

Trabajo Fin de Máster

Evolución de red troncal de interconexión para servicios de redes móviles

Autor

Carlos Martín Ruiz

Director

Emiliano Bernués del Río

Ponente

José Ruiz Mas

Escuela Universitaria de Ingeniería y Arquitectura (EINA)

2012

Con la colaboración de:



RESUMEN

Las redes móviles han necesitado desde sus primeros inicios con *GSM* del apoyo de las redes troncales con las que interconectar cada uno de los nodos de acceso entre sí y con los sistemas de provisión de los servicios, en este primer caso de *GSM*, con las centrales de conexión con la red telefónica conmutada, los servicios de enrutamiento de *SMS* y los servicios de control de acceso a la red y facturación.

En esos primeros años en los que el servicio principal a transportar era la voz, estas redes troncales fueron una extensión de la tecnología usada en las centrales telefónicas, pasando al mundo de la radio las mismas técnicas (muy similares) que se emplean para conmutar circuitos de voz. Así, los enlaces radio troncales y de distribución contaban con sistemas para la transmisión de conmutación de circuitos en el aire, usando protocolos de *jerarquía digital, síncrona o plesiócrona (SDH y PDH)*.

Conforme los primeros móviles han ido evolucionando hacia los servicios añadidos de datos y *GSM* ha migrado hacia *UMTS* y *HSPA+*, y vislumbrándose ya las primeras puestas en producción de *LTE*, las redes que soportan estos servicios de usuario deben acomodarse a las nuevas necesidades. Ya no es tan crítica la voz, sino que ahora los datos copan la mayoría de los enlaces. Y estos datos viajan mucho más cómodos en tecnologías de capa 2 *Ethernet* y capa 3 *IP*, es decir, por conmutación de paquetes.

Hasta hace poco más de un año, se mantenía la compatibilidad de las antiguas redes *SDH* y *PDH* con los servicios de datos usando protocolos de encapsulamiento como *GFP*. Pero se están desarrollando nuevas soluciones para extender directamente *Ethernet* de forma nativa por al aire con las mismas garantías de calidad y seguridad que los sistemas anteriores, y el cambio de las redes troncales móviles puede acometerse con garantías.

Este trabajo fin de master comparará las dos tecnologías, analizará las mejoras que representa esta evolución y planteará una hoja de ruta para realizar las migraciones de red de forma segura y empleando los últimos avances. Expondrá porqué otras tecnologías de transporte *Ethernet*, como *WiMAX*, no pueden suplantar hoy a los enlaces analizados. Se concluirá con una mirada de futuro a los avances que se beneficiarán del transporte *Ethernet*.

Tabla de Contenidos C

1.-Introducción.....	1
2.-Transporte de datos vía radio	7
2.1.-La conmutación de circuitos	8
2.2.- Sistemas y redes PDH	9
2.3.- Sistemas y redes SDH	11
2.3.1.- La estructura de la trama SDH. Multiplexación sobre STM.	14
2.3.2.- Arquitectura de sistemas SDH.	19
2.3.3.- Gestión de la calidad de enlace en SDH.....	20
2.3.4.- Sincronización de una red SDH.	22
2.4.- Sistemas y redes Ethernet	23
2.4.1.- Encapsulamiento sobre PDH y SDH. GFP.....	23
2.4.2.- Enlaces Ethernet nativo	28
2.4.3.-Modulación adaptativa: capacidades nominales y de seguridad	30
2.4.4.- Eficiencia de una antena: XPIC	31
3.-Planificación y ejecución de la migración.....	33
3.1.- Mejora de la eficiencia espectral, frecuencias y canales	34
3.2.- Innovaciones en el enlace radio: bonding y LoS MIMO	35
3.3.- Provisión de la calidad de servicio.....	39
3.4.- Compatibilidad del enlace con protocolos de control Ethernet.....	40
3.5.-Capacidad en el aire y en la línea.	42
3.6.-Tráfico fuera de banda. Planificación de provider bridge.	47
3.7.-Implantación de servicios según Metro Ethernet Fórum	50
3.8.- Enlaces de datos con tecnología WiMAX	52
4.-Conclusiones	53
ANEXO 1.- Estructura de datos en SDH.....	57
ANEXO 2.- Cambios en la gestión del equipamiento de red: de OSI a IP	65
BIBLIOGRAFÍA.....	69

Índice de Figuras

Figura 1.- Evolución de usuarios de Internet Móvil	2
Figura 2.- Evolución del tráfico de voz hasta 2009 en los países nórdicos.....	3
Figura 3.- Evolución del tráfico móvil de voz y datos.....	3
Figura 4.- Arquitectura de red en sistemas GSM	4
Figura 5.- Arquitectura de red en sistemas HSPA.....	4
Figura 6.- Arquitectura de red en sistemas LTE	5
Figura 7.- Multiplexación de diferentes órdenes en PDH	9
Figura 8.- Esquema básico de un montaje SDH	10
Figura 9.- Tabla de capacidades concatenando diferentes unidades de carga SONET o SDH.....	11
Figura 10.- Capacidades estándar en STM según ITU-T	12
Figura 11.- Esquema de transmisión de una trama STM estándar.....	12
Figura 12.- Columnas de trama según el orden de STM.....	13
Figura 13.- Estructura básica de trama SDH.....	14
Figura 14.- Ejemplo de multiplex. de varios contenedores E3 en una trama STM-1 ...	16
Figura 15.- Estructura de multiplexación de SDH.....	17
Figura 16.- Ejemplo de justificación positiva y negativa	18
Figura 17.- Representación de una protección de anillo	22
Figura 18.- Esquema de sincronización jerárquica entre varios anillos SDH.....	22
Figura 19.- Esquema de tipos de tráfico mapeables en GFP con transporte en SDH.	24
Figura 20.- Estructura de una trama GFP genérica.....	25
Figura 21.- Eficiencia de transporte SDH comparando varios tipos de tráfico usando concatenación contigua o virtual.....	28
Figura 22.- Diagrama de bloques de una tarjeta adaptadora Ethernet para ADM	29
Figura 23.- Equipamiento Ethernet nativo, Ericsson Mini-Link TN release 5	29

Figura 24.- Mejora de la eficiencia espectral para un canal de 28 MHz	35
Figura 25.- Constelación mínima 4-QAM y máxima experimental actualmente, 1024-QAM	30
Figura 26.- Diagrama de bloques del sistema XPIC para equipos SRT1F de Nokia Siemens Networks	32
Figura 27.- Esquema de una instalación 2x2 LoS MIMO	37
Figura 28.- Capacidades de línea combinando diferentes eficiencias espectrales, niveles de modulación y distintas técnicas de multiplexación de portadoras.....	38
Figura 29.- Formato de la trama Ethernet	43
Figura 30.- Tabla de capacidades en aire y de línea (entre paréntesis) para distintas canalizaciones y tamaños de trama, para un Ericsson Minilink TN r.5	44
Figura 31.- Estructura genérica de una trama STM-1	57
Figura 32.- Octetos identificados en la SOH de una trama SDH	59
Figura 33.- Esquema de direcciones NSAP de varias longitudes.....	66

Índice de Acrónimos A

ADM	<i>Add and Drop Multiplexer</i>
AIS	<i>Alarm Indication Signal</i>
APS	<i>Automatic Protection Switching</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
ATPC	<i>Automatic Transmit Power Control</i>
AU	<i>Administrative Unit</i>
AUG	<i>Administrative Unit Group</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
CEPT	<i>Conference of European Postal & Telecommunications</i>
cHEC	<i>Core Header Error Check o bien Core Header Error Control</i>
CSF	<i>Client Signal Failure</i>
C-VLAN	<i>Customer Virtual Local Area Netork</i>
DCC	<i>Data Communications Channel</i>
DCN	<i>Data Communications Network</i>
DFE	<i>Decision Feedback Equalizer</i>
ECC	<i>Electronic Communications Committee</i>
EOW	<i>Engineer Order Wire</i>
ES	<i>Errored Seconds</i>
GFP	<i>Generic Framing Procedure</i>
GFP-F	<i>Generic Framing Procedure - Frame</i>
GFP-T	<i>Generic Framing Procedure - Transparent</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications o Groupe Spéciale Mobile</i>
HD	<i>High Definition</i>

HDLC	<i>High-Level Data Link Control</i>
HEC	<i>Header Error Check o bien Header Error Control</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
LACP	<i>Link Aggregation Control Protocol</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LCAS	<i>Link Capacity Adjustment Scheme</i>
LOF	<i>Lost Of Frame</i>
LOS	<i>Lost Of Signal</i>
LoS	<i>Line of Sight</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MIPv6	<i>Mobile Internet Protocol version 6</i>
MLCM	<i>Multilevel Coded Modulation</i>
MS	<i>Multiplexing Section</i>
MSOH	<i>Multiplexing Section Over Head</i>
MSTP	<i>Multiple Spanning Tree Protocol</i>
NSAP	<i>Network Service Access Point</i>
OC	<i>Optical Carrier</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>
PDH	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i>
PLI	<i>Payload Length Indicator</i>
POH	<i>Path Over Head</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephony Network</i>
PRC	<i>Primary Reference Clock</i>
PVSTP	<i>Per Virtual Local Area Network Spanning Tree Protocol</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitud Modulation</i>
RDI	<i>Remote Defect Indicator</i>
RJ-45	<i>Registered Jack - 45</i>
RS	<i>Regenerator Seccion</i>
RSOH	<i>Regenerator Section OverHead</i>
RSTP	<i>Rapid Spanning Tree Protocol</i>

SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SES	<i>Severed Errored Seconds</i>
SFP	<i>Small Form-factor Pluggable</i>
SNC	<i>Subnetwork Connection Protection</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SOH	<i>Section OverHead</i>
SONET	<i>Synchronous Optical Network</i>
STM	<i>Synchronous Transfer Mode</i>
STP	<i>Spanning Tree Protocol</i>
STS	<i>Synchronous Transport Signal</i>
S-VLAN	<i>Service Virtual Local Area Network</i>
TCM	<i>Trellis Code Modulation</i>
TCOH	<i>Tandem Connection OverHead</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TTL	<i>Time To Live</i>
TU	<i>Transport Unit</i>
TUG	<i>Trasnpport Unit Group</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UNI	<i>User Network Interface</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
UTRAN	<i>Universal Mobile Telecommunications System Terrestrial Radio Access Network</i>
VC	<i>Virtual Container</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
XPIC	<i>Cross Polarisation Interference Canceller</i>

Memoria

Introducción

1

Nadie discute hoy en día que el *homo sapiens sapiens* ha evolucionado de nuevo y vive inmerso en la era de la comunicación, una era que ha modificado las costumbres y usos sociales del ser humano y ha hecho del mundo un lugar más pequeño y accesible gracias a Internet. Hay innumerables autores que comparan esta época con la revolución industrial de la vieja Inglaterra que supuso un punto de ruptura en la evolución humana.

Pero dentro de esta nuestra era de la comunicación en la que vivimos se ha sufrido una revolución interna que ha propiciado el asentamiento de unos cambios sociales que ya empezaron con el uso masivo de Internet. El acceso móvil a las redes de comunicaciones ha creado el concepto *always connected* y lo ha grabado en el tejido social, acercándolo a casi todos los estamentos y modificando muchos de los usos y costumbres. El auge de las redes sociales ha creado la *sociedad en red*, y esta revolución no ha hecho más que empezar.

Las redes móviles tienen gran parte de responsabilidad en estos cambios, ya que han confeccionado el tejido técnico que ha logrado convertir cada metro cuadrado del planeta en un punto de acceso a Internet. Y los servicios que van cambiando la sociedad han evolucionado al ritmo que marcaban los avances en estas redes de acceso, casi omnipresentes hoy.

Las redes de comunicaciones móviles han evolucionado de forma drástica desde los primeros sistemas *GSM* hasta los modernos y actuales sistemas *UMTS* (3G o 3G+) y *LTE*. En España el primer servicio de Telefonía digital *GSM*, que podríamos considerar el primer precursor, empezó a operar en julio de 1995 bajo Telefónica Movistar [1] [2]. A finales del siglo XX, el servicio *WAP* (*Wireless Application Protocol*) lanzado

comercialmente por Movistar en octubre de 1999 fue el tímido intento de aprovechar la primera transmisión de datos por estas redes, el *GPRS*, hasta que la tercera generación del sistema, el *UMTS*, hizo su aparición comercial a finales de 2002 [1]. Entre esa fecha y 2006 los operadores de red han aumentado, los terminales se han mejorado y la capacidad de transporte de las redes se ha incrementado hasta casi los 28 Mbps de bajada y los 11 Mbps de subida en la tecnología *HSPA+* [3]. Y el futuro *LTE (Long Term Evolution)* empieza a aparecer en otros países, ofreciendo tasas de transporte de hasta 300 Mbps en bajada y 180 Mbps en subida [4]. En España, las primeras pruebas en Madrid y Barcelona datan de mediados de 2011. La figura 1 muestra cómo ha evolucionado el número de usuarios que acceden a Internet desde el móvil desde los últimos 5 años y su previsión de crecimiento para los próximos 2.

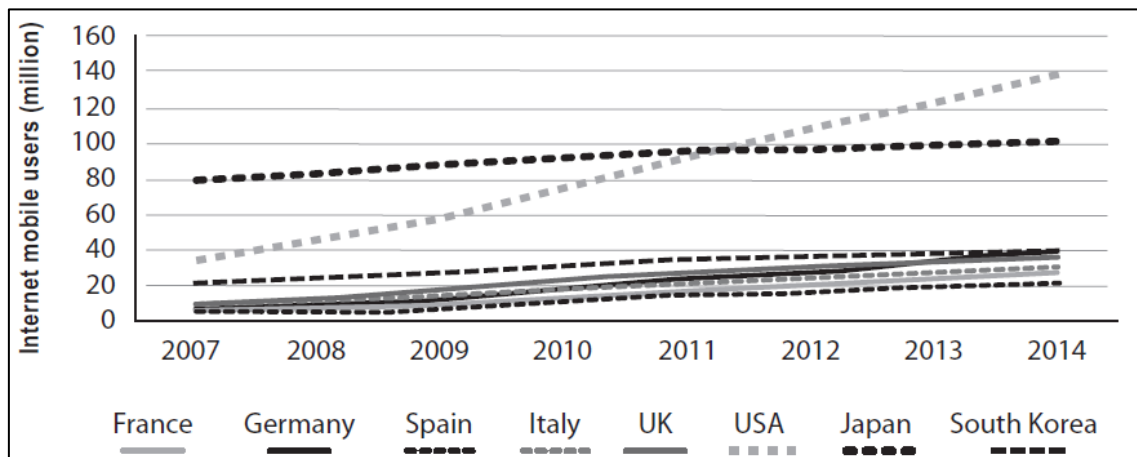


Figura 1.- Evolución de usuarios de Internet Móvil [5]

Estos cambios tecnológicos tienen el apoyo de los usuarios, que continuamente explotan con innumerables servicios avanzados todo el ancho de banda disponible y exigen cada vez más. El último informe accesible al público del *UMTS Fórum*, fechado en enero de 2011 [5], indica que el tráfico de voz se ha estancado en los últimos años y que deja de ser el caudal predominante en las redes móviles (ver figuras 2 y 3). Es más, indica la tendencia por parte de las operadoras a ofrecer servicios *Voice HD*, que se olvidan de la tradicional codificación *PCM* a 64 Kbps de la voz por canal dedicado (el servicio de voz tradicional) y transmiten por paquetes *IP* una voz con codificación de máxima calidad. El tradicional “sonido telefónico” dejará de escucharse por teléfono y pasará a ser un efecto digital de mesas de sonido y programas de retoque de audio. Dicho informe también advierte que hay operadoras en países como Suecia o Austria que están suprimiendo su servicio de acceso a Internet vía red fija por la red móvil.

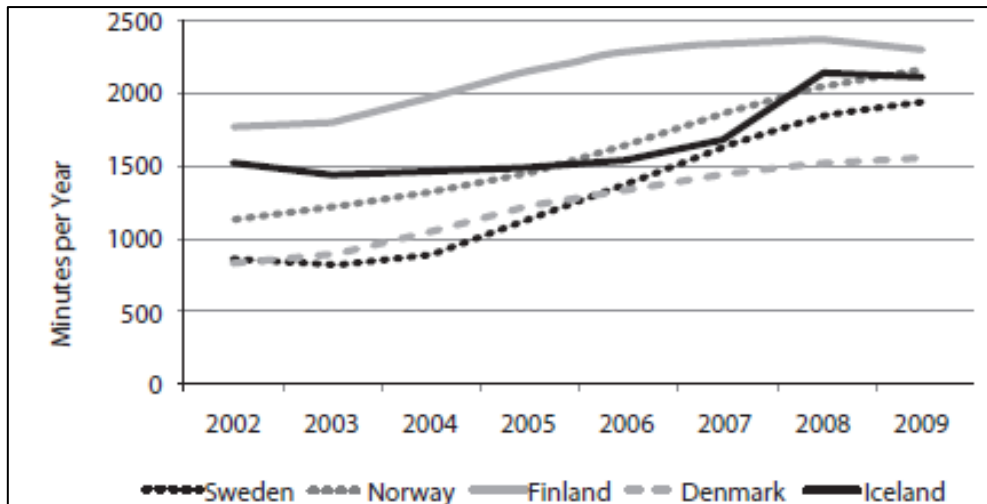


Figura 2.- Evolución del tráfico de voz hasta 2009 en los países nórdicos [5]

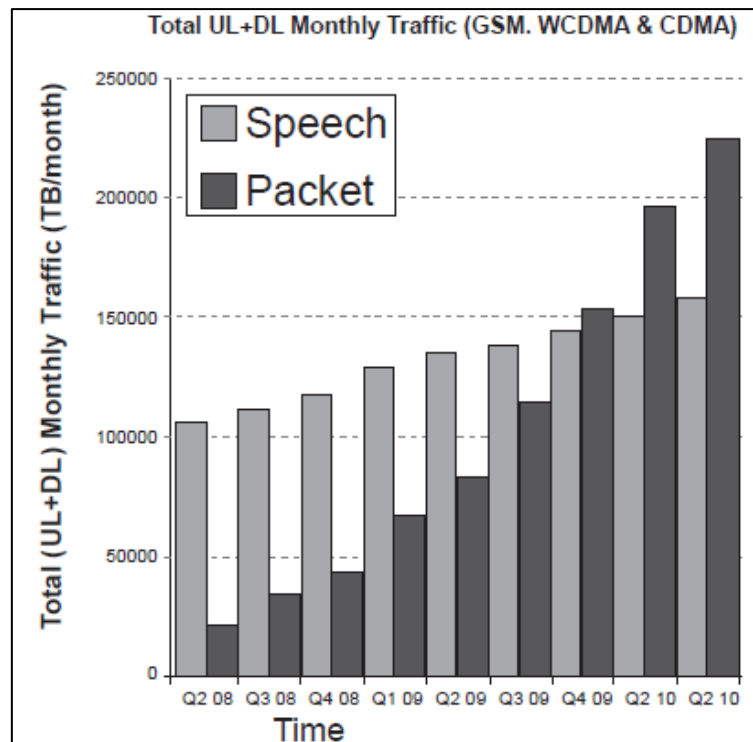


Figura 3.- Evolución del tráfico móvil de voz y datos [5]

Esta evolución de los interfaces radio de acceso de usuario conllevan de forma irremediable una evolución de las redes de transporte o *Core Network* que interconectan todos los nodos de acceso a usuario. Los interfaces A y A_{bis} de GSM deben mejorar y evolucionar hacia los interfaces Iub , Iur , Iu_{ps} e Iu_{cs} de HSPA o $S1-U$ o

S1-MME de *LTE* [3][4][6][7]. Las figuras 4, 5 y 6 muestran dónde se ubican dichos interfaces en las arquitecturas de los sistemas *GSM*, *HSPA* y *LTE*.

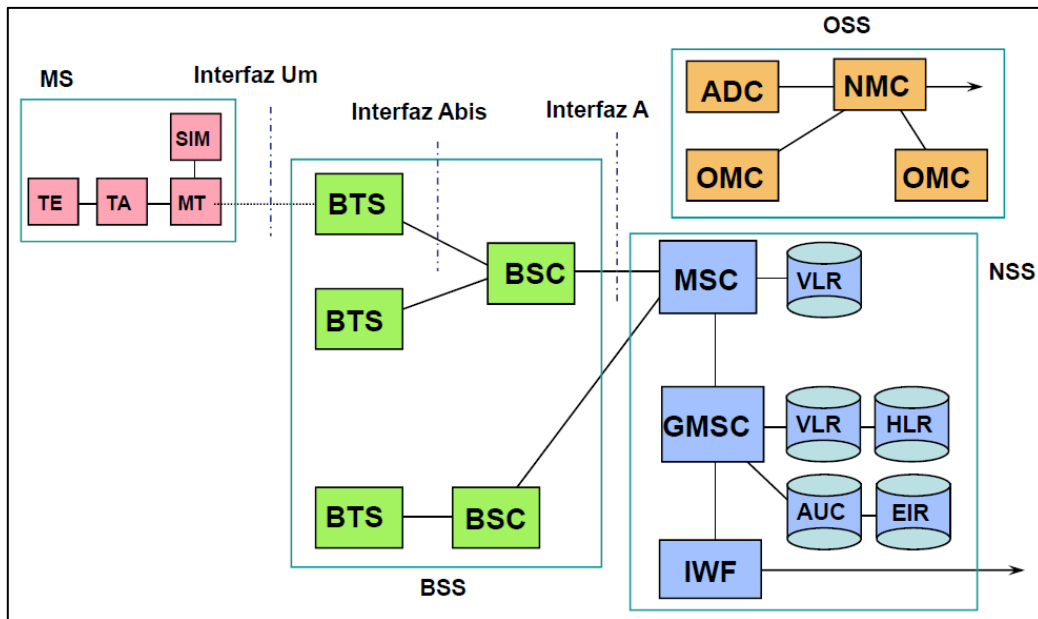


Figura 4.- Arquitectura de red en sistemas GSM [6]

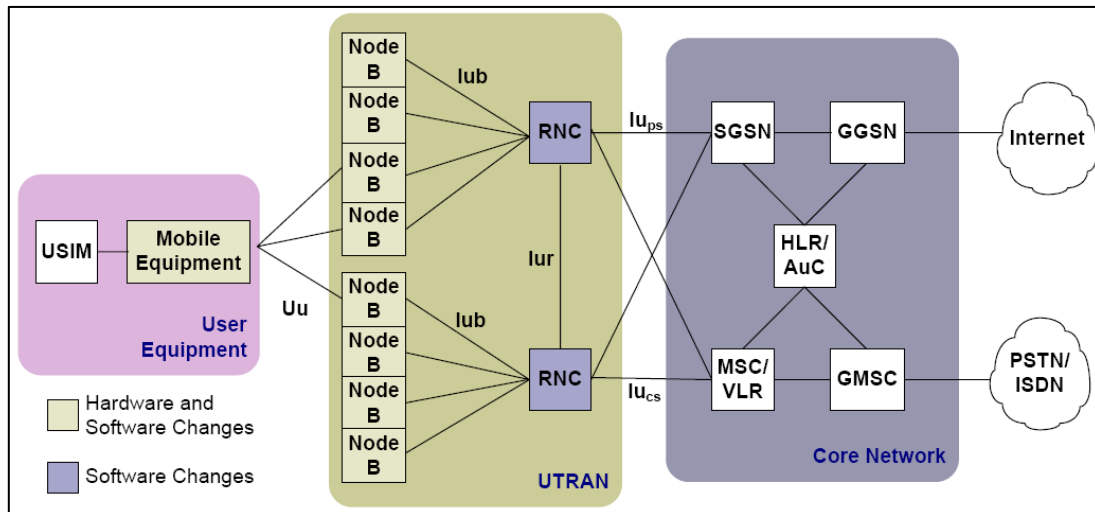


Figura 5.- Arquitectura de red en sistemas HSPA [3]

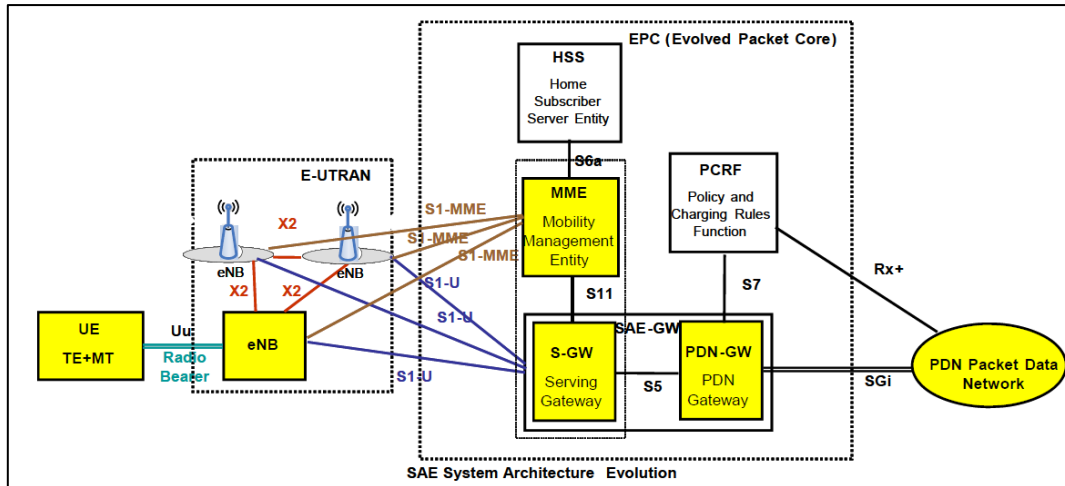


Figura 6.- Arquitectura de red en sistemas LTE [4]

La evolución comentada no sólo debe circunscribirse a un aumento de capacidad de los enlaces de red, sino también a la tecnología de transporte y es *IP* quien se ha llevado el beneplácito de instituciones, fabricantes, operadores y usuarios. Por ejemplo, la *ITU* en 2011 ha establecido como uno de los requisitos para la 4ª generación de estándares de telecomunicaciones móviles (la *release 10*), que toda la red esté basada en conmutación de paquetes “all-IP” [4]. El transporte deberá ser, por tanto, *IP*.

E *IP* no viene sólo. Este protocolo de nivel de red (capa 3 del esquema OSI) ha demostrado que combina muy bien con *Ethernet* a nivel de transporte (capa 2 del esquema OSI) de tal manera que evolucionan tan íntimamente ligados que hay muchas veces que se solapan, y es muy difícil encontrar a día de hoy equipos conectables a red *IP* que no presenten *RJ-45* o *SFP* de fibra como nivel físico y *Ethernet* como sistema de transporte. La conmutación por circuitos tradicional que creó la transmisión de voz por *TDM* y que actualizó para datos el sistema *ATM* ha perdido la batalla. Los tradicionales esquemas de transporte digital de datos *PDH* y *SDH* están llegando al final de su vida útil.

Ethernet como protocolo de transporte e *IP* como protocolo de red. Esta es la combinación que la tecnología está instaurando y las redes de *core* de los servicios móviles deben adaptarse a ello. Las maneras son dos: sustitución del equipamiento o la adaptación del existente.

La primera opción es siempre muy costosa. Los operadores deben invertir de manera preferente en la ampliación de los *Nodos B* y las *UTRAN* que crean el acceso a usuario, porque sin estas, no hay servicios que ofrecer y entonces, el resto carece de

sentido. Y si la mayor parte de la inversión se desvía hacia el acceso de usuario, poco queda para la red de transporte al núcleo. Así, donde no haya equipamiento existente, se instalará uno nuevo acorde con las tecnologías actuales pero donde ya exista equipamiento, será siempre más económico (o debería serlo a priori) adaptarlo para que soporte los nuevos tráficos.

Pero los conceptos a tener en cuenta en esta evolución tecnológica no sólo se circunscriben al cambio físico del equipamiento, sino también a un cambio en la filosofía de creación de red, de su protección, de la gestión de los servicios propios y de terceros y del control de tráfico, y esta es la problemática a solventar. Se migra de la idea de circuito dedicado por cada comunicación a una de paquete en un medio compartido, por sólo citar un ejemplo.

En el estudio previo a la propuesta de este Trabajo Fin de Master no se ha encontrado ninguna guía o publicación que oriente acerca de estos cambios, los plantee y los analice, de forma que puedan servir como soporte a migraciones de este tipo. Por eso, el objetivo es analizar y establecer una *operativa de trabajo* que marque los aspectos a tener en cuenta durante la planificación del cambio de red troncal móvil de conmutación por circuitos a conmutación por paquetes.

Se toma como base una red compuesta por anillos troncales *SDH* y enlaces radiales *PDH*, y donde se juntan equipos *SDH* y *PDH* adaptados a *Ethernet* e *IP* y equipos de nueva generación que soportan *Ethernet* nativo.

También se tratan exclusivamente los sistemas radio, ya que en la comunidad autónoma de Aragón, sede de realización de este Trabajo, la mayoría de los enlaces para redes móviles han de ser por radio, debido a la dispersión geográfica y demográfica de la población, que imposibilita una explotación rentable de otro tipo de transporte por cable o fibra.

La estructura del documento continúa ahora con una introducción a los sistemas de conmutación por circuitos y redes *SDH* explicando aquellos aspectos que más van a influir a la hora de plantear la migración de estos servicios a conmutación por paquetes. También se ofrece un estudio de los equipos que permiten el trabajo con esta última, incidiendo una vez más en los aspectos que habrá que tener en cuenta a la hora de adaptar el tráfico que viajaba en *SDH*. Por último, se describe el proceso de migración de red en sí, las tecnologías más novedosas a tener en cuenta, y se detalla una guía de trabajo acerca de qué decisiones de diseño hay que tomar antes de implementar los cambios, de forma que se obtenga al final una red de conmutación por paquetes, capaz de transportar *Ethernet* y totalmente regida por los estándares más actuales.

Transporte de datos vía radio 2

Siempre resulta imprescindible conocer el origen para poder trazar un camino. Así pues, es necesario realizar un repaso general de los aspectos de la tecnología de transporte de datos mediante radio de microondas que pueden resultar más relevantes para el propósito de este proyecto.

En primer lugar, se explicarán cuáles son las bases más sencillas de la conmutación por circuitos, sus ancestros *TDM* y cómo se imbrican dentro de los equipos *PDH* y *SDH*. A continuación se darán unas pinceladas acerca de los sistemas *PDH* y *SDH*, haciendo más hincapié en estos últimos por presentarse en mayor medida en las redes troncales de móviles. Después se hablará de la estructura de datos en *SDH* y la multiplexación en *STM-1*, que tiene una gran importancia para entender cómo viajan los datos en estas redes y las limitaciones que presentan, y que servirá también como preparación para entender cómo los mecanismos de transmisión de *Ethernet* sobre *SDH* son capaces de acomodar distintos tamaños de tráfico dentro de una trama *STM-1*. A continuación se hablarán de las tipologías de equipos en *SDH*, los mecanismos de protección de tráfico y cómo se sincroniza la red.

Se continúa presentando de qué manera es posible acomodar un tráfico Ethernet en una red *SDH*, introduciendo para ello el protocolo GFP y sirviéndose de los conocimientos sobre *SDH* ofrecidos. Se mostrará cómo junto con LCAS y la concatenación virtual, los flujos Ethernet de pequeño tamaño pueden viajar de forma segura a través de este tipo de enlaces. Se ilustrará cómo se combinan todos estos factores para ese objetivo. Después, se abandona el mundo *SDH* para describir los enlaces capaces de transportar directamente un paquete Ethernet en el aire. Se muestra cómo ese “canal aire” es aprovechado para conseguir que se puedan transmitir tasas de bit que puedan hasta triplicar las vistas en los apartados dedicados

a SDH, describiendo para ello lo que representan las modulaciones adaptativas y las técnicas de multiplexación de canal radio, como XPIC.

El objetivo de este capítulo 2 es que se puedan entender las características del transporte de datos por radio, comprender cómo transmitir *Ethernet*, bien sobre *SDH* o de forma nativa, y qué diferencias hay que tener en cuenta si se elimina una red *SDH* y se sustituye por una *Ethernet nativo*.

2.1.-La conmutación de circuitos

Los sistemas de transmisión digital de datos por circuitos, *PDH* y *SDH*, han estado activos desde los años 70 con la aparición de *PDH*. Y, desde sus inicios, han estado unidos a la transmisión de voz, el dato a transmitir por excelencia en aquella época. Tal es así que, si se toman las capacidades nominales de los elementos mínimos de transmisión tanto en *PDH* como en *SDH*, aparece una unidad básica de voz [8]: la digitalización empleando codificación *PCM* (*Pulse Code Modulation*), la primera codificación de voz para telefonía usada de forma genérica en la transmisión de voz. Así, en *PCM*, la señal de voz se muestrea 8.000 veces por segundo con una resolución de 8 bits, es decir, que se obtiene una muestra de voz de 8 bits cada 125µs. Esto arroja una tasa de bits necesaria de:

$$\frac{8 \text{ bits}}{125 \mu s} = 64 \text{ kbps} \quad [I]$$

Si se multiplexan en el tiempo 30 canales (*time slots*) de este tamaño para poder enviarlos a la vez por el mismo canal de transmisión y se les añade dos canales adicionales de señalización se tiene el elemento mínimo de transmisión *PDH*, la trama *E1* (en Europa, en Estados Unidos la trama es ligeramente diferente y se denomina *T1*), con una capacidad total de 2,048 Mbps:

$$\frac{32 \text{ time slot} \times 8 \text{ bits}}{125 \mu s} = 2,048 \text{ Mbps} \quad [II]$$

PDH nació entonces de la necesidad de transmitir múltiples canales de voz por un canal físico, por lo que los conceptos de multiplexación y *TDM* son inherentes a su esencia desde sus comienzos. Y de *PDH* se evolucionó a *SDH*, que mejora la capacidad y la sincronización del primero.

2.2- Sistemas y redes PDH

La *Jerarquía Digital Plesiócrona*, *PDH* del inglés *Plesiochronous Digital Hierarchy*, se popularizó en los años 80 del siglo XX como un sistema para transmitir grandes cantidades de datos (en aquella época) mediante canales ópticos o de radio, sin necesidad de que ambos extremos estén perfectamente sincronizados (*plesiócrono*, del griego, *casi al mismo tiempo*), aunque sí que transporta y requiere de cierta señal de reloj, necesaria para la voz y la sincronización de los sistemas de la época (centralitas, por ejemplo) [11]. *PDH* se basa en la teoría de que en un sistema con sincronización debida a un reloj diferente en cada extremo no ofrece garantía de que ambos circulen a la misma velocidad, produciéndose pequeñas variaciones de uno respecto al otro. *PDH* se diseñó para absorber dichas variaciones y permanecer siempre transmitiendo sin ninguna pausa producida por ajuste de reloj [12].

Multiplexación en PDH.

Con *PDH* se podían multiplexar varios canales *E1* entre sí y formar estructuras superiores, *E2* y *E3* que transportaban varios canales. Una vez multiplexado, se realizaba la transmisión síncrona de los datos, lo que incrementaba la capacidad de datos y reducía los retardos de transmisión en las líneas [10][11]. Aunque en la figura 7 se muestra un índice de multiplexación mayor, el *E4*, este casi no se ha empleado en *PDH* ya que su capacidad es la del *SDH* y, de llegar a esos órdenes de capacidad, casi todas las redes implementaban directamente *SDH*. Por tanto, aunque el estándar lo recoge, la implementación de los *E4* es prácticamente nula.

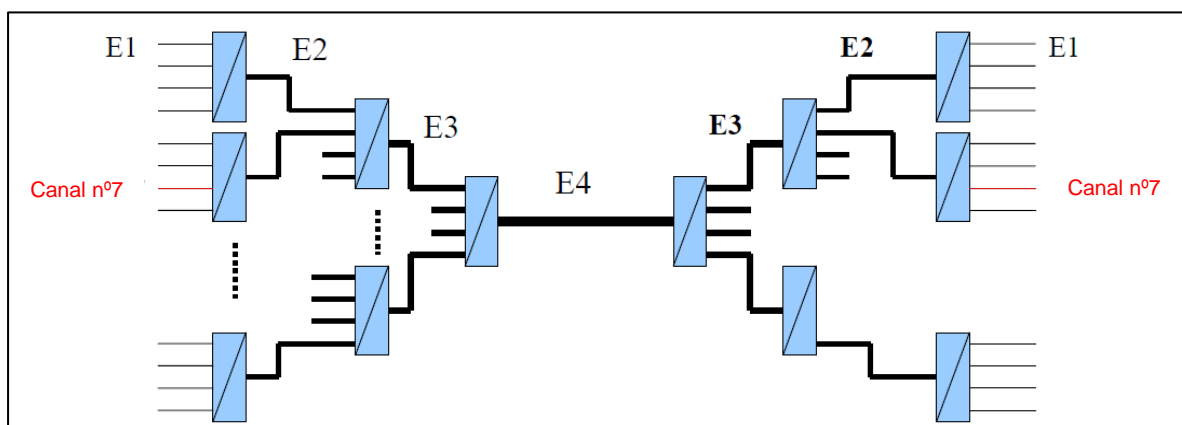


Figura 7.- Multiplexación de diferentes órdenes en PDH

En el caso de la comunicación en redes móviles, las *BTS* iniciales de *GSM* y *GPRS* entregaban siempre para el transporte los tráficos de voz organizados en tributarios

E1, por lo que era muy sencillo “despeinar” los *E1* de un enlace *PDH* y conectarlos directamente a las salidas de voz de las *BTS*, y entregarlas tal cual en la *BSC* adecuada. Además, la interconexión con la *PSTN* era también muy sencilla, ya que en todo el recorrido de la voz no se cambiaba de trama de transporte. Al menos, en la parte de conectividad entre *BTS* y *BSC*. Para los enlaces *BSC* y para la red *core*, se empleó *SDH* por su mayor capacidad, ya que *PDH* sólo alcanza hasta los 32 *E1* (unos 64 Mbps).

Transición a *SDH*.

PDH se ha mantenido hasta nuestros días a pesar de la aparición del “moderno” *SDH* debido a su facilidad de integración para el transporte de redes *ATM*, también muy populares hasta la fecha. A pesar de ello, *PDH* se quedó rápidamente obsoleto debido a la aparición de *SDH*, un sistema plenamente síncrono que era capaz de transmitir más del doble de datos. Además, eran incompatibles entre sí, ya que la compleja jerarquía de *SDH* hacía difícil y cara una adaptación directa de tecnologías que permitiera darle un nuevo recorrido a *PDH* dentro de *SDH* [11]. Pronto se vio que *SDH* presentaba múltiples ventajas, entre las que se destacan:

- Multiplexación directa de forma sincronizada.
- Posibilidad de multiplexar señales más lentas sin necesidad de usar etapas intermedias.
- Mayor flexibilidad.
- Características de gestión de red muy avanzadas.
- Idoneidad para implementar redes de larga distancia, de corta distancia e, incluso, para redes de transmisión de video y televisión [10].

La figura 8 representa un esquema de bloques de una transmisión de datos basada en *SDH*.

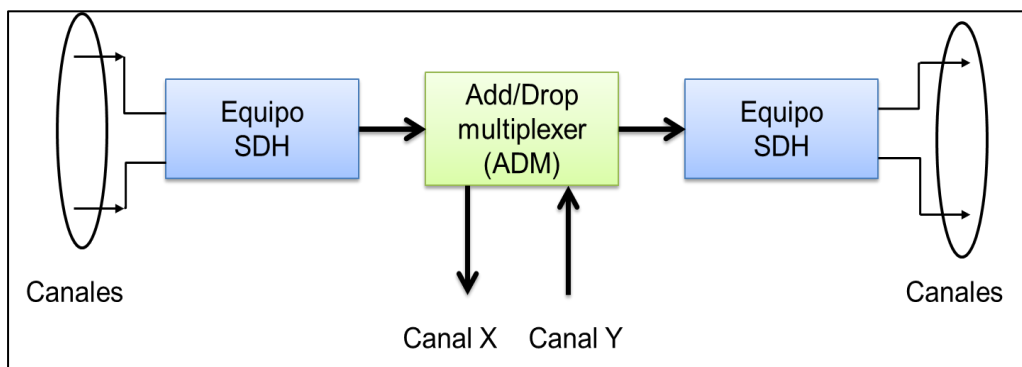


Figura 8.- Esquema básico de un montaje *SDH* [10]

2.3.- Sistemas y redes SDH

El sistema de *Jerarquía Digital Síncrona* o *SDH* por sus siglas en inglés (*Synchronous Digital Hierarchy*) es la versión europea del *SONET* (*Synchronous Optical Network*) americano y japonés, una serie de estándares nacidos para la interconexión de operadoras de telefonía mediante redes ópticas. Aunque ambos estándares son diferentes, estas diferencias son mínimas [10]. La *ITU-T* adoptó el estándar *SDH* europeo y lo elevó a internacional.

SDH ofrece un sistema de multiplexación y concatenación de señales de datos sin importar su tamaño ni su velocidad de datos, ya que la estructura en matriz de filas y columnas y el uso de punteros para identificar la carga de la trama permite transportar prácticamente cualquier cosa en su interior.

Capacidad de carga.

Las unidades de carga de estas tecnologías también tienen su nombre propio. La unidad eléctrica de transporte en *SONET* recibe el nombre de *STS* (*Synchronous Transport Signal*), mientras que la unidad óptica se conoce como *OC* (*Optical Carrier*). La más habitual en Europa y en el estándar es la parte eléctrica en *SDH*, que recibe el nombre de *STM*, *Synchronous Transport Module* [8]. Estas unidades pueden concatenarse entre sí, aumentando la capacidad de carga. La siguiente figura recoge una tabla que da una idea de las capacidades que se pueden alcanzar con la unidad básica y concatenando varios órdenes de ellas:

Nivel óptico	Nivel eléctrico	Equivalente SDH	Velocidad de línea (Mbps)
OC-1	STS-1	---	51,84
OC-3	STS-3	STM-1	155,520
OC-9	STS-9	STM-3	466,56
OC-12	STS-12	STM-4	622,080
OC-18	STS-18	STM-6	933,120
OC-24	STS-24	STM-8	1244,160
OC-36	STS-36	STM-13	1866,240
OC-48	STS-48	STM-16	2488,320
OC-96	STS-96	STM-32	4976,640
OC-192	STS-192	STM-64	9953,280

Figura 9.- Tabla de capacidades concatenando diferentes unidades de carga SONET o SDH [10]

Pero la *ITU-T* estandarizó sólo unas cuantas capacidades para su carga estándar, el *STM*, que son las que se recogen en la figura 10:





155, 520 Mbit/s		STM1
622, 080 Mbit/s		STM4
2,488 Gbit/s		STM16
9,953 Gbit/s		STM64

Figura 10.- Capacidades estándar en STM según ITU-T [10]

De todas estas capacidades sólo nos interesará en este proyecto la más básica, el STM-1, ya que es la única velocidad desarrollada para el transporte radio. Las otras tres son propias de transporte óptico. Las razones se ofrecerán un poco más adelante.

Transmisión *SDH*.

La trama *STM* estándar es una construcción matricial de bytes que tiene 9 filas y varias columnas en función del tipo de *STM* del que se trate (270 en el caso del *STM-1*), y que siempre se ha de transmitir totalmente en un tiempo de 125 μ s, tenga el número de columnas que tenga. El orden de transmisión siempre es el mismo y sigue idéntico patrón:

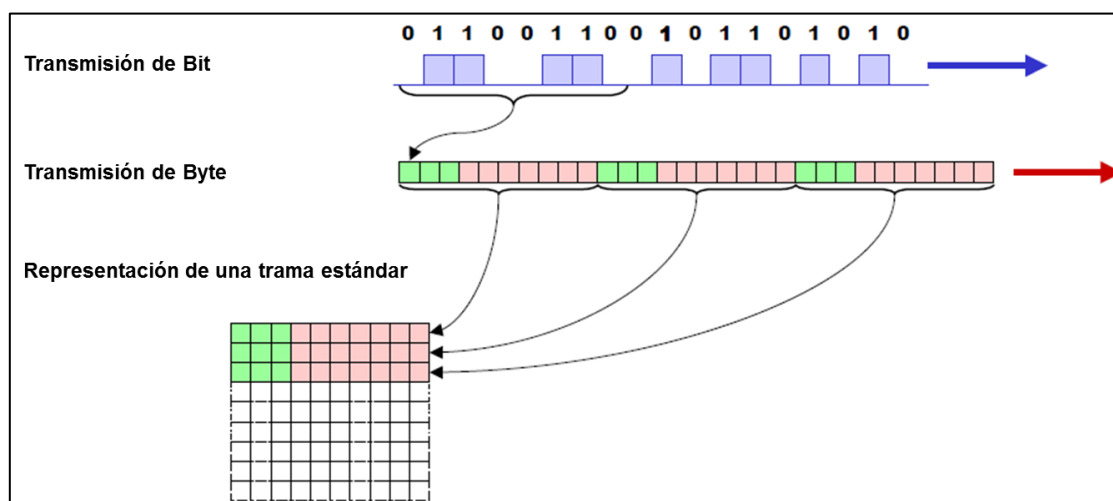


Figura 11.- Esquema de transmisión de una trama STM estándar [10]

El orden de lectura es siempre por filas, empezando por la primera columna de la primera fila, transmitiendo la primera fila completa y continuando por la primera columna de la fila siguiente, hasta completar las 9 filas (ver figura 11).

Se ha comentado antes que la capacidad de la trama crece aumentando el número de columnas, dejando fijo el número de filas, y que, aun aumentando el número de columnas, toda la trama debe transmitirse en un tiempo de 125 μ s. Esto se ilustra en la siguiente figura:

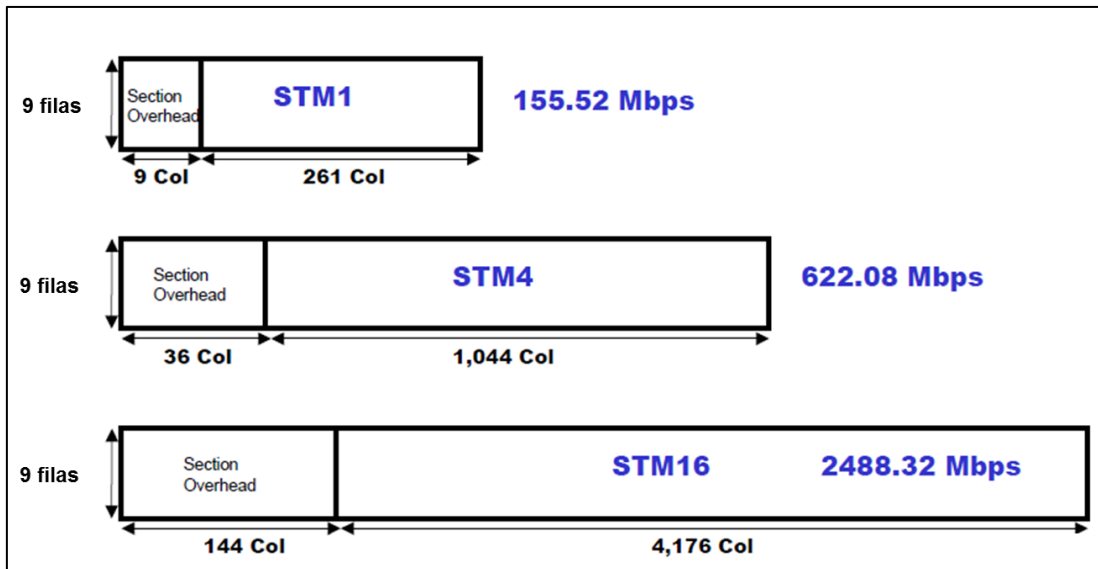


Figura 12.- Columnas de trama según el orden de STM. [10]

Esta es la razón por la que para enlaces radio cada canal sólo puede transmitir una trama *STM-1*. La tecnología radio sobre la que se diseñaron los sistemas de transporte *SDH* no podían alcanzar más que una capacidad de poco más de 160 Mbps, lo que no les permitía escalar a órdenes de *STM* superiores al primero, de 155,52Mbps.

Radios *SDH*.

En el transporte radio *SDH* se emplea normalmente equipos diseñados para trabajar entre los 4 y los 13 GHz, con una anchura de canal de 40 o 28 MHz y potencias máximas de transmisión de, aproximadamente, 32 dBm. En este escenario, la modulación empleada será de *128-QAM* para los canales estrechos y de *64-QAM* para los canales anchos, en ambos casos, contando con métodos avanzados como la *Modulación por Codificación Multinivel*, *MLCM*, y la *Ecualización por Retro-Decisión DFE*, otorgando además una ganancia de sistema final de más de 100 dB [13].

Toda esta tecnología era capaz entonces de poner en el aire una trama *STM-1*, incluyendo los canales de tráfico lateral (fuera de banda) de 2 Mbps de capacidad que

se incluyen en la estructura de la *SOH* (*Section OverHead*), algo inviable hasta la adopción de *MLCM* y *DFE*.

Realmente, *MLCM* añadió una forma de mantener la robustez del sistema, muy necesaria en los enlaces radio debido a las altas pérdidas a las que están sometidos, pero reduciendo los bits de redundancia y protección respecto a las codificaciones *TCM* de *Trellis*, lo que deja más margen para carga útil, aumentando las capacidades totales del sistema a la vez que se mantiene la fiabilidad de los datos.

Existen varias razones para detenerse en esa capacidad máxima alcanzada. Hoy conocemos modulaciones más eficientes, como *256-QAM* y *512-QAM*, pero entonces no estaban desarrolladas. Además, en las instalaciones de enlace por microondas existen multitud de interferencias producidas por las transmisiones cocanal, bien entre distintos *SDH* o bien entre instalaciones *SDH – PDH*.

Como añadido, hay que dejar margen para las caídas de potencia por lluvia u otros fenómenos atmosféricos y, por otro lado, la eficiencia espectral que alcanzaba la tecnología de la época no permitía el aprovechamiento del canal como ahora, contabilizando pérdidas de hasta vez y media de capacidad con respecto a la tecnología actual [14].

Una vez las tecnologías mejoraron, ya aparecieron nuevos horizontes a los que dedicar el esfuerzo tecnológico y la inversión, como se verá en el apartado siguiente, y *SDH* en radio quedó limitada a un *STM-1* por canal.

2.3.1.- La estructura de la trama SDH. Multiplexación sobre STM.

SDH alberga varias funcionalidades interesantes que le auparon sobre *PDH*, relacionadas con su estructura de trama y sus punteros.

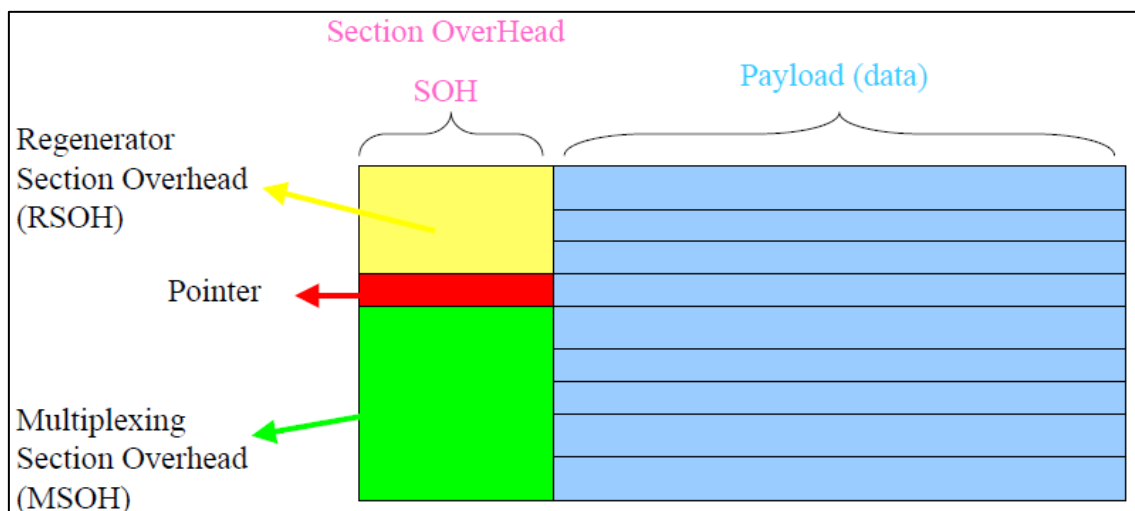


Figura 13.- Estructura básica de trama SDH [10]

La figura 13 muestra la estructura básica de la trama *SDH*. Esta se detalla en el Anexo 1, pero baste esta figura para entender las explicaciones que se brindan a continuación.

La trama *STM* actúa como un contenedor de datos, que puede llevar tributarios creados con relojes diferentes entre sí e incluso diferentes a la del equipo *SDH*, lo que provoca que puedan empezar en cualquier punto dentro de la trama. Para localizarlos, la *Section OverHead* de *STM* contiene una zona donde se ubican los punteros a cada tributario, de forma que los equipos *SDH* puedan encontrar con facilidad cualquiera de ellos dentro de la trama.

Otra gran ventaja de *SDH* es la capacidad de multiplexar señales más lentas dentro de una señal más rápida, como el *STM-1*. Se diseñaron una serie de mecanismos que permiten realizar un mapa específico de multiplexaciones de unos contenedores dentro de otros, añadiendo, como ya se ha dicho antes, la estructura de punteros adecuada para que los equipos terminales puedan localizar los datos dentro de la trama.

Usando cierta analogía, sería un transporte marítimo, donde el barco que donde viajan los contenedores sería la trama *STM-1* que transporta por el medio (el mar) la información. Cada contenedor del barco sería una unidad más pequeña (más lenta) de datos y, dentro de cada contenedor, se pueden apilar cajas más pequeñas que simbolizarían otros contenedores de datos más pequeños, más lentos. Supongamos además que las cajas están ordenadas por filas y columnas (matricialmente) dentro de cada contenedor y que los contenedores se apilan de la misma manera en el espacio de carga del barco. Por último, el barco lleva un registro colocado a la entrada de la bodega donde está listado cada contenedor y su ubicación exacta en filas y columnas dentro del barco, y, de la misma manera, dentro de cada contenedor existe un control similar pegado a la puerta, que identifica y ayuda a localizar los paquetes que contiene.

Estas listas serían el equivalente al *Path OverHead (POH)*, y enlazan los punteros hacia órdenes superiores de carga, de manera que cualquier dato pueda localizarse dentro de la estructura mayor (el barco) consultando los punteros de la trama *STM* (el registro del barco) que llevarán al inicio del *POH* (el listado) de un contenedor inferior (los contenedores) que, a su vez, apuntará al dato que se intenta localizar (los paquetes). Una representación de esta estructura se ofrece en la figura 14.

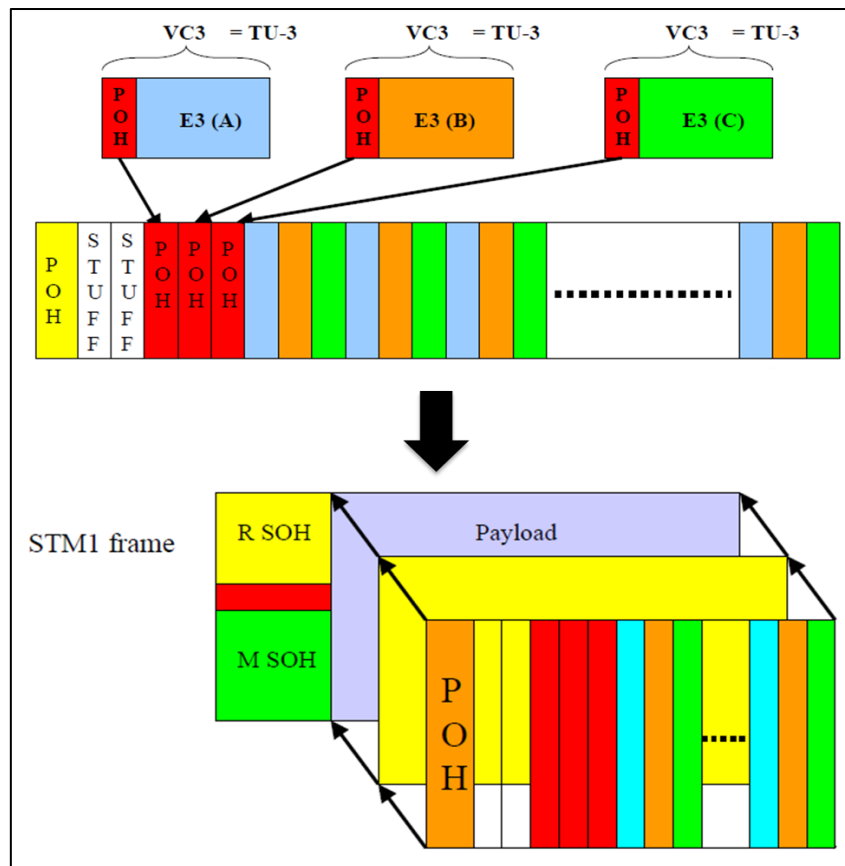


Figura 14.- Ejemplo de multiplexación de varios contenedores E3 en una trama STM-1

Estructura lógica.

Cada contenedor tiene un nombre dentro de la estructura de multiplexación *SDH*, y cada vez que a ese contenedor se le añade la información de punteros, cambia de denominación y recibe diferentes nomenclaturas en función de la estructura formante:

- *Contenedor Virtual, VC*
- *Unidad de Transporte, TU*
- *Grupo de Unidades de Transporte, TUG*
- *Unidad Administrativa, AU*
- *Grupo de Unidades Administrativas, AUG* [9].

La figura 15 ofrece un esquema de la organización de esta estructura de multiplexación, la cual permite localizar cualquier contenedor. Por ejemplo, en los equipos que manejan datos a nivel de *C-12* (un *E1*) o 2 Mbps, existe una nomenclatura para localizar concretamente la ubicación de un bloque de datos basado en una terna de números que indican el *TUG-3* dentro del *VC-4* (ya que hay 3 *TUG-3*

dentro de un *VC-4*), el *TUG-2* dentro del *TUG-3* (que contiene 7 de estos *TUG-2*) y el *VC-12* dentro del *TUG-2* (que contiene 3 de estos *VC-12* en total). Así, para indicar:

- El segundo *VC-12*
- Del cuarto *TUG-2*
- Del primer *TUG-3* de un *STM-1*,

se usará la nomenclatura:

- *VC-12.1.4.2*.

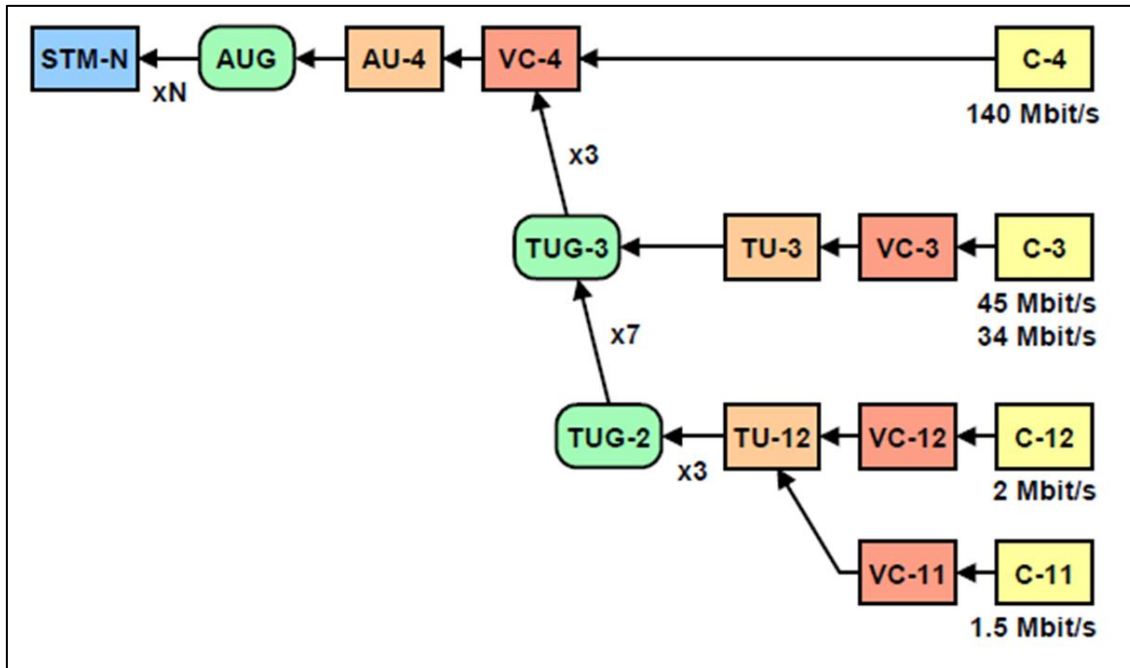


Figura 15.- Estructura de multiplexación de SDH [9]

Concatenación y capacidad.

La posibilidad de concatenar varias estructuras para formar una superestructura mayor, manteniendo la forma general, es otra de las ventajas de *SDH*. Por ejemplo, si un *VC-4* es el equivalente a un *STM-1*, si se concatenan 4 *VC-4* seguidos tendremos un contenedor *VC4-4C* (es decir, un contenedor estructurado *VC-4* con 4 *VC-4* en su interior), y eso será una unidad *STM-4* una vez incorporada la *SOH* adecuada. Así se forman también los *STM-16* y *STM-64* [10].

Es momento de llamar la atención sobre un punto concreto referente a las capacidades reales de cada contenedor. La capacidad del contenedor mayor de un *STM-1*, que sería un *C4*, es de 140 Mb/s y, sin embargo, la trama transmitida *STM-1* es de 155,52 Mb/s. Esta diferencia de capacidad es la que se sacrifica para la *SOH*

que controla toda la estructura de *SDH*. Es muy importante tener esto en cuenta, pues se tornará relevante más adelante, en el apartado siguiente.

Justificación.

Como último apunte acerca de la estructura *SDH* se hace hincapié en la llamada *justificación*. Si se mira con atención la figura con la estructura de multiplexación, se verá que los contenedores primarios no son órdenes conocidos en *PDH* como *E1* o *E3*, sino que reciben como nomenclatura *C4* o *C11*. Realmente el contenedor tipo *C* conlleva una primera adaptación de la carga, y esa adaptación recibe el nombre de *justificación*.

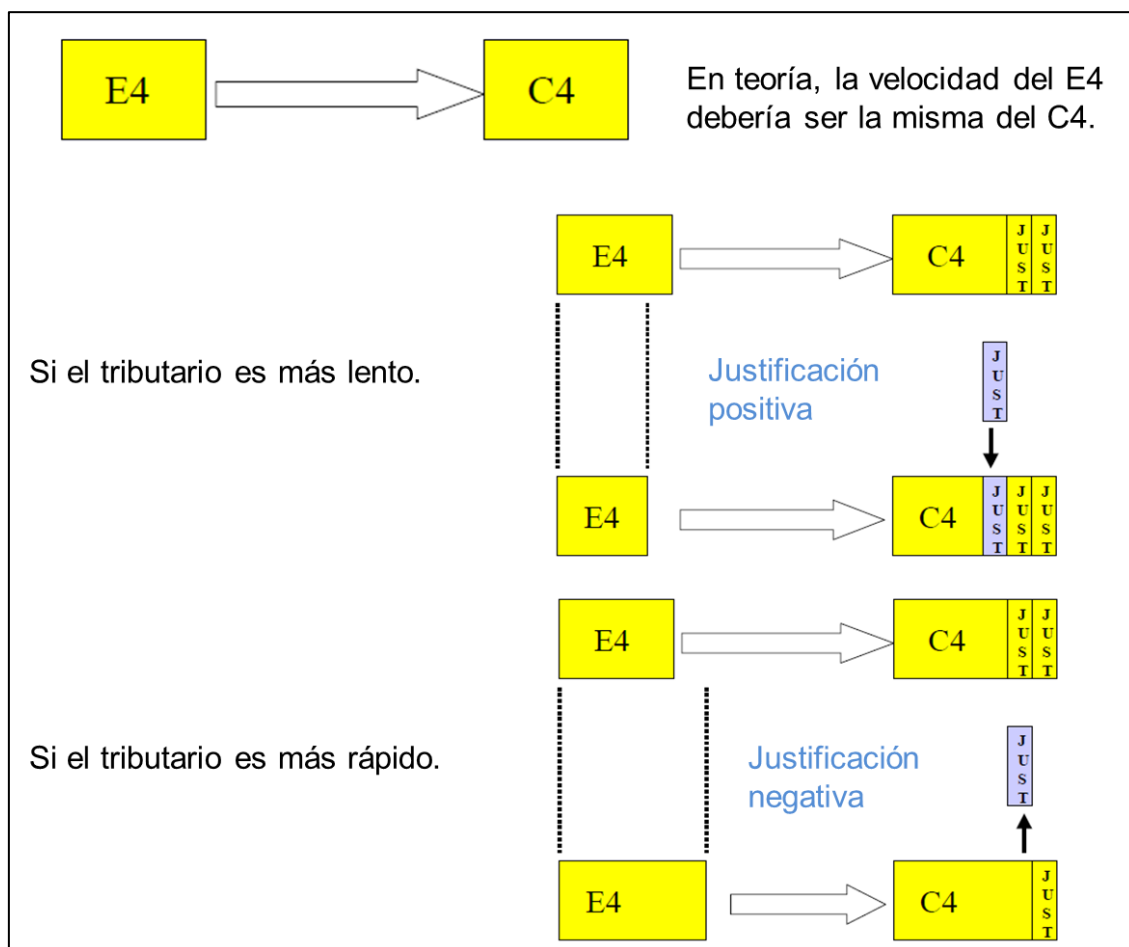


Figura 16.- Ejemplo de justificación positiva y negativa [10]

En principio, el contenedor *C* y el orden de carga *E* deberían ser iguales en velocidad (del mismo tamaño), pero eso no siempre es así. En ocasiones, la carga es más lenta o más rápida que el contenedor. Por esta razón, los contenedores se diseñan para soportar un cierto margen al alza o a la baja que permita compensar esas diferencias:

- Cuando el tributario (el orden de carga) es más lento, se añaden elementos de justificación que “rellenen” el contenedor, y se hablará de justificación positiva.
- En caso contrario, cuando el tributario es más rápido de lo habitual, el contenedor quitará elementos de justificación para acomodar los tamaños y se hablará de justificación negativa.

Dichos elementos de justificación son bytes de relleno que el sistema sabe identificar como tales y se descartan en el extremo receptor de la transmisión [10]. La figura 16 ilustra este concepto.

Velocidad y tamaño.

Es posible que llegado este punto exista algo de confusión respecto al uso de términos “velocidad” o “tamaño” en cuanto a tramas y contenedores se refiere. La razón de su uso indistinto viene relacionado con que, en estos sistemas de conmutación por circuitos basado en tecnología *TDM*, ambos conceptos están muy relacionados. En *TDM* cada *slot temporal* tiene marcado un tamaño fijo en bytes, es decir, si cada slot tiene capacidad para transmitir 10 bytes, por ejemplo, ese será su tamaño. Y como se ha especificado en las fórmulas [I] y [II], el hecho de disponer de una cantidad de bits en un tiempo concreto (el slot temporal), determina una “velocidad de línea” en bits por segundo.

Si un dato de un tributario se ha generado a una velocidad de línea mayor, entonces, dado que el tamaño del slot está fijado por el contenedor, será cierto que el “paquete” de datos contiene más bytes, es decir, tiene más tamaño.

De la misma manera se puede hablar en sentido contrario, de paquetes más pequeños o “más lentos”.

2.3.2.- Arquitectura de sistemas SDH.

En *SDH* existe una arquitectura de sistemas que engloba varios tipos de dispositivos. Para el objeto de este proyecto tienen especial relevancia dos de ellos, los *regeneradores* y los *Add and Drop Multiplexers* o *ADM*.

Existen, además, los *conectores cruzados digitales* y los *multiplexores*, pero no han tenido tanto auge como los *ADM* ya que estos últimos engloban las características de los otros dos y añaden nuevas funcionalidades interesantes. Los *regeneradores* son importantes en el ámbito de las redes troncales de servicios móviles porque cada radio con capacidad *SDH* es un *regenerador* y se comporta como tal. Las radios recomponen por completo la señal *SDH* y reescriben todos los bytes de la

Regenerator Section OverHead, o *RSOH* que contiene la trama *STM*. Una explicación detallada de esta sección puede encontrarse en el Anexo 1. En ella no sólo extraerá la formación que requiera el enlace, sino que detectará o insertará los bytes adecuados para informar de posibles errores en la transmisión de la trama.

Es importante tener en cuenta que la información de la *RSOH* en cada salto de radio cambia por completo, con lo que no se puede transmitir una información más allá de un salto usando los canales auxiliares que ofrece esta sección de la trama *STM*, si no es empleando un equipo que la vuelva a introducir en la siguiente *RSOH*.

Los *Add and Drop Multiplexer* o *ADM* son equipos capaces de:

- multiplexar varios tributarios para formar una trama *STM* (lo que hacen los *multiplexores*)
- conmutar las tramas entre uno o varios puertos de entrada y salida (lo que hacen los *digital cross connectors*)
- y, además, permiten extraer un canal en un punto y ocupar el espacio vacante con otro contenido distinto.

Los *ADM*, como se les conoce popularmente, usarán la información contenida en la *Multiplexing Section OverHead*, o *MSOH* para realizar sus labores, así que, como las radios con la *RSOH*, cada *ADM* rescribirá la *MSOH*. Pero sólo las secciones que necesite, manteniendo intacta el resto de la estructura para el siguiente elemento de la cadena de transmisión.

2.3.3.- Gestión de la calidad de enlace en SDH.

En la transmisión por conmutación de circuitos, cada tráfico tiene creado de forma virtual un circuito único y exclusivo, con lo que, a diferencia de la conmutación por paquetes y en *Ethernet*, donde en la mayoría de los casos el medio es compartido por distintos tipos de tráfico, en *SDH* no se necesitan mecanismos de calidad de servicio.

La calidad del enlace será la calidad del medio físico que lo sustenta y éste dará las medidas de la misma. Estas medidas se indican en varios estándares *ITU-T*, concretamente los números *G.826*, *G.821*, *M.2100* y *G.783*.

Todas estas normativas tienen en común tres parámetros fundamentales que sirven para medir la disponibilidad de un enlace, usados sobre todo en los enlaces por microondas como los instalados en las redes troncales de servicios móviles [10]:

- *Segundos Erróneos (ES)*: número de segundos en los que aparece un error por bloque o trama.
- *Segundos Severamente Erróneos (SES)*: cantidad de tiempo durante la que se percibe una alarma importante (pérdida de señal –LOS-, pérdida de trama –LOF-, etc.) o cuando el 30% de las tramas recibidas en un segundo contienen errores.
- *Indisponibilidad*: cantidad de tiempo durante el cual el equipo no está disponible. Comienza a contarse tras 10 SES consecutivos.

Con estos tres parámetros se caracteriza la calidad de los enlaces *SDH*. Los estándares nombrados describen también una serie de medidas de desempeño y funcionamiento que permiten medir cómo está operando el enlace. Su estudio sale fuera del ámbito de este trabajo fin de master.

Protección de enlace y anillo.

En cuanto a la protección de los enlaces físicos, los típicos esquemas de protección de enlace *1:1* o *1:N* son perfectamente válidos. En el primero de los casos, por cada enlace activo existe uno de *backup* dispuesto a activarse al detectarse la caída del enlace principal. El segundo esquema *1:N* especifica que por cada *N* enlaces activos existe uno que los puede sustituir. En este caso, si más de un enlace cae a la vez, se perderá servicio, ya que sólo uno puede recuperarse a través el enlace que actúa como respaldo.

Estos esquemas presentan el inconveniente de que se tiene en el aire (en caso de enlaces radio) un canal vacío, sin carga, sólo por si el principal se cae. A priori parece una inversión muy poco aprovechada. Para mejorar este concepto, muchos fabricantes desarrollaron el denominado *extra tráfico*, que son aquellos canales de datos que el operador señala como poco importantes o prescindibles. Ese tráfico viajará por el canal de protección mientras el canal activo esté funcionando. En el momento en que este caiga, el *extra tráfico* se descarta y el tráfico del canal principal pasa a ocupar el de reserva. De esta manera, durante el tiempo en el que la red está en operación normal (se le supone la mayoría del tiempo de funcionamiento) se obtiene una capacidad extra como sobreprestación.

Cuando la red tiene una topología de anillo (como la de la figura 17) o de malla existen mecanismos de protección destinados a la redundancia de los tráficos. Así, los sistemas *SNC*, *SNC Drop and Continue* o *MS – Spring* permiten detectar caídas de enlaces y llevar los tráficos *ADM* de la red usando otros caminos físicos. Normalmente, se estipula un tiempo de recuperación de los tráficos afectados de 50 ms como máximo.

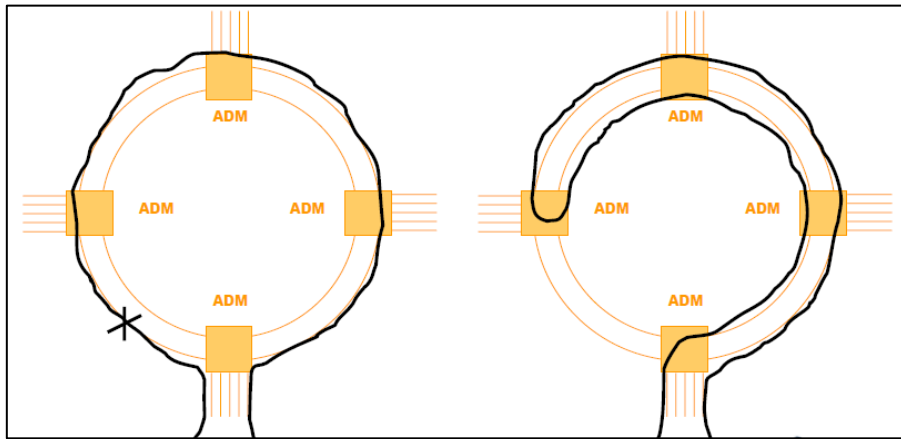


Figura 17.- Representación de una protección de anillo [10]

2.3.4.- Sincronización de una red SDH.

Por último, aunque los sistemas *SDH* permitan transportar carga con diferentes sincronizaciones, toda la red *SDH* en sí debe estar sincronizada.

El estándar *ITU-T G.811* define la *Primary Reference Clock* como la referencia de reloj primaria de una red *SDH*. Esta referencia debe tener una precisión de 10^{-11} , lo que indica una desviación máxima de 300µs por año.

El esquema de sincronización es jerárquico, lo que permite construir una red sin necesidad de ubicar una fuente *PRC* en cada nodo de la red. Así, sincronizando un equipo, el estándar permite que toda señal *STM-N* o *E1* pueda usarse para sincronizar otro equipo *SDH* del mismo anillo, como se observa en la figura 18.

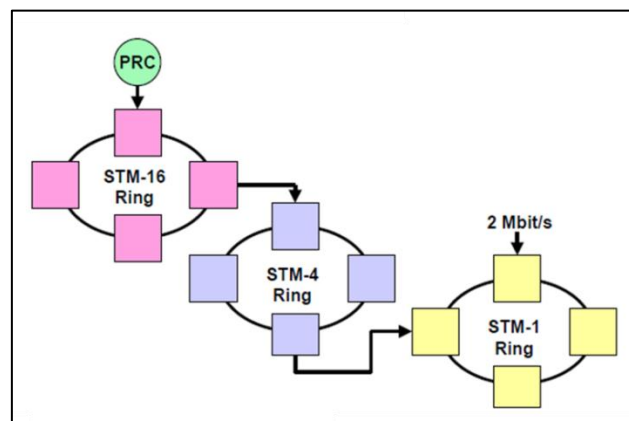


Figura 18.- Esquema de sincronización jerárquica entre varios anillos SDH [9]

No obstante, a fin de mantener la calidad de la *PRC*, algunos fabricantes limitan el número máximo de saltos de sincronización que se pueden hacer con una sola de

estas fuentes primarias, para evitar la desviación acumulada que puede introducir cada nodo cuando genera su propia señal *SDH*, usada como se ha dicho para sincronizar el siguiente elemento de la red.

2.4.- Sistemas y redes Ethernet

Una vez que se ha presentado el origen del camino que este trabajo describe, se ha de dar el siguiente paso, que es conocer el destino. En este caso, dicho destino es una red radio de microondas que permita transportar servicios de conmutación de paquetes, basados en protocolo *IP*, y que, como se explicó en la introducción, va íntimamente ligado al transporte de tramas Ethernet.

Como también se adelantó en los preliminares de esta memoria, hay dos maneras de afrontar las migraciones que se van a explicar: una de ellas pasa por actualizar parte de los equipos *PDH* o *SDH* existentes y la segunda, adquirir e implementar equipamiento nuevo. Este apartado se va a dividir en dos secciones diferenciadas que ofrecerán una exploración de ambas soluciones, ya que sus pormenores son diferentes.

2.4.1.- Encapsulamiento sobre PDH y SDH. GFP.

Si se dispone de una serie de equipamiento que ya forma una red existente en tecnología *PDH* o *SDH*, deshacerse de él por completo puede ser muy costoso y suponer un corte del servicio de red durante un periodo de tiempo poco aceptable. Afortunadamente, se han desarrollado mecanismos que permiten, previa actualización de elementos de la tecnología, mantener gran parte de la infraestructura desplegada. El método más adecuado es el *Procedimiento Genérico de Entramado*, o *GFP* de sus siglas en inglés, *Generic Framing Procedure*.

A continuación se va a describir cómo puede este sistema ayudar en el cometido descrito. Las explicaciones versarán íntegramente sobre sistemas *SDH*, pero los procedimientos para actuar sobre *PDH* son extremadamente similares, e incluso más sencillos, debido a la limitación de carga *PDH* y a su menor complejidad.

Generalidades sobre GFP.

GFP es un mecanismo genérico para adaptar distintos tráfico de cliente, de capa física o lógica, a un canal de transmisión síncrono basado en bit u octeto, como es el caso de *SDH*. Se describe en la norma *ITU-T G.7041* y permite el transporte de tráfico de tiempo de trama, como *Ethernet*, y/o de datos codificados en bloque sensibles a retardos, como *FiberChannel* [8][15]. Este transporte podrá entonces realizarse sobre capas de transporte *SDH*, entre otras. La figura 19 muestra qué lugar

ocupa *GFP* entre los distintos protocolos de diversas capas que pueden involucrarse en una transmisión de datos.

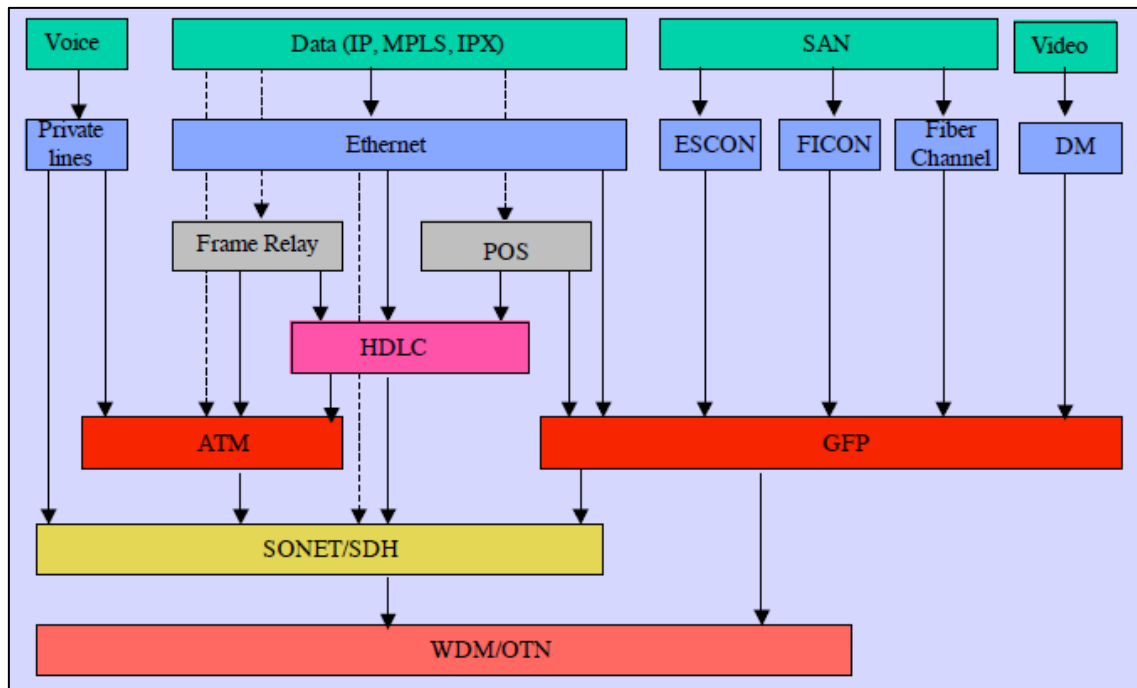


Figura 19.- Esquema de tipos de tráfico mapeables en GFP con transporte en SDH [8].

GFP es muy válido para el propósito de transportar ciertos tipos de tráfico sobre capas *SDH* debido a que:

- es muy simple y escalable (incluso para capacidades superiores a los 40 G)
- soporta tráfico de capa *OSI* 1 y 2
- y está basado en estándares aceptados por toda la industria.

Supone una mejora para, por ejemplo, el transporte *Ethernet* sobre *ATM* o sobre *HDLC*, debido a que se adapta mejor al transporte de un tipo de carga determinada.

La adaptación no interfiere con los mecanismos que se puedan configurar entre extremos para la gestión del ancho de banda o la calidad de servicio e implementa un mecanismo de delimitación de trama poco complejo que permite ser escalado a medida que aumenta la velocidad [15].

Modelo funcional de GFP.

En el modelo funcional de *GFP* existen dos partes diferenciadas:

- una que depende de los aspectos del tráfico cliente (a transportar).
- otra parte que depende de aspectos comunes de *GFP* y que se implementan de manera independiente al tipo de dato cliente transportado.

La trama genérica de *GFP*, mostrada en la figura 20, está diseñada para transportar correctamente cualquier tráfico cliente. Dicha trama, además, contiene los indicadores necesarios para implementar cuatro de las funciones básicas que ejecuta la subcapa *GFP* que es independiente del tráfico cliente transportado:

- la *demarcación de trama*
- el *multiplexado de las tramas de cliente*
- la *aleatorización de la carga*
- la *gestión del cliente* [8].

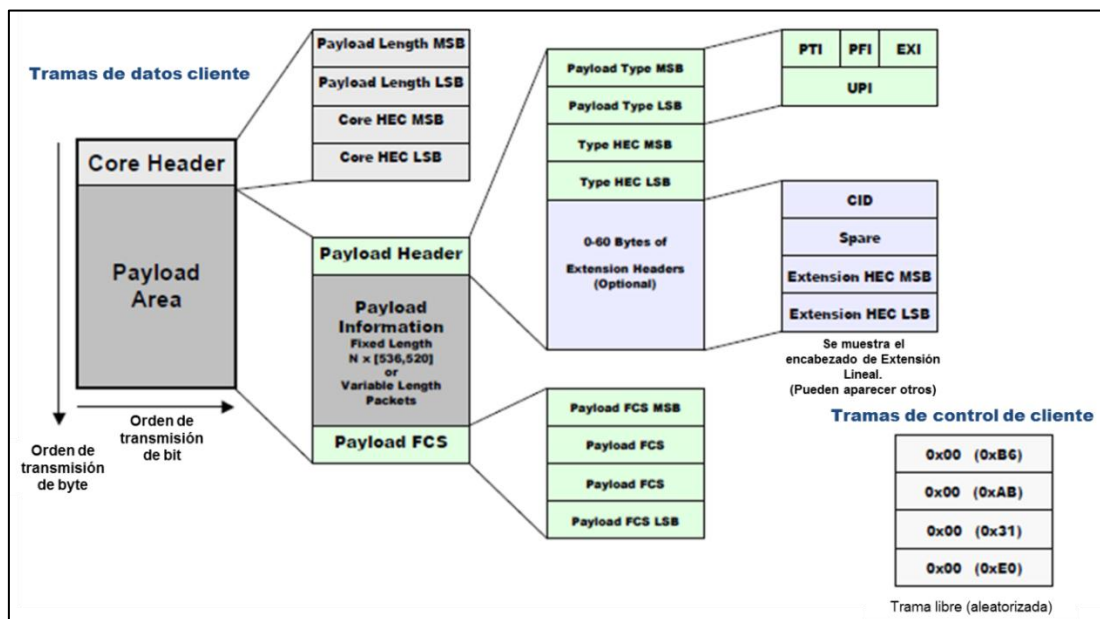


Figura 20.- Estructura de una trama GFP genérica [15]

La *demarcación de trama* se emplea para saber dónde empieza y acaba cada trama de datos cliente dentro de la trama *GFP*. Emplea un mecanismo similar al implementado en *ATM*, mediante el uso de una máquina de tres estados, *hunt*, *pre-sync* y *sync*, que, junto a las secciones *core HEC* o *chec* permiten identificar cada una de las tramas.

El funcionamiento es sencillo: en condiciones normales, el receptor *GFP* se encuentra en el estado *Sync*, mientras examina el *Indicador de longitud de carga (PLI)* y el *cHEC* a la vez que extrae la trama cliente. Si el campo *cHEC* falla, entonces entra en el estado *hunt*.

En este modo, el receptor verifica bit a bit la siguiente carga del *GFP* valiéndose de la detección del comienzo del *cHEC*. Una vez logra volver a encontrar la carga, entonces se mueve al estado *pre-sync*, en el que estará comprobando las fronteras de las cargas de las siguientes *N* tramas *GFP*.

Si la prueba se supera con éxito, el receptor volverá al estado *sync* [8].

En cuanto a la *multiplexación de las tramas de cliente*, se trata de un mecanismo que multiplexa en la carga *GFP* las tramas de datos y control del tráfico del cliente, dando prioridad a las primeras. Así el receptor cuenta con todo el tráfico completo, y no sólo con los datos [8].

Por último, la *gestión de cliente* se basa en un mecanismo que envía periódicamente una señal *Client Signal Fail, CSF*, ante la detección de un fallo o degradación de la comunicación, de forma que los extremos de la comunicación estén informados de lo que sucede en la otra parte [15].

Los datos de cliente pueden mapearse en *GFP* usando dos mecanismos diferentes:

- el *GFP de mapeo de trama* o *GFP-F*
- el *mapeo transparente de GFP* conocido como *GFP-T*

El primero es el empleado para la mayoría de tipos de paquete, los cuales suelen tener una longitud variable, como *Fast-Ethernet* o *HDLC*. En este formato, cada trama se encapsula en un espacio de carga de *GFP*, con un tamaño máximo de 65.535 bytes.

Los protocolos de cliente que requieren más capacidad emplean una codificación llamada 8B/10B que, básicamente, codifica cada palabra de 8 bits con otra de 10 bits, de manera que se ofrece una redundancia mínima y una razonable capacidad de recuperar la señal de reloj [16]. Los tráficos de cliente así codificados, como pueden ser *Gigabit Ethernet* o *Fiber Channel* se encapsulan en *GFP* con *GFP-T*.

La idea fundamental es transportar el tráfico de cliente como un flujo de información en lugar de un bloque. Para acometer este proceso, los bloques originales 8B/10B se transcodifican a tramas *GFP* de tamaño fijo mediante codificación de bloque 64B/65B, lo que reduce en un 25% la sobrecarga de cabeceras y reduce las latencias, muy importantes para algunos tipos de tráfico.

Cada 8 bloques de 65 bits consecutivos reciben el nombre de *superbloque* y un número N de esos superbloques será la carga de la trama *GFP* [8].

GFP y SDH: Concatenación virtual y LCAS.

Pero el *ADM* que implemente capacidades de transporte *Ethernet* sobre *SDH* empleando *GFP* deberá implementar también dos capacidades adicionales y tremendamente importantes, recogidas en la norma *ITU-T G.707*:

- *Concatenación Virtual*
- *Esquema de Ajuste de Capacidad del Enlace* o *LCAS* (*Link Capacity Adjustment Scheme*).

Si se realiza un ejercicio de reflexión al respecto, puede surgir la duda de cómo transportar señales de, por ejemplo, *Ethernet* de 10 Mb/s a través de una trama *STM-1*, de capacidad mucho mayor, una vez pasada por la adaptación de *GFP*.

Si se traslada directamente a un solo *STM-1*, se estaría desperdiciando más de 130 Mb/s de capacidad de carga, lo que sería, cuanto menos, ineficiente. Hay que diseñar un método de aprovechar mejor ese *STM-1*.

Como se ha mostrado en el apartado 2.3, *SDH* presenta una estructura que permite transportar señales de menor capacidad multiplexadas dentro de la trama *STM*, siendo el elemento más pequeño y, por tanto, su unidad elemental, el *VC-12*, con un tamaño de poco más de 2 Mb/s.

Así, es posible *estructurar* una trama *STM-1* en pequeños contenedores *VC-12*, y bastará tomar 5 de ellos para transportar los 10 Mb/s necesarios, quedando los otros 58 contenedores para poder multiplexar otros tráficos.

Incluso, avanzando un paso más, se podría necesitar que, si el tráfico no es prioritario, pudiera partirse y viajar en *STM-1* distintos, ya que el esquema de tráfico y contenedores de la propia red presenta un pico de tráfico que impide conseguir los 5 *VC-12* seguidos. Y, si los *VC-12* viajan en *STM-1* distintos, también pueden hacerlo con canales físicos distintos, por ejemplo, usando un doble enlace radio.

La *Concatenación Virtual* es el mecanismo que se encarga de asignar a un tráfico *GFP* la cantidad de contenedores *VC-12* o *VC-3* que la tasa nominal del tráfico exija, repartirlos en la o las tramas *STM* disponibles y recomponer el flujo original en el otro lado de la comunicación. Este protocolo es extremo a extremo, ya que los nodos intermedios *SDH* no entienden más que de *SDH*.

Una vez comprendido el proceso, resulta obvio que la utilización de la *Concatenación Virtual* mejora la eficiencia del transporte *SDH*. Para mostrarlo, basta con observar la siguiente tabla:

Tipo de tráfico	SDH	
	Contigua	Virtual
10Mbps Ethernet	VC-3 (20%)	VC-12-5v (92%)
100Mbit/s Fast Ethernet	VC-4 (67%)	VC-3-2v (100%) VC-12-46v (100%)
200Mbit/s (ESCON)	VC-4-4c (33%)	VC-3-4v (100%) VC-4-2v (66%)
1Gbps Fibre Channel	VC-4-16c (35%)	VC-4-6v (95%)
1Gbit/s Ethernet	VC-4-16c (42%)	VC-4-7v (95%)

Figura 21.- Eficiencia de transporte SDH comparando varios tipos de tráfico usando concatenación contigua o virtual [15]

LCAS es un mecanismo que permite modificar en cualquier momento, y sin interrupción de tráfico, la capacidad de un enlace orquestado con *Concatenación Virtual*. Básicamente, añade o elimina contenedores virtuales a un canal ya concatenado, modificando de esta manera su caudal. Este cambio es instantáneo y no afecta al tráfico en absoluto, salvo, evidentemente, a la capacidad del mismo.

Mediante el empleo de las técnicas observadas en este apartado, podrán los ADM adaptados transportar *Ethernet* e *IP* sobre los canales *SDH* existentes.

En la mayoría de los fabricantes, esta adaptación consiste en añadir una tarjeta de interfaces Ethernet y la propia tarjeta implementará todos los bloques necesarios para realizar la adaptación de la señal y llevar el tráfico ya conformado en GFP hacia las matrices de orden inferior o superior que el ADM ya contenía, y construir en ellas la trama SDH adecuada para su transmisión radio. Estos bloques se ilustran en la figura 22.

2.4.2.- Enlaces Ethernet nativo

Existen algunos operadores que consideran los enlaces de microondas como un potencial cuello de botella en las comunicaciones de *backhaul* para redes de servicios móviles, debido sobre todo a sus canales de frecuencia relativamente estrechos y a la saturación de partes del espectro radioeléctrico en ciertas áreas pobladas. Estas redes suelen componerse de hasta cientos de saltos radioeléctricos y los operadores

siempre desean ampliar su capacidad sin necesidad de cambiar la planificación frecuencial de la red ni los equipos que la forman [14].

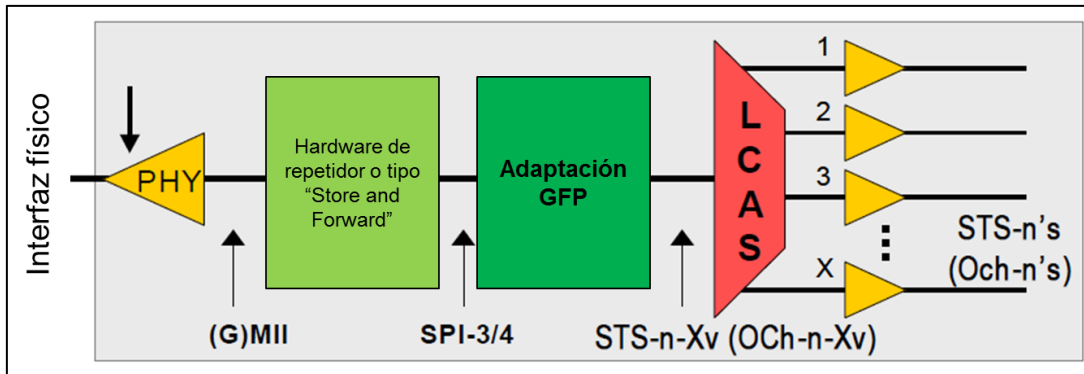


Figura 22.- Diagrama de bloques de una tarjeta adaptadora Ethernet para ADM [15]

Los equipos de microondas que soportan *Ethernet* de forma nativa, como el mostrado en la figura 23, y que son de reciente aparición, pretenden dar respuesta a estas inquietudes llegando incluso a capacidades de Giga bits por segundo, respetando las planificaciones de frecuencia y siendo contruidos de forma que su despliegue sea rápido y de bajo coste.



Figura 23.- Equipamiento Ethernet nativo, Ericsson Mini-Link TN release 5 [17]

Existen diversas formas de aumentar la capacidad del enlace, y una de ellas es aumentar la cantidad de bits transmitida en una misma banda de frecuencia y/o canal. Un camino consiste en diseñar modulaciones más avanzadas que permitan reducir los bits de sobrecarga y redundancia de los datos, de manera que el ancho de banda total, denominando así a la capacidad total del “canal aire” de la radio, se aproxime mucho al ancho de banda de línea, denominando de esta manera la capacidad máxima de transporte de datos reales del que dispone el usuario, y que siempre es

menor que la primera¹. Estas funcionalidades se implementan, junto con otras, mejorando el orden de modulación desde la más básica *4-QAM* a la última disponible comercialmente hoy en día, *512-QAM* o la novedad en pruebas, *1024-QAM*.

2.4.3.-Modulación adaptativa: capacidades nominales y de seguridad

Respecto al orden de modulación existe una técnica de gestión del tráfico crítico llamada *modulación adaptativa*. Todo radioenlace de microondas se diseña para soportar un cierto margen de *desvanecimiento* de la señal de radio sin dejar caer el servicio. Estos desvanecimientos vienen provocados, en la mayoría de los casos, por fenómenos meteorológicos como la lluvia o por efectos de la propagación multicamino. Si se desea mantener un tráfico robusto para aplicaciones críticas, como la voz, se optará por codificar dichos datos usando un orden de modulación muy sólido, por ejemplo *4-QAM*.

Pero esto reduce las posibilidades de capacidad del enlace y los fenómenos que afectan a la calidad de la señal radio pueden aparecer en ocasiones contadas, suponiendo un 1 o 2 % del tiempo de funcionamiento anual del vano. No es lógico, entonces, desperdiciar la capacidad total de un enlace que puede funcionar con modulación de *512-QAM* y, por tanto, mejorando ostensiblemente su eficiencia, por una limitación que se presenta con tan poca probabilidad [14].

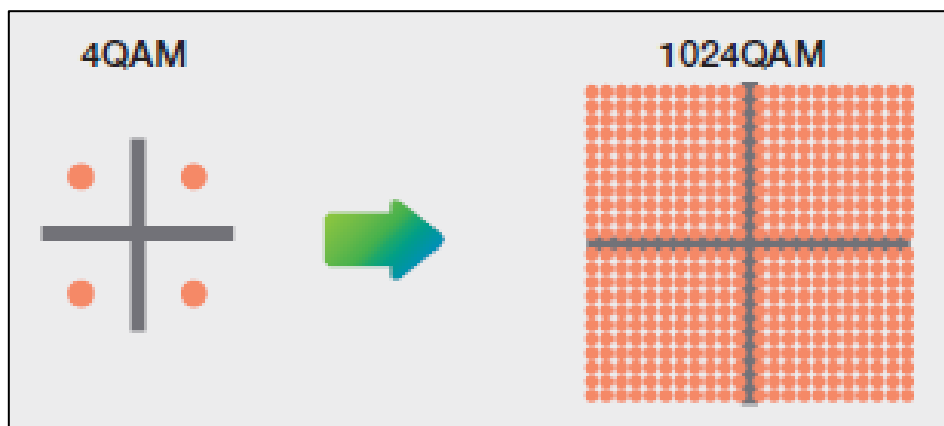


Figura 24.- Constelación mínima 4-QAM y máxima experimental actualmente, 1024-QAM [14]

La solución pasa por diseñar un mecanismo que sea capaz de medir las condiciones radioeléctricas del enlace. Basándose en el nivel de señal recibido en un extremo, el

¹ En el cálculo de la capacidad de línea se han de tener en cuenta los tamaños de trama Ethernet a transportar, ya que, cuanto menos bytes de sobrecarga hay que transportar por unidad de carga útil, más dato puede viajar por el aire.

equipo adapta el orden de modulación a uno más apropiado, de forma que se mantenga una ganancia del sistema adecuada para que todo el tráfico se reciba sin pérdidas al final del vuelo radioeléctrico. Este sistema es el que recibe el nombre de *modulación adaptativa*. En la figura 24 se comparan las constelaciones de una modulación 4-QAM y otra 1024-QAM.

Esta técnica obliga a definir dos conceptos:

- La *capacidad nominal* del sistema, que se puede definir como la capacidad, total o de línea, que el equipo es capaz de manejar cuando activa su orden de modulación menor.
- La *capacidad de seguridad*, que sería aquella que el sistema garantiza con su orden de magnitud más bajo, y constituye el máximo caudal de tráfico garantizado que el sistema puede ofrecer.

Pero la *modulación adaptativa* debe implementar, y de hecho implementa, dos características a tener en cuenta:

- La primera, es que el cambio de modulación ha de realizar *hitless*, es decir, sin afectar al tráfico que se está cursando en cada momento, que no debe percatarse del cambio de modulación salvo por el obvio efecto de la pérdida de capacidad.
- La segunda es que debe ser capaz de identificar el tráfico crítico y nunca descartarlo, modulando éste en los símbolos más centrales de la constelación de forma que, conforme se vaya reduciendo, el tráfico crítico se transmita siempre por la zona de la constelación que no desaparece nunca.

Un enlace con *modulación adaptativa* exige cierto cuidado a la hora de plantear su diseño, como se discutirá más adelante.

2.4.4.- Eficiencia de una antena: XPIC

XPIC, abreviatura de la expresión *Cross-polarization Interference Cancellation*, citada en algunos escritos como *Multiplexación de polarización*, es una técnica empleada en los enlaces de microondas desde mediados del año 2000 y que ya incluían los últimos equipos de radio SDH, pero que en los enlaces *Ethernet nativo* tiene mayor impacto debido a la capacidad directa de multiplicar por dos un enlace.

Trata de duplicar la eficiencia espectral del canal de radio transmitiendo a la vez por la misma antena la polarización vertical y la horizontal. Ambas polarizaciones son, en

condiciones ideales, totalmente ortogonales entre sí y no se interfieren en absoluto. Pero la realidad es más difícil y pequeños desajustes en la instalación, como centímetros de desalineación de las antenas (en antenas de 3 metros de diámetro, desviarse unos centímetros es muy habitual) o los mismos efectos debidos a la propagación atmosférica, hacen que ese aislamiento no llegue en la práctica a más de 25 dB de rechazo. Si además se añaden efectos atmosféricos, el factor de rechazo entre ambas señales puede ser mucho menor.

En estas circunstancias, cada módem recibe como interferencia la señal de la polaridad contraria con una potencia similar a la que él debe tratar, aunque con suficiente margen como para ser diferenciadas.

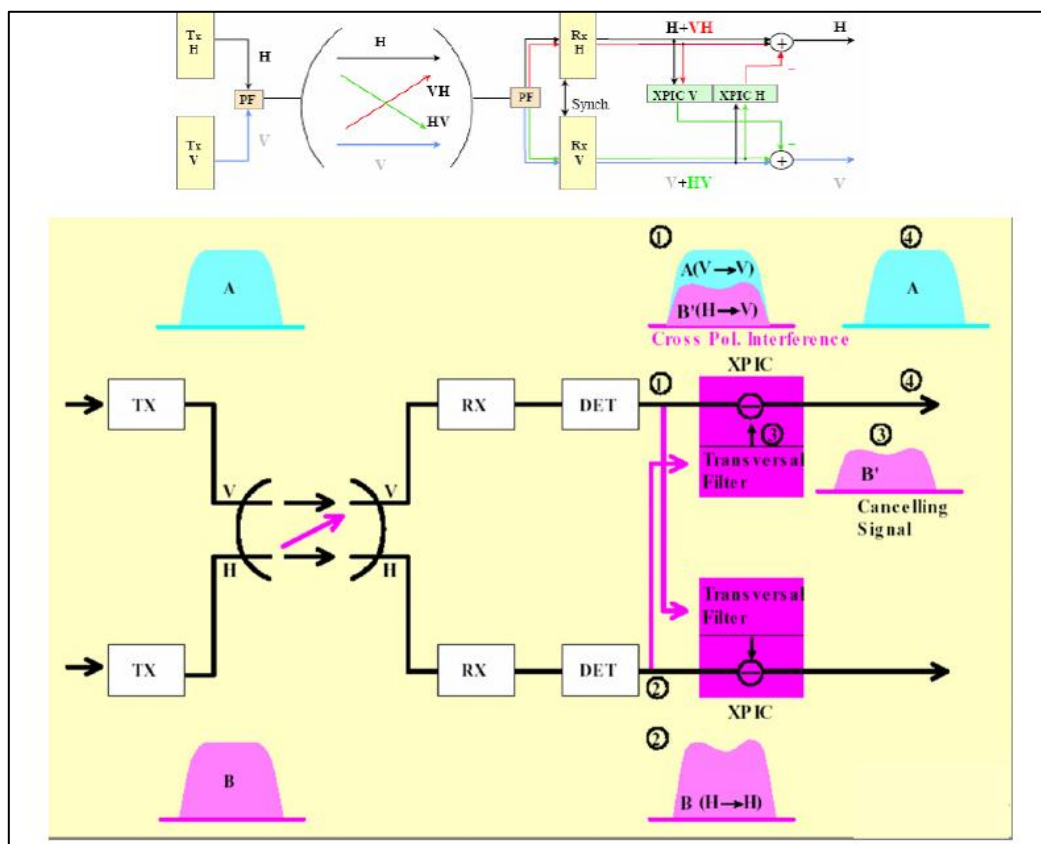


Figura 25.- Diagrama de bloques del sistema XPIC para equipos SRT1F de Nokia Siemens Networks [18]

XPIC conecta los dos módems de tal manera que compartan información. Cada uno de ellos transmitirá al otro cuál es la señal que él debe atender y que es la interferencia principal del módem compañero. La figura 26 puede ayudar a fijar este funcionamiento. Con esta información, los filtros son capaces de descartar exactamente la interferencia principal, porque la conocen de forma precisa, ofreciendo a las etapas posteriores una señal mucho más limpia y, por tanto, permitiendo que puedan usarse ambas polarizaciones a la vez.

Planificación y ejecución de la migración 3

Llega en este punto el momento de explicar el camino a seguir.

En el capítulo anterior se ha hablado de *SDH* y su equipamiento, guiando al lector hacia los mecanismos que se imbuyen dentro de la transmisión digital de datos mediante sistemas de conmutación por circuitos, que, en principio, son los equipos que se tienen inicialmente y son los que se emplean para realizar el transporte en las redes troncales de servicios móviles. También se ha mostrado qué mecanismos de enlaces de microondas existen para transportar *Ethernet*, base de las nuevas plataformas de acceso móvil *3G* y *LTE*, y cuáles son los aspectos más relevantes que presentan.

Comienza este epígrafe con un estudio acerca de las últimas tecnologías que afectan a la manera en que la señal sale y entra de la antena, y que colabora junto al resto de subsistemas del equipo a mejorar la capacidad o la seguridad del conjunto del enlace de microondas. Se mostrará también, ya que este tipo de enlaces deben entender *Ethernet*, que existen ciertas propiedades básicas de los equipos de esta tecnología que deben implementarse en estos radioenlaces, puesto que afectan al tráfico y a su aseguramiento. Tales propiedades son la calidad de servicio y Spanning Tree. Para tratarlos convenientemente se descubrirá que estos equipos llevan realmente un *switch* dentro, y se indagará en sus propiedades y en su uso. Se entenderá que un equipo *Ethernet* no puede trabajar sólo, y estos sistemas le permiten conectarse al resto de la red con seguridad.

A continuación se van a destacar qué pasos hay que tener en cuenta para realizar esa migración, ese paso del mundo de los circuitos al mundo de los paquetes, de *SDH* a *Ethernet*. En algún momento, alguien del departamento de planificación y operación de

red de una operadora de telefonía móvil deberá enfrentarse al problema de cómo hacer que la red troncal que tiene y que ha estado transportando perfectamente sus canales de voz generados en sus *BTS* para *GSM*, además de la gestión de equipos y emplazamientos, pueda hacerse cargo del transporte de los nuevos datos de los sistemas *UMTS* o *LTE* que su empresa está empezando a desplegar, y que no tiene nada que ver con lo que antes tenía.

Para esas personas es este capítulo (y este trabajo, en definitiva), una guía de qué planificar, qué vigilar, a qué prestar atención y qué adaptar para realizar esta transición de forma que el servicio que prestan a sus clientes no se vea afectado en lo más mínimo. Los aspectos generales a tener en cuenta son muy sencillos pero cruciales y se pueden resumir en:

- control de la capacidad en el aire y en la línea
- adaptación de los tráficos fuera de banda y adopción de los sistemas de control de calidad de servicio y redundancia lógica y física del enlace
- cambio de prestación de servicio de circuitos a servicios *pseudo-wire* o de transporte *carrier* según el *Metro Ethernet Forum*.

Todos estos aspectos son los que se van a desarrollar en los siguientes subapartados.

3.1.- Mejora de la eficiencia espectral, frecuencias y canales

Si a la hora de evaluar las capacidades de una radio se centra la discusión en los aspectos de canalización y frecuencias, una de las más importantes bazas ganadas en los enlaces de microondas de hoy en día es la mejora de la eficiencia espectral que incorporan los equipos, tal y como muestra la figura 24.

Un enlace antiguo con canalización de 28 MHz era capaz de obtener 37 Mbps de capacidad en el aire, arrojando una eficiencia espectral de 1,3 bps/Hz. Lo que entonces parecía una eficiencia más que aceptable ha sido superada en 30 veces durante los últimos 10 años, permitiendo que la velocidad de símbolo se pudiera incrementar de 18,5 Mbaudios a casi 25 Mbaudios.

Esta mejora permite entonces plantearse modulaciones más eficientes, como 512 QAM, disponible hoy día, y que aumentan la capacidad del sistema global. Por ejemplo, un incremento de modulación desde 512-QAM a 1024-QAM supone una capacidad un 11% mayor [14].

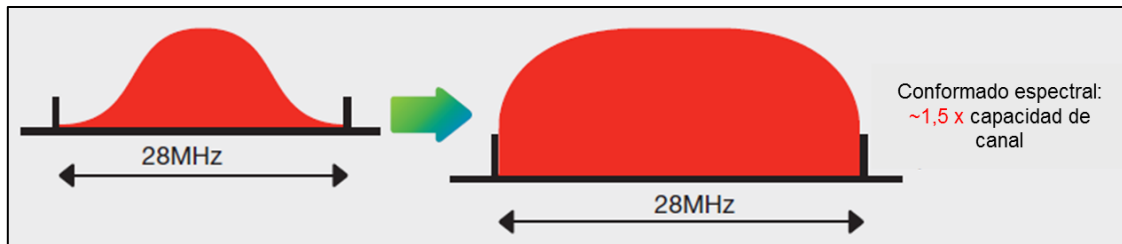


Figura 26.- Mejora de la eficiencia espectral para un canal de 28 MHz [14]

Los canales más estrechos son menos adecuados para el tráfico de datos, por lo que se tiende a buscar bandas de frecuencia que permitan una canalización mayor.

En algunos países, sus organismos reguladores del espectro radioeléctrico han adoptado planes para permitir canales de hasta 120 MHz en bandas por debajo de los 40 GHz. Estas bandas estaban ocupadas por sistemas de canalización más estrecha, que, en ocasiones, han migrado a bandas más altas para ampliar dicha canalización, dejándolas libres para permitir una reestructuración profunda y crear canales más anchos, más adecuados para el tráfico de datos.

Existen recomendaciones de la *CEPT/ECC* que indican cómo en 42 GHz o en la banda de 70/80 GHz se pueden emplear canales de 120 y 250 MHz, los cuales permitirían una modulación *1024-QAM* con garantías y, por tanto, unas tasas de capacidad del orden del gigabit en aire.

Ahora bien, como casi siempre en el mundo de la ingeniería, una buena solución requiere algún sacrificio que hay que pagar, y a partir de 30 GHz es la atenuación por lluvia. Para la mayoría de las zonas climáticas, un enlace en frecuencias comprendidas entre 30 y 42 GHz debería tener una longitud de entre 2 y 4 km para conservar una disponibilidad de *cinco nueves* (99,999 %). Si se sube a 70/80 GHz, esa distancia se acorta hasta el kilómetro, dos como mucho [14].

3.2.- Innovaciones en el enlace radio: *bonding* y *LoS MIMO*

A continuación se van a nombrar dos de los métodos más avanzados para conseguir una mayor capacidad en el transporte por el aire, adoptando técnicas de multiplexación radio: *radio bonding* y *Line of Sight MIMO* (*LoS MIMO*).

Radio bonding.

Radio bonding puede verse como un sistema de seguridad que, además, puede usarse para aumentar la capacidad en condiciones normales de funcionamiento del enlace.

Se podría traducir en una mezcla de protección $N:0$ y una adaptación del protocolo *LACP*, *Link Agregation Control Protocol*, pero sin seguir obviamente el estándar *Ethernet 802.1AX*. Consiste en la capacidad de considerar varios enlaces físicos, varias “antenas”, por describirlo de una forma gráfica, como si fuera un único enlace de *trunk* con capacidad total resultado de la suma de las capacidades individuales de cada enlace de radio físico.

Así, si el enlace está operando en condiciones normales, se puede asimilar que se dispone de una capacidad en aire igual a la del conjunto en total, por lo que, si cada enlace soportaría una capacidad máxima de 300 Mbps, un *radio bonding* de 4 enlaces ofrecería casi 2 Gbps de transporte.

Si las condiciones cambiaran y obligaran al módulo de *modulación adaptativa* a entrar en acción y modificar el orden de modulación, la capacidad bajaría, pero manteniendo un valor superior al de solo un enlace. Siguiendo con la seguridad, se garantiza que si uno de los enlaces cae por avería o mantenimiento, el total se vería resentido por la pérdida de capacidad pero el vano seguiría operativo, transmitiendo el tráfico crítico por el resto de enlaces.

Los enlaces que conforman el *bonding* pueden operar en bandas de frecuencias distintas, ya que las características físicas de cada enlace son irrelevantes e independientes a la hora de formar el grupo. Se puede dar el caso de disponer de un grupo con un enlace a una frecuencia baja con canal estrecho para asegurar una cierta capacidad mínima en caso de afección por meteoros y otro enlace de alta frecuencia, con más capacidad de canal y, por ende, de datos, para ofrecer el adicional de capacidad en condiciones favorables. El enlace vería el grupo como un todo, notificando la capacidad real instantánea que surja de la suma que en cada momento ofrezcan sus dos enlaces.

LoS MIMO.

Finalmente, los últimos avances en transmisión de datos vía radio ofrecen una técnica de eficiencia basada en la transmisión y recepción de distintas señales en la misma canalización por múltiples antenas, que se denomina *Multiple Input Multiple Output*, *MIMO*, y que cuando se aplica en sistemas donde existe visión directa sin obstáculos entre antenas recibe el nombre de *Line of Sight MIMO*, *LoS MIMO*.

Se habla normalmente de estructuras $N \times N$ *MIMO* en sistemas con N transmisores y N receptores capaces de transmitir N señales diferentes de forma simultánea. De esta manera, se puede multiplicar por N la capacidad del sistema. El funcionamiento se basa en las diferencias de caminos que una señal recorre para llegar desde una misma antena emisora hasta dos antenas receptoras. Si la diferencia de recorrido

hace que la diferencia entre ambas señales las convierta en ortogonales, entonces las señales interferentes pueden ser canceladas en cada una de las antenas.

En el caso de un sistema con $N=2$, la diferencia de señales para buscar la ortogonalidad es de 90° , como muestra la figura 27. Pero esa diferencia de caminos se obtiene, en los sistemas de antena no direccional para los que fue diseñado, mediante reflexiones en el terreno. En un enlace de microondas habitual en las redes objeto de este estudio, las antenas suelen ser muy direccionales y las instalaciones se hacen con *línea de vista* (*Line of Sight*), por lo que no ha lugar dichas reflexiones. Entonces la única forma de conseguir esa distancia que lleve las señales a la ortogonalidad es separando las antenas de forma adecuada, según la ecuación [III]:

$$d_1 \cdot d_2 = \frac{D \cdot c}{2 \cdot f} \quad [III]$$

En la que:

- d_1 y d_2 representan las distancias entre las antenas emisoras y receptoras,
- D es la distancia del enlace,
- c es la velocidad de la luz
- f es la frecuencia de la portadora

Siguiendo las indicaciones de esta fórmula, se podrá garantizar la ortogonalidad y cada antena podrá emitir su señal independiente.

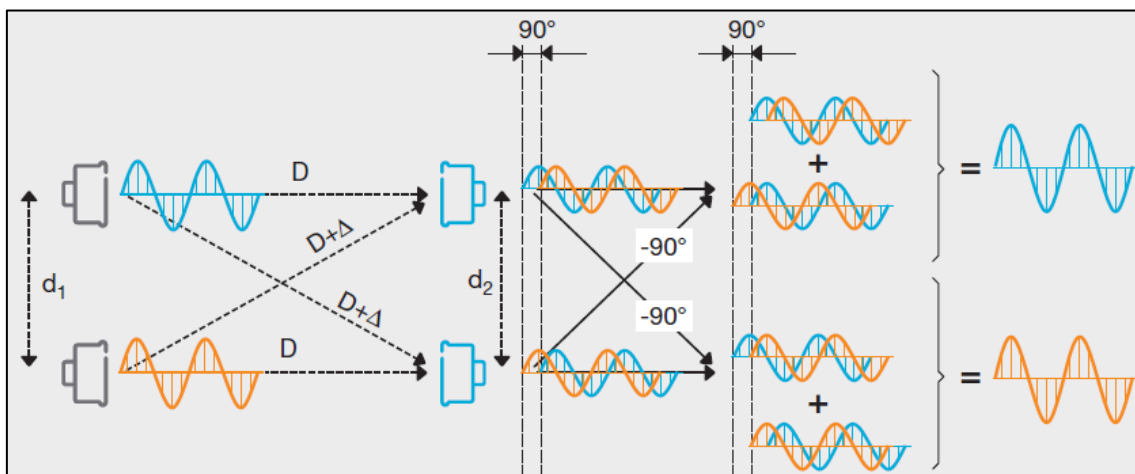


Figura 27.- Esquema de una instalación 2x2 LoS MIMO [14]

Objetivo común: capacidad.

La diferencia entre *LoS MIMO* y *radio bonding* es que en este último las radios forman una agrupación en la que cada enlace radio transporta un dato concreto, es decir, desde el punto de vista de la línea *Ethernet*, se sabe que hay varios enlaces y se reparten los datos por cada uno y un miembro del grupo puede añadirse o eliminarse sin más problema que el cambio de capacidad. En el caso del primero, sólo existe una línea que se divide en dos por el aire, pero que a nivel lógico es sólo un enlace indivisible. Otra diferencia fundamental es que *LoS MIMO* emplea la misma frecuencia y canal para cada antena, mientras que *radio bonding* necesita de enlaces diferentes operando en canales y/o frecuencias distintas.

Con estas funcionalidades de multiplexación de antenas y las vistas en el epígrafe anterior acerca de las mejoras espectrales, solas o combinadas con la técnica del *XPIC* comentada en el capítulo 2, se pueden dibujar escenarios con capacidades ciertamente asombrosas, llegando incluso a llegar (hoy en día sólo en laboratorio y pruebas) a más de 10 Gbps de capacidad. La gráfica que se muestra en la figura 28 cómo aumenta la capacidad total a medida que se modifican eficiencias espectrales, modulaciones y técnicas de multiplexación de portadora.

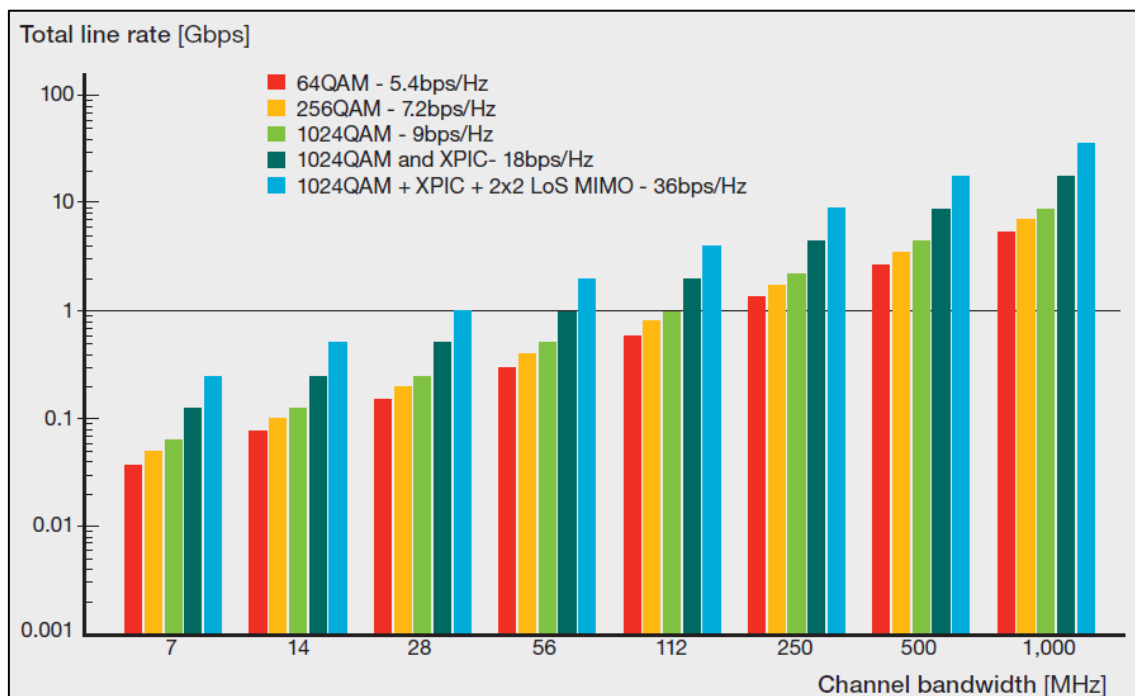


Figura 28.- Capacidades de línea combinando diferentes eficiencias espectrales, niveles de modulación y distintas técnicas de multiplexación de portadoras [14].

3.3.- *Provisión de la calidad de servicio*

En el mundo *SDH*, o *TDM*, cada tráfico tenía, por lo general, asegurado un canal dedicado para él en todo el sistema, un circuito virtual creado ex profeso. Este método tenía la desventaja principal de que, cuando no había tráfico, dicho canal no se podía ocupar por otro servicio con lo que existía una pérdida de eficiencia en el uso de unos recursos no muy económicos. Por el contrario, el tráfico disponía de todo el ancho de banda, sin tener que compartir ni competir por el espacio.

Cuando aparece la conmutación por paquetes, es mucho más habitual que los enlaces físicos estén compartidos por varios servicios de datos, que normalmente siempre mantienen el canal completamente lleno, en saturación. En este escenario, hay que competir por el espacio de transporte y hay veces que los tráficos deben esperar su turno para pasar o, incluso, descartarse.

Calidad de Servicio: QoS (*Quality of Service*).

Para evitar que estas acciones hagan perder servicios, se implementaron las capacidades de *Calidad de Servicio* o QoS, de forma que se posibilitaba que todos los servicios recibieran un trato adecuado según ciertas criticidades o importancias manifestadas en los campos adecuados de sus tramas *Ethernet*. Los equipos de microondas *Ethernet* nativo, incluso las tarjetas adaptadoras para *SDH*, deben entender y entienden dichas clasificaciones, ya que su misión es también controlar el acceso al canal de transmisión único y saber qué tratamiento dar a cada tráfico.

Los sistemas de QoS no son en nada distintos a los habituales en otros elementos de red, manteniendo de esta manera la compatibilidad con los marcados que hagan otros equipos de cliente. Como también ocurre con dichos elementos, los radioenlaces tienen la capacidad de confiar en los marcados que los paquetes traigan de otras fuentes, describirlos según las necesidades del operador de la radio o realizar un marcado de operador de transporte, *carrier*, que se emplee sólo durante el viaje por la red radio y que mantenga intacto el marcado de cliente durante el tránsito de la red.

Una de las funcionalidades que puede tener el marcado QoS en un radioenlace es determinar la criticidad de un tráfico y mantenerlo en la parte permanente de la *modulación adaptativa*, asegurando siempre que ese tráfico tenga canal de transporte. Si esa clasificación se realiza confiando en el marcado de origen, el operador de radio encuentra que la configuración de la *modulación adaptativa* es completamente automática, facilitando la operación del sistema y ofreciendo un mejor servicio al cliente, ya sea este interno o externo.

3.4.- Compatibilidad del enlace con protocolos de control Ethernet.

La mayoría de equipos radio de microondas que son capaces de tratar *Ethernet* de forma nativa, así como las tarjetas de adaptación *SDH* de algunos fabricantes, se consideran así mismos como un *switch Ethernet* capaz de gestionar tráfico entre sus puertos de entrada y salida, tal y como lo hacen estos dispositivos, tan comunes en las redes de la actualidad.

Control de topología: *Spanning Tree*.

Como tales switches existen ciertas normas que deben cumplir, y una de las que más pueda afectar por su relación directa con la salud de la red, es la de que no pueden existir bucles en las redes *Ethernet*. En caso de existir, las tramas de este protocolo, que no tienen un *tiempo de vida* o *TTL*, estarían viajando continuamente por toda la red. Al ver un *switch* siempre dos caminos por los que alcanzar un destino, el o los conmutadores afectados tratarían de forma indefinida esas tramas, que irían multiplicándose de forma constante, hasta acabar con el ancho de banda de la red y la capacidad de proceso de los conmutadores.

Pero, entonces, la imposibilidad de construir bucles acaba frontalmente con la idea de disponer de dos enlaces para alcanzar un destino, pensando en la seguridad y la protección de cada uno de esos enlaces, en una configuración, por ejemplo, 1:2 [19].

Spanning Tree Protocol, *STP*, desarrollado en el estándar *IEEE 802.1d*, es un mecanismo que permite la creación de estos enlaces de seguridad sin provocar bucles. Este sistema estudia la topología de la red antes de permitir el flujo de tráfico por el puerto de un conmutador que acaba de activarse. Si en ese estudio detecta un camino redundante, lanza un método por el cual decide que uno de los caminos se reserva para ser activado en caso de caída de algún enlace, y pone los puertos adecuados en un estado de bloqueo, por los que no circulará tráfico. Así, detiene la creación de bucles.

Cuando un enlace cambia de estado, lo que supone un cambio posible de topología de red, realiza el estudio de nuevo y decide si hay que cambiar los puertos que estaban bloqueados, hay que activar alguno porque el camino principal se ha cortado o hay que volver a calcular la topología entera. Cuando estos cálculos concluyen, los *switches* de la red vuelven a conmutar tráfico.

El tiempo que tarda la red en responder completamente a los cambios se denomina *tiempo de convergencia* y en *STP* es de unos 30 segundos [19]. Una *convergencia* de 30 segundos puede ser nefasta para una red, por lo que se desarrolló bajo el paraguas del estándar *IEEE 802.1w* el llamado *Rapid Spanning Tree Protocol*, *RSTP*, que reduce dicho tiempo de *convergencia* a menos de 6 segundos.

Pero estos protocolos protegen una red *LAN* plana, con una sola red lógica o física. Si existe desplegada una red con múltiples *redes virtuales* o *VLANs* puede darse el caso de que el bucle exista para unas *VLANs* y no para otras, con lo que los switches deben ser capaces de instanciar un protocolo de protección para cada una de ellas. Nace así el estándar *IEEE 802.1s* o *Multiple Spanning Tree Protocol, MSTP*, que resuelve este problema.

Los equipos que se vayan a tratar deben ser capaces no sólo de entender estos protocolos como miembros de la cadena de *switching* de la red, sino de, incluso, poder participar de las instancias *xSTP* que otros equipos de la red pongan en marcha y reaccionar a las peticiones de paso o bloqueo que reciban de ellos para asegurar la *convergencia* de la red.

Gestión de VLAN: Provider bridge.

Existen dos tipologías de *switches* en el ámbito que maneja la presente memoria. El más sencillo es el tipo de conmutador habitual, llamado *bridge Q*. Este es un conmutador tradicional, que se basa en la dirección MAC y en la etiqueta de *VLAN* que desarrolla el estándar *IEEE 802.1q* (de ahí el sobrenombre de *bridge Q*) para conmutar el tráfico que le llega a uno de sus puertos. Pero hay otra tipología de *switches*, los llamados *Provider Bridge*, basados en el estándar *IEEE 802.1ad*, que son capaces de conmutar tráfico basado en otras premisas, manteniendo intactas las características originales de una trama *Ethernet* que llega por un puerto.

Estos equipos están especialmente pensados para permitir el transporte de una trama *Ethernet* de un cliente a través de la red de un operador manteniendo el etiquetado de *VLAN* original que el cliente le otorgó en el otro extremo de la comunicación, posibilitando que éste pueda confiar de nuevo en ese etiquetado para conmutar la trama por su red al otro lado de la comunicación del operador.

Esto puede realizarse mediante el *apilamiento de VLAN*, también referido como *Q-in-Q*, debido a que escribe una etiqueta de *VLAN* de proveedor, llamada *Service VLAN* o *S-VLAN* encima de la que le otorga el cliente, denominada *Customer VLAN* o *C-VLAN*. Así, cuando un tráfico entra en un *Provider bridge*, el operador de la red puede decidir otorgarle un etiquetado *S-VLAN (VLAN de Servicio)* a la trama *Ethernet* cliente que porta ya una *C-VLAN*. La trama empleará dicho etiquetado para moverse por la red de operador. Cuando la trama llegue al otro extremo frontera del operador hacia el cliente, el equipo *hará un POP* de la *S-VLAN*, entregando al equipo cliente una trama que tendrá sólo una *C-VLAN*.

Sin este sistema, los operadores caían en la obligación de controlar las *VLANs* de todos sus clientes y procurar que no se solaparan unas con otras, ya que de otra

manera se mezclarían los datos de los clientes entre ellos reduciendo la confidencialidad del tráfico. Además, no era posible el transporte de *trunks* entre switches a través de la red de operador. De esta manera, el operador puede manejar las *VLANs* de su red a su antojo, asignando una red virtual a cada cliente y conmutando su tráfico de forma segura por la red de forma confidencial y sin comprometer el diseño de la red ni del operador ni del cliente.

En la actualidad, la mayoría de equipos pueden programarse para su trabajo como *bridge Q* o como *provider bridge*, dejando la decisión final al operador, que actuará en función de las necesidades de la red concreta.

Como ya se ha comentado en alguna ocasión anteriormente, a la hora de realizar la migración se han podido adoptar dos posibilidades distintas. La primera ha consistido en actualizar los ADM de los que dispone la red SDH implementada mediante las tarjetas de acceso Ethernet adecuadas, con lo cual, los equipos de radio no cambian y siguen siendo SDH. La segunda ha consistido en sustituir (o ampliar) dichos equipos por modernos enlaces de microondas que soportan Ethernet de forma nativa sobre el aire. Cada una de estas soluciones tiene unas implicaciones distintas en cada uno de los aspectos a considerar, y así se hará notar llegado el momento.

3.5.-Capacidad en el aire y en la línea.

En el caso de que el sistema radio siga siendo *SDH*, no hay cambios posibles en la capacidad aire, que será bruta de *155 Mbps*, o un *STM-1* completo, como se abordó en el punto 2. Por tanto, respecto a la capacidad en aire poco se puede hacer. Las consideraciones importantes en este caso hay que tenerlas con la capacidad de línea. Tal y como se ha podido comprobar en los puntos anteriores, a la hora de que *GFP* pueda transportar *Ethernet* en *SDH* es necesario, para optimizar la capacidad disponible, “compartimentar” o *estructurar* el contenedor virtual de *STM-1* en contenedores más pequeños, los *VC-12*, que garantizan el transporte de unidades de tráfico más pequeñas que la capacidad total del *STM-1*.

Esta *estructuración* conlleva un aumento de punteros extra muy necesarios, como también se ha visto, para localizar los *tributarios* dentro de los contenedores. Estos punteros ocupan un espacio destinado a la carga, por lo que hay menos espacio para datos. También se vio que la carga total de un *STM-1* era de unos *140 Mbps*, ya que hay que descontar los bytes de cabecera o *SOH*.

Cálculo de la carga real en SDH.

Recapitulando, a esos 140 Mbps hay que descontar los bytes de punteros resultantes de la estructuración, los *Path Over Head (POH)* de cada uno de ellos, y que, según el Anexo 1, consta de 4 bytes. Basta entonces con hacer una simple cuenta para obtener la capacidad de un VC-4 estructurado totalmente en VC-12.

La capacidad de carga de un VC-4 es de 9 filas por 260 columnas (270 menos la SOH), total, 2340 bytes. Si hay 63 VC-12 y cada uno de ellos “gasta” en POH 4 bytes, hay que descontar de la carga útil del VC-4 252 bytes, lo que arroja un total de 2088 bytes.

Multiplicando por la velocidad de bit nominal de SDH, que son 64kbps (como se vio en el punto 2), se obtiene que el espacio total disponible para datos se reduce a 133,632 Mbps, es decir, casi un 14 % menos de la capacidad en aire. Se puede apreciar que es poco recomendable confiar en una capacidad de 155 Mbps a la hora de hacer los cálculos de capacidad.

Pero todavía queda otro aspecto. La capacidad de, aproximadamente, 133 Mbps que se ha calculado antes, es capacidad disponible para *Ethernet*, pero no es la capacidad para datos. Despreciando las cabeceras que incluye el encapsulado *GFP* que serán siempre constantes en los cálculos siguientes, cada trama *Ethernet* sin soporte de VLAN tiene 18 bytes de cabeceras y una capacidad de transporte de datos de entre 64 y 1500 bytes, o incluso de 9000 bytes si se habla de *Jumbo frames* (ver figura 29).

Si se cuentan tramas *Ethernet* de 64 bytes, en un VC-4 estructurado (133 Mbps) cabrán unas 32 tramas, que a 18 bytes de cabecera por trama, hacen un total de 576 bytes menos de tráfico útil, que es más del 28% del espacio total para destinado originalmente para datos. Repitiendo el cálculo para tramas de 1500 bytes, prácticamente se reduce la pérdida al 1%.

Estructura de la trama de 802.3 Ethernet								
Preambulo	Delimitador de inicio de trama	MAC de destino	MAC de origen	802.1Q Etiqueta (opcional)	Ethertype (Ethernet II) o longitud (IEEE 802.3)	Payload	Secuencia de comprobación (32-bit CRC)	Gap entre frames
7 Bytes	1 Byte	6 Byte	6 Bytes	(4 Bytes)	2 Bytes	De 46 (o 42) hasta 1500 Bytes	4 Bytes	12 Bytes
64–1522 Bytes								
72–1530 Bytes								
84–1542 Bytes								

Figura 29.- Formato de la trama Ethernet [20].

Estos últimos cálculos son orientativos, ya que no toda la trama *Ethernet* se transmite, sino que se recalcula de nuevo en destino, evitando la transmisión de datos inútiles.

Por tanto, las recomendaciones si se dispone de un equipo *SDH* sobre el que transmitir *Ethernet mapeado* son dos:

- La primera, contabilizar siempre una capacidad real en aire de 133 Mbps.
- La segunda, siempre que las aplicaciones lo permitan, emplear métodos que completen al máximo la carga de las tramas *Ethernet*, puesto que se aprovechará mejor la capacidad de carga del *STM-1*. No activar en la infraestructura circundante *Jumbo frames*, ya que sólo tienen sentido en tráfico *Gigabit Ethernet* y esas velocidades están muy lejos de la capacidad de un solo *STM-1*.

Capacidad de la configuración de equipo.

En caso de que los equipos radio sean sustituidos por sistemas *Ethernet* nativo, hay varias consideraciones a tener en cuenta. La primera es conocer exactamente cuál es la configuración del sistema. Según la frecuencia y la canalización del enlace, la capacidad por cada radio varía bastante. Por otro lado, las especificaciones del fabricante ofrecen las capacidades de línea en función de distintos tamaños de trama *Ethernet* (ver figura 30).

Modulation	Air Interface Capacity (Mbps) (Line Interface capacity)				
	7 MHz	14 MHz	28 MHz	40 MHz	56 MHz
512 QAM	–	95 (96 – 117)	200 (202.1 – 247.1)	286 (289 – 353.3)	406 (410.3 – 501.5)
256 QAM	41 (41.4 – 50.6)	84 (84.9 – 103.8)	180 (181.9 – 222.4)	257 (259.7 – 317.5)	369 (372.9 – 455.8)
128 QAM	35 (35.4 – 43.2)	74 (74.8 – 91.4)	160 (161.7 – 197.6)	229 (231.4 – 282.9)	327 (330.4 – 403.9)
64 QAM	31 (31.3 – 38.3)	64 (64.7 – 79.1)	138 (139.4 – 170.5)	197 (199.1 – 243.4)	285 (288 – 352.1)
32 QAM	–	54 (54.6 – 66.7)	115 (116.2 – 142)	167 (168.8 – 206.3)	237 (239.5 – 292.8)
16 QAM	21 (21.2 – 25.9)	43 (43.5 – 53.1)	94 (95 – 116.1)	133 (134.4 – 164.3)	189 (191 – 233.5)
4 QAM	10 (10.1 – 12.4)	21 (21.2 – 25.9)	46 (46.5 – 56.8)	65 (65.7 – 80.3)	94 (95 – 116.1)

When XPIC is used, capacity is doubled within same bandwidth.
Line Interface capacity considering frame size of 22 and 1522 bytes.

Figura 30.- Tabla de capacidades en aire y de línea (entre paréntesis) para distintas canalizaciones y tamaños de trama, para un Ericsson Minilink TN r.5 [17]

A diferencia de *SDH*, donde los protocolos de encapsulado y transporte de *Ethernet* están estandarizados, en *Ethernet* nativo no, y cada fabricante optimiza la transmisión a su manera. La única forma entonces de conocer cuál es la capacidad de línea es consultando la documentación de los equipos. No obstante se suele cumplir la misma máxima que se ha demostrado antes para *SDH*, y es que es mejor pocas tramas grandes que muchas pequeñas, por el necesario “desperdicio” de los bytes de cabecera de trama.

Una vez que se conozca la capacidad de una de las radios por cada canal, hay que tener en cuenta que si se está empleando *XPIC* o bien *LoS MIMO*, la capacidad aumenta. En el caso de *XPIC*, la capacidad justamente se dobla. En caso de *LoS MIMO* será la especificación de fabricante quien dicte la mejora resultante global.

Si con las cifras arrojadas hasta aquí la instalación tiene capacidad suficiente para tratar el tráfico de la red, el trabajo habrá terminado. Pero si es necesario añadir más capacidad, entonces habrá que recurrir a la técnica del *radio bonding* para aumentarla, si el sistema implementa dicha funcionalidad.

Los equipos disponibles en el mercado actualmente permiten hasta 4 radios dentro del grupo. Cada radio que se añada dentro del grupo aumentará la capacidad del enlace según la canalización propia de esa radio, ya que, como se explicó anteriormente en el punto 3, en *radio bonding* las radios no tienen por qué ser iguales.

De esta manera, es posible tener un enlace con una canalización y otro dentro del grupo con una canalización distinta, por lo que su capacidad en aire será distinta, y podrá implementar *XPIC* o no, con lo que su capacidad será el doble de la nominal o no.

Las razones para tener radios en distintas canalizaciones pueden ser de concesión de licencias radioeléctricas, importe de las mismas, saturación del espacio radioeléctrico en la zona de la instalación o aprovechamiento de otros equipos. Este problema no aparece con *XPIC* ya que la canalización y la frecuencia es la misma, y la tasa a abonar en concepto de uso del espacio radioeléctrico no se incrementa sustancialmente.

Puede existir otra razón para el empleo del *radio bonding* que no sea la de aumentar la capacidad, que es la redundancia de enlace. Aunque el propósito sea diferente, a la postre se cuenta con una capacidad adicional que puede emplearse perfectamente.

Tráfico mínimo de seguridad.

Otro asunto respecto a la capacidad de un enlace *Ethernet* nativo es el empleo de la *modulación adaptativa*. En las tablas de los fabricantes se contemplan las capacidades para distintos órdenes de modulación, desde la más baja, *4-QAM* hasta la máxima que

soporta el equipo. Es muy importante conocer cuál es el mínimo de capacidad en caso de que la *modulación adaptativa* adopte la figura de orden más bajo, porque este será un parámetro para determinar el *tráfico mínimo de seguridad*, que se definirá como la capacidad mínima que ofrecerá el enlace en la peor situación.

Esa peor situación comprende la adopción de la modulación más baja en el enlace menos capaz del grupo de *radio bonding*, si este existe. Es decir, se ha de suponer que todos los enlaces de un grupo caen y sólo se mantiene el de capacidad más baja y, además, éste se degrada hasta su modulación menos eficiente. Se considera que el *XPIC* siempre está disponible, salvo indisponibilidad total del enlace. Cuando se dibuja esa situación, ese es el *tráfico mínimo de seguridad*.

Es importante conocerlo porque ofrece al diseñador de la red qué tráfico puede salvar a toda costa antes de la indisponibilidad total del enlace y así diseñar la clasificación del tráfico en consecuencia para no saturar con tráfico *pseudo-crítico* un enlace con una capacidad limitada.

Modulación adaptativa y ATPC.

Por último, un apunte sobre la *modulación adaptativa*. Hay muchos enlaces radio que implementan un *control automático de potencia de transmisión* o *ATPC*. Esta característica se basa en controlar la potencia de salida de un enlace radio para transmitir siempre con la mínima potencia necesaria para asegurar la comunicación, ahorrando así energía.

El problema es que, si existe *modulación adaptativa*, ambas funcionalidades pueden entrar en conflicto y el enlace no aprovecha toda su capacidad.

Así, si *ATPC* detecta que la señal es buena, irá bajando la potencia hasta que el extremo remoto le indique que empieza a perderla, y la ajustará a un umbral ligeramente superior. Pero entonces, la *modulación adaptativa* piensa que el enlace se está viendo afectado así que, para proteger el tráfico crítico, baja el orden de modulación, perdiendo capacidad. Esto no supone más que una bajada de una escala en el orden de modulación, pero es una pérdida de prestaciones del sistema.

La solución a día de hoy y mientras los fabricantes no resuelvan el conflicto, es desconectar el *ATPC* si se emplea *modulación adaptativa*, una solución poco “ecológica” pero necesaria por el momento.

3.6.-Tráfico fuera de banda. Planificación de provider bridge.

Tráfico fuera de banda.

Como se expuso en su momento, *SDH*, entre otras características, tiene capacidad de transportar algunos canales de servicios y de voz fuera de banda, es decir, embebidos en los bytes de la *SOH*. Se puede observar un canal de voz para órdenes, un canal de 2 Mbps de capacidad para datos, y algunos más dentro de las estructuras de *VC-12* que pueden ofrecer hasta 64 kbps de datos. Estos canales de datos adicionales reciben el nombre de *Wayside Traffic* o *tráfico lateral*, o *fuera de banda*.

Es normal que esos canales adicionales estén usados en la infraestructura original *SDH*. Si la opción de la ampliación de la red es la escogida, no hay problema, puesto que esos tráfico siguen existiendo. El problema puede venir si el equipo que los empleaba también cambia y ahora demanda conectividad *Ethernet*.

En ese caso, existe la posibilidad de conectar esos canales, que provienen de la radio (si se emplean los bytes de la *RSOH*) o del *ADM* (si se usan los bytes embebidos en la *MSOH*), a los puertos cliente *PDH* del *ADM*, de forma que el sistema de encapsulado *GFP* los vea como un canal *PDH* disponible para mapear y transportar tráfico de 2 Mbps (sólo en el caso del *Wayside traffic* de esa capacidad). Luego es cuestión de configurar las matrices del propio *ADM* para enrutar un circuito *Ethernet* desde una entrada *RJ-45* de las tarjetas de ampliación por este canal adicional. Se requiere un conocimiento preciso del equipo en *SDH*, pero permite reaprovechar esos tráfico.

Otra opción, y la única disponible si se han instalado equipos de *Ethernet nativo* es tratar ese tráfico como un cliente más y transportarlo debidamente diferenciado (mediante etiquetas *S-VLAN*, se verá más adelante cómo) dentro de los caudales habituales.

Cuando se trata con equipos *Ethernet nativo*, lo que sí se pierde seguro son los canales de voz de órdenes. Si se empleaban con frecuencia y no se desea perderlos, sólo queda crear un circuito *Ethernet* destinado a voz e implementar telefonía IP en todos los centros. Esta solución conlleva ciertos costes y debe sopesarse el empleo de dichos canales de voz para órdenes adicionales y valorar si la inversión es adecuada.

Otro elemento que no se pierde pero sí cambia es el canal de gestión, que se ha denominado en el mundo *SDH* como *DCN* o *Data Communications Network*. Este canal de gestión es el que permite configurar y monitorizar los elementos a distancia, desde el centro de control de red. Para esta *DCN* los cambios pueden ser importantes y se recogen en el anexo 2 de este documento, ya que, al no afectar directamente al tráfico que se transporta (el de cliente), rebasa ligeramente del ámbito del trabajo.

Planificación de la *provider network*.

La mayoría de los equipos capaces de realizar el transporte *Ethernet* a este nivel se comportan como un *switch* que ayuda a crear, a través de los enlaces de radio entre los aparatos, una red de operador. Esto afecta tanto a las ampliaciones de los *ADM SDH* como a los equipos *Ethernet nativo*.

Como se ha comentado en un epígrafe anterior, existe una clase de *switches*, llamados *provider switch*, que permiten una serie de funciones avanzadas destinadas a transportar tráfico *Ethernet* de cliente respetando la separación en *redes virtuales* del mismo. Por descontado, un equipo que funciona como *provider switch* operará también como *switch* tradicional.

En este momento es vital decidir el modelo de switching a implementar y diseñar su estructura, porque lo que sí tienen en común muchos fabricantes es que un equipo configurado para operar de una manera no se podrá configurar de la opuesta si no se hace primero un paso por *Factory reset* o *resetado de fábrica*. Por ello es importante determinar qué modo usar.

Si la red se emplea únicamente para transmitir tráfico de la propia operadora es posible que baste una configuración tradicional de *switching*. Pero si se plantea poder prestar servicios de transporte a terceros, es inequívocamente adecuado optar por la opción *provider*, ya que ello aísla al operador de la distribución de etiquetas de *LAN virtual* del cliente. Esta clase de servicios, como se verá poco más adelante, son servicio tipo *LAN privada virtual* o *pseudowire*, y requieren de estas configuraciones avanzadas.

Aclarar también que un cliente no tiene por qué ser alguien externo, sino se puede hablar del cliente interno. Es posible que, por ejemplo, una gestión de las infraestructuras remotas en las que se alojan los paneles de acceso a usuario pueda constituir un cliente interno, que requiera de un transporte *multipunto-a-multipunto* que deba realizarse con una configuración tipo *provider switch*.

En ambos casos, es necesario realizar un plan de red que incluya las distintas *VLANs* que se vaya a requerir transportar en el nuevo escenario y los lugares por donde tienen que viajar. También se impone estipular los puntos de entrada y salida del tráfico en la red, ya que es en esos puntos de los equipos donde habrá que marcar dichas *VLANs* en los paquetes, para poder de esta manera transportarlos por la red de forma adecuada, se use una sola etiqueta *C-VLAN* o *Q-in-Q (S-VLAN)*.

Si bien es cierto que con una configuración tipo *provider* se pueden acometer ambos escenarios, también lo es que una trama *Ethernet* con doble etiquetado de *VLAN* añade bytes de sobrecarga adicionales a la trama y tiempo de proceso por parte de los

equipos de entrada, salida y tránsito. Es posible que estos retardos, unidos al retardo de propagación mínimo, sean críticos para ciertos tráficos en algunas configuraciones de red, por lo que no debe asignarse un rol de *switching* a un equipo a la ligera.

Planificar QoS y STP.

Por último, como *switches* que son, los elementos objeto de estudio implementan las funcionalidades de *calidad de servicio* y *Spanning Tree* para la gestión de la redundancia.

En el caso de las primeras, es necesario saber si serán los equipos quienes apliquen los marcados de calidad al tráfico entrante o si, por el contrario, serán otros equipos quienes lo hagan y, en tal caso, la decisión se reduce a saber si se confía en esos marcados o si se sobrescriben a placer.

Por tanto, se deriva la obligación de tener un conocimiento de los elementos externos que ayudarán a conformar la red de transporte en cuanto a QoS se refiere. De esta manera se podrá diseñar la configuración de los enlaces de microondas de forma que contribuyan al transporte adecuado en toda la red.

Hay que recordar que este marcado puede ser crítico, ya que determinará, por ejemplo, qué tráfico se irá descartando en caso de que las condiciones de un enlace activen el sistema de *modulación adaptativa* y el ancho de banda se vaya reduciendo, obligando a que el sistema descarte tráfico. De manera similar hay que conducirse con la gestión de *Spanning Tree*.

Los equipos a los que se conecten las microondas, y estos mismos, deben hablar idéntico protocolo de *STP*, o bien el simple, o el rápido, o el múltiple. Es muy importante que los conmutadores del resto de la red hablen los protocolos estándar.

Por ejemplo, si existen dispositivos *Cisco*, deben configurarse para tratar *MSTP* en lugar del protocolo propietario, llamado *PVSTP*, ya que de lo contrario, el radioenlace no sabrá interpretar los mensajes de convergencia, bloqueo o conducción, lo que podría provocar un bucle con el consiguiente bloqueo de toda la red. Se puede requerir la realización de pruebas de interoperabilidad antes de programar la red para asegurarse de que los equipos se entienden a la perfección y la red reacciona correctamente ante los cambios de topología.

Enlaces sólo radio.

Llegado este punto es conveniente indicar que existen ciertos tipos de enlaces de microondas que no disponen de *switch*, sino que simplemente son una antena con un módem, un cable de alimentación y un cable *UTP* terminado en conector *RJ-45* para conectar el enlace a un switch propiedad del operador.

En ese caso todo lo recogido en este epígrafe deberá aplicarse igualmente a ese switch, ya que puede hacerse perfectamente, ya que el operador lo considera como parte del enlace. En caso contrario, las afecciones posibles comentadas atrás podrán observarse perfectamente si no se toman en consideración para dicho conmutador las indicaciones dadas aquí.

3.7.-Implantación de servicios según Metro Ethernet Fórum

Contemplar este epígrafe llegado este punto obedece a que los nuevos dispositivos de microondas emplean esta nomenclatura que se va a mostrar a continuación para configurar sus sistemas, por lo que es imprescindible familiarizarse con ella y plantear el diseño de red y de la migración teniendo en mente estos servicios estandarizados y sus características.

Cuando se trata de implementar una red troncal a base de *Ethernet* para el transporte de servicios móviles se está estructurando una red basada en *Carrier Ethernet*. Las redes *LAN* no fueron diseñadas para viajar a través de las regiones, los países e incluso los continentes, sino para edificios, dentro de ellos o entre ellos, y para redes de campus. Es decir, que fue diseñada para distancias cortas.

Es cierto además que ciertos requisitos que se deben exigir a los servicios de operador, como una garantía de operación (los cinco nueves de disponibilidad) o clases de servicio adaptadas a diferentes aplicaciones o necesidades, no son capaces de ser satisfechos por las redes *LAN* tradicionales.

Esta es la razón que llevó al *Metro Ethernet Fórum* en 2001 a establecer las bases del *Carrier Ethernet*, que es, a la postre, la clase de servicio que este proyecto ayuda a implementar [21]. Una red *Carrier Ethernet* debe tener una serie de atributos que la diferencian, que son:

- Disposición de unos servicios estandarizados que permita la coordinación entre usuarios y proveedores de servicio a la hora de garantizar la interconexión de datos.
- Escalabilidad total para aumentar la red y su conectividad en usuarios y extensión.
- Confianza para poder depositar con seguridad el tráfico crítico o sensible.
- Gestión del servicio para permitir una adecuada operación y un correcto mantenimiento de la red.

- Calidad de servicio que permita que la red se comparta por varios servicios asegurando que cada uno recibe el trato en cuanto a latencias y ancho de banda según estos lo requieran.

Basándose en estos atributos, *Carrier Ethernet* es capaz de:

- entregar paquetes en cualquier parte de la red, cualquiera que sea la extensión de la misma
- diferenciar tráfico de diferentes usuarios o servicios internos
- trabajar sobre casi cualquier infraestructura física
- hacer que coexistan servicios de capa 2 y capa 3 basados en la exitosa red *Ethernet* [21].

Para que la estructura a implementar pueda considerarse una red acorde al *Metro Ethernet Fórum*, es necesario implementar tres tipos de servicios básicos de conectividad.

El primero se denomina *E-Line*, que es un servicio que conecta únicamente y de forma unívoca dos interfaces de usuario, o *UNI*, y permite que estos puedan comunicarse entre sí. Este servicio es el que permite sustituir punto por punto los enlaces *TDM* tradicionales. Con este servicio se implementan redes *Ethernet* privadas y virtuales.

El segundo servicio se denomina *E-LAN* y es un servicio multipunto a multipunto, en malla completa o *full mesh* entre todos los *UNI* que participan en red. Con este servicio se implementan redes de nivel 2 multipunto, *VPN* de nivel 2 o servicios de *IPTV multicast*.

Y el tercero de los servicios a implementar se denomina *E-Tree* y consiste en una conexión *punto a multipunto* en el que un extremo actúa como raíz (*root*) y el resto como hojas (*leafs*). Las hojas no pueden comunicarse entre sí, sólo a través del nodo raíz. Con este servicio se implementan servicios de *broadcast*, accesos a internet, accesos *backhaul* de móvil, etc. [21].

Con estos patrones se pueden implementar dos tipos de servicios:

- servicios privados, en los que cada interfaz de usuario se dedica únicamente a un servicio
- servicios virtuales, en los que cada interfaz de acceso o cada capa de transporte es compartida por varios servicios a la vez, en cuyo caso se requieren los servicios de un *provider switch* para marcar los diferentes tráfico por la red de operador, como se detalló anteriormente.

3.8.- Enlaces de datos con tecnología WiMAX

Los enlaces de microondas sobre los que se ha basado este estudio hasta ahora representan una modalidad de equipos en los que la transmisión por radio no está estandarizada, y cada fabricante opera como cree oportuno para obtener un producto competitivo. En ocasiones se puede plantear el uso de otros sistemas de transmisión de datos, puramente *Ethernet*, que a priori son más sencillo de manejar, de instalar, de operar y, sobre todo, son más económicos. Por ejemplo *WiMAX* podría postularse como un sustituto. Pero aunque sobre el papel puede parecer una solución aceptable, presenta varios inconvenientes.

En primer lugar, su limitación de frecuencias, que hace que sólo unos pocos enlaces puedan concurrir en una zona a la vez, puesto que no existen canalizaciones suficientes para todos los dispositivos y operadores transmitiendo simultáneamente.

En segundo lugar, en el territorio español sólo existen unas pocas bandas licenciadas para *WiMAX* y se otorgan por concurso, por lo que no existe posibilidad de que los distintos operadores puedan optar a disponer de una en propiedad para su red.

Esto lleva a que el resto de las bandas autorizadas son libres, con lo que ofrecen posibilidades de interferencias de los enlaces de los operadores por parte de otros usuarios que también quieren (y pueden) acceder al canal, lo que reduce la confiabilidad de la red y su fiabilidad.

Por último, la escasez de variedad de frecuencias y canales hacen muy difícil el diseño frecuencial de una red de anillo sobre todo en zonas de gran interés radioeléctrico (montes altos, por ejemplo) en los que se pueden juntar multitud de enlaces distintos de diversos operadores.

Además, los equipos *WiMAX* no disponen de las funcionalidades *Carrier Ethernet* que un operador puede necesitar, obligando al disponer de un *switch* adicional y, en tal caso, los precios entre ambas tecnologías (licencias administrativas aparte) no son tan dispares.

A día de hoy, no existe ningún sistema estándar de transmisión de datos que pueda tratar de desbancar los equipos *carrier class* que se instalan en las redes troncales móviles. La altísima disponibilidad de estos, su robustez y su amplio abanico de configuraciones frecuenciales ofrecen unas garantías sobre el tráfico que transportan que todavía no se ha podido igualar con otras tecnologías.

Conclusiones 4

Durante la exposición de este trabajo se ha mostrado cómo un operador de servicios móviles se va a ver, si no se ha visto ya, abocado a realizar cambios en sus redes para soportar los nuevos avances y las nuevas capacidades de acceso móvil. Se ha ofrecido una presentación de los sistemas sobre los cuales se transportan datos a través de un canal de radio, ofreciendo las diferencias conceptuales y estructurales de los equipos más antiguos en *SDH* y los más modernos equipos *Ethernet* nativo. Se ha introducido las soluciones más actuales para conseguir que el aire sea capaz de transportar más datos ocupando el menor espacio radioeléctrico posible y también se han explicado qué técnicas permiten aumentar la transmisión radio usando más de una antena. Y, una vez que se han conocido todas las herramientas al alcance, se han diseñado una serie de pautas a seguir para que ese cambio entre la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes sea rápido y tecnológicamente adecuado. Se posibilita de esta manera que el operador pueda realizar dicha migración impactando lo menos posible el tráfico de los clientes y generando una nueva red moderna, escalable, totalmente operativa, fiable y compatible con los servicios presentes y de futuro a largo plazo. Independientemente de que sean dichos servicios propios o de otros operadores. También se facilita la interoperabilidad entre estos operadores y se crean nuevas oportunidades de negocio que permitan, a su vez, financiar la migración e, incluso, futuras ampliaciones.

Y es esta una ventaja fundamental de los nuevos sistemas y de filosofía de red *Carrier Ethernet* que el *Metro Ethernet Fórum* está estandarizando: generar unas posibilidades de interconexión de redes que permitan a las compañías establecer nuevos negocios y crear marcos de colaboración que faciliten el desarrollo de nuevas tecnologías y

servicios para las redes móviles, que tanto auge están experimentando en la última década.

Porque la interacción entre operadores es algo inevitable. Por poner un ejemplo futuro, en cuanto los protocolos de *movilidad IP*, como *MIPv6* [22], sean parte de la pila estándar en los dispositivos y las aplicaciones empiecen a demandarlos, los operadores deberán ser capaces de “hablar” entre ellos para poder hacer efectivas dichas movi­lidades y transportar el tráfico del cliente desde donde esté o hasta donde se encuentre.

En ese momento, el tener una red troncal basada en estándares de *Carrier Ethernet* ayudará a la interconexión de estas redes. Existe, porque no indicarlo, un campo de investigación futuro en esta línea, acerca de cómo bajar a nivel de interconexión de redes entre operadores las necesidades de los protocolos de movilidad IP que se están desarrollando y cómo realizar desde dichas redes el control de ese tráfico, tanto a nivel de desempeño de la propia red visitante como a efectos de facturación por uso de red.

Indicar, para finalizar, que los enlaces de microondas tienen un largo recorrido en la composición de las redes troncales móviles de operador. Las alternativas a las mismas, más económicas, no ofrecen, a día de hoy, todas las garantías de calidad, fiabilidad y disponibilidad que se requieren. Los enlaces de microondas tienen todavía mucho recorrido y se sigue innovando cada día para que este recorrido aumente cada vez más.

En el *Mobile World Congress* de Barcelona del año 2011, el fabricante *Ericsson* llegó a poner en el aire una capacidad bruta de 1 Gbps [14], en una banda además susceptible de realizar enlaces largos, 10Ghz, y canalización de 28 Mhz, con modulación *1024-QAM*. Esto permite llevar 1 Gbps a varias decenas de kilómetros de distancia, lo que supone un logro importante para este tipo de redes, sobre todo en lugares dispersos donde las comunicaciones por fibra óptica son inviables por su coste de instalación.

Anexos

Estructura de datos en SDH

A1

En el capítulo 2 se ha presentado *SDH* como una de las tecnologías existentes anteriormente para la transmisión de datos, usada ampliamente en las redes de enlace troncal para los sistemas de servicios móviles. Se emplazaba a este anexo para entrar en un detalle más exhaustivo acerca de la estructura de trama *SDH* y poder comprender mejor qué tipo de información adicional y qué estructura esconden las tramas *STM* [9]. Un ejemplo de esas tramas aparece en la figura 31.

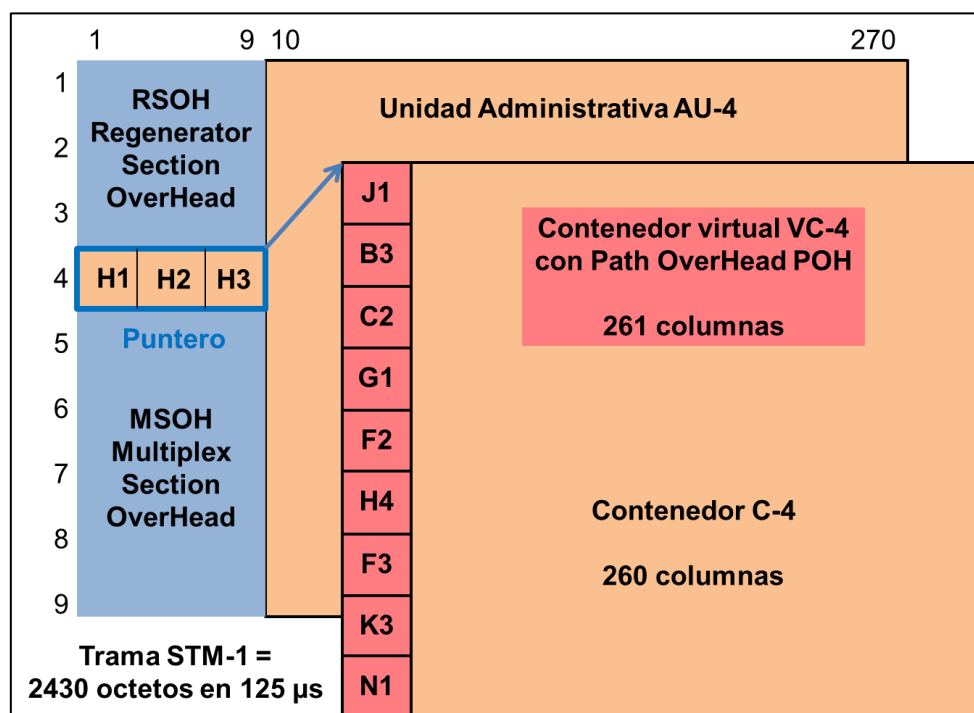


Figura 31.- Estructura genérica de una trama STM-1

Tal y como se ha comentado en el citado punto, una única trama *SDH* se denomina *Módulo de Transmisión Síncrona*, *STM-1* del inglés (*Synchronous Transmission Module*).

Consiste en 2430 octetos organizados en 9 filas (siempre constantes) y 270 columnas (para *STM-1* un mayor número creciente para *STM-N* con $N > 1$). En la trama, cada octeto representa un canal de 64 kbps (una transmisión de 8 bits en, de nuevo, 125 μ s). Pueden unirse varios octetos para formar contenedores para tasa de datos mayores.

De toda la trama se reservan un relativo alto número de octetos, 72, para servicios diversos de monitorización y control. Es la *SOH* (*Section OverHead*), compuesta por dos zonas diferenciadas, la *RSOH* (*Regenerator Section OverHead*) y la *MSOH* (*Multiplex Section OverHead*).

Si a una trama *SDH* se le retiran los octetos de la *SOH*, se tiene la *Unidad Administrativa AU-4*, que consiste en un *contenedor virtual VC-4* de 260 columnas, más otra columna que recoge el *puntero* correspondiente que apunta al primer octeto del *VC-4*, la verdadera carga de datos.

El sistema de punteros de *SDH* es una manera muy elegante de multiplexar los datos dentro de los contenedores, eliminando la necesidad de alinear los mismos al comienzo de una trama. Así se reducen los búferes de transmisión y los retardos asociados a los mismos.

El contenedor, en este caso el *VC-4*, puede “flotar” libremente dentro del espacio del *AU-4*. Los punteros *H1* y *H2* forman una palabra con rango de 0 a 782 que indica el desplazamiento entre el puntero y el primer byte del *VC-4*. Si el desplazamiento es 0, entonces el byte *J1* del *VC-4* va a continuación de los bytes *H3* del puntero *AU-4*.

A continuación, en la siguiente figura, se muestran los contenidos de la *SOH* con indicación de las funcionalidades de cada octeto significativo.

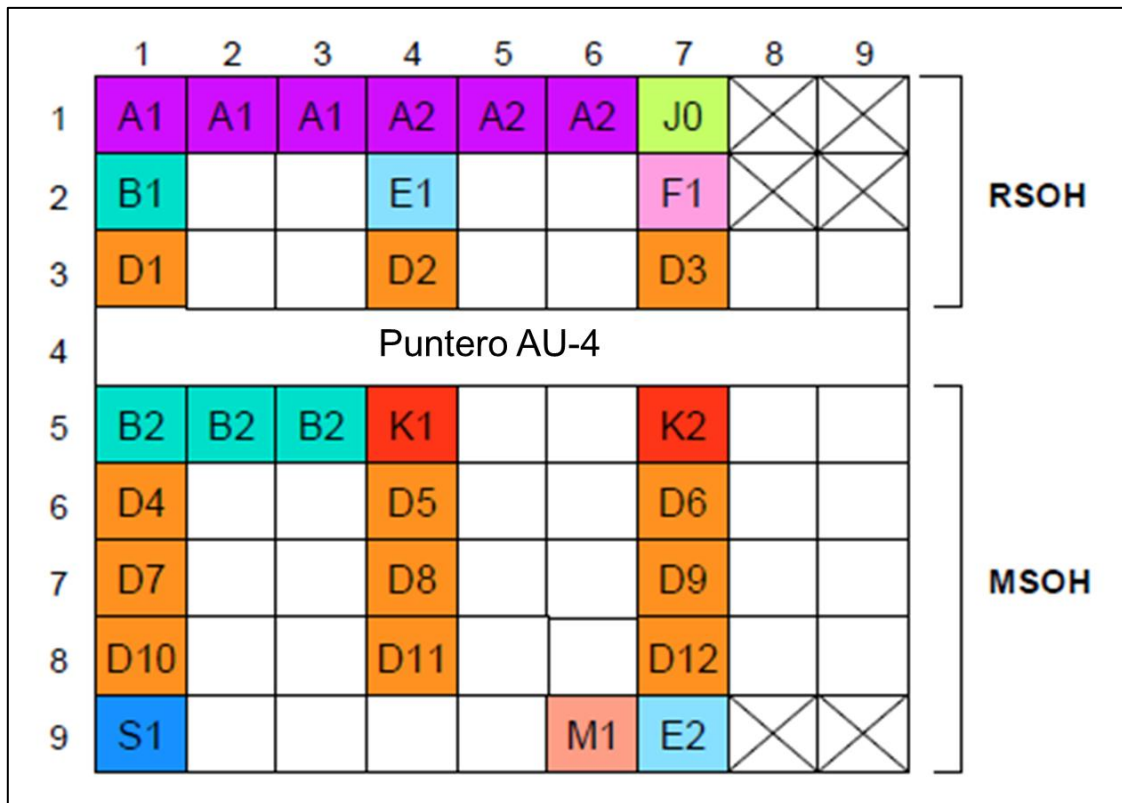


Figura 32.- Octetos identificados en la SOH de una trama SDH

En la zona de la *RSOH* se encuentran los siguientes octetos:

A1..A2

Bytes de entramado: designan el comienzo de una trama *STM-1*

B1

Paridad intercalada de bit de la RS (BIP-8): paridad calculada sobre la trama anterior

J0

Traza RS: numeración según el estándar *E.164* que permite identificar el enlace. Por ejemplo, en un vano con varios enlaces, este octeto permite identifica a ambos extremos que la señal que transmite proviene del emisor adecuado. Esa identificación se realiza con este octeto.

E1

Cable de órdenes RS: canal de 64 kbps que transmite un canal de voz entre dos regeneradores, en el caso que ocupa este proyecto, entre dos radios. Hay fabricantes que lo denominan *EOW*, *Engineer Order Wire*. Suele ir mapeado directamente en los equipos de ciertos fabricantes a un terminal telefónico que cuelga de la radio.

F1

Canal de usuario RS: un canal de datos para uso del operador, de 64 kbps.

D1..D3

Canal de Comunicaciones de datos (DCC) de RS: este canal ofrece una capacidad de 192 kbit/s y resulta vital en las instalaciones. Por este canal se crea la comunicación entre los equipos y los sistemas de gestión centrales de la red, que permite el control y la operación remota de cada elemento. Sin este canal cada acción sobre la red habría que realizarla “in situ”, con el consiguiente coste económico y operacional.

Para la *MSOH* los bytes representan lo siguiente:

B2..B2

Paridad intercalada de bit de la MS (BIP-24): paridad calculada sobre la trama anterior

E2

Cable de órdenes MS: canal de 64 kbps que transmite un canal de voz entre dos ADM. Muy similar al de la RSOH, aunque no se suele emplear tanto como la primera.

D4..D12

Canal de Comunicaciones de datos (DCC) de MS: este canal ofrece una capacidad de 576 kbit/s, más que para la MS. Por este canal también, al igual que para las radios, se crea la comunicación entre los equipos y los sistemas de gestión centrales de la red, que permite el control y la operación remota de cada elemento.

M1

Indicador de error remoto de MS: Número de bloques BIP-24 erróneos recibidos por el lado remoto. Permite saber la calidad del enlace y tomar decisiones al respecto.

K1/K2

Interruptor automático de protección (APS): sirve para comunicar entre extremos alguna situación anómala que obligue a conmutar al camino de reserva para mantener la comunicación. Algunas de estas alarmas pueden ser Señal de Indicación de Alarma (AIS) o Indicación de Defecto Remoto (RDI).

S1

Estado de sincronismo: indica la calidad de la señal STM-1 cuando esta se emplea como fuente de tiempo y sincronización.

Como se ha visto en el diagrama inicial de este anexo, la *Unidad Administrativa AU-4* se forma juntando un contenedor *VC-4* con un puntero adicional, que se denomina *Path OverHead (POH)*, que, cuando se trata de *VC-4* o *VC-3* recibe el nombre de *High Order Path OverHead*. Este puntero también porta información relacionada con su carga, algunas de las cuales son réplicas de las vistas para la *RSOH* o la *MSOH*:

J1	<i>Traza de Path</i> : numeración según el estándar E.164 que permite identificar el path.
B3	<i>Paridad intercalada de bit de path (BIP-8)</i> : paridad calculada sobre la trama anterior.
C2	<i>Etiqueta de señal de path</i> : tipo de mapeado en <i>VC-n</i> .
G1	<i>Estado de path</i> : monitorización bidireccional del estado del path.
F2	<i>Canal de usuario de path</i> : un canal de datos para uso del operador, de 64 kbps.
H4	<i>Indicador de la unidad tributaria en la multitrama</i> : indica el comienzo de la multitrama.
F3	<i>Canal de usuario de path</i> : un canal de datos para uso del operador, de 64 kbps.
K3	<i>Interruptor automático de protección (APS)</i> : para protección del path, igual que los bytes <i>K1</i> y <i>K2</i> de la <i>MSOH</i> .
N1	<i>Byte de operador de red</i> : denominado <i>TCOH</i> , <i>Tandem Connection OverHead</i> .

Si el contenedor superior es más pequeño de VC-4 o VC-3, entonces los punteros son menores en tamaño y llevan menos información:

J3

Traza de Path: numeración según el estándar E.164 que permite identificar el path.

V5

Varios usos: paridad BIP-2, *Indicación de error remoto (REI)*, *Indicación de fallo remoto (RFI)*, *Indicación de defecto remoto (RDI)*..

N2

Byte de operador de red: denominado TCOH, *Tamdem Connection OverHead*.

K4

Interruptor automático de protección (APS): para protección del *path*, igual que los bytes K1 y K2 de la MSOH.

Cambios en la gestión del equipamiento de red: de OSI a IP

A2

Se refiere este anexo a un tema que, no siendo parte del núcleo del proyecto, sí afecta en gran medida a la migración de la red y es necesario tener en cuenta, por lo que se ha estimado incluir una breve reseña a modo de anexo. De esta forma que se puede tener presente a la hora de diseñar la transformación de la red.

Todos los equipos, tanto *SDH* como *Ethernet nativo* tienen en común el requerir unos sistemas de gestión centralizada que permita a los operadores de la red realizar cambios, monitorizar desempeños y actuar frente a los fallos y las alarmas.

Estos sistemas centrales son servidores con un software específico que están conectados a la red *LAN* de los edificios donde las operadoras ubican sus centros de control de red y tienen un enlace contra los equipos que forman la red.

En el caso de *SDH*, basta con alcanzar con la *LAN* de los servidores un elemento de red (por seguridad, al menos dos) y ese elemento se encargará de comunicar por toda la red los paquetes de gestión usando la *DCN*, *Data Connection Network* que emplea el canal fuera de banda que forman los bytes de la *DCC* que se comentó en su momento. Así todos los equipos se comunican con el centro de control.

La mayoría de los fabricantes de equipos *SDH* adaptaron como protocolo de capa 3 el protocolo *OSI*, que emplea como direcciones de los servicios de red las direcciones *NSAP*, *Network Services Access Point*, que constan de hasta 40 dígitos hexadecimales. El motivo puede ser el auge de este sistema en los albores de *IP* y su implementación masiva en *ATM*.

Este protocolo necesita de *routers* que implementen el protocolo de enrutamiento *IS-IS* (*intermediate System*) para poder comunicarse con las redes *LAN* de los servidores, que, en muchos casos, operan en *IP* para capa 3, o poder recibir un paquete *OSI en NSAP* (cuya estructura puede observarse en la figura 33) desde una ubicación remota

sobre una red de transporte *IP* a través de una *Red Privada Virtual (VPN)*. Es por ello que las implementaciones de *DCN* antiguas existan *routers* que hagan el paso de entrada desde el centro de control a la *DCN*.

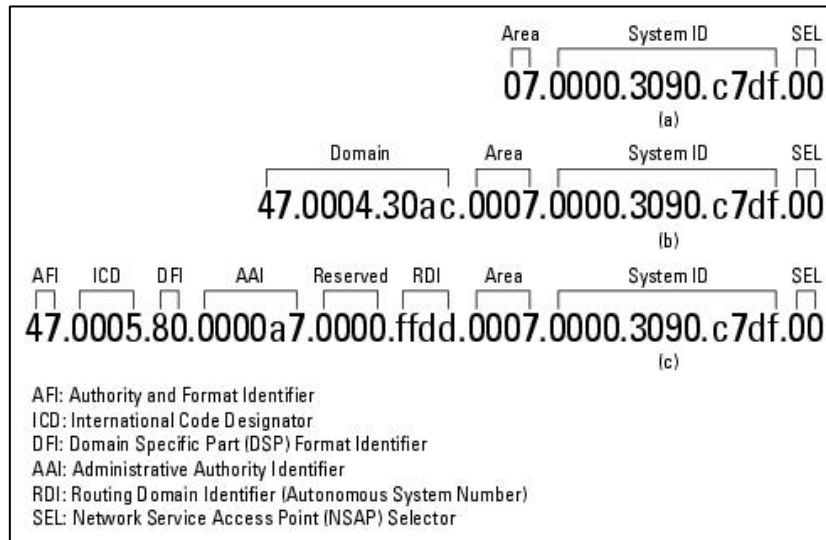


Figura 33.- Esquema de direcciones NSAP de varias longitudes.

En el caso de que los equipos no se migren y se mantengan *SDH*, este problema no es tal problema, pues se mantiene todo igual de no ser que las tarjetas que haya que ampliar tengan una conectividad aparte y sean diferentes, aunque no suele ser el caso.

Si, por el contrario, los equipos se cambian, es posible que el nuevo sistema de gestión sea completamente *IP*, muy probablemente *SNMP* o algún protocolo propietario, y obligue a diseñar de nuevo la *DCC*.

Puede que los *routers* ya no sean necesarios, o puede que los equipos no dispongan de un canal *fuera de banda* para crear una *DCN* en *IP* y haya que procurar acceso individualizado a cada equipo de la red. Este extremo depende de cada fabricante.

Hay algunos, como el *Ericsson Minilink* en su versión 4, que eran capaces de comunicarse entre ellos por *IP*, pero para poder acceder a los sistemas detrás de un enlace, era necesario habilitar una instancia *OSPF* entre ellos de manera que las rutas entre los equipos se hicieran accesibles. Y, claro, para que el sistema de gestión los alcanzara, era necesario habilitar un *router* intermedio que ejecutara también *OSPF* y permitiera habilitar las rutas entre el centro de control y los equipos remotos.

Este ejemplo no pretende sino ilustrar sobre cuán diferentes pueden ser las necesidades de la red de control de unos enlaces de microondas.

Al no existir un estándar, aunque la gran mayoría se orientan por el protocolo *IP* transportado sobre *Ethernet* y un control mediante *SNMP*, cada fabricante obra según sus criterios técnicos o comerciales, por lo que, a la hora de diseñar el cambio de la *DCN* es imprescindible conocer los equipos y sus requisitos de control y tratar esta red de control de una manera prioritaria dentro del diseño global.

Bibliografía B

[1] **Telefonía Móvil en España;** Wikipedia
(http://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_en_Espa%C3%B1a) .
Consultado el 10/08/2012

[2] **El proceso de implantación de la telefonía móvil en España;** Pérez Yuste, Antonio (Director de la EUTI de la UPM). Publicado en la revista *Antena de Comunicación* (órgano de comunicación del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación) en septiembre de 2002.

[3] **Temario de la asignatura Internet Móvil, tema 2.2 UMTS;** Agüero, Ramón (UC). Master en Tecnologías de la Información y Comunicaciones en Redes Móviles (TICRM). Curso 2011/12.

[4] **Temario de la asignatura Internet Móvil, tema 2.3 Introducción a LTE;** Agüero, Ramón (UC). Master en Tecnologías de la Información y Comunicaciones en Redes Móviles (TICRM). Curso 2011/12.

[5] **Mobile traffic forecasts 2010-2020 report;** UMTS Forum Report 44. Enero de 2011.
(http://www.umts-forum.org/component/option,com_docman/task,doc_download/gid,2537/Itemid,213/)

[6] **Temario de la asignatura Internet Móvil, tema 2.1 GSM y GPRS**; Agüero, Ramón (UC). Master en Tecnologías de la Información y Comunicaciones en Redes Móviles (TICRM). Curso 2011/12.

[7] **Temario de la asignatura Gestión de Recursos Radio, tema 7 RRM en OFDMA**; Hernández Solana, Ángeles (UZ). Master en Tecnologías de la Información y Comunicaciones en Redes Móviles (TICRM). Curso 2011/12.

[8] **Connection Oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPS and Optical networks**; Perros, Harry G.; Ed. Wiley, edición Abril 2005. PDF resumen descargado de su página personal de la web de la Universidad del Estado de Carolina del Norte (<http://www4.ncsu.edu/~hp/Chapter2.pdf>). Consultado el 15/08/2012.

[9] **SDH Transport Systems**; Steffen, A.; Escuela de Ingeniería de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Zurich (Zürcher Hochschule Winterthur), Mayo de 2002. Descargado de la Web del Departamento de Electrónica y Comunicaciones Multimedia de la Universidad Técnica de Košice, Eslovaquia (http://www.kemt.fei.tuke.sk/Predmety/KEMT300_PIE/_materialy/Blok3/SDH.pdf). Consultado el 15/08/2012.

[10] **Presentación sobre SDH de NetTest** (ahora Anritsu); año 2005. Descargado de la web del Departamento de Automática y Telecomunicaciones de la Universidad Técnica Nacional de Donetsk (Ucrania) en (<http://masters.donntu.edu.ua/2005/kita/shushen/library/sdh.pdf>). Consultado el 15/08/2012.

[11] **Definición de PDH**; Diamond, Giselle; Web eHow (http://www.ehow.com/about_5602971_definition-pdh.html). Consultado el 19/08/2012.

[12] **¿Qué es PDH?**; Lee, Ezmeralda; Web eHow (http://www.ehow.com/about_5042465_pdh.html). Consultado el 19/08/2012.

[13] **Advanced SDH radio systems for transport of STM-1**; Maeda, S. NEC Corporation; Fourth European Conference on Radio Relay Systems, Octubre de 1993. IEEE.

[14] **Microwave Capacity Evolution**; Hansryd, J. y Edstam, J., S. Ericsson; Ericsson Review 1 - 2011.

[15] **Generic Framing Procedure (GFP) for NG-SONET/SDH: An Overview**; Hernández-Valencia, E.; Lucent Technologies (Ahora Alcatel – Lucent); IEEE Seminars; 11 de Julio de 2002.

[16] **8B/10B coding**; Wikipedia (http://en.wikipedia.org/wiki/8b/10b_encoding). Consultado el 20/08/2012.

[17] **Minilink TN reléase 5 ETSI Datasheet**; Ericsson (<http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=1/28701-EN/LZT1105216&Lang=EN&HighestFree=Y>). Consultado el 5/08/2012.

[18] **Curso SRT – 1F, Operation, Maintenance, Commisioning and Administration (FT4232EN02GLA00)**; Nokia Siemens Netoworks Accademy.

[19] **Spanning Tree Protocol**; Wikipedia (http://es.wikipedia.org/wiki/Spanning_tree). Consultado el 10/08/2012.

[20] **Ethernet**; Wikipedia (<http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>). Consultado el 27/08/2012.

[21] **Guía del estudiante para la certificación Metro Ethernet CECF, Metro Ethernet on the Go, v 1.0.120617**; Metro Ethernet Fórum. Junio de 2012.

[22] **Temario de la asignatura Internet Móvil, tema 9 Soluciones de movilidad IP**; Ruiz, J. (UZ). Master en Tecnologías de la Información y Comunicaciones en Redes Móviles (TICRM). Curso 2011/12.