en ambos extremos (UNI y NNI).

La capa SAAL es una combinación de dos subcapas, una parte común y otra parte específica del servicio. La capa SAAL utiliza la parte común y la parte específica del servicio de la capa AAL Tipo 5 definida en el documento I.363.5. Para la capa SAAL, las funciones específicas del servicio se realizan combinando el protocolo específico del servicio con conexión (SSCOP, *service specific connection oriented protocol*) y dos tipos de funciones de coordinación específicas del servicio (SSCF, *service specific coordination function*): una representa las necesidades particulares de la interfaz UNI (protocolo capa 3 del sistema DSS2) para los servicios SSCOP, y la otra representa las necesidades particulares de la interfaz NNI para los servicios SSCOP.

El protocolo SSCOP contiene mecanismos que permiten establecer y liberar conexiones, y realizar un intercambio de información fiable. Las funciones SSCF no son protocolos, sólo hacen la representación entre el SSCOP y los sistemas DSS2 o MTP-BA + PU-RDSI-BA.

Anexo Foro ATM

En ambos lados (interfaces UNI y NNI), el Foro ATM sólo utiliza las capas inferiores ATM para transferir información de señalización. Este es el grupo de protocolo del Foro ATM:

UNI 4.0 o PNNI 1.0
SAAL
ATM (Recomendación I.361)
PH (Recomendación I.432)

Las interfaces UNI 4.0 y PNNI 1.0 están basadas en la norma UIT-T DSS2. Las dos interfaces emplean la misma capa SAAL, conforme con la definición de la UIT, pero utilizando sólo una función de coordinación específica del servicio (SSCF), la que se ha definido en las normas UIT-T para la UNI (véase la Recomendación Q.2130).

Recomendaciones UIT-T pertinentes

- Q.2010 (1995): Descripción general de la red digital de servicios integrados de banda ancha – CS 1.
- Q.2100 (1994): Descripción general de la capa de adaptación del modo de transferencia asíncrono para señalización (SAAL).
- Q.2110 (1994): Capa de adaptación del modo de transferencia asíncrono (AAL) de la red RDSI-BA – Protocolo con conexión específico de servicio (SSCOP).

- Q.2130 (1994): Capa de adaptación del modo de transferencia asíncrono para señalización (SAAL) de la red RDSI-BA – Función de coordinación específica de servicio para soporte de señalización en la interfaz de usuario a red (SSCF en UNI).
- Q.2140 (1995): Capa de adaptación del modo de transferencia asíncrono (AAL) de la red RDSI-BA – Función de coordinación específica de servicio para señalización en la interfaz de nodo a red (SSCF en NNI).
- Q.2210 (1996): Funciones y mensajes de nivel 3 de la parte de transferencia de mensajes (PTM) que utilizan los servicios de la Recomendación UIT-T Q.2140.

4.4.2 Parte de usuario de la red RDSI de banda ancha (PU-RDSI-BA)

4.4.2.1 Introducción

Este apartado es una descripción general de la interfaz NNI para las redes públicas ATM conformes con las normas UIT-T, es decir, la parte de usuario de la RDSI de banda ancha (PU-RDSI-BA). La descripción no es exhaustiva, centrándose más bien en las ventajas de las redes ATM, como las capacidades de tráfico y de calidad de servicio, o el tratamiento de parámetros de tráfico durante la fase activa de una llamada. Incluimos una relación completa de Recomendaciones para la PU-RDSI-BA, y una breve descripción de los sistemas de señalización especificados por el Foro ATM.

4.4.2.2 Protocolos de señalización de la PU-RDSI-BA

Los protocolos de señalización de la PU-RDSI-BA están definidos por la serie de Recomendaciones UIT T Q.27xx. En este apartado nos referimos principalmente a las capacidades descritas en la serie de Recomendaciones Q.2761-4. Véase la relación completa de Recomendaciones para la PU-RDSI-BA en el Anexo A.

4.4.2.2.1 Canales virtuales conmutados punto a punto

La Recomendación Q.2761-4 describe el tratamiento (establecimiento y desconexión) de las conexiones de canal virtual conmutado ATM punto a punto. La versión más reciente de estas Recomendaciones (PU-RDSI-BA 2000, 07/99) ofrece las siguientes capacidades:

- soporte de calidad de servicio, conforme con la especificación I.356;
- soporte de parámetros individuales de calidad del servicio;
- soporte de capacidades de transferencia asíncrona definidas en I.371;
- soporte de negociación durante el establecimiento de la llamada;
- procedimientos de modificación;
- soporte de sistema de retransmisión de tramas;
- soporte de encaminamiento con formatos E.164 y AESA;
- procedimiento de retorno;
- negociación de parámetros AAL.

En la PU-RDSI-BA se han definido otros dos tipos de conexiones virtuales:

- la conexión de canal virtual permanente flexible (PVCC flexible);
- la conexión de trayecto virtual permanente flexible (PVPC flexible).

Estas capacidades permiten reestablecer conexiones de tipo PVCC o PVPC, si hay un problema inicialmente, aplicando el procedimiento básico de llamada descrito anteriormente. Véase la Recomendación UIT-T Q.2767.1.

4.4.2.2 Señalización de las capacidades de transferencia ATM y los parámetros de tráfico asociados

Los sistemas de extremo conectados a las redes ATM producen múltiples situaciones de tráfico. Por tanto, deberá establecerse una conexión de canal virtual ATM con capacidades de transferencia ATM (ATC) apropiadas para cada situación de tráfico del sistema de extremo.

Éstas son las capacidades de transferencia ATM soportadas por el sistema PU-RDSI-BA y definidas en la Recomendación UIT-T I.371: velocidad binaria determinista (DBR), velocidad binaria disponible (ABR), transferencia de bloques ATM (ABT DT/IT), velocidad binaria estadística (SBR1, SBR2 y SBR3).

Estas capacidades de transferencia ATM se indican entre las capacidades de portadora de banda ancha.

A cada capacidad de transferencia ATM corresponde una serie de parámetros de tráfico:

- DBR: velocidad de células de cresta (PCR).
- ABR: PCR, velocidad de células mínima (MCR), velocidad de células explícita (ECR), indicación de congestión (CI), indicación de no aumento (NI).
- ABT DT/IT: PCR, velocidad de células sostenible (SCR), velocidad de células bloque (BCR).
- SBR: PCR, SCR y tamaño máximo de ráfaga (MBS).

Estos parámetros de tráfico están indicados en los siguientes parámetros PU-RDSI-BA: velocidad de células ATM, velocidad de células ATM adicional, parámetros ABR, velocidad de células ATM mínima.

La conexión punto a punto es establecida correctamente cuando se asigna una conexión de canal virtual (VC) con las características de tráfico apropiadas, entre el usuario que llama y el usuario llamado en la red ATM. La función de control del parámetro de utilización / control del parámetro de red (UPC/NPC, *usage parameter control/network parameter control*) verifica la conformidad del tráfico generado en origen, mediante un algoritmo GCRA.

La señalización también puede indicar la función de tolerancia de variación de retardo de células (CDVT, *cell delay variation tolerance*) incluida en el algoritmo GCRA, lo que permite modificar parámetros GCRA de una célula o una conexión de canal virtual separadamente.

4.4.2.3 Negociación de parámetros de tráfico

El procedimiento de negociación permite al usuario establecer una conexión de canal virtual (pueden especificarse dos grupos de parámetros de tráfico para esta conexión). Existen dos formas de negociación:

- 1) a partir de las velocidades de células máxima y mínima especificadas por el usuario en la solicitud de establecimiento, la red asigna a la conexión la velocidad de células posible autorizada por la función de control de admisión de conexiones (CAC), entre los dos valores límite;
- 2) la velocidad de células se especifica como la velocidad de células original o se asigna a la conexión la velocidad de células alternativa.

Este procedimiento puede aplicarse a los siguientes parámetros de tráfico, en los dos sentidos de transferencia: velocidad de cresta de células, velocidad de células sostenible y tamaño máximo de ráfaga.

4.4.2.4 Modificación de parámetros de tráfico

En la fase activa de la llamada, el usuario que llama (propietario de la conexión de canal virtual) puede modificar los recursos relativos al tráfico que han sido asignados a esa conexión.

Estos son los parámetros de tráfico que pueden modificarse: velocidad de cresta de células, velocidad de células sostenible y tamaño máximo de ráfaga.

Existen dos opciones en el procedimiento de modificación:

- 1) modificación simple: la solicitud del usuario sólo indica un valor posible en caso de modificación de la velocidad (PCR) de la conexión virtual;
- 2) modificación combinada con negociación: el usuario puede especificar valores máximo y mínimo de velocidad de células, o un valor alternativo de velocidad de células. En el primer caso, las características del tráfico de la conexión activa serán modificadas adoptando cualquier valor posible (autorizado por la función CAC) comprendido entre los valores mínimo y máximo de velocidad de células. En el segundo caso, las características del tráfico serán modificadas adoptando el valor alternativo.

El procedimiento combinado permite modificar un mayor número de parámetros de tráfico: velocidad de cresta de células, velocidad de células sostenible y tamaño máximo de ráfaga. Existen también capacidades de modificación específicas para los parámetros ABR y ABT.

4.4.2.5 Indicación de la clase de calidad de servicio y soporte de los distintos parámetros

Sabiendo que las redes ATM transportan flujos de información con diferentes clases de calidad de servicio, es preciso que el usuario iniciador de una solicitud de conexión ATM de canal virtual pueda precisar sus condiciones de calidad de servicio. La PU-RDSI-BA ofrece un mecanismo apropiado, conforme con la definición de calidad de servicio de la Recomendación UIT-T I.356.

El usuario que establece una conexión especifica una de las clases de calidad de servicio autorizadas. La clase especificada corresponde al encaminamiento y los recursos asignados en la red. Si se establece la conexión, la red garantiza la calidad de servicio correspondiente a esta clase de extremo a extremo.

La PU-RDSI-BA soporta las cuatro clases de calidad de servicio recomendadas en I.356 (1995). A cada clase de calidad de servicio corresponden determinados valores de los parámetros de prestaciones: variación del retardo de células (CDV, *cell delay variation*), retardo de transferencia de células (CTD, *cell transfer delay*) y relación de pérdida de células (CLR, *cell loss ratio*). Cada clase de calidad de servicio representa una combinación de valores para estos parámetros de prestaciones.

La PU-RDSI-BA también soporta la señalización de cada uno de los parámetros de prestaciones. Esta característica permite el funcionamiento combinado con redes ATM privadas. Estos parámetros no son determinantes para el encaminamiento ni para la asignación de recursos; son actualizados por cada uno de los nodos PU-RDSI-BA de la red y comunicados al lado destino.

4.4.2.6 Conexiones de canal virtual punto a multipunto

La PU-RDSI-BA determina procedimientos de señalización para establecer conexiones de canal virtual unidireccionales punto a multipunto. Se trata de conexiones entre una parte «raíz» y varias partes «hojas».

La parte raíz, que establece esta conexión, inicia una solicitud de establecimiento con capacidades de portadora de banda ancha, indicando que se trata de una conexión punto a multipunto con una parte hoja. La velocidad de células ATM, la capacidad de portadora de banda ancha y otras informaciones son almacenadas por la raíz. La raíz puede añadir otras hojas, ejecutando una solicitud emanada de ella misma o de una de las hojas.

En la fase activa de la conexión punto a multipunto, la acción para retirar una de las hojas puede ser iniciada por esa hoja o por la raíz.

4.4.2.7 Servicios suplementarios

Éstos son los servicios suplementarios soportados por la PU-RDSI-BA, descritos en la Recomendación Q.2730:

- Señalización de usuario a usuario.
- Presentación/restricción de identificación de la línea que llama.
- Selección directa de extensiones.
- Presentación/restricción de la línea conectada.
- Subdireccionamiento.
- Número de abonado múltiple.
- Grupo cerrado de usuarios.

Dado que la PU-RDSI-BA soporta dos formatos de dirección (E.164 y AESA), algunos servicios, por ejemplo la presentación/restricción de identificación de la línea que llama, también se ofrecen en formato AESA.

4.4.2.8 Recomendaciones UIT-T

Cuadro 4.1 – Recomendaciones UIT-T para la PU-RDSI-BA

Función de señalización	PU-RDSI-BA
Control de llamada/conexión punto a punto	Q.2761 (07/99) + Q.2762 (07/99) + Q.2763 (07/99) + Q.2764 (07/99)
Capacidad de canal virtual permanente flexible	Q.2767.1
Protocolo funcional genérico: funciones base	TCAP
Señalización específica del servicio de retransmisión de trama	Q.2727 (07/99)
Capacidad de trayecto virtual conmutado	Q.2766.1 (05/98)
Capacidad de canal virtual permanente flexible	Q.2767.1 (05/98)
Identificador de sesión generado por la red	Q.2726.3 (07/96)
Transporte de identificador genérico	Q.2726.4 (09/97)
Servicios suplementarios (CLIP, CLIR, MSN, DDI, SUB, COLP, COLR)	Q.2730 (07/99)
Grupo cerrado de usuarios (CUG)	Q.2735.1 (06/97)
Señalización de usuario a usuario (UUS)	Q.2730 (02/95)
Prioridad de llamada	Q.2726.2 (07/96)
Definición de parámetros velocidad de células sostenible y opción de rotulado	Q.2723.1 (07/99)
Soporte de capacidad de transferencia ATM	Q.2723.2 (09/97)
Capacidades de señalización para soporte de capacidad binaria disponible (ABR)	Q.2764 (07/99)
Capacidades de señalización para soporte de transferencia de bloques ATM (ABT)	Q.2723.4 (07/99)
Indicación de tolerancia en variaciones de retardo de células	Q.2723.5 (07/99)
Soporte de las capacidades SBR2 y SBR3	Q.2723.6 (07/99)
Negociación de características de conexión	Q.2761-4 (07/99)
Modificación de velocidad de cresta de células por el propietarios de la conexión	Q.2761-4 (07/96)
Procedimientos de modificación de parámetros de velocidad de células sostenible	Q.2761-4 (07/99)
Modificación con negociación	Q.2761-4 (07/99)
Indagación básica	Q.2724.1 (07/96)
Soporte de clases de calidad de servicio	Q.2761-4 (07/99)
Control de llamada/conexión punto a multipunto	Q.2722.1 (07/96)

n.e.: no especificado

4.4.3 Sistema de señalización digital N.º 2 (DSS2)

4.4.3.1 Introducción

Este apartado es una descripción general del sistema de señalización digital N.º 2 (DSS2) especificado por el grupo de estudio 11 UIT-T. El sistema de señalización DSS2 permite controlar las conexiones ATM conmutadas en la interfaz de usuario a red (UNI) de la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA) (véase la Recomendación I.413).

El Anexo A contiene una relación de Recomendaciones para señalización DSS2 vigentes. El Anexo B explica, en términos generales, las diferencias entre el sistema de señalización UIT-T DSS2 y las especificaciones de señalización para la UNI del Foro ATM (UNI 3.1/4.0).

4.4.3.2 Protocolos de señalización DSS2

Los protocolos de señalización DSS2 están definidos por la serie de Recomendaciones UIT-T Q.29xx. Este apartado es una descripción de las principales capacidades soportadas actualmente por el sistema DSS2.

4.4.3.2.1 Canales virtuales conmutados ATM punto a multipunto (Recomendación Q.2931)

La Recomendación Q.2931 publicada en 1995, constituye la base del sistema de señalización DSS2. Otros textos extienden esta base para soportar capacidades de señalización adicionales, como el control de conexión punto a multipunto, o la negociación/modificación de las características de tráfico ATM, como se indica en los siguientes apartados. Esta Recomendación está estrechamente relacionada con la Recomendación equivalente para banda estrecha DSS1 Q.931, adaptada para control de canales virtuales ATM en vez de circuitos de 64 kbit/s.

La Recomendación Q.2931 determina el protocolo de señalización para el establecimiento, el mantenimiento y la desconexión de canales virtuales conmutados (SVC: *switched virtual channels*) ATM punto a punto, en la interfaz de usuario a red (UNI) del sistema RDSI de banda ancha. Estas son las capacidades básicas soportadas por la Recomendación:

- soporte de conexiones bidireccionales punto a punto con condiciones de anchura de banda simétrica o asimétrica;
- soporte de una conexión exclusivamente por llamada;
- señalización de las características del tráfico ATM solicitadas para los canales virtuales conmutados: indicación de la capacidad de transferencia ATM (ATC, *ATM transfer capability*) I.371 y de los parámetros de tráfico ATM asociados. La Recomendación Q.2931 (1995) permite el establecimiento de portadoras ATM con velocidad binaria constante (CBR, *constant bit rate*) con características de velocidad de cresta de células simétrica o asimétrica. Desde la publicación de la Recomendación Q.2931 (1995) se han definido otras capacidades de transferencia ATM, con la señalización definida en la serie de Recomendaciones Q.2961 (véase el apartado 2.3 para más información);
- señalización de las características de calidad de servicio (QoS) solicitadas para los canales virtuales conmutados: indicación de la clase de QoS y, eventualmente, de las condiciones de retardo de tránsito de extremo a extremo. La Recomendación Q.2931 (1995) sólo incluye la señalización implícita de la clase de calidad de servicio asociada con la capacidad de transferencia ATM solicitada. Después de la publicación de la Recomendación Q.2931 (1995), el sistema DSS2 soporta la señalización explícita de la clase de calidad de servicio solicitada (véase la Recomendación Q.2965.1, § 2.6);
- soporte de planes de direccionamiento E.164 y de la dirección de sistema de extremo ATM (AESA, *ATM end system address*), de acuerdo con la Recomendación UIT-T E.191;
- soporte de la señalización de las características que dependen de la aplicación del usuario: indicación de las características de las capas por encima de la capa ATM, como la capa de adaptación ATM y otras superiores.

NOTA – la Recomendación Q.2933 extiende la Recomendación Q.2931, definiendo un servicio de portadora RDSI de banda ancha por retransmisión de trama, que permite transportar una sola conexión por retransmisión de trama en un canal virtual conmutado ATM, con la capa de adaptación ATM (AAL) tipo 5 y la subcapa de convergencia específica del servicio I.365.1.

4.4.3.2.2 Trayectos virtuales conmutados ATM punto a punto (Recomendación Q.2934)

Esta Recomendación extiende la Recomendación Q.2931 para el control de trayectos virtuales conmutados (SVP, *switched virtual paths*).

4.4.3.2.3 Señalización de capacidades de tráfico ATM (Recomendación Q.2961)

Esta Recomendación de varias secciones extiende la Recomendación Q.2931 para la señalización de capacidades de transferencia ATM I.371 (DBR, SBR, ABR o ABT). Una sección específica de la Recomendación Q.2961 extiende las disposiciones para soportar la señalización (opcional) de la tolerancia a la variación del retardo de células (CDVT, *cell delay variation tolerance*) I.371.

4.4.3.2.4 Negociación de parámetros de tráfico ATM (Recomendación Q.2962)

Esta función de señalización extiende la Recomendación Q.2931 para conceder al usuario que llama la posibilidad de negociar las características de conexión durante la fase de establecimiento de la llamada/conexión, con la red y con el usuario llamado.

La Recomendación Q.2962 define dos modos de negociación exclusivos:

- negociación entre una serie de valores para los parámetros de tráfico y otra serie alternativa de valores para los parámetros de tráfico ATM;
- negociación de un determinado parámetro de tráfico ATM, entre el valor nominal solicitado y el valor mínimo aceptable correspondiente de ese parámetro.

4.4.3.2.5 Modificación de parámetros de tráfico ATM (Recomendación Q.2963)

Esta Recomendación de varias secciones extiende la Recomendación Q.2931 para conceder al usuario que llama la posibilidad de solicitar una modificación de los parámetros de tráfico ATM de una conexión punto a punto establecida anteriormente (es decir, durante la fase activa de la llamada/conexión).

La Sección 1 concierne exclusivamente la modificación de la velocidad de cresta de células; la sección 2 extiende la modificación a los parámetros de velocidad de células sostenible, y la sección 3 completa las dos anteriores, permitiendo la negociación de forma simultánea con la modificación de los parámetros de tráfico.

4.4.3.2.6 Señalización de características de calidad de servicio (Recomendación Q.2965)

La Recomendación Q.2965.1 enmienda la Recomendación Q.2931 y especifica la señalización de clases de calidad de servicio definidas en la Recomendación I.365. La Recomendación Q.2965.2 (aprobada en diciembre 1999) extiende la Recomendación Q.2965.1 para permitir la señalización de parámetros de calidad de servicio: retardo de transferencia de células (CTD), variación del retardo de células (CDV) y relación de pérdida de células (CLR).

4.4.3.2.7 Canales virtuales conmutados punto a multipunto (Recomendación Q.2971)

Esta Recomendación de señalización DSS2 especifica el control de conexiones conmutadas punto a multipunto. Después de establecer una conexión de este tipo, el origen («raíz» en la terminología Q.2971) puede hacer una difusión general de información a varios destinos («hojas» en la terminología Q.2971). Una conexión de canal virtual punto a multipunto es un grupo de enlaces de canal virtual ATM asociados, que conectan dos o más puntos de extremo. Esta capacidad sólo soporta el transporte unidireccional, de la raíz a las hojas. Es posible añadir o retirar partes mientras la conexión esté activada.

Esta Recomendación está basada en extensiones de la Recomendación Q.2931 para el establecimiento inicial de la conexión entre el origen y una de las hojas.

Cuando la solicitud de establecimiento produzca un estado «aviso» o «activado», podrán añadirse otras hojas a la conexión mediante solicitudes de la raíz para «añadir partes» (la raíz extiende la difusión de información). En cualquier momento puede añadirse una hoja a la llamada, o desconectar cualquiera de las hojas conectadas, mientras la llamada se encuentre activada. La raíz añade hojas emitiendo solicitudes «añadir partes» como se ha dicho antes. La desconexión de una hoja puede hacerse por iniciativa de la raíz o de la misma hoja.

Es posible tener pendientes simultáneamente varias solicitudes «añadir partes» (el nodo raíz no tiene que esperar la respuesta a una solicitud «añadir parte» antes de emitir otra de estas solicitudes). También es posible tener pendientes simultáneamente varias solicitudes «desconectar partes» (el nodo raíz no tiene que esperar la respuesta a una solicitud «desconectar parte» antes de emitir otra de estas solicitudes). Cada solicitud «añadir parte» o «desconectar parte» concierne exclusivamente a una parte. Si una solicitud «desconectar parte» no deja ninguna otra solicitud activa, la llamada es liberada.

La raíz también puede liberar toda la conexión y las hojas integradas en cualquier momento.

4.4.3.2.8 Transporte de identificadores genéricos (Recomendación Q.2941)

Esta función de señalización permite transportar identificadores que dependen de la aplicación, entre sistemas de extremo, al establecer o al liberar una conexión. Las redes empleadas para establecer la conexión transportan esta información de forma transparente. Esta transferencia de identificadores de señalización de extremo a extremo permite establecer una correlación entre varias llamadas, para indicar que forman parte de la misma sesión. Esta función de señalización se utiliza en muchas aplicaciones distribuidas de sistemas de extremo, utilizando sistemas de señalización ATM: por ejemplo H.321/H.310, DSMCC y H.323 en ATM.

4.4.3.2.9 Servicios suplementarios (serie Q.295x)

Los servicios suplementarios DSS2 están definidos en la serie Q.295x. Soportan las siguientes capacidades de señalización:

- otras capacidades de direccionamiento: marcación directa de extensiones (DDI), números múltiples de abonado (MSN) o subdireccionamiento (SUB);
- identificación de la línea llamante (CLIP) y el servicio de restricción correspondiente (CLIR);
- identificación de la línea conectada (COLP) y el servicio de restricción correspondiente (COLR);
- señalización de usuario a usuario tipo 1, que permite el intercambio de información entre sistemas de extremo durante las fases de establecimiento y liberación (véase Q.2957.1);
- posibilidades de grupo de usuario cerrado (CUG), según Q.2955.1;
- tratamiento de varios niveles de prioridad durante la llamada/conexión (Q.2959).

4.4.3.2.10 Protocolo funcional genérico (Recomendación Q.2932.1)

La Recomendación Q.2932.1 es una adaptación de la Recomendación DSS1 Q.932, que permite disponer de funciones similares en el contexto de la señalización ATM. Este protocolo permite transportar operaciones distantes localmente, por medio de la interfaz UNI. Se han definido tres modos de transporte para operaciones de elemento de servicio de operaciones a distancia (ROSE), que pueden emplearse según las condiciones de la señalización y de la aplicación del usuario. Un modo de transporte por referencia a la portadora define la transferencia de operaciones ROSE en relación con las portadoras existentes, controladas por señalización ATM. Los modos de transporte con conexión, independientes de la portadora (COBI), y los modos de transporte sin conexión, independientes de la portadora (CLBI), permiten la transferencia de operaciones ROSE independientemente de las portadoras existentes y se distinguen en la forma de tratar las operaciones ROSE en la interfaz UNI.

4.4.3.3 Recomendaciones UIT-T

Cuadro 4.2 – Recomendaciones de señalización UIT-T DSS2 vigentes (03/99)

Función de señalización	DSS2
Control de llamada/conexión punto a punto	Q.2931 (02/95) + Enm.1 (06/97) + Enm.2 (03/99) + Enm.3 (03/99)
Protocolo funcional genérico: funciones base	Q.2932.1 (07/96)
Especificación de señalización para el servicio de retransmisión de trama	Q.2933 (07/96)
Capacidad de trayecto virtual conmutado	Q.2934 (05/98)
Transporte de identificadores genéricos	Q.2941.1 (09/97)
Servicios suplementarios (CLIP, CLIR, MSN, DDI, SUB, COLP, COLR)	Q.2951.x (02/95)
Grupo cerrado de usuarios (CUG)	Q.2955.1 (06/97)
Señalización de usuario a usuario (UUS)	Q.2957.1 (02/95)
Prioridad de llamada	Q.2959 (07/96)
Opción de rotulado y conjunto de parámetros de velocidad de célula sustentable	Q.2961.1 (10/95)
Soporte de capacidad de transferencia ATM	Q.2961.2 (06/97)
Capacidades de señalización para soportar la velocidad binaria disponible (ABR)	Q.2961.3 (09/97)
Capacidades de señalización para soportar la transferencia de bloques ATM (ABT)	Q.2961.4 (09/97)
Indicación de tolerancia a la variación del retardo de células	Q.2961.5 (03/99)
Soporte de capacidades SBR2 y SBR3	Q.2961.6 (05/98)
Negociación de las características de conexión	Q.2962 (05/98)
Modificación de la velocidad de cresta de células por el propietario de la conexión	Q.2963.1 (07/96)
Procedimiento de modificación de los parámetros de velocidad de células sostenible	Q.2963.2 (09/97)
Modificación con negociación	Q.2963.3 (05/98)
Indagación básica	Q.2964.1 (07/96)
Soporte de clases de calidad de servicio (QoS)	Q.2965.1 (03/99)
Control de llamada/conexión punto a multipunto	Q.2971 (10/95)

n.e.: no especificado

4.5 Abreviaturas

ABR	Velocidad binaria disponible (<i>available bit rate</i>)
ABT	Transferencia de bloques del modo de transferencia asíncrono (ATM) (<i>ATM block transfer</i>)
ACSE	Elemento de servicio control de asociación (<i>association control service element</i>)
AESA	Dirección de sistema terminal en modo de transferencia asíncrono (ATM) (<i>ATM end system address</i>)
AINI	Interfaz entre redes en modo de transferencia asíncrono (ATM) (<i>ATM inter network interface</i>)

APM	Mecanismo de transporte de la aplicación (<i>application transport mechanism</i>)
ASN.1	Notación de sintaxis abstracta 1 (<i>abstract syntax notation No. 1</i>)
ATC	Capacidad de transferencia en modo asíncrono (ATM) (<i>ATM transfer capability</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BCR	Velocidad de células de bloques (<i>block cell rate</i>)
B-ISUP	Parte de usuario de la red digital de servicios integrados de banda ancha (PU-RDSI-BA) (<i>broadband-ISDN user part</i>)
CAC	Control de admisión de conexión (<i>connection admission control</i>)
CBR	Velocidad binaria constante (<i>constant bit rate</i>)
CCBS	Realización de llamada a un abonado ocupado (<i>completion of calls to busy subscriber</i>)
CCF	Función de control de llamada (<i>call control function</i>)
CDV	Variación del retardo de células (<i>cell delay variation</i>)
CDVT	Tolerancia de la variación del retardo de células (<i>cell delay variation tolerance</i>)
CFB	Reenvío de llamada en caso de ocupado (<i>call forwarding busy</i>)
CFNR	Reenvío de llamada por ausencia de respuesta (<i>call forwarding no reply</i>)
CFU	Reenvío de llamada incondicional (<i>call forwarding unconditional</i>)
CHA	Tratamiento de componentes (<i>component handling</i>)
CI	Indicación de congestión (<i>congestion indication</i>)
CIC	Código de identificación del circuito (<i>circuit identification code</i>)
CLBI	Independiente de portadora, sin conexión (<i>connectionless bearer independent</i>)
CLIP	Presentación de identificación de la línea que llama (<i>calling line identification presentation</i>)
CLIR	Restricción de identificación de la línea que llama (<i>calling line identification restriction</i>)
CLR	Relación de pérdida de células (<i>cell loss ratio</i>)
COBI	Independiente de portadora, con conexión (<i>connection oriented bearer independent</i>)
COLP	Presentación de identificación de la línea conectada (<i>connected line identification presentation</i>)
COLR	Restricción de identificación de la línea conectada (<i>connected line identification restriction</i>)
CS1, 2, 3, 4	Conjunto de capacidades 1, 2, 3, 4 (<i>capability set No.1, 2, 3, 4</i>)
CSL	Subcapa componente (<i>component sub-layer</i>)
CTD	Retardo de transferencia de células (<i>cell transfer delay</i>)
CUG	Grupo cerrado de usuarios (<i>closed user group</i>)
CUSF	Función de servicio no relacionado con la llamada (<i>call unrelated service function</i>)

DBR	Velocidad binaria determinista (<i>deterministic bit rate</i>)
DDI	Marcación directa de extensiones (<i>direct dialing in</i>)
DHA	Tratamiento del diálogo (<i>dialogue handling</i>)
DPC	Código de punto destino (<i>destination point code</i>)
DSMCC	
DSS1, 2	Sistema de señalización digital de abonado N.º 1, 2 (<i>digital subscriber signalling system No. 1, 2</i>)
ECR	Velocidad binaria explícita (<i>explicit cell rate</i>)
FISU	Unidad de señalización de relleno (<i>fill-in signal unit</i>)
GCRA	Algoritmo de velocidad de células genérica (<i>generic cell rate algorithm</i>)
GT	Título global (<i>global title</i>)
IAM	Mensaje inicial de dirección (<i>initial address message</i>)
IDN	Red digital integrada (RDI) (<i>integrated digital network</i>)
IMT-2000	Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (<i>international mobile telecommunications – year 2000</i>)
IN	Red Inteligente (RI) (<i>intelligent network</i>)
INAP	Parte de aplicación de red inteligente (<i>intelligent network application part</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>internet protocol</i>)
ISUP	Parte de usuario de la red digital de servicios integrados (PU-RDSI) (<i>ISDN user part</i>)
LI	Indicador de longitud (<i>length indicator</i>)
LSSU	Unidad de señalización de estado del enlace (<i>link status signal unit</i>)
MBS	Tamaño de ráfaga máximo (<i>maximum burst size</i>)
MCR	Velocidad de células mínima (<i>minimum cell rate</i>)
MIC	Modulación por impulsos codificados
MSN	Número de abonado múltiple (<i>multiple subscriber number</i>)
MSU	Unidad de señalización de mensaje (<i>message signal unit</i>)
MTP	Parte de transferencia de mensaje ((<i>message transfer part</i>)
NI	Indicación de no aumento (<i>no-increase indication</i>)
N-ISDN	Red digital de servicios integrados de banda estrecha (RDSI-BE) (<i>narrowband-integrated services digital network</i>)
N-ISUP	Parte de usuario de la red digital de servicios integrados de banda estrecha (PU-RDSI-BE) (<i>narrowband-ISDN user part</i>)
NNI	Interfaz de red a red (<i>network network interface</i>)
NPC	Control de parámetro de red (<i>network parameter control</i>)
NSP	Parte de servicio de red (<i>network service part</i>)
OPC	Código de punto de origen (<i>originating point code</i>)
OSI	Interconexión de sistemas abiertos (<i>open systems interconnection</i>)

PC	Código de punto (<i>point code</i>)
PCR	Velocidad de células de cresta (<i>peak cell rate</i>)
PDU	Unidad de datos de protocolo (<i>protocol data unit</i>)
PH	Cabecera física (<i>physical header</i>)
POTS	Servicio telefónico ordinario (<i>plain old telephone service</i>)
PNNI	Interfaz red a red privada (<i>private network network interface</i>)
PSPDN	Red pública de datos con conmutación de paquetes (RPDCP) (<i>public switched packet data network</i>)
PU-RDSI	Parte usuario de la red digital de servicios integrados
PU-RDSI-BA	Parte usuario de la red digital de servicios integrados de banda ancha
PU-RDSI-BE	Parte de usuario de la red digital de servicios integrados de banda estrecha
PVC	Conexión (canal) virtual permanente (<i>permanent virtual connection (channel)</i>)
PVPC	Conexión de trayecto virtual permanente (<i>permanent virtual path connection</i>)
RDI	Red digital integrada
RDSI	Red digital de servicios integrados
RDSI-BE	Red digital de servicios integrados de banda estrecha
RI	Red Inteligente
ROS	Servicio de operaciones a distancia (<i>remote operations service</i>)
ROSE	Elemento de servicio de operaciones a distancia (<i>remote operations service element</i>)
RPC	Llamada con procedimiento a distancia (<i>remote procedure call</i>)
RPDCP	Red pública de datos con conmutación de paquetes
SAAL	Capa de adaptación asíncrona de señalización (<i>signalling asynchronous adaptation layer</i>)
SBR	Velocidad binaria estadística (<i>statistical bit rate</i>)
SCCP	Parte control de conexión de señalización (<i>signalling connection control part</i>)
SCEF	Función entorno de creación de servicio (<i>service creation environment function</i>)
SCF	Función control de servicio (<i>service control function</i>)
SCR	Velocidad de células sostenible (<i>sustainable cell rate</i>)
SDF	Función de datos de servicio (<i>service data function</i>)
SLS	Selección de enlace de señalización (<i>signalling link selection</i>)
SMAF	Función acceso para gestión del servicio (<i>service management access function</i>)
SMF	Función de gestión del servicio (<i>service management function</i>)
SRF	Función de recurso especializado (<i>specialised resource function</i>)

SS7	Sistema de señalización N.º 7 (<i>Signalling System No. 7</i>)
SSCF	Función de coordinación específica del servicio (<i>service specific coordination function</i>)
SSCOP	Protocolo con conexión específico del servicio (<i>service specific connection oriented protocol</i>)
SSF	Función de conmutación del servicio (<i>service switching function</i>)
SSN	Número de subsistema (<i>sub-system number</i>)
STP	Punto de transferencia de señalización (<i>signalling transfer point</i>)
SU	Unidad de señalización (<i>signal unit</i>)
SUB	Subdireccionamiento (<i>sub-addressing</i>)
SVC	Canal virtual conmutado (<i>switched virtual channel</i>)
TC	Capacidades de transacción (<i>transaction capabilities</i>)
TCAP	Parte de aplicación de capacidades de transacción (<i>transaction capability application part</i>)
TCP/IP	Protocolo de control de transporte/Protocolo Internet (<i>transport control protocol/internet protocol</i>)
TFA	Señal de autorización de transferencia (<i>transfer allowed</i>)
TFP	Señal de prohibición de transferencia (<i>transfer prohibited</i>)
TSL	Subcapa de transacción (<i>transaction sub-layer</i>)
UBR	Velocidad binaria no disponible (<i>unavailable bit rate</i>)
UNI	Interfaz de usuario a red (<i>user network interface</i>)
UPC	Control de parámetro de utilización (<i>usage parameter control</i>)
UPT	Telecomunicaciones personales universales (<i>universal personal telecommunications</i>)
USM	Unidad de señalización de mensaje
USR	Unidad de señalización de relleno
UUS	Señalización de usuario a usuario (<i>user-to-user signalling</i>)
VBR	Velocidad binaria variable (<i>variable bit rate</i>)
VC	Canal virtual (<i>virtual channel</i>)
VCI	Identificación de canal virtual (<i>virtual channel identification</i>)
VPI	Identificador de trayecto virtual (<i>virtual path identifier</i>)
VPN	Red privada virtual (<i>virtual private network</i>)

ANEXO A

Otros protocolos de señalización ATM

El Foro ATM ha desarrollado su propia serie de protocolos de señalización para la interfaz NNI:

- Interfaz de red privada v1.0 (PNNIv1.0).
- Interfaz entre portadoras de banda ancha (B-ICI), que integra algunas de las Recomendaciones Q.27xx para la PU-RDSI-BA. La UIT-T considera la PU-RDSI-BA a la vez como una interfaz interna de la red y una interfaz entre redes; la B-ICI sólo es considerada como una interfaz entre redes, es decir, para utilizar exclusivamente en fronteras administrativas.
- Interfaz entre redes ATM (AINI) aprobada recientemente; permite el funcionamiento combinado de la PNNI y la PU-RDSI-BA.

En realidad, la especificación PNNI define dos protocolos diferentes:

- **Encaminamiento PNNI:** es un protocolo de encaminamiento para redes ATM; las redes IP tienen funciones similares. El *encaminamiento PNNI* es un protocolo por estado de enlaces; informa a los nodos PNNI sobre el estado y la topología, y les permite encaminar dinámicamente los canales y los trayectos virtuales. El *encaminamiento PNNI* permite adaptarse fácilmente a la importancia del sistema, y es igualmente eficaz en redes modestas o muy grandes.
- **Señalización PNNI:** es el protocolo de señalización propiamente dicho. La *señalización PNNI* es muy similar a la señalización UNI4.0 y puede considerarse que está basada en las recomendaciones DSS2, como el sistema UNI4.0. No existe una especificación para funcionamiento combinado UNI4.0/PNNI, porque la gran similitud de los dos sistemas permite esta combinación prácticamente sin problemas.

El protocolo PNNI no es un protocolo de señalización de red SS7. Es transportado por canales virtuales ATM utilizando la capa de adaptación asíncrona para señalización (S-AAL). El protocolo PNNI no soporta los servicios RDSI; tampoco existe una especificación de funcionamiento combinado PU-RDSI/PNNI. Esto y el protocolo de *encaminamiento PNNI* son las principales diferencias entre el PNNI y la PU-RDSI.

El protocolo PNNI soporta conexiones de canales virtuales conmutados (VCC), conexiones de trayectos virtuales conmutadas (VPC) y conexiones de canales virtuales flexibles (PVC). En lo relativo a la gestión del tráfico, el protocolo PNNI no soporta las Recomendaciones UIT-T I.371, I.356. Está basado en la especificación de gestión del tráfico del Foro ATM v4.0 (TM4.0) y, por tanto, soporta la velocidad binaria constante (CBR), la velocidad binaria variable en tiempo real (rt-VBR), la velocidad binaria variable no en tiempo real (nrt-VBR), la velocidad binaria disponible (ABR) y la velocidad binaria indefinida (UBR).

El protocolo PNNI no soporta números nativos E.164, y sólo permite encaminar llamadas por direcciones de sistema extremo ATM (AESAs).

Las especificaciones PNNI, B-ICI y TM4.0 están disponibles en el servidor Web del Foro ATM: <http://www.atmforum.com>.

ANEXO B

Especificación de señalización DSS2 y la especificación UNI del Foro ATM**B.1 Introducción**

El Foro ATM y la UIT-T elaboran conjuntamente una especificación para la señalización ATM UNI. Se han publicado ya las especificaciones UNI 3.1 (septiembre 1994) y UNI 4.0 (julio 1996). Este Anexo menciona brevemente las diferencias, a nivel funcional, entre el sistema de señalización DSS2 y el sistema UNI del Foro ATM. No se pretende indicar todas las diferencias entre los protocolos propiamente dichos, ni identificar las posibilidades de funcionamiento combinado, sino dar al lector una relación de las funciones de señalización de los sistemas UNI 3.1 y UNI 4.0.

B.2 Especificación de señalización UNI 3.1

Funciones del sistema UNI 3.1:

- Canales virtuales conmutados (SVC) punto a punto (DSS2 Q.2931 con algunas restricciones, como el hecho de no soportar las siguientes funciones DSS2 Q.2931: fase de aviso, los procedimientos de recepción y envío en superposición, el procedimiento de notificación y la asignación de canal asociado al trayecto virtual).
- Canales virtuales conmutados (SVC) punto a multipunto (DSS2 Q.2971 con algunas restricciones: fase de aviso y procedimiento de notificación).
- Capacidades de tráfico ATM: servicio de velocidad binaria constante (CBR) (DSS2 Q.2931), servicio de velocidad binaria variable (VBR) (DSS2 Q.2961.1), servicio de velocidad binaria indefinida (UBR) (este servicio no está especificado en DSS2), rotulación (DSS2 Q.2961.1).
- Indicación de clase de calidad de servicio (QoS) (UIT-T Q.2931/Q.2965.1, QoS Clase 0 con QoS Clases 1 a 4 específicas del Foro ATM).

B.3 Señalización UNI 4.0

La especificación de señalización UNI 4.0 (véase af-sig-0061.000 y el anexo af-sig-0076.000) ofrece las siguientes funciones de señalización:

- Canales virtuales conmutados (SVC) punto a punto. Función descrita como especificación delta de DSS2 Q.2931.
- Canales virtuales conmutados (SVC) punto a multipunto. Función descrita como especificación delta de DSS2 Q.2971.
- Transporte de identificadores genéricos (DSS2 Q.2941.1). Función descrita en la especificación delta de Q.2931 (canales virtuales conmutados (SVC) punto a punto) y en la especificación delta de Q.2971 (canales virtuales conmutados (SVC) punto a multipunto).
- Capacidades de tráfico ATM: servicio de velocidad binaria constante (CBR)/velocidad binaria determinista (DSS2 Q.2931 y Q.2961.2), servicio de velocidad binaria variable (VBR)/velocidad binaria estadística (DSS2 Q.2961.1 y Q.2961.2), servicio de velocidad binaria indefinida (UBR) (este servicio no está especificado en DSS2), rotulación (DSS2 Q.2961.1), servicio de velocidad binaria disponible (ABR) (DSS2 Q.2961.3 con algunas extensiones de poca importancia) y la supresión de tramas (no especificado en DSS2).
- Indicación de clase de calidad de servicio (QoS) (DSS2 Q.2931/Q.2965.1, QoS Clase 0 con QoS Clases 1 a 4 específicas del Foro ATM).
- Trayectos virtuales conmutados (DSS2 Q.2934). Función descrita en la especificación delta a Q.2931.

- Señalización de determinados parámetros de calidad de servicio (CTD, CDV, CLR) (UIT-T Q2965.2, actualmente en preparación).
- Negociación de las características de conexión (DSS2 Q.2962).
- Servicios suplementarios (basados en DSS2 DDI, MSN, SUB, CLIP, CLIR, COLP, COLR y UUS).
- Unión por iniciativa de una de las hojas (no definida en DSS2).
- ATM «any-cast» (no definida en DSS2).

Las siguientes funciones de señalización UIT-T DSS2 no están especificadas en UNI 4.0:

- Señalización para el servicio ABT (DSS2 Q.2961.4), capacidades UIT-T SBR2/SBR3 (DSS2 Q.2961.6).
- Señalización de valores CDVT (DSS2 Q.2961.5).
- Modificación de las características de conexión (DSS2 Q.2963.1, Q.2963.2 y Q.2963.3).
- Señalización explícita de clases de calidad de servicio I.356 (DSS2 Q.2965.1 y Enmienda 3 de Q.2931).
- Servicio de portadora por retransmisión de trama en RDSI-BA (DSS2 Q.2933).
- Prioridad de llamada (DSS2 Q.2959) y grupo de usuarios cerrado (DSS2 Q.2955.1).
- Protocolo funcional genérico (DSS2 Q.2932.1).
- Indagación (DSS2 Q.2964.1).
- Señalización de la capa de adaptación asíncrona (AAL) tipo 2 y los parámetros asociados (DSS2 Q.2931, Enmienda 2).

CAPÍTULO 5

5 Técnicas y métodos de sincronización

5.1 Introducción

La sincronización desempeña un papel fundamental en las comunicaciones modernas y los aspectos especiales de la temporización en la ingeniería de las comunicaciones constituyen una parte muy importante en la capacitación y formación de los ingenieros de telecomunicación. Desde que se inventó la técnica MIC y se introdujo en las redes de comunicación mundiales, la sincronización ha sido uno de los factores esenciales en el diseño y mantenimiento de los sistemas de comunicación.

En un sistema de transmisión digital, la sincronización es una función del receptor esencial. En los receptores, la información binaria se convierte mediante un modulador en una señal continua en el tiempo que se envía por el canal de transmisión. Un receptor digital extrae la secuencia de información de una señal discreta en el tiempo obtenida tras muestrear y cuantificar la señal distorsionada presentada al demodulador. En el receptor, una recuperación precisa de la temporización es fundamental para obtener un comportamiento cercano al del receptor óptimo [1]. Actualmente, la sincronización ha evolucionado hasta convertirse en un área de investigación autónoma que ha sido estudiada en profundidad a lo largo de las últimas décadas.

El objetivo de la sincronización de las redes de comunicaciones consiste en proporcionar dos condiciones necesarias para el intercambio entre los usuarios de información digital en tiempo real:

- la *continuidad*, lo cual significa que las velocidades binarias deben ser las mismas en los terminales interconectados;
- la *integridad*, lo cual significa que los elementos de información (bits, bytes o bloques) deben llegar al terminal receptor en el mismo orden en que fueron enviados por la fuente.

En otras palabras, *sincronismo* significa contar con una referencia de tiempo común para el transmisor y el receptor. En consecuencia, la sincronización es una operación fundamental para la recepción de las señales de datos. Normalmente se reconocen dos categorías [2, 3]:

- sincronización de la señal, donde la temporización de símbolo, la fase de portadora y la frecuencia portadora de un receptor se alinean con una señal entrante;
- sincronización de trama, donde la ráfaga, el paquete, la palabra, el código o los límites de trama se recuperan a partir de un tren de datos recibido.

Correspondientemente, en las aplicaciones prácticas las tareas de sincronización para las comunicaciones se dividen en los tres niveles siguientes [4]:

- sincronización de portadora;
- temporización de bit;
- alineamiento de trama (o bloque).

La primera tarea se refiere al seguimiento de la frecuencia (fase) de la portadora mientras esté en funcionamiento. La segunda tarea es importante para las comunicaciones digitales modernas y se refiere a las secuencias digitales (bit). Se conoce con el nombre de «*Sincronización de red*» o «*Red de sincronización*», «*temporización de bit*», o «*sincronización de bit*». Ése es el tema principal de este capítulo. Por último, el alineamiento de trama (bloque) es la tarea de la sincronización en el caso de sistemas de transmisión por paquetes.

Pueden distinguirse dos tipos de estructuras de sincronizador.

- los sincronizadores DA utilizan las decisiones del receptor (dirigida por decisión) o una secuencia de instrucción para calcular las estimaciones de temporización;
- las estructuras NDA funcionan independientemente de la secuencia de información transmitida.

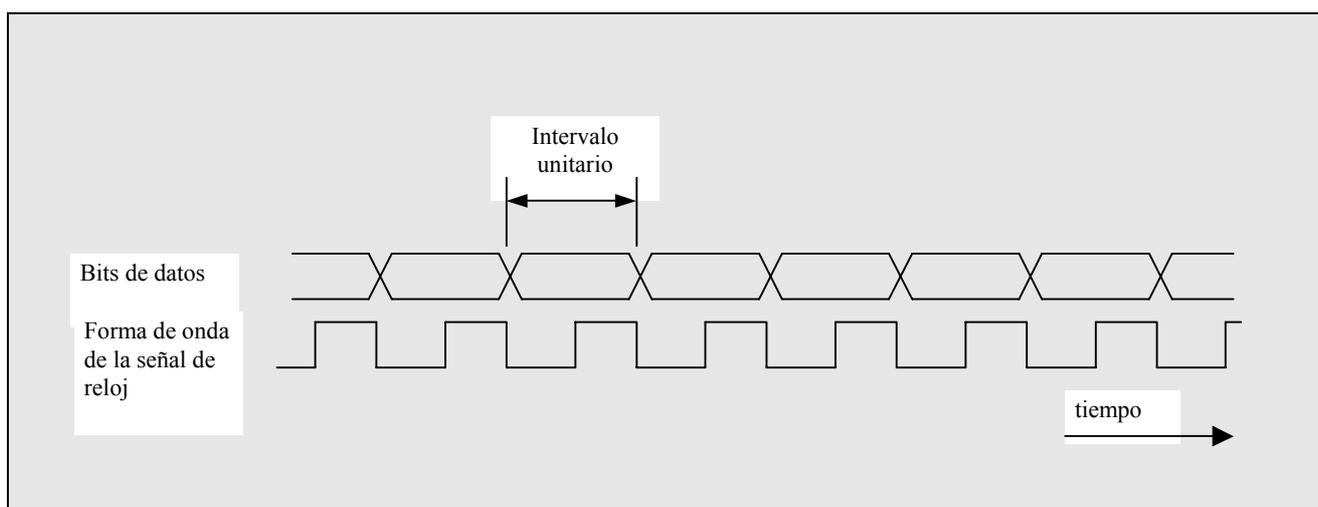
5.2 Sincronización de los sistemas de transmisión

En las primeras etapas de desarrollo de las técnicas MIC la sincronización local de las comunicaciones punto a punto era el problema principal. Como de costumbre, la señal digital consta de dos elementos, a saber:

- un tren de dígitos binarios (bits), es decir, los datos;
- los instantes en el tiempo (puntos discretos de tiempo) en los que aparece el bit.

En la práctica, el segundo elemento es una señal de temporización conocida como *un reloj*. La Figura 5.1 muestra un ejemplo de señal de datos con el reloj asociado. Como puede observarse, los intervalos unitarios están uniformemente distribuidos en el tiempo de tal forma que cada uno de ellos contiene un solo bit. El flanco descendente del impulso de reloj es un límite entre bits en un tren binario continuo.

Figura 5.1 – Ejemplo de señal de datos y reloj asociado



5.2.1 Extracción de la señal de reloj del tren de datos binario

La temporización (reloj) es necesaria para el procesamiento de los datos en el transmisor y en el muestreo de los bits de datos en el receptor. No es preciso transmitir la *forma de onda de la señal de reloj* juntamente con los datos pues estos últimos contienen la información de la *señal de reloj* [5]. La Figura 5.2 ilustra este hecho en el dominio del tiempo. Considerando esta figura en detalle puede verse que la suma módulo dos $\{D(t) \oplus D(t + t_D)\}$ de la señal de datos $D(t)$ y la señal retardada $D(t + t_D)$ da una secuencia de impulsos espaciados a intervalos aleatorios debido a la propia naturaleza aleatoria de los instantes en que aparecen los flancos de la señal. En la Figura 5.2, y a título de ejemplo, se considera que el tiempo de retardo t_D es 1/4 parte del intervalo unitario T . La señal $d(t) = \{D(t) \oplus D(t + t_D)\}$ puede presentarse como la suma algebraica de las partes determinística y aleatoria $s(t)$ y $r(t)$

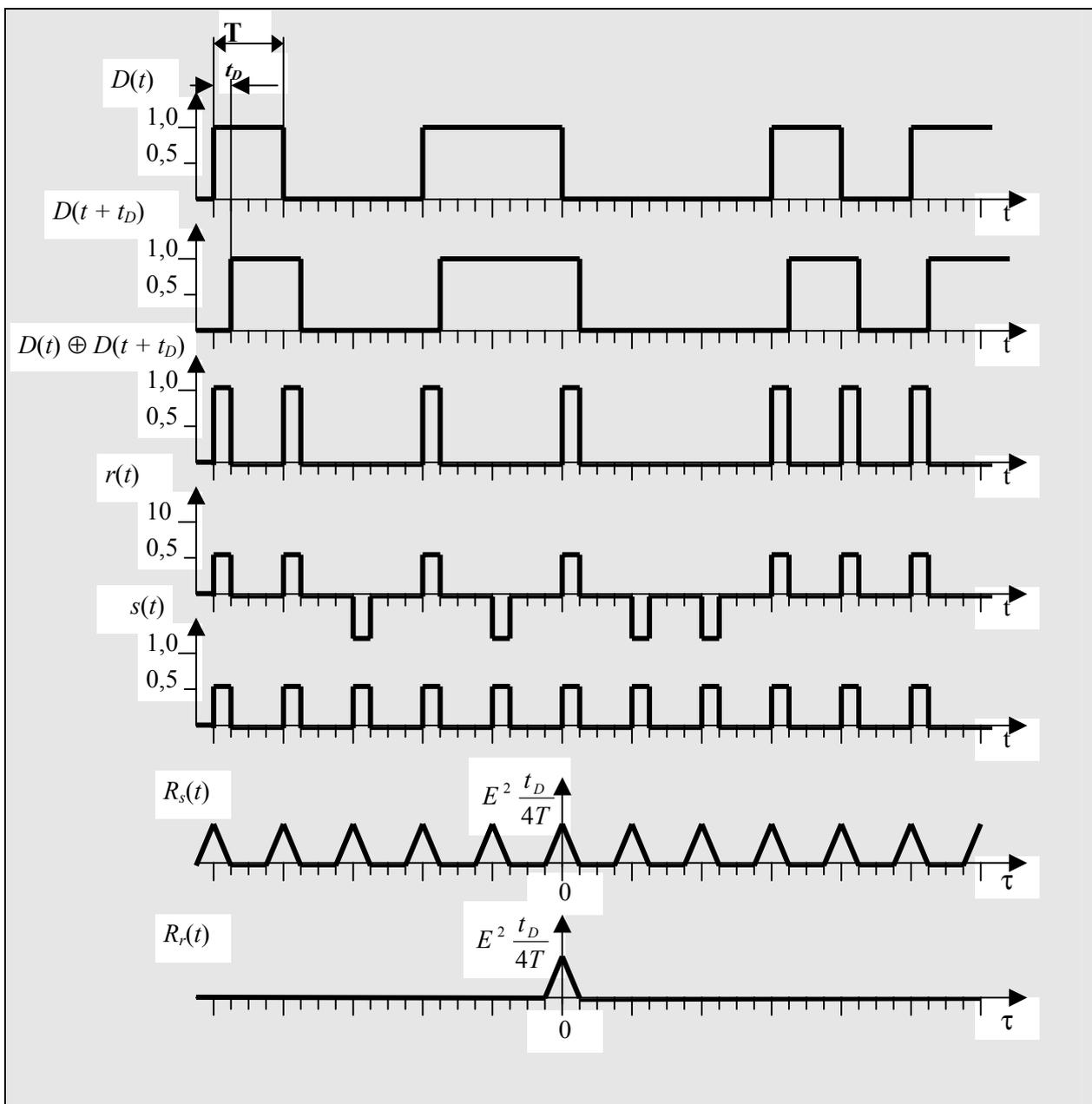
$$d(t) = s(t) + r(t)$$

Obsérvese que la parte determinística (sistemática) $s(t)$ es la secuencia de la señal de reloj periódica deseada, pues los impulsos están separados por intervalos unitarios de tiempo de igual valor.

Como puede verse en la Figura 5.2, ambas señales $s(t)$ y $r(t)$ son secuencias de impulsos rectangulares. Es sabido que la covarianza de la secuencia de impulsos periódicos $s(t)$ también es una función periódica $R_s(\tau)$ con el mismo periodo de repetición T . Sin embargo, la covarianza de la señal aleatoria $r(t)$ es la función no periódica $R_r(\tau)$ que tiene una forma triangular en el intervalo de tiempo $-t_D \leq \tau \leq t_D$. La covarianza total de la señal $d(t)$ se presenta como una superposición de covarianzas particulares

$$R_D(\tau) = R_s(\tau) + R_r(\tau)$$

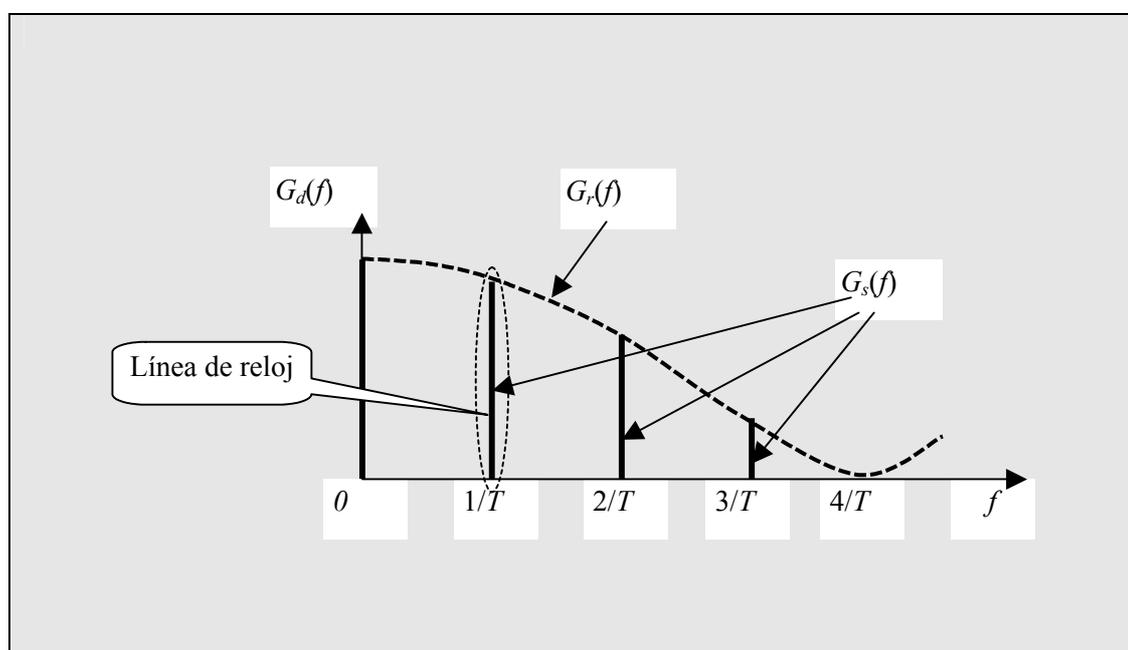
Figura 5.2 – Extracción de la información de temporización a partir de los datos



La densidad espectral de potencia $G_d(f)$ de la señal $d(t)$ se define mediante la covarianza $R_D(\tau)$ por la transformada de Fourier (transformada de Wiener-Khinchin) basándose en la cual se observa que $G_d(f) = G_s(f) + G_r(f)$, donde la densidad espectral de potencia $G_s(f)$ de la señal $s(t)$ tiene una forma discreta debido a su naturaleza periódica y que $G_r(f)$ del ruido $r(t)$ es una función continua debido a su origen aleatorio. La Figura 5.3 muestra, por ejemplo, la $G_D(f)$ total y los espectros particulares $G_s(f)$ y $G_r(f)$ de la señal $d(t)$. En este caso, la función $G_r(f)$ se considera la envolvente del espectro total.

Obsérvense las propiedades fundamentales del espectro (Figura 5.3). La línea espectral para $n = 1$ representa la potencia de la señal sinusoidal a la frecuencia $1/T$ y se considera como la señal de reloj. Extrayendo esta señal sinusoidal del total $d(t)$ puede formarse la correspondiente señal de reloj destinada a la sincronización.

Figura 5.3 – Densidad espectral de potencia



Por consiguiente, no es necesario enviar tanto las señales de datos como las señales de reloj asociadas a través de los sistemas de transmisión porque la señal de temporización puede recuperarse del propio tren de datos mediante la generación de la secuencia $\{D(t) \oplus D(t + t_D)\}$ y la componente de la frecuencia de reloj $f_0 = 1/T$ filtrada del espectro de esta secuencia de impulsos. En este caso se presentan dos oportunidades basadas en:

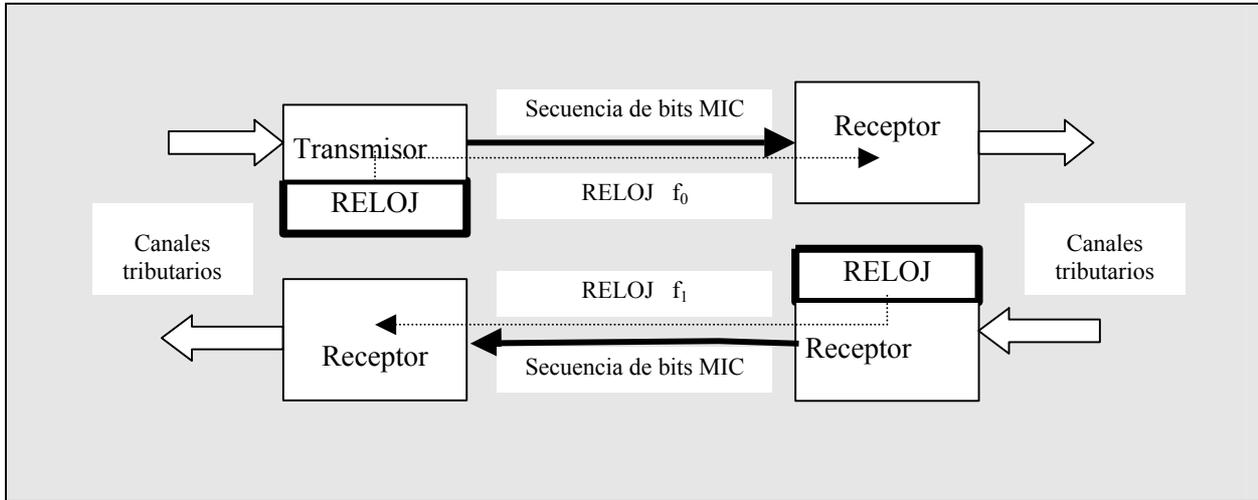
- un filtro paso banda de banda estrecha (puede ser un filtro óptimo) con una frecuencia central $f_0 = 1/T$;
- un bucle de enganche de fase (PLL) con un filtro paso bajo o un filtro óptimo.

5.2.2 Sincronización punto a punto

Normalmente, una línea digital bidireccional proporciona la transmisión para comunicaciones digitales basándose en dos canales de transmisión digital que constituyen el medio de transmisión digital unidireccional de señales digitales entre dos puntos. En este caso, la esencia de la sincronización punto a punto se ilustra en la Figura 5.4 [6].

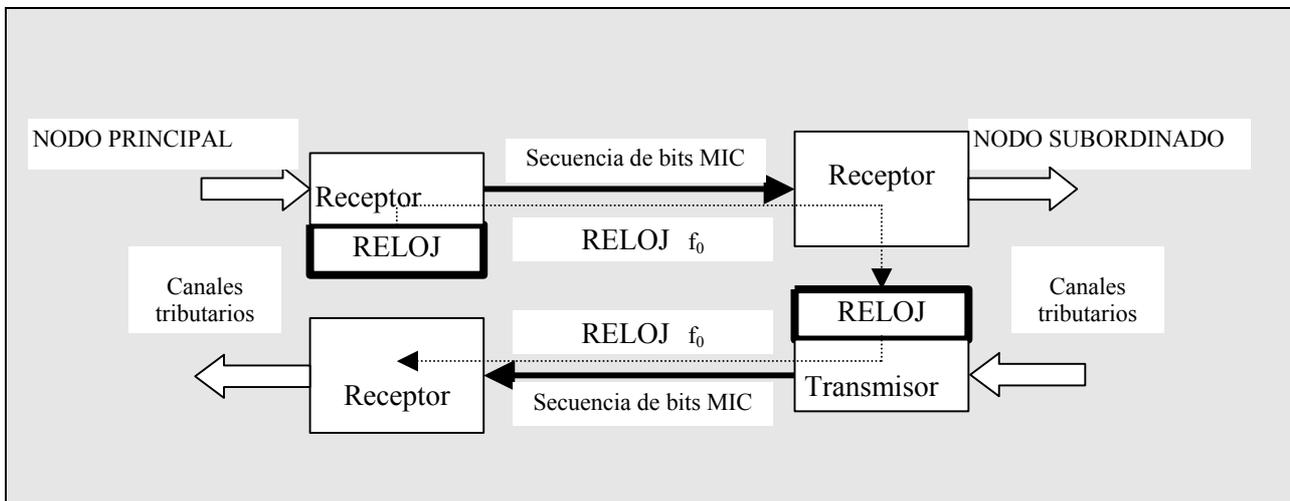
La técnica de sincronización más sencilla normalmente aplicada es la que empleaba el servicio telefónico ordinario en los primeros días de la transmisión MIC. En este caso, se utilizaba la sincronización independiente de cada canal con frecuencia de reloj f_0 y f_1 de acuerdo con la siguiente estructura (Figura 5.4 a)).

Figura 5.4 a) – Sincronización independiente



Es sabido que el comportamiento de los sistemas de comunicaciones mejora de forma espectacular con la aplicación de métodos digitales. Al mismo tiempo, una vez que se implantan redes de comunicaciones digitales los nodos de la red sincronización principal y subordinado exigen una temporización muy precisa de los datos. En este caso (Figura 5.4 b)), el transmisor del nodo principal envía un tren de datos MIC con una frecuencia de reloj f_0 al nodo subordinado.

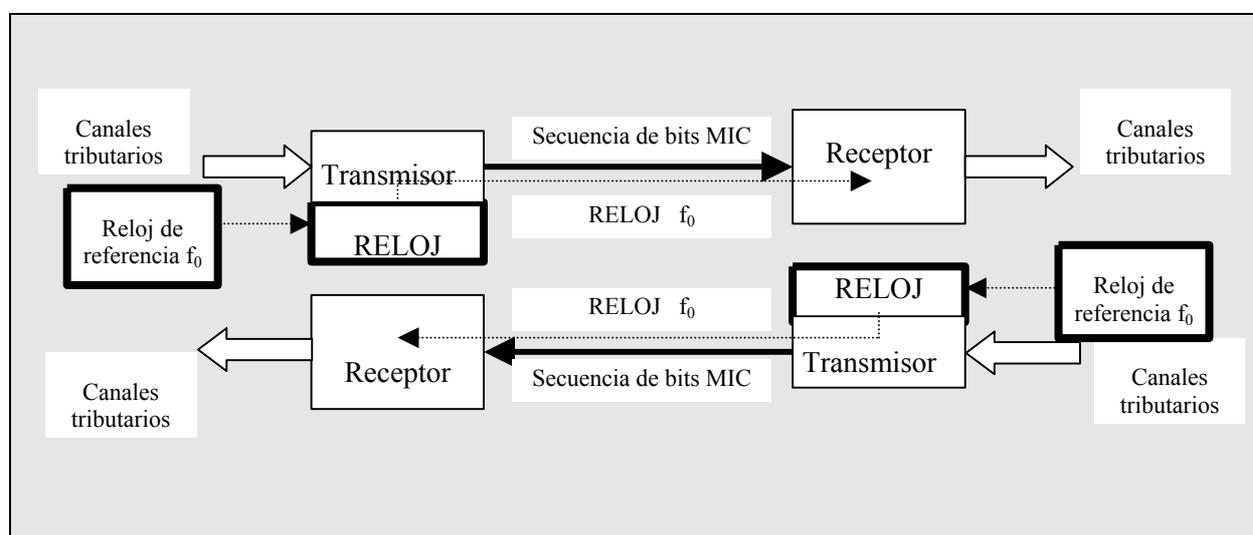
Figura 5.4 b) – Sincronización subordinada



En este caso, el receptor en el nodo subordinado obtiene la señal de reloj a partir de los datos utilizando los métodos descritos anteriormente. La señal de reloj extraída se utiliza como referencia para ajustar el reloj de un transmisor de nodo subordinado. De esta forma, ambos trenes de datos MIC se transmiten con la misma frecuencia de reloj f_0 .

Por último, la Figura 5.4 c) muestra una estructura típica de una red síncrona o redes sincronizadas por un reloj principal externo de gran precisión. En este caso, las secuencias de bits MIC se transmiten a través de la red con una frecuencia de reloj f_0 en ambos canales (en ambos sentidos). Con respecto al reloj principal externo, los relojes del primer y del segundo transmisor son subordinados. En este caso, la *señal de temporización de referencia* debe distribuirse entre todos los nodos de la red de telecomunicaciones incluidos en esta planificación de la *red de sincronización*. A continuación se considera esta cuestión con más detalle.

Figura 5.4. c) – Red síncrona



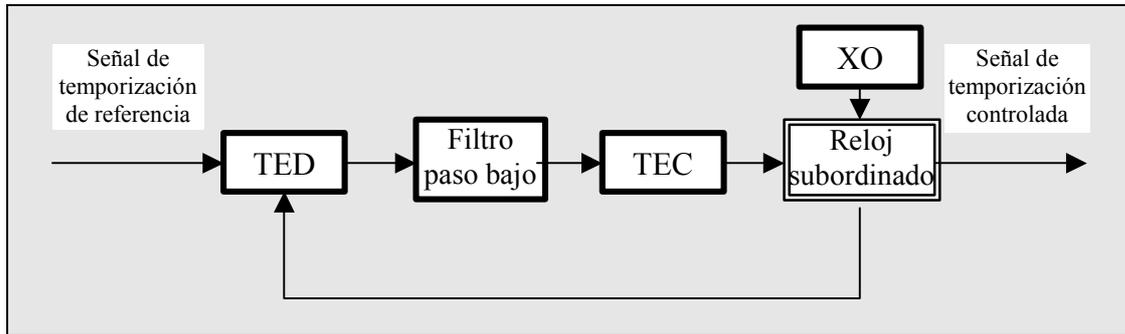
5.3 Técnicas basadas en PLL

En los sistemas de comunicaciones no sincronizados un oscilador autoexcitado determina los instantes de muestreo en el receptor, el procesamiento digital de la secuencia de muestreo proporciona la corrección en el tiempo. En los sistemas sincronizados, para obtener la sincronización de los datos en los nodos subordinados es necesario incluir los circuitos correspondientes en los equipos transmisores. Tales circuitos son del tipo de realimentación y se basan en un diseño de PLL digital destinado a controlar la fase (tiempo) de un reloj subordinado mediante una señal de referencia externa procedente de un reloj principal. Generalmente, hay dos circuitos PLL reconocidos destinados a:

- 1) corrección en tiempo discreto y
- 2) corrección en tiempo continuo.

5.3.1 Corrección del reloj subordinado en tiempo discreto

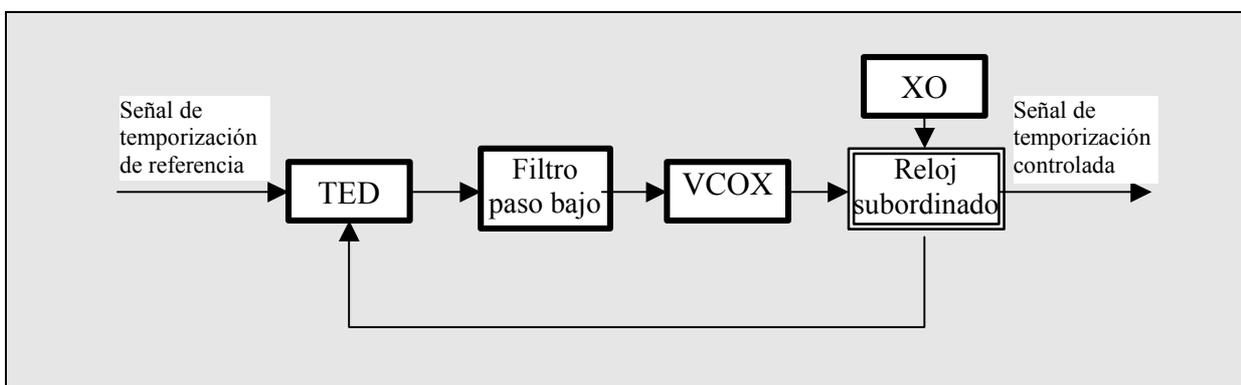
La Figura 5.5 muestra la estructura generalizada de un circuito de realimentación PLL destinado a la corrección en tiempo discreto del reloj subordinado utilizando una señal de referencia en tiempo discreta procedente del reloj principal.

Figura 5.5 – Circuito de realimentación PLL con corrección en tiempo discreto


Esencialmente, el circuito consiste en un detector de errores de temporización (TED) y un corrector de errores de temporización (TEC). Inicialmente, el reloj subordinado proporciona una señal de temporización para el transmisor basada en la señal del oscilador de cristal externo (XO). Evidentemente, la señal constituida no coincide con la de la fuente de referencia debido a las derivas de frecuencia y de fase. Para eliminar este error de temporización, el TED compara las señales en el tiempo procedentes de la fuente de referencia y del reloj subordinado y forma una señal de error correspondiente a la diferencia de tiempo entre las fuentes de tiempo. La señal de error pasa a través del filtro paso bajo (óptimo) al TEC, que realiza la corrección de la temporización del reloj subordinado. Debido a su coste relativamente bajo del XO y al reducido valor de la fluctuación de fase del ruido, la corrección en tiempo discreto se utiliza ampliamente para muchas aplicaciones prácticas.

5.3.2 Oscilador controlado en tiempo continuo

En el dominio del tiempo continuo, el ajuste de la temporización puede realizarse controlando la fase de muestreo del oscilador. La Figura 5.6 representa la correspondiente estructura de un circuito de realimentación basado en PLL diseñado para realizar un seguimiento directo del oscilador subordinado en tiempo continuo mediante una señal de referencia procedente del reloj principal.

Figura 5.6 – Circuito de realimentación PLL con control de señal de referencia


El circuito funciona de forma similar al considerado en la Figura 5.5. En este caso, la señal continua del VCXO se compara con la de referencia y una versión de error filtrada de la salida del TED ataca al dispositivo que determina los instantes de muestreo (por ejemplo, un oscilador de cristal controlado por tensión (VCXO)). De esta forma, la señal de error pasa a través de un filtro paso bajo y controla

directamente la frecuencia del oscilador para eliminar el desplazamiento de fase (tiempo) entre ambas señales. Debido a su coste relativamente elevado y a la fluctuación de fase del ruido, debe evitarse en la medida de lo posible la utilización de un VCXO como componente discreto.

5.4 Corrección de la temporización

Del análisis de la Figura 5.4 se deduce que una recuperación de la temporización precisa en el receptor es fundamental para obtener un comportamiento próximo al del receptor óptimo. La sincronización del receptor se basa en métodos estadísticos de estimación de la señal de temporización. Una parte importante de los algoritmos del sincronizador puede relacionarse con el criterio de máxima probabilidad (ML) [3], de acuerdo al cual la estimación de los parámetros de temporización maximiza la función de probabilidad. Correspondientemente, la función de probabilidad depende del formato de modulación de la señal y de las propiedades estadísticas del ruido añadido a la señal. La estimación de temporización maximiza la función de probabilidad que se obtiene realizando un promedio a lo largo de las variables de información aleatorias.

La estimación de temporización puede realizarse para la modulación multitono y para las señales portadoras únicas.

De acuerdo con la norma ADSL [7], debe recibirse una sola portadora sin modular para la extracción de la temporización. La frecuencia de esta portadora (denominada piloto), es fija. En comparación con la señal multitono, la sincronización mediante un piloto presenta varios inconvenientes [1].

- Debido a que el estimador de temporización explota solamente una fracción de la potencia de la señal recibida, la varianza de la estimación del error en la temporización es mayor que la varianza obtenida cuando se utiliza el método de multiportadora.
- Para lograr la misma varianza de error, la anchura de banda del bucle cerrado del sincronizador PLL de realimentación debe disminuirse. En consecuencia, resulta afectada la capacidad del sincronizador para seguir las variaciones en los desplazamientos de frecuencia.
- Cuando se utiliza un tono sin modular, la estimación del error de temporización pasa a ser muy sensible a las perturbaciones sistemáticas y no variables en el tiempo tales como la temperatura, el envejecimiento, etc.
- Si la relación S/N en la frecuencia piloto toma un valor bajo, el estimador produce unas estimaciones de temporización no fiables o se necesita mucho más tiempo para realizar una estimación de la señal de temporización.

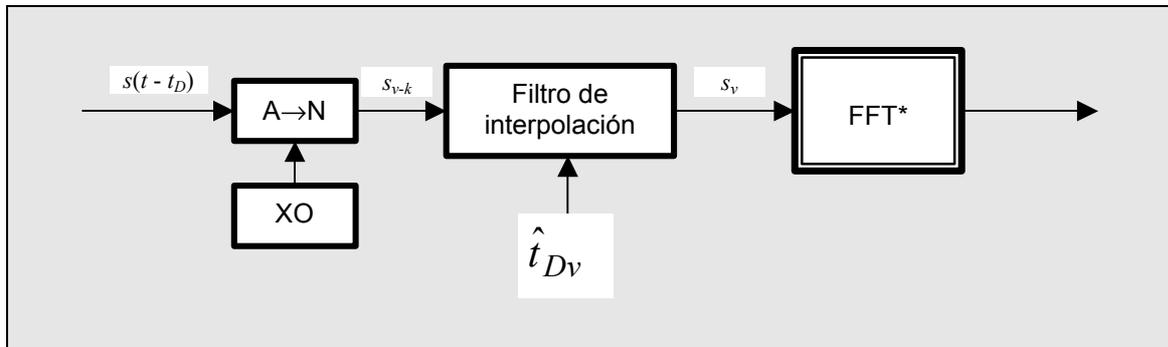
A continuación se consideran los métodos principales para la corrección de la temporización en los dominios del tiempo y la frecuencia basándose en las estimaciones del error de temporización.

5.4.1 Corrección de errores en el dominio de tiempo discreto

Durante muchos años, se han desarrollado diversos métodos para obtener un retardo fraccionario en el dominio de tiempo discreto [8]. Normalmente, la corrección de temporización se lleva a cabo mediante un filtro de interpolación de respuesta a impulso finita (Figura 5.7).

Los coeficientes del filtro dependen del error temporal t_D que deba corregirse. La señal de entrada $s(t-t_D)$ se transforma mediante el convertidor analógico/digital a una forma digital S_{v-k} , donde el coeficiente k corresponde a un retardo de tiempo t_{Dv} . El control de la señal correspondiente a la estimación de error en el tiempo \hat{t}_{Dv} afecta al filtro de interpolación cambiando sus coeficientes de manera que se obtiene la señal corregida a la salida del filtro. Como resultado, el espectro de la señal a la salida del FFT recibe la atenuación deseada de las amplitudes espectrales y la rotación de las fases. Para ADSL [7], este método es aplicable. Para sistemas con velocidad de transmisión de datos muy elevadas, tales como VDSL, este enfoque no puede utilizarse debido a la elevada velocidad de muestreo y a la complejidad de cálculo que supone. Sin embargo, en el caso de VDSL, pueden emplearse circuitos de sincronizador que aprovechen las propiedades del retardo de rotor [1].

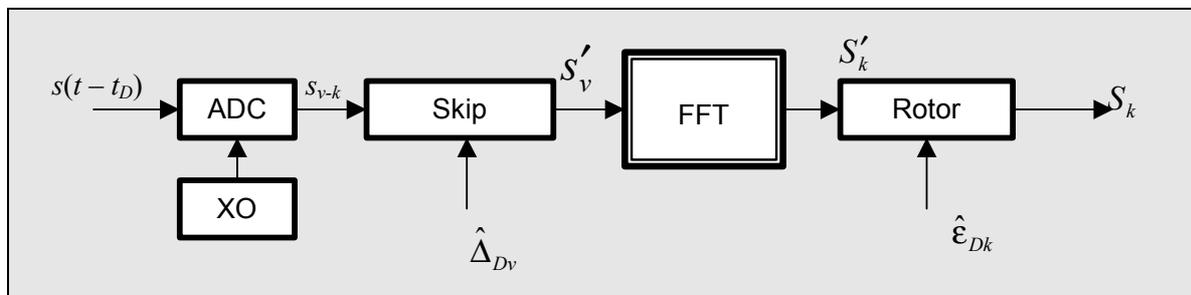
Figura 5.7 – Corrección de la temporización en el dominio de tiempo discreto



5.4.2 Corrección de errores en el dominio de la frecuencia

En el caso de un desplazamiento de frecuencia del reloj subordinado distinta de cero, el error de tiempo t_D aumenta linealmente en el tiempo. Si bien de forma ideal la corrección de error de temporización debe ser distinta para cada muestra de señal, el TEC corregirá la temporización para cada muestra en el mismo retardo. Debido a la propiedad del retardo de rotor, esta corrección de la temporización puede realizarse en el dominio de la frecuencia girando las salidas del FFT como muestra la Figura 5.8 [1].

Figura 5.8 – Corrección de la temporización en el dominio de la frecuencia

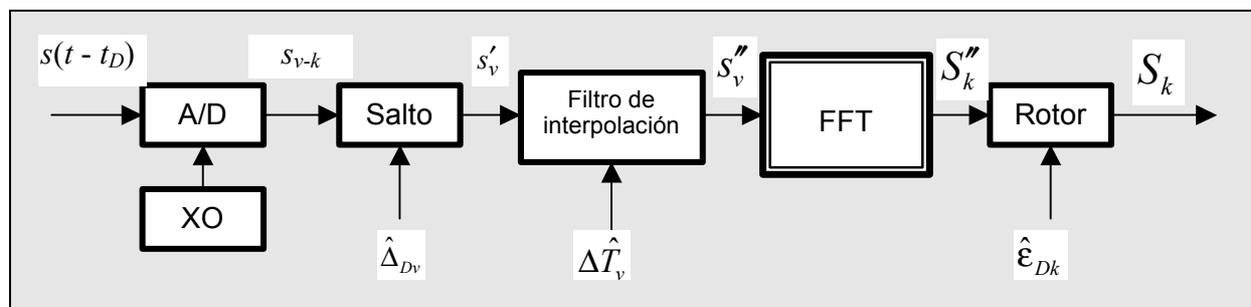


El corrector de salto realiza un control de la señal discreta en la parte entera $\hat{\Delta}_{Dv}$ de la estimación total del error de tiempo \hat{t}_{Dv} de manera que en el caso más sencillo el error que debe corregirse es ± 1 . La parte fraccionaria $\hat{\epsilon}_{Dk}$ de \hat{t}_{Dv} se corrige por rotación de los componentes espectrales S'_k de la señal, con lo que se obtiene la forma espectral deseada S_k a la salida del rotor. Una ventaja de este método es su baja complejidad. No se necesita ningún sobremuestreo a la entrada del receptor y para cada portadora se realiza una corrección mediante una sola multiplicación compleja. Este método funciona adecuadamente sólo cuando puede garantizarse un pequeño desplazamiento de frecuencia. Ello exige la utilización de osciladores de cristal (XO) muy precisos (y, por lo tanto, muy costosos) tanto en el extremo transmisor como en el extremo receptor. De forma alternativa, puede utilizarse un VCXO menos preciso y de bajo coste para reducir el desplazamiento inicial de la frecuencia del reloj de muestreo. La corrección del desplazamiento residual se realiza entonces en el dominio digital [1].

5.4.3 Corrección de errores en los dominios del tiempo y la frecuencia

La Figura 5.9 representa la corrección de errores de tiempo basándose en el filtro de interpolación en el dominio del tiempo y la rotación del espectro en el dominio de la frecuencia [1-3].

Figura 5.9 – Corrección de la temporización en los dominios del tiempo discreto y la frecuencia



Se utiliza un filtro interpolador para corregir el incremento de error de $\Delta \hat{T}_v$, de forma similar a la indicada en la Figura 5.7, y un corrector de salto realiza la eliminación del error de temporización de paso como muestra la Figura 5.8. Por último, el rotor proporciona la rotación de fase del espectro para obtener la deseada precisión en el error de temporización de acuerdo con la citada Figura 5.8. La principal ventaja de este método es que el interpolador debe corregir únicamente unos pequeños errores de temporización. Por ejemplo, para un desplazamiento de frecuencia de 100 ppm y el código $N = 256$, el interpolador debe corregir un máximo error de temporización de $2,56 \times 10^{-2}$ muestras. Un inconveniente de esta técnica es que explota la propiedad del retardo de rotor que es sólo válida en condiciones específicas.

5.5 Sincronización de red

5.5.1 Sincronización de las centrales telefónicas en la RTPC

Inicialmente, los sistemas de transmisión digital MIC se introdujeron con sus propios subsistemas de sincronización diseñados para las necesidades internas de sus equipos (Figura 5.4 a)). La Figura 5.4 b) representa la situación en que la central digital aparece en el nodo de red principal. A medida que se instalaron centros digitales apareció el problema del funcionamiento de síncrono para lograr una interacción a bajo coste. De acuerdo con un enfoque pragmático, se necesita la misma frecuencia de reloj en los canales tributarios de salida y de entrada en el nodo principal. Por consiguiente, el reloj interno del equipo MIC del nodo subordinado debe engancharse a la frecuencia de reloj interna f_0 del equipo MIC del nodo principal. Además, ambos relojes se utilizan como fuentes de señal de sincronización para los equipos digitales en cooperación en los nodos correspondientes. Como muestra la Figura 5.4 c), desde que la central digital se introduce en todos los nodos de las redes telefónicas existentes, se utiliza un reloj de referencia para todos los equipos en cada central de conmutación de manera que los relojes internos de los equipos MIC se enganchan también a este reloj de referencia. Con ello surge el problema de contar con una frecuencia de reloj de referencia distribuida a nodos de conmutación geográficamente separados. Mediante una planificación de la red de sincronización puede resolverse esta dificultad y puede observarse el sistema de sincronización de la red conmutada de AT&T implantado durante la década de los 80 como un clásico ejemplo al respecto.

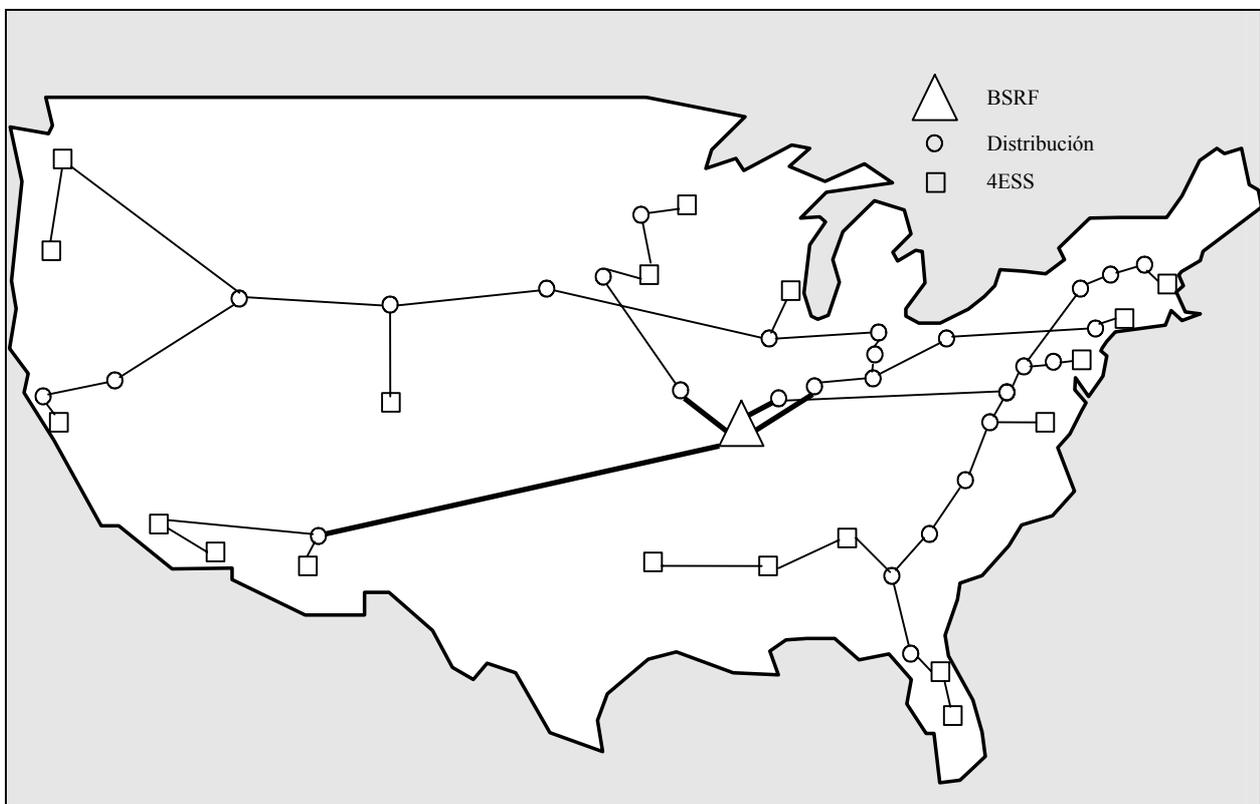
La base de la red de sincronización de AT&T es un dispositivo de reloj de cesio conocido como BSRF situado en el centro neurálgico del país. La frecuencia de referencia extraída del BSRF se distribuye mediante sistemas de radiocomunicaciones analógicas y de cables coaxiales a las centrales de

conmutación 4ESS como muestra la Figura 5.10 [9]. Esa red de distribución perfeccionada pero muy costosa exige gastos adicionales para realizar un mantenimiento que necesita una mano de obra muy cualificada, de manera que es necesario explicar la necesidad de una red de sincronización.

En una central de conmutación digital, el sistema de reloj controla la temporización de los miles de enlaces troncales de mensajes. Es necesario instalar memorias intermedias para absorber la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase de temporización que aparecen en los sistemas de transmisión y para lograr el alineamiento de trama necesario a fin de obtener una conmutación por división en el tiempo sin errores. La red contiene un gran número de relojes que interactúan y exige un control de frecuencia fiable de todas las fuentes de reloj dentro de una gama limitada de precisión permitida para lograr una calidad de servicio aceptable. En este caso se vacían o sobrecargan las memorias intermedias si la velocidad del tren de bits entrante es inferior o superior, respectivamente, a la del reloj local. En consecuencia, los datos almacenados se leen dos veces o se pierden. Ésta es la razón por la que tal repetición de bits o retardo se denomina un «deslizamiento». Para evitar este fenómeno se introduce un control de memoria intermedia para deslizamientos de palabras de 8 bits únicamente en las señales digitales E1, de manera que la velocidad media de los deslizamientos se considera como una característica de comportamiento importante de la calidad de la red. Es evidente que esta velocidad media tiende a ser lo más baja posible basándose en los siguientes efectos:

- la introducción de una tolerancia más rígida en la precisión de la frecuencia de reloj de la red se traduce en unos tamaños de la memoria intermedia relativamente pequeños,
- la disminución de los requisitos en la precisión de frecuencia de reloj de la red da lugar a un aumento del tamaño de la memoria intermedia.

Figura 5.10 – Distribución del reloj de referencia de AT&T



Al aumentar el tamaño de la memoria intermedia se incrementa proporcionalmente el retardo de transmisión a través de la red y este importante factor de calidad de la red debe limitarse. La acumulación de retardos en varios servicios produce violaciones en la calidad de funcionamiento; en telefonía por ejemplo, un retardo de más de 100 ms provoca problemas en los dispositivos de supresión del eco. En la referencia [10] aparecen las recomendaciones necesarias sobre las medidas que deben tomarse con respecto a la mejora en la precisión de la temporización en los relojes de la red (cuadro 5.1)

Cuadro 5.1 – Objetivos de la sincronización y referencias

Dispositivo que debe sincronizarse	Objetivos	Referencias
Reloj del equipo MIC interno (precisión absoluta)	50×10^{-6}	Recomendación UIT-T G.703
Los equipos más críticos del servicio telefónico ordinario (precisión absoluta)	$\sim 1 \times 10^{-9}$	Datos de AT&T [9]
Interfaz internacional de red (precisión con respecto al UTC)	1×10^{-11}	Recomendación UIT-T G.811
BSRF para la red de transporte (precisión con respecto al UTC)	1×10^{-12}	Datos de AT&T [9]
Nodo primario de la red de transporte (estabilidad)	$7 \times 10^{-13}/\text{día}$ $1 \times 10^{-13}/\text{semana}$	Objetivos Bellcore [9]
Nodo secundario de la red de transporte (estabilidad)	$8 \times 10^{-13}/\text{día}$ $3 \times 10^{-13}/\text{semana}$	Objetivos Bellcore [9]

5.5.2 Dinámica de la actividad del UIT-T en los aspectos de sincronización de las comunicaciones

En el pasado, los aspectos de temporización de la RTPC se consideraban como un asunto de especialistas en la materia y no entraban normalmente a formar parte del programa de instrucción general en materia de telecomunicaciones. Tras la introducción de la jerarquía digital síncrona (SDH), los puntos de partida básicos de tiempo y frecuencia fueron reconsiderados y reducidos a fórmulas recomendadas para evitar problemas a los operadores de redes.

El amplio crecimiento de las redes (de 1993 a 2000 el número de centrales se duplicó) y la creación de las nuevas tecnologías correspondientes (SDH/SONET, ATM, etc.) basadas en la utilización de servicios mejorados (tarjetas de crédito, servicios 800, etc.) exige una instalación sin problemas de las nuevas tecnologías de redes. La sincronización es una condición necesaria para la explotación y gestión de la red a fin de lograr una elevada calidad de servicio a bajo coste. La dinámica de las actividades de los organismos de normalización internacionales en el campo de la sincronización de redes refleja el desarrollo de la tecnología de redes. Cabe señalar que la experiencia de AT&T (Figura 5.10) fue incorporada a tres Recomendaciones del Libro Azul del CCITT (1988):

G.810 «Consideraciones sobre aspectos de temporización y sincronización».

G.811 «Requisitos de temporización en las salidas de relojes de referencia primarios adecuados para la explotación plesiócrona de enlaces digitales internacionales».

G.812 «Requisitos de temporización en las salidas de relojes subordinados adecuados para la explotación plesiócrona de enlaces digitales internacionales».

El funcionamiento plesiócrono es una buena decisión para las interfaces internacionales. Ayuda a evitar el delicado problema de quién debe sincronizar a quién, a nivel de pasarelas fronterizas. Con el funcionamiento plesiócrono, se obtiene la misma velocidad en cualquier nodo sin tener que realizar ajustes. La Figura 5.11 representa una cadena de sincronización típica correspondiente a las Recomendaciones y requisitos de las características de temporización de los relojes de nodo (cuadro 5.2).

Cuadro 5.2 – Características de temporización de los relojes de nodo

Niveles de Estrato del CCITT (1988)	Precisión de la sincronización	Precisión en régimen libre		Referencia normativa
		Desplazamiento de frecuencia inicial	Deriva de frecuencia por día	
PRC	$1,0 \times 10^{-11}$	–	–	G.811 (11/88)
TNC	–	$5,0 \times 10^{-10}$	$1,0 \times 10^{-9}$	G.812 (11/88)
LNC	–	$1,0 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-8}$	G.812 (11/88)
Reloj CPE	$5,0 \times 10^{-5}$	–	–	I.431 (11/88)

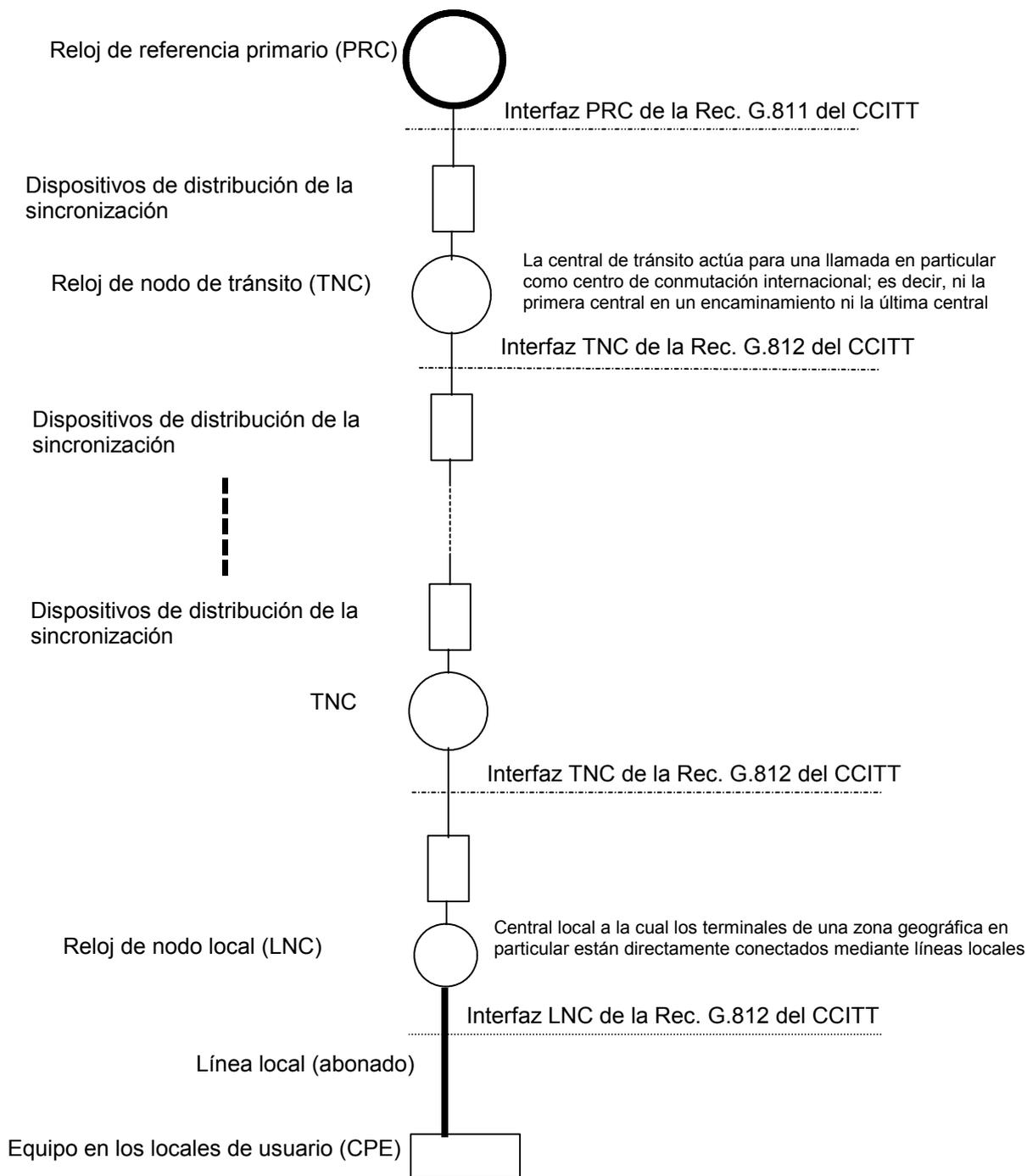
Cabe señalar que el UIT-T no determina la precisión del TNC sino el comportamiento del modo de funcionamiento en régimen libre del reloj subordinado. El funcionamiento en régimen libre se inicia tan pronto como la señal de referencia deja de estar disponible (se pierde). Ello significa que una salida de reloj subordinado ya no refleja una referencia externa. Generalmente, en el modo de funcionamiento en régimen libre, el control de salida de reloj se basa en datos almacenados adquiridos durante el funcionamiento en régimen sincronizado. En este caso, es más interesante predecir el comportamiento en el tiempo de la frecuencia del reloj subordinado. Se basa fundamentalmente en la utilización de un filtro de Kalman en los PLL y proporciona buenos resultados durante horas o días. Con el método moderno de modulación para relojes de cristal [11] se obtienen buenos resultados durante días, meses y años y se está desarrollando actualmente.

Las Recomendaciones correspondientes caracterizan el comportamiento de los relojes de nodo a cada nivel. En el caso particular, la Recomendación G.811 (11/88) establece el límite de la precisión del reloj de referencia primario (PRC) a largo plazo con respecto al UTC a un nivel de 1×10^{-11} , que es el que exhibieron los relojes de cesio comerciales de Estados Unidos en 1988.

NOTA – Los dispositivos de distribución de la sincronización (Figura 5.11) se han considerado únicamente de forma aislada. La caracterización de los relojes de nodo de conexión de los enlaces exige un análisis preliminar de sus proporciones y se están considerando actualmente los esfuerzos correspondientes. Por último, para obtener una estimación global del comportamiento de la red de sincronización se dan las definiciones y medidas normalizadas para los enlaces de distribución que se combinan fácilmente con las del reloj.

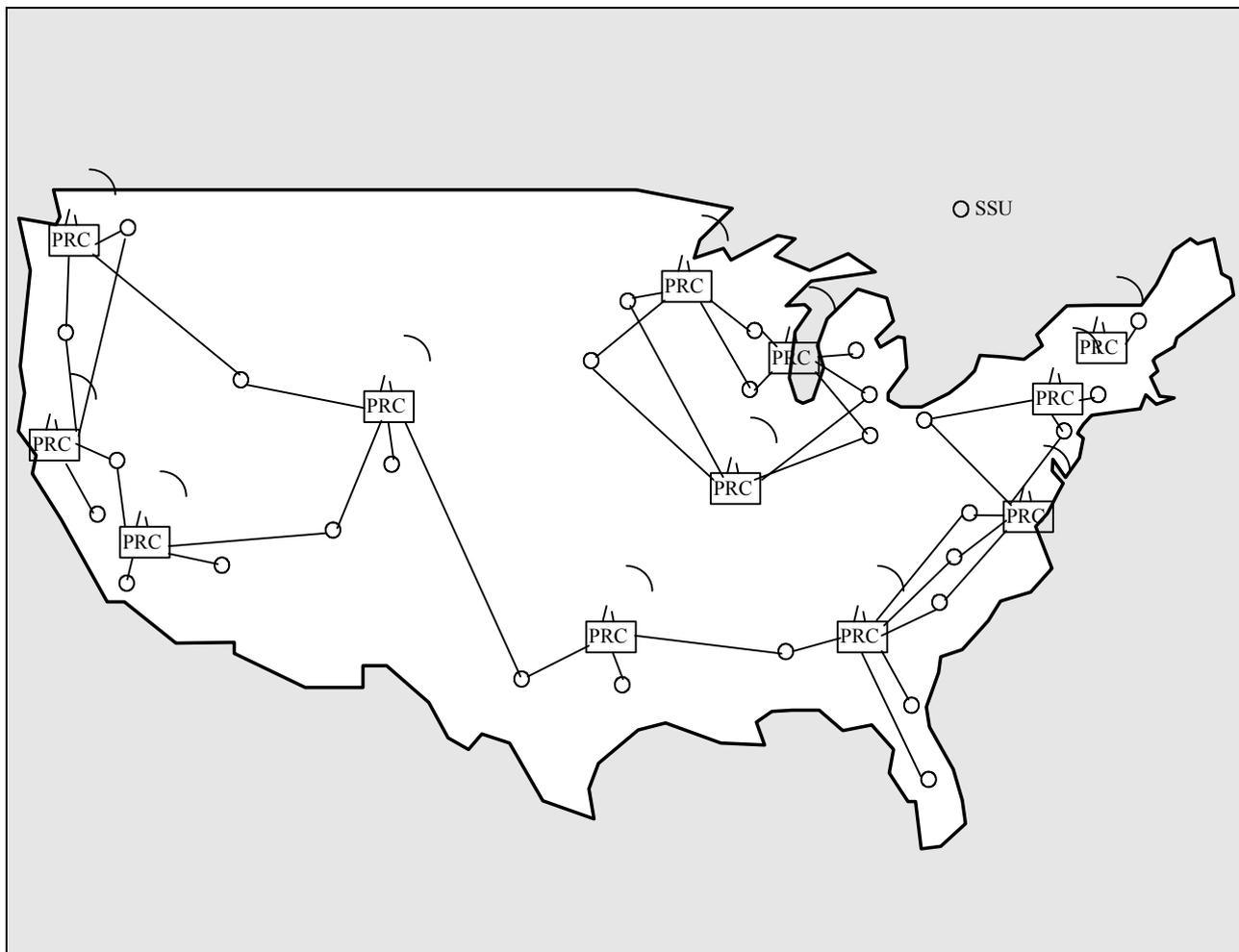
La sincronización de la RTPC asegura que todas las centrales digitales dependen en último término del mismo reloj principal (véase la Figura 5.10). No obstante, el funcionamiento de la red resulta perturbado cuando los relojes subordinados reciben una señal de sincronización procedente de un PRC a través de un dispositivo con degradaciones. La acumulación de los errores causados por los dispositivos da lugar a un aumento en la imprecisión de la frecuencia del PRC de 10^{-12} a 10^{-10} [9, 12]. Por lo tanto, la distribución del reloj contribuye en mucha mayor medida a los errores de temporización en una red que los propios relojes, y tales degradaciones del comportamiento no son aceptables en la red de transporte avanzada basada en la tecnología SONET/SDH.

Figura 5.11 – Cadena de sincronización típica



El nuevo plan de sincronización de AT&T fue introducido durante la década de los 90 mejorando el comportamiento de la precisión dos órdenes de magnitud para evitar la deficiencia en la distribución de la sincronización a larga distancia. Está relacionado con las redes de sincronización «PRC parcialmente distribuido» [13] (Figura 5.12).

Figura 5.12 – Sincronización por PRC



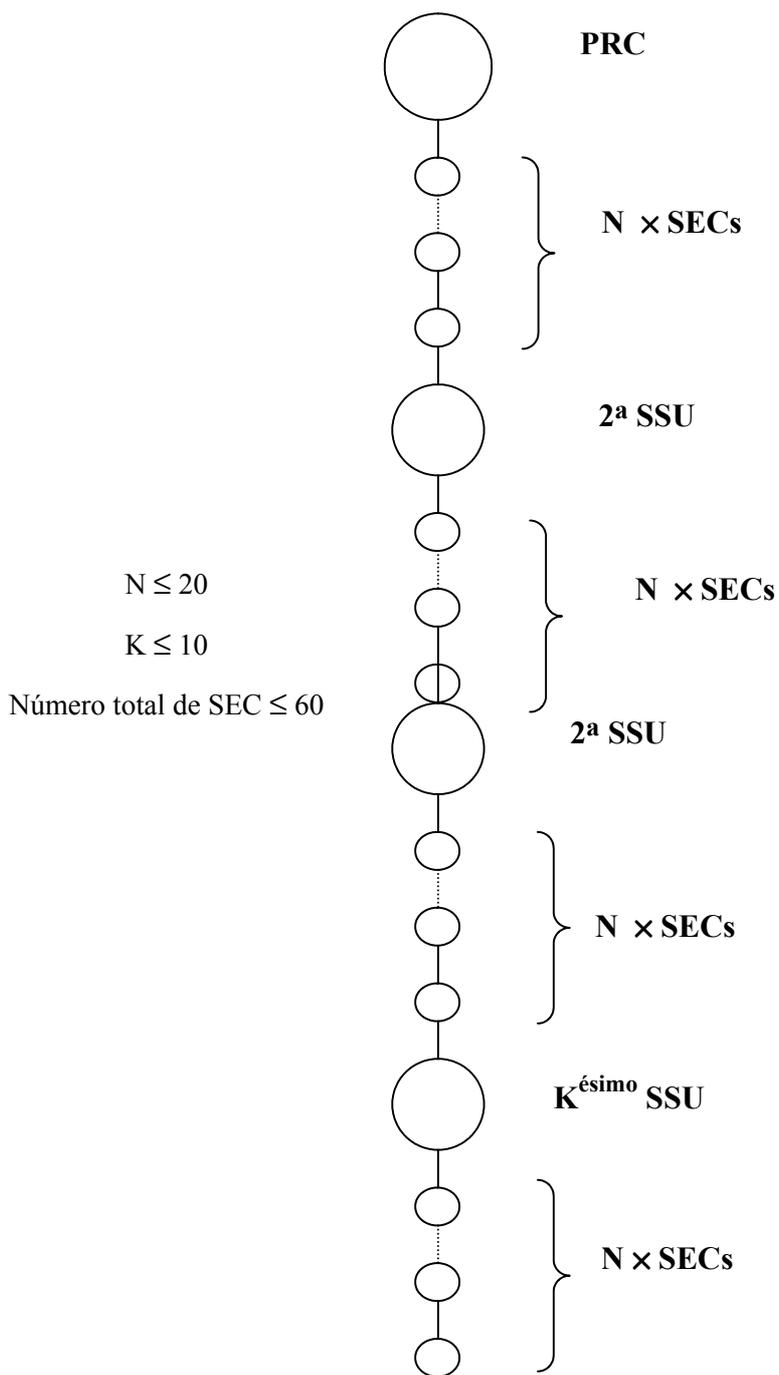
En la nueva planificación se utilizan nuevos métodos de distribución del reloj. A saber, la señal PRC, de la mejor calidad es accesible en todo el mundo gracias al GPS/GLONASS que es un sistema de determinación de la posición mediante radiocomunicaciones espaciales [14]. En vez de un solo PRC, se distribuyen 16 PRC con tecnología de rubidio/GPS mediante una red de transporte SONET completamente digital en la cual son críticas las funciones de conmutación y transmisión por división en el tiempo. El receptor GPS compacto va equipado con relojes de bajo coste, sencillos y fiables que satisfacen los requisitos PRC proporcionando una precisión de frecuencia de hasta 3×10^{-12} (en un día medio) y una precisión en el tiempo de ± 150 con respecto al tiempo GPS [15]. La red de los PRC parcialmente distribuidos con los receptores CPS para proporcionar a los nodos una precisión en la temporización a largo plazo está fuertemente interconectada y presenta una buena capacidad de verificación a varios niveles para detectar y resolver la degradación en la temporización antes de que repercuta en el servicio.

Todo ello ha constituido la base de modernas Recomendaciones UIT-T tales como:

- G.803 (06/97)** «Arquitecturas de redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona (SDH)» – Sección 8: «Arquitectura de las redes de sincronización».
- G.810 (08/96)** «Definiciones y terminología para redes de sincronización».
- G.811 (09/97)** «Características de temporización de los relojes de referencia primarios».

- G.812 (09/97) «Requisitos de temporización de relojes subordinados adecuados para utilización como relojes de nodo en redes de sincronización».
- G.813 (08/96) «Características de temporización de relojes subordinados de equipos de la jerarquía digital síncrona».
- G.871 (02/99) «Funciones de capa de sincronización».

Figura 5.13 – Nueva sincronización de red



La Figura 5.13 representa una cadena correspondiente a los nuevos dispositivos de sincronización de red, donde los relojes de nodo están interconectados a través de N elementos de red con relojes G.813. A diferencia con la RTPC, se muestra únicamente un tipo de reloj subordinado G.812 porque la diferencia de comportamiento en régimen libre del TNC y el LNC carece de importancia en la sincronización de la red SDH. Para mayor sencillez, la cadena de referencia de la Figura 5.13 no representa los dispositivos de distribución. Hasta la fecha no se han realizado mediciones prácticas para verificar este modelo de referencia «ideal». La influencia de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase de la temporización, afectadas por la red de transporte, aún no se ha considerado en esta conexión de referencia. No obstante, en este caso el ruido del reloj es despreciable en comparación con el de la línea de transmisión pues en la práctica puede acortarse la longitud de la cadena de referencia.

Por consiguiente, las nuevas tendencias en la sincronización de red se basan en PRC distribuidos con unas cadenas de sincronización más cortas. Los relojes subordinados tienen más de una entrada para las señales de referencia recibidas de los distintos PRC. A fin de lograr un funcionamiento fiable y estable de tales redes de sincronización se requiere una gestión de red perfecta. La Recomendación UIT-T G.781 contiene una descripción detallada de la organización de los trenes de sincronización con los correspondientes niveles de calidad de las señales de sincronización. Por ejemplo, la opción I de la red de sincronización SDH (para la jerarquía de 2 048 kbit/s) tiene cuatro niveles de calidad de sincronización (cuadro 5.3).

Cuadro 5.3 – Niveles de calidad de sincronización

Nivel de calidad [G.781, opción I]	Tipo de reloj que genera la señal de sincronización con el correspondiente nivel de calidad
Nivel de calidad PRC	G.811 (09/97) Reloj de referencia primario
Nivel de calidad SSU-A	G.812 (09/97) Tipo I (o reloj subordinado de tipo V que es igual al TNC G.812 (11/88))
Nivel de calidad SSU-B	G.812 (09/97) Reloj subordinado de tipo IV que es igual al TNC G.812 (11/88)
Nivel de calidad SEC	G.813 (08/96) SEC opción I
Nivel de calidad DNU	Esta señal no debe utilizarse para la sincronización

La Recomendación UIT-T G.812 considera tres tipos principales de SSU:

Tipo I es para redes a 2 048 kbit/s (la generación de fluctuación lenta de fase y la anchura de banda de los relojes de tipo I están limitadas a la instalación en la cadena de sincronización de referencia de la Figura 5.13).

Tipo II es para centros de distribución – red a 1 544 kbit/s.

Tipo III es para centrales terminales – red a 1 544 kbit/s.

Además, la Recomendación UIT-T G.812 incluye tres tipos adicionales de SSU para las redes existentes:

Tipo IV debe cumplir lo dispuesto en la Recomendación G.813, opción II (red a 1 544 kbit/s).

Tipo V es igual al TNC de la Recomendación G.812 (11/88).

Tipo VI es igual al LNC de la Recomendación G.812 (11/88).

5.6 Sincronización en ATM

La característica fundamental del modo de transferencia asíncrono (ATM) es que la transferencia de datos en la propia red es asíncrona pero no está relacionada con el servicio. Una red ATM debe manejar cualquier tipo de tráfico incluidos los que son inherentemente dependientes de la temporización. Por lo tanto, la sincronización de la red es uno de los temas más importantes en el diseño de una red ATM. Existen algunos tipos de tráfico que exigen sincronización entre la fuente y el destino tales como [17]:

- Servicios con velocidad binaria constante.
- Voz (incluida la señal de voz comprimida).
- Vídeo (incluida la señal de vídeo comprimida).
- Multimedia.

Únicamente las redes ATM que no se basan en estos tipos de servicios (redes de datos con velocidad binaria variable, por ejemplo) no tienen necesidad de sincronización.

5.7 Referencias

- [1] POLLET, Th. y PEETERS M. [1999] Synchronization with DMT Modulation. IEEE Communication Magazine. Abril, págs. 80-86.
- [2] MENDALI, U. y D'ANDREA, A.N. [1997] Synchronization Techniques for Digital Receivers. Plenum Press. 520p.
- [3] MEYR, H., MOENECLAEY, M. y FECHTEL, S. A. [1998] Digital Communication Receivers: Synchronization, Channel Estimation, and Signal Processing. Wiley. 827p.
- [4] SHOLTZ. R.A. [1980] IEEE Transactions COM-28, N° 8, agosto, págs. 1204-1215.
- [5] BYLANSKI, P. y INGRAM, D.G.W. [1976] Digital Transmission System. Peregrinus Ltd. on behalf of the IEE.
- [6] COOPER, C.A. [1979] Synchronization for Telecommunications in a Switched Digital Network. IEEE Transactions COM-27, N° 7, julio, págs. 1028-1033.
- [7] ANSI. [1998] Network and Customer Installation Interfaces, Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL), Metallic Interface. T1.413-1998.
- [8] LAAKSO, y otros [1996] Splitting the Unit Delay: Tools for Fractional Delay Filter Design. IEEE Trans. on Signal Processing. Enero, págs. 30-60.
- [9] ABATE, J.E. y otros [1989] AT&T New Approach to the Synchronization for Telecommunications Networks. IEEE Communications Magazine, vol. 27, abril, págs. 35-45.
- [10] KARTASHOFF, P. [1991] Synchronization in Digital Communication Networks. Proc. of the IEEE, vol. 79, N° 7, julio, págs. 1019-1028.

- [11] SHMALIY, Yu.S. [1998] The Modulational Method of Quartz Crystal Oscillator Frequency Stabilization. IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol.45, N° 6, págs. 1476-1484.
- [12] Synchronization Telecommunications Networks: Fundamentals of Synchronization Planning. HP Application Note 1264-3.
- [13] WONG, S. [1997] How to Synchronize Telecommunication Networks. Proc. of 11th European Frequency and Time Forum. Neushatel, Oscilloquartz S.A., CH-2002, Suiza, marzo.
- [14] LEWANDOWSKI, W. y THOMAS, C. [1991] GPS Time Transfer. Proc. of the IEEE, Vol. 79, N° 7, págs. 991-1000.
- [15] GPS-I Integrated GPS Receiver for OSA5548. SyncTrack, Oscilloquartz, A Company of SMH. Edición 01/agosto 96/FECH.
- [16] Synchronization Telecommunications Networks: Synchronizing SDH/SONET. HP Application Note 1264-2.
- [17] DUTTEN, J.R. y LENHARD, P. [1995] Asynchronous Transfer Mode (ATM). Second Edition. Prentice Hall PTR, Nueva Jersey.

5.8 Abreviaturas

A/D	Convertidor analógico-digital (<i>analogue-to-digital converter</i>)
ADSL	Línea de abonado digital asimétrica (<i>asymetric digital subscriber line</i>)
ANSI	American National Standards Institute
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BP	Filtro paso banda (<i>band pass (filter)</i>)
BSRF	Frecuencia de referencia de sincronización básica (<i>basic synchronization reference frequency</i>)
CBR	Velocidad binaria constante (<i>constant-bit-rate</i>)
CCITT	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (predecesor del UIT-T)
CPE	Equipo en los locales del usuario (<i>customer premises equipment</i>)
DA	Con ayuda de los datos (sincronización) (<i>data-aided (synchronization)</i>)
E1	Formato europeo de telefonía digital (establecido por la Conferencia de administraciones europeas de correos y telecomunicaciones) que transporta datos a la velocidad de 2,048 Mbit/s
4ESS	Sistema de conmutación electrónico N° 4 – Herramienta de la Bell System y sistema tándem basado en la comunicación digital por división en el tiempo
GLONASS	Sistema Mundial de Navegación por Satélite (<i>global navigation satellite system (Rusia)</i>)
GPS	Sistema mundial de determinación de la posición (<i>global positioning system (USA)</i>)
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
LNC	Reloj de nodo local (<i>local node clock</i>)
LP	Filtro paso bajo (<i>low pass (filter)</i>)

MIC	Modulación por impulsos codificados
ML	Máxima probabilidad (<i>maximum likelihood</i>)
NDA	Sin ayuda de los datos (sincronización) (<i>non-data-aided (synchronization)</i>)
PLL	Bucle de enganche de fase (<i>phase locked loop</i>)
POTS	Servicio telefónico ordinario (<i>plain old telephone service</i>)
PRC	Reloj de referencia primario (<i>primary reference clock</i>)
RTPC	Red telefónica pública conmutada
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SEC	Relojes subordinados de los equipos SDH (<i>SDH equipment slave clocks</i>)
SONET	Red óptica síncrona (<i>synchronous optical NETWORK</i>)
SSU	Unidad de suministro de sincronización (<i>synchronization supply unit</i>)
TEC	Corrector de errores de temporización (<i>timing error corrector</i>)
TED	Detector de errores de temporización (<i>timing error detector</i>)
TNC	Reloj de nodo de tránsito (<i>transit node clock</i>)
UIT-T	Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (anteriormente CCITT)
UTC	Tiempo universal coordinado (<i>coordinated universal time</i>)
VBR	Velocidad binaria variable (<i>variable-bit-rate</i>)
VCXO	Oscilador de cristal controlado por tensión (<i>voltage controlled crystal oscillator</i>)
VDSL	Línea de abonado digital de muy alta velocidad (<i>very-high-rate digital subscriber line</i>)
XO	Oscilador de cristal (<i>crystal oscillator</i>)

CAPÍTULO 6

6 Transmisión digital (PDH, SDH, DWDM, xDSL)

6.1 Jerarquía digital plesiócrona (PDH)

6.1.1 Principios

A principios de los años 60 se establecieron nuevas técnicas de transmisión utilizando modulación por impulsos codificados (MIC). Estas técnicas son una combinación de la modulación por impulsos codificados con la transmisión múltiplex por división en el tiempo y, al igual que las técnicas de portadora FDM, permiten utilizar un solo circuito de transmisión para más de un canal telefónico.

El principio básico de la transmisión MIC supone el muestreo periódico de las señales de frecuencia vocal. La frecuencia de muestreo es plesiócrona; es decir, se muestrea a una velocidad nominal con una desviación admisible con respecto a dicha velocidad. La amplitud analógica obtenida en cada instante de muestreo se convierte en un cierto número de impulsos digitales agrupados dentro de un intervalo de tiempo. La señal transmitida a la línea consta de una serie de dichos intervalos de tiempo que en el terminal receptor se reconvierten a una serie de señales analógicas, permitiendo así la reconstrucción de la información de la señal vocal en forma analógica. Los intervalos de tiempo de la señal vocal se disponen en tramas que contienen intervalos de tiempo para la sincronización y la señalización de trama.

Las señales de línea MIC consisten en impulsos digitales que pueden regenerarse utilizando repetidores digitales relativamente sencillos situados a intervalos regulares. La relación señal/ruido, la atenuación y la distorsión son parámetros casi independientes del número de repetidores. Las limitaciones surgen debido a la acumulación de la fluctuación de fase. Las demandas menos estrictas en la calidad del medio de transmisión se obtienen a costa de un aumento en los requisitos de anchura de banda. El proceso de codificación-decodificación MIC, donde un número infinito de amplitudes se representan mediante un número finito de muestras cuantificadas, produce un ruido de cuantificación que puede reducirse utilizando métodos de codificación no lineal.

Entre las ventajas de la transmisión digital se encuentran la capacidad de englobar todos los tipos de señales que se representan en forma digital; por ejemplo, las señales vocales, los datos, el sonido y el vídeo.

6.1.2 Normas

La UIT ha definido la MIC y los multiplexadores digitales en sus Recomendaciones de la serie G.

A continuación se indican algunas de las Recomendaciones más importantes al respecto con sus títulos abreviados:

- Velocidades binarias de la jerarquía digital (G.702).
- Características de las interfaces digitales (G.703).
- Características principales del equipo múltiplex (G.731 – G.755).

Existen en el mundo tres jerarquías múltiplex que difieren en las velocidades binarias, en el formato de trama y en los métodos de codificación. Véase el cuadro 6.1.

Cuadro 6.1 – Niveles PDH

Nivel PDH	Europa (ley A)		EE.UU. (ley μ)		Japón (ley μ)	
0	64 kbit/s	1 canal	64 bit/s	1 canal	64 kbit/s	1 canal
1	2 048 kbit/s	30 canales	1 544 kbit/s	24 canales	1 544 kbit/s	24 canales
2	8 448 kbit/s	120 canales	6 312 kbit/s		6 312 kbit/s	
3	34,368 Mbit/s	480 canales	44,736 Mbit/s		32,064 Mbit/s	
4	139,264 Mbit/s	1 920 canales	139,264 Mbit/s		97,728 Mbit/s	

Las Recomendaciones describen las funciones de los equipos pero no los detalles de realización. Algunas de las funciones esenciales son las siguientes:

Muestreo	La amplitud de la señal analógica de 4 kHz de anchura de banda se mide (muestrea) 8 000 veces por segundo.
Cuantificación y codificación	Cada muestra se representa por un código de 8 bits, lo que permite 256 palabras codificadas que representan 256 niveles de señal analógica.
Canal	Cada canal telefónico se representa por palabras de 8 bits repetidas 8 000 veces por segundo, lo que supone una velocidad binaria de 64 kbit/s.
Formación de trama	Los intervalos de tiempo que representan los diversos canales se multiplexan para constituir una trama que se identifica mediante una palabra de alineamiento de trama. Además, las tramas pueden contener información de señalización y gestión.
Gestión	Los bits de gestión en las tramas definen las acciones y señales correspondientes simplificando de esa forma la identificación de la fuente y la localización de averías.

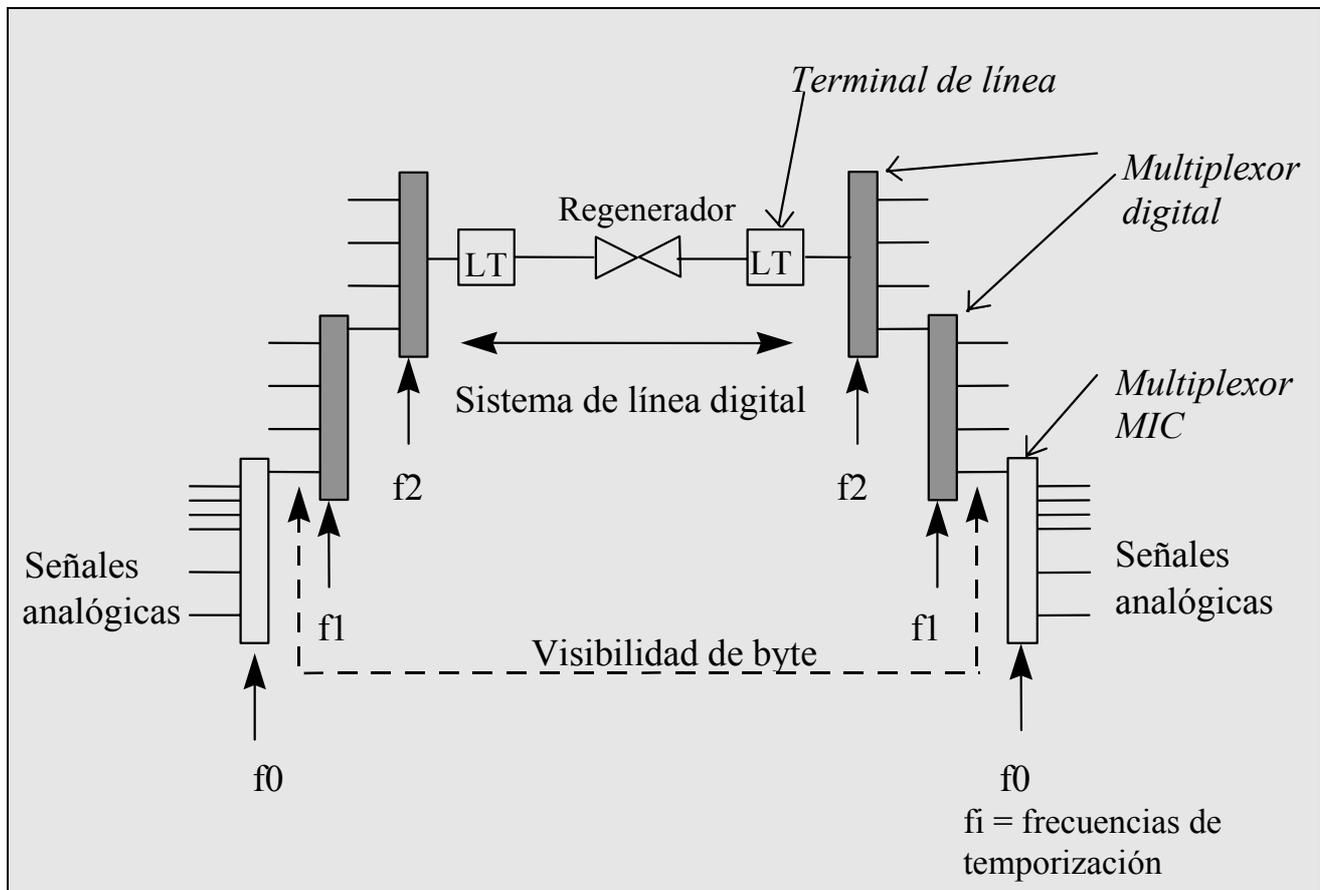
6.1.3 Realización

La Figura 6.1 ilustra el mecanismo de transmisión plesiócrona desde un multiplexor MIC a una central utilizando multiplexores digitales y sistemas de línea digital. Cada multiplexor digital tiene su propia fuente de temporización. Debido al entrelazado de bits en cada nivel del multiplexor, la estructura de 8 bits (byte) de cada canal es accesible únicamente en los puntos extremos de la conexión. Las diferentes fuentes de temporización del multiplexor hacen imposible recuperar un canal en particular (intervalo de tiempo) en una trama de orden superior sin un equipo adicional de multiplexión/demultiplexión. Además, cada trama plesiócrona proporciona muy poca información de tara que se necesitaría para lograr una gestión eficaz de la red. A pesar de las ventajas de la técnica MIC descritas anteriormente en comparación con la transmisión analógica, la transmisión plesiócrona no es adecuada para las futuras redes integradas.

Los sistemas plesiócronicos se utilizan, por ejemplo:

- en zonas rurales con cables de pares aéreos (múltiplex de niveles 1 y 2);
- en zonas locales para conexión de estaciones radioeléctricas (múltiplex de niveles 1 y 2);
- en redes de larga distancia con cables coaxiales y de fibra óptica (múltiplex de niveles 3, 4 y 5).

Figura 6.1 – Ejemplo de multiplexión plesiócrona



6.2 Jerarquía digital síncrona (SDH)

6.2.1 Principios

A mediados de los años 80, la demanda cada vez mayor de velocidades binarias de transmisión más elevadas y de un tratamiento más flexible de los canales, junto con unos requisitos de gestión más elaborados, llevaron a la creación del concepto de jerarquía digital síncrona (SDH, *synchronous digital hierarchy*) que amplía los principios de PDH definiendo nuevos niveles administrativos obtenidos por intercalamiento directo de bytes, lo que proporciona un cierto número de ventajas:

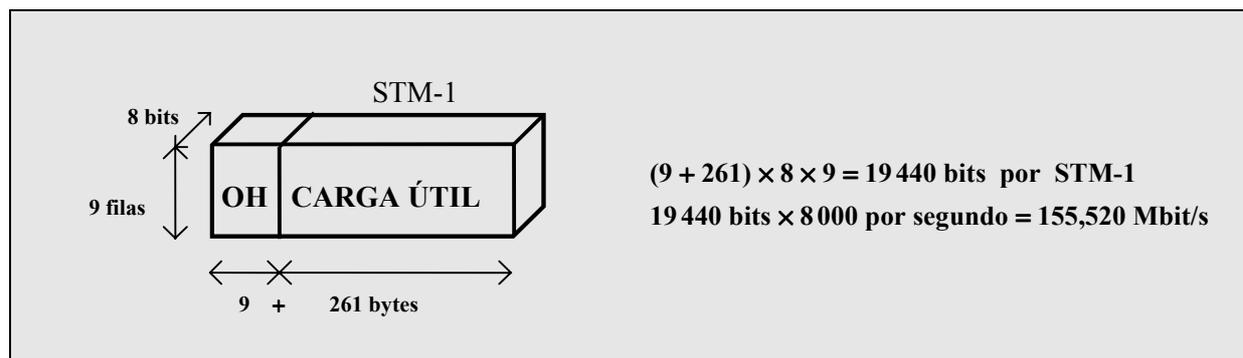
- Los canales digitales de 64 kbit/s o grupos de canales pueden incorporarse a las señales SDH o extraerse directamente de ellas con lo que se obtiene un equipo de inserción/extracción económico.
- Las señales plesiócronas de distintos niveles y pertenecientes a diferentes jerarquías (por ejemplo, CEPT, ANSI) pueden hacerse corresponder a la SDH y transmitirse por señales SDH.
- Los canales digitales pertenecientes a distintos niveles pueden conmutarse en un equipo de interconexión digital (DXC, *digital cross connect*) síncrona.
- El encaminamiento en redes DXC puede controlarse mediante instrucciones permitiendo de forma flexible distintas configuraciones de red lógica en diferentes instantes.

- Las DXC permiten la clasificación (por ejemplo, separación de las señales de datos, voz y vídeo) y el empaquetamiento (utilización económica de los medios de transmisión) de la información transmitida.
- Por último, pero no por ello menos importante, los equipos de SDH y DXC se han diseñado para una gestión de red basada en los principios de las redes de gestión de las telecomunicaciones (TMN).

Las señales SDH se transmiten en forma de módulos de transporte síncronos (STM, *synchronous transport modules*). El módulo STM-1, mostrado en la Figura 6.2, contiene 2 349 bytes de datos (carga útil STM) y 81 bytes de tara (STM OH, *STM overhead*) que se transmiten a una velocidad de 8 000 veces por segundo dando lugar a una velocidad binaria de transmisión de 155,520 Mbit/s. Pueden lograrse velocidades de transmisión más elevadas de $155,52 \times N$ con módulos de transporte síncrono STM-N y con niveles de SDH $N = 4, 16$ y 64 .

La carga útil STM contiene información de acuerdo con el esquema de multiplexión SDH representado en la Figura 6.3. Las señales plesiócronicas se convierten (se hacen corresponder) a señales síncronas, se insertan en contenedores virtuales (VC, *virtual containers*), se multiplexan y se transmiten como módulos de transporte síncrono (STM) a través de una línea digital. Los VC y los STM contienen además una amplia información de tara para la gestión y el alineamiento de fase de las señales digitales en las diversas etapas de multiplexión.

Figura 6.2 – Ilustración del módulo de transporte síncrono STM-N



6.2.2 Normas

La UIT ha definido equipos SDH y su gestión en la serie de Recomendaciones G. A continuación se indican algunas de las Recomendaciones más importantes con sus títulos abreviados:

- Redes digitales y su arquitectura (G.801, G.802, G.803, G.805).
- Principales características de los equipos de multiplexión para SDH (G.781, G.782, G.783).
- Sistemas de línea digital (G.957, G.958).
- Gestión de la jerarquía digital síncrona (G.773, G.774 y G.784).

El Cuadro 6.2 muestra los niveles de SDH, las velocidades binarias correspondientes y el número de canales de 64 kbit/s.

La red óptica síncrona (SONET) se basa en una velocidad de 52 Mbit/s (norma de Estados Unidos) que puede multiplexarse a STM-1.

Cuadro 6.2 – Niveles de SDH

Niveles de SDH	Velocidad binaria (kbit/s)	Número de canales telefónicos
STM-1	155 520	1 920
STM-4	622 080	7 680
STM-16	2 488 320	30 720
STM-64	9 953 280	122 880

La Figura 6.3 muestra los esquemas de multiplexión aceptados en todo el mundo y la Figura 6.4 representa un ejemplo de multiplexión basada en este esquema.

Una señal tributaria plesiócrona de 2 Mbit/s se hace corresponder a un contenedor síncrono (C-12) con la adición de los bits de justificación para la adaptación de frecuencias. Tras añadir la información de tara de trayecto (VC-12 POH: *VC-12 path overhead*) para la gestión del trayecto, se obtiene el contenedor virtual (VC-12). La diferencia de fase entre VC-12 y las unidades afluentes (TU, *tributary units*) se indica mediante un puntero de unidades afluentes; tras la adición del puntero se obtiene la unidad afluente en TU-12 (procesamiento de puntero). En la primera etapa de multiplexión se insertan tres TU-12 en un grupo de unidades afluentes (TUG-2, *tributary unit group-2*). La segunda etapa de multiplexión combina 7 TUG-2 y la información de tara de trayecto (VC-3 POH) en el contenedor virtual VC-3. Tras la adición de la información de puntero para el alineamiento de fase, se obtiene la unidad administrativa AU-3 (procesamiento de puntero). La tercera etapa de multiplexión multiplexa 3 AU-3 a grupo de unidad administrativa (AUG, *administrative unit group*). Por último, en la cuarta etapa de multiplexión se intercalan N AUG de byte. STM-N se obtiene tras la adición de la tara de sección de repetidor (RSOH, *repeater section overhead*) para la gestión de las secciones repetidoras y la tara de sección de múltiplex (MSOH, *multiplex section overhead*) para la gestión de las secciones múltiplex.

De esa forma, un STM-1 puede transmitir $3 \times 7 \times 3 = 63$ señales afluentes a 2 Mbit/s o 3×34 Mbit/s señales afluentes o una señal afluente a 140 Mbit/s.

Las Recomendaciones SDH describen detalladamente la información de tara ofrecida por STM-N para la gestión de los trayectos VC, del multiplexor, de las secciones del regenerador y de las funciones de gestión extensivas proporcionadas a través de las interfaces Q3 de la TMN. Los terminales SDH van equipados con protección de sección múltiplex para las conexiones punto a punto. Los anillos de protección compartida de sección múltiplex (MSSP, *multiplex section shared protection rings*), consisten en 2 anillos bidireccionales conectados a multiplexores de inserción/extracción, y ofrecen una eficaz protección contra los fallos del nodo o del anillo.

6.2.3 Realización

Las redes SDH contienen multiplexores SDH (terminales y multiplexores de inserción/extracción) con interconexiones digitales (con distintos niveles de interconexión) y sistemas de línea digital (utilizando cables coaxiales o de fibra óptica). La Figura 6.5 ilustra una red de transmisión SDH típica para la transmisión de afluentes plesiócronicos.

Figura 6.3 – Esquema de multiplexión SDH

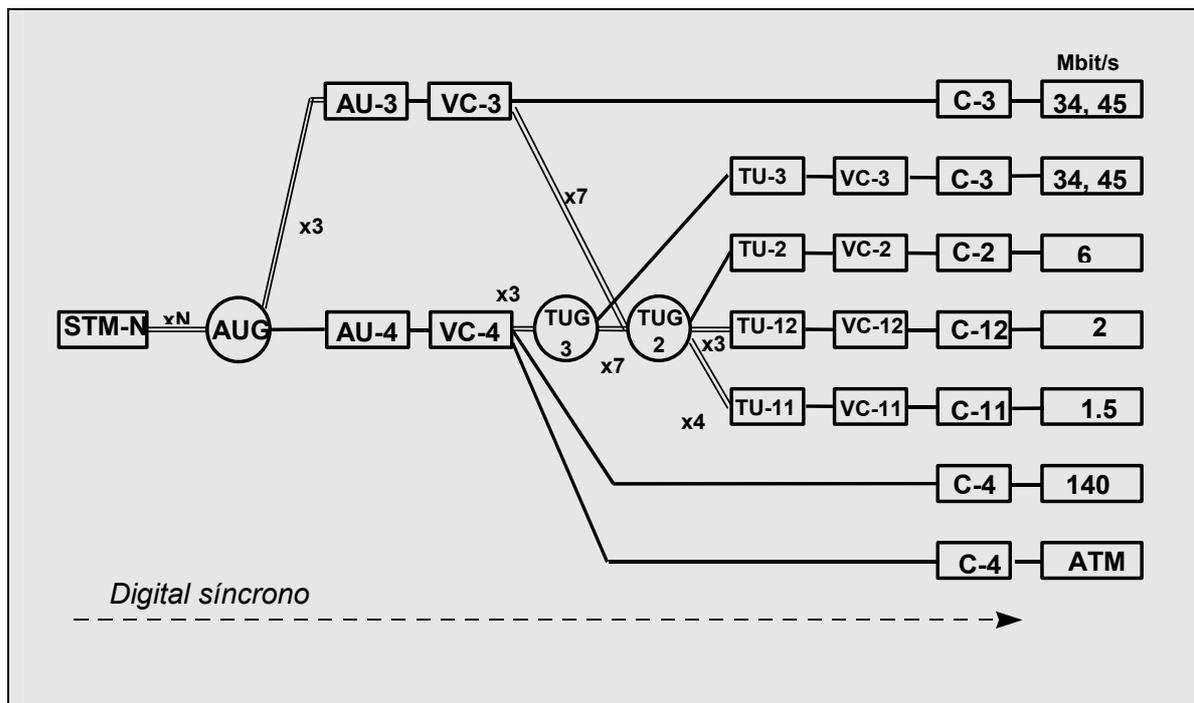


Figura 6.4 – Ejemplo de multiplexión a 2 Mbit/s

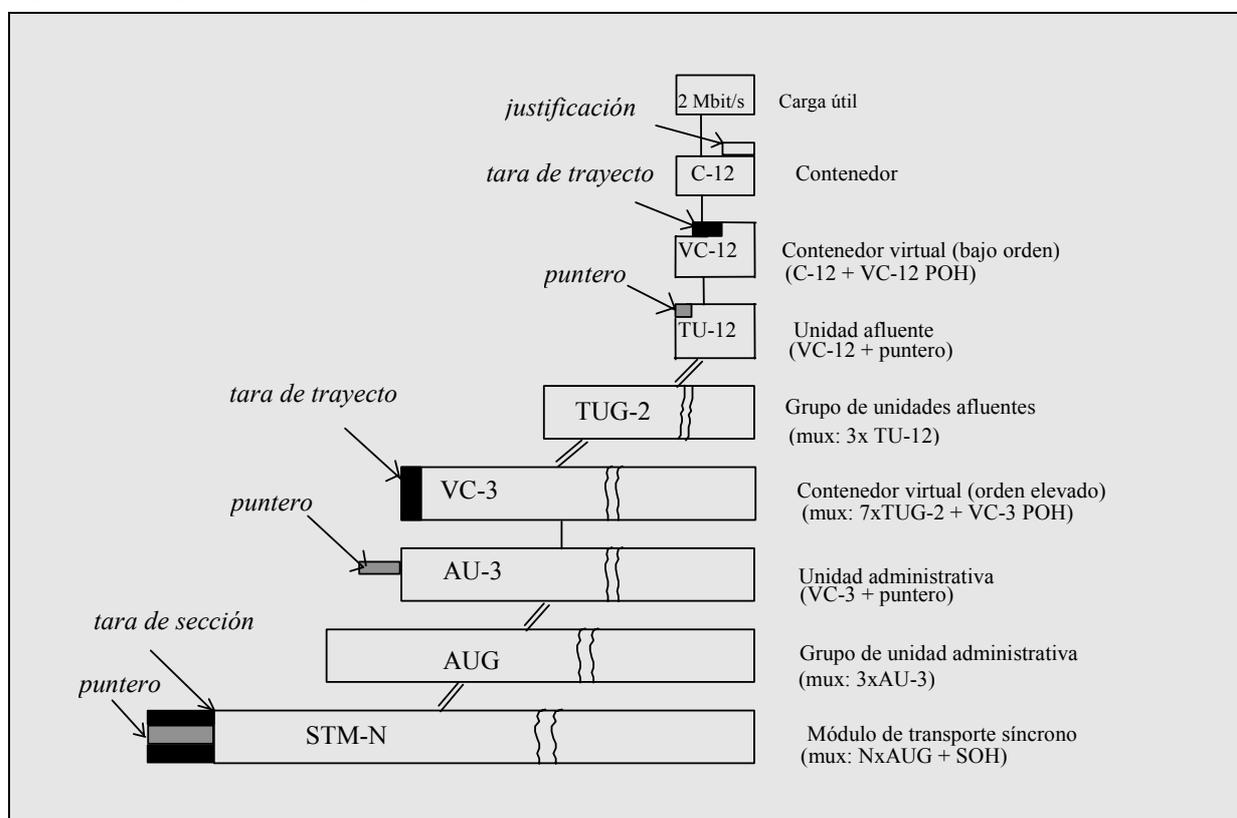
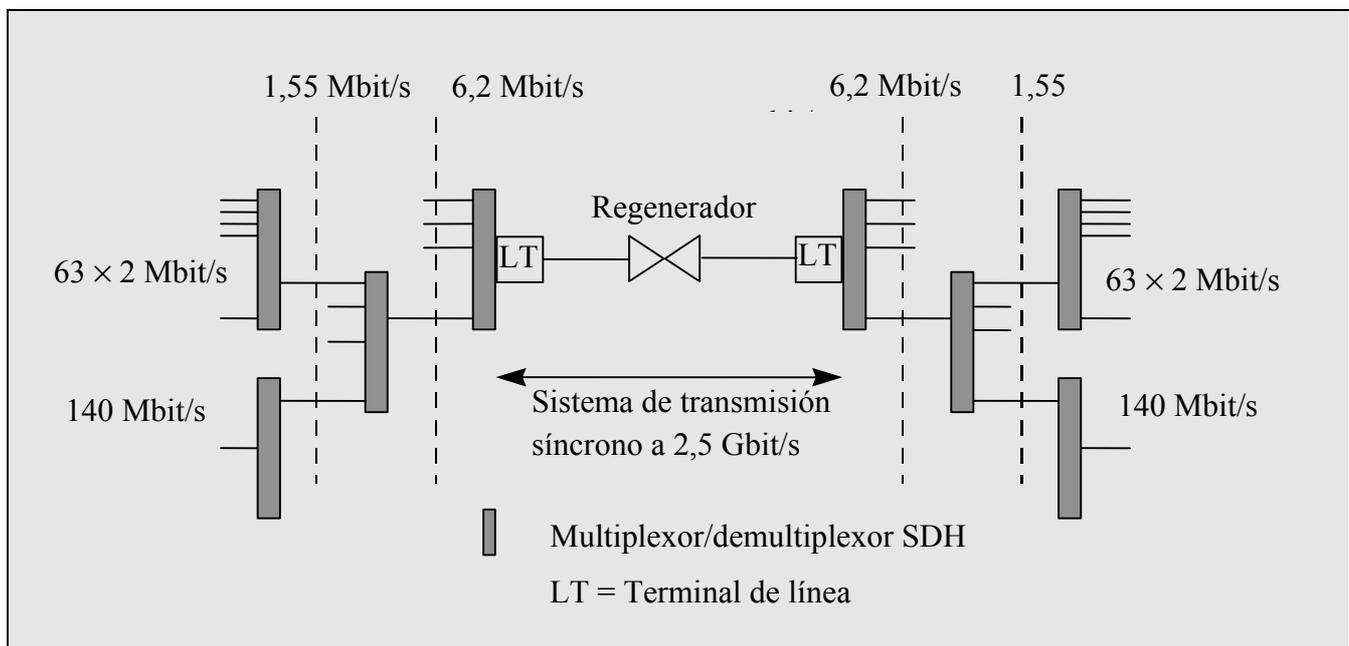


Figura 6.5 – Ejemplo de red de transmisión SDH



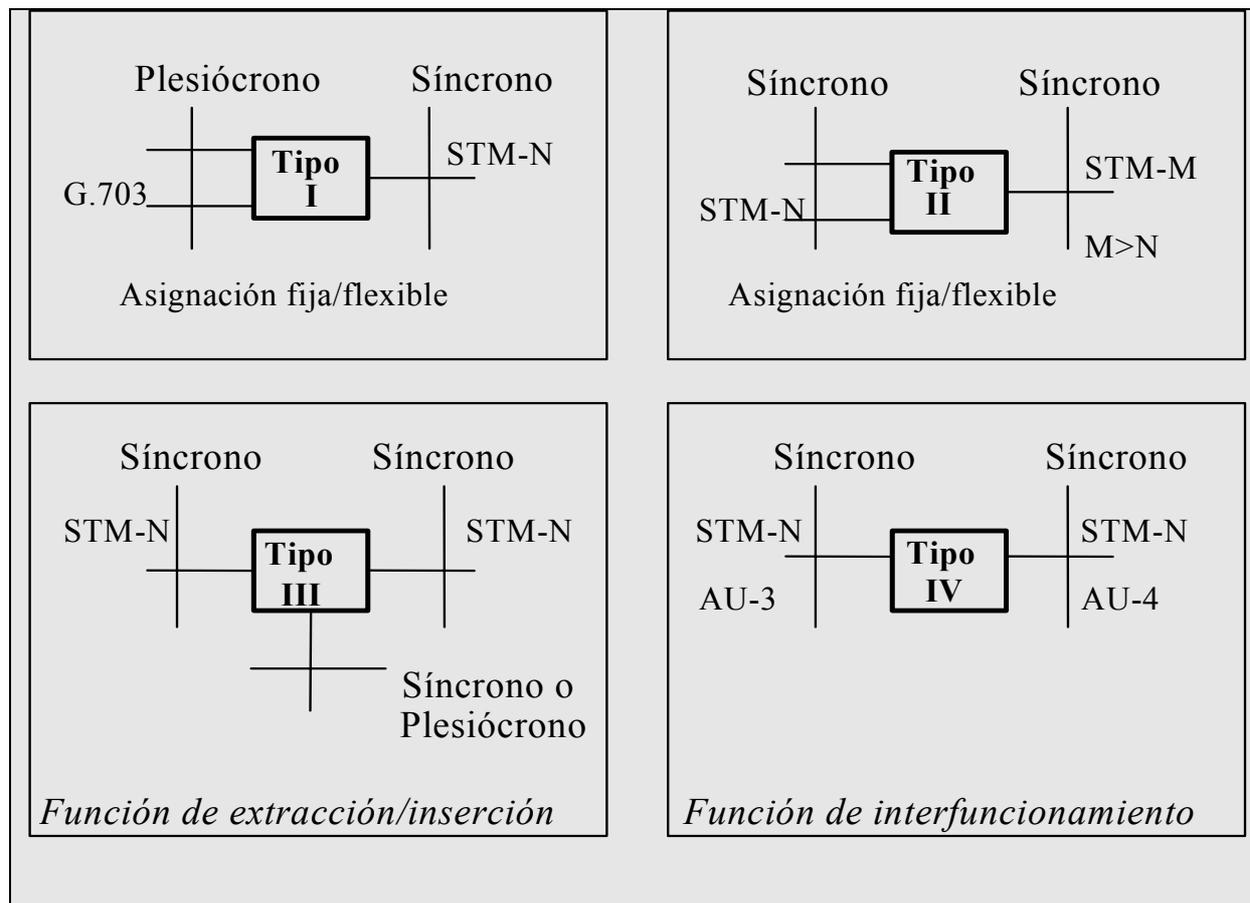
Se ha normalizado un cierto número de tipos de multiplexores que se muestran en la Figura 6.6:

- Tipo I para la conversión de señales plesiócronicas a señales síncronas STM-N. Las señales entre terminales plesiócronicos o partes de la red pueden transmitirse aprovechando las ventajas de la transmisión síncrona.
- Tipo II para la conversión entre varias señales STM. Puede multiplexarse un cierto número de señales STM-1 a una velocidad binaria superior a fin de utilizar más eficazmente los cables de fibra óptica.
- Tipo III para la extracción/inserción de señales plesiócronicas y síncronas a STM-N. Pueden insertarse a un flujo de bits síncronos, o extraerse del mismo, un solo canal o grupos de canales; por ejemplo, para multiplexores de inserción/extracción en configuraciones en anillo.
- Tipo IV para el interfuncionamiento entre AU-4 (CEPT) y AU-3 (ANSI). Interfuncionamiento entre distintas jerarquías; por ejemplo, si deben transmitirse a través de dispositivos ANSI señales SDH relativas a CEPT y viceversa.

Los tipos I y II permiten una asignación de canal flexible lo que corresponde a una funcionalidad de interconexión limitada.

Los equipos de interconexión digital permiten la conmutación de varios afluentes síncronos y, tras la correspondencia, afluentes plesiócronicos que se introducen y salen del DXC a nivel de puerto. El nivel utilizado para la conmutación (nivel de interconexión) es igual o inferior al nivel de puerto. Los niveles de puerto típicos son: señales de 2, 34, 140 Mbit/s y STM-1. Los niveles de interconexión típicos son: VC-12, VC-3, VC-4.

Figura 6.6 – Tipos de multiplexor SDH



Los diversos equipos de interconexión digital pueden caracterizarse por estos niveles como se indica a continuación:

- DXC 1/0 por ejemplo, nivel de puerto de 2,048 Mbit/s y nivel de interconexión 64 kbit/s para redes de líneas arrendadas de 64 kbit/s;
- DXC 4/1 por ejemplo, nivel de puerto de 140 Mbit/s y nivel de interconexión VC-12 para redes de líneas arrendadas de 2 Mbit/s;
- DXC 4/4 por ejemplo, nivel de puerto de 140 Mbit/s o STM-1 y nivel de interconexión VC-4 para la protección de red, junto con DXC 4/1 para la administración de red.

Dependiendo de los requisitos se ha considerado un cierto número de combinaciones DXC, por ejemplo:

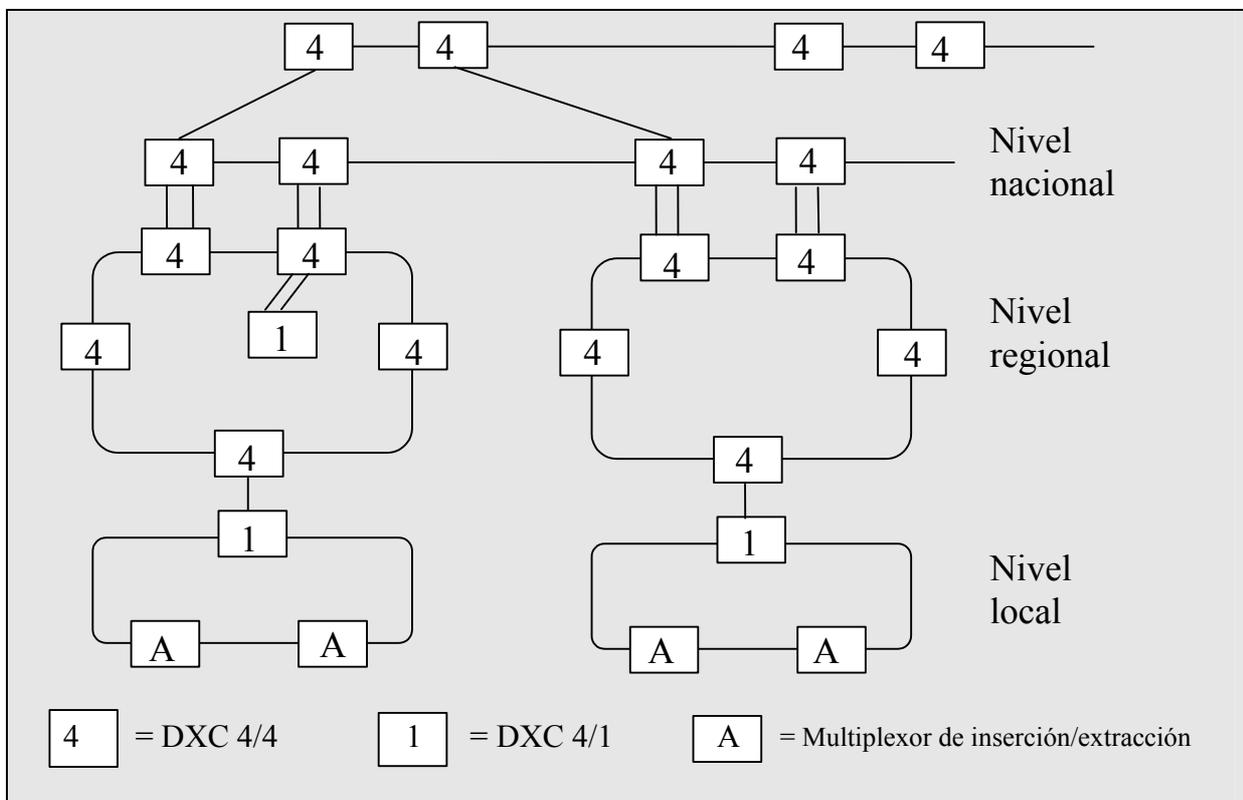
Cuadro 6.3 – Tipos DXC

Tipo DXC	Niveles de puerto plesiócronicos y síncronicos (y niveles de interconexión)
Tipo I	140 Mbit/s/STM-N (VC-4)
Tipo II	2, 34, 140 Mbit/s/STM-N (VC-12)
Tipo III	2, 34, 140 Mbit/s (VC-12) y 34 Mbit/s (VC-3) y 140 Mbit/s (VC-4)/STM-N

Los sistemas de línea digital, los multiplexores SDH y los equipos DXC son los componentes de las nuevas redes de transmisión digital. En la Figura 6.7 se muestra una configuración típica. La red del ejemplo consta de tres capas de red (capas de red nacional, regional y local) que utilizan principalmente configuraciones en anillo en cada capa. Las razones para utilizar esta estructura de red son las siguientes:

- la flexibilidad de las DXC aumenta el grado de utilización y simplifica la planificación; por ejemplo, las conexiones entre los abonados en las distintas partes de red de acceso utilizan la capa regional y la capa nacional para el establecimiento de la conexión;
- los anillos MSSP y la utilización de las conexiones de 2 nodos entre 2 anillos adyacentes ofrece un nivel muy elevado de fiabilidad;
- la estructura de red sencilla es adecuada para la TMN, lo que simplifica la explotación, la administración y el mantenimiento a la vez que disminuye los costes de gestión.

Figura 6.7 – Ejemplo de red SDH



En la introducción de la SDH pueden seguirse tres estrategias distintas:

- La estrategia de arriba a abajo en la cual la SDH se utiliza en primer lugar en la red troncal y de larga distancia para ofrecer una mayor capacidad de transmisión y una capacidad de gestión mejorada.
- La estrategia de abajo a arriba en la cual se introduce la SDH en primer lugar en la red local constituyendo islas SDH; por ejemplo, para clientes locales que requieren interconexión de datos a alta velocidad.
- La estrategia de superposición que da lugar a redes SDH separadas; por ejemplo, para clientes distribuidos que requieren una calidad y unas velocidades de transmisión de datos mejoradas en comparación con las redes existentes.

6.3 Múltiplex por división de longitud de onda de alta densidad (DWDM)

6.3.1 Principios

La demanda continua de aumento de anchura de banda a coste razonable, junto con la evolución de las fibras ópticas y de los componentes ópticos de las propias fibras se ha traducido en un renacimiento de los sistemas por división de frecuencia (FDM). Sin embargo, como los sistemas FDM con hilos de cobre pueden transmitir únicamente unos 10 000 canales telefónicos analógicos, los sistemas múltiplex por división de longitud de onda de alta densidad (DWDM, *dense wavelength division multiplex*) sobre fibras podrán transmitir unos 30 millones de canales telefónicos digitales o el número correspondiente de canales de banda ancha.

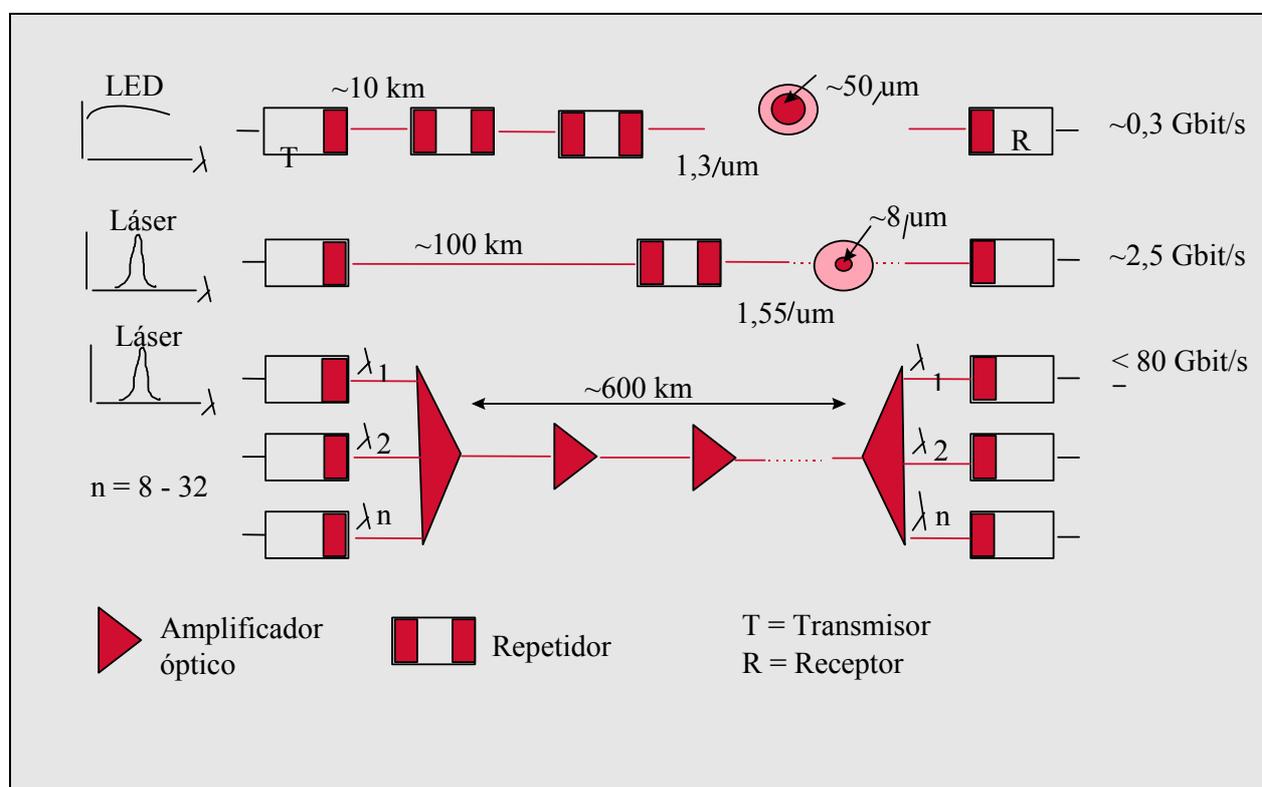
La Figura 6.8 ilustra la evolución de los sistemas de transmisión por fibra óptica.

A principios de los años 70 los sistemas con transmisores por diodo electroluminescente (LED, *light emitting diode*) que utilizaban fibras multimodo en la banda de $1,3 \mu\text{m}$ y unas distancias entre repetidores de 10 km podían transmitir hasta unos 300 Mbit/s.

A finales de los 80 los sistemas con transmisores Láser que utilizaban fibras monomodo en la banda de $1,55 \mu\text{m}$ y unas distancias entre repetidores de 100 km podían transmitir hasta unos 2 500 Mbit/s.

A finales de los 90 los sistemas con funcionamiento en paralelo, láseres de banda estrecha a distintas frecuencias y amplificadores de fibra con impurezas de erbio que utilizan fibras monomodo en la banda de $1,55 \mu\text{m}$ y distancias entre amplificadores de 120 km transmitirán hasta unos 2 500 Gbit/s. Sin embargo, la distancia total entre terminales DWDM estará limitada a unos 600 km.

Figura 6.8 – Evolución de los sistemas de transmisión por fibra óptica



Cuadro 6.4 – Ventajas e inconvenientes de la DWDM

Ventajas de la DWDM	Inconvenientes de la DWDM
<p>DWDM ofrece velocidades de transmisión elevadas en pares de fibra óptica y la capacidad puede aumentarse sin necesidad de tender nuevos cables pues pueden utilizarse los cables existentes.</p> <p>La capacidad de transmisión puede incrementarse de forma modular añadiendo longitudes de onda adicionales cuando se requiera un aumento de la capacidad.</p> <p>Los sistemas DWDM son transparentes; es decir, distintas longitudes de onda pueden transmitir datos diferentes a diversas velocidades de transmisión de datos.</p> <p>La transmisión de DWDM bidireccional es posible a través de una sola fibra.</p>	<p>Debido a las imperfecciones que presentan los actuales amplificadores ópticos, el número de amplificadores y la distancia total entre terminales DWDM es limitada.</p> <p>Los sistemas DWDM ofrecen menos capacidades de supervisión y gestión en comparación con los sistemas múltiplex por división en el tiempo.</p>

6.3.2 Normas

La UIT ha definido las redes ópticas en sus Recomendaciones de la serie G.

A continuación se indican algunas de esas Recomendaciones con sus títulos abreviados:

- Sistemas de línea óptica con amplificadores ópticos y multiplexión óptica (G.681).
- Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos (G.692).
- Estructuras y correspondencia para la red de transporte óptica (G.709).
- Características funcionales de los equipos de redes ópticas (G.798).
- Marco para las Recomendaciones sobre redes ópticas:
- Arquitectura, requisitos y gestión (G.871, 872, 873, 874 y 875).

Las Recomendaciones describen:

- las atribuciones de frecuencias;
- las interfaces de acceso y de línea;
- las funciones de gestión.

La Figura 6.9 muestra la disposición de las longitudes de onda recomendada por la UIT, que permite hasta 43 frecuencias ópticas en la ventana de 1,55 μm .

Se utiliza una frecuencia adicional como canal de supervisión óptico (OSC, *optical supervisory channel*). La Figura 6.10 muestra un ejemplo de un OSG situado a 1,51 μm ; es decir, fuera de la banda de frecuencias de los canales de la carga útil. El OSC puede cursar una señal de trama de 2 Mbit/s que permite transmitir amplia información de gestión; por ejemplo, traza y estado de la sección óptica, control de potencia de la salida del láser, canales de comunicaciones de datos y circuitos de servicio de ingeniería.

Figura 6.9 – Disposición de las longitudes de onda de la UIT

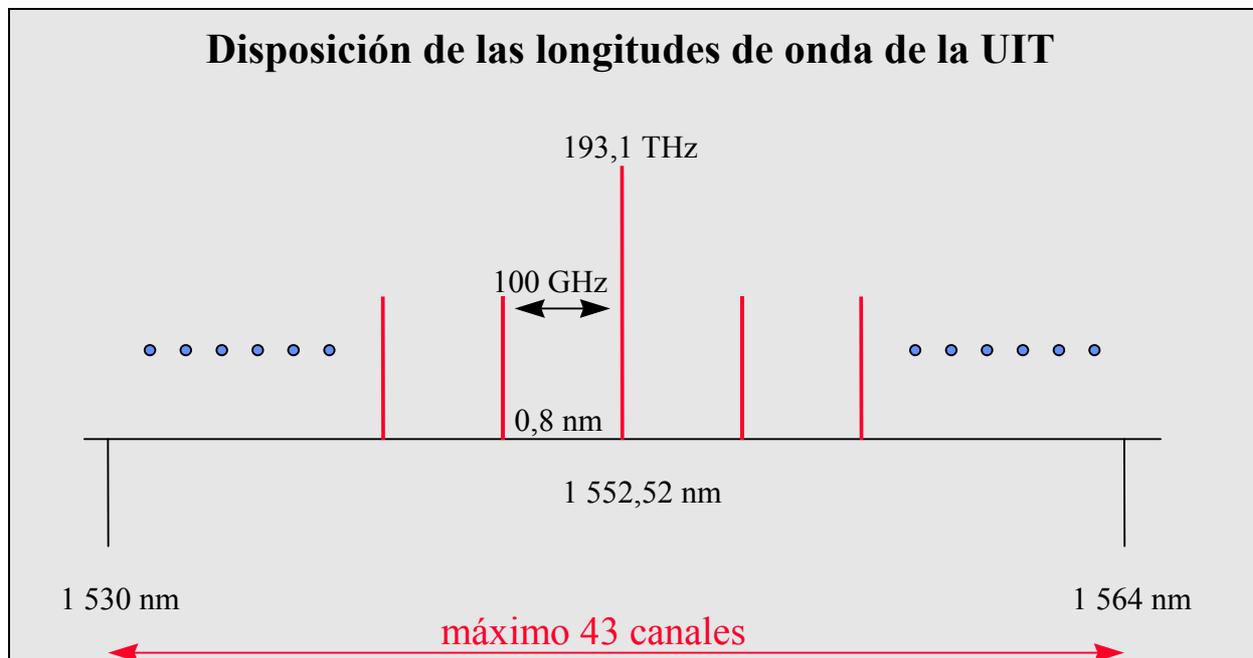
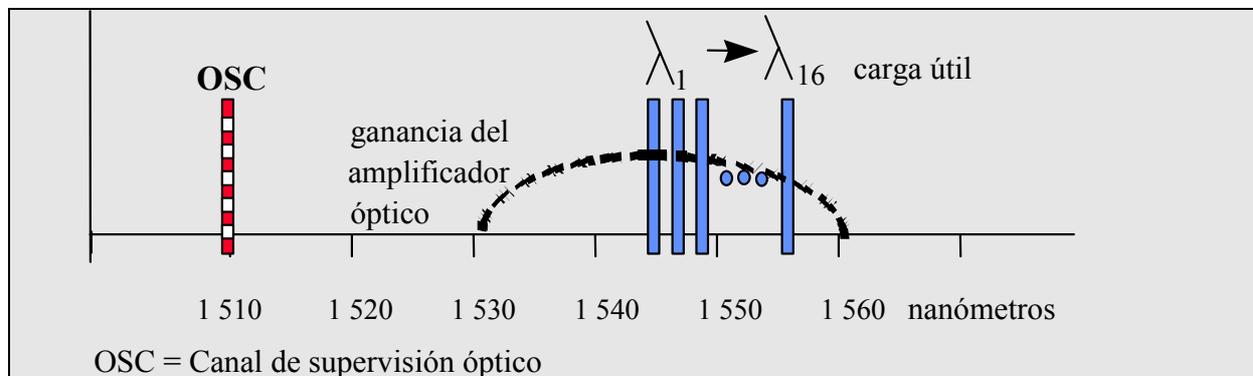


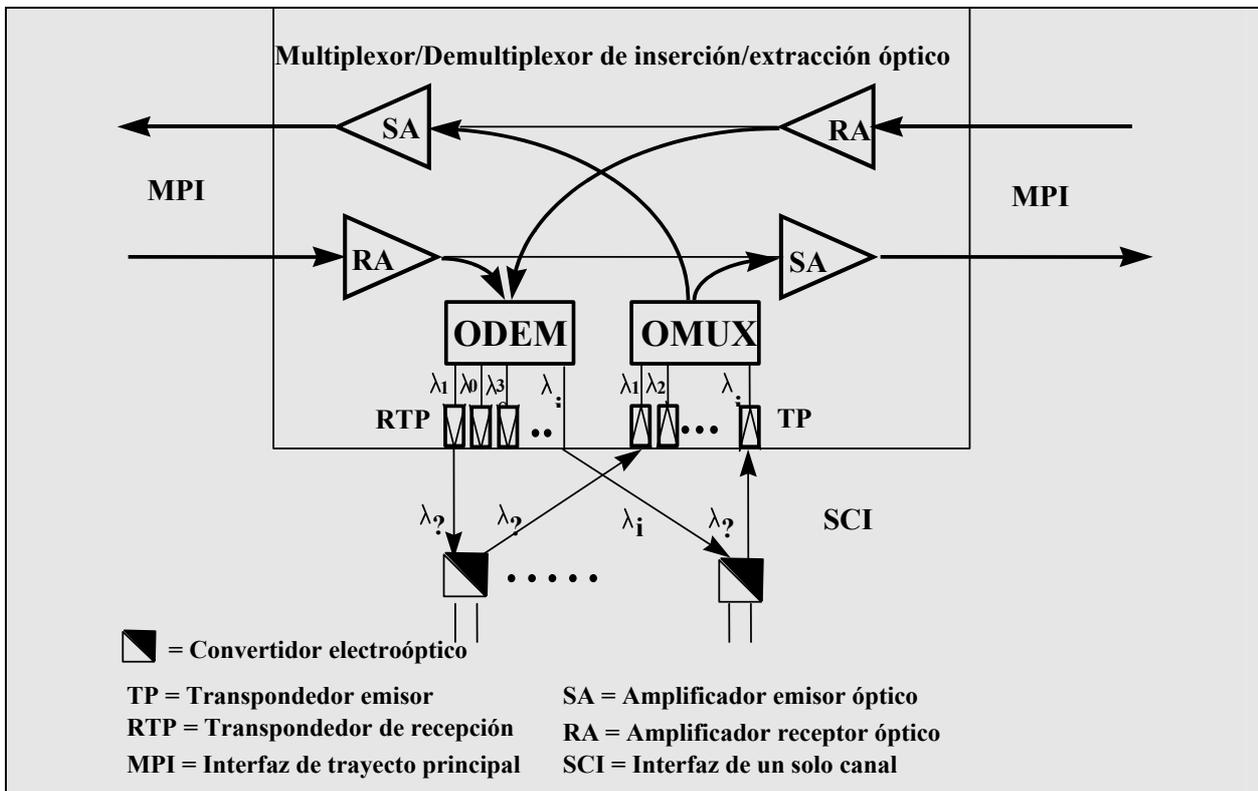
Figura 6.10 – Canal de supervisión óptico



6.3.3 Realización

La Figura 6.11 ilustra las funcionalidades de multiplexión/demultiplexión y de inserción/extracción ópticas en un multiplexor/demultiplexor de inserción/extracción óptico (OADM, *optical add-drop multiplexer/demultiplexer*). Los afluentes ópticos entrantes en la interfaz de un solo canal (SCI, *single channel interface*) normalmente tienen longitudes de onda sin especificar generadas en convertidores electroópticos. Se convierten a longitudes de onda normalizadas en un transpondedor emisor (TP), se multiplexan en un conjunto acoplador de fibra y se transmiten a través de un amplificador emisor óptico (SA) a la interfaz de trayecto principal (MPI, *main path interface*). En el sentido de recepción las señales de línea entrante se amplifican en un amplificador receptor óptico (RA) y se demultiplexan en filtros de longitud de onda discretos, por ejemplo, en guías de onda con red de elementos radiantes coplanares. Se necesitan transpondedores de recepción (RTP, *receive transponders*) si las señales de 1,55 μm no son adecuadas para los siguientes convertidores. Además de las frecuencias de inserción/extracción, otras frecuencias también pueden atravesar el OADM. La función de inserción/extracción del OSC no se muestra en la figura.

Figura 6.11 – Ejemplo de multiplexor/demultiplexor de inserción/extracción óptico



Las figuras 6.12 y 6.13 muestran configuraciones de redes ópticas típicas.

La red punto a punto consiste en multiplexores/demultiplexores de terminal óptico (OTM, *optical terminal multiplexers/demultiplexers*) y amplificadores de línea óptica (OLA, *optical line amplifiers*). Para la gestión, se conecta el OSC a una estación de trabajo (WS, *work station*) a través de una unidad de control (CON) y una interfaz de gestión Q3.

Utilizando multiplexores/demultiplexores de inserción/extracción ópticos (OADM) es posible utilizar redes de protección punto a punto ópticas. La conmutación del estado de funcionamiento al estado de protección se inicia por la detección de la señal y se activa por las funciones del OSC.

Puede disponerse de un cierto número de OADM en anillo ofreciendo unas configuraciones de red y de tráfico flexibles. En el caso de averías en el nodo o en la línea puede activarse un reencaminamiento en el anillo mediante las funciones OSC. En el ejemplo mostrado, el tráfico entre los nodos A + B, A + C y C + D utiliza la frecuencia λ_1 y el tráfico entre los nodos A + D se basa en la frecuencia λ_2 . Una avería entre los nodos A y C provoca un reencaminamiento a través de los nodos B y D.

Figura 6.12 – Canal de supervisión óptico

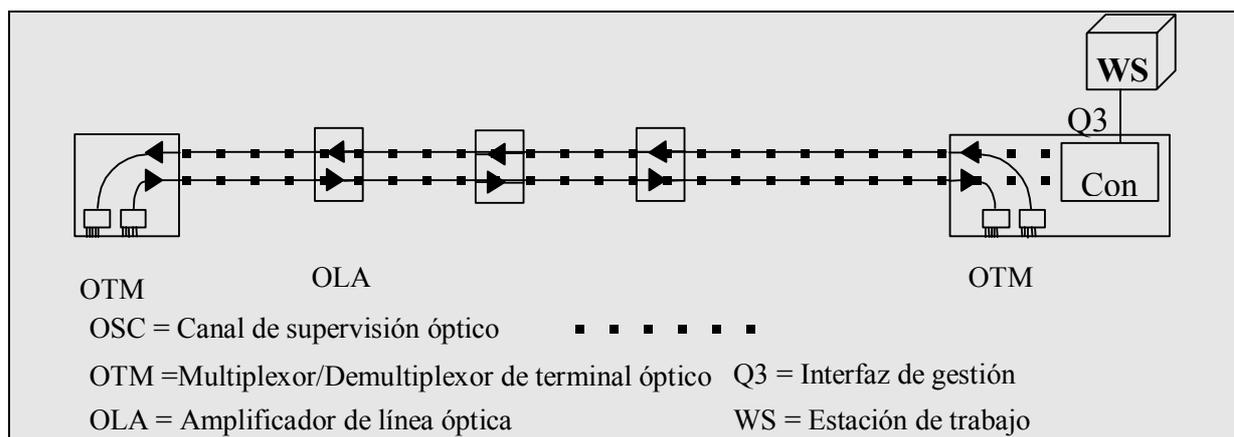
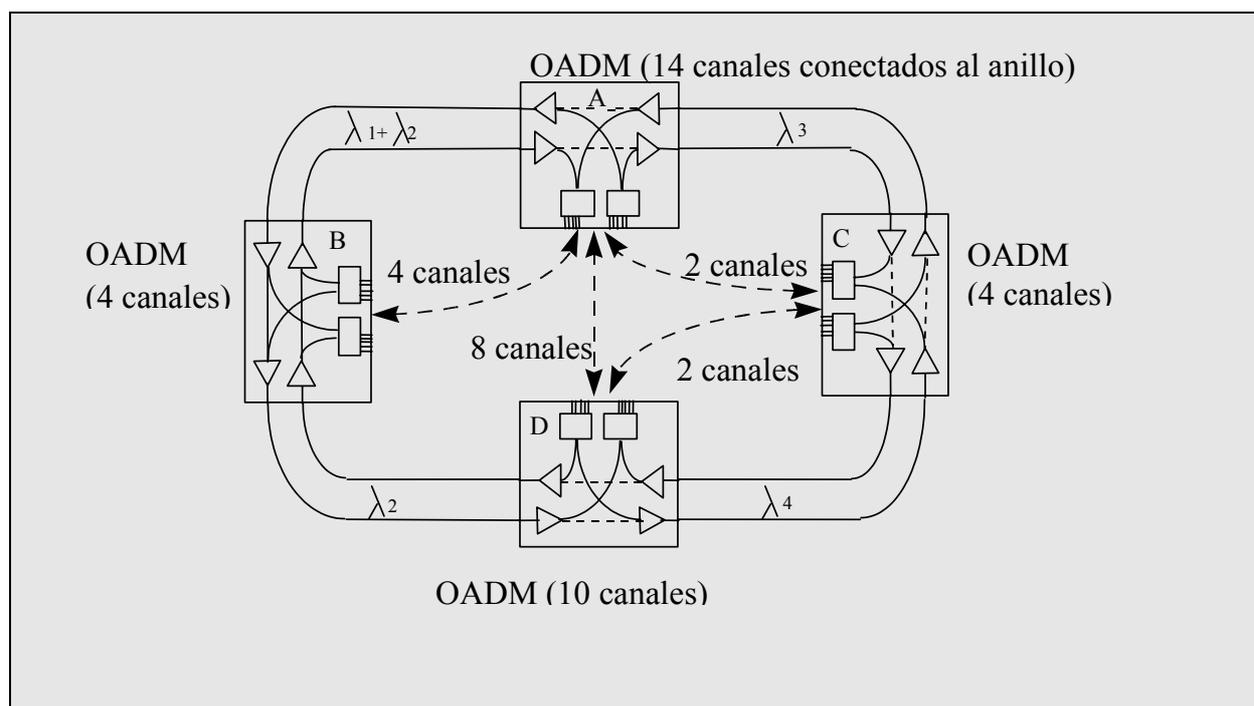
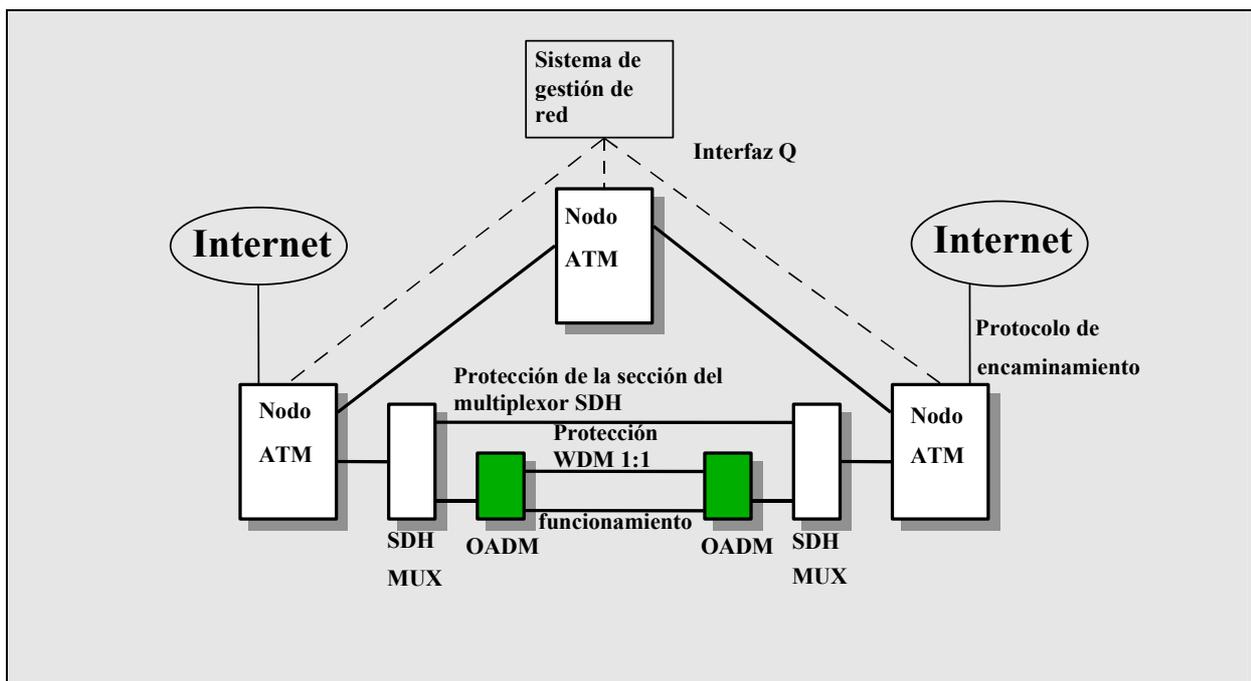


Figura 6.13 – Ejemplo de tráfico en una red en anillo óptica



Cabe esperar que las futuras redes de transmisión se basen en ATM para el establecimiento de servicios. Las señales ATM pueden cursarse mediante transmisión SDH y las señales SDH pueden cursarse mediante transmisión DWDM. Como ilustra la Figura 6.14, la combinación de estas tecnologías permite una cierta variedad de diferentes esquemas de protección y encaminamiento. El ejemplo muestra la protección DWDM y SDH que coopera con los dispositivos de reencaminamiento de los nodos ATM controlados, por ejemplo, por un sistema de gestión de red. En el caso de conexiones a Internet es posible un reencaminamiento adicional utilizando los protocolos de encaminamiento Internet. La elección adecuada de los mecanismos de protección reviste gran importancia a la hora de garantizar una alta calidad de funcionamiento de los servicios existentes y nuevos.

Figura 6.14 – Protección de la red



6.4 Líneas de abonado digital (XDSL)

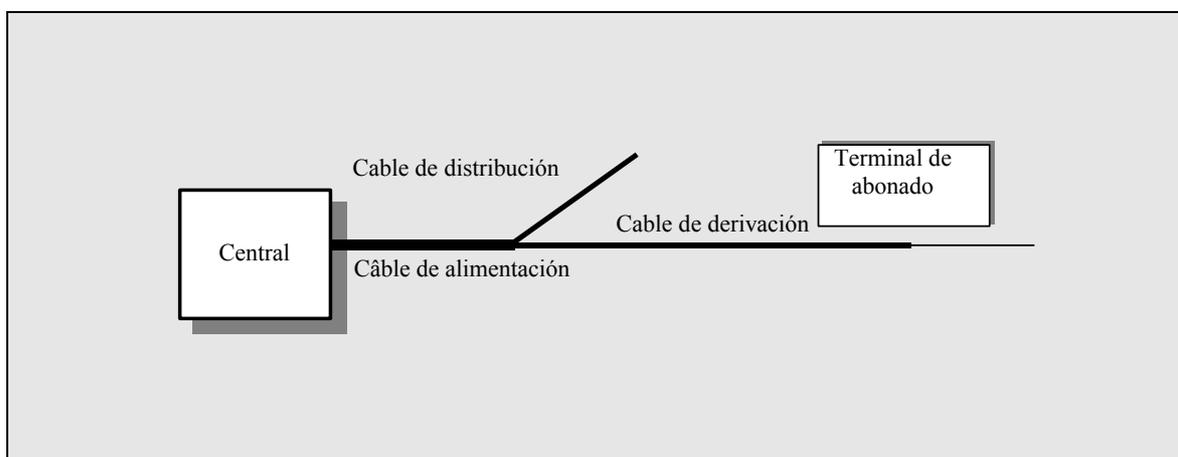
6.4.1 Bucles de abonado

Los usuarios de los servicios de telecomunicaciones, los abonados, están conectados a través de la red de acceso a las redes de tránsito. Históricamente, estas conexiones, bucles de abonado, consisten en pares de hilos de cobre trenzados ensamblados en cables. La Figura 6.15 muestra un ejemplo de planta de bucles telefónicos con cables de alimentación dirigidos a zonas de abonados concentrados, cables de distribución dirigidos a emplazamientos de posibles abonados y cables de derivación dirigidos a los locales del usuario.

El bucle de abonado ha sido estudiado durante muchos años y existen distintos modelos para describir sus parámetros más importantes tales como:

- el tipo de cable (diámetro del hilo, material de aislamiento);
- la longitud del cable;
- la estructura del bucle (bobinas de carga, tomas de derivación);
- las fuentes de ruido (diafonía, ruido impulsivo, interferencia de radiofrecuencia).

Figura 6.15 – Ejemplo de planta de bucles telefónicos



Para las señales de frecuencias vocales analógicas normalmente es la atenuación, basada en el calibre del cable, la que determina la longitud del bucle de abonado. En algunos casos se utilizan bobinas de carga para aumentar el alcance.

En el caso de señales digitales con anchuras de banda superiores a las frecuencias vocales normalmente son la atenuación, la diafonía y el retardo de fase los factores que limitan las longitudes del bucle de abonado. Además, el ruido impulsivo puede repercutir en el alcance.

La introducción de nuevos servicios que exigen señales digitales con velocidades binarias cada vez mayores hace necesario ampliar la banda de frecuencias utilizable de los bucles de abonado existentes con tecnologías sofisticadas o sustituir los pares trenzados con medios de transmisión de banda ancha tales como cables de fibra/coaxiales o transmisión inalámbrica.

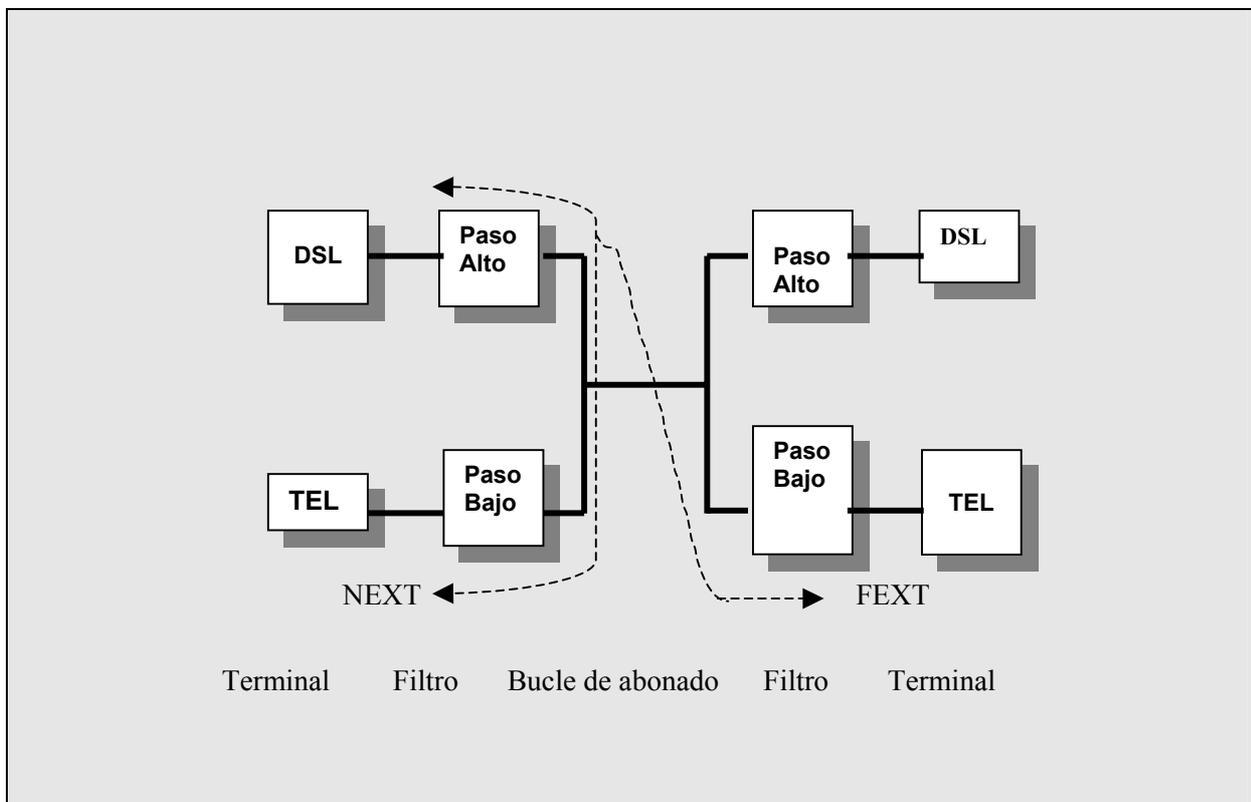
El gran coste que supone la sustitución de los actuales bucles de abonado, junto con los desarrollos en el campo de procesamiento de la señal digital, ha dado lugar a la aparición de nuevas tecnologías destinadas a utilizar de manera más eficaz la anchura de banda disponible, tales como:

- módems en banda base;
- módems en banda vocal;
- línea de abonado digital (xDSL).

Aproximadamente el 15% de los bucles de abonado existentes exige actividades de mejora para adecuarse a las técnicas xDSL. Las medidas correctivas incluyen la introducción de repetidores a mitad de tramo, la supresión de bobinas de carga y, en algunos casos, la eliminación de las tomas de derivación. La transmisión simultánea de las señales de frecuencia vocal y señales de frecuencias más elevadas en el mismo sentido o en sentidos opuestos puede exigir la instalación de divisores como ilustra la Figura 6.16.

La paradiafonía (NEXT, *near-end crosstalk*) es una degradación muy importante en los sistemas que comparten la misma banda de frecuencia para la transmisión ascendente y descendente. El ruido NEXT llega a un receptor situado en el mismo extremo del cable que el transmisor origen del ruido. La telediafonía (FEXT, *far-end crosstalk*) es el ruido detectado por el receptor situado en el extremo lejano del cable procedente del transmisor que es la fuente de ruido. La FEXT es menos severa que la NEXT porque el ruido FEXT resulta atenuado al atravesar toda la longitud del cable.

Figura 6.16 – Ejemplo de instalación de divisor



Las configuraciones del filtro divisor hacen posible aislar las aplicaciones del servicio telefónico ordinario (POTS) y DSL. Los divisores disminuyen la influencia de los cambios de impedancia relativos al colgado y descolgado y de las perturbaciones impulsivas, por sobreoscilaciones y de diafonía. La paradiafonía debe atenuarse pues un transmisor DSL emite aproximadamente una potencia de 100 mW y un receptor telefónico se activa con 0,1 mW.

El espectro utilizable del par trenzado puede ampliarse desde las señales de frecuencia vocal de hasta 4 kHz a más de 500 kHz para transmisiones de señales digitales que utilizan tecnologías xDSL. Con un poderoso procesamiento de las señales digitales es posible utilizar métodos de codificación sofisticados que reduzcan la diafonía. Junto con la ecualización de canal y las técnicas de supresión de eco, pueden transmitirse velocidades binarias en la gama de los Mbit/s a través de los actuales bucles de abonado físicos. Los sistemas de línea de abonado están diseñados con un margen señal/ruido de 6 dB para asegurar una proporción de bits de errores mejor que 10^{-7} . El margen de diseño absorbe, por ejemplo, las degradaciones producidas por las variaciones de los parámetros del cable y el ruido y es una solución de compromiso entre un funcionamiento fiable y la transmisión a través del bucle más largo posible.

6.4.2 Sistemas de línea de abonado

Los módems en banda vocal fueron introducidos a finales de los 50 para transmitir datos en la banda de frecuencias vocales de 200 Hz a 3 400 Hz. Cada vez se diseñan módems más eficaces en esa anchura de banda y a finales de 1996 se alcanzó el límite tecnológico para los módems con la normalización de los módems V.90 de la UIT que ofrecen una capacidad de transmisión de hasta 56 kbit/s a través de una conexión de telefonía con una eficacia de anchura de banda de aproximadamente 14 bit/s por Hz.

El cuadro 6.5 que aparece a continuación relaciona las tecnologías existentes y nuevas con las velocidades binarias de acceso y las aplicaciones.

Cuadro 6.5 – Tecnologías de línea de abonado

Tipo	Descripción	Acceso/velocidades binarias/alcance	Aplicaciones
BB	Módems en banda base	Dúplex: 32 kbit/s a 2 Mbit/s Alcance: unos pocos kms/1 par	Conexión de línea arrendada
V.22 a V.90	Conexiones de módem en banda vocal	Dúplex: 1,2 kbit/s a 56 kbit/s Alcance: ilimitado/1 par	Conexión por marcación
DSL	Línea de abonado digital	Dúplex: 160 kbit/s (2B + D + MI) Alcance: hasta 5,5 km/1 par	Servicio RDSI
HDSL	Línea de abonado digital de alta velocidad de transmisión de datos	Dúplex: 2 × T1; 2 × E1 1 ó 2 pares de hilo de cobre Alcance: 3 700 m sin repetidor	Servicios T1 y E1
SDSL	Línea de abonado digital	Dúplex: 2 × T1; 2 × E1 1 par de hilos de cobre Alcance: hasta 3 000 m	Servicios síncronos
ADSL	Línea de abonado digital asimétrica	Sentido descendente: 1,5 a 9 Mbit/s Sentido ascendente: 16 kbit/s a 640 kbit/s Alcance: 2 700 a 5 400 m/1 par	Internet, VoD, LAN, Vídeo y multimedia
VDSL	Línea de abonado digital de muy alta velocidad	Sentido descendente: 13 a 52 Mbit/s Sentido ascendente: 1,6 Mbit/s a 13 Mbit/s Alcance: 300 a 1 350 m/1 par	Las mismas que en el caso de ADSL y HDSL

T1 = 1,544 Mbit/s

E1 = 2,048 Mbit/s

MI = Información de gestión (*management information*)

El concepto de RDSI concebido en 1976 ofrece un acceso de velocidad básica de dos canales B (2×64 kbit/s), un canal D (16 kbit/s) y 16 kbit/s adicionales para las funciones de gestión, dando lugar a una capacidad de transmisión dúplex de 160 kbit/s. Los datos se envían en ambos sentidos simultáneamente realizando una transmisión sin ecos. Con las técnicas de transmisión en banda base 2B1Q se necesita una anchura de banda de 80 kHz. La eficacia de la anchura de banda resultante es 2 bits/s por Hz.

Basándose en los diseños de la RDSI durante 1992 entraron en servicio los primeros sistemas HDSL.

HDSL proporciona una transmisión bidireccional a 1,544 ó 2,048 Mbit/s sobre los bucles de abonado de pares trenzados hasta una distancia de 3,7 km. Normalmente se utiliza una transmisión 2B1Q dúplex híbrida con supresión del eco. Los sistemas HDSL utilizan dos pares de cables y cada uno de ellos cursa la mitad de la carga útil en ambos sentidos (transmisión dual-dúplex). Además, también es posible utilizar modos de transmisión sencilla-dúplex y doble-síplex.

SDSL proporciona la misma anchura de banda en sentido ascendente que en sentido descendente utilizando un par. El precio que se paga para mantener la simetría de la anchura de banda es una menor anchura de banda combinada. Son posibles velocidades de transmisión de datos entre 384 kbit/s y 2 Mbit/s.

En muchas aplicaciones se necesita una velocidad de transmisión de datos en sentido descendente (desde el extremo de la central al extremo del terminal remoto) superior a la velocidad de transmisión de datos en sentido ascendente. ADSL es una tecnología de transmisión de bucle que transporta simultáneamente lo siguiente a través de un par de hilos hasta aproximadamente 5 km:

- Velocidades binarias en sentido descendente (hacia el cliente) de hasta unos 9 Mbit/s.
- Velocidades binarias en sentido ascendente (hacia la red) de hasta 1 Mbit/s.
- Servicio telefónico ordinario.

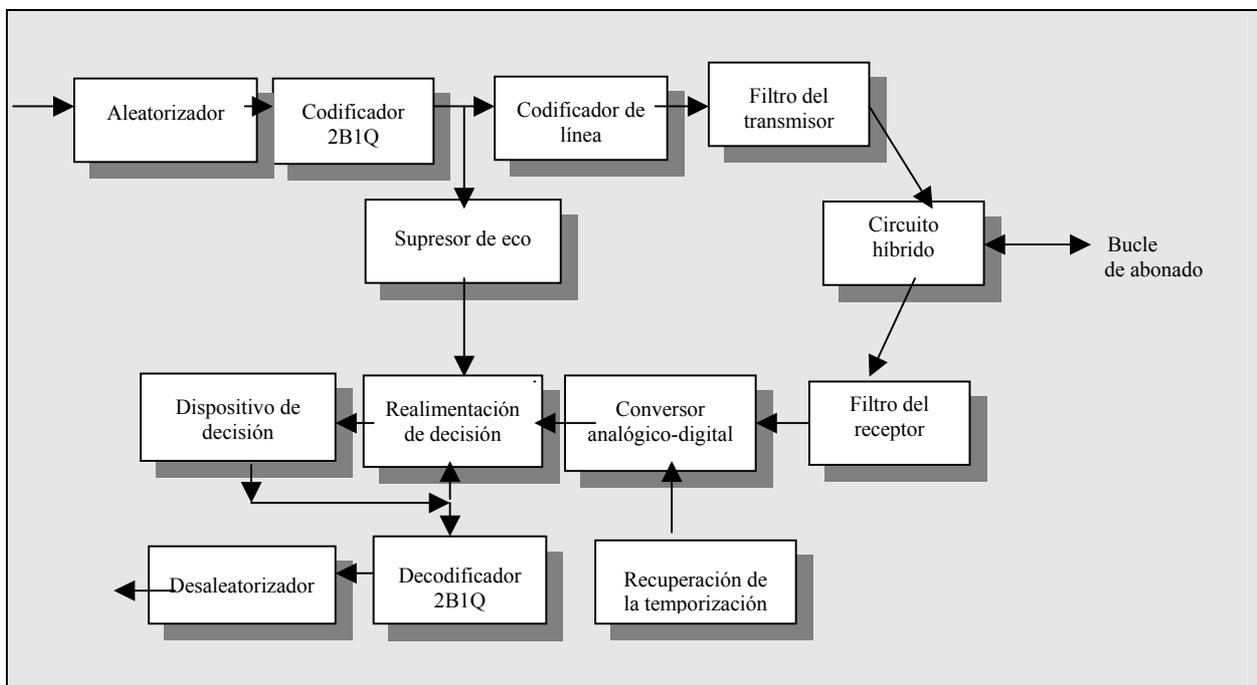
El sistema ADSL fue definido por el UIT-T en 1998 para funcionar con o sin instalaciones de división. Debido a la elevada eficacia de anchura de banda de aproximadamente 15 bits/s por Hz y a su sencilla instalación cabe esperar que los sistemas ADSL se utilicen en grandes cantidades sobre los actuales bucles de abonado.

VDSL es una ampliación de la tecnología xDSL a velocidades binarias superiores, hasta 52 Mbit/s en sentido descendente y hasta 13 Mbit/s en sentido ascendente en cortas distancias (los detalles aún están siendo estudiados en el seno de la Comisión de Estudio 15 del UIT-T).

La Figura 6.17 muestra la estructura general de un transceptor DSL 2B1Q. El flujo de datos entrante procedente del terminal de usuario se aleatoriza, para evitar largos trenes de ceros y unos cada par de bits se codifica con un símbolo 2B1Q y, por consiguiente, la velocidad de símbolo es la mitad de la velocidad binaria. Dos señales binarias se convierten en una señal de 4 niveles. Los símbolos se convierten al código de línea y tras el filtrado se envían al circuito híbrido y al bucle de abonado.

Las señales de línea entrantes se filtran para minimizar el ruido fuera de banda, se amplifican y se regeneran en el convertor analógico-digital con la ayuda de las señales de temporización. Los símbolos 2B1Q del extremo emisor se envían al supresor de eco que crea el modelo de equivalencia del trayecto del eco. Los relojes emisor y receptor se sincronizan para obtener una función de transferencia de trayecto del eco estable. La señal digitalizada y recibida del supresor de eco se vuelve a filtrar por el circuito de realimentación de decisión y se envía al dispositivo de decisión que consiste en un detector umbral de 4 niveles. Tras su conversión a señales binarias y desaleatorización se transmite la información recibida al terminal de usuario.

Figura 6.17 – Estructura general del transceptor DSL

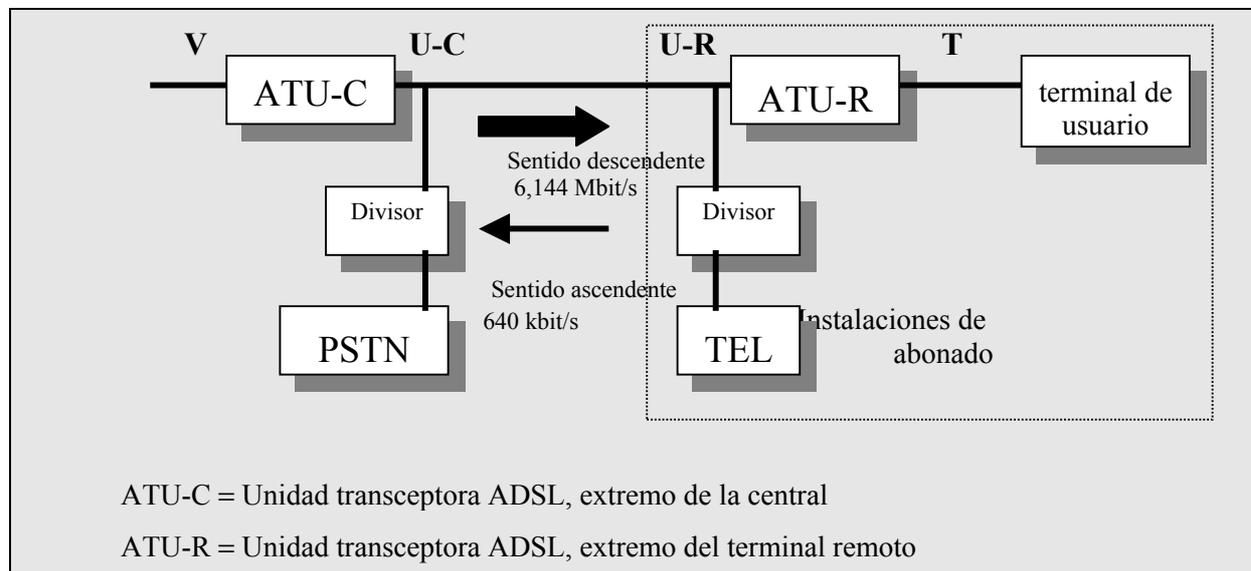


6.4.3 ADSL

Inicialmente, ADSL se especificó para servicios del tipo vídeo por demanda RDSI. A diferencia de otros sistemas de transmisión con velocidades binarias definidas, ADSL contiene adaptación de la velocidad, es decir, el caudal depende de la calidad del medio de transmisión.

La Figura 6.18 ilustra el modelo de referencia ADSL.

Figura 6.18 – Modelo de referencia ADSL



Se consideran las dos versiones de los sistemas representadas en la Figura 6.19:

- ADSL a plena velocidad con una frecuencia de corte de 1 104 kHz;
- ADSL Lite con una frecuencia de corte de 552 kHz.

La anchura de banda disponible del bucle de abonado se divide en bandas de frecuencias para:

- POTS analógica o RDSI;
- subportadoras en sentido ascendente;
- subportadoras en sentido descendente.

Además de las versiones mostradas en la Figura 6.19, ADSL Lite y ADSL a plena velocidad pueden utilizar compensación del eco, es decir, la banda de frecuencias 4-138 kHz se emplea para la transmisión tanto en sentido ascendente como en sentido descendente.

Cabe esperar que ADSL Lite sustituya a los módems en banda vocal para el acceso a Internet y se utilice masivamente si puede lograrse lo siguiente:

- Instalación del usuario final sencilla sin divisores ni visitas por el personal de servicio.
- Larga distancia de transmisión.
- Velocidades de transmisión de datos flexibles de hasta 1,5 Mbit/s para los usuarios.
- Interoperabilidad y compatibilidad con ADSL a plena velocidad.

Los requisitos para la fácil instalación hace muy importante que no existan divisores para ADSL Lite. Sin embargo, en algunos casos, ADSL Lite exige divisores o filtros adicionales para proteger los aparatos telefónicos, como se ilustra en la Figura 6.20.

Figura 6.19 – Plan de frecuencias para ADS

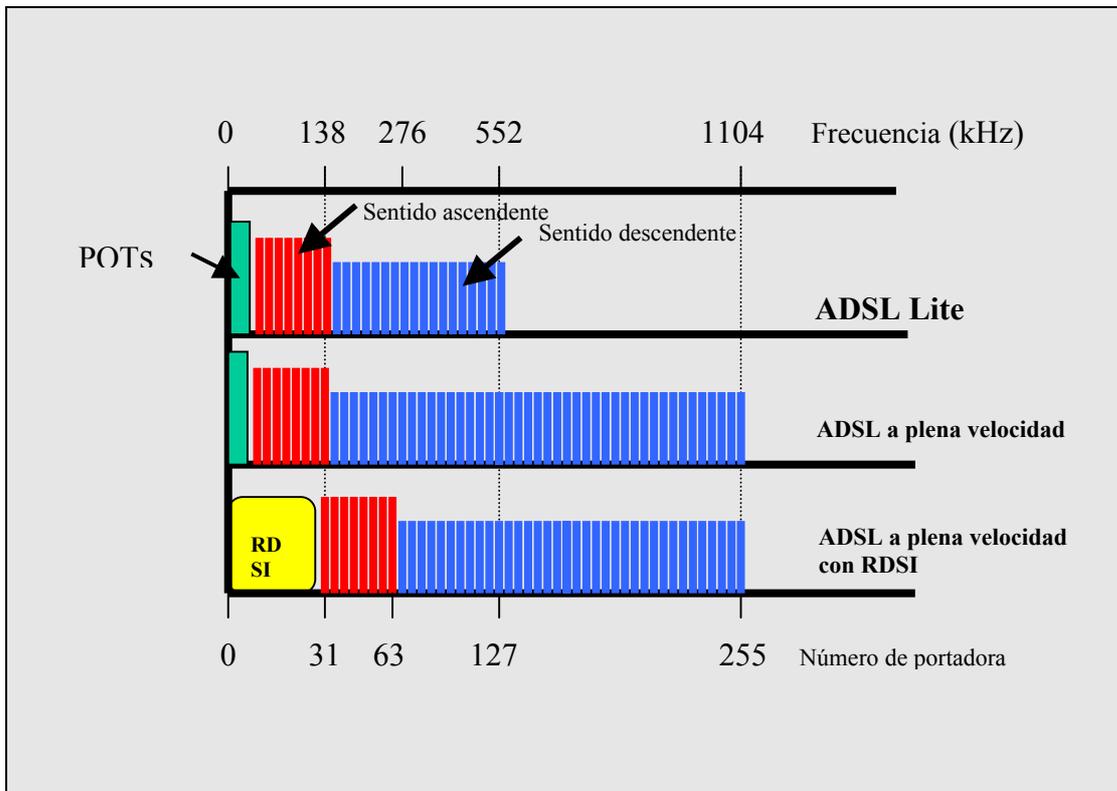
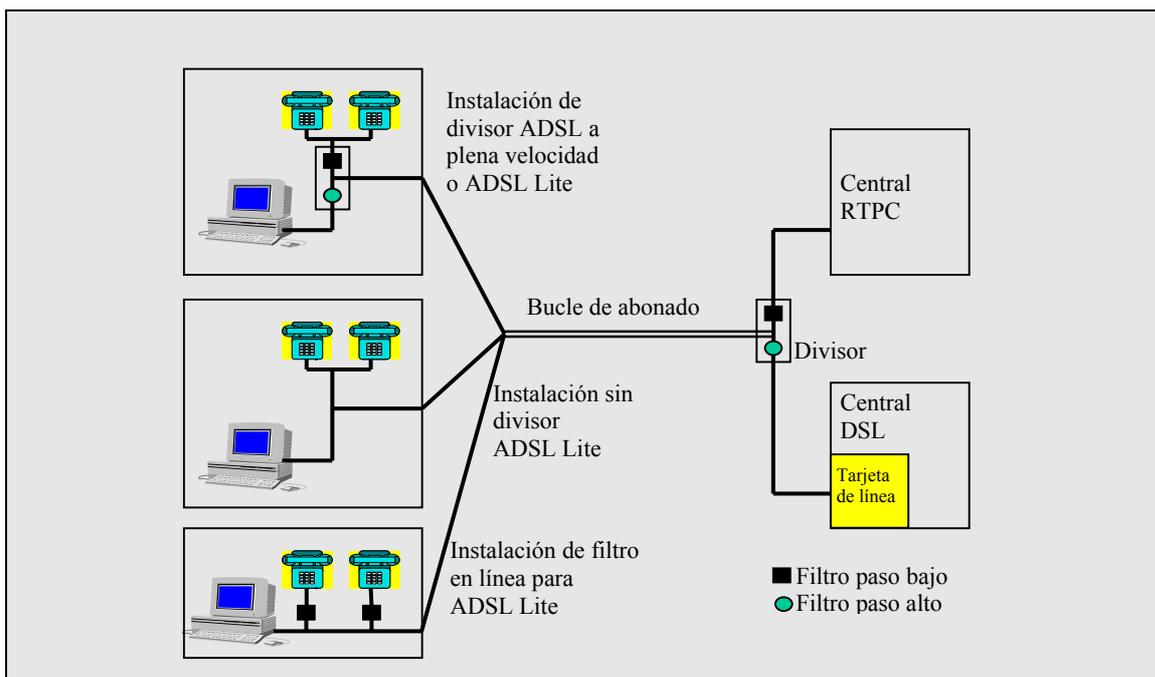


Figura 6.20 – Ejemplos de instalación ADSL Lite



El cuadro 6.6 ilustra ejemplos de alcances de ADSL en bucles con ruido típico y un cable de 0,4 mm de diámetro.

Cuadro 6.6 – Alcances y velocidades del ADSL

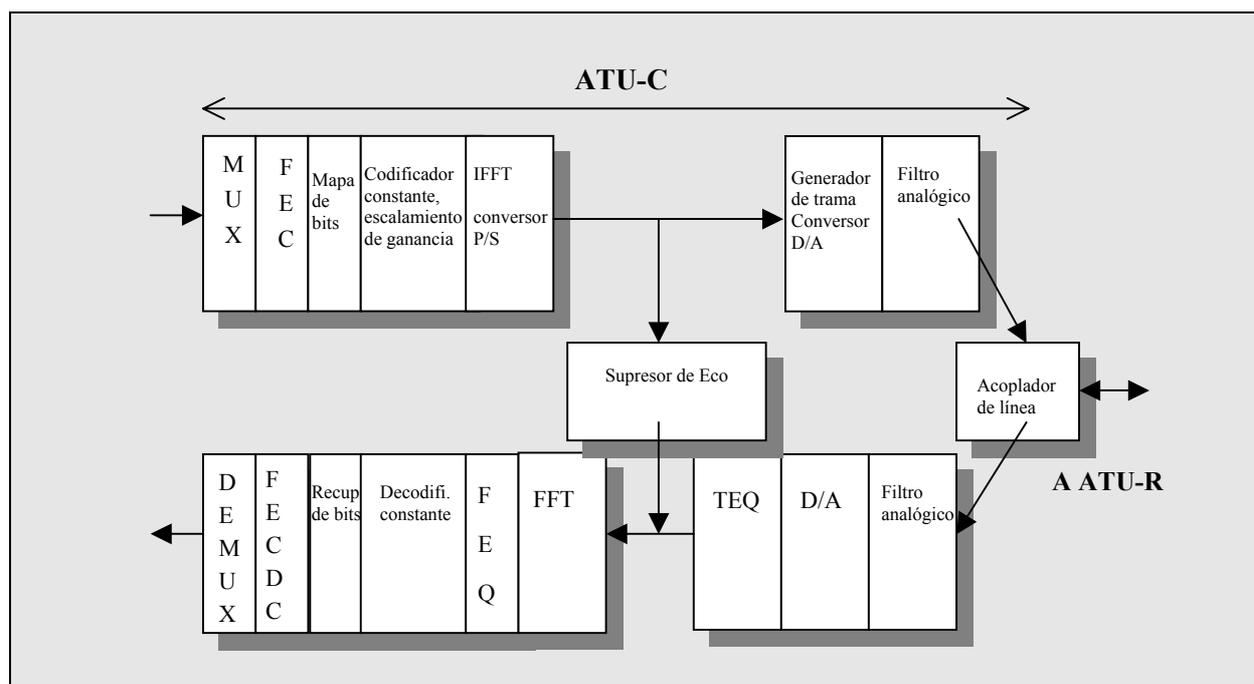
Cable de 0,4 mm	Sentido descendente	Sentido ascendente	Longitud del bucle
ADSL a plena velocidad	4 096 kbit/s	120 kbit/s	2,8 km
	2 048 kbit/s	128 kbit/s	3,5 km
	578 kbit/s	128 kbit/s	4,2 km
ADSL Lite	1 536 kbit/s	256 kbit/s	2,8 km
	1 536 kbit/s	96 kbit/s	3,5 km
		96 kbit/s	4,2 km

La tecnología especificada para ADSL se basa en una transmisión multitono discreto (DMT. *discrete multitone*).

La Figura 6.21 muestra un terminal ADSL simplificado con las siguientes funciones:

- filtrado de transmisión y recepción, control automático de ganancia, conversión A/D y D/A;
- modulación/demodulación, codificación/decodificación y empaquetado/desempaquetado de bits;
- transformada rápida de Fourier (FFT) y transformada rápida de Fourier inversa (IFFT);
- supresión de eco adaptativa, ecualización de canal adaptativa, conversión de símbolo/bit y recuperación de la temporización.

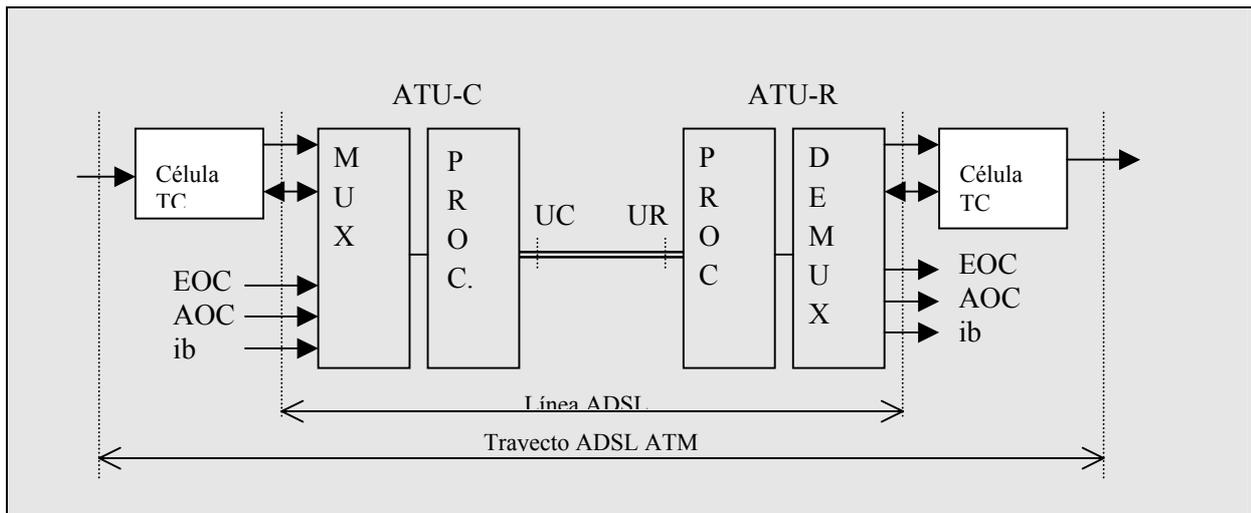
Figura 6.21 – Ejemplo de terminal ADSL ATU-C



Los sistemas ADSL pueden considerarse como un esquema de modulación de capa física que proporciona una conexión física asimétrica entre dos puntos extremos, ATU-C y ATU-R.

Las señales STM síncronas y las señales ATM asíncronas¹ (u otros protocolos basados en trama) pueden transmitirse a través de sistemas ADSL. La Figura 6.22 muestra el ejemplo de un trayecto ADSL ATM.

Figura 6.22 – Enlace ADSL ATM



El enlace ADSL transmite el canal simplex AS = 6 144 kbit/s y el canal dúplex LSO = 640 kbit/s. Además, para la gestión se transmiten el canal de funcionamiento incorporado EOC, el canal de operación ADSL AOC y los bits del indicador ib.

Para transportar las células ATM debe proporcionarse una subcapa de convergencia de transmisión (TC, *transmission convergence*) con las siguientes funciones:

- generación y recuperación de la trama de transmisión;
- adaptación del flujo de células al medio de transmisión físico;
- delineación de célula y corrección de errores del encabezamiento;
- asegurar que no se pierden llamadas durante una interrupción de 3 segundos.

Además de las células ATM, los protocolos basados en trama que se utilizan ampliamente en las redes actuales pueden transmitirse utilizando ADSL; por ejemplo, el protocolo punto a punto (PPP) y la interfaz usuario/red basada en trama (FUNI, *frame-based user network interface*). Las señales derivadas de STM pueden transmitirse a través de ADSL como múltiplos de 32 kbit/s.

¹ Para más detalles sobre ATM, véase el capítulo 7 de este Fascículo.

6.4.4 HDSL

La necesidad de HDSL resultó evidente cuando se utilizaron los sistemas de transmisión T1 y E1 como líneas privadas entre la central y los locales de usuario. Sin embargo, HDSL ofrece un cierto número de ventajas tales como:

- menores requisitos de anchura de banda;
- valor inferior de la diafonía causada a otros sistemas;
- mejor diagnóstico debido a la amplia tara, lo que se traduce en un coste de mantenimiento reducido;
- funcionamiento de más del 95% de las líneas HDSL sin repetidor en medio del tramo;
- tasas de error típicas mejor que 10^{-9} .

Los sistemas HDSL pueden funcionar en diferentes modos:

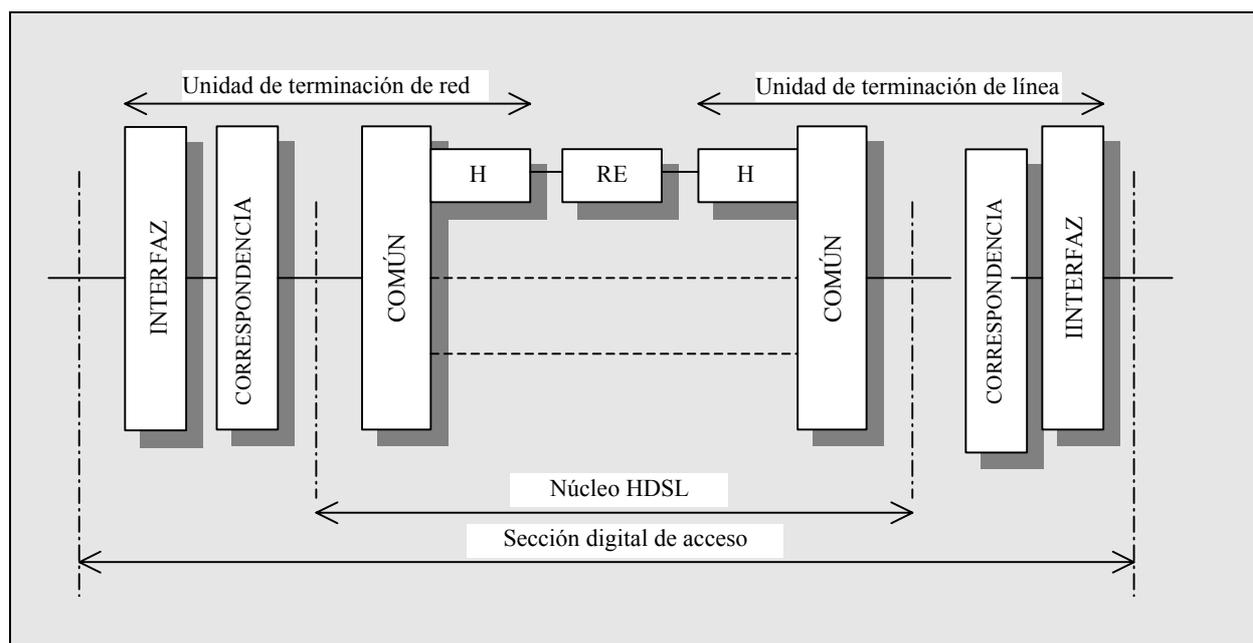
Sistemas HDSL dual dúplex a 1,544 Mbit/s que funcionan sobre dos pares de cables, cada par cursa una carga útil a 768 kbit/s y un canal de funcionamiento incorporado (EOC) a 16 kbit/s en ambos sentidos. Sistemas HDSL a 2,048 Mbit/s que funcionan sobre 2 ó 3 pares. La transmisión híbrida con compensación del eco normalmente utiliza un código de línea 2B1Q.

Sistemas monodúplex (también llamados SDSL: *single duplex systems*) que funcionan sobre un solo par y los dos sentidos de transmisión están separados mediante multiplexión por división de frecuencia o supresión del eco. Sin embargo, debido al amplio espectro de frecuencias necesaria, sólo es posible un alcance limitado.

Sistemas dual símplex que utilizan dos pares, cursando uno de ellos toda la carga útil en un sentido y el otro toda la carga útil en sentido opuesto.

La Figura 6.23 muestra un modelo de referencia HDSL simplificado. Un transceptor HDSL plenamente equipado transmite por un par a 2320 kbit/s, por dos pares a 1168 kbit/s por par o sobre 2 ó 3 pares a 784 kbit/s por par. Los transceptores están conectados a través de líneas locales digitales (DL0L, *digital local lines*) o a regeneradores (REG). La unidad de terminación de red (NTU, *network termination unit*) actúa como la unidad de terminación de línea (LTU, *line termination unit*) principal a subordinada.

Figura 6.23 – Modelo de referencia HDSL

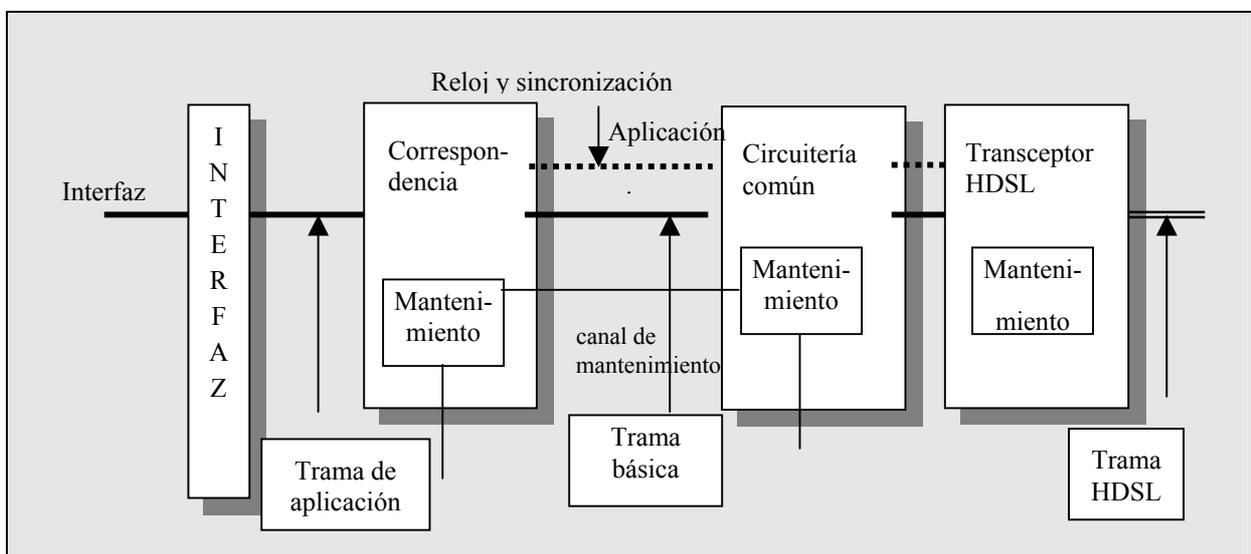


El código de línea para un sistema dual dúplex a 1 544 Mbit/s es del tipo 2B1Q, lo que da unas componentes de espectro entre 0 y 392 kHz. La componente de continua del código no puede atravesar los transformadores híbridos y ello produce una distorsión del impulso y la consiguiente necesidad de ecualización.

La Figura 6.24 ilustra la función simplificada del sistema HDSL. El tren de bits procedente del lado de abonado entra en la NTU por la interfaz de aplicación y se agrupa en la interfaz en tramas de aplicación. Para las aplicaciones a 2,048 Mbit/s, las tramas de aplicación se hacen corresponder en tramas básicas de 144 bytes. La información de trama básica se multiplexa con los bits de alineamiento, de mantenimiento y de tara para obtener tramas HDSL que se transmiten a continuación a través de líneas locales digitales utilizando códigos de línea 2B1Q.

En el extremo receptor, los datos en las tramas HDSL recibidas se demultiplexan para obtener nuevamente las tramas básicas a las que se aplica la función de correspondencia para restaurar la trama de aplicación y se transmiten a la interfaz de aplicación en el lado de red.

Figura 6.24 – Función del transceptor HDSL

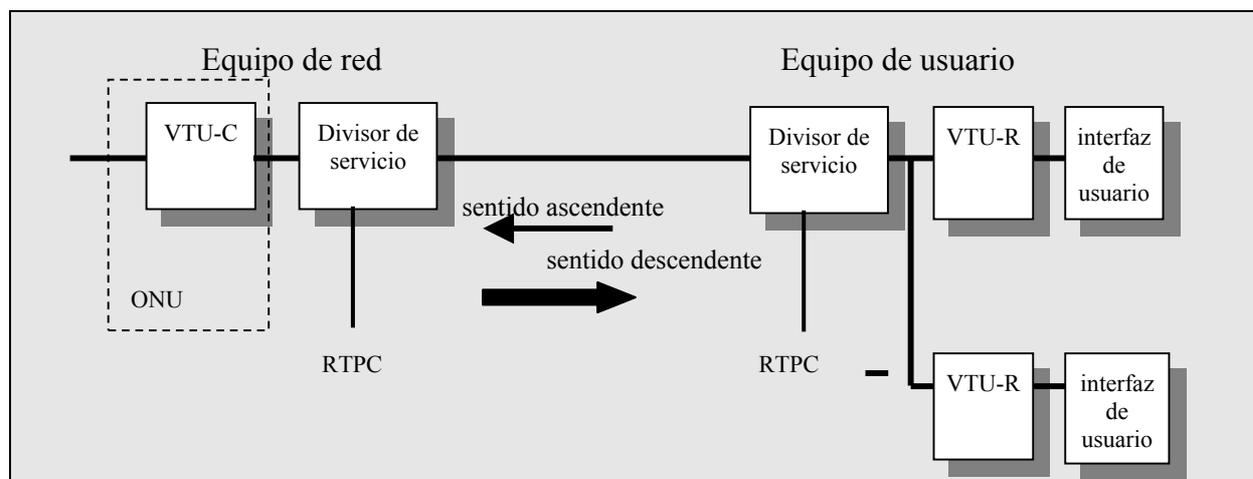


6.4.5 VDSL

La línea de abonado digital de muy alta velocidad binaria (VDSL) es una ampliación de las tecnologías xDSL hacia mayores velocidades binarias. VDSL puede soportar voz, datos y vídeo simultáneamente además de futuras aplicaciones tales como televisión de alta definición y sistemas de cálculo de alto rendimiento. Las velocidades en sentido descendente VDSL son de hasta 52 Mbit/s y en sentido ascendente de hasta 13 Mbit/s. Esas velocidades de transmisión de datos tan elevadas pueden transmitirse únicamente a cortas distancias. Cabe prever que la actual planta de líneas telefónicas evolucionará hacia la utilización cada vez mayor de la fibra óptica para sustituir los bucles de abonados físicos y que los bucles de abonado que queden tendrán una longitud de 1 km o inferior. Esta distancia es adecuada para los sistemas VDSL. La Figura 6.25 muestra el modelo de referencia de un sistema de transmisión en banda ancha basado en VDSL.

Los sistemas VDSL normalmente están conectados a redes de acceso óptico; por ejemplo, las instalaciones de fibra hasta el punto de acometida. Los bucles VDSL están terminados en unidades terminales VDSL. VTU-C en el extremo de la red y VTU-R en el extremo de usuario distante. VTU-C puede estar situado en la unidad de red óptica (ONU) que termina la red de distribución óptica (ODN). Con divisores de servicio, las señales de la RTPC o de la RDSI pueden separarse de las señales VDSL.

Figura 6.25 – Modelo de referencia VDSL



La transferencia de información se organiza en tramas VDSL que contienen la carga útil y mecanismos de control de error separados para el sentido ascendente y el sentido descendente. Los códigos de línea pueden ser QAM (8 bits por símbolo) o CAP, obteniéndose los parámetros indicados en el cuadro 6.7:

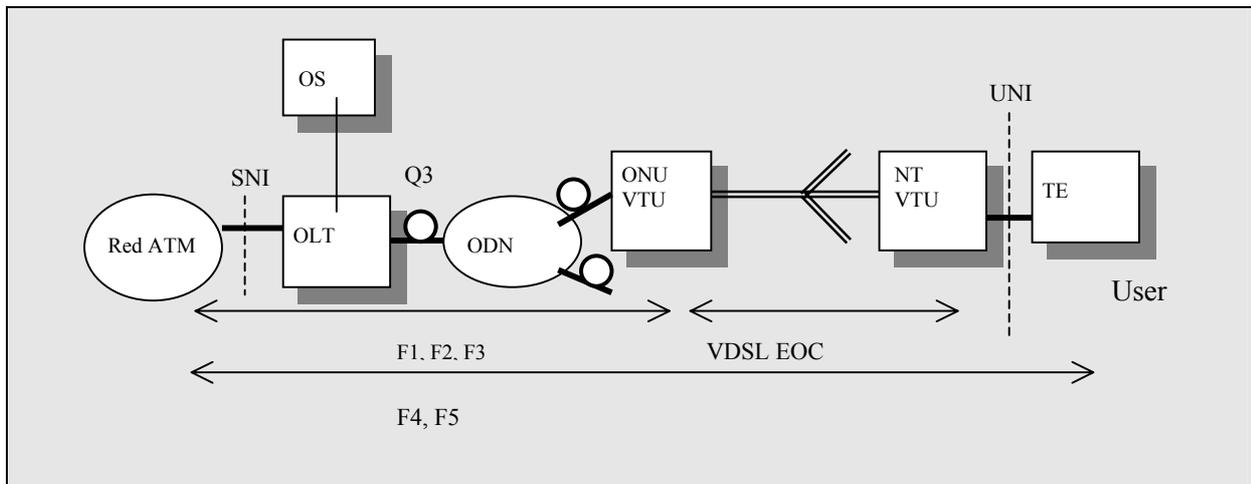
Cuadro 6.7 – Velocidades de transmisión de datos VDSL típicas

Longitud del bucle (km)	Velocidad en sentido descendente (Mbit/s)	Espectro de frecuencias (MHz)
1,5	13	2-5,8
1,0	26	2-9,8
0,3	52	2-17,5
1,5	1,6	1,2-1,4
1,0	3,2	1,1-1,6
0,3	6,5	0,8-1,8

Las bandas de frecuencias para las estaciones de radiocomunicaciones en onda corta y en onda media con modulación de amplitud en las bandas para los servicios públicos de socorro/seguridad se encuentran en la misma gama que la anchura de banda ocupada por las señales VDSL, lo que puede provocar una interferencia en la señal. El flujo VDSL viene limitado principalmente por el ruido de fondo y el ruido auto-NEXT de la planta de bucles.

La Figura 6.26 muestra el ejemplo de una red óptica y VDSL combinada. La red de distribución óptica (ODN) está situada entre la terminación de línea óptica (OLT, *optical line termination*) y la unidad de red óptica (OLU) que también contiene a la VTU-C. El enlace VDSL finaliza en la terminación de red (NT, *network termination*) que también contiene a la VTU-R. A efectos de gestión, se conecta un sistema de explotación (OS, *operation system*) a través de la interfaz de gestión Q3 a la OLT. La gestión de los enlaces ATM se divide entre la capa ATM (F4 y F5) y la capa física (F1, F2, F3). La información de gestión relativa al enlace VDSL (contenida en el canal de funcionamiento incorporado VDSL) se transporta al OS a través de ATM.

Figura 6.26 – Ejemplo de gestión de red VDSL ATM



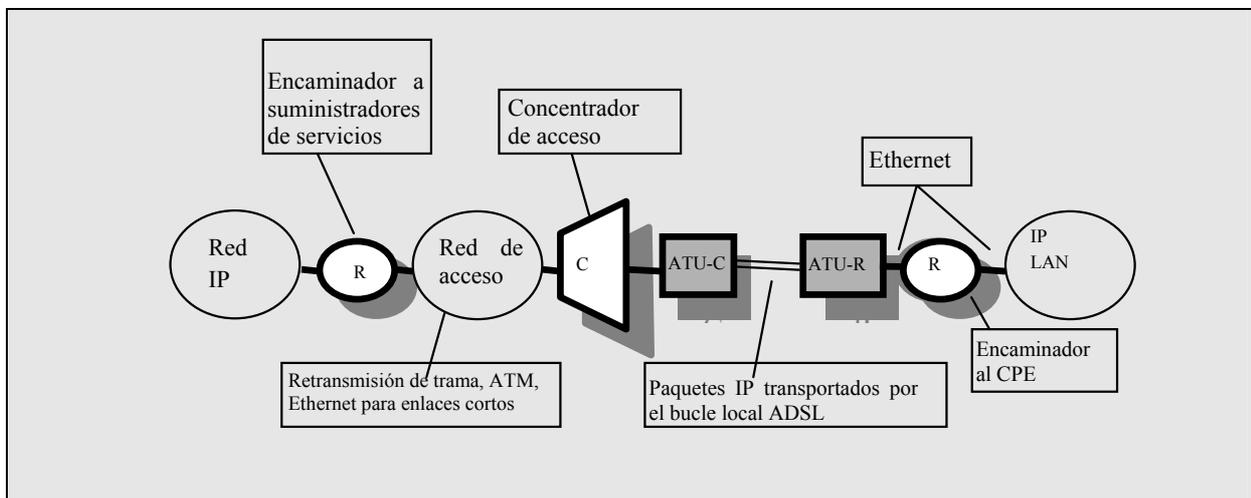
6.4.6 Ejemplos de red

Como xDSL es una tecnología de transmisión fundamentalmente en la capa física, puede soportar una amplia variedad de aplicaciones, servicios y protocolos de red, fundamentalmente en la parte de acceso de las redes de telecomunicaciones. Actualmente no hay consenso sobre cuál es la arquitectura de red más adecuada para soportar xDSL como tecnología de acceso. Por el momento se considera que ADSL satisface la mayoría de las aplicaciones pues puede transmitirse hacia las instalaciones del cliente con una velocidad de 6 a 8 Mbit/s en la mayoría de los bucles de abonado existentes.

La Figura 6.27 ilustra un ejemplo de transporte del tráfico de protocolo Internet (IP).

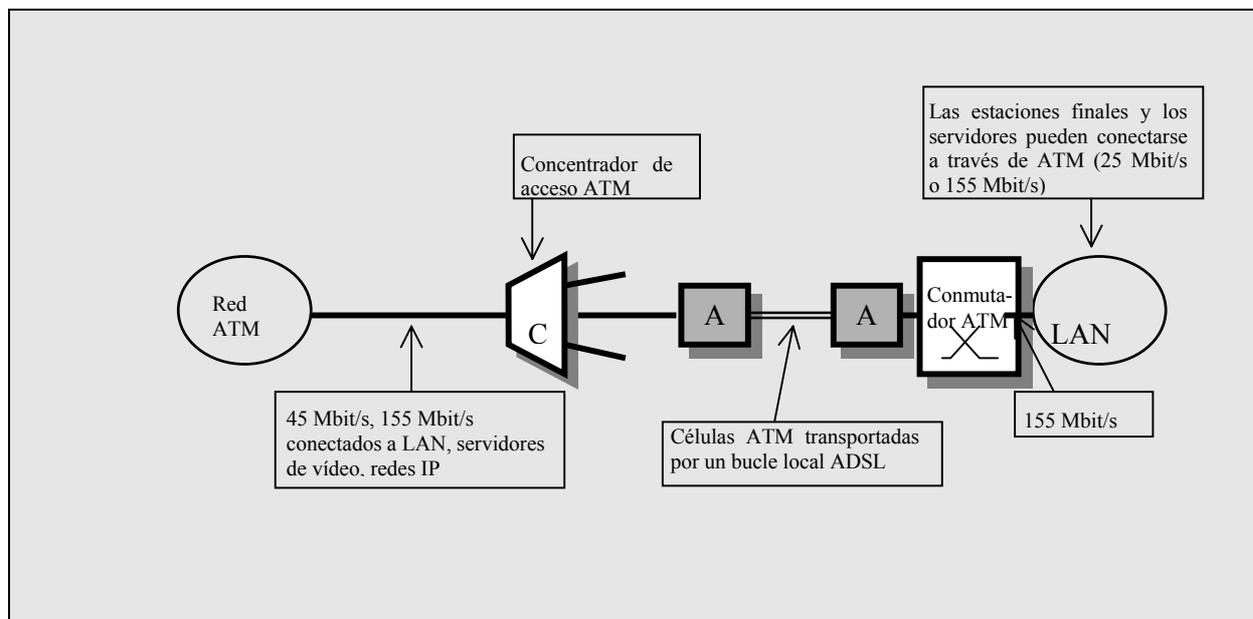
De acuerdo con las especificaciones del Foro ADSL, los paquetes IP pueden transportarse directamente por enlaces ADSL sin necesidad de utilizar protocolos adicionales. Además de la aplicación empresarial mostrada en la figura, IP puede emplearse para aplicaciones residenciales con ordenadores personales conectados al extremo remoto ADSL. El acceso a la red IP puede establecerse a través de un protocolo punto a punto (PPP) con una conexión ADSL.

Figura 6.27 – Transmisión ADSL IP



La Figura 6.28 representa la transmisión ATM a través de ADSL. El Foro ADSL ha especificado la forma en que pueden transmitirse las células ATM a través de ADSL, desde el terminal del cliente a la red ATM. Sin embargo, las aplicaciones ATM que funcionan con velocidades de transmisión de datos por debajo de 25 Mbit/s a través de múltiples enlaces ADSL dan lugar a una tara demasiado amplia. En el caso de 155 Mbit/s, es preferible la conexión por fibra óptica.

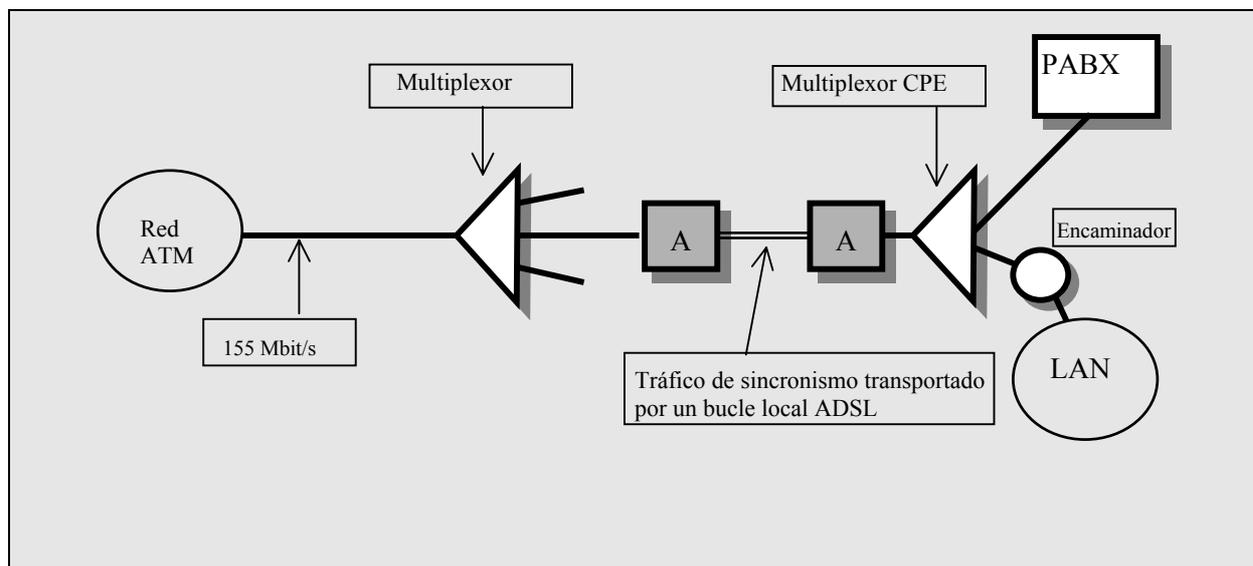
Figura 6.28 – Transmisión ADSL ATM



La Figura 6.29 muestra la transmisión de tráfico síncrono a través de enlaces ADSL.

Dos o tres señales TU-12 pueden transmitirse de la ATU-C a la ATU-R. (cada señal TU-12 corresponde a 2,304 Mbit/s).

Figura 6.29 – Transmisión síncrona ADSL

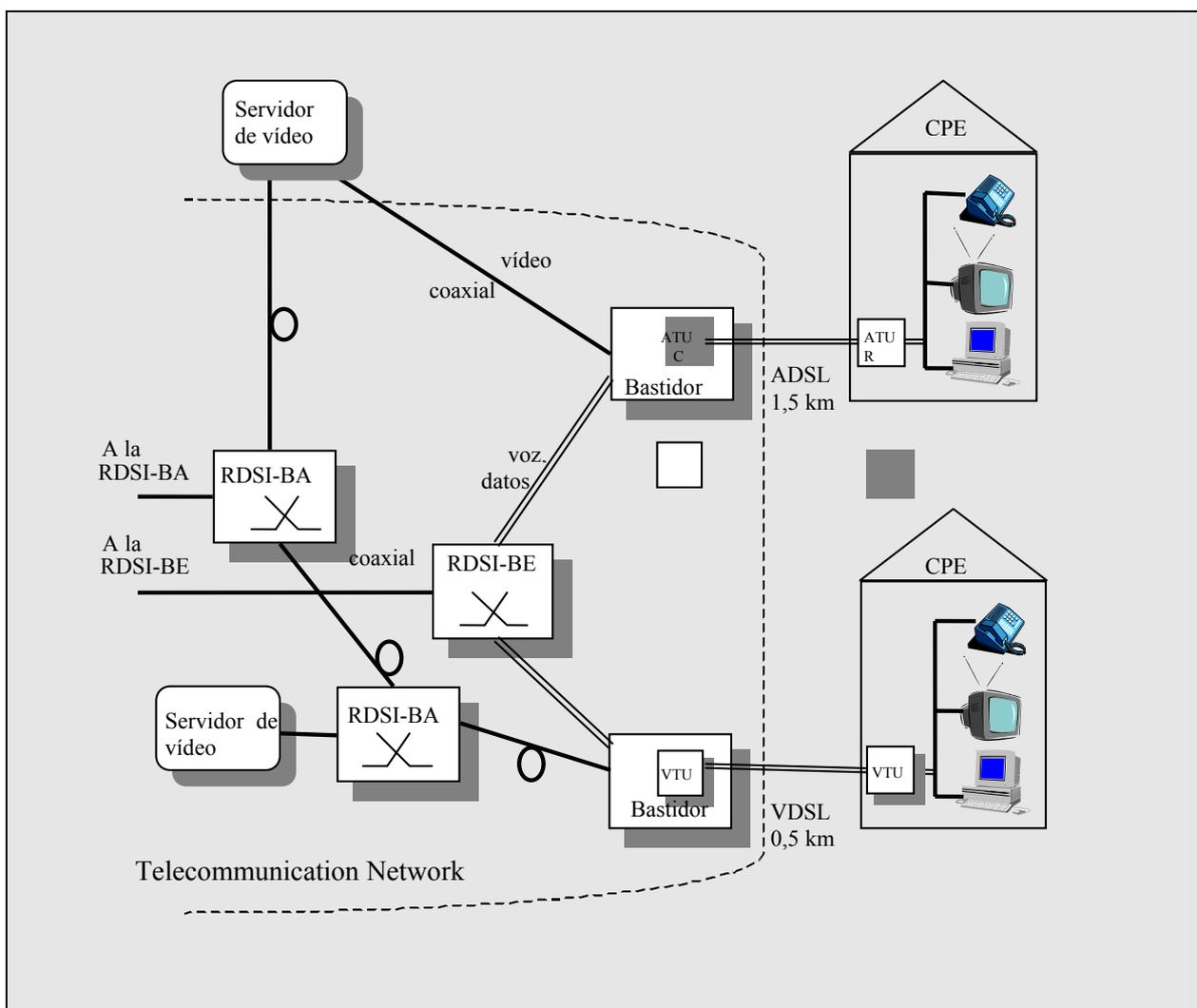


La Figura 6.30 muestra la conexión entre un equipo en los locales de usuario (CPE, *customer premises equipment*) y una red de telecomunicaciones con enlaces ADSL y VDSL. Desde un servidor de vídeo externo las señales de vídeo digitalizadas llegan:

- Al bastidor 1 a través de un cable coaxial. El CPE está conectado a través de un enlace ADSL.
- Al bastidor 2 a través de un cable de fibra óptica y centrales RDSI-BA. El CPE está conectado a través de un enlace VDSL.

Las señales de datos y las señales vocales se transportan a través de la RDSI-BE a un conmutador RDSI-BE. La señal llega a los bastidores 1 y 2 a través de un cable normal. Además, puede conectarse un servidor de vídeo interno al bastidor 2 mediante un conmutador RDSI-BA.

Figura 6.30 – Ejemplo de red ADSL-VDSL



6.4.7 Recomendaciones UIT-T

El estudio de la tecnología xDSL se inició en 1993 con los trabajos de normalización del ANSI, definiendo el multitono discreto (DMT) para el funcionamiento ADSL. La cooperación con el ETSI prestó atención a los requisitos europeos específicos.

En 1997, el UIT-T empezó a definir una serie de Recomendaciones para los sistemas DSL y actualmente (año 2000) la Comisión de Estudio 15 ha elaborado Recomendaciones relativas a las funciones, gestión, toma de contacto y principios de prueba para los sistemas ADSL, HDSL y VDSL. Un estudio de las Recomendaciones de la serie G.99x relativas a xDSL revela la complejidad de los sistemas DSL puesto que han sido necesarias casi 1 000 páginas para definir a estos sistemas. La familia de Recomendaciones G.99x incluye las siguientes:

- G.991.1 Transceptores de línea de abonado digital de alta velocidad binaria.
- G.992.1 Transceptores de línea de abonado digital asimétrica (ADSL).
- G.992.2 Transceptores de línea de abonado digital asimétrica (ADSL) sin divisores.
- G.994.1 Procedimientos de toma de contacto para transceptores de línea de abonado digital.
- G.995.1 Visión de conjunto de las Recomendaciones sobre líneas de abonado digitales.
- G.996.1 Procedimientos de prueba para transceptores de línea de abonado digital.
- G.997.1 Gestión de capa física para transceptores de línea de abonado digital.

Además de estas Recomendaciones, la Comisión de Estudio 13 bajo el concepto de Infraestructura Mundial de la Información (GII) ha elaborado varias Recomendaciones de carácter general, por ejemplo, la Recomendación Y.120 que contiene diversas hipótesis que incluyen la tecnología xDSL.

6.4.8 Panorama

ADSL se considera como una opción de servicio DSL básica para el mercado residencial. Como un sistema ADSL ofrece unas velocidades de transmisión de datos rápidas en sentido descendente y más lentas en sentido ascendente, es ideal para el acceso a Internet. Los operadores de centrales competitivas (CLEC) consideran la disponibilidad de ADSL como una oportunidad ideal para introducirse en el mercado de datos rápidamente y competir con los operadores titulares. Sin embargo, para la implantación de ADSL deben instalarse tarjetas de línea o multiplexores de acceso de línea de abonado digital (DSLAM) cerca de la central perteneciente al operador titular. Además, debido a la calidad de las redes domésticas y del cableado dentro de los locales de abonado, que tiene una gran repercusión en la máxima velocidad de transmisión de datos y en el alcance del sistema de transmisión, muchas situaciones no son adecuadas para tecnologías sin divisores.

HDSL permite la prestación de servicios digitales a alta velocidad utilizando los bucles de abonado de hilos de cobre existentes con 2 ó 4 pares paralelos. Para distancias de hasta unos 3 km, HDSL es una opción rápida y económica en la instalación de sistemas T1 o E1 dúplex. Se están llevando a cabo intensos trabajos para definir un sistema HDSL que utilice un solo par, denominado «HDSL de la próxima generación» DHSL2 o SHDSL. Para lograr este objetivo deben aumentarse la calidad de funcionamiento y la ganancia del sistema y deben reducirse los efectos de NEXT mediante la conformación del espectro.

En las investigaciones se han comparado distintos códigos de línea, filtros y complejidad de transceptores resultantes. HDSL2 puede ser aproximadamente 8 veces más complejo que HDSL.

Probablemente ADSL será un paso intermedio hacia el VDSL que proporcionará la anchura de banda adicional necesaria para la plena prestación de servicios de banda ancha. El éxito de VDSL dependerá de que pueda hacerse llegar a los cables de fibra óptica más cerca del abonado; por ejemplo, mejorando las rutas del alimentador a la fibra.

6.4.9 Referencias

- [1] *Libro de referencia sobre xDSL*, Comisión de Estudio 2 del UIT-D, Cuestión 12/2 en preparación, 2000.
- [2] Albin Johansson, *ADSL Lite, The broadband enabler for the mass market*, Ericsson Review No 4, 1998.
- [3] Thomas Starr *Understanding Digital Subscriber Line Technology*, Communication Engineering and Emerging Technologies Prentice Hall PTR, NJ 07458, 1999.
- [4] Dr. Walter Y. Chen *DSL, Simulation Techniques and Standards* Macmillan Technical Publishing, Indianapolis, Indiana, 1998.
- [5] Prof. Dr. Z. Petrovic *Digitalne pretplatnic ke petlje* Telfor International Conference Belgrado 1999.

6.5 Abreviaturas

2B1Q	2 Binario/1 Cuaternario (técnica de codificación de línea) (<i>2 binary/1 quaternary (line coding technique)</i>)
AAL	Capa de adaptación ATM (<i>ATM adaptation layer</i>)
ABR	Servicio a velocidad binaria variable (<i>available bit rate service</i>)
A/D	Conversión analógica/digital (<i>Analogue/Digital (conversion)</i>)
ADSL	Línea de abonado digital asimétrica (<i>asymmetric digital subscriber line</i>)
AOC	Canal de funcionamiento ADSL (<i>ADSL operation channel</i>)
AOM	Administración, explotación, mantenimiento (<i>administration, operation, maintenance</i>)
ASM	Multiplexor de servicio ATM (<i>ATM service multiplexer</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
ATU-C	Unidad de transmisión ADSL – central (<i>ADSL transmission unit – central office</i>)
ATU-R	Unidad de transmisión ADSL – distante (<i>ADSL transmission unit – remote</i>)
AU	Unidad administrativa (<i>administrative unit</i>)
AUG	Grupo de unidad administrativa (<i>administrative unit group</i>)
BB	Módem en banda base (<i>baseband modem</i>)
C	Contenedor (<i>container</i>)
CBR	Servicio a velocidad binaria constante (<i>constant bit rate service</i>)
CPE	Equipo en los locales del usuario (<i>customer premises equipment</i>)
D/A	Conversión digital/analógica (<i>digital/analogue (conversion)</i>)
DLL	Línea local digital (<i>digital local line</i>)
DMT	Multitono discreto (<i>discrete multitone</i>)
DSL	Línea de abonado digital (<i>digital subscriber line</i>)
DXC	Interconexión digital (<i>digital cross connect</i>)
DWDM	Multiplex por división de longitud de onda densa (<i>dense wavelength division multiplex</i>)
EOC	Canal de operaciones insertadas (<i>embedded operation channel</i>)

FDM	Múltiplex por división de frecuencia (<i>frequency division multiplex</i>)
FEC	Corrección de errores en recepción (<i>forward error correction</i>)
FEXT	Telediafonía (<i>far end crosstalk</i>)
FFT	Transformada rápida de Fourier (<i>fast fourier transform</i>)
FUNI	Interfaz usuario/red basada en trama (<i>frame-based user network interface</i>)
HDSL	Línea de abonado digital de alta velocidad (<i>high speed digital subscriber line</i>)
HVC	contenedor virtual de orden elevado (<i>high order virtual container</i>)
IFFT	Transformada rápida de Fourier inversa (<i>inverse fast fourier transform</i>)
LAD	Dispositivo de acceso a LAN (<i>LAN access device</i>)
LAN	Red de área local (<i>local area network</i>)
LVC	Contenedor virtual de orden bajo (<i>low order virtual container</i>)
MI	Información de gestión (<i>management information</i>)
MIC	Modulation por impulsos codificados
MSSP	Protección compartida de sección múltiplex (<i>multiplex section shared protection</i>)
NEXT	Paradiafonía (<i>near end crosstalk</i>)
NNI	Interfaz red nodo (<i>network node interface</i>)
NT	Terminación de red (<i>network termination</i>)
NTU	Unidad de terminación de red (<i>network termination unit</i>)
OADM	Multiplexor/demultiplexor de inserción-extracción óptico (<i>optical add-drop multiplexer/demultiplexer</i>)
ODN	Red de distribución óptica (<i>optical distribution network</i>)
OH	Tara (<i>overhead</i>)
OLA	Amplificador de línea óptica (<i>optical line amplifier</i>)
OLT	Terminación de línea óptica (<i>optical line termination</i>)
OS	Sistema de explotación (<i>operation system</i>)
OSC	Canal de supervisión óptico (<i>optical supervisory channel</i>)
PC	Ordenador personal (<i>personal computer</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PHY	Capa física (<i>physical layer</i>)
POTS	Servicio telefónico ordinario (<i>plain old telephone service</i>)
PPP	Protocolo punto a punto (<i>point-to-point protocol</i>)
QAM	Modulación de amplitud en cuadratura (<i>quadrature amplitude modulation</i>)
RDSI	Red digital de servicios integrados
RDSI-BA	Red digital de servicios integrados de banda ancha
RDSI-BE	Red digital de servicios integrados de banda estrecha
RTP	Transpondedor del receptor (<i>receive transponder</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SDSL	Línea de abonado digital (<i>digital subscriber line</i>)
SONET	Red óptica síncrona (<i>synchronous optical network</i>)
STM	Módulo de transporte síncrono (<i>synchronous transport module</i>)

TC	Subcapa de convergencia de transmisión (<i>transmission convergence sublayer</i>)
TE	Equipo terminal (<i>terminal equipment</i>)
TMN	Red de gestión de las telecomunicaciones (<i>telecommunications management network</i>)
TP	Transpondedor de emisión (<i>send transponder</i>)
TU	Unidad afluente (<i>tributary unit</i>)
TUG	Grupo de unidades afluentes (<i>tributary unit group</i>)
UBR	Servicio de velocidad binaria sin especificar (<i>unspecified bit rate service</i>)
UNI	Interfaz usuario-red (<i>user network interface</i>)
VBR	Servicio de velocidad binaria variable (<i>variable bit rate service</i>)
VC	Contenedor virtual (SDH) (<i>virtual container (SDH)</i>)
VC	Canal virtual (<i>virtual channel (ATM)</i>)
VCI	Identificador de canal virtual (<i>virtual channel identifier</i>)
VDSL	Línea de abonado digital de muy alta velocidad (<i>very high speed digital subscriber line</i>)
VP	Trayecto virtual (<i>virtual path</i>)
VPI	Identificador de trayecto virtual (<i>virtual path identifier</i>)
VTU	Unidad terminal VDSL (<i>VDSL terminal unit</i>)
VTU-C	Unidad de transmisión VDSL – central (<i>VDSL transmission unit – central office</i>)
VTU-R	Unidad de transmisión VDSL – distante (<i>VDSL transmission unit – remote</i>)
xDSL	término genérico para todos los tipos de equipos DSL (<i>generic term for all types of DSL equipment</i>)

CAPÍTULO 7

7 Tecnología ATM

7.1 Introducción

Se considera que la tecnología ATM es la culminación de todos los desarrollos en materia de conmutación y transmisión de los últimos diez años. Las comunicaciones han evolucionado históricamente hacia el concepto de modo de transferencia asíncrono. Los motivos eran muy sólidos y, a fin de comprenderlos, es necesario exponer una breve panorámica de la evolución de las comunicaciones.

Las comunicaciones se iniciaron en el siglo diecinueve con la invención del teléfono, capaz de transmitir señales vocales analógicas. Los usuarios se conectaban a través de unidades de conmutación situadas en la red para formar un circuito. Este tipo de conmutación se conoce como *conmutación de circuitos* y ofrece una atribución permanente de los canales o de la anchura de banda entre los puntos extremos de conexión. En la telefonía analógica, la única forma de compartir el medio común se basaba en el *múltiplex por división de frecuencia* que apareció en 1925. Los primeros cables coaxiales, instalados en 1936, ofrecían un mayor ancho de banda y un mejor comportamiento en términos de la relación entre la señal y el ruido.

Las comunicaciones digitales que aparecieron a final de los años sesenta, se introdujeron simultáneamente con la *multiplexación por división en el tiempo*. Poco después, surgió un problema con la interconexión de los sistemas de computador por las redes de comunicación. Se utilizaban módems que generaban las señales analógicas compatibles con la red telefónica pública conmutada. Los datos se transferían en ráfagas, separadas por intervalos de silencio. Esta es la razón por la que la conexión constante que ofrecía la conmutación de circuitos no era la más adecuada. La solución al problema consistió en dividir los datos en unidades discretas, los paquetes, y enviarlos de forma individual a través de la red. Los paquetes contienen una tara considerable que interviene en la recuperación tras error, la mejora de la redundancia y la información de encabezamiento. De esta manera se desarrolló la *conmutación por paquetes*.

La multiplexación por división en el tiempo, si se utiliza en la conmutación, ofrece la oportunidad de establecer una *conmutación multi-velocidad* mediante la que una estación se conecta con la red mediante un solo enlace físico que cursa múltiples canales de velocidad de datos fija (canales B – 64 kbit/s). El tráfico de cada canal puede conmutarse independientemente a través de la red. Este principio se utilizó también en la *red digital de servicios integrados* (RDSI). Aunque ésta ofrecía una serie de alternativas en cuanto a velocidad de datos, dichas velocidades son fijas, lo que no resulta muy eficaz para la transmisión a velocidad binaria variable (VBR).

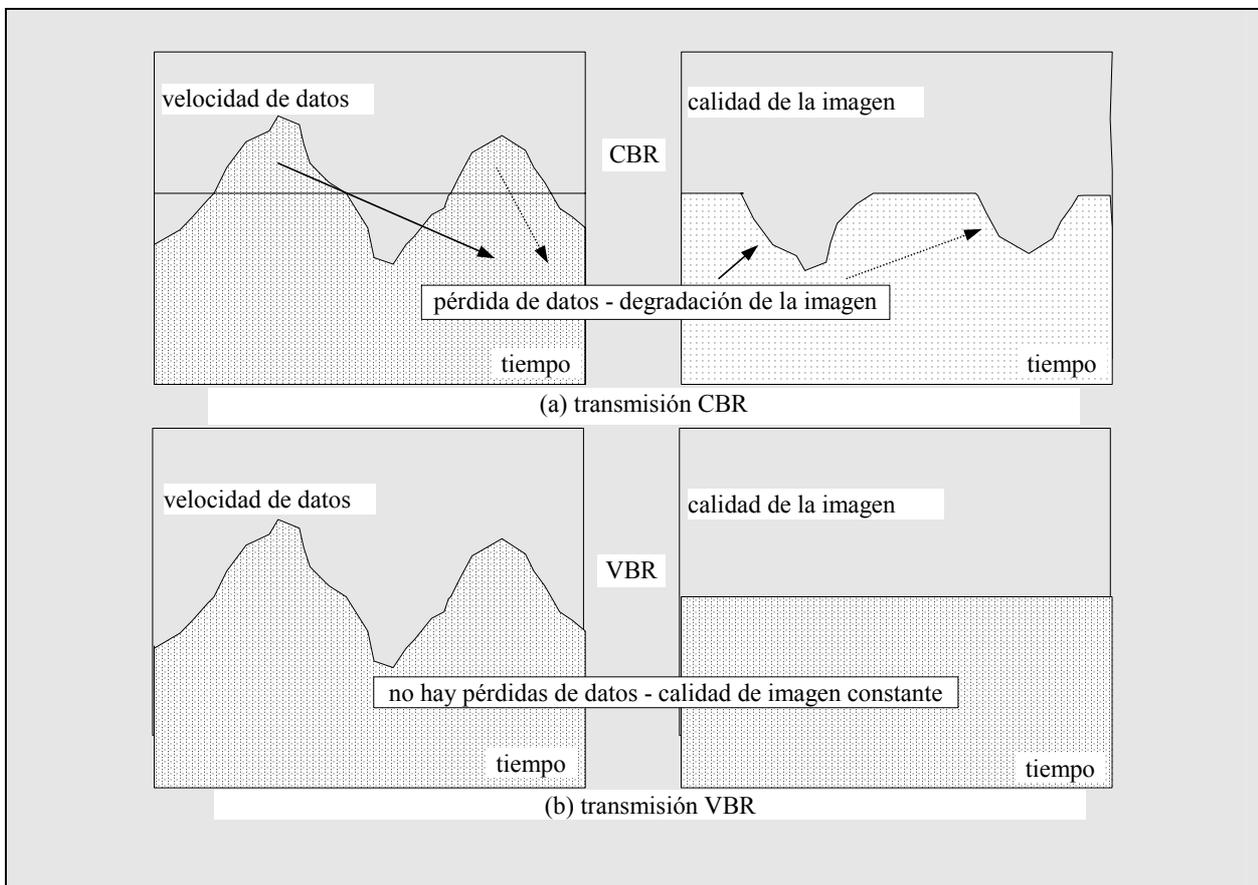
La misma organización de los bytes que permite la conmutación multivelocidad está presente en la *red de jerarquía digital síncrona* (SDH). Debe señalarse que la SDH utiliza la multiplexación síncrona por división en el tiempo y ofrece los medios para controlar los recursos de la red a fin de dar una calidad de servicio (QoS) garantizada, pero a expensas de una utilización ineficaz de dichos recursos.

A fin de encajar las distintas velocidades de datos en las modernas redes de comunicación de gran velocidad, surgió la *retransmisión de tramas* como solución prometedora. Fundamentalmente es idéntica a la conmutación de paquetes, excepto en que éstos tienen una longitud variable y en que está concebida para funcionar hasta en 2 Mbit/s. Los paquetes de los sistemas de retransmisión de tramas llevan una tara inferior a las de los sistemas anteriores. En el contexto de su utilidad para el tráfico VBR tiene una mejor calidad.

Las aplicaciones en tiempo real, tales como las de señales vocales o de vídeo, no suelen incluir muchas ráfagas, por lo que dan una velocidad binaria constante a la salida. Lo más eficaz es asignar una anchura de banda fija a una sola fuente. La capacidad disponible se reparte entre dichas fuentes sobre una base igualitaria.

La necesidad imperante de cursar más datos, especialmente para las aplicaciones de vídeo, se ha traducido en diversas técnicas de compresión. De esta manera, los trenes binarios producidos en muchas aplicaciones nuevas son variables. Si se logra una transmisión con velocidad binaria variable (VBR: *variable bit rate*), puede obtenerse una calidad de servicio satisfactoria. Por ejemplo, los detalles menos significativos en la transmisión de una imagen (o señal de vídeo) se comprimen y así se economiza en la anchura de banda que se utiliza para los detalles más importantes. En el caso de la transmisión VBR, puede producirse una calidad constante en lugar de una velocidad constante; véase la Figura 7.1.

Figura 7.1 – Velocidad constante y calidad constante para
(a) transmisión CBR
(b) transmisión VBR



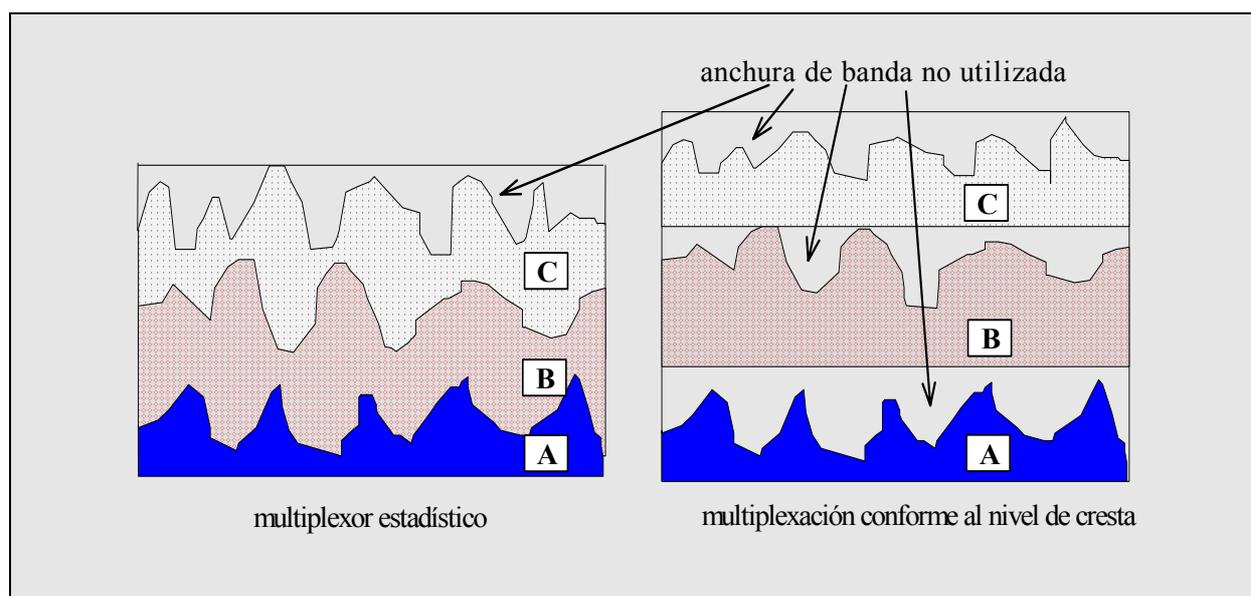
La introducción de nuevos servicios a finales de los años ochenta exigía una nueva tecnología que pudiera servir para servicios múltiples, transmitir las elevadas velocidades de transmisión necesarias, permitir la anchura de banda por demanda y ofrecer un control de extremo a extremo que permitiese una gestión eficaz. De esta manera, las redes tradicionales tenían que especializarse para cumplir estos requisitos. Se han desarrollado diversos tipos de red que introducen interfaces, facilidades y requisitos de apoyo específicos. Con el desarrollo de la tecnología de fibra óptica se obtuvo un medio de transmisión de gran velocidad con una reducida susceptibilidad al ruido. Permitía éste la transmisión de distintos tipos de servicios de banda ancha que consumían una anchura de banda significativa. Ésta fue la base inicial para la *RDSI de banda ancha* (RDSI-B).

La retransmisión de tramas evolucionó hacia la retransmisión de células, utilizando paquetes de tamaño fijo de corta longitud, o células. Disponiendo de un medio de transmisión de gran velocidad con bajo nivel de ruido y un control superior de la capa de red, se obtiene una tara mínima para el control de errores. La retransmisión de células permite definir canales virtuales con velocidades de datos establecidas dinámicamente. De esta manera, puede considerarse que la retransmisión de células es un avance de la conmutación de circuitos para velocidades binarias constantes y de la conmutación de paquetes para velocidades binarias variables.

A fin de garantizar que la información no se pierde, toda señal debe transferirse a la velocidad de cresta natural. En consecuencia, cuando la velocidad de la información es pequeña (por ejemplo, cuando hay redundancia en la señal original y las técnicas de codificación consiguen economizar anchura de banda) los recursos de la red no se utilizan eficientemente. Con el fin de resolver esta ineficacia, se ha propuesto la multiplexación de distintas señales.

Las técnicas ATM ofrecen una ganancia de eficacia mediante la multiplexación estadística del tráfico dinámico de usuario. Permiten compartir la anchura de banda del puerto de salida entre múltiples conexiones, lo que se traduce en una utilización elevada de los recursos disponibles; véase la Figura 7.2. Si las entradas presentan anchuras de bandas fluctuantes que se reúnen en un tren de salida, la velocidad estadística de células a la salida del multiplexor es inferior a la suma de las velocidades de cresta de las células a la entrada. Para evitar pérdidas de células, es necesario utilizar un dispositivo tampón que almacene el exceso de células de la cadena. Se creía que un dispositivo tampón adecuado haría disminuir el índice de ráfagas (relación entre el máximo y la media de células), suavizando el tren de células combinado (salida del multiplexor estadístico). No obstante, se ha demostrado que el tren combinado tiene tantas ráfagas como las entradas. Como resultado de ello, la obtención de una ganancia estadística de multiplexación exige un dispositivo tampón mucho mayor en cada punto de contención. El dimensionamiento del dispositivo tampón es objeto de un compromiso entre la reducción del retardo y los errores de células.

Figura 7.2 – Multiplexor estadístico y multiplexor basado en el nivel de cresta



Según la Recomendación UIT-T I.120, «*la característica principal de concepto RDSI*» y en consecuencia de la RDSI-BA también «*es el soporte de una amplia gama de aplicaciones vocales y no vocales en la misma red. Un elemento clave de la intervención del servicio ... es la prestación de una gama de servicios que utilizan un conjunto limitado de tipos de conexión y de disposiciones de interfaz usuario-red multifunción.*»

El ATM es un modo de transferencia para implementar la RDSI-BA. En el término «transferencia» se incluye la transmisión y la conmutación de la información (con un retardo y una complejidad razonables). A fin de explicar las propiedades del ATM en la Figura 7.3 se presentan tres tipos diferentes de modo de transferencia.

Hoy en día, la técnica normalizada de conmutación para las señales de banda estrecha (que principalmente son conexiones de señales vocales) es la conmutación de canales síncronos en toda la duración de la conexión. La conmutación se efectúa mediante combinaciones de etapas de conmutación espacial y temporal en las centrales. En el *modo de transferencia síncrono* (STM) cada conexión se presenta periódicamente como una palabra de longitud fija (denominada también «intervalo de tiempo»); véase la Figura 7.3 (a).

En las aplicaciones de datos se utilizan paquetes (bloques de información). En un *modo de transferencia por paquetes* (UIT-T, I.113), las funciones de transmisión y conmutación se efectúan mediante técnicas orientadas a los paquetes (por su dirección únicamente, sin ninguna relación con el tiempo), de forma que se comparten dinámicamente recursos entre distintas conexiones; véase la Figura 7.3 (b).

En el *modo de transferencia asíncrono* toda la información que ha de transferirse se pone en paquetes de intervalos de tamaño fijo denominados **células** y el funcionamiento se efectúa en un modo orientado a la conexión. Estas células tienen un campo de información de 48 octetos y un encabezamiento de 5 octetos que contiene la información de encaminamiento y control. La transferencia es asíncrona en el sentido de que la repetición de células que contienen la información procedente de un usuario individual para un único servicio no es necesariamente periódica; véase la Figura 7.3 (c).

La tecnología ATM está pensada para eliminar la duplicación de los requisitos en cuanto a equipo y programas. Así pues, una sola red debe dar una eficacia superior en el enlace, una simplificación de las operaciones, del mantenimiento y de la puesta en servicio, una reducción de los costes del equipo y una atribución flexible de los recursos de red.

El ATM utiliza el principio de división en el tiempo asíncrona (ATD), según el cual una capacidad de transmisión se organiza en intervalos no especializados que se llenan con células etiquetadas, en función de la necesidad instantánea de cada aplicación. Cada fuente de aplicación, como puede tener una velocidad binaria variable, define su propia velocidad de transmisión.

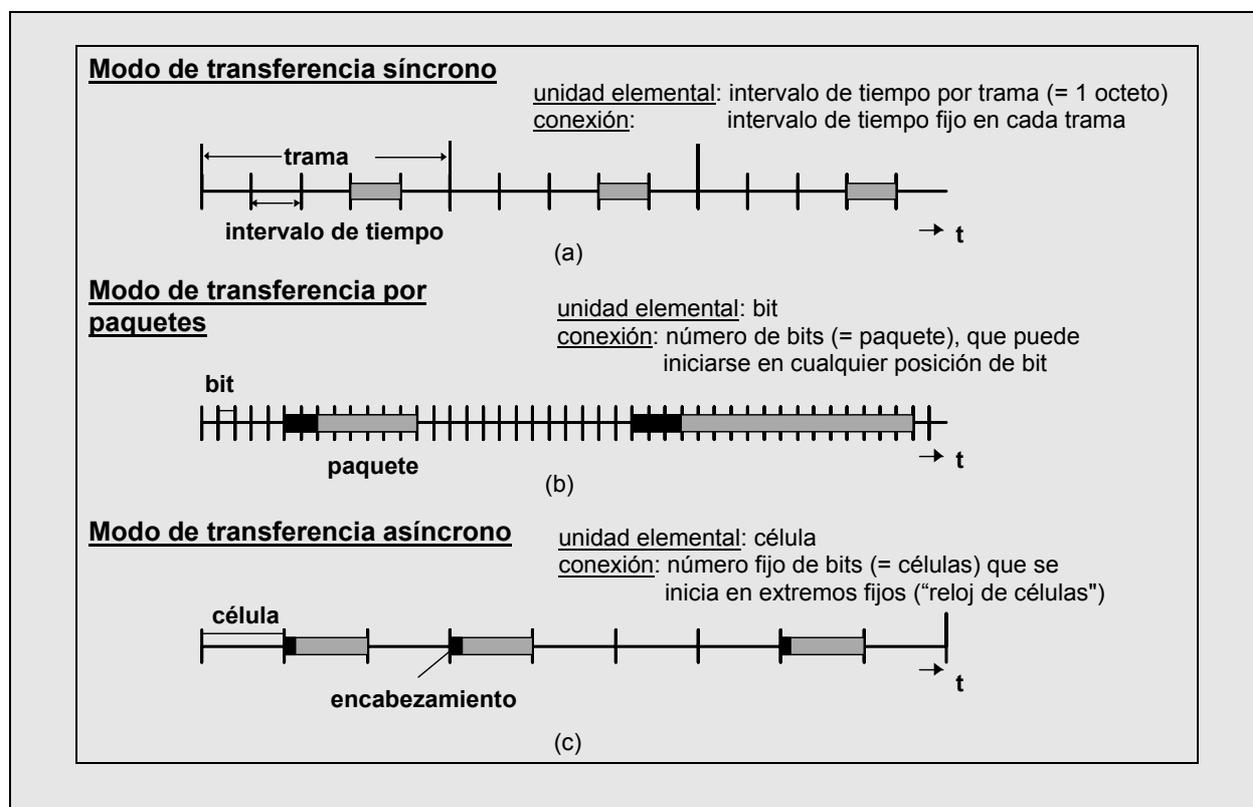
El ATM cumple tres requisitos básicos de los servicios futuros

Los servicios futuros exigirán velocidades de transmisión elevadas, mayores de 100 Mbit/s. Se utilizarán para la transmisión rápida de documentos, las conexiones rápidas entre procesadores o las transmisiones de imagen.

Muchos servicios necesitan una capacidad de transporte variable que pueda definirse para cada conexión de forma individual. Dependiendo de las características en cuanto al tráfico del servicio, puede tener que transmitirse información continua o por paquetes.

El tercer requisito corresponde a la necesidad de velocidades binarias variables durante la conexión. Los servicios interactivos tienen fases con velocidades binarias muy elevadas durante la transferencia de información y fases con un flujo casi nulo de información durante el tratamiento o la observación de ésta (tráfico por ráfagas). La codificación con velocidad binaria variable genera velocidades binarias distintas durante la conexión.

Figura 7.3 – Comparación entre tres modos de transferencia diversos



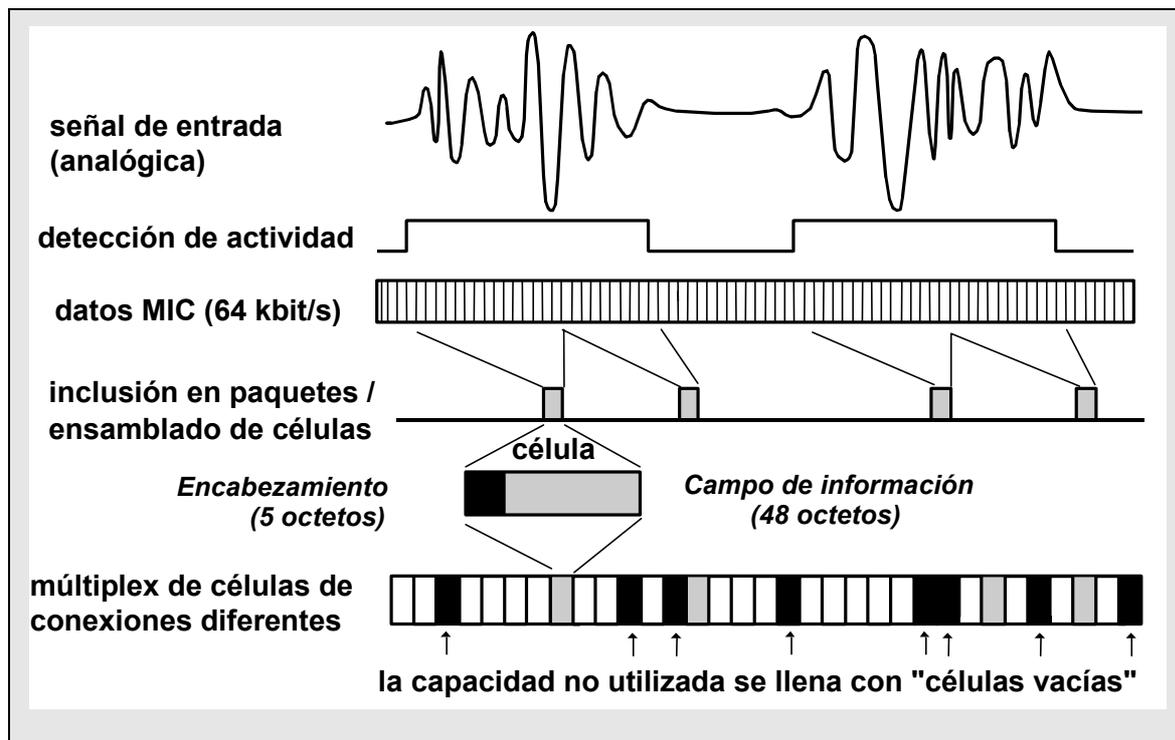
Las células ATM pueden transportarse por sistemas de transmisión distintos. El único requisito es que se garantice la independencia de la secuencia binaria, lo que significa que no debe haber restricciones en la información permitida en la célula. El UIT-T ha definido dos opciones de interfaz-red, una basada en la SDH y la otra en la pura multiplexación de células.

Las señales de la fuente se encajan en paquetes en el terminal o, cuando se trata de terminales convencionales de adaptador de terminal separado, en células ATM. En los sistemas ATM (centrales, multiplexores, concentradores) se multiplexan estadísticamente células de distintas conexiones. La capacidad de transmisión no utilizada se llenará con células vacías. La Figura 7.4 muestra un ejemplo del proceso mediante el que las señales analógicas se empaquetan en células y estas células se multiplexan con células de otras conexiones.

En una red ATM aparecen nuevos efectos que no son conocidos en las redes síncronas. Por ejemplo, se tarda 6 ms en rellenar una célula de un tren de datos de 64 kbit/s. En la red, estas células se multiplexan con otras y se modifican en el nodo de conmutación. De esta manera, se producen retardos adicionales, más que fijos. En los servicios con trenes de velocidad constante, han de preverse medidas adecuadas.

Además, pueden perderse células debido a errores binarios, rebasamiento de la etapa tampón o por la acción de una función de vigilancia que supervisa el tren de células a fin de cumplir los parámetros convenidos. Una pérdida de célula representa la falta de 48 bytes de información. La codificación de la fuente debe compensar este tipo de error.

Figura 7.4 – Proceso de empaquetado/ensamblado de células



7.2 Conexiones virtuales – Canal virtual y trayecto virtual

La ATM es una técnica *orientada a la conexión* con conexiones virtuales entre puntos de terminación. Los términos fundamentales relativos a las conexiones virtuales se definen en la Recomendación UIT-T I.311.

Canal virtual

El canal virtual (VC) es un término genérico utilizado al describir una capacidad de comunicación unidireccional para el transporte de células ATM. Todo canal virtual obtiene su identificador (VCI) en el proceso de establecimiento de la conexión. El VCI forma parte de un encabezamiento de célula.

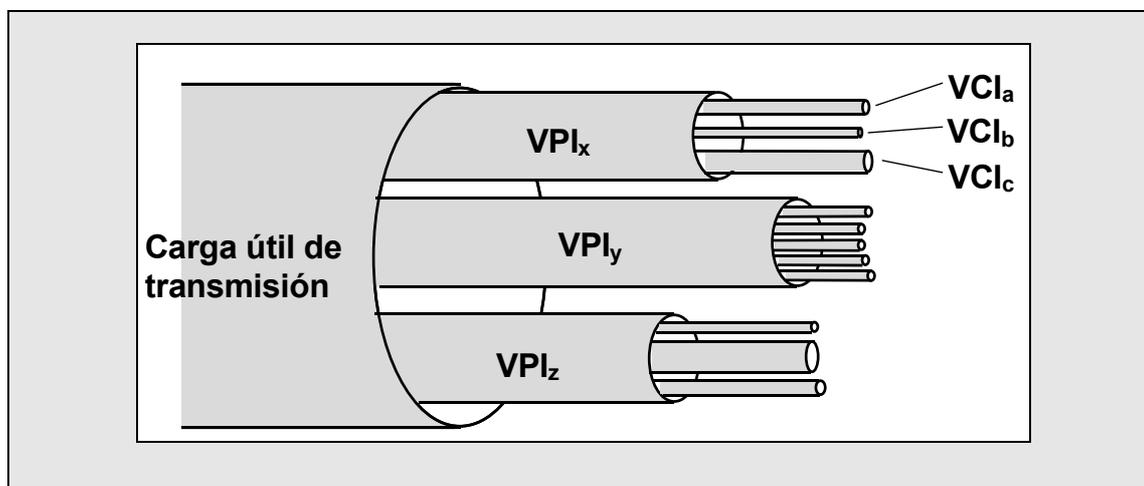
Trayecto virtual

El trayecto virtual (VP) representa un concepto utilizado para describir el transporte unidireccional de células pertenecientes a canales virtuales asociados por un identificador común único (VPI). También forma parte de un encabezamiento de célula.

Los parámetros de una conexión virtual se definirán en la fase de establecimiento de la conexión. Utilizando un procedimiento de señalización, se interroga al identificador de canal virtual (VCI, *virtual channel identifier*) y al identificador de trayecto virtual (VPI, *virtual path identifier*) desde la central local. Las centrales verifican la disponibilidad de los recursos solicitados y los asignan, si están disponibles.

Los identificadores de trayecto virtual y de canal virtual (VPI, VCI) del encabezamiento definen la forma en que las células se encaminan por la red. Así pues, se reconocen las células pertenecientes a la misma conexión virtual y pueden distinguirse las células pertenecientes a otras conexiones virtuales.

Figura 7.5 – Relación entre trayectos virtuales y canales virtuales



Los valores de VPI y VCI sólo son válidos a lo largo de la duración de la conexión y normalmente son diferentes para cada enlace, porque cada nodo de conmutación vuelve a procesarlos de cara al próximo enlace. No obstante, siempre están claramente asignados a su conexión virtual. Como la ATM es una técnica orientada a la conexión, todas las células de una conexión toman la misma ruta. De esta manera, mantienen el mismo orden y no es posible que se trastoquen. El mantenimiento del orden de las células se conoce como *principio de integridad de la secuencia de células* (UIT-T, I.150).

El VPI define agrupamientos de conexiones virtuales (véase la Figura 7.5). En la red, pueden tratarse al mismo tiempo los agrupamientos de conexiones caracterizadas por el mismo VPI. En el futuro, puede utilizarse una aplicación diferente para distinguir entre distintas redes/operadores. El abonado puede definir, mediante la dirección VPI, la red que desea utilizar.

En un entorno ATM, un circuito o un trayecto no tienen una capacidad fija. El término virtual significa que las células se encaminan desde el origen a su destino sobre la base del VPI en cualquier forma que resulte adecuada. Todas las células con el mismo valor VPI pertenecen al mismo trayecto virtual (VP) y un VP puede contener varios canales virtuales. De esta manera, un VC es una subdivisión lógica del VP y todas las células que tengan el mismo VPI y el mismo VCI pertenecen al mismo VC.

Un enlace físico que contenga varios VP y VC interconecta nodos adyacentes; no obstante, el concepto de VP y de VC tiene un significado más amplio que el de las meras conexiones de un nodo a otro. Un VP puede abarcar una serie de nodos. El valor del VPI es sólo un identificador local que corresponde a una sección de un VP. Dicha sección se denomina *enlace VP*. Con la ayuda de las unidades de conmutación ATM, pueden conectarse una serie de enlaces VP para constituir un trayecto virtual completo.

Cada trayecto virtual puede contener una serie de canales virtuales. Al igual que el VP, el VC puede abarcar una serie de nodos. La sección de un VC que reside en un VP se denomina *enlace VC*. La conexión entre un enlace VC y otro exige un conmutador ATM capaz de efectuar la conmutación a nivel de VC.

Las conexiones de trayecto virtual y de canal virtual pueden establecerse dinámicamente (por demanda) mediante procedimientos iniciados por el usuario final, y un operador sólo puede establecer conexiones virtuales utilizando un sistema de gestión.

Un ejemplo de dónde pueden utilizarse trayectos y canales virtuales sería el de una compañía que conectase sus computadores y teléfonos arrendando un trayecto virtual. De esta manera, se atribuye a la compañía una serie de canales virtuales. Estos VC pueden utilizarse para múltiples servicios diferentes, tales como el correo electrónico, la telefonía, el acceso a Internet y la transferencia de ficheros.

Como la ATM es una técnica orientada a la conexión, es necesario establecer circuitos virtuales entre los nodos extremos antes de que pueda iniciarse la transmisión. De esta manera, el encaminamiento de células se realiza en cada nodo para cada célula que llegue. El VPI (campo de 8 ó de 12 bits) junto con el VCI (campo de 16 bits) contiene la información de encaminamiento de una célula. En el proceso de encaminamiento, se traslada el valor VCI del enlace VC de llegada a un valor VCI del enlace de salida.

Un VP es un grupo de VC entre dos nodos en una RDSI-BA. Se asocia una ruta predefinida a cada VP en la red física. Además, cada VP tiene su propia anchura de banda definida, lo que limita el número de VC que pueden multiplexarse en un VP. En general, los VPI se utilizan para encaminar paquetes entre dos nodos que dan origen, eliminan o dan terminación a los VP, mientras que los VCI se utilizan en los nodos extremos para distinguir las distintas conexiones.

7.3 Red de transporte ATM por capas – Concepto general

Conforme a la Recomendación I.311 del UIT-T, la red de transporte ATM se estructura en dos capas. La capa ATM y la capa física; véase la Figura 7.6. Las funciones de transporte de la capa ATM se dividen en dos niveles; el nivel VC y el nivel VP. Las funciones de transporte de la capa física se dividen en tres niveles, el nivel de trayecto de transmisión, el nivel de sección digital y el nivel de sección de regenerador. Las funciones de transporte de la capa ATM son independientes de la implementación de la capa física.

El **extremo de la conexión** está situado en la frontera de los niveles (por ejemplo entre el nivel VC y el nivel VP) donde se da servicio a un cliente. El cliente puede hallarse ubicado en el nivel superior siguiente o en el plano de gestión. El extremo de la conexión proporciona la función de terminación de la conexión.

El **punto de conexión** se encuentra en el interior de una conexión a la que acceden dos enlaces adyacentes. Está situado en un nivel en el que la información se encamina de forma transparente. Proporciona la función de conexión.

La **conexión** proporciona la capacidad de transferir la información entre extremos. Representa la asociación entre extremos junto con cualquier información adicional relativa a la integridad de transferencia de la información.

El **enlace** proporciona la capacidad de transferir la información de manera transparente. Un enlace representa la asociación entre puntos de conexión contiguos o entre un extremo y su punto de conexión contiguo.

Como se ve en las figuras 7.6 y 7.7, un trayecto de transmisión puede comprender varios trayectos virtuales, de los que cada uno cursa varios canales virtuales. La relación entre los distintos niveles de la red de transporte ATM es obvia.

El **nivel de trayecto de transmisión** se extiende entre los elementos de red que ensamblan y desensamblan el contenido útil de un sistema de transmisión. La delimitación de células y las funciones de control de errores de encabezamiento son necesarios en los extremos de cada trayecto de transmisión.

El **nivel de sección digital** se extiende entre los elementos de red que ensamblan y desensamblan un tren continuo de bits o de octetos.

El **nivel de sección de regenerador** se extiende entre los elementos de la red que realizan la regeneración de la señal.

Figura 7.6 – Relación jerárquica entre niveles de la red de transporte ATM

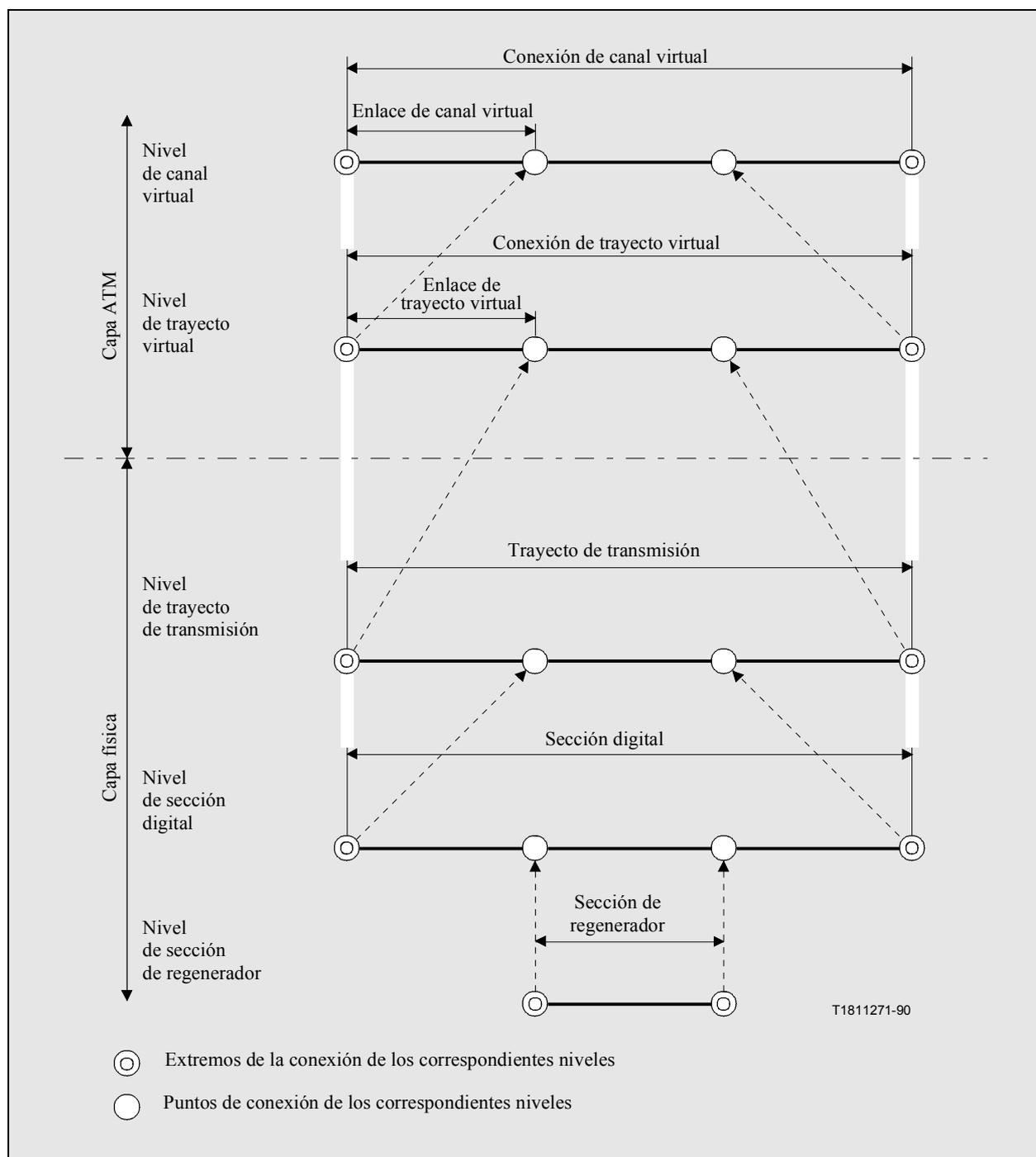
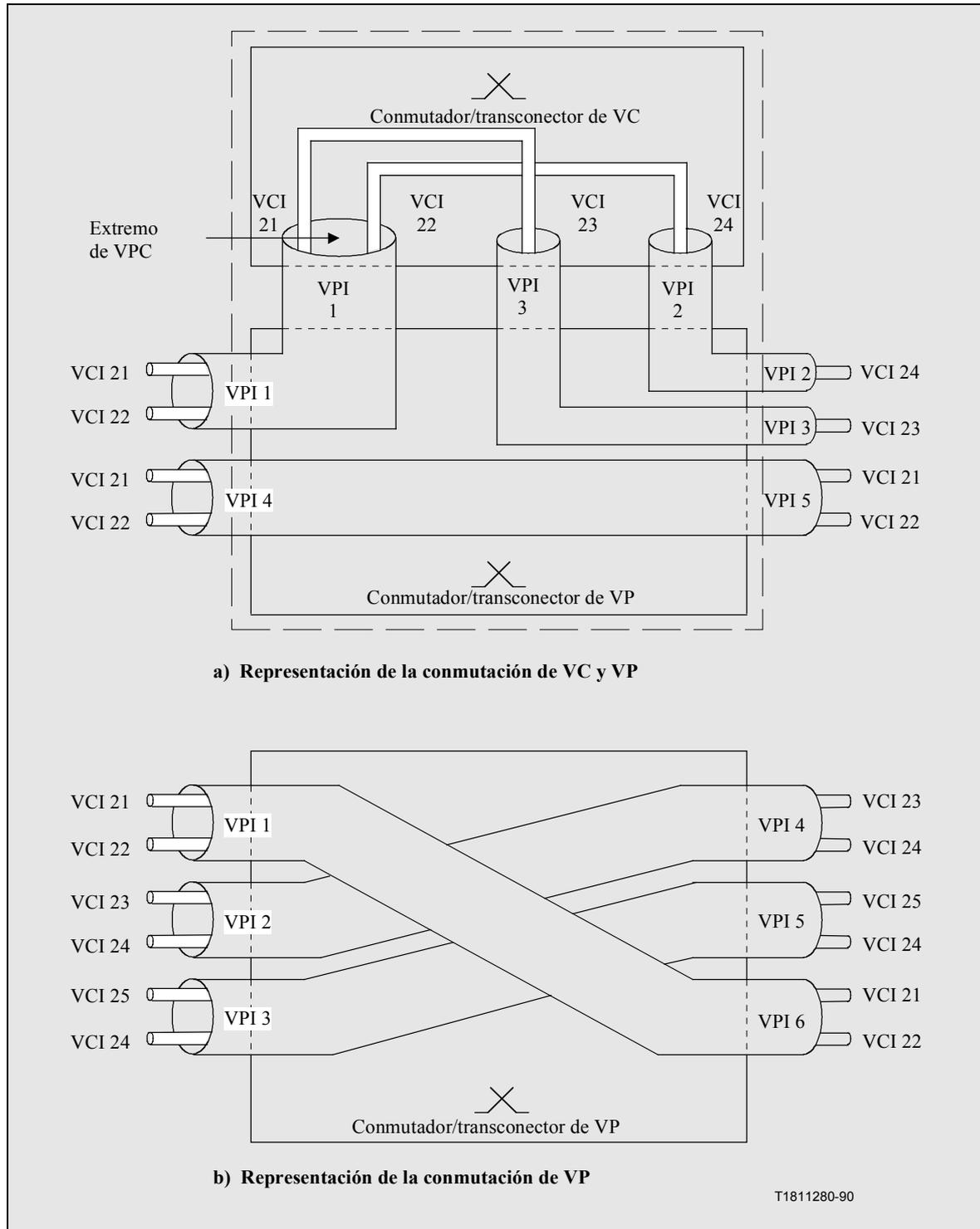


Figura 7.7 – Representación de la jerarquía de conmutación de VC y VP (UIT-T L311)



7.4 Conmutación ATM de los VP y los VC

Un sistema ATM permite la conmutación de paquetes. Utiliza pequeños paquetes del mismo tamaño, denominados células, y un protocolo simple que permite la transmisión, interpretación y entrega de las células con la rapidez suficiente para cursar toda clase de información, incluyendo las señales vocales y de vídeo. Las elevadas velocidades binarias exigen una lógica de circuitos rápida para el tratamiento de las células (conmutación, multiplexación), en lugar del procesamiento por programa de las células, lo que exigiría más tiempo.

Las dos tareas principales de la conmutación ATM o nodo de transconexión son:

- la evaluación y nuevo cálculo del VPI/VCI, y
- el transporte de células desde los puertos de entrada a los puertos de salida requeridos.

La conmutación de las células ATM se efectúa conforme a una tabla de encaminamiento. En relación únicamente con la primera tarea de conmutación, puede llegarse a la conclusión de que hay dos niveles de conmutación posibles, el nivel VC y el nivel VP. La conmutación al nivel VC significa que sólo se conecta un enlace VC de entrada a uno (o más) enlace(s) VC de salida. La traducción se basa en los datos de la tabla de encaminamiento que asocian el valor VPI/VCI de entrada al puerto de salida.

La conmutación en el nivel VP significa que el encaminamiento de células se basa únicamente en el valor de VPI. Así pues, todas las células de entrada con un determinado valor de VPI se dirigen a un cierto enlace VP de salida. No se tiene en cuenta el VCI. El valor de dicho VCI continúa siendo el mismo.

El VCI identifica un enlace VC particular para una determinada conexión de trayecto virtual (VPC, *virtual path connection*). Se asigna un valor específico de VCI cada vez que el VC es conmutado en la red.

Las funciones de encaminamiento de los canales virtuales se efectúan en un computador/transconexión VC. Este encaminamiento implica la traducción de los valores de VCI de los enlaces VC de llegada a los valores de VCI de los enlaces VC de salida.

Los enlaces de canal virtual se concatenan para formar una conexión de canal virtual (VCC, *virtual channel connection*). Una VCC se extiende entre dos extremos de VCC o, en el caso de configuraciones punto a multipunto, entre más de dos extremos de VCC. Un punto terminal de VCC es el punto en el que el campo de información de célula se intercambia entre la capa ATM y el usuario del servicio de capa ATM.

7.5 Formato de célula ATM

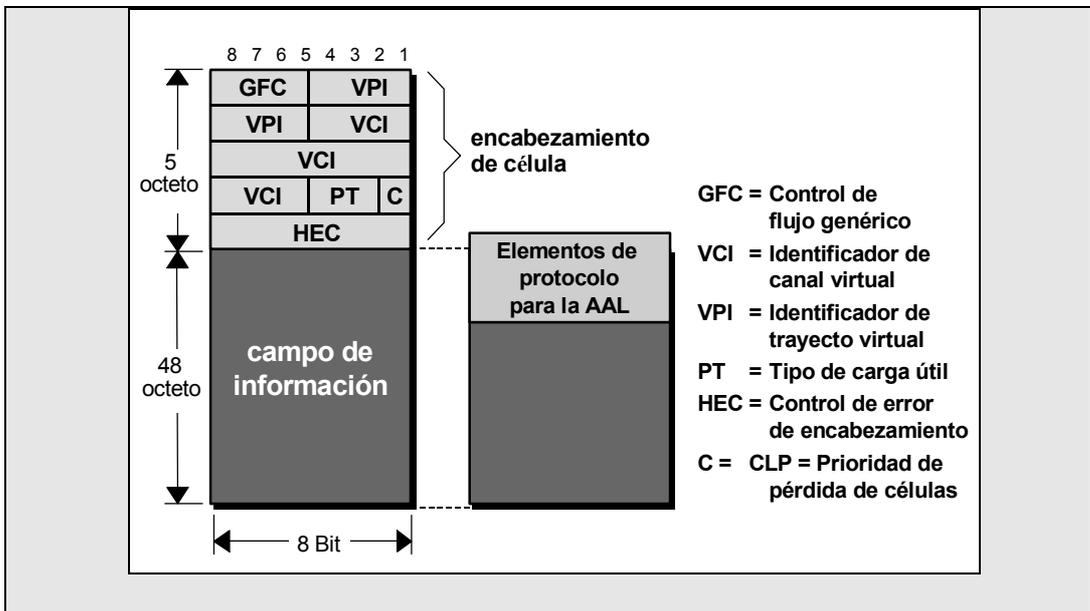
El sistema ATM transporta información en pequeños paquetes, denominados células, con

- una longitud de bloque fija de 48 bytes (octetos) para el campo de información, y
- 5 bytes (octetos) para la información de control (el encabezamiento de célula).

Las ventajas de las células de tamaño fijo se traducen en una reducción del retardo de cola para las células de gran prioridad y en una mayor eficacia de la conmutación. Ambas ventajas son muy importantes para las velocidades de datos muy elevadas previstas en el ATM.

La Figura 7.8 muestra la estructura de una célula ATM (UIT-T I.361). Este formato corresponde a la célula en la interfaz de usuario/red (UNI, *user-network interface*), que normalmente es el punto de separación entre una red pública ATM y la instalación privada. Hay una ligera diferencia respecto a la célula de una interfaz red-nodo (NNI, *network-node interface*), es decir, entre los nodos de la red ATM. En el caso NNI, el encabezamiento de célula no tiene el campo de control de flujo genérico y en su lugar tiene un VPI adicional de 4 bits.

Figura 7.8 – Formato de la célula ATM



GFC – Control de flujo genérico

El GFC es un campo de 4 bits que da el control del flujo en la UNI para el tráfico que tiene su origen en el equipo de usuario y que se dirige a la red, y no controla el tráfico en el otro sentido (es decir, para el flujo de tráfico de la red al usuario). No se utiliza en la red y está pensado para quien utiliza los mecanismos de acceso que implementan los distintos niveles y prioridades de acceso. La Recomendación I.150 especifica la utilización del GFC.

El GFC debe ser capaz de asegurar que los terminales acceden a sus capacidades aseguradas, especialmente los que tienen elementos de capacidades garantizadas. La capacidad de reserva restante debe compartirse equitativamente en la UNI entre todos los demás terminales. Se han propuesto diversas medidas para la equidad. La mayoría de ellas se basan en cantidades iguales de capacidad de reserva o en el mismo porcentaje de la velocidad binaria solicitada adicionalmente. En una serie de documentos y en las contribuciones del foro ATM se ofrece un análisis amplio de la equidad a los distintos niveles.

El GFC debe aceptar distintas demoras, así como diferentes variaciones de demora y requisitos que deben cumplirse con carácter prioritario. Debe ser insensible a la mezcla de tráfico, al número de terminales y a la distancia entre terminales.

La intención principal del ATM es dar cabida a velocidades binarias elevadas con pequeños retardos, cuando no hay facilidades para almacenar células durante un largo periodo de tiempo. De esta forma no hay razón para incluir el GFC dentro de una red ATM. El GFC controla terminales conectados a una red de cliente.

VPI – Campo de identificador de trayecto virtual

El campo VPI en la UNI consta de ocho bits (cuatro en el primer octeto y cuatro en el segundo octeto). Estos bits se utilizan para el encaminamiento. El VPI en la NNI lleva cuatro bits adicionales (12 en total) lo que da unas capacidades de encaminamiento mejoradas. El VPI se utiliza para encaminar células entre dos nodos en los que tienen origen, se eliminan o terminan los VP.

VCI – Campo de identificador de canal virtual

El campo VCI consta de 16 bits y se utiliza (junto con el VPI) para el encaminamiento. Distingue las distintas conexiones y se utiliza en los nodos extremos.

PTI – Identificador de tipo de carga útil

Hay tres bits en el encabezamiento ATM para definir el tipo de carga útil. Un valor 0 en el primer bit del PTI indica información de usuario, es decir, información procedente de la capa superior siguiente. En este caso, el segundo bit indica que se ha producido congestión (0 en caso negativo).

Un valor de 1 en el primer bit es una indicación de que una célula cursa información de gestión o mantenimiento de la red.

CLP – Prioridad de pérdida de célula

El campo CLP del encabezamiento de célula ATM es un campo de 1-bit utilizado explícitamente para indicar la prioridad de pérdida de célula. Debido a la multiplexación estadística de las conexiones, es inevitable que se produzcan pérdidas de células en una conexión RDSI-BA. Una célula con una CLP igual a 1 puede ser descartada por la red durante la congestión, dependiendo de las condiciones imperantes en la red. Una célula con una CLP igual a 0 tiene una prioridad superior y no se descartará si es posible.

Cuando se establece una conexión, se determina el índice para las células de prioridad superior, de haberlo (se establece la prioridad superior para los servicios que exigen una capacidad mínima garantizada).

HEC – Control de error de encabezamiento

El campo HEC se utiliza principalmente con dos fines: corregir (si es posible) o descartar células con encabezamientos corruptos y para delineación de células. El campo de 8 bits prevé la corrección de un error de un solo bit y da una probabilidad reducida de que se entreguen células corruptas. El mecanismo HEC se especifica en la Recomendación UIT-T I.432. Es una función de capa física, capaz de corregir errores de un solo bit y de detectar errores multibits en el encabezamiento de célula ATM.

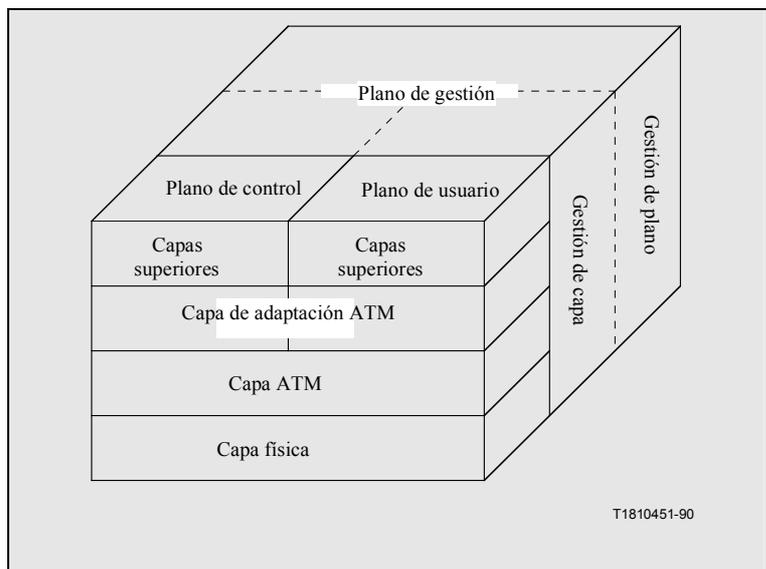
Debe señalarse que el convenio de numeración relativo a las posiciones de los octetos en una célula supone el envío de los octetos (bytes) en orden creciente. Por tanto, el encabezamiento de células se envía en primer lugar. Los bits de un octeto se envían en orden decreciente, empezando por el bit más significativo (MSB, *most significant bit*).

7.6 Modelo de referencia de protocolo RDSI-BA

El modelo de referencia de protocolos de la RDSI-BA se ilustra en la Figura 7.9. Se compone de:

- un plano de usuario,
- un plano de control, y
- un plano de gestión.

Figura 7.9 – Modelo de referencia de protocolos de RDSI-BA (UIT-T I.321)



Por encima de la capa física, la capa ATM efectúa la transferencia de células para todos los servicios, y la capa de adaptación ATM (AAL, *ATM adaptation layer*) proporciona funciones dependientes del servicio a la capa superior a AAL. La capa por encima de la AAL situada en el plano de control proporciona funciones de control de llamada y control de conexión. El plano de gestión proporciona funciones de supervisión de la red. En el punto siguiente aparece una descripción funcional de la capa física, de la capa ATM y de la AAL. Las funciones de las capas por encima de la AAL requieren ulterior estudio.

Plano de usuario

El plano de usuario, con su estructura estratificada, efectúa la transferencia del flujo de información de usuario, junto con los correspondientes controles (por ejemplo, control de flujo y corrección de errores).

Plano de control

Este plano tiene una estructura estratificada y realiza las funciones de control de llamada y de control de conexión; se encarga de la señalización necesaria para establecer, suspender y liberar llamadas y conexiones. La distinción entre plano de control local y global en el entorno de banda ancha, si es que existe, requiere ulterior estudio.

Plano de gestión

El plano de gestión proporciona dos tipos de funciones, a saber, las funciones de gestión de capa y las funciones de gestión de plano.

- a) *Funciones de gestión de plano*: La gestión de plano lleva a cabo las funciones de gestión relacionadas con el sistema en su conjunto, efectuando la coordinación entre todos los planos. La gestión de plano no tiene una estructura estratificada.
- b) *Funciones de gestión de capa*: La gestión de capa lleva a cabo las funciones de gestión (por ejemplo, metaseñalización) relacionadas con los recursos y con los parámetros que residen en sus entidades de protocolo. La gestión de capa trata los flujos de información de operaciones y mantenimiento (OyM) específico de la capa en cuestión. La Recomendación Q.940 proporciona detalles adicionales.

NOTA – Una posible fusión de las funciones de gestión de plano y gestión de capa requiere ulterior estudio.

7.6.1 Funciones de las capas individuales del modelo de referencia de protocolos de la RDSI-BA

A continuación se indican las funciones de cada capa, así como las primitivas que se intercambian entre las capas y las que se intercambian entre las capas y el plano de gestión. Los flujos de información que se describen no implican ninguna realización práctica determinada. La Figura 7.10 muestra las capas del PRM e identifica las funciones de la capa física, capa ATM y AAL.

Figura 7.10 – Funciones de la RDSI-BA con el modelo de referencia de protocolo

Gestión de capa	Funciones de capa superior	Capas superiores	
	Convergencia	CS	AAL
	Segmentación y reensamblado	SAR	
	Control de flujo genérico Generación/extracción del encabezamiento de célula Traducción del VPI/VCI de célula Multiplexión y demultiplexión de células	ATM	
	Desacoplamiento de la velocidad de células Generación/verificación de secuencia de encabezamiento de CEE Delimitación de células Adaptación de la trama de transmisión Generación/recuperación de la trama de transmisión	TC	Capa física
	Temporización de los bits Medio físico	PM	

CS Subcapa de convergencia
PM Medio físico
SAR Subcapa segmentación y reensamblado
TC Convergencia de transmisión

Un encabezamiento de célula contiene únicamente información relativa a la red. La Recomendación UIT-T I.321 contiene informaciones detalladas que describen los diversos tipos de células. Las células que no llevan información relativa al ATM y a todas las capas superiores se utilizan en la capa física.

Célula en reposo – célula insertada/extraída por la capa física para adaptar la velocidad del flujo de células en la frontera entre la capa ATM y la capa física a la capacidad de contenido útil disponible del sistema de transmisión utilizado.

Célula válida – célula cuyo encabezamiento no tiene error o ha sido modificada por el proceso de verificación por control de errores del encabezamiento (CEE).

Célula no válida – célula cuyo encabezamiento tiene errores y no ha sido modificada por el proceso de verificación por CEE. Se la descarta en la capa física.

Se pasan dos tipos de célula a la capa física:

Célula asignada – célula que proporciona un servicio a una aplicación que utiliza el servicio de la capa ATM.

Célula no asignada – célula que no está asignada.

Cada capa trata aspectos diferentes de la conexión. Como las conexiones pueden distribuirse por varios nodos, es necesario intercambiar información entre ellos. En cada nivel hay protocolos que deben utilizarse con este fin.

7.6.2 Capa física

La *capa física* se encarga del transporte de células. La capa física ATM se divide realmente en dos partes: la subcapa de medio físico (PM) y la subcapa de convergencia de transmisión (TC).

La *subcapa de medio físico* (PM, *physical medium*) es la parte más baja de la jerarquía PRM e incluye únicamente funciones dependientes del medio físico. Se encarga del envío y la recepción de un flujo continuo de bits con la información de temporización asociada para sincronizar la transmisión y la recepción. De esta manera, la capacidad de transmisión, que incluye la generación y recepción de formas de onda adecuadas para el medio (inserción y extracción de información de temporización, codificación de línea) es la tarea principal de la PM.

La *subcapa de convergencia de transmisión* (TC, *transmission convergence*) se encarga de la delimitación de células (identificación de las fronteras de célula, I.432), el control de errores de encabezamiento, el desacoplamiento de la velocidad de células, la adaptación de la trama de transmisión y la generación y recuperación de la trama de transmisión. La adaptación de la trama de transmisión se encarga de todas las acciones necesarias para adaptar el flujo de células, conforme a la estructura de carga útil utilizada por el sistema de transmisión en el sentido del envío. Esta trama puede ser equivalente a una célula (si no se utiliza trama externa) o dependiente de la red de transporte (por ejemplo, SDH, xDSL).

7.6.3 Capa ATM

La capa ATM reúne las células en el formato correcto. Toma el campo de información de 48 bytes formado en la AAL y añade un encabezamiento de célula ATM de 5 bytes. Los valores del VPI y el VCI para cada célula se calculan en la capa ATM.

Tal como se mencionó anteriormente, el tratamiento de trayectos virtuales y de canales virtuales implica la conmutación de células que vienen de la capa física, sobre la base de tablas de encaminamiento. Dicho encaminamiento se trata en la capa ATM.

Los aspectos de la capa ATM son independientes del medio físico y son cuatro las funciones principales de las que se encarga esta capa:

- La *multiplexación de células*, cuando el tren compuesto es un flujo de células no continuo. En el extremo de recepción se realiza la demultiplexación entre flujos individuales adecuados al VP y al VC.
- La *traducción del VPI y del VCI* se realiza en los nodos de conmutación y/o en los nodos de cruce/conexión.
- La *generación/extracción del encabezamiento de célula* se realiza en los puntos en que termina la capa ATM. El campo de información (los 48 octetos que siguen al encabezamiento) se pasa a la capa superior (la capa de adaptación ATM).
- La *función GFC* se define para la interfaz usuario-red. Puede utilizarse con el fin de aliviar condiciones de sobrecarga de corta duración. La información GFC se lleva en células asignadas o no asignadas.

Todas las células no tienen la misma prioridad. En la misma calidad de servicio (QoS) la prioridad de células se indica mediante el valor del bit CLP en el encabezamiento de célula. Si se produce congestión, se descartan en primer lugar las células de prioridad inferior. Además, las células que entran a un VP o VC deben enviarse en el orden correcto. Estas funciones se tratan en la capa ATM.

7.6.4 Capa de adaptación ATM

La utilización del ATM genera el problema del soporte de los flujos de información que no se basan en el ATM. El ejemplo más sencillo es el de la modulación por impulsos codificados (MIC) que se envía en

un tren continuo de octetos. La forma en que se ensamblan los bits MIC en células para la transmisión y en cómo se leen en el extremo de recepción atañe a la capa de adaptación.

Clases de servicios ATM

La UIT ha identificado cinco clases de servicios en relación con la velocidad binaria, la relación de temporización entre la fuente y el receptor y el modo de conexión. Se enumeran en el cuadro 1.

Cuadro7.1 – Clases de servicio RDSI-BA según el UIT-T

Clase	Velocidad binaria	Relación de temporización	Modo de conexión	Protocolo AAL	Ejemplo
Tren A	constante – CBR	requerida	con conexión	Tipo 1	voz
Tren B	variable – VBR	requerida	con conexión	Tipo 2	vídeo
Datos C	variable – VBR	no requerida	con conexión	Tipo 3, 4 Tipo 5	Datos en ráfagas
Datos D	variable – VBR	no requerida	sin conexión	Tipo 3, 4	Datos
Datos X	variable – VBR	no requerida	no requerida, con conexión o sin conexión	Tipo 3, 4	Datos

Protocolos AAL

La capa de adaptación ATM (AAL) hace corresponder la información de usuario de señalización en células ATM. La propia AAL se divide en subcapas. La AAL participa únicamente en la periferia de la red ATM, en la interfaz con la red de servicio.

- La *subcapa de convergencia AAL (CS, convergence sublayer)* consta de una parte común y de una parte de servicio. Realiza la interfaz entre los servicios particulares soportados y la subcapa de segmentación y reensamblado inferior.
- La *subcapa de segmentación y reensamblado (SAR, segmentation and re-assembly)* efectúa la conversión en el formato de célula ATM y desde éste y puede dar detección de errores y multiplexación. Hay diferentes tipos de SAR para los distintos tipos de servicio.

Las diferentes aplicaciones de servicio exigen características distintas del servicio portador. Algunas requieren una velocidad binaria no especificada, por ejemplo, las aplicaciones Internet, mientras que otras requieren una velocidad binaria constante, por ejemplo, la RTPC. Debido a las técnicas de compresión utilizadas, la TV interactiva puede tener cabida con una velocidad binaria variable. La AAL adapta la capa ATM a los requisitos de las distintas aplicaciones de usuario ATM.

Se definen diversos protocolos de adaptación para la AAL. A fin de minimizar el número, el UIT-T ha propuesto una clasificación de servicios, específica de la AAL. Se han efectuado clasificaciones respecto a los parámetros siguientes:

- relación de temporización (si es necesario)
- velocidad binaria (constante o variable), y
- modo de conexión (con conexión o sin conexión).

Los protocolos se han definido para la utilización con distintos tipos de tráfico (UIT-T, I.363) tal como se describe a continuación:

- AAL1 Es el protocolo de adaptación para los servicios con velocidad binaria constante (CBR) está orientado a los servicios con conexión que exigen una relación de temporización entre la fuente y el destino (I.363.1).
- AAL2 Es el protocolo de adaptación para los servicios con conexión y velocidad binaria variable (VBR) que exigen una relación de temporización entre el origen y el destino (I.363.2).
- AAL3/AAL4 El protocolo combinado AAL3/AAL4 se definió principalmente para vincular las LAN y las WAN. Es el protocolo de adaptación para el servicio VBR con conexión que no exige una relación de temporización entre el origen y el destino (I.363.3).
- AAL5 Este protocolo es adecuado para las aplicaciones de datos por paquetes y de señalización (ambas de tipo VBR). Así pues, está destinado a las aplicaciones sin conexión sin requisitos de temporización (I.363.5).

En las Recomendaciones UIT-T (I.363.1 a I.363.5) se ofrecen explicaciones detalladas de protocolos AAL particulares sobre la base de la clasificación de los servicios ATM.

Como la capa ATM ofrece un mecanismo de transporte independiente del servicio, una capa de adaptación ATM AAL soporta las capas superiores mediante información adicional independiente del servicio. Esta información se transmite en el campo de información de la célula y por tanto, es transparente para la capa ATM. A fin de no definir una AAL para cada servicio, éstos se dividen en clases diferentes. Las funciones de la AAL son distintas para cada clase de servicio diferente.

Ejemplos de estas funciones:

- segmentación de la carga útil en células,
- reconstrucción de la carga útil a partir de las células,
- tratamiento de los distintos retardos de célula,
- tratamiento de las células perdidas y mal encaminadas,
- reconstrucción de la temporización en el extremo de recepción,
- detección de errores binarios en el campo de información,
- tratamiento de los errores binarios del campo de información,
- multiplexación y demultiplexación de la información de carga útil.

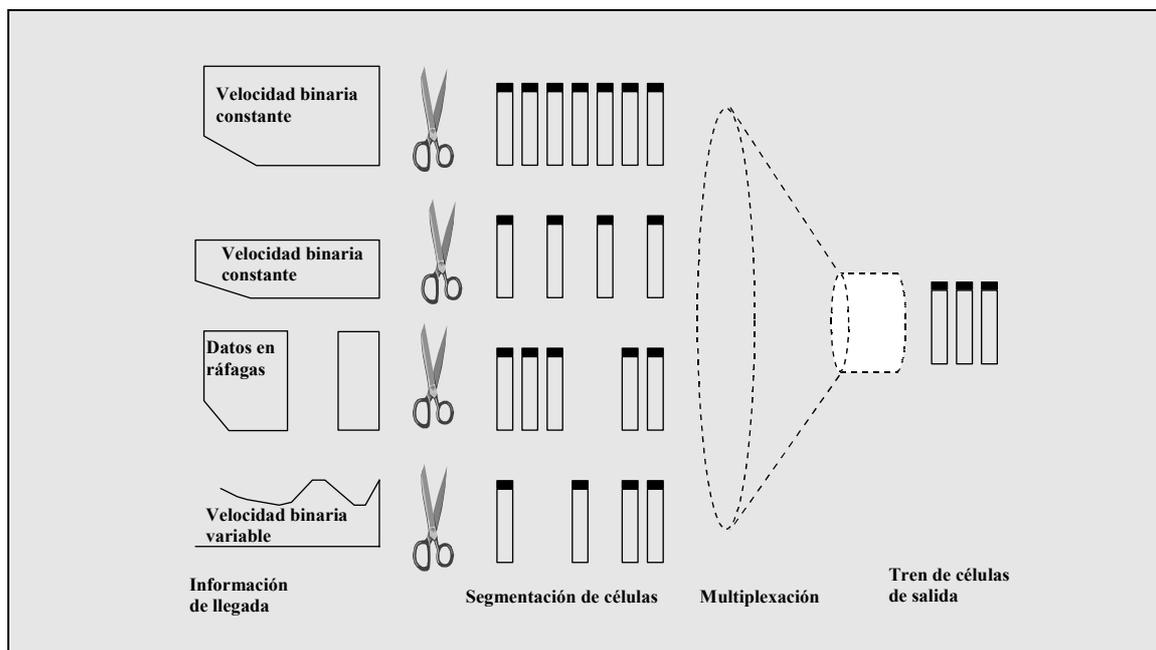
Las capas superiores no conocen la influencia de los principios ATM. Entregan información a la AAL que se encarga de la segmentación del tren de información en células, de los medios de protección y del traspaso de las células a la capa ATM para una nueva transferencia.

La frecuencia de las células depende de la velocidad de información de llegada, tal como se representa en la Figura 7.11.

El ATM encapsula todas las tramas de información procedentes de los distintos servicios en células, las coloca en un tren de células síncrono y las encamina por una red ATM. Las células se insertan en intervalos de tiempo (correspondientes al tiempo de transferencia de una célula) y se ordenan en colas, si no se dispone de intervalos de tiempo. Se transfieren asincrónicamente, conservando el principio de integridad de la secuencia de células. No obstante, tiene que aplicarse una limitación del flujo de células para evitar la sobrecarga de la red.

Un intercambio de información ATM satisfactorio se basa en protocolos definidos que especifican, por ejemplo, sintaxis, semántica, señalización e interfaces.

Figura 7.11 – Funciones de transmisión y recepción ATM



A continuación se describen algunas de las funciones que participan en una transmisión ATM entre terminales ATM (en este caso se utiliza la SDH como sistema de transmisión):

Del extremo de transmisión

- AAL:** La carga útil depende del servicio transmitido (velocidad binaria constante o variable, datos con conexión o sin conexión).
- ATM:** Adición de direcciones VC y VP al encabezamiento;
conversión de VC en un conmutador ATM;
conversión de VP en la transconexión ATM;
multiplexación de los trenes de células.
- PHY:** Inserción de células en reposo para adaptar la velocidad binaria al sistema de transmisión SDH;
generación de control de errores de encabezamiento para poder verificar el encabezamiento en el receptor;
adición de información de tara de transmisión;
inserción de la transmisión de trama SDH y de señal STM.

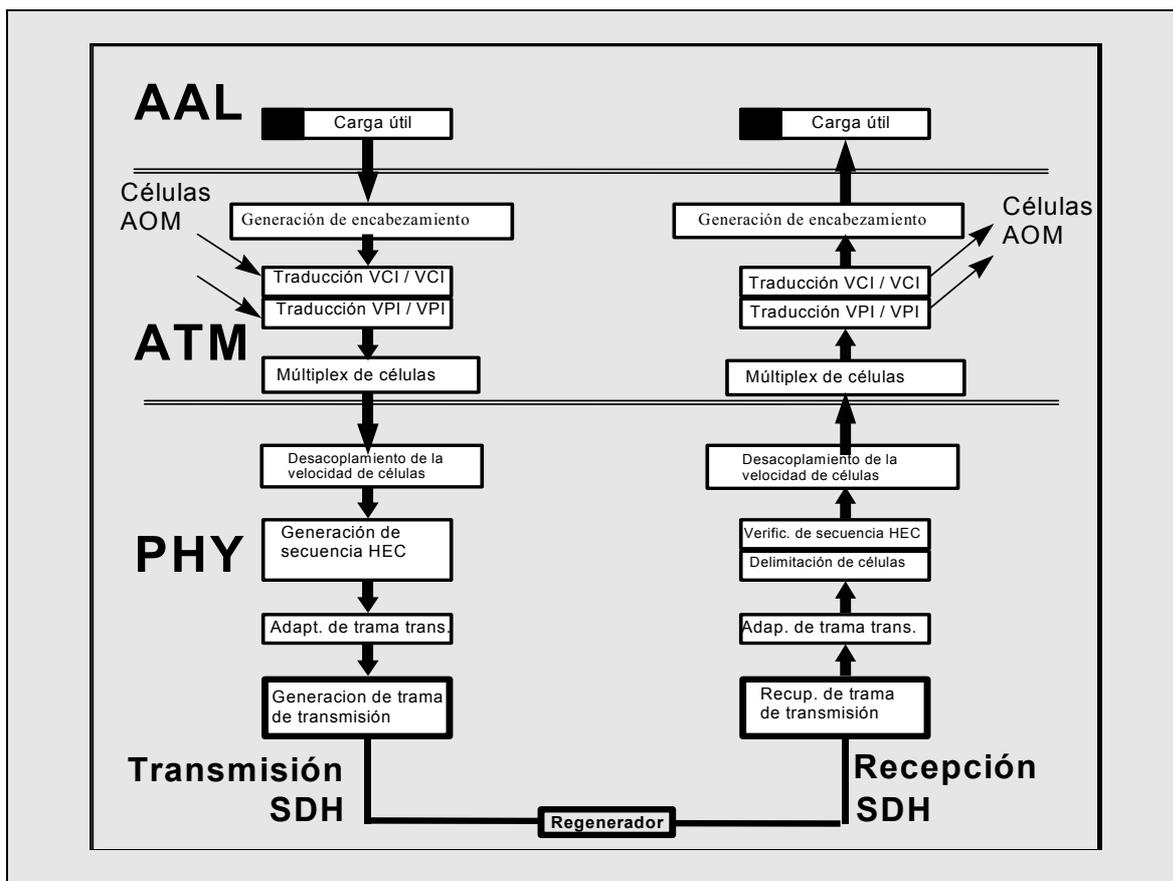
Extremo del receptor

- PHY:** Recepción de señal STM y extracción de la trama SDH;
eliminación de la tara de transmisión;
reconocimiento de células (sincronización de células);
verificación del control de errores de encabezamiento;
eliminación de células con encabezamiento no válido;
eliminación de células en reposo.
- ATM:** Demultiplexación de trenes de células y transferencia a sus direcciones;
conversión VP en transconector ATM;
conversión VC en conmutador ATM;
eliminación del encabezamiento.
- AAL:** Entrega de la carga útil al receptor del servicio.

El encabezamiento contiene, además de las direcciones VC y VP, información referente a: control de flujo, prioridad de pérdidas de células, identificador de tipo de carga útil y control de errores de encabezamiento. En el caso de sobrecarga, se eliminan las células con baja prioridad para evitar congestión de la red. Se descartan las células con errores.

Para la gestión de extremo a extremo del canal y del trayecto, pueden insertarse células OAM en el extremo de transmisión y recuperarse en el extremo de recepción, a fin de evaluar la calidad de la información transmitida.

Figura 7.12 – Funciones de transmisión y recepción ATM



7.7 Operación y mantenimiento (OAM)

7.7.1 Principios de OAM

Al especificar las funciones de *operación y mantenimiento* (OAM) de la RDSI-BA se han de considerar los principios siguientes.

a) Comprobación de la calidad

Comprobación de la calidad es una función que procesa la información de usuario a fin de producir información de mantenimiento específica para la información de usuario. Esta información de mantenimiento se añade a la información de usuario en la fuente de una conexión/enlace y se extrae en el destino de dicha conexión/enlace. El análisis de la información de sucesos de mantenimiento en el destino de la conexión permite dar una estimación de la integridad del transporte.

b) *Detección de defectos y fallos*

Los defectos o fallos afectan al transporte de la información de usuario y se detectan mediante una verificación continua o periódica. Como resultado de ello, se produce información de sucesos de mantenimiento o alarmas.

c) *Protección del sistema*

El resultado de un defecto en el transporte de la información de usuario se minimiza mediante el bloqueo o el paso a otras entidades. Como consecuencia de ello, la entidad que falla se excluye de la operación.

d) *Información de defectos*

La información de defectos se da a otras entidades de gestión. Como resultado de ello, se pasan indicaciones de alarma a otros planos de gestión. También se da respuesta a una petición de informe de situación.

e) *Localización de averías*

Determinación mediante sistemas de prueba internos o externos de una entidad que falla si la información de defectos es insuficiente.

7.7.2 Niveles OAM en la RDSI-BA

Las funciones OAM de la red se realizan en cinco niveles jerárquicos OAM asociados con las capas ATM y física del modelo de referencia de protocolos (Recomendación I.610). Las funciones se traducen en flujos correspondientes de información bidireccional F1, F2, F3, F4 y F5 a las que se denomina flujos OAM (véase la Figura 7.6). No todos estos flujos han de estar presentes. Las funciones OAM de un nivel que falte se realizan en el nivel superior siguiente. Los niveles son los siguientes:

- *Nivel de canal virtual* (F5) – Se extiende entre elementos de red que realizan funciones de terminación de conexión de canal virtual y en la realidad se extiende a través de una o más conexiones de trayecto (I.311).
- *Nivel de trayecto virtual* (F4) – Se extiende entre elementos de red que realizan funciones de terminación de conexión de trayecto virtual (I.311) y en la realidad se extiende entre uno o más trayectos de transmisión.
- *Nivel de trayecto de transmisión* (F3) – Se extiende entre elementos que ensamblan/desensamblan la carga útil de un sistema de transmisión y la asocian con sus funciones OAM. Se requieren funciones de delimitación de célula y de control de error de encabezamiento (HEC) en los puntos terminales de cada trayecto de transmisión. El trayecto de transmisión se conecta a través de una o más secciones digitales.
- *Nivel de sección digital* (F2) – Se extiende entre puntos extremos de sección y comprende una entidad de mantenimiento.
- *Nivel de sección de regenerador* (F1) – Una sección de regenerador es una parte de una sección digital y como tal, es una subentidad de mantenimiento.

Relación de las funciones OAM con los modelos RDSI-BA

Las funciones OAM se atribuyen a la gestión de capa del modelo de referencia de protocolos RDSI-BA. Este concepto por capas y los requisitos de independencia de las capas entre sí conducen a los principios siguientes:

- 1) Las funciones OAM relacionadas con los niveles OAM son independientes de las funciones OAM de otras capas y han de darse en cada capa.
 - Cada capa, cuando se requieren funciones OAM, es capaz de cursar su propio procesamiento a fin de obtener la información de calidad y de estado. La gestión de capa realiza las funciones OAM. Estos resultados pueden darse a la gestión de plano o a la capa superior adyacente. No son necesarias las funciones de capa superior para soportar la OAM de la capa inferior.

7.7.3 Mecanismo de flujo F4 (F5)

El flujo F4 (F5) es bidireccional. Las células OAM del flujo F4 (F5) tienen el mismo valor VPI (VCI/VPI) que las células de usuario del VPC (VCC) y se identifican por uno o más valores VCI (PTI) preasignados. Se utilizará el mismo valor VCI (PTI) preasignado para ambos sentidos del flujo F4 (F5). Las células OAM para ambos sentidos del flujo F4 (F5) deben seguir la misma ruta física de forma que todo punto de conexión que soporte dicha conexión pueda establecer una correlación entre la información de avería y de calidad de ambos sentidos.

Hay dos tipos de flujo F4 (F5) que pueden existir simultáneamente en un UPS. Éstos son:

- *Flujo de extremo a extremo F4 (F5)* – Este flujo, identificado por un VCI (PTI) normalizado (Recomendación I.361), se utiliza para las comunicaciones de operaciones VPC (VCC).
- *Flujo de segmento F4 (F5)* – Este flujo, identificado por un VCI (PTI) normalizado (Recomendación I.361) se utiliza para comunicar información de operaciones en los extremos de un enlace VPC (VCC) o de enlaces múltiples VPC (VCC) interconectados. Una concatenación de enlaces VPC (VCC) de este tipo se denomina segmento VPC (VPC).

Pueden definirse uno o más segmentos OAM a lo largo de un VPC (VCC). No obstante, no pueden definirse segmentos superpuestos o incrustados. Para dicho fin, debe haber seguridad de que todos los puntos de conexión (CP) intermedia entre el CP de origen/destino de un segmento no será un CP de origen o de destino de otro segmento.

La definición de la amplitud de un segmento gestionado no viene necesariamente fijada por la duración de una conexión, es decir, el segmento gestionado puede reconfigurarse según se necesite.

NOTA – Un segmento VPC (VCC) está típicamente bajo el control de una administración u organización; no obstante, puede extenderse más allá del control de una administración/organización mediante acuerdo mutuo.

Los flujos F4 (F5) de extremo a extremo deben tener terminación en los puntos extremos de un VPC (VCC), y los flujos F4 (F5) de segmento en los puntos de conexión que dan terminación a un segmento VPC (VCC). Los puntos intermedios (es decir, los puntos de conexión) a lo largo del VPC (VCC) o a lo largo del segmento VPC (VCC) pueden verificar las células OAM que pasan a través de ellos e insertar nuevas células OAM, pero no pueden dar terminación al flujo OAM, excepto cuando se realizan bucles de retroceso. En este caso, la célula del bucle puede extraerse del flujo OAM mediante un punto intermedio en el que tiene que realizarse el bucle y la célula del bucle puede extraerse mediante el originador del bucle de retroceso en la recepción. El flujo F4 se iniciará en el establecimiento de la conexión o tras éste mediante la red de gestión de las telecomunicaciones (RGT) o mediante procedimientos de activación dependientes de la función OAM.

Un punto de origen en un segmento VPC (VCC) que actúe en un sentido descendente debe descartar las células OAM de segmento VPC (VCC) no previstas que proceden del lado ascendente de la conexión.

Deberá ser posible configurar todo punto de conexión intermedia en un origen/destino de un segmento VPC (VCC).

7.8 Señalización de la red ATM

7.8.1 Capacidades para controlar las conexiones de canal virtual y las conexiones de trayecto virtual ATM para la transferencia de información

- a) Establecer, mantener y liberar las VCC y VPC ATM para la transferencia de información. El establecimiento puede ser por demanda, semipermanente o permanente y debe cumplir las características de conexión requeridas (por ejemplo, anchura de banda, calidad de servicio).

- b) Soportar configuraciones de comunicación punto a punto, punto a multipunto y de difusión.
- c) Negociar las características del tráfico de una conexión en el establecimiento de la misma.
- d) Capacidad para renegociar las características de tráfico fuente de una conexión ya establecida.

7.8.2 Capacidad para soportar llamadas multipartitas y multiconexión

- a) Soportar llamadas simétricas y asimétricas (por ejemplo, de anchuras de banda pequeñas o nulas en un sentido y grandes en el otro).

- b) Establecimiento y liberación simultáneos de múltiples conexiones asociadas con una llamada.

NOTA 1 – El establecimiento simultáneo de múltiples conexiones no debe ser significativamente más lento que el de una conexión sencilla.

- c) Establecimiento de llamadas bipartitas/multipartitas con o sin conexiones.
- d) Establecimiento y liberación simultáneos de la llamada y de las conexiones asociadas con una llamada.
- e) Añadir una o más conexiones a una llamada existente y liberar una o más conexiones de la misma por parte del abonado llamante y del abonado llamado.
- f) Liberar la llamada por parte del abonado llamado.
- g) Añadir uno o más abonados a una llamada multipartita o suprimir uno o más abonados de ella por parte del abonado llamante.
- h) Incorporación de uno o más abonados a una conexión o retirada de uno o más abonados de ella.
- i) Retirada por el abonado llamado de las conexiones.
- j) Capacidad para correlacionar, cuando se pida, las conexiones que forman parte de una llamada multiconexión.

NOTA 2 – Esta correlación la tratan los conmutadores RDSI-BA de origen y de destino, que pueden ser públicos o privados.

- k) Reconfigurar una llamada multipartita por inclusión de una llamada existente o por división de la llamada multipartita original en más llamadas.

7.8.3 Otras

- l) Capacidad de reconfigurar una conexión establecida para pasar, por ejemplo, a través de alguna entidad de procesamiento intermedio, como un puente de conferencia.
- m) Soportar el interfuncionamiento de distintos esquemas de codificación.
- n) Soportar el interfuncionamiento con servicios que no sean RDSI-BA, por ejemplo, servicios soportados por la red telefónica pública conmutada o por una RDSI basada en 64 kbit/s.
- o) Soportar la interacción entre la RI y la RDSI-BA.
- p) Soportar la interacción entre la RGT y la RDSI-BA.
- q) Soportar la indicación de avería y la conmutación de protección automática para conexiones semipermanentes y permanentes.

7.8.4 Función de transporte de señalización

En el acceso de usuario, pueden utilizarse diversos VP para cursar los VC de señalización (SVC, *signalling VCs*). Estos VP pueden conectar el usuario a la central local, a otros usuarios y/o a otras redes. Las configuraciones de la señalización de RDSI-BA se clasifican como punto a multipunto o punto a punto.

Se dice que existe una configuración de señalización punto a multipunto cuando una entidad de señalización («punto») interactúa con diversas entidades de señalización («multipunto»). En una configuración de señalización punto a multipunto, se utilizarán procedimientos de metaseñalización para solicitar la asignación de los SVC punto a punto individuales.

Se dice que existe una configuración de señalización punto a punto cuando una entidad de señalización interactúa con una sola entidad de señalización.

Cuando se desconoce la configuración de la señalización, se supondrá una configuración de señalización punto a multipunto. Una configuración de señalización puede conocerse por abono o por procedimiento dinámico.

7.8.5 Protocolos de señalización

En las redes ATM se utilizan tres interfaces principales de señalización y sus protocolos correspondientes. Son la interfaz usuario-red (UNI: *user network interface*), interfaz red privada-red (PNNI, *private network-network interface*) y la interfaz RDSI-BA entre operadores (B-ICI).

UNI Permite al abonado de la interfaz usuario-red acceder a una red ATM, el reconocimiento del abonado UNI a través del direccionamiento ATM y el reconocimiento del contrato de QoS, así como las características de los datos que han de enviarse por la conexión.

PNNI Da los protocolos de señalización y de encaminamiento necesarios para gestionar y controlar la red ATM configurada de forma que se establezcan y soporten por demanda conexiones conmutadas, y el mecanismo que permite a cada nodo de la red mantener información topológica actualizada sobre cualquier otro nodo de la red.

B-ICI Protocolos de señalización y de encaminamiento necesarios para gestionar, por demanda, conexiones conmutadas entre una red ATM y otra red ATM. La B-ICI puede también utilizarse en una red ATM para mejorar el control del encaminamiento del tráfico.

7.9 Gestión del tráfico

La gestión del tráfico ATM es una combinación de diversas funciones que comprueban y controlan el flujo de información en la red ATM. Estas funciones se conciben para garantizar cada conexión y su QoS negociada. Con este fin, el usuario debe informar a la red, en el procedimiento de establecimiento de la conexión, sobre la naturaleza prevista del tráfico, así como del tipo de QoS. El nodo de origen debe informar a la red sobre los parámetros del tráfico y la QoS para cada sentido.

Una función primaria de la gestión del tráfico es proteger la red contra la congestión, a fin de poder satisfacer los objetivos de calidad de ésta. Una función adicional es conseguir utilizar de forma eficaz los recursos de la red.

El *control de tráfico* representa un conjunto de acciones que emprende la red en todos los elementos de red pertinentes para evitar condiciones de congestión. Se considera que la congestión se produce cuando existe un conjunto de uno o más elementos de red que no son capaces de cumplir el objetivo negociado de QoS para las conexiones ya establecidas y para las nuevas peticiones de conexión. En general, la congestión puede ser debida a fluctuaciones estadísticas impredecibles de flujos de tráfico o de condiciones de avería en la red. El control de la congestión (el conjunto de acciones adoptadas para aliviar la congestión limitando la extensión y la duración de ella) es una de las tareas principales del control del tráfico.

A fin de cumplir estos objetivos, las funciones indicadas a continuación constituyen un marco para gestionar y controlar el tráfico y la congestión en las redes ATM y pueden utilizarse en combinaciones adecuadas. Este marco se basa en el concepto fundamental de *contrato de tráfico* (el nivel de QoS solicitado para toda conexión ATM determinada y la máxima tolerancia de la variación del retardo de células atribuida al equipo de abonado) que se negocia entre el usuario y la red, y entre redes, cuando se establece una conexión.

La *gestión de recursos de red* (NRM, *network resource management*) puede utilizarse para atribuir recursos de la red a fin de separar flujos de tráfico, conforme a las características del servicio. Aunque la programación de células y la disposición de recursos son específicas de la implementación y de la red, pueden utilizarse para aportar el aislamiento adecuado y el acceso a los recursos.

El *control de admisión a la conexión* (CAC, *connection admission control*) se define como el conjunto de acciones que adopta la red durante la fase de establecimiento de la llamada (o durante la fase de renegociación de la llamada) a fin de establecer si puede aceptarse o rechazarse una petición de conexión de canal virtual/trayecto virtual (o si puede darse cabida a una petición de reatribución). La elección de un trayecto en la red forma parte del control de admisión a la conexión de la red.

Las *funciones de gestión de recursos* (RM, *ATM layer resource management*) de capa ATM utilizan células de gestión de recursos, por ejemplo, para modificar recursos que están atribuidos a conexiones ATM.

Los *controles de realimentación* se definen como el conjunto de acciones que adopta la red y los usuarios para regular el tráfico sometido a las conexiones ATM, conforme al estado de los elementos de la red. Se relaciona con el servicio ABR que utiliza un mecanismo de control de la realimentación.

El *control de parámetros de utilización/red* (UPC/NPC, *usage/network parameter control*) se define como el conjunto de acciones que adopta la red para comprobar y controlar el tráfico, en términos de tráfico ofrecido y la validez de la conexión ATM en el acceso de usuario y en el acceso de red, respectivamente. El objetivo principal es proteger los recursos de la red contra comportamientos mal intencionados o inintencionados que puedan afectar a la QoS de otras conexiones ya establecidas, detectando violaciones de valores de parámetros negociados o de procedimientos, y adoptando las acciones adecuadas. Supervisa el tren de células enviado durante la conexión. En el caso en que un abonado rebase su velocidad binaria reservada, la *función policía* puede proteger la red contra sobrecargas reduciendo la prioridad de la conexión (rotulación de células) o en el caso de sobrecarga real, descartando células.

Los *controles de prioridad* (PC, *priority controls*) son funciones que diferencian la forma en que se tratan las células entre sí respecto a la red en términos de prioridad temporal o de pérdida de prioridad.

Pueden utilizarse *mecanismos de conformación del tráfico* para lograr una modificación deseada de las características del tráfico de una conexión. Los objetivos de esta función son lograr una mejor eficacia de la red al tiempo que se cumplen los objetivos de QoS y/o se asegura la calidad del tráfico de la conexión en una interfaz posterior.

La función de control del tráfico se define en la Recomendación I.371 y puede explicarse por la configuración de referencia de la Figura 7.13. Consta de los componentes principales siguientes: gestión de recursos de red (NRM), control de admisión a la conexión (CAC), control de parámetros de utilización/control de parámetros de red (UPC/NPC), controles de realimentación y controles de prioridad. Los emplazamientos de estas funciones se representan en la figura.

Un parámetro de tráfico es una especificación de un aspecto particular del tráfico. Puede ser cualitativo o cuantitativo. Los parámetros de tráfico pueden describir, por ejemplo:

Velocidad de célula de cresta (PCR, *peak cell rate*) – Extremo superior del tráfico que puede someterse a una conexión ATM. Se define en términos de la variable T, separación mínima entre células.

Velocidad de célula promedio (ACR, *average cell rate*) – Velocidad media de la transferencia de células en una conexión ATM.

Velocidad de célula sostenible (SCR, *sustainable cell rate*) – Límite superior de la velocidad media de la transferencia de células en una conexión ATM.

Variación del retardo de célula (CDV, *cell delay variation*) – Variación de los instantes reales de llegada de células en una conexión ATM respecto a los instantes teóricos de llegada de célula.

Característica de ráfaga – Relación entre la velocidad de célula de cresta y la velocidad de célula promedio.

Tamaño máximo de ráfaga (MBS, *maximum burst size*) – Es el número máximo de células que pueden enviarse de forma continua a la velocidad de célula de cresta y pueden derivarse del tipo de servicio (por ejemplo, teléfono, videoteléfono).

Algunos de los parámetros mencionados son interdependientes (por ejemplo, la característica de ráfagas con la velocidad de célula de cresta y la velocidad de célula promedio).

Puede utilizarse el tipo de servicio para la declaración implícita por el usuario de un conjunto completo de parámetros de tráfico, por ejemplo, declarando el servicio solicitado (vocal, etc.). El tipo de servicio también puede incluir la declaración implícita de los requisitos en cuanto a QoS. Este tipo de descriptor se utilizaría por ejemplo, como una dirección de un cuadro de referencia que dé el conjunto correspondiente de características de tráfico. En el caso de que se utilice por una fuente de tráfico, no será por tanto necesario enviar ningún otro parámetro de tráfico que pertenezca al descriptor de tráfico de la fuente por la señalización. Además, el tipo de servicio puede también utilizarse para describir las características del tráfico de una fuente. Esto se aplica, por ejemplo, cuando se aprenden comportamientos de fuente típicos (por ejemplo, vídeo con velocidad binaria variable que utiliza esquemas de codificación normalizados) a partir de la experiencia operativa o de otros medios y los operadores de red lo utilizan para aplicar reglas específicas de ingeniería de tráfico que pueden traducirse en indicaciones de QoS más que de compromisos.

Descriptor de tráfico – Descripción de las características del tráfico que puede ofrecer cualquier conexión solicitada.

Descriptor de tráfico ATM – Lista genérica de los parámetros de tráfico que pueden utilizarse para adoptar las características de tráfico intrínsecas de una conexión ATM.

Descriptor de tráfico fuente – Conjunto de parámetros de tráfico que pertenecen al descriptor de tráfico ATM utilizado durante el establecimiento de la conexión para adoptar las características de tráfico intrínsecas de la conexión solicitada por la fuente.

Como requisito general, conviene lograr un alto grado de coherencia entre las capacidades del control de tráfico mencionadas. Se combina un subconjunto específico de estas funciones genéricas con los parámetros de tráfico pertinentes y los valores de los parámetros, así como con las funciones y procedimientos de control adecuados para crear una *capacidad de transferencia ATM* (ATC, *ATM transfer capability*).

No hay una correspondencia unívoca entre servicios o clases de servicios (por ejemplo, categorías de servicio portador de banda ancha) y capacidades de transferencia ATM que pueda utilizarse. Un servicio de datos de capa superior puede utilizar:

Capacidad de velocidad binaria determinística (DBR, deterministic bit rate capability) – Esta capacidad la utiliza una conexión que solicita una cantidad fija particular de anchura de banda continuamente disponible durante la duración de la conexión. Esta cantidad de anchura de banda se caracteriza por una velocidad de célula de cresta. Aunque esta capacidad corresponde a aplicaciones CBR, no se limita únicamente a ellas. Es la capacidad de transferencia ATM por defecto.

Capacidad de velocidad binaria estadística (SBR, statistical bit rate capability) – En la capacidad de transferencia de velocidad binaria estadística (SBR) el sistema final utiliza parámetros de tráfico normalizados (velocidad de célula sostenible/tolerancia de ráfaga intrínseca – SCR/IBT o tipo de servicio) para describir, con mayor detalle que el de la velocidad de célula de cresta únicamente, las características del flujo de células que se presentarán a la conexión. Es adecuada para aplicaciones en las que existe algún conocimiento previo de algunas características del tráfico de la aplicación. La calidad en cuanto a demora de la capacidad SBR no se especifica, y esta capacidad puede o no soportar aplicaciones con requisitos estrictos en cuanto a demora.

Capacidad de transferencia de bloques ATM (ABT, ATM block transfer capability) – Una capacidad de transferencia de bloques ATM (ABT) es un mecanismo de capa ATM para dar servicio cuando las características de transferencia de capa ATM se negocian sobre una base de bloques ATM. En un bloque ATM aceptado por la red, ésta atribuye recursos suficientes de forma que la QoS recibida por el bloque ATM sea equivalente a la QoS recibida por una conexión DBR con la misma velocidad de célula de cresta que la velocidad de célula de cresta negociada del bloque ATM, haciendo referencia a la velocidad del célula de bloque (BCR).

Específicamente, un bloque ATM se define como un grupo de células de una conexión ATM delimitado por dos células de gestión de recursos (RM), una que va antes de la primera célula del bloque ATM (célula RM delantera) y la otra que va después de la última célula del bloque ATM (célula RM trasera). La definición exacta de las células RM que delimitan un bloque ATM depende de la utilización específica de las células RM, a saber de la capacidad ABT. La célula RM trasera de un bloque ATM puede ser la célula RM delantera del bloque ATM siguiente. La BCR de un bloque ATM es constante en toda la duración del bloque.

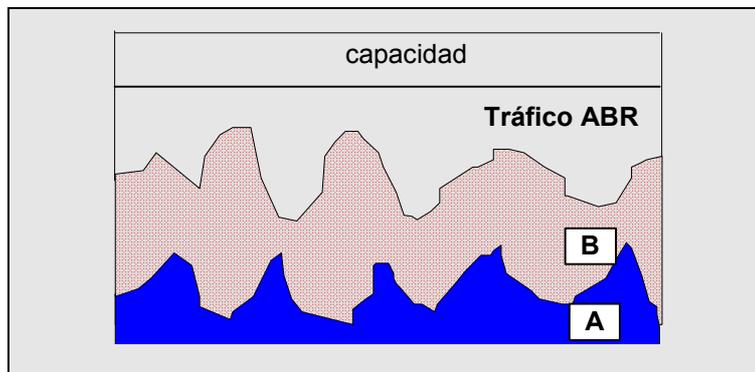
Capacidad de transferencia de velocidad binaria disponible (ABR, available bit rate transfer capability) – Muchas aplicaciones tienen la capacidad de reducir su velocidad de transferencia de información si la red requiere que lo hagan, o pueden desear aumentar su velocidad de transferencia de información, si se dispone de anchura de banda adicional en la red. Puede haber no sólo parámetros de tráfico estático, sino también parámetros de tráfico dinámico, según los usuarios puedan estar dispuestos a aceptar anchura de banda no reservada. Para el soporte del tráfico a partir de dichas fuentes en una red ATM, se define la capacidad de transferencia ATM como la velocidad binaria disponible (ABR).

La ABR es una capacidad de transferencia ATM en la que las características limitadoras de transferencia de capa ATM que da la red pueden cambiar tras el establecimiento de una conexión. Se prevé que un usuario que adapte su tráfico a las características variables de transferencia de capa ATM experimente una relación de pérdida de células CLR reducida. La variación del retardo de célula y el retardo de transferencia de célula no están controlados. La capacidad ABR no está prevista para soportar las aplicaciones CBR.

El usuario se adapta a las características variables de transferencia de capa ATM tras recibir la realimentación de la red. Debido al retardo de transferencia de células, esta realimentación refleja la situación de la red en algún momento del tiempo anterior al instante en que el usuario la recibe. De esta manera, cuando el usuario se adapta correctamente a la realimentación, la red puede aún ofrecer algún tipo de tampón que permita un funcionamiento de la ABR con pocas pérdidas de células.

El conjunto de las acciones de usuario, la realimentación procedente de la red y las respuestas del usuario a dicha realimentación constituyen un bucle de control en la conexión ABR.

Figura 7.14 – Definición del servicio de velocidad de célula disponible (ABR)



Un usuario especificará a la red una anchura de banda máxima requerida al establecer una conexión ABR. La anchura de banda máxima requerida se negocia entre el usuario y la red y entre el usuario y otro usuario, en el establecimiento de la conexión. Se especificará una anchura de banda mínima utilizable (también denominada *velocidad mínima de célula* o MCR) por cada conexión, pero puede especificarse que sea cero. La anchura de banda disponible de la red puede llegar a ser solamente la anchura de banda mínima utilizable. La anchura de banda máxima requerida (denominada también la velocidad de cresta de célula o PCR) y la MCR están predefinidas. El valor de la PCR y de la MCR pueden ser distintos para cada sentido de la conexión.

7.9.2 Categorías de servicio del Foro ATM

En la especificación af-tm-0121.000 figura la relación entre las capacidades de transferencia de las normas UIT (Recomendación I.371) y las del Foro ATM. El Foro ATM define seis categorías de servicio, en relación con la velocidad binaria y los requisitos específicos en cuanto a velocidad de célula de cresta (PCR), velocidad de célula sostenible (SCR), tolerancia de la variación del retardo de célula (CDVT), tamaño máximo de ráfaga (MBS), velocidad mínima de célula (MCR), tamaño mínimo de trama (MFS), retardo de transferencia de célula (CTD), relación de pérdida de células (CLR) y utilización de la realimentación; véase el cuadro 2.

El Foro ATM especifica la clasificación de las categorías de servicio. La primera, de velocidad binaria constante (CBR) está presente en la descripción del UIT-T de las capacidades de transferencia ATM. Se utiliza para conexiones que necesitan disponer continuamente durante la conexión de un tramo estático de anchura de banda. Se caracteriza por el valor de célula de cresta.

En la transferencia a velocidad binaria variable, el Foro ATM distingue dos categorías, la de tiempo real (rt-VBR, *real-time variable bit rate*) y la de tiempo no real (nrt-VBR, *non real-time variable bit rate*). Las diferencias se obtienen al especificar los requisitos de retardo máximo de transferencia de célula.

El Foro ATM define una categoría de servicio sin velocidad binaria específica (la de velocidad binaria no especificada, UBR) (UBR, *unspecified bit rate*). No tiene una capacidad de servicio correspondiente en las Recomendaciones de la UIT. Un ejemplo de dicha aplicación es la comunicación tradicional entre computadores. Los servicios ABR y UBR se han desarrollado a partir del servicio de «mejor esfuerzo» [8].

En mayo de 1999, el Foro ATM adoptó la versión final del servicio de velocidad de trama garantizada (GFR, *guaranteed frame rate*) previsto para aplicaciones en tiempo no real que pueden exigir una garantía mínima y pueden aprovechar el acceso a una anchura de banda adicional disponible dinámicamente en la red. El UIT-T está estudiando la capacidad de servicio ATM similar a la GFR.

Cuadro 7.2 – Categorías de servicio ATM según el Foro ATM

Atributo	Categorías de servicios de capa ATM					
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR	GFR
Parámetros del tráfico₄:						
PCR y CDVT ₅	Especificada			Especificada ₂	Especificada ₃	Especificada
SCR, MBS, CDVT ₅	n/a	Especificada		n/a		
MCR	n/a				Especificada	n/a
MCR, MBS, MFS, CDVT ₅	N/a					Especificada
Parámetros de QoS₀						
CDV de cresta a cresta	Especificada		No especificada			
maxCTD	Especificada		No especificada			
CLR	Especificada			No especificada	Véase la Nota 1	Véase la Nota 6
Otros atributos:						
Realimentación	No especificada				Especificada	No especificada

Notas:

- 1 CLR tiene un valor bajo para fuentes que ajustan el flujo de células en respuesta a información de control. Si se especifica un valor cuantitativo de la CLR, es específico de la red.
- 2 Puede no ser objeto de procedimientos CAC y UPC.
- 3 Representa la velocidad máxima a la que puede enviarse la fuente ABR. La velocidad real está sujeta a la información de control.
- 4 Estos parámetros van especificados explícita o implícitamente para los PVC o los SVC.
- 5 CDVT es la tolerancia de la variación del retardo de célula. La CDVT no se señala. En general, no es necesario que la CDVT tenga un valor único para la conexión. Pueden aplicarse valores distintos en cada interfaz del trayecto o de la conexión.
- 6 CLR tiene un valor reducido en las tramas que pueden servir para la garantía de servicio. Si se especifica un valor cuantitativo de la CLR, es específico de la red.
- 7 CTD – retardo de transferencia de célula.
- 8 MFS – tamaño máximo de trama.

7.10 Referencias del UIT-T

Referencias generales:

- [1] Especificaciones del Foro ATM AF-TM-0121000, 1999.
- [2] S. Fahmy, R. Jain, R. Goyal, B. Vandalore, “Fairness Definition and Flow Control for ATM Multipoint Connections”, <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/papers/mpt2pt.htm>.
- [3] B. Vandalore, S. Fahmy, R. Jain, R. Goyal, M. Goyal, “Fairness Definition and Flow Control for ATM Multipoint Connections”, http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/papers/icpn98_bv.htm.
- [4] M. Schwartz, *Broadband Integrated Networks*, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- [5] R. Handel, M. Huber, S. Schroder, *ATM Networks*, Addison-Wesley, Cambridge, 1994.
- [6] W. Stallings, *ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM*, Prentice Hall, New Jersey, 1999.

Referencias del UIT-T:

- [I.113]; 06/97 – Vocabulario de términos relativos a los aspectos de banda ancha de las redes digitales de servicios integrados.
- [I.121]; 04/91 – Aspectos de banda ancha de la RDSI.
- [I.150]; 02/99 – Características funcionales del modo de transferencia asíncrono de la RDSI-BA.
- [I.211]; 03/93 – Aspectos de servicio de la red digital de servicios integrados de banda ancha.
- [I.311]; 08/96 – Aspectos generales de red de la red digital de servicios integrados de banda ancha RDSI-BA.
- [I.321]; 04/91 – Modelo de referencia de protocolo RDSI-BA y su aplicación.
- [I.327]; 03/93 – Arquitectura funcional de la red digital de servicios integrados de banda ancha.
- [I.356]; 10/96 – Calidad de funcionamiento en la transferencia de células en la capa de modo de transferencia asíncrono de la red digital de servicios integrados de banda ancha.
- [I.361]; 02/99 – Especificación de la capa modo de transferencia asíncrono de la RDSI-BA.
- [I.363.1]; 08/96 – Capa de adaptación del modo transferencia asíncrono tipo 1.
- [I.363.2]; 09/97 – Especificación de la capa de adaptación del modo de transferencia asíncrono tipo 2 de la RDSI-BA.
- [I.363.3]; 08/96 – Capa de adaptación del modo transferencia asíncrono tipo 3/4.
- [I.363.5]; 08/96 – Capa de adaptación del modo transferencia asíncrono tipo 5.
- [I.371]; (08/96) – Control de tráfico y control de congestión en la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA).
- [I.413]; (03/93) – Interfaz usuario-red de la red digital de servicios integrados de banda ancha.
- [I.432.1]; 02/99 – Interfaz usuario-red de la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA) – Especificación de la capa física: características generales.
- [I.432.2]; 02/99 – Interfaz usuario-red de la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA) – Especificación de la capa física: explotación a 155 520 kbit/s y 622 080 kbit/s.
- [I.432.3]; 02/99 – Interfaz usuario-red de la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI BA) – Especificación de la capa física: explotación a 1 544 kbit/s y 2 048 kbit/s.
- [I.432-4]; 08/96 – Interfaz usuario-red de la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA) – Especificación de la capa física: operación a 51 840 kbit/s.
- [I.432.5]; 06/97 – Interfaz usuario-red de la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA) – Especificación de la capa física: operación a 25 600 kbit/s.
- [I.580]; 11/95 – Disposiciones generales para el interfuncionamiento entre la red digital de servicios integrados de banda ancha y la red digital de servicios integrados basada en la velocidad de 64 kbit/s.
- [I.610]; 02/99 – Principios y funciones de operaciones y mantenimiento de la RDSI-BA.
- [I.731]; 03/96 – Tipos y características generales del equipo del modo de transferencia asíncrono.
- [I.732]; 03/96 – Características funcionales del equipo del modo de transferencia asíncrono.
- [I.751]; 03/96 – Gestión desde el punto de vista del elemento de red en el modo de transferencia asíncrono.
- [Q.2931]; 02/95 – Sistema de señalización digital de anonado N.º 2 – Especificación de la capa 3 de la interfaz usuario-red para el control de llamada/conexión básica.

7.11 Abreviaturas

AAL	Capa de adaptación ATM (<i>ATM adaptation layer</i>)
ABR	Capacidad de transferencia de velocidad binaria disponible (<i>available bit rate transfer capability</i>)
ABT	Capacidad de transferencia de bloques ATM (<i>ATM block transfer capability</i>)
ACR	Velocidad de célula promedio (<i>average cell rate</i>)
ATC	Capacidades de transferencia ATM (<i>ATM transfer capabilities</i>)
ATD	División en el tiempo asíncrona (<i>asynchronous time division</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
B-ICI	Interfaz RDSI-BA entre operadores (<i>B-ISDN inter-carrier interface</i>)
B-ISDN	(RDSI-BA) Red digital de servicios integrados de banda ancha (<i>broadband-integrated services digital network</i>)
CAC	Control de admisión a la conexión (<i>connection admission control</i>)
CBR	Velocidad binaria constante (<i>constant bit-rate transmission</i>)
CDV	Variación del retardo de célula (<i>cell delay variation</i>)
CDVT	Tolerancia de la variación del retardo de célula (<i>cell delay variation tolerance</i>)
CLP	Prioridad de pérdida de células (<i>cell loss priority</i>)
CLR	Relación de pérdida de células (<i>cell loss ratio</i>)
CP	Puntos de conexión (<i>connecting points</i>)
CS	Subcapa de convergencia (<i>convergence sub-layer</i>)
CTD	Retardo de transferencia de célula (<i>cell transfer delay</i>)
DBR	Capacidad de velocidad binaria determinística (<i>deterministic bit rate capability</i>)
GFC	Control de flujo genérico (<i>generic flow control</i>)
HEC	Control de error de encabezamiento (<i>header error control</i>)
INI	Interfaz entre redes (<i>inter-network interface</i>)
ISDN	(RDSI) Red digital de servicios integrados (<i>integrated services digital network</i>)
MBS	Tamaño máximo de ráfaga (<i>maximum burst size</i>)
MCR	Velocidad mínima de célula (<i>minimum cell rate</i>)
MFS	Tamaño mínimo de trama (<i>minimum frame size</i>)
N-ISDN	Red digital de servicios integrados de banda estrecha (<i>narrowband-integrated services digital network</i>)
NNI	Interfaz red-red (<i>network network interface</i>)
NPC	Control de parámetros de red (<i>network parameter control</i>)
NRM	Gestión de recursos de red (<i>network resource management</i>)
nrt-VBR	Transmisión con velocidad binaria variable en tiempo no real (<i>non-real-time variable bit-rate transmission</i>)
OAM	Operación y mantenimiento (<i>operation and maintenance</i>)
PC	Controles de prioridad (<i>priority controls</i>)
PCM	(MIC) Modulación por codificación de impulsos (<i>pulse code modulation</i>)
PCR	Velocidad de célula de cresta (<i>peak cell rate phy</i>)
PHY	Capa física (<i>physical layer</i>)

PM	Subcapa de medio físico (<i>physical medium sub-layer</i>)
PNNI	Interfaz red privada-red (<i>private network-network interface</i>)
PRM	Modelo de referencia de protocolos (<i>protocol reference model</i>)
PT	Tipo de carga útil (<i>payload type</i>)
PTI	Identificador de tipo de carga útil (<i>payload type identifier</i>)
QoS	Calidad del servicio (<i>quality of service</i>)
RM	Gestión de recursos (<i>resource management</i>)
rt-VBR	Transmisión con velocidad binaria variable en tiempo real (<i>real-time variable bit-rate transmission</i>)
SAR	Subcapa de segmentación y reensamblado (<i>segmentation and reassembly sub-layer</i>)
SBR	Capacidad de velocidad binaria estadística (<i>statistical bit rate capability</i>)
SCR	Velocidad de célula sostenible (<i>sustainable cell rate</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
STM	Modo de transferencia síncrono (<i>synchronous transfer mode</i>)
SVC	Canal virtual de señalización (<i>signalling virtual channel</i>)
TC	Subcapa de convergencia de transmisión (<i>transmission convergence sub-layer</i>)
TMN	(RGT) Red de gestión de las telecomunicaciones (<i>telecommunications network management</i>)
UBR	Velocidad binaria no especificada (<i>unspecified bit rate</i>)
UNI	Interfaz usuario-red (<i>user network interface</i>)
UPC	Control de parámetro de utilización (<i>usage parameter control</i>)
VBR	Transmisión con velocidad binaria variable (<i>variable bit-rate transmission</i>)
VC	Canal virtual (<i>virtual channel</i>)
VCC	Conexión de canal virtual (<i>virtual channel connection</i>)
VCI	Identificador de canal virtual (<i>virtual channel identifier</i>)
VP	Trayecto virtual (<i>virtual path</i>)
VPI	Identificador de trayecto virtual (<i>virtual path identifier</i>)