TFC

TRABAJO DE FIN DE CARRERA

MEMORIA

Diseño de una red WAN

Autor: Gabriel Labella Sanz
Consultor: Miquel Font Rosselló
E.T.T Telemática
Enero - 2011

Contenido

3. CUERPO DE LA MEMORIA

3.1 Introducción 4

3.1.1 Justificación. Orígenes i contexto de desarrollo actual 5

3.1.2 Objetivos 7

3.1.3 Metodología 8

3.1.4 Planificación. Fases del proyecto 9

4.2 MEMORIA

4.2.1 Esquema de red WAN 11

4.3 Red de transmisión SDH 12

4.3.1 Tecnología SDH 12

4.3.2 TDM 12

4.3.3 Trama SDH 13

4.3.4 ADM (Add and Drop Multiplexers) 15

4.3.5 Compatibilidad con PDH 16

4.4. Red de Conmutación ATM 18

4.4.1 Red ATM 18

4.4.2 Protocolo de enrutamiento MPLS 26

4.5.1 Topología de la red HFC

4.5.2 Dispositivos de la red HFC 29

4.5.3 Cabecera (Head-End) 30

4.5.4 Red troncal o primaria 32

4.5.5 Red Secundaria 33

4.5.6 Acometida o DROP 34

4.5.7 Espectro de radiofrecuencia (RF) 34

4.5.8 Modulación 36

8.2. Red LAN Corporativa **39**

8.2.1 Topología DMZ y LAN Corporativa 39

8.2.2 Características 39

GLOSARIO

Acrónimos 44

BIBLIOGRAFIA

Proveedores de equipos 46

Referencias bibliográficas: 46

ANEXOS

Estándares y Normalización 46

Organismos de Normalización 49

FIGURAS

Figura 1 11
Figura 2 14
Figura 3 16
Figura 4 17
Figura 5 19
Figura 6 20
Figura 7 24
Figura 8 25
Figura 9 26
Figura 10 26
Figura 11 29
Figura 12 29
Figura 13 30
Figura 14 35
Figura 15 35
Figura 16 36
Figura 17 37
Figura 18 38
Figura 20 41

3. CUERPO DE LA MEMORIA

3.1 Introducción

Este proyecto encaja dentro del área temática *Integración de redes telemáticas.* Se ha desarrollado el diseño e implantación de una red WAN, para ofrecer servicios de banda ancha, que perfectamente pudiera formar parte de la infraestructura de red de cualquier

ISP (Proveedor de Servicios de Internet) del mercado de telecomunicaciones actual, por ejemplo en España podemos mencionar a TDE (Telefónica de España), ONO y ORANGE, entre otros. O incluso, podría ser un esquema de red ficticio.

Como veremos en la *figura 1*, la red WAN cumple la función de intercomunicar redes, una red de área local (LAN) con otra red de Acceso (HFC), situadas a la izquierda y a la derecha de la *figura 1* respectivamente.

En este trabajo, asumiré que este esquema de red pertenece a uno de los operadores anteriormente mencionados, sin especificar cuál, ya que se su diseño se puede extrapolar a cualquiera de ellos. Por tanto, es uno de estos operadores quien explota directamente los servicios que ofrece, sin revenderlos a ninguna empresa externa (que si se diese el caso, actuaria como intermediaria).

3.1.1 Justificación. Orígenes i contexto de desarrollo actual

Se ha elegido el diseño de esta red de banda ancha, para el transporte de tráfico multimedia entre los usuarios que se conectan a la red de acceso HFC y/o los que lo hacen desde el extremo opuesto, desde la red LAN corporativa, para crear, por ejemplo, enlaces punto a punto por medio de túneles VPN (Virtual Private Network), o enlaces punto-multipunto por medio de la red pública Internet entre ellos, sobre la

infraestructura de conmutación ATM y transporte SDH de cualquier operador de telecomunicaciones.

La red de transporte SDH es la evolución de la red PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona) que apareció a finales de la década de los 60. Garantiza un mayor ancho de banda con mayores velocidades de transmisión en comparación con PDH, al configurarse enlaces con la capacidad mínima STM-1 (155 Mbps) para conectar las redes ATM y HFC. Además, añade protección al usar una topología de doble anillo de fibra óptica, utiliza TDM (Multiplexación por división en el tiempo) para sincronizar los relojes de los switches de las redes adyacentes y, sobre todo destaca, por su flexibilidad (permite converger la red ATM y la red IP).

Actualmente se está adoptando la tecnología DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) o multiplexación por división en longitud de onda. Es una tecnología de transmisión que consiste en la multiplexación de varias señales ópticas, cada señal a una longitud de onda o frecuencia óptica diferente sobre la misma fibra óptica monomodo, para aumentar así su capacidad (el ancho de banda disponible puede llegar hasta los 400 Gbps, resultado de multiplexar 40 canales SDH STM-64).

Por otra parte, la red de ATM puede también transportar tráfico de aplicaciones de banda ancha, multiplexando el tráfico de protocolos superiores en celdas ATM para ser conmutadas hacia los nodos destinos utilizando los identificadores de conexión VCI/VPI.

Finalmente, la red HFC (Hybrid Fiber Coaxial) es la evolución de la red de CATV (Community Antenna TV) que distribuía la señal de TV analógica en sentido unidireccional (desde la red hacia los abonados) con cable coaxial en EEUU durante los años 60. En la actualidad, la red HFC, gracias al despliegue de satélites para las comunicaciones en los años 70 y a la aparición de la televisión digital en la década de los 90, se utiliza para transmitir no únicamente TV, sino también datos multimedia interactuando con el usuario y además ofrece servicio de Internet de Banda Ancha mediante la instalación del cable de fibra óptica que destaca por tener un gran ancho de banda disponible, conjuntamente con el cable coaxial en menor medida, ya que se han ido sustituyendo paulatinamente los tramos de cable coaxial y los amplificadores por tramos punto a punto o anillos de fibra óptica en la red de distribución troncal y secundaria, ya que la fibra óptica tiene mayor capacidad de transmisión y permite incorporar servicios interactivos.

3.1.2 Objetivos

El TFC consiste en el diseño de una red WAN, que se compone de:

Una red de Acceso HFC, que es una red híbrida de cable coaxial y de fibra óptica.

Una red de Conmutación (Switches y/o Routers ATM).

Una red de Transmisión SDH formada por los multiplexores ADM.

La idea de este trabajo, es la de proporcionar una red telemática de Banda Ancha que permita a los usuarios de la red de Acceso HFC disfrutar de los servicios de TV,

Internet y Telefonía. El diseño de la red WAN, incluye además la posibilidad que los usuarios de la dicha red también puedan comunicarse con la red LAN corporativa, situada en el otro extremo, en donde se sitúa un firewall que protege a la red local y a la DMZ (donde se ubican los servidores) de posibles amenazas o intrusiones.

Este trabajo, entonces, tiene la finalidad de definir una red WAN, para conocer como se propaga la señal, que protocolos de nivel superior la gestionan, y que nodos o dispositivos son los que se encargan de facilitar su distribución desde y hacia ambos extremos de la red.

3.1.3 Metodología

Tal y como hemos expuesto en el diagrama de Gantt, les tareas son secuenciales y se clasifican en cuatro fases:

1. Planificación.
2. Investigación.
3. Producción.
4. Finalización.

Durante la primera fase se realiza la definición del proyecto, donde se escoge el tema del proyecto entre las diferentes opciones temáticas.

Durante la segunda fase se escoge y se revisa toda la información recopilada, y se clasifica solamente aquella parte que nos sea útil para determinar el tipo de red que describiremos en la siguiente fase.

Es ya en la tercera fase que se prepara el cuerpo de la memoria, es la parte técnica donde se documentan las características físicas y funcionales de la red telemática.

La última fase, es la de Finalización, donde se realiza una presentación visual, una vez entregada la memoria, y ambas se entregan en las fechas establecidas en el diagrama de Gantt que adjuntamos en el siguiente punto.

3.1.4 Planificación. Fases del proyecto

Id		Nombre de tarea	Duració
17		**Índice**	**14 días**
18		Contenido	10 días
19		Figuras	4 días
20			
21		**3. Cuerpo de la Memoria**	**92 días?**
22		3.1 Introducción	4 días
23		3.1.1 Justificación. Orígenes y contexto de desarrollo actual	1 día
24		3.1.2 Objetivos	4 días
25		3.1.3 Metodologia	5 días
26		3.1.4 Planificación. Fases del proyecto	3 días
27		**4.2 Memoria**	**55 días?**
28		4.2.1 Esquema de red WAN	5 días
29		**4.3 Red de Transmisión SDH**	**10 días?**
30		4.3.1 Tecnología SDH	3 días
31		4.3.2 TDM	2 días
32		4.3.3 Trama SDH	1 día?
33		4.3.4 ADM (Add and Drop Multiplexers)	2 días
34		4.3.5 Compatibilidad con PDH	2 días
35		**4.4 Red de Conmutación ATM**	**6 días**
36		4.4.1 Red ATM	4 días
37		4.4.2 Protocolo de enrutamiento MPLS	2 días
38		**4.5 Red de Acceso HFC**	**29 días**
39		4.5.1 Topología de la red HFC	5 días
40		4.5.2 Dispositivos de la red HFC	6 días
41		4.5.3 Cabecera (Head-End)	3 días
42		4.5.4 Red troncal o primaria	4 días
43		4.5.5 Red Secundaria	4 días
44		4.5.6 Acometida o DROP	2 días
45		4.5.7 Espectro de radiofrecuencia (RF)	2 días
46		4.5.8 Modulación	3 días
47		**8.2. Red LAN Corporativa**	**7 días**
48		8.2.1 Topología DMZ y LAN Corporativa	4 días
49		8.2.2 Características	3 días
50		**Glosario**	**1 día**
51		Acrónimos	1 día
52		**Bibliografía**	**2 días?**
53		Proveedores de equipos	1 día?
54		Referencias bibliográficas:	1 día?
55		**Anexos**	**5 días**
56		Standards y Normalització	3 días
57		Organismos de Normalización	2 días
58		**Entrega del proyecto**	**6 días**
59		Entrega de la memoria	1 día
60		Presentación del proyecto	5 días

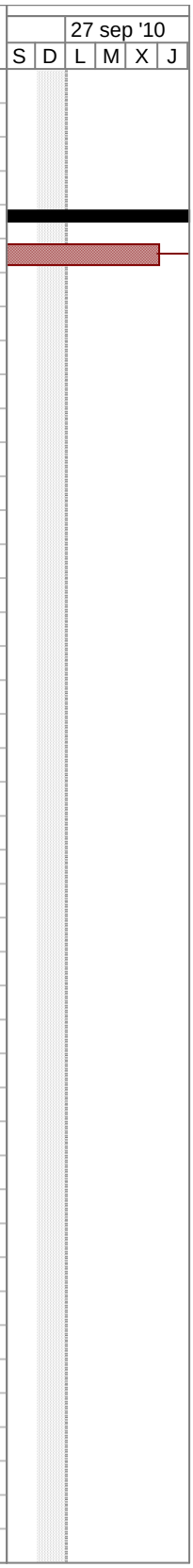

Diagrama de Gantt en donde se describe la planificación del proyecto.

4.2 MEMORIA

4.2.1 Esquema de red WAN

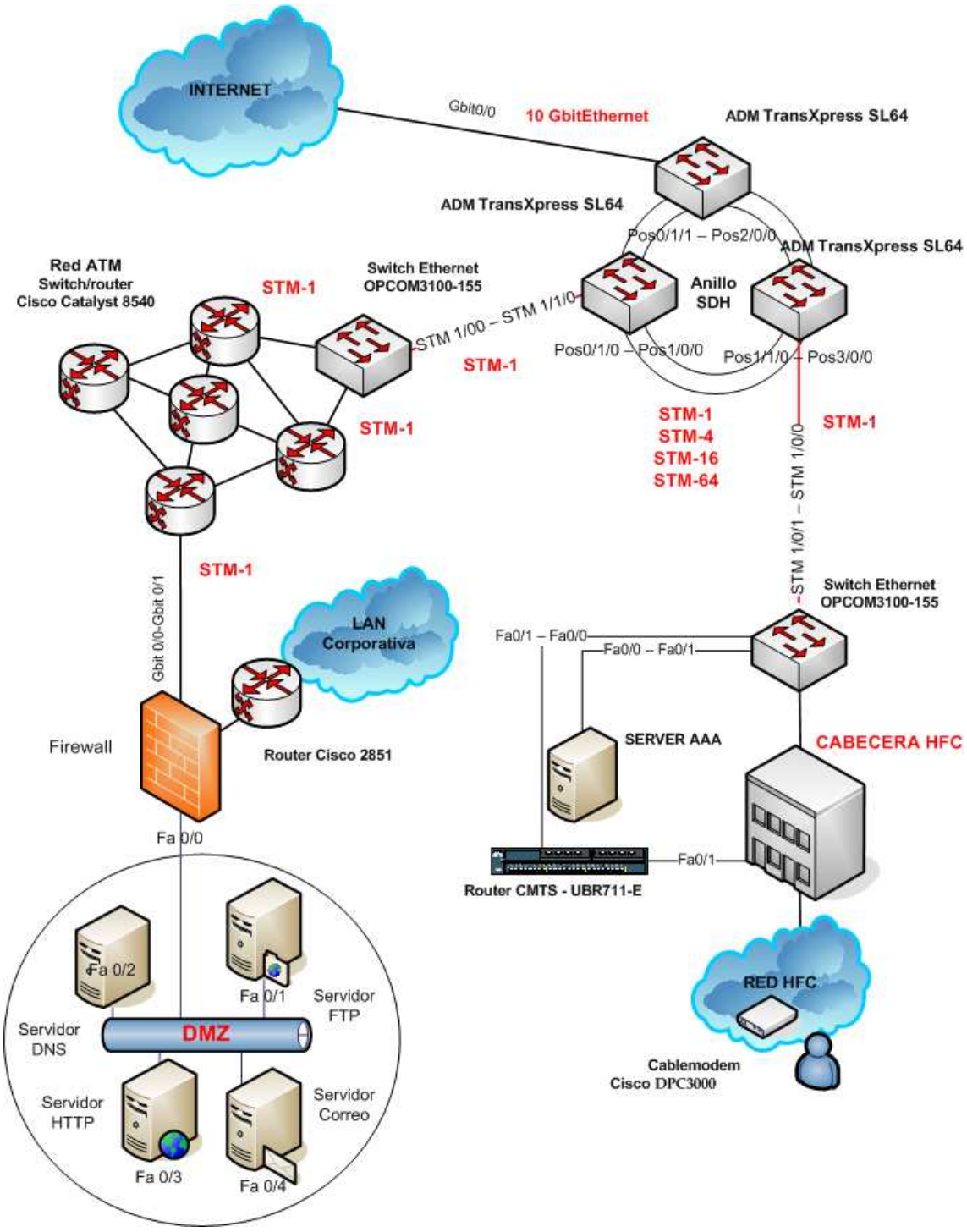

Figura 1

4.3 Red de transmisión SDH

Es el doble anillo bidireccional de backbone para la transmisión síncrona basada en fibra óptica (aunque también podría utilizarse enlaces punto a punto). Este doble anillo proporciona protección automática 1:1 (una línea de protección o backup por cada línea operativa), de manera que esta redundancia permite la conmutación al anillo de protección en caso de fallo en uno de los enlaces de fibra del anillo principal. Conecta una serie de multiplexores **ADM TransXpress SL64**, de inserción-extracción de datos (*Add and Drop Multiplexers*), para transportar la señal entre las diferentes redes (HFC, ATM, Internet o Lan Coporativa). Estos multiplexores se conectaran por ambos lados de la red SDH, a través de la interface de salida STM con cada uno de los 2 switches **OPCOM3100-155** que dan acceso a la red de acceso HFC o a la red ATM, proporcionando velocidades de STM-1 (155 Mbps), ver *figura 1*.

4.3.1 Tecnología SDH

La jerarquía digital síncrona SDH, en EEUU y Canadá conocida con el nombre de SONET, es un protocolo de la capa física de transporte (capa 1), que es utilizado por protocolos correspondientes a capas superiores del modelo OSI, como ATM (capa 2) o IP (capa 3), para transmitir tráfico multimedia como aplicaciones de voz, video o datos y señales digitales provenientes de redes sobre enlaces de fibra óptica.

La señal eléctrica propia de esta capa física de transporte es la STS-3 (en SONET es STS-1), que al multiplexarse forma la familia de señales STS-N y módulo de transporte síncrono STM-N que se corresponde con la señal portadora óptica OC-N (Optical Carrier).

Si combinamos en un multiplexor ADM, 3 tributarios STS-1 (51840 Kbps) de SONET, obtenemos una trama básica STM-1 en SDH.

4.3.2 TDM

Se realiza la multiplexación utilizando la técnica TDM (Multiplexación por división en tiempo). Al multiplexor le llegan señales eléctricas de transporte síncrono de nivel 1 (STS-3), también llamadas señales tributarias, para combinarlas en ranuras de tiempo que tienen la misma duración para cada una de las señales tributarias de entrada, y se obtiene una señal de salida, que se conoce como agregado, compuesta por la intercalación de tramas de cada una de las señales tributarias o canales de entrada en la línea de transmisión. La trama se multiplexa, intercalando longitudes de 1 byte cada 125

µs (timeslot), contando la cabecera que delimita el inicio de cada slot de la trama asociado a cada canal, que se utiliza para identificar el número de cada canal, el tipo de contenido que transporta y para sincronizar cada canal con el multiplexor receptor (información de señalización). Hay que destacar que tanto las tramas tributarias como las agregadas se repiten periódicamente 8000 veces por segundo.

Las tramas se transmiten por pulsos (ráfagas) o de manera continua en el tiempo a una determinada frecuencia (la línea de trasmisión es dinámica, respondiendo a tasa de transferencia que requiere o negocia previamente el usuario). El periodo de cada trama indica el tamaño que ha de tener el buffer del multiplexor receptor (ha de tener suficiente capacidad para adecuarse al flujo de transmisión demandado por el usuario actual y por las siguientes conexiones).

4.3.3 Trama SDH

La cabecera (overhead) de las tramas síncronas SDH tienen suficiente capacidad para agrupar canales con funciones de supervisión, monitorización, gestión, mantenimiento y operación de la red de transporte.

La trama SDH puede contener señales PDH, señales de la red ATM (celdas) o de redes IP (datagramas), con lo cual la tecnología SDH ha de asignar o mapear estas señales encapsuladas en las tramas de transporte SDH de mayor tamaño, para que por medio de esta trama se transmitan por las demás redes hacia su destino, en el cual, se desempaquetan y se interpretan las tramas insertadas de protocolos inferiores. Por eso, las señales tributarias SDH también se conocen como contenedores virtuales.

Así, el inicio de la trama tributaria, está definida por el puntero, que es un número que indica en qué posición del espacio de carga (unidad tributaria) se inicia el contenedor virtual, en donde se almacena el tráfico de distintos tipos y señales de jerarquías de multiplexación de menor orden.

Una vez, se han procesado las señales tributarias (contenedores virtuales) en el ADM multiplexador/transductor de primer orden, se obtiene el módulo básico de transporte STM-1 (Synchronous Transport Module of 1st order), que es la trama agregada de 155,520 Mbps. A partir de la multiplexación de tributarios STM-1, se consiguen agregados de jerarquía superior (por ejemplo a partir de 4 tramas STM-1 obtenemos la trama STM-4 de 622,08 Mbps, y a partir de 4 tributarios de esta última se consigue la trama STM-16 de 2,48832 Gbps y así sucesivamente).

La trama STM-1 tiene una estructura de 9 bloques de 270 bytes. Los 9 primeros bytes corresponden a la cabecera y los restantes 261 bytes corresponden a la carga útil.

Trama **STM-1**: 2430 bytes (125 µs)
RSOH (Regenerator Section Overhead): 27 bytes
MSOH (Multiplexer Section Overhead): 45 bytes
Área de carga útil: 2358 bytes

Figura 2

Como se muestra en la *figura 2*, dentro de la cabecera SDH se encuentran los siguientes campos:

- RSOH: cabecera de sección de multiplexación. Contiene la señal de alineación de trama, etiquetas, información de gestión, supervisión de errores de la señal de línea STM-1 y canales de servicio.
- Área de punteros: la cuarta línea de 9 bytes es el área de punteros, en la que se encuentran:

1. El puntero que está situado en la posición 0 del primer byte del área de carga útil AU-N (unidad tributaria de orden N) y permite localizar el inicio del VC-N (contenedor virtual de orden N) que se alinea dentro del área de carga en la trama de transporte STM-1. Esta trama tiene una AU-4 que transporta un VC-4.
2. Los punteros que permiten localizar las RSOH (cabecera de sección de regeneradores).

- MSOH: cabecera de sección de multiplexación que contiene información de supervisión de errores de los nodos de red, canales de control de conmutación y servicios, y canales reservados para el futuro.

4.3.4 ADM (Add and Drop Multiplexers)

Los equipos multiplexores son equipos de capa 1 (no interpretan el contenido de las tramas) con funciones de generación, interpretación, conmutación, inserción y extracción, así tienen la capacidad de extraer o insertar señales tributarias plesíncronas o síncronas de cualquiera de las dos señales agregadas STM-N que reciben (una en cada sentido de transmisión). Por lo tanto, los ADM están formados por uno o más transceptores en cada lado (transmisor y receptor) que por medio de una matriz temporal de conmutación pueden copiar las señales tributarias de una ruta de entrada hacia la ruta de salida, o a la inversa, ya que son bidireccionales.

El proceso de conmutación se realiza copiando todos los bytes conforme van llegando de la trama síncrona STM-1 de entrada, por la línea de salida correspondiente, aunque los bytes del campo de carga (unidad tributaria) no se conmutan necesariamente siguiendo el sincronismo que marca el reloj local del ADM, ya que gracias al valor del puntero de la unidad tributaria (el valor se conoce una vez se realiza el alineamiento de trama) se puede encontrar a qué distancia del inicio del área de carga (posición 0), se encuentra el primer byte del contenedor virtual.

Los ADM tienen la capacidad de extraer, de las señales tributarias o agregadas de entrada de jerarquía superior (STM-4, STM-16,…) tributarios STM-1 para realizar directamente la multiplexación síncrona en el mismo ADM, sin tener que pasar por ADM intermedios para ir realizando multiplexaciones de agregados múltiplos situados en línea. De esta manera se puede multiplexar en el mismo ADM, una agregado STM-64 mediante la multiplexación de 64 tributarios STM-1. Además el ADM puede acceder a los VC (contenedores virtuales) de la señal agregada, sin demultiplexar la señal completa STM-N.

Por ejemplo, si tenemos un ADM STM-4 y queremos añadir y extraer un VC-4, el ADM recibirá la señal agregada STM-4 (con al menos un STM-1 estructurado en VC-4), e internamente la demultiplexará en unidades tributarias AU-4 para extraer los VC-4 necesarios y insertar nuevos VC-4 en la señal agregada STM-4 saliente.

El modo de trabajar de los ADM consiste en intercalar los bytes de las N señales STM-1 y tratarlas como procesos locales en donde todas las señales que se multiplexan están en fase y por tanto responden al mismo reloj del ADM, el cual introduce una referencia de sincronismo local en la cabecera de la trama, y las transmite a una velocidad nominal N veces más alta, para que el nodo receptor extraiga la referencia de sincronismo que ha

generado el nodo transmisor y la utilice ahora como su referencia de sincronismo cuando adquiera el papel de transmisor.

El ADM **TransXpress SL64** tiene por lo menos dos interfaces ópticas (STM-1/4/16), una para ruta Este y otra para la ruta Oeste, además de varias interfaces tributarias eléctricas (de 2 Mbps hasta 140 Mbps y STM-1).

4.3.5 Compatibilidad con PDH

Esta tecnología tiene mayor ancho de banda que PDH y por ello puede transportar tramas PDH, cuya trama primaria E1 es de 2 Mb/s (30 canales de 64 Kbps para datos y 2 canales de 32 Kbps para señalización) que se obtiene de multiplexar estos 30 canales de voz de 64 Kb/s (velocidad de transmisión resultante de realizar el muestreo de la señal analógica para digitalizarla (a una frecuencia de muestreo de 8Khz, cogiendo 8 bits/muestra en un período de tiempo de 125 µs), es decir, se realiza la modulación por impulsos codificados (PCM).

Así pues, los 30 canales de datos de entrada al multiplexor, que forman la señal binaria agregada de 2048 Kbps, son 30 conexiones síncronas diferentes.

Como ejemplo de tramas síncronas PDH que pueden transmitirse encapsuladas en tramas SDH, describiré la trama E1, ya que a partir de la multiplexación de tributarios E1 se pueden formar todos los agregados de orden superior (E2 de 8,4 Mbps, E3 de 34,3 Mbps,..).

- <u>Trama primaria E1</u>

El primer timeslot o byte de la cabecera de la trama E1, se usa para transportar la señal de alineación de trama (FAS – Frame Alignment Signal) en las tramas pares y contiene la secuencia o palabra binaria Sj0011011 (el primer bit Sj indica el cálculo del código de redundancia cíclica CRC-4 o está reservado para uso internacional). Esta trama se transmite cada dos tramas (2*125 µs/trama=250 µs).

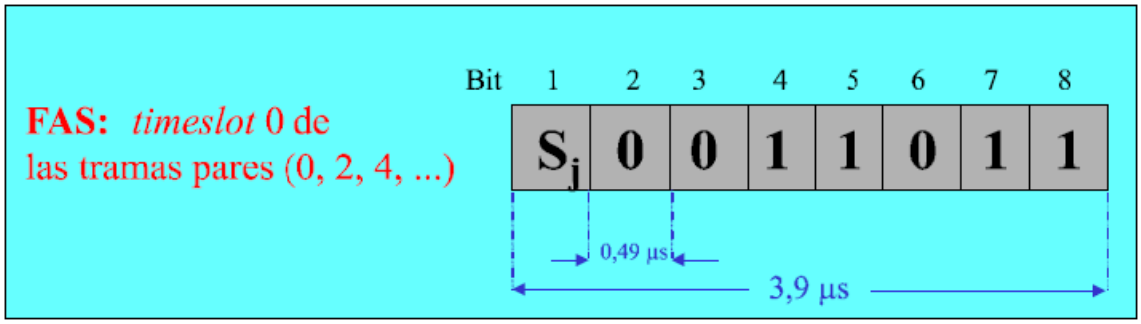

Figura 3

En las tramas impares, se transmite la NFAS (Not Frame Alignment Signal) que contiene información de servicio. Explicaré los bits más significativos:

1er bit (Sj): reservado para uso nacional o para cálculo del algoritmo CRC.

2er bit: indica si tiene valor 1, que el multiplexor receptor no pueda simular el byte de alineamiento de trama, con lo que posibilita que el receptor pueda sincronizar su reloj interno con el multiplexor emisor, ya que recibe el byte FAS correctamente.

3er bit (A): indica la alarma remota (si el bit A=0 la alarma está desactivada, y si A=1 existe alarma por diferentes causas como error en la recepción de la trama E1, error de alineamiento de trama, fallo de alimentación,…

Bit Sa_4: se utiliza para aplicaciones punto a punto específicas, indica información de mantenimiento, operación y monitorización sobre la calidad del enlace.

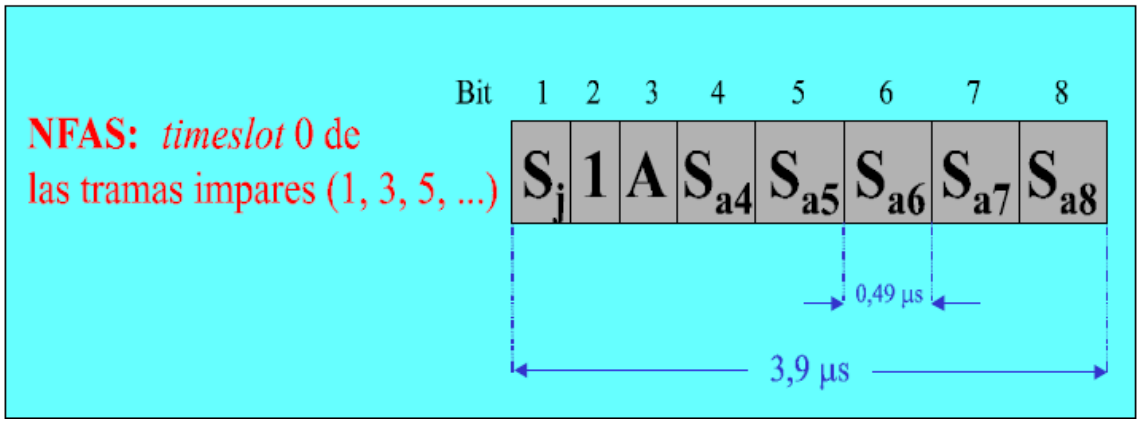

Figura 4

4.4. Red de Conmutación ATM

La red de Conmutación ATM está formada por switches **Ethernet OPCOM3100-155** y routers/switch **Cisco Catalyst 8540**. La función principal de estos nodos es la de conmutar, por un lado, las tramas que provienen de la red de Acceso (router **CMTS uBR711-E**), y por otro lado, los paquetes que llegan a los switches **Ethernet OPCOM3100-155** desde el firewall que protege la red Corporativa y la red DMZ. Ver esquema general de la red WAN (*figura 1*).

Seguidamente explicaré las ventajas de la red ATM y el porqué se ha implantado esta tecnología en la red de Conmutación.

4.4.1 Red ATM

- Ventajas

Los routers y switches escogidos, soportan el modo de transferencia asíncrona (ATM), que es una tecnología de conmutación y multiplexación de alta velocidad para la transmisión de aplicaciones que gestionan un gran volumen de datos ya que esta red opera con celdas que contienen poca información y son de longitud fija (53 bytes= 48 de longitud + 5 de cabecera).

Esta tecnología se basa en circuitos orientados a conexión pero con la diferencia que se establece un canal físico para la transmisión de celdas entre los dos extremos de la conexión pero sin reservar recursos y se destruye cuando esta finaliza (por eso se llama canal virtual), por tanto, el ancho de banda es dinámico y el canal no es dedicado.

En cada conexión ATM, se multiplexan canales virtuales lógicos sobre caminos virtuales establecidos entre los extremos, por eso, en la cabecera de cada celda se almacena el identificador del camino virtual (VPI) y el del canal al que pertenece (VCI), para que cada router intermedio, en base a una tabla de conmutación, asocie estos dos identificadores entrantes con su correspondiente interface de salida, de forma que el VCI es siempre el mismo, mientras que el VPI cambia en función del cual sea el puerto de salida, pues tendrá su propio identificador VPI.

Estos routers intermedios no toman decisiones de encaminamiento IP aunque si realizan corrección de errores de los bytes de cabecera de cada celda, ya que la modificación de un solo byte produciría perdidas de celdas al no saber cuál es el camino o interface de salida por la que deben de ser conmutadas (el campo de información o payload consta

de los 48 bytes restantes que no están sometidos a ningún tipo de control de errores en esta capa 2, de enlace de datos, del protocolo ATM).

Además tiene la ventaja de que como se establece la ruta a seguir antes de establecer la transferencia de datos y las celdas se entregan ordenadamente al destino, en la cabecera no se especifica la IP origen, la IP destino y el número de secuencia de cada celda como sucede en las redes de conmutación de paquetes, sino que éstos se añaden posteriormente en cada extremo del enlace virtual.

Como la red ATM transmite utilizando celdas, los buffers o colas de espera de los nodos no se saturan, dando lugar a una conmutación muy rápida ya que es la propia circuitería del router/switch quien la realiza, con lo que se aprovecha el ancho de banda disponible y se aumenta la velocidad de transferencia en cada nodo de la red, y consecuentemente también, se reduce el retardo o jitter.

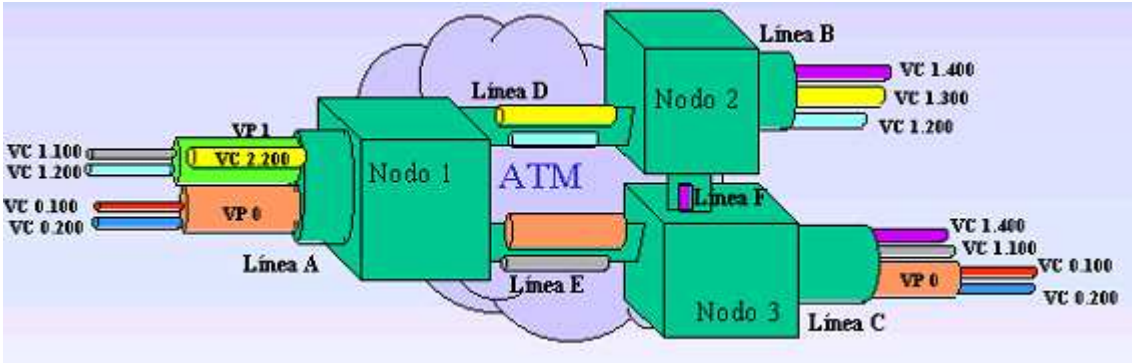

Figura 5

- <u>Cabecera de la Celda</u>

Después de explicar las ventajas más destacables, comentaré el formato del campo de cabecera de las celdas ATM. Este está compuesto por los siguientes bytes más significativos:

- **VCI** (2 byte): identificador del canal virtual (asignado dinámicamente cuando cada nodo ATM realiza una petición de conexión local a otro nodo ATM). Cuando la conexión finaliza, estos identificadores son liberados y pueden ser usados por otras conexiones.

- **VPI** (1 byte): identificador del camino virtual (conexiones estáticas) entre los nodos ATM.

- **PTI** (3 bits): identifica el tipo de datos (el bit 3 se utiliza para diferenciar las celdas de datos del usuario de las de control (OAM - operación y mantenimiento), el bit 2 indica

si existe congestión, y el bit 1, indica que la información se transmite de forma transparente entre enlaces extremo a extremo).

- **CLP** (Prioridad de pérdida de Celda): indica la prioridad de cada celda a la hora de descartar celdas cuando existe congestión, dependiendo de la QoS (Calidad de servicio) aplicada al solicitar una conexión que se mantiene durante toda la conexión VPI.

- **HEC** (1 byte): controla los errores de la cabecera.

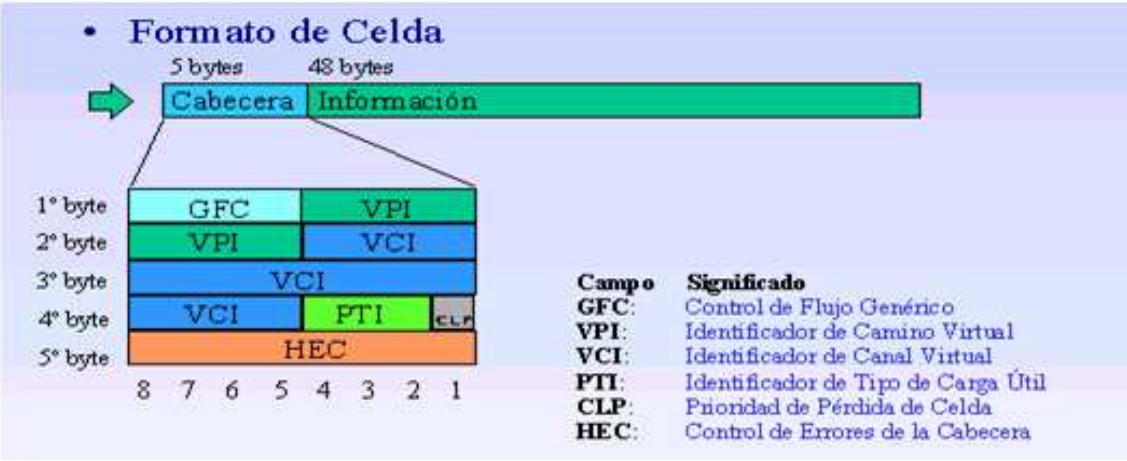

Figura 6

Los organismos de estandarización han definido dos tipos de cabeceras (en la red WAN que de definido se utilizan ambas):

UNI (User to Network Interface): interface entre el equipo del cliente y la red WAN ATM.

NNI (Network to Network Interface): define la interface entre todos los nodos de la red o entre redes ATM.

- <u>Capa de adaptación AAL</u>

AAL (ATM Adaptation Layer) es la capa 3 del protocolo ATM que realiza la adaptación de las celdas de la capa ATM (capa 2) a los protocolos de capas superiores, y viceversa, entre los switches/routers de cada uno de los extremos del circuito.

Esta capa se divide en 2 subcapas:

- **Capa de convergencia (CS)**: calcula los valores que debe almacenar la cabecera y el campo de información de usuario (payload), que depende de la clase de datos que van a ser transportados. Se encarga de controlar los errores, calculando el byte HEC

(a partir de los 4 primeros bytes de la cabecera), y mantener el sincronismo entre el reloj de las interfaces UNI y NNI, entre ellas, o con el reloj atómico común de referencia de la red.

- **Capa de segmentación y reensamblado (SAR)**: por un lado, segmenta los datos que provienen de capas superiores para adaptarlos a las celdas en el router emisor, y por otro lado, reensambla las celdas en unidades de datos de mayor longitud (paquetes) en el router receptor, agregando la cabecera IP para que puedan ser tratados por los protocolos de capas superiores.

- Clases de servicio

La información transportada por la capa de adaptación ALL se divide en 4 clases, dependiendo de si la información es síncrona o asíncrona, de si la tasa de bit es constante o variable y del modo de conexión. Estas son:

- **Clase A:** está orientada a conexión y proporciona un servicio con tasa de bit constante, existe una temporización relacionada entre los usuarios origen y destino.

- **Clase B:** está orientada a conexión y proporciona un servicio con tasa de bit variable. Es adecuada para aplicaciones en tiempo real que necesitan sincronismo pero en las cuales no hace falta una velocidad de transferencia constante.

- **Clase C:** está orientada a conexión y proporciona un servicio con tasa de bit variable, pero no depende del tiempo, por tanto, permite transmisiones en donde no importa el retardo.

- **Clase D**: a diferencia de la clase C, esta clase no está orientada a conexión.

- Servicios de nivel AAL

Se distinguen 5 niveles de adaptación:

- **AAL1:** se usa para transferir una tasa de bits constante CBR (Constant Bit Rate) por tanto depende del tiempo. Gracias al tamaño fijo y la longitud pequeña (53 bytes) de cada celda, se utiliza esta capa para aplicaciones que requieren un tiempo de latencia muy bajo y una conmutación muy rápida (por hardware), en donde además, la pérdida de celdas no es crítica para degradar la calidad del servicio. Por ello, esta capa realiza solamente detección de errores. Lo que influye negativamente son los retardos variables o jitter.

Esta capa emula un circuito conmutado, ya que para hacer una llamada primero se debe enviar una petición para establecer la conexión y definir un camino único por el que las celdas se transmitirán en orden (aunque no garantiza fiabilidad en la entrega).

- **AAL2**: se usa para transferir datos de bits variables (VBR) que dependen del tiempo, es decir, se sincronizan los relojes entre el emisor y el receptor. Como las celdas se transmiten con una tasa de bits variable, puede suceder que el campo de payload no se complete (dando lugar a diferentes tamaños de celdas), por esta razón, AAL2 permite que se multiplexen celdas de diferentes fuentes de transmisión, de bajo ancho de banda, en una sola celda ATM, de esta manera el retardo disminuye considerablemente.

Se usa para aplicaciones que no sean sensibles al retardo y que no requieran un ancho de banda constante ya que se transmiten a ráfagas (transmisión a baja velocidad durante cortos intervalos de tiempo). Realiza detección y recuperación de errores.

- **AAL3**: se usa para transferir datos de bits variables que son independientes del tiempo en circuitos orientados a conexión. Puede operar de los siguientes modos:

1. Fiable: control de flujo de datos (garantiza las retransmisiones por pérdida o entrega errónea). Propio de conexiones punto a punto.
2. No fiable: el control de flujo es opcional y la recuperación de errores se delega a las capas superiores del protocolo. Propio de conexiones punto – multipunto.

- **AAL4:** opera en modo sin conexión, es decir, no necesita que se establezca una conexión con el extremo remoto para realizar la transferencia de datos. Por lo restante es similar al nivel ALL3 y se suelen combinar.
- **AAL5:** es parecido al nivel ALL3/4, pero con la diferencia que la cabecera es de menor tamaño en cada celda y mejora la detección de errores. Puede operar en modo mensaje o en modo streaming.

- <u>Parámetros de QoS (Quality of Service)</u>

Los servicios descritos anteriormente, pueden ser configurados por el usuario en cada comunicación, permitiendo adaptar la red ATM a las necesidades que tenga el usuario en cada momento. Así el usuario puede caracterizar o marcar el tráfico mediante los parámetros QoS siguientes, especificados por la asociación ATM Fórum:

- **PCR** (Peak Cell Rate): pico de tasa de celdas. Número máximo de celdas por segundo que la conexión puede transferir dentro de la red. Esta velocidad se pone al valor de la máxima velocidad de la línea.

- **SCR** (Sustained Cell Rate): velocidad mediana sostenida. Número promedio de celdas por segundo que una conexión puede transferir dentro de una red.

- **MCR** (Minimum Cell Rate): es la menor velocidad de transferencia de celdas que la red debe garantizar.

- **BT** (Burst Tolerance): período máximo de tiempo que el usuario puede transferir a una velocidad máxima de celdas.

- **SCR** (Sustained Cell Rate): número promedio de celdas por segundo que una conexión puede transferir dentro de una red.

- **MBS (**Maximum Burst Size): tamaño máximo de ráfaga. Indica el número máximo de células que en una conexión ATM se pueden enviar a velocidad de pico (PCR).

- **CTD** (Cell Transfer Delay): retardo que sufren las celdas al usar una determinada conexión extremo a extremo de la red.

- **CLR** (Cell Loss Ratio**)**: es el porcentaje permisible de celdas que la conexión puede perder en la red, de extremo a extremo.

- **CDV** (Cell Delay Variation): variación del retardo de celda (entre los tiempos de llegada de cada celda. El multiplexaje de celdas puede introducir retardos variables en el tren de celdas, tanto en los equipos del usuario o en la red, haciendo necesaria la medición de este parámetro que lo especifica la red, no el usuario).

- **CDVT** (Cell Delay Variation Tolerance): representa el valor máximo de variación de retardo de celdas permitido en una conexión.

Estos parámetros especifican la calidad del servicio que se espera de la red ATM. La red propaga esa petición internamente hasta su destino y valida si los requerimientos exigidos se van a poder cumplir. En caso afirmativo, la red acepta el circuito y, a partir de ese momento, garantiza que el tráfico se va a tratar según las condiciones negociadas en el establecimiento. Por tanto, la red ATM tiene la suficiente flexibilidad para poder implementar sobre un número ilimitado de conexiones o aplicaciones de usuario.

- Clases de tráfico

Se distinguen las siguientes clases de tráfico:

- **CBR** (Constant Bit Rate): asociado a la clase A (circuito virtual con un ancho de banda fijo), en donde el retardo es pequeño y la pérdida de celdas no tiene gran importancia.

- **VBR** (Variable Bit Rate): representa un circuito virtual con un ancho de banda de transmisión variable. Puede configurarse como VBR-RT (Real time), asociado a la clase B, o como VBR-NRT (No real time), asociado a la clase C.

- **UBR** (Undefined Bit Rate): servicio diseñado para aplicaciones que no son en tiempo real y que no necesitan QoS (calidad de servicio). Pemite el envío de cualquier cantidad de datos hasta un máximo especificado por la red, pero no ofrece garantías en términos de pérdida y retraso de celdas. Asociado a la clase C.

- **ABR** (Available Bit Rate): utilizado para maximizar el uso del ancho de banda del enlace ATM a través del uso de notificaciones de congestión (celdas OAM). Tanto PCR como MCR especifican la conexión ABR, de forma que la velocidad siempre estará entre los valores de la velocidad mínima (MCR) y la velocidad de pico especificada por el usuario (PCR). Asociado a la clase C. Llegado a este punto, adjunto la tabla comparativa:

Clase se Servicio	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
Servicios	Voz, video en tiempo real	video, voz, MPEG-2	Datos (tráfico ATM, FR.)	Datos (tráficoSMDS o IP)
Timing (origen-destino)	Tiempo constante		no requerida	
Velocidad de transmisión	Constante	Variable		
Modo de conexión	Orientado a conexión			No orientado a conexión
Tipo ALL	ALL 1	ALL 2	ALL 3/4, ALL 5	

Figura 7

Resumiendo, la arquitectura ATM ofrece servicios basados en la entrega directa de las celdas ATM y otros tipos de servicios que son encapsulados en paquetes IP por las capas superiores de este protocolo pero que son transportados igualmente por la capa ATM mediante celdas.

La capa física ATM especifica los medios de transmisión y las velocidades de interface asociadas. Los switch/routers ATM escogidos (**Cisco Catalyst 8540** y **Ethernet OPCOM3100-155**), están equipados con interfaces eléctricas (recomendación G.703) y ópticas (recomendación G.957. En las interfaces ópticas se realiza la conversión electro-óptica) para transmitir tramas mediante enlaces de fibra óptica (2 fibras monomodo, una para cada sentido), hacia la red troncal SDH (Jerarquía Digital Síncrona) utilizando la interface STM-1 (OC-3 en la red SONET).

La interface eléctrica se utiliza para establecer el enlace punto a punto con la red Lan Corporativa, mediante cable STP o cable coaxial (uno para cada dirección) estableciendo también una velocidad de interface de STM-1 (ver *figura 1*).

Añado la tabla que recoge el estándar americano SONET (Synchronous Optical Network) y su equivalencia internacional SDH (Synchronous Digital Hierarchy), para la transmisión de datos por fibra óptica entre la red ATM y la red síncrona SDH.

SEÑALES Y VELOCIDADES BINARIAS SONET			
Señal eléctrica	**Portadora óptica**	**Velocidad binaria (Mbps)**	**Equivalencia SDH**
STS-1	OC-1	51,84	
STS-3	OC-3	155,52	**STM-1**
STS-9	OC-9	466,56	
STS-12	OC-12	622,08	**STM-4**
STS-18	OC-18	933,12	
STS-24	OC-24	1244,16	
STS-36	OC-36	1866,24	
STS-48	OC-48	2488,32	**STM-16**
STS-96	OC-96	4976,64	
STS-192	OC-192	9953,28	**STM-64**
STS-256	OC-256	13271,04	
STS-384	OC-384	19906,56	
STS-768	OC-768	39813,12	**STM-256**

Figura 8

4.4.2 Protocolo de enrutamiento MPLS

El núcleo de routers/switches ATM, que forman una estructura con topología de malla de fibra óptica para proporcionar redundancia entre todos sus enlaces y escalabilidad al mismo tiempo, utilizan el protocolo de enrutamiento MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) para el transporte de datos, voz y video configurando una calidad de servicio (QoS) para cada uno de ellos, sobre múltiples protocolos en enlaces punto a punto.

Los routers MPLS, conocidos con el nombre LSR (Label Switching Router), conmutan los paquetes IP etiquetados, de forma que se establece un camino a seguir dentro de la red MPLS orientado a conexión, que recibe el nombre de LSP (Label Switched Paths). Entre de la cabecera de nivel 2 y 3 del paquete IP se añaden etiquetas, que se puede utilizar tanto en circuitos virtuales conmutados de capa 2 donde se establece la conexión mediante los identificadores VPI/VCI (red ATM) como en circuitos de enrutamiento IP de nivel 3, no orientado a conexión.

Etiquetado de la cabecera de una celda ATM y de un paquete IP.

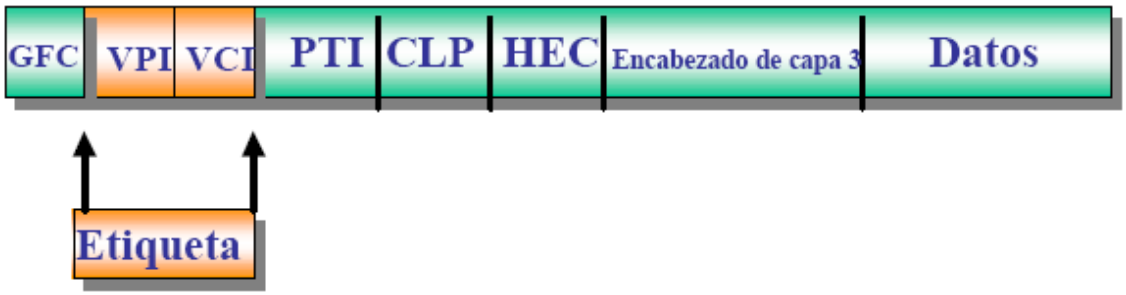

Figura 9

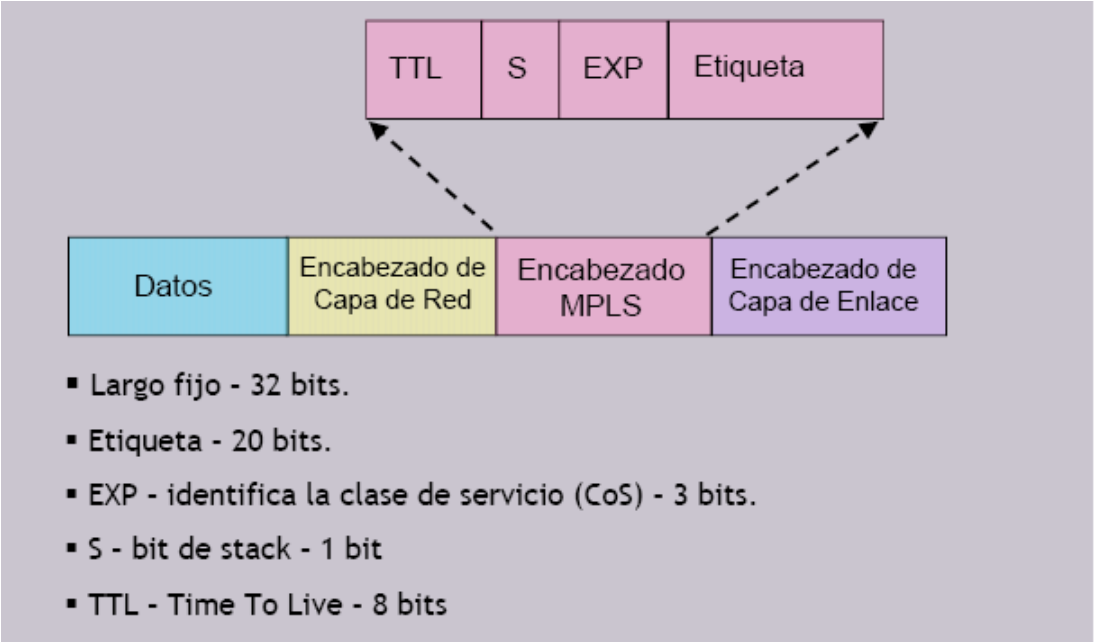

Figura 10

Las etiquetas ayudan a encaminar y conmutar el paquete según la etiqueta que transporte ya que está asociada a una ruta MPLS, de forma que no hace falta calcular las rutas de la tabla de enrutamiento IP para saber cuál es el mejor camino hacia al destino.
Se utiliza el protocolo LDP (Label Distribution Protocol) para redistribuir las etiquetas (tabla de mapeo o enrutamiento MPLS) a través de sesiones TCP entre los routers MPLS para se puedan mapear las etiquetas de las entradas con las de sus respectivas salidas cuando entran o salen de la interface del router, posibilitando que los paquetes con las mismas características sean reenviados automáticamente hacia el destino por la interface que le corresponde encapsulándolos con la correspondiente etiqueta de salida. Por tanto, las etiquetas son diferentes en el siguiente salto o router de tránsito de cada enlace, y el router las utiliza para identificar el LSP y reenviar los paquetes por la interface adecuada para seguir el LSP marcado en la etiqueta.
El router de entrada a la red MPLS es el único que ha de hacer funciones de enrutamiento ya que tiene que decidir que etiqueta coloca en cada paquete (los paquetes con la misma etiqueta se les llama FEC – Forwarding Equivalent Class), según la IP de destino a alcanzar, para de esta manera seleccionar y decidir que ruta LSP seguirá.
El router de salida de la red MPLS omitirá las etiquetas, y conmutara los paquetes IP hacia la red LAN Corporativa y la red HFC, según el destino de la comunicación, consultando ahora solamente la tabla de enrutamiento IP.
Así pues, he seleccionado este protocolo de enrutamiento porque converge con todas las redes definidas en el esquema general de la *figura 1*, además ofrece las siguientes ventajas:
- Soporta VLSM (máscaras de subred de tamaño variable).
- Se pueden crear VPN (redes privadas virtuales) a través de enlaces troncales (backbone) sin encriptación.
- Utiliza QoS tanto en la red IP como en la red ATM y permite conjuntar las dos redes.
- Permite una conmutación más rápida en comparación con las redes IP, ya que los routers no han de calcular cada vez que llega un paquete, su cabecera IP y tampoco calcular la mejor ruta en tabla de enrutamiento, sino que basándose en la etiqueta de entrada ya sabe por cual interface ha de conmutar el paquete, incorporando una nueva etiqueta de salida en su cabecera para que sea interpretada por el siguiente router intermedio.
- Ingeniería de tráfico: ya que los paquetes agregan la etiqueta en el router de entrada a la red MPLS, cada clase de tráfico multimedia puede encaminarse por una LSP

determinada según su rendimiento. Además puede enrutarse el tráfico de datos a través de un camino de menor prioridad, y enrutar el tráfico más sensible al retardo por otro enlace de más prioridad. Permite, entonces, enrutar los paquetes etiquetados según cuál sea la interface de destino (balanceo de carga) y optimizar el ancho de banda ya que permite la asignación dinámica del ancho de banda por parte de los clientes dependiendo de la clase de tráfico que se aplique en cada paquete. El ancho de banda se reserva por un período de tiempo específico en todos los enlaces de la LSP.

- Como es un protocolo orientado a conexión es más fiable (tolerancia a fallos y retransmisiones).

4.5. Red de Acceso HFC

4.5.1 Topología de la red HFC

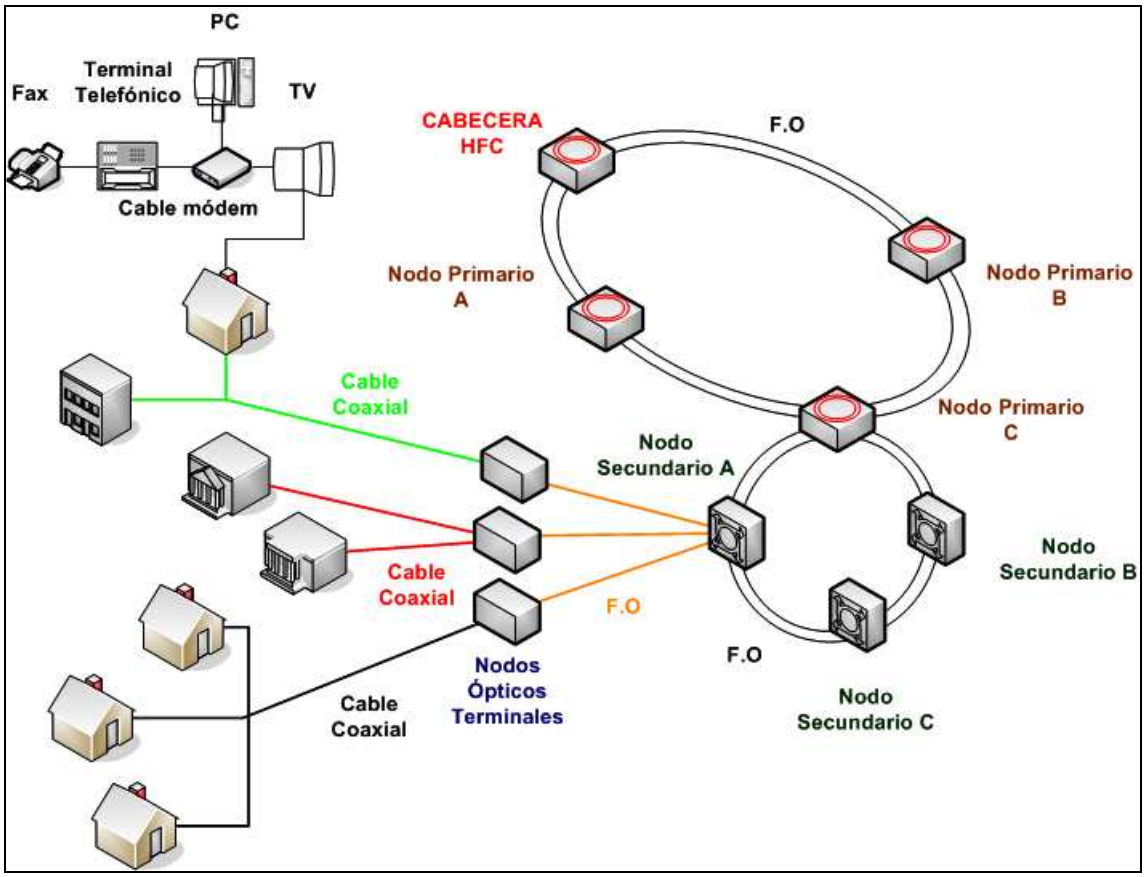

Figura 11

4.5.2 Dispositivos de la red HFC

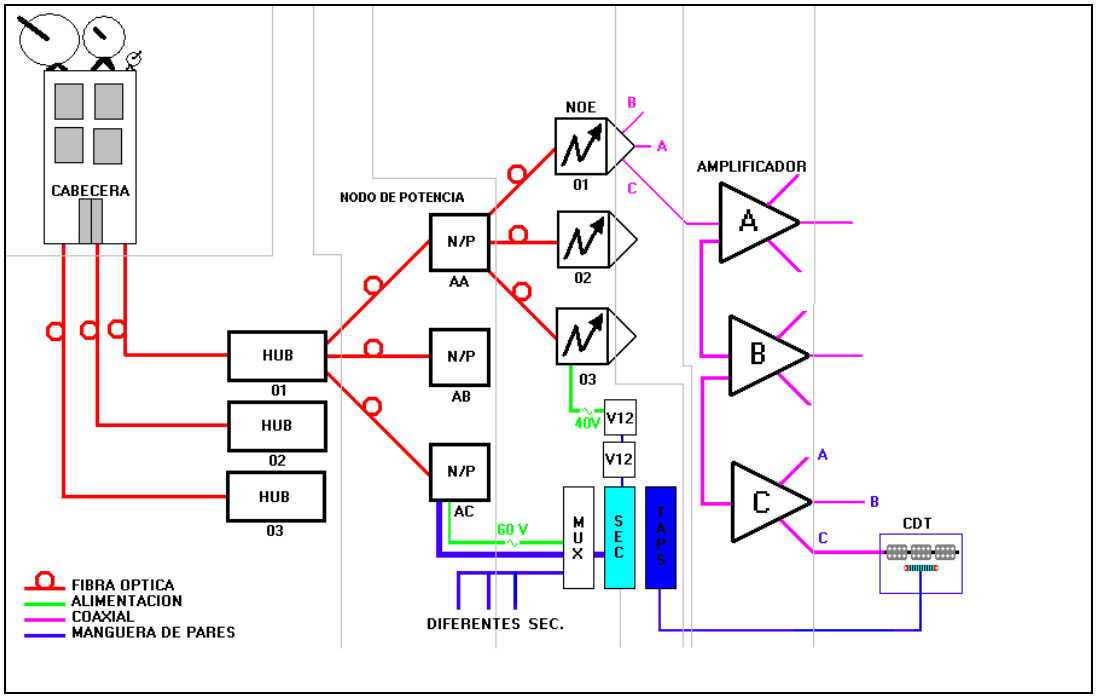

Figura 12

En la *Figura 12* podemos observar el esquema de la red HFC, que dentro de la red WAN, se entiende como la red de Acceso que distribuye la señal de los servicios contratados (Internet, TV y Telefonía) directamente a los abonados de la red. A continuación realizo una descripción breve de los equipos que intervienen.

- Dispositivos figura 12

- **Hub**: repetidor o concentrador óptico de la red troncal HFC, que reparte la señal por todos sus puertos hacia los nodos ópticos.
- **N/P**: nodos de potencia (nodos ópticos de la red troncal).
- **NOE**: Nodos ópticos-eléctricos de la red secundaria.
- **MUX**: multiplexor óptico de la red secundaria. Desde este, salen 2 mangueras de par de cobre hacia los repartidores secundarios (SEC). Al multiplexor también pueden llegar mangueras de pares de otros repartidores secundarios (*figura 11*).
- **SEC**: repartidor de telefonía de la red secundaria. Distribuye, en este caso, 4 mangueras de 100 pares hacia las CDT.
- **CDT**: caja de distribución de taps (derivadores que se conectan al bajante de cada cliente).

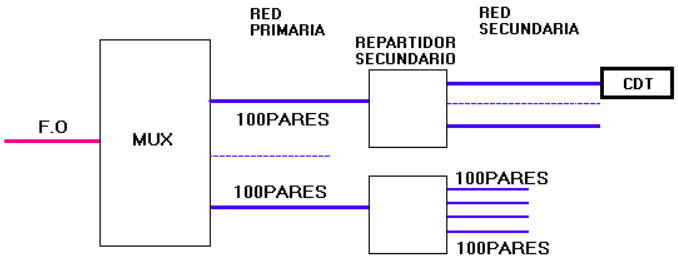

Figura 13

En el esquema de la topología de la red HFC (*figura 12*) se representa la Red Primaria (formado por los N/P, nodos ópticos, del primer anillo doble de fibra óptica) que distribuye la señal óptica a la Red Secundaria (2º anillo de fibra con sus respectivos nodos óptico-eléctricos o NOE) que, a su vez, distribuye la señal hacia los clientes de un núcleo urbano. Es importante comentar que tanto la Red Primaria y Secundaria se componen de solo un anillo doble de fibra, aunque esta topología puede adaptarse a cambios de escalabilidad para ampliar su envergadura a varias ciudades, si los nodos correspondientes a cada una de estas redes conmutasen con otros anillos de fibra óptica.

4.5.3 Cabecera (Head-End)

La Cabecera es el nodo central, en donde se procesan todas las señales RF que se adquieren distribuir por la red HFC. En este centro neurálgico, es donde se realiza la gestión, el control y la tarificación de todos los servicios, además de la monitorización de toda la red.

La señal analógica de RF es captada por los sistemas de recepción de señales terrestres, de satélites de televisión, de enlaces de microondas, de enlaces directos con otras cabeceras de TV.

Los satélites de televisión (Astra, Intelsat, Paksat,…) están situados en la órbita geoestacionaria (a 35786 Km de la Tierra). Proporcionan cobertura al área geográfica donde se ubica la central emisora y la cabecera receptora de TV de la red HFC. Estos satélites cumplen con la función de amplificar, modular y multiplexar las señales entrantes (programas de TV) para reenviarlas en banda base hacia el modulador de la cabecera de TV que lo modula a su frecuencia correspondiente dentro del espectro de radiofrecuencia RF. Antes de modular la señal, se puede obtener una señal digitalizada, muestreando la señal analógica, para retransmitir programas de TV o video bajo demanda (streaming) desde servidores de video.

En la cabecera de TV, también se encuentra un demodulador, conectado al modulador, para obtener la señal de audio y video en banda base que es conmutada hacia la entrada de un modulador para obtener a su salida canales de 6-8 Mhz de ancho de banda.

Un multiplexor óptico se encarga de recoger los canales que provienen de los sistemas de recepción de TV, del equipo central de datos (**Cisco uBR711-E**) y del nodo de acceso a la red telefónica, para combinarlos de forma simultánea por la línea de transmisión troncal de fibra óptica.

Para ofrecer servicio de datos, he seleccionado los siguientes equipos:

Router CMTS Cisco uBR711-E (Cable modem Termination System), equipado con un conversor óptico-eléctrico y con 2 puertos Ethernet (uno de recepción y otro de transmisión de tramas Ethernet) que proporciona acceso a los cable módems de los usuarios a la red HFC, por ser esta red un medio compartido entre todos los cable módems registrados i activos en el CMTS.

Igualmente se encarga de modular las tramas dentro de un canal, en la banda de frecuencias del espectro electromagnético (entre 42 Mhz y 860 Mhz), para transmitir-las en sentido descendente hacia los cable módems abarcando distancias de hasta 100 Km aproximadamente y ofreciendo un tráfico de datos de alta velocidad a unos 2000 cable

módems. A este router se le puede incorporar un módulo de puertos adicional en caso que la red HFC aumente en un futuro próximo.

- **Servidor AAA** (Autenticación, Autorización, Accounting): controla el acceso a la red HFC mediante la Autenticación de la cuenta de usuario. La Autorización determina los permisos otorgados a un usuario para poder acceder a un servicio concreto y Accounting mantiene un registro o logs de la sesión activa del usuario, registrando así toda su actividad.

El servidor AAA se conecta por el puerto FastEthernet 100BASE-TX con el switch Ethernet OPCOM3100-155.

Switch Ethernet OPCOM3100-155: este conmutador pertenece a la red de Conmutación y tiene configurados los siguientes puertos:

puerto Fa0/0: 100BASE-FX (FastEthernet sobre fibra óptica - Estándar 802.3u): puerto mediante el cual se comunica con el router **CMTS uBR711-E** (en este caso en la cabecera solo hay un router CMTS, aunque se podrían conectar más en cada puerto permitiendo la escalabilidad de la red HFC).

Puerto STM 1/0/1: se comunica con el ADM de la red de Transmisión. El equipo ADM es el TransXpress SL64. Por este puerto se transmite la trama STM-1 (155 Mbps).

En cuanto al servicio telefónico, en la cabecera se ubica el nodo de acceso a la red telefónica o central de conmutación, que recibe la señal mediante la interfaz V5.2. Esta señal será codificada y modulada en banda base y multiplexada en canales junto con los datos, aunque estos estarán modulados a una frecuencia portadora superior del espectro RF.

4.5.4 Red troncal o primaria

La cabecera inyecta con un láser las señales ópticas (que se propaga por el núcleo de la fibra óptica en forma de pulsos de luz) que se multiplexan en distintas longitudes de onda (DWDM -*Dense Wavelength Division Multiplexing*-) sin que existan interferencias entre ellas hacia los nodos primarios de la red troncal, con lo cual la capacidad de la fibra óptica aumenta ya que opera como si fueran varias fibras a la vez. Los nodos ópticos son transmisores y/o receptores ya que la comunicación en una red HFC es bidireccional. He utilizado el nodo óptico **LH NOR860T-4** que puede abastecer a unos 15.000 clientes.

Esta red es la que se encarga de transportar la señal hasta la red secundaria, mediante una estructura de anillo doble de fibra óptica monomodo, que une un conjunto de nodos ópticos primarios (aunque también podríamos encontrar enlaces punto a punto de fibra). En el esquema de la *figura 11* se han conectado hubs o repetidores ópticos intermedios entre la cabecera y los nodos ópticos primarios para repartir la señal entre estos. Se utiliza un anillo doble de fibra óptica redundante, ya que por el anillo principal se transporta la señal bidireccional, mientras que el secundario es solo un anillo de respaldo (backup), que ofrece tolerancia a fallos ya que el tráfico solo se conmutará a este en caso de que el anillo principal quede incomunicado (corte de servicio).
Los nodos ópticos bidireccionales integran los siguientes componentes ópticos:

- Multiplexor: con capacidad para extraer/insertar la señal.
- Switch 2x2: conmuta entre dos señales entrantes y entre los anillos.
- Acoplador 50/50: divisor de potencia (divide una señal óptica en dos señales iguales con la mitad de potencia).

4.5.5 Red Secundaria

La red secundaria está formada igualmente por otro anillo doble redundante de fibra óptica monomodo que une los nodos ópticos secundarios entre sí y éstos con la red troncal. La red secundaria comparte dos medios de transmisión, por un lado se utiliza la fibra óptica hasta llegar al amplificador óptico bidireccional, y por el otro extremo de este, se utiliza cable coaxial hasta llegar a la caja de derivación o tap.
Se han instalado los siguientes equipos en la red secundaria:
- **LH NOR860T-4:** nodo óptico que se utiliza también en la red troncal. En este caso, puede ofrecer servicio a 250 clientes aproximadamente.
- **Amplificador HCA ZM 65**: amplificador bidireccional con dos salidas auxiliares (utiliza el margen de frecuencias de entrada y salida de 85-862 Mhz, y en el canal de retorno de 5-65 Mhz).

Los amplificadores actúan como transductores, ya que transforman la naturaleza de la señal, adaptándola al medio de transmisión apropiado. En nuestro caso, si la comunicación se establece en sentido descendente, los amplificadores transformarán la señal óptica de entrada en señal eléctrica de salida, para adaptarla así al cable coaxial. Además ecualizan (regeneran la señal modulada a altas frecuencias por ser las que más atenúa el cable coaxial) y amplifican el señal (para compensar las pérdidas de

atenuación que introduce el cable coaxial y los restantes elementos pasivos de la red secundaria) para transmitirla usando una topología de bus (*ver figura 12*).

Si la comunicación se establece en sentido ascendente el proceso que se sigue es el inverso al explicado anteriormente.

4.5.6 Acometida o DROP

La acometida es la parte final de la red HFC que une la red secundaria con la red interior propia del domicilio del cliente en donde se ubica el decodificador de canales de TV y el demodulador o cable módem para los canales que encapsulan señal de datos y de voz. El principal dispositivo pasivo es el grupo de derivadores que se instala en el edificio de los usuarios, ya sea en el sótano o en la fachada. Para este fin he escogido la siguiente marca de derivadores:

- **Caja Raychem:** caja de derivadores o taps que distribuyen la señal eléctrica que proviene de los amplificadores de la red secundaria hacia los abonados. Es por tanto el nodo final de la red secundaria o PCR (punto de conexión de red) en donde se reparte la señal hacia el PTR (Punto terminal de red o acometida del cliente). Se van a utilizar derivadores con una salida directa para, distribuir la señal en cascada por cable coaxial RG-6 hacia todas las plantas del edificio, y con otras salidas laterales de derivación para distribuir la señal entre los usuarios de una misma planta.

4.5.7 Espectro de radiofrecuencia (RF)

El espectro de radiofrecuencia tiene un ancho de banda entre 86-860 Mhz, y se divide de forma asimétrica en 2 bandas de frecuencias para cada sentido de transmisión (sentido descendente y ascendente), según se utilice la normativa europea o americana, como se puede ver en la siguiente tabla:

Sentido transmisión	Europa (PAL, SECAM)	América (NTSC)	Relación S/N
Descendente	54-860 MHz	88-860 MHz	> 34 dB (típica 46 dB)

Ascendente	5-55 MHz	5-42 MHz	> 25 dB

Figura 14

- Canal de TV y datos

Las señales analógicas y digitales que emite la cabecera son moduladas a frecuencias portadoras del espectro descendente y se multiplexan formando un ancho de banda de 6-8 Mhz (dependiendo de la normativa aplicada en EEUU o Europa respectivamente), en el que se encapsulan las señales formando canales para ser transmitidos multiplexados por la misma línea de transmisión y poder así recuperarlos por separado al demultiplexarlos en recepción sin que se mezclen o interfieran entre ellos, evitando por lo tanto interferencias que degradan la señal.

Un canal de TV de 6-8 Mhz, contiene 3 señales portadoras diferentes. La portadora principal de vídeo es la que especifica la ubicación del canal dentro del espectro RF y contiene información sobre la potencia o amplitud de la imagen. En la siguiente *figura 15* podemos apreciar las diferentes portadoras de cada canal de TV y el desplazamiento en el dominio de frecuencia que existe entre ellas:

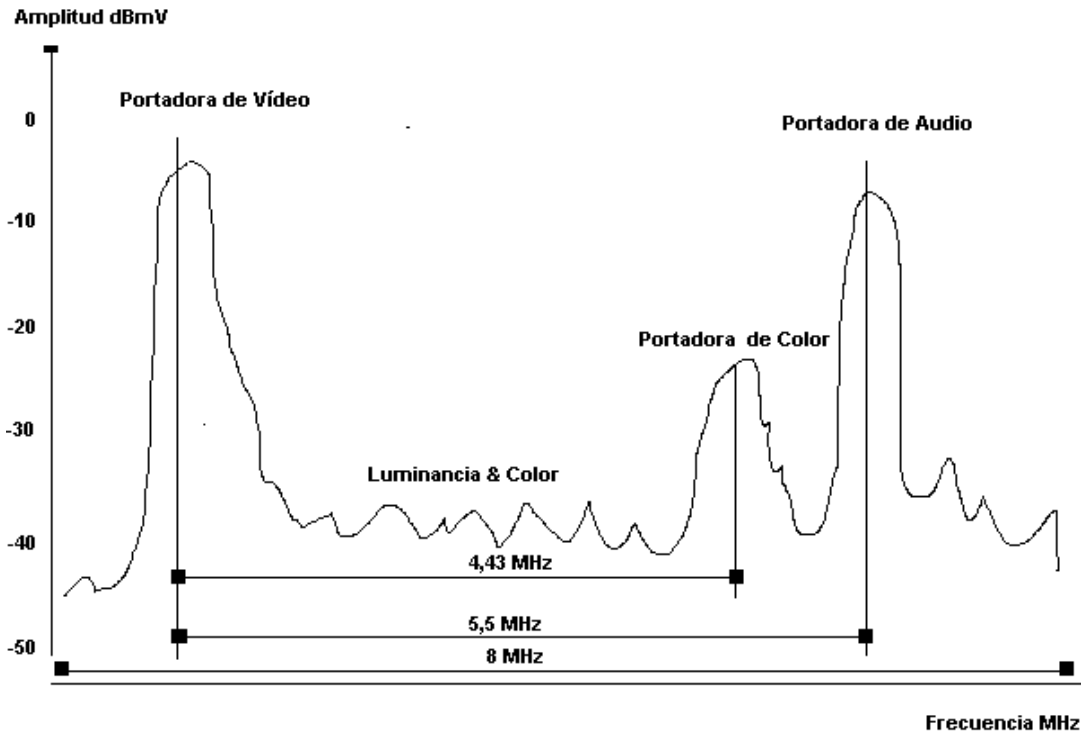

Figura 15

A continuación, se muestra en la *figura 16*, el espectro de radiofrecuencia (RF), dividido según el ancho de banda asignado a cada servicio (la banda entre los 87,5 - 108 Mhz está reservada a emisión de radio).

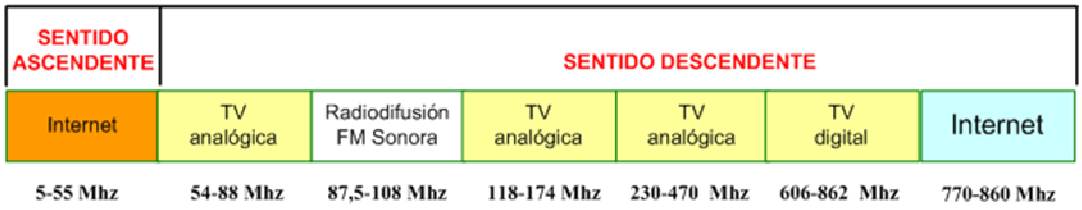

Figura 16

- <u>Canal descendente y de retorno</u>

La velocidad de transmisión en sentido descendente es superior ya que el espectro de frecuencias es mayor y el ancho de banda está destinado exclusivamente al router **CMTS uBR711-E** de cabecera, mientras que en el sentido de retorno es mucho menor pues los 37 Mhz del ancho de banda del espectro electromagnético (comprendido en la banda de bajas frecuencias, entre 5-42 Mhz), disminuye al repartirse entre todos los cable módems que transfieren datos al router CMTS (por lo que podemos decir que la comunicación bidireccional es asimétrica).

En este sentido, la señal analógica está expuesta a más interferencias debido al ingreso de ruido generado tanto por todos los equipos de la red secundaria como por los equipos de los clientes, que comparten el cable coaxial (topología de bus). Los canales de retorno son multiplexados en frecuencia (FDM) en los nodos ópticos para transmitirlos en diferentes bandas de frecuencias hacia la cabecera.

4.5.8 Modulación

En la siguiente *figura 17* observamos los posibles tipos de modulación utilizados en ambos sentidos descritos en la especificación DOCSIS 1.0 y 1.1, para un canal con un ancho de banda de 6 Mhz.

Tipo Modulación	Sentido de transmisión	Símbolos	Rango de frecuencias (Mhz)	BW (Mhz)	Velocidad TX (Mbps)
64 QAM	Descendente	6	88-860	6	30,34
256 QAM	Descendente	8	88-860	6	42,8
QPSK	Ascendente	2	5-42	0,2	0,32
				0,4	0,64
				0,8	1,28
				1,6	2,56
				3,2	5,12
16 QAM	Ascendente	4	5-42	0,2	0,64
				0,4	1,28
				0,8	2,56
				1,6	5,12
				3,2	10,24

Figura 17

Como se puede observar en la tabla anterior, el cable módem puede recibir datos por el canal descendente a una velocidad máxima de transmisión de 42,8 Mbps (modulación 256 QAM) y transmitir por el canal ascendente a velocidad de hasta 10,24 Mbps (16 QAM), dependiendo de cuáles de los 5 canales de RF disponibles escoja para transmitir. En la segunda versión de la especificación DOCSIS (2.0), del año 2002, se aumento la tasa de transmisión de datos por el canal de retorno utilizando canales de 6,4 Mhz.

Tipo Modulación	Sentido de transmisión	Símbolos	Rango de frecuencias (Mhz)	BW (Mhz)	Velocidad TX (Mbps)
16 QAM	Ascendente	4	5-42	6,4	20,48
32 QAM	Ascendente	5	5-42	3,2	12,8
64 QAM	Ascendente	6	5-42	3,2	15,36
32 QAM	Ascendente	5	5-42	6,4	25,6
64 QAM	Ascendente	6	5-42	6,4	30,72
128 QAM	Ascendente	7	5-42	6,4	35,84

Figura 18

Esta segunda versión de DOCSIS añade el uso de las modulaciones 32-QAM, 64-QAM y 128-QAM junto con una técnica de corrección de errores en el canal de retorno llamada "Modulación por codificación Trellis (TCM), gracias a la cual se incrementa la capacidad del retorno (de 10 Mbps a 30 Mbps), se obtiene una mayor inmunidad al ruido inducido en este canal y una mejor corrección de errores.

8.2. Red LAN Corporativa

8.2.1 Topología DMZ y LAN Corporativa

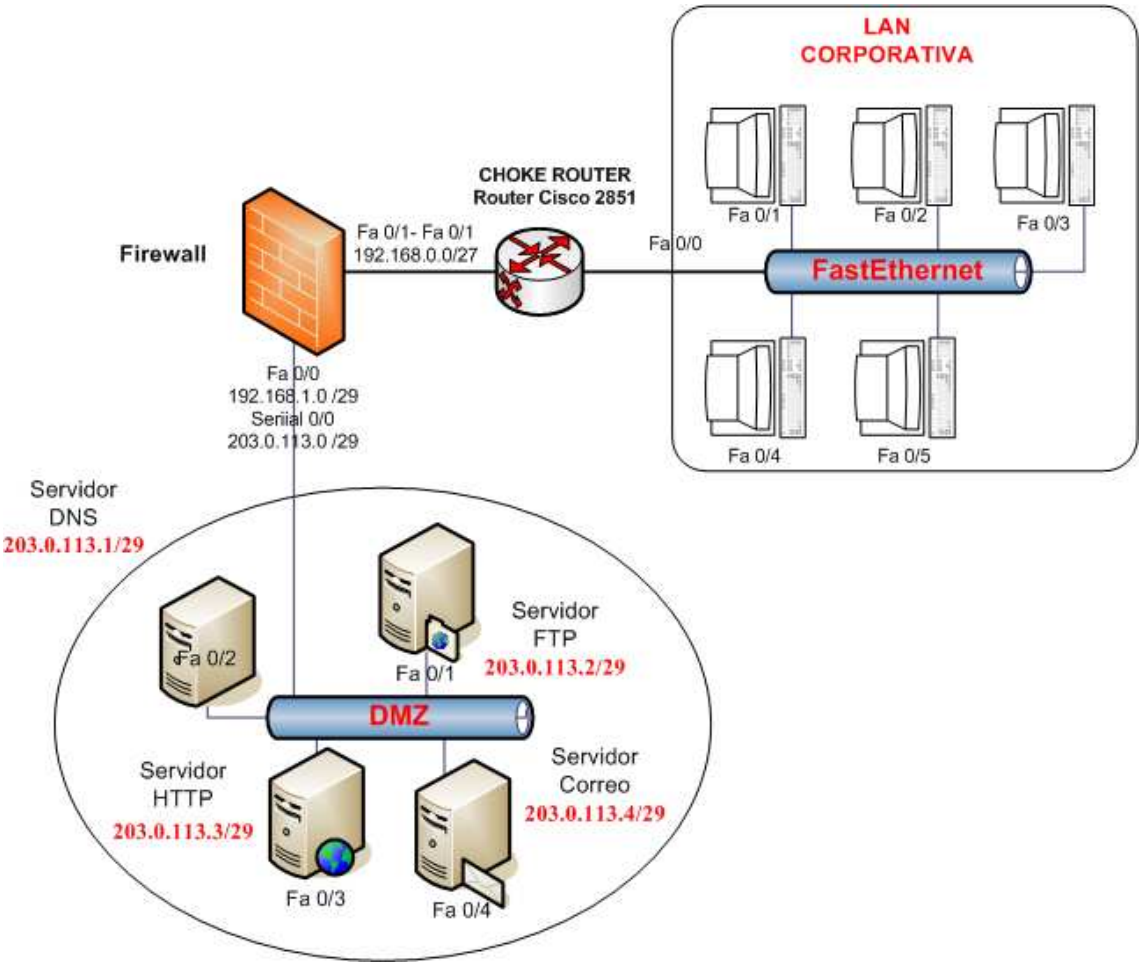

Figura 19

8.2.2 Características

Llegado a esta parte del esquema de la red WAN, comentaré por encima las principales características de los elementos de esta topología, ya que el tema de este trabajo trata sobre el diseño de una red WAN, centrándome solamente en la red DMZ básicamente por ser de acceso público desde la red exterior para las conexiones autorizadas por el Firewall o cortafuegos.

Se ha de entender previamente, que la red LAN Corporativa, es la red donde reside la oficina central de la organización que ofrece diferentes servidores de aplicaciones a sus clientes y/o empleados que se conectan desde la red de acceso HFC o desde la red interna LAN con direccionamiento IP privado. Por tanto las IP de los servidores de esta organización que se ubican en la DMZ tienen rango público (clase C).

Esta topología de red consta de:

- DMZ: la zona desmilitarizada o DMZ, es la red perimetral intermedia entre la red pública o externa (WAN) y la zona privada o interna de la organización (LAN), en

donde se alojan los servidores de acceso público que ofrece servicios corporativos y aceptan conexiones externas potencialmente peligrosas por el riesgo de ataques e intrusiones.

- **Firewall**: es el punto de interconexión entre las redes (externa, interna y DMZ) y realiza un filtraje a nivel de sesión, filtra y enruta inspeccionando solamente la cabecera de cada paquete IP (IP origen, IP destino, Protocolo, Checksum, TTL,…) ya que el firewall es de tipo stateful, es decir, mantiene un registro de las conexiones abiertas a nivel de sesión entre dos aplicaciones, de manera que recuerda el estado anterior de las conexiones para no filtrar los paquetes IP de ambos sockets la próxima vez que se establezca la sesión entre ambos extremos. Al ser stateful, permite el tráfico en sentido bidireccional (peticiones y respuestas) entre dos aplicaciones conocidas ya que recuerda el estado de las sesiones previas y por tanto siempre sabe a qué dirección IP de destino debe enviar la respuesta, aunque esta se realice desde un puerto diferente del servidor. Destaca por su alto rendimiento ya que opera a nivel de sesión y por tanto no ha de inspeccionar todos los campos de la trama encapsulada en cada paquete, sino tan solo la cabecera, lo que provoca que el hardware conmute rápidamente los paquetes por los puertos de destino correspondientes en el menor tiempo posible, consiguiendo un mayor ancho de banda disponible.

También es importante destacar que este firewall puede evitar ataques DoS (Deny of service) i de Spoofing (Suplantación de identidad del atacante) por revisar la cabecera de cada paquete IP con la lista de filtrado o de control de acceso. Pero es vulnerable a otro tipo de ataques por no revisar precisamente toda la extensión del paquete, y no puede detectar ataques que se esconden en otros protocolos de nivel superior.

Este equipo proporciona seguridad a la red interna, ya que limita las conexiones externas exclusivamente a los servidores, denegando el acceso desde la red exterior a la red interna.

El firewall se ha configurado siguiendo una política de filtraje restrictiva, es decir, se permiten todas las conexiones destinadas a establecer comunicación con los servidores alojados en la DMZ (servidor HTTP, servidor de correo entrante POP 3 y saliente SMTP, servidor FTP y servidor DNS) y seguidamente se deniega todo tipo de tráfico.

A continuación, se adjunta la tabla con las reglas de filtrado del firewall (especificando un direccionamiento IP para cada red y para cada tipo de host o servidor).

Regla	Acción	IP Origen	Puerto Origen	IP Destino	Puerto Destino	Protocolo	Servicio
1	**Permitir**	203.0.113.1/29	*	*	53	UDP/TCP	Peticiones DNS
2	**Permitir**	203.0.113.2/29	*	*	>1023	TCP	Peticiones FTP
3	**Permitir**	203.0.113.4/29	*	*	25	TCP	Peticiones SMTP
4	**Permitir**	192.168.0.0/27	*	203.0.113.4/29	25, 110, >1023	TCP	Peticiones SMTP/POP 3
5	**Permitir**	192.168.0.0/27	*	203.0.113.3/29	80	TCP	Peticiones HTTP
6	**Permitir**	192.168.0.0/27	*	203.0.113.1/29	53	UDP/TCP	Peticiones DNS
7	**Permitir**	192.168.0.0/27	*	203.0.113.2/29	21, >1023	TCP	Peticiones FTP
8	**Permitir**	203.0.113.1/29	53	*	*	UDP	Respuesta DNS
9	**Permitir**	203.0.113.2/29	*	*	>1023	TCP	Respuesta FTP
10	**Permitir**	203.0.113.3/29	80	*	*	TCP	Respuesta HTTP
11	**Permitir**	203.0.113.4/29	25, 110	*	*	TCP	Respuesta SMTP/POP 3
12	**Denegar**	*	*	*	*	*	**Todo el tráfico**

Figura 20

- **Choke router**: es el router que ofrece una seguridad perimetral a la red interna, protegiéndola de posibles ataques o intrusiones provenientes de la DMZ o de la red WAN. He elegido el Router Cisco 2851 para realizar esta función, que implementará una política de filtraje de paquetes restrictiva, permitiendo solamente aquellas conexiones hacia la red DMZ para conectarse con los servidores de aplicaciones allí alojados.

Por tanto, no se permitirá que desde la red interna un usuario se pueda conectar directamente con un determinado servicio, sino que se deberá conectar mediante la previa comunicación con la pasarela o servidor proxy correspondiente. Por ejemplo, un usuario que quiera conectarse a Internet se deberá comunicar con su servidor proxy (que se podría ubicar en la DMZ), el cual administrará todas las peticiones entrantes y salientes a nivel de aplicación. Al trabajar a nivel de aplicación, realizará un control de autenticación del usuario antes de aceptar su petición y darle acceso al servicio solicitado.

Como podemos ver en la lista de control de acceso del firewall, las peticiones al servicio FTP son en modo pasivo, es decir que se establecen dos conexiones utilizando dos puertos diferentes entre el cliente y el servidor. De modo que, el cliente enviará por el puerto 21 las solicitudes al servidor (órdenes o comandas de control), a la vez, que le solicita al servidor un puerto aleatorio abierto <1024 (puertos no conocidos), y recibida la contestación, el cliente envía los datos por el puerto que le ha especificado el servidor.

ESTUDIO ECONÓMICO

Presupuesto orientativo

El presupuesto que se desglosará a continuación es orientativo y provisional, ya que está en estudio y sujeto a posibles cambios dependiendo de la escalabilidad de la red WAN, para así dimensionarse aún más con la incorporación de nuevos equipos. Además, como hemos visto en el apartado *3.1.1* ***"Justificación. Orígenes i contexto de desarrollo actual",*** las redes están en continua evolución, y las nuevas tecnologías están sustituyendo a las que ya hay implantadas actualmente mejorando así sus prestaciones, con lo cual la red WAN está sujeta a incesantes cambios estructurales.

Debido alcance de la red WAN, se realizará un presupuesto orientativo de los equipos principales que intervienen, resumidos en la siguiente tabla:

Id	Ref.	Concepto	Unidades	Precio/Unidad	Total
1	TransXpressSL64	ADM	3	30000 €	90000 €
2	Opcom3100-155	SWITCH ETH.	2	4000 €	80000 €
3	Cisco Catalyst 8540	ROUTER	10	8000 €	80000 €
4	Cmts UBR711-E	ROUTER	1	21.500 €	21.500 €
5	Servidores	SERVER	5	3000 €	15000 €
6	Cisco DPC3000	CABLEMODEM	500	125 €	62500 €
7	LH NOR860T-4	NODO ÓPTICO	10	25000 €	250000 €
8	HCA ZM 65	AMPLIFICADOR	3	14000 €	42000 €
9	Caja Raychem	TAPS	6	15 €	90 €
10	RG-6	Cable coaxial	1 (Bobina 100 m.)	0,70/m	70 €
				Total	**561.160 €**

GLOSARIO

Acrónimos

- AAL: capa de adaptación ATM *(*ATM Adaptation Layer*).*
- ATM: modo de transferencia asíncrono (Asynchronous Transfer Mode).
- ADM: multiplexor de inserción-extracción de datos (Add and Drop Multiplexers).
- BT: ráfaga de tolerancia (Burst Tolerance).
- CATV: televisión por cable (Community Antenna TV).
- CBR: tasa de bit constante (Constant Bit Rate).
- CMTS: sistema de terminación cable módem (Cable Modem Termination System).
- CLP: prioridad de pérdida de Celda (Cell Loss Priority).
- CLR: porcentaje de celdas perdidas (Cell Loss Ratio).
- CS: capa de convergencia (Convergence Service).
- CTD: retardo de transferencia de celdas (Cell Transfer Delay).
- DoS: denegación de servicio (Deny of Service).
- DMZ: zona desmilitarizada (Demilitarized Zone).
- DWDM: multiplexación por división de onda estrecha (Dense Wavelength Division Multiplexing).
- HEC: cabecera de corrección de errores (Header Error Correction).
- HFC**:** híbrido de Fibra y Coaxial (Hybrid Fiber Coaxial).
- ISP: proveedor de Servicios de Internet (Internet Service Provider)
- LAN: red de área local (Local Area Network).
- MBS: tamaño máximo de ráfaga (Maximum Burst Size).
- MCR: mínima de transferencia de celdas (Minimum Cell Rate).
- MPEG: grupo de Expertos en Imágenes Móviles (Motion Picture Experts Group).
- PCR: pico de tasa de celdas (Peak Cell Rate).
- PDH: jerarquía digital Plesiócrona (Plesiochronous Digital Hierarchy).
- QoS: calidad de servicio (Quality of Service).
- SAR: capa de segmentación y reensamblado (Segmentation and Reassembled).
- SCR: velocidad mediana sostenida (Sustained Cell Rate).
- SDH: jerarquía digital síncrona (Synchronous Digital Hierarchy).
- SONET: red óptica síncrona (Synchronous Optical Network).
- Spoofing: Suplantación de identidad. Cambio de dirección IP del remitente.
- STM: módulo de Transporte Síncrono (Synchronous Transport Module).
- UBR: tasa de bit indefinida (Undefined Bit Rate).

- VCI: identificador de canal virtual (Virtual Circuit Identifier).
- VPI: identificador de camino virtual (Virtual Path Identifier).
- WAN: red de área extensa (Wide Area Network).

BIBLIOGRAFIA

Proveedores de equipos

http://www.davantel.com/ethernet-sobre-sdh.htm

http://www.usedtelecoms.es/nortel_multiservice_sonet_sdh.asp

http://www.fo4all.com/gbic.html

http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps5854/c1616/ccmigration09186a00802c35a2.pdf

http://www.ccdsitel.com.mx/sdh.html

Referencias bibliográficas:

http://www.idg.es/comunicaciones/impart.asp?id=108598

http://www.impulsatdt.es/agentes/plan-de-transicion/plan-de-frecuencias/

http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Hybrid_fibrecoaxial#Transport_over_HFC_network

http://www.cft.gob.mx/work/models/Cofetel_2008/Resource/3012/1/NOM_152_sct1_1999_1.pdf

ANEXOS

Estándares y Normalización

- Real Decreto 2066/1996 – Reglamento Técnico y de Prestación del Servicio de

Telecomunicaciones por Cable.

- Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones.
- Ley 42/1995 de 22 de diciembre de las Telecomunicaciones por Cable. Regula la prestación conjunta de servicios de telecomunicación y audiovisuales a través de las tecnologías de cable.
- Decreto 2066/1996: especifica y divide el espectro de frecuencias asignando para el canal ascendente un ancho de banda comprendido entre los 86-862 Mhz. y para el canal descendente entre los 5-55 Mhz.
- Decreto 116/2000 de 20 de marzo, en el que se establece el régimen jurídico y se aprueba la norma técnica de les infraestructuras comunes de telecomunicaciones a los edificios para el acceso al servicio de telecomunicaciones por cable (DOGC 3107 27.03.2000).
- Real Decreto 401/2003, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y de la actividad de instalación de equipos i sistemas de telecomunicaciones.
- UNE-EN 55013: límites i métodos de medida de las características de perturbación radioeléctrica de los receptores de radiodifusión i equipos asociados.
- UNE-EN 55020: inmunidad electromagnética de los receptores de radiodifusión i equipos asociados.
- ISO/IEC 165-2: “Information technologic - Generic digital audio-visual systems”.
- ISO/IEC 11801: estándar internacional que especifica el cableado estructurado (par de cobre o fibra óptica) utilizados por las aplicaciones que transmiten datos en una red área local (LAN), de hasta a 3 Km.
- ISO/IEC 8802-3: estándar para redes Ethernet (área local) que define como opera el protocolo de acceso múltiple con detección de colisiones (CSMA/CD). Se aplica en la conexión de redes sobre cable coaxial, cable de cobre UTP y fibra óptica. Establece velocidades de transmisión de 10/100 Mb/s.
- UNE-EN 50083-7: referente a una red de distribución por cable de señales de televisión y señales de audio que proporciona servicios interactivos.
- UNE-EN 60728: redes de distribución por cable por señales de televisión, señales de audio y servicios interactivos.
- UNE-EN 50290: normes genéricas referentes a cables de comunicación.
- UNE-EN 50117: cable coaxial utilizado en redes cableadas de distribución.

- UNE-EN 50083: sistemas de distribución por cable de señales de televisión, audio y servicios interactivos.
- UNE-EN 50065: requerimientos para establecer la comunicación mediante señales Portadores.
- ISO/IEC 13818: estándar que fa referencia a la codificación de audio y vídeo por transmite señales por la TV digital terrestre, por satélite y por cable de fibra óptica, por medio de la trama MPG-2.
- ISO/IEC 13818-1 sistema - describe la sincronización y el multiplexado de vídeo i audio.
- ISO/IEC 13818-2: vídeo – Códec (codificador/descodificador) compresor para señales de vídeo entrelazado y no entrelazado.
- ISO/IEC 13818-3: audio – Códec (codificador/descodificador) compresor de señales de audio. Una extensión habilitada multicanal de MPEG-1.
- ISO/IEC 13818-4: describe maniobres de prueba del los complimientos del estándar.
- ISO/IEC 13818-5: describe sistemas por simulación por Software.
- ISO/IEC 13818-6: describe las extensiones por DSM-CC (Comanda Digital de herramientas de almacenaje i control).
- ISO/IEC 13818-7: codificación avanzada de audio (AAC)
- ISO/IEC 13818-9: extensión por interfaces en tiempo real.
- ISO/IEC 13818-10: conformidad con extensiones por DSM-CC.
- TIA/EIA 606: proporciona una guía para la administración de los sistemas de cableado (documentación de los cables, terminaciones de los mismos, paneles de parcheo, armarios de telecomunicaciones,...).
- ITU-T G.707/G.708/G.709: recomendación que especifica el formato de tramas SDH.
- ITU-T G.781/G.782/G.783: normas referente a la gestión y administración de la red TMN.
- ITU-T G.957/G. 958: estándar de los interfaces para redes de fibra óptica.

Organismos de Normalización

- ISO (International Organization for Standardization)

Organismo internacional que ha desarrollado más de 18.000 estándares internacionales y cada año publica cerca de 1.100 nuevos estándares. Este es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica.

Busca la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas y organizaciones a nivel internacional. Está formado por 159 organismos nacionales generadores de normas.

Las normas que genera, son voluntarias y se conocen como *Normas ISO*, que se codifican: ISO XXXXX, siendo una de las más conocida la norma ISO 32000, que define el formato de documento portátil (.pdf)

Página web: http://www.iso.org

- AENOR (Asociación española de normalización y certificación)

Organización responsable del desarrollo de la normalización en España y representante de nuestro país ante los organismos internacionales de normalización.

Elabora las normas técnicas españolas (UNE: Una Norma Española) e interviene en la elaboración de las normas europeas.

Su actividad se desarrolla por áreas sectoriales, mediante los más de 150 comités técnicos de normalización (AEN/CTN), 5 de ellos centrados en las TIC (Tecnologías de la Información; Telecomunicaciones; Tecnologías de la Información para la salud; Documentación.)

Sus normas se codifican de la siguiente manera: UNE AAXXX: BBBB, AA: nº del comité generador; XXXX: nº de la norma; BBBB: año de publicación.

Hasta la fecha AENOR ha publicado más de 400 normas.

Página web: www.aenor.es

- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

L'IEEE es una organización sin ánimo de lucro con una gran influencia en el sector de la estandarización para la industria con más de 380.000 miembros en 190 países.

Este organismo ha desarrollado las normas referentes a las redes de área local y metropolitanas (LAN y MAN; serie *IEEE 802*). Incluye además los estándares IEEE 802.3 (Ethernet), IEEE 802.11 (WiFi), IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.16 (Wimax) y IEEE 802.14 (Canal de Retorno - Cable módem), entre otros.

Ha desarrollado estándares para transportar la información sobre redes HFC. Define y especifica la utilización de cables híbridos de fibra óptica y coaxial para este tipo de arquitectura, que puede abarcar un radio de 80 km. de distancia desde la cabecera.
Página web: http://www.ieee.org

- DAVIC (Digital Audio Visual Interoperability Council)

El proyecto DVB es un grupo de más de 200 organizaciones de 25 países que cooperan para establecer sistemas que se emplean para la difusión digital de vídeo, voz y datos. El DVB desarrolla especificaciones para llevar la televisión digital hasta los hogares, y normas para sistemas de satélite, cable, transmisión digital terrestre, servicios de transmisión de datos, sistemas de codificación, y una interfaz de acceso condicional estandarizada.
Página web: http://www.davic.org

- SCTE (Society of Cable Television Engineers)

Es una organización sin ánimo de lucro fundada en 1969 que promueve la difusión de especificaciones técnicas en el sector de las telecomunicaciones por cable (televisión por cable y las comunicaciones de banda ancha). Este organismo está acreditado por el Instituto Americano Nacional de Estándares (ANSI) y trabaja conjuntamente con el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI), a la vez que está reconocido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).
Página web: http://www.scte.org