

**Universitat
Autònoma
de Barcelona**

Arquitecturas Distribuidas para Sistemas de Video-bajo-Demanda a gran escala

Departament d'Informàtica
Unitat d'Arquitectura d'Ordinadors
i Sistemes Operatius

Tesis presentada por Fernando Cores
Prado para optar al grado de Doctor por la
Universitat Autònoma de Barcelona

Barcelona, Diciembre 2003

Arquitecturas Distribuidas para Sistemas de Video-bajo-Demanda a gran escala

Tesis presentada por Fernando Cores Prado para optar al grado de Doctor por la Universitat Autònoma de Barcelona. Trabajo realizado en el Departamento de Informàtica de la Universitat Autònoma de Barcelona, bajo la direcci3n de la Dra. Ana Ripoll Aracil,

Bellaterra Diciembre, 2003

Directora Tesis

Ana Ripoll Aracil

A mi familia, en especial a mi madre y hermanos por su inquebrantable apoyo a pesar de mis constantes cambios de humor durante la escritura de esta memoria.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis, fruto del trabajo personal durante varios años, no hubiese sido lo que ahora es sin la inestimable ayuda de un grupo de personas que han estado a mi lado durante todo este tiempo y para las que estas líneas pretenden ser un reflejo de mi más sincera gratitud hacia ellas.

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a la Dra. Ana Ripoll por su magistral dirección, sus constantes consejos, sus acertadas aportaciones y su actitud incansable al desaliento.

Al Dr. Emilio Luque, por su apoyo y soporte sin el cual esta Tesis no hubiese sido posible.

A Josep Jorba por su asistencia técnica cuando los asistentes de mandrake no daban más de sí y sobre todo por su compañía y amistad durante estos años.

A las chicas de la unidad, Anna, Elisa, Lola, Maria, Annia y Paula por su contagiante alegría y constante apoyo.

A mis sufridores compañeros y amigos, Tomás, Miguel Angel, Eduardo, Juan Carlos, Porfi, Dani, Remo y Joan Sorribes que a pesar de mis colores y la racha de los últimos años todavía no me han retirado la palabra y todavía me invitan a café de vez en cuando.

A los compañeros de comedor, Carlos y Xiao Yuang, Bahjat y Baker por su refrescante conversación y dejarse ganar de vez en cuando al ajedrez para subirme la moral.

A Josan y Toni por su amistad y apoyo durante el preludio de esta tesis.

Gracias a Ferran Cedó, miembro del departamento de matemáticas de la Universitat Autònoma de Barcelona, por su soporte matemático en el desarrollo de algunos de los modelos analíticos de este trabajo.

A los demás miembros de la Unidad de Arquitectura de Ordenadores y Sistemas Operativos y del Departamento de Informática, por su constante apoyo.

PROPÓSITO Y DESARROLLO DE LA MEMORIA

Los últimos avances tecnológicos y la proliferación de infraestructuras de comunicaciones de alta-velocidad, han permitido la expansión de los servicios de video bajo demanda (VoD). Estos sistemas proporcionan acceso a la reproducción de contenidos multimedia a usuarios dispersos geográficamente, utilizando redes de transmisión de datos.

La investigación en el ámbito de los sistemas de VoD, se ha centrado en la última década principalmente en el diseño de sistemas VoD que permitan soportar de forma eficiente la transmisión a los usuarios de contenidos multimedia con la calidad de servicio requerida. Esta meta inicial ha sido alcanzada ampliamente mediante las propuestas de distintas arquitecturas y políticas de gestión para los servidores de VoD, la especificación de protocolos de comunicaciones que garanticen la correcta recepción de los contenidos multimedia y el estudio de nuevos formatos de compresión de video.

Sin embargo, para que la expansión definitiva de estos sistemas a gran escala sea posible, es necesario diseñar arquitecturas de VoD escalables capaces de dar servicio a un amplio número de usuarios. Estos sistemas se denominan sistemas de Video bajo Demanda de gran escala (LVoD) y deben satisfacer los siguientes requisitos: elevada escalabilidad para el sistema (que permita aumentar la capacidad de servicio con un coste razonable), una arquitectura tolerante a fallos, una redistribución de la carga de trabajo de forma equitativa entre los distintos componentes de servicio, una buena relación coste / prestaciones y una utilización eficiente de las políticas de compartición de recursos.

La investigación concerniente a los sistemas LVoD se ha orientado fundamentalmente hacia el diseño de servidores de VoD, sin tener en cuenta la escalabilidad de todo el sistema en su conjunto. En esta línea, se han propuesto básicamente las siguientes arquitecturas:

- a) Arquitecturas basadas en la replicación de los servidores (servidores independientes).
- b) Arquitecturas basadas en la utilización de servidores-proxy que gestionen los contenidos más populares desde las propias redes locales de los usuarios.

Todas estas aproximaciones permiten incrementar la capacidad de servicio y la escalabilidad respecto a los sistemas basados en un único servidor (sistemas centralizados). Sin embargo, estas propuestas no inciden explícitamente en la escalabilidad de la red de transmisión, la cual se convierte en el verdadero cuello de botella de todo el sistema. Esta falta de escalabilidad en los sistemas LVoD ha motivado fundamentalmente el desarrollo de este trabajo.

El objetivo de esta tesis ha sido proponer una arquitectura LVoD que cumpla con los requisitos requeridos para este tipo de sistemas. Para ello, se ha propuesto una arquitectura de LVoD, denominada Proxy-Tree (P-Tree), totalmente distribuida que permita solventar al mismo tiempo los dos puntos críticos en el crecimiento de los sistemas LVoD: la escalabilidad de la capacidad de servicio del sistema y la escalabilidad de transmisión de la infraestructura de red.

La arquitectura P-Tree consiste en una topología jerárquica en árbol basada en la utilización de redes locales independientes. Estas redes utilizan un proxy local para poder servir las peticiones sin necesidad de recurrir al servidor principal. En el caso que se produzca un fallo en el proxy, no se accede al servidor principal directamente sino que se intenta servir la petición desde los servidores-proxy más cercanos de la topología. Para mejorar la escalabilidad y la eficiencia del sistema LVoD, se ha modificado la funcionalidad de los servidores-proxy, de forma que funcionen al mismo tiempo como cache para los videos más populares (caching) y como mirror para el resto de los videos del catálogo (mirroring).

La arquitectura propuesta es lo suficientemente flexible como para permitir una amplio rango configuraciones, desde los sistemas pequeños que únicamente requieren soportar unos pocos cientos de peticiones simultaneas, hasta las decenas de miles de peticiones simultaneas requeridas por los sistemas LVoD. El sistema P-Tree se puede implementar reutilizando las infraestructuras de red disponibles.

Para mejorar la efectividad de la arquitectura P-Tree, se ha propuesto una segunda arquitectura, denominada Double P-Tree, que modifica la topología de interconexión entre los servidores distribuidos y permite aumentar la conectividad y reducir la distancia de servicio del sistema LVoD. Los resultados demuestran que la arquitectura Double P-Tree mantiene la escalabilidad ilimitada de la propuesta precedente, aumentado considerablemente su eficiencia.

Una vez definidas ambas arquitecturas distribuidas, el siguiente objetivo de nuestro trabajo ha sido la gestión eficiente de los recursos del sistema LVoD. Para lograr este propósito se han analizado dos factores clave: la distancia media de servicio (número de redes que tiene que cruzar el flujo de información necesario para servir una petición) y el balanceo de tráfico en las redes locales.

En este ámbito, hemos propuesto y analizado diversas técnicas para la distribución del almacenamiento entre los esquemas de caching y mirroring y políticas de asignación de contenidos en los mirrors que permitan reducir la distancia media de servicio en las arquitecturas distribuidas. Para reducir el desbalanceo del tráfico en las redes locales, se ha propuesto la utilización de políticas estáticas y dinámicas para lograr un tráfico más equilibrado y reducir así los requisitos de ancho de banda de red del sistema.

La evaluación de las arquitecturas y de las estrategias propuestas se ha realizado en dos etapas:

En primer lugar, se ha analizado la escalabilidad de ambas arquitecturas, para lo cual se han propuestos modelos analíticos adaptados a las características concretas de cada sistema. Mediante estos modelos, se ha podido demostrar la escalabilidad ilimitada de dichas arquitecturas y al mismo tiempo obtener una primera aproximación de su rendimiento (entendida como la capacidad de servicio de la arquitectura).

Durante la segunda fase de la evaluación, se ha requerido el análisis de aspectos más específicos de las arquitecturas P-Tree que afectan a su eficiencia tales como, gestión del almacenamiento de los servidores, las políticas de servicio multicast y la distribución del tráfico, entre otros. Dada la complejidad requerida para incorporar todos estos aspectos en los modelos analíticos propuestos, se ha optado finalmente por la utilización de la simulación para realizar estos análisis. Con este objetivo se ha diseñado e implementado un simulador específico para estos sistemas LVoD que nos ha permitido analizar en profundidad una serie de parámetros de las distintas arquitecturas estudiadas. El simulador diseñado también nos ha permitido comparar el rendimiento de las arquitecturas P-Tree con otras alternativas existentes en la literatura.

Esta memoria se ha organizado alrededor de los siguientes capítulos:

- En el primer capítulo se realiza una introducción a los sistemas de VoD a gran escala. Se presentan los componentes principales de un sistema VoD y las políticas utilizadas en su gestión. Se estudian las distintas arquitecturas propuestas para la construcción de sistemas VoD, analizando las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas en un ámbito a gran escala. Por último, se exponen los principales requisitos que se deben tener en cuenta en el diseño de una arquitectura LVoD y exponemos la motivación del presente trabajo.
- En el capítulo segundo, presentamos la arquitectura P-Tree basada en un sistema jerárquico de servidores-proxy interconectados mediante una topología en árbol. Se especifica la funcionalidad de los distintos componentes de la arquitectura, la topología de interconexión entre ellos y las políticas de gestión de los contenidos (mirroring y caching) que permiten distribuir la gestión del sistema entre todos sus servidores. Finalmente, se define un modelo analítico para evaluar la capacidad de servicio y la distribución de la carga de trabajo en la arquitectura P-Tree, que nos va a permitir demostrar su escalabilidad.

- En el tercer capítulo se analiza la eficiencia de la arquitectura P-Tree utilizando un modelo analítico basado en la distancia media de servicio. A partir del análisis de los resultados obtenidos, se propone una variante de la arquitectura original, denominada Double P-Tree. Al final del capítulo se evalúa la escalabilidad y la eficiencia de la nueva arquitectura.
- En el capítulo cuarto se presenta la herramienta de simulación de las arquitecturas LVoD, haciendo hincapié en su funcionalidad, las características soportadas, el modelo y los parámetros de configuración. Para demostrar la bondad de los resultados obtenidos utilizando la herramienta de simulación, éstos se han validado contra los modelos analíticos propuestos en los capítulos 2 y 3.
- En el quinto capítulo se analizan diversas políticas que afectan a dos de los parámetros que influyen en la distancia de servicio: la distribución del almacenamiento disponible en los servidores entre los distintos esquemas de gestión de los mismos y la asignación (ó mapping) de los contenidos multimedia en cada uno de los servidores. Se proponen diversas políticas que permiten reducir la distancia de servicio en las arquitecturas propuestas.
- En el capítulo sexto se estudia la influencia del desbalanceo del tráfico en las redes sobre el rendimiento de los sistemas propuestos. Se confirma que cuando se utilizan redes segmentadas, el desbalanceo del tráfico entre los distintos puertos de una misma red puede tener un impacto negativo sobre los requisitos de ancho de banda y consecuentemente, sobre la capacidad de servicio del sistema LVoD. En este capítulo, se propone diversas políticas de balanceo de tráfico, que se pueden clasificar en dos categorías: políticas estáticas que intentan balancear la carga soportada por cada uno de los servidores (balanceando la popularidad de los contenidos almacenados) y las políticas dinámicas que balancean el tráfico a través de la selección de los servidores que deben atender las peticiones remotas (peticiones que no se pueden gestionar por los servidores locales). Finalmente se evalúa la eficiencia de estas políticas.
- En el capítulo séptimo analizaremos la influencia de las políticas de multicast sobre las arquitecturas propuestas. También, a modo de recapitulación, realizaremos un estudio comparativo entre las arquitecturas propuestas (Proxy-Tree y Double P-Tree) y las arquitecturas alternativas de LVoD de la literatura. En este análisis, se tendrán en cuenta las nuevas políticas propuestas, así como la utilización de políticas de servicio unicast y multicast.

- Para finalizar exponemos las principales conclusiones / experiencias derivadas del estudio realizado y proponemos líneas futuras de investigación.
- En los apéndices de la memoria incluimos los detalles de implementación y configuración del simulador de arquitecturas LVoD.

ÍNDICE

SISTEMAS DE VOD A GRAN ESCALA: UNA VISIÓN GENERAL

CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE VIDEO-BAJO-DEMANDA	3
1.1.1 Contenidos multimedia.....	3
1.1.2 Tipos de servicios de VoD.....	5
1.1.3 Componentes de un sistema de VoD	6
1.1.4 Requisitos de un sistema de VoD	9
1.2 POLÍTICAS DE GESTIÓN DE LOS SERVIDORES	11
1.3 TECNOLOGÍAS DE RED.....	17
1.3.1 Red de usuarios	18
1.3.2 Red troncal.....	20
1.4 ARQUITECTURAS UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS DE VOD	23
1.4.1 Arquitecturas centralizadas	23
1.4.2. Arquitecturas de servidores independientes.....	27
1.4.3. Arquitecturas basadas en servidores-proxy	28
1.4.4 Arquitecturas distribuidas a nivel de los usuarios	31
1.5 ARQUITECTURAS DE VoD A GRAN ESCALA	31
1.5.1 Requisitos de la arquitecturas LVoD.....	32
1.5.2 Alternativas actuales para los sistemas LVoD.....	35
1.5.3 Sistemas comerciales de VoD	38
1.6 OBJETIVOS DE ESTA TESIS.....	40

PROXY-TREE UNA ARQUITECTURA ESCALABLE PARA LVOD

CAPÍTULO 2	43
2.1 INTRODUCCIÓN	45
2.2 ARQUITECTURA PROPUESTA: PROXY-TREE.....	46
2.2.1 Análisis de la escalabilidad en los sistemas de VoD	46

2.2.2 Topología en árbol	47
2.2.3 Políticas de gestión de los contenidos en los servidores-proxy	49
2.2.4 Funcionalidad de la arquitectura Proxy-Tree	55
2.3 MODELO ANALÍTICO DE LAS ARQUITECTURAS BASADAS EN SERVIDORES-PROXY.....	58
2.4 ANÁLISIS DE ESCALABILIDAD.....	66
2.4.1 Escalabilidad de la arquitectura de un nivel de servidores-proxy	67
2.4.2 Escalabilidad de la arquitectura P-Tree	68
2.5 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA ARQUITECTURA PROXY-TREE.....	71
2.5.1 Análisis del orden del árbol	71
2.5.2 Distribución del almacenamiento de los servidores-proxy	72
2.5.3 Análisis de rendimiento de la arquitectura P-Tree	72
2.5.4 Requerimientos de ancho de banda de red	75
2.5.5 Comparación de resultados entre diferentes arquitecturas LVoD	76
2.6 CONCLUSIONES	77

MEJORANDO LA EFICIENCIA DEL SISTEMA: ARQUITECTURA DOUBLE P-TREE

CAPÍTULO 3	81
3.1 INTRODUCCIÓN.....	83
3.2 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA ARQUITECTURA PROXY-TREE.....	83
3.2.1 Cálculo de la distancia media de servicio.....	84
3.2.2 Reducción de la distancia de servicio en las arquitecturas distribuidas.....	87
3.2.3 Aumento de la conectividad de la topología P-Tree	92
3.2 ARQUITECTURA DOUBLE P-TREE.....	94
3.2.1 Implementación de la topología Double P-Tree	97
3.2.2 Optimización de los recursos de red	99
3.3 MODELO ANALÍTICO DE LA ARQUITECTURA DOUBLE P-TREE	101
3.4 ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE LA ARQUITECTURA DOUBLE P-TREE.....	104
3.4.1 Double P-Tree en contraposición a P-Tree.....	105
3.4.2 Escalabilidad.....	107

3.4.3	Requerimientos de almacenamiento en los servidores-proxy	108
3.4.4	Comparación de resultados de la arquitectura Double P-Tree con otras alternativas LVoD	109
3.5	CONCLUSIONES	111

VODSIM, UNA HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE ARQUITECTURAS LVOD

CAPÍTULO 4	115
4.1 INTRODUCCIÓN	117
4.1.1 Investigación	118
4.1.2 Sintonización y configuración de sistemas de VoD	119
4.2 DISEÑO DEL SIMULADOR	120
4.2.1 Requisitos del simulador	121
4.2.2 Estructura del simulador	121
4.2.3 Funcionalidad de los componentes del simulador	123
4.2.3.1 Arquitecturas LVoD.....	123
4.2.3.2 Políticas de gestión.....	126
4.3 MODELO DEL SIMULADOR	132
4.3.1 Simplificaciones estructurales.....	133
4.3.2 Modelo de la carga de trabajo del sistema	134
4.3.3 Eventos.....	137
4.3.4 Ciclo de vida de una petición	140
4.4 CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SIMULACIÓN	142
4.5 VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN VoDSIM	146
4.5.1 Validación de la arquitectura de servidores-proxy de un nivel	146
4.5.2 Validación de la arquitectura Proxy-Tree	147
4.5.2 Validación de las arquitecturas P-Tree con redes segmentadas.....	149

GESTIÓN DEL ALMACENAMIENTO DISTRIBUIDO

CAPÍTULO 5	153
5.1 INTRODUCCIÓN.....	155
5.2 DISTRIBUCIÓN DEL ALMACENAMIENTO ENTRE CACHING Y MIRRORING.....	157
5.2.1 Distribución global del almacenamiento de los servidores	158
5.2.2 Distribución adaptiva del almacenamiento.....	164
5.2.3 Distribución óptima del almacenamiento	167
5.2.4 Evaluación de las políticas de distribución del almacenamiento	170
5.3 ASIGNACIÓN DE LOS VIDEOS EN LOS MIRRORS DISTRIBUIDOS	173
5.3.1 Mapping secuencial.....	174
5.3.2 Mapping ByDistance.....	177
5.3.3 Mapping ByDistance optimizado.....	179
5.3.4 Orden de procesamiento de los servidores-proxy	181
5.3.5 Evaluación de las políticas de asignación.....	183
5.4 CONCLUSIONES	187

POLÍTICAS DE BALANCEO DEL TRÁFICO

CAPÍTULO 6	189
6.1 INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TRÁFICO EN LA EFICIENCIA DE LAS ARQUITECTURAS DISTRIBUIDAS	191
6.1.1 Análisis del tráfico en los puertos de las redes locales	193
6.1.2 Causas del desequilibrio del tráfico en los puertos de la topología	194
6.2 POLÍTICAS DE BALANCEO DEL TRÁFICO EN LOS PUERTOS	197
6.2.1 Políticas estáticas de balanceo del tráfico.....	198
6.2.1.1 Mapping balanceado.....	198
6.2.1.2 Política de asignación de videos gradual.....	200
6.2.2 Política de balanceo dinámica de peticiones	203
6.3 OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS POLÍTICAS DE BALANCEO DE PETICIONES	206
6.3.1 Caching distribuido cooperativo	208

6.4 EVALUACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE BALANCEO	213
6.4.1 Evaluación de las políticas de balanceo estáticas	213
6.4.2 Evaluación de la política de balanceo de peticiones	214
6.4.3 Efecto de la cache cooperativa sobre la política de balanceo de peticiones	215
6.4.4 Influencia de las políticas de balanceo del tráfico sobre la distribución de carga en el sistema	216
6.5 CONCLUSIONES	218

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE LAS ARQUITECTURAS LVOD DISTRIBUIDAS

CAPÍTULO 7.....	221
7.1 INTRODUCCIÓN	223
7.2 EFICIENCIA DE LAS POLÍTICAS DE SERVICIO MULTICAST EN LA ARQUITECTURA DOUBLE P-TREE..	223
7.2.1 Patching.....	224
7.2.2 Influencia del tamaño del buffer de los STB de los clientes	225
7.2.3 Influencia del volumen de peticiones recibidas.....	226
7.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ARQUITECTURAS LVoD	227
7.3.1 Rendimiento de las arquitecturas distribuidas con políticas unicast	228
7.3.2 Rendimiento de las arquitecturas distribuidas con políticas multicast.....	229
7.3.3 Influencia de la frecuencia de llegada de peticiones	230
7.3.4 Influencia del número de puertos de servicio	232
7.3.5 Influencia del almacenamiento asignado a los servidores-proxy	234
7.4 RESUMEN.....	235

CONCLUSIONES Y LÍNEAS ABIERTAS

CONCLUSIONES Y PRINCIPALES CONTRIBUCIONES	243
LÍNEAS ABIERTAS	250

REFERENCIAS.....	253
-------------------------	------------

DETALLES DE IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN VODSIM

APÉNDICE A.....	A1
A.1 DETALLES DE IMPLEMENTACIÓN.....	A3
A.1.1 Diagrama de clases	A4
A.2 FICHEROS DE CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SIMULACIÓN.	A8
A.2.1 Fichero de especificación de parámetros de simulación (DTD).....	A10
A.2.2 Fichero de configuración para una simulación basada en un sistema Proxy-Tree	A14
A.2.3 Fichero de configuración para una simulación basada en un sistema Double P-Tree	A15

Capítulo 1

Sistemas de VoD a gran escala: Una visión general

Resumen

Este capítulo muestra una perspectiva general de los sistemas de video-bajo-demanda. Se presentan los distintos componentes que integran un sistema VoD, describiendo las políticas de gestión más relevantes utilizadas en cada componente. A continuación se mostrarán las arquitecturas utilizadas en el diseño de los sistemas VoD y como éstas se adaptan a un entorno de gran escala. Por último expondremos la motivación y los objetivos de esta investigación.

1.1 Introducción a los sistemas de Video-bajo-Demanda

El termino Video-bajo-Demanda (VoD) hace referencia a servicios en los cuales los usuarios son capaces de pedir contenidos multimedia (videos) en cualquier instante de tiempo. Esta tecnología es de vital importancia para diversas aplicaciones multimedia como por ejemplo, aprendizaje a distancia, bibliotecas digitales, videoconferencias, Internet, televisión ó sistemas de video bajo demanda.

En los últimos años, los sistemas de video bajo demanda han sido una de las áreas más activas en la investigación debido a la convergencia de dos factores: el creciente interés de la industria de diversos sectores en desarrollar estos sistemas y su elevada complejidad de diseño e implementación.

Gracias a la reducción de costes de los componentes que integran un sistema de VoD y lo avances de la tecnología, los servicios de VoD han alcanzado la madurez necesaria de forma que su implementación y comercialización ya son viables. Esta nueva tecnología ha provocado una revolución en la industria de entretenimiento, atrayendo el interés de las empresas de cable (deseosas de aumentar su oferta mediante servicios de valor añadido), la implicación de las compañías tradicionales de hardware (IBM, ect...) y software (Microsoft, ect...) y la aparición de nuevas empresas enfocadas explícitamente hacia el diseño y la venta de sistemas de VoD (Kasenna [Kas1], Ncube [Ncub1], ect..).

Respecto a la investigación, los servicios de VoD y su implementación han aportado nuevos retos a la comunidad científica. El diseño de estos sistemas involucra diferentes áreas: psicología (estudio del comportamiento de los usuarios), sistemas de tiempo real, sistemas de archivo de altas prestaciones, calidad de servicio , protocolos de comunicaciones, formatos de compresión, criptografía, sistemas de procesamiento jerárquicos, paralelos ó distribuidos, etc...

En este apartado vamos a realizar una breve visión de los sistemas de video bajo demanda, haciendo hincapié en las características de la información gestionadas (contenidos multimedia), los tipos de servicios ofrecidos a los usuarios de estos sistemas, sus componentes principales y los requisitos específicos de las arquitecturas de VoD.

1.1.1 Contenidos multimedia

La mayoría de la funcionalidad específica de los sistemas de VoD deriva de las características particulares del tipo de información (contenidos multimedia) gestionada por estos sistemas. A

diferencia de los tipos de datos tradicionales, los contenidos multimedia tienen una dimensión temporal explícita, y entonces deben ser presentados mediante una frecuencia específica durante un tiempo determinado ó de lo contrario la integridad de la información se perderá.

De todos los contenidos multimedia, el más significativo por sus requisitos y características es el video. Un video consiste en una secuencia de imágenes que son visualizadas a una frecuencia preestablecida (play rate), que normalmente suele ser alrededor de 30 imágenes por segundo.

Los contenidos multimedia tienen una naturaleza analógica y para que esta información pueda ser gestionada y almacenada en un ordenador debe ser digitalizada. Sin embargo, su digitalización genera un volumen de información demasiado grande para ser almacenada ó transmitida eficientemente por la red.

Para reducir los requisitos de los videos, éstos se codifican guardando solo la información correspondiente a los píxeles ó líneas de información consecutivas que son diferentes. Las técnicas de codificación / compresión explotan las redundancias espaciales y temporales del video, las cuales pueden variar de una escena a otra. Por lo tanto, puede ocurrir que las frecuencias de compresión de dichas escenas sean diferentes entre si, provocando con ello diferentes requisitos de ancho de banda entre las distintas partes del video. Este tipo de codificación se denomina VBR (Variable Bit Rate) y puede complicar considerablemente la implementación de los servicios VoD.

Existen codificaciones alternativas que adaptan la calidad del video entre escenas para conseguir una misma frecuencia de compresión a lo largo del video, esta técnica se conoce como CBR (Constant Bit Rate).

La tabla 1-1 muestra los principales formatos de video [Sha02b], junto a sus características más destacadas (canales de video / audio y resolución de la imagen) y los requisitos desde el punto de vista del servidor / red (ancho de banda) y del cliente (potencia de cómputo requerida para poder reproducir cada formato en concreto).

Tabla 1-1. Formatos de video y sus requisitos de ancho de banda y potencia de cálculo

Formato video	Canales	Resolución (en pixels)	CPU requerida	Ancho de banda
MPEG-4	1 video 2 audio	720 x 480	500 MHz	<1 Mb/s
MPEG-2 HDTV	1 video	1920 x 1080	>2 x 1.5 GHz	19.4 Mb/s
MPEG-2 y Dolby Digital	1 video 5.1 audio	720 x 480	200 MHz	6-8 Mb/s
MPEG-2 Panorámico	5 video 10.2 audio	5 x (720 x 480)	2 x 400 MHz	4x5 Mb/s y 11 Mb/s

Se puede constatar que los requisitos exigidos para este tipo de información son muy elevados independientemente del formato utilizado. El almacenamiento y transmisión al cliente de un video de calidad media (2 horas de MPEG-2) precisa una capacidad de almacenamiento de 7.2 GBytes y una infraestructura de red capaz de transmitir hasta 8 MBits por segundo de información durante dos horas y sin sufrir ningún corte ó retardo.

1.1.2 Tipos de servicios de VoD

Los sistemas de VoD se pueden clasificar en función del tipo de servicio que ofrecen a los usuarios. La principal característica que distingue el servicio de VoD de otras tecnologías parecidas (como la televisión) es la capacidad de interacción y elección de los usuarios a la hora de escoger **qué** contenido y **cuándo** lo quiere reproducir.

Teniendo en cuenta este parámetro los posibles servicios que puede ofrecer un sistema de VoD son: Pago por visión (PPV), quasi video-bajo-demanda (QVoD), VoD aproximado (NVoD) y VoD verdadero (TVoD).

- o *Pago por visión*

El servicio de pago por visión (Pay-per-View, PPV), permite al usuario reservar y pagar por programas específicos; este esquema es muy parecido al utilizado por los operadores de cable ó la televisión por satélite actuales.

- o *Quasi video bajo demanda*

En el quasi VoD (Quasi-VoD, QVoD), los videos son enviados por el operador a los usuarios a través de la red, solo en el caso de que el número de suscriptores que los han solicitado con anticipación sea lo suficientemente grande. Los usuarios están agrupados por categorías de interés, basándose en políticas de optimización de recursos del sistema. Los usuarios no tienen el control interactivo sobre un canal específico, solo pueden cambiarse de un grupo a otro.

- o *Video bajo demanda aproximado*

En el VoD aproximado (Near-VoD, NVoD), el proveedor transmite un determinado contenido en intervalos de tiempo regulares (cada 15 minutos por ejemplo). En el momento que un usuario realiza una petición en el sistema, ésta es atendida por el siguiente canal que vaya a transmitir el contenido deseado. Por lo tanto, es posible que la petición no se atienda inmediatamente y que el usuario deba esperar durante un intervalo de tiempo.

- o *Video bajo demanda verdadero*

El servicio de video bajo demanda verdadero (True-VoD, TVoD) es el más completo. El usuario tienen el control total sobre cuándo quiere visualizar el video y sin estar sujeto a ningún tipo de restricciones por parte del operador. Para seleccionar el contenido a reproducir, el usuario puede elegir cualquiera de los contenidos multimedia disponibles en el catálogo del sistema de VoD.

Los sistemas TVoD suelen soportar todos los comandos disponibles en un VCR (Video Cassete Recorder): reproducir / reiniciar (que permite iniciar o reiniciar la visualización del video), parar (permite parar la visualización del video), pausa (congela la visualización del video), avance y retraso rápido (permite adelantar ó atrasar la visualización del video utilizando una velocidad mayor a la normal), cámara lenta (permite visualizar el video a una velocidad inferior a la normal) y búsqueda (permite buscar una determinada secuencia mediante saltos dentro del video y sin mostrar imagen ó sonido).

El tipo de servicio ofrecido es un parámetro importante en el diseño, ya que a medida que se aumenta la interactividad del usuario también se incrementa la complejidad del sistema de VoD y por lo tanto, el valor añadido del servicio ofrecido a los usuarios.

1.1.3 Componentes de un sistema de VoD

Los sistema de VoD están compuestos por tres componentes básicos: el servidor, la red de transmisión y los usuarios del sistema (ver figura 1-1). A continuación describiremos la funcionalidad de cada uno de estos componentes.

Servidor

El servidor de video almacena los contenidos que pueden ser solicitados por los usuarios. Es el encargado de gestionar el servicio a los clientes, garantizando una cierta calidad de servicio a lo largo del camino que tiene que seguir la información desde el disco hasta los usuarios.

Un servidor de VoD está compuesto por tres subsistemas: El subsistema de control, el subsistema de almacenamiento y el subsistema de comunicación.

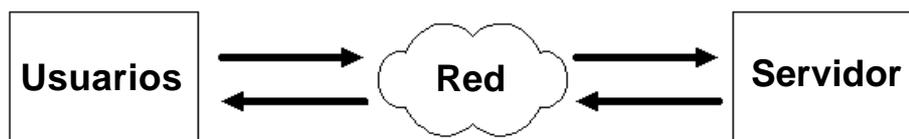


Figura 1-1. Principales componentes de un sistema de VoD

- o *Subsistema de control*

El subsistema de control es el encargado de recibir las peticiones de los usuarios y ordenar las acciones que se tienen que llevar a cabo para poder atenderlas.

Este módulo debe decidir si la nueva petición puede ser servida por el sistema sin que ello implique un deterioro de las peticiones activas. Estas decisiones son tomadas por la política de control de admisión en función de los recursos disponibles en el sistema y de los requisitos de la nueva petición.

Otras funciones del módulo de control son la gestión de las estadísticas de utilización del sistema (contabilidad y facturación) y realización de tareas de optimización para incrementar la eficiencia del sistema.

- o *El subsistema de almacenamiento*

Este módulo es el responsable de almacenar y recuperar la información multimedia desde los dispositivos de almacenamiento. Las principales dificultades a la hora de conseguir este objetivo estriban en el volumen de información que se debe gestionar y que ésta debe ser entregada de acuerdo a las estrictas especificaciones de la calidad de servicio (QoS) requeridas por las aplicaciones de video bajo demanda.

- o *El subsistema de entrega de comunicación*

Es el encargado de planificar la inyección de los contenidos multimedia en la red de transmisión. Este módulo se encarga de gestionar las distintas políticas de servicio que permiten optimizar los recursos de ancho de banda de la red y del servidor.

Red de comunicación

Uno de los principales factores que más han influenciado en el crecimiento de las aplicaciones multimedia es el crecimiento de la red de interconexión. Para permitir a los usuarios acceder a los contenidos multimedia, las redes deben satisfacer al menos dos requisitos: Disponer de mecanismos de transporte para enviar las peticiones y los datos y permitir que la información sea transmitida respetando unos niveles mínimos de rendimiento (calidad de servicio).

La red de comunicación de un sistema de VoD se caracteriza por unos elevados requisitos de ancho de banda (capacidad de transferencia de grandes volúmenes de datos) y grandes velocidades de transmisión.

En un sistema VoD, podemos llegar a encontrar tres niveles de red diferentes: la red principal, la red troncal y las redes locales. Ahora bien, dependiendo de la arquitectura del sistema VoD

finalmente utilizada, estos niveles se pueden integrar entre si, quedando reducidos a únicamente dos niveles (red principal y red troncal).

La red principal es aquella a la cual se conectan los servidores de VoD y sirve punto de conexión de éstos con la red de distribución (red troncal) de los contenidos multimedia a los usuarios. La red troncal (ó *backbone*) permite interconectar la red principal con cada una de las redes de distribución locales (en caso de que éstas existan) ó bien directamente con los usuarios. Su objetivo es transportar, tan rápido como sea posible, la información generada por los servidores desde la red principal a los usuarios.

Las redes locales son las responsables de la conexión final de los usuarios al sistema de VoD. Esta red requiere un ancho de banda inferior respecto a los otros niveles. El tráfico soportado por las redes de usuario tiene una naturaleza asimétrica, lo cual significa que se necesita un ancho de banda de entrada considerablemente mayor al tráfico de salida.

Cientes

Los usuarios deben soportar la recepción y la visualización sin cortes de los contenidos multimedia, así como soportar los comandos VCR. El interfase entre los usuarios y el sistema de VoD se realiza mediante el STB (Set-Top-Box). Este módulo es el encargado de recibir los comandos del usuario y enviar la señal al servidor a través del interfase de red.

El STB almacena los contenidos recibidos desde el servidor en unos buffers locales, decodifica los contenidos recibidos en tiempo real y envía las imágenes obtenidas a la pantalla de visualización, con la temporización correcta.

En general los STB constan de 4 componentes principales: Interfase de red, decodificador, buffer y hardware de sincronización.

- *Interfase de red*

Permite al cliente recibir y enviar información desde ó hacia los servidores.

- *Decodificador*

Para reducir los requisitos de almacenamiento, ancho de banda de disco y ancho de banda de red, los contenidos multimedia suelen estar codificados. Así se necesita un decodificador en el lugar del cliente para decodificar el video antes de ser presentado al usuario.

- *Buffer*

Debido a los retrasos introducidos por la red, el tiempo de llegada de la información (video) no puede ser determinado con exactitud. Para conseguir una reproducción sin cortes, el servidor debe garantizar que la siguiente porción del video que se va a visualizar esté disponible antes que el usuario la quiera visualizar. Para lograr este objetivo, el servidor envía datos al usuario en adelanto de forma que se asegure un margen de maniobra que amortigüe los posibles retardos inesperados introducidos por la red de comunicación. Como el usuario no va a consumir inmediatamente estos datos, estos se tienen que almacenar temporalmente en un buffer hasta que sean requeridos.

- *Hardware de sincronización*

Los videos están compuestos por un stream de video y un stream de audio independientes. Para poder realizar un reproducción correcta, ambos tipos de información deben ser sincronizados entre si antes de que puedan ser reproducidos.

El desarrollo de los STB mantiene una continua evolución, no solo enfocada a reducir su coste sino también a incrementar su potencia debido al rápido desarrollo tecnológico de la industria de ordenadores. Mientras las recientes generaciones de STB están bastante limitadas con respecto a la funcionalidad y a la capacidad, la actual tendencia intenta sobrepasar el mero rol de receptor y decodificador de video, convirtiéndolo en un verdadero centro de entretenimiento familiar, e incrementando su capacidad de almacenamiento y de procesamiento [Leu02].

1.1.4 Requisitos de un sistema de VoD

La funcionalidad requerida de un sistema de VoD así como las características de la información gestionada por éstos, imposibilita la utilización de servidores genéricos.

Por lo tanto, los servidores de VoD deben ser diseñados teniendo en cuenta una serie de requisitos específicos del tipo de información gestionada. El servicio de una petición para un contenido multimedia requiere un elevado volumen de información, con requerimientos de tiempo real, mantenimiento de la calidad de servicio (QoS) y grandes anchos de banda de transferencia del sistema de almacenamiento y la red de comunicaciones. El conjunto de todos estos requisitos complica el diseño e implementación de los sistemas de VoD y limita considerablemente el número de usuarios que puede soportar un servidor de VoD.

A continuación se describen brevemente cada uno de estos requisitos.

Gran capacidad de almacenamiento

Dada la naturaleza intensiva en almacenamiento de la información multimedia, los requisitos de almacenamiento globales de cientos de contenidos multimedia puede exceder fácilmente un requisito de disco de decenas de Terabytes.

Por ejemplo, un video en formato de televisión de alta definición (HDTV) de dos horas de duración puede requerir hasta 18 Gigabytes (ver tabla 1-1, en el apartado 1.1.1). Por lo tanto, un sistema de VoD compuesto de 200 videos puede requerir aproximadamente unos 3.6 Terabytes de almacenamiento.

Servicio en tiempo real

Para garantizar la reproducción continua de los contenidos multimedia, no es suficiente con que el servidor de VoD envíe los datos al usuario y éste los reciba correctamente; sino que esta recepción se debe producir dentro un intervalo de tiempo específico.

Esto implica que todos los componentes del sistema deben tener un control del tiempo máximo permitido para poder realizar cada uno de las operaciones que intervienen en la entrega de información a los usuarios. Además, los distintos componentes que intervienen en el sistema se tienen que sincronizar entre sí para no violar estos requisitos de tiempo. Si esta sincronización no se lleva a cabo es imposible garantizar una calidad de servicio al usuario final.

Es posible suavizar los requisitos en tiempo real de los sistemas de VoD mediante la utilización de buffers intermedios tanto en el servidor como en el cliente y el envío en adelanto de un fragmento del contenido multimedia [Bak02] [Fen95] [Rei98] [Rex99].

Calidad de servicio (QoS)

Un aspecto clave en cualquier servicio de vídeo es proporcionar una calidad de servicio (QoS) aceptable al usuario. Debido a la naturaleza continua e independiente del tiempo de los contenidos de audio y video, su reproducción requiere un estricto control del momento y la secuencia de recepción de la información por parte del usuario.

Esta calidad de servicio generalmente implica varios aspectos tales como: calidad de la imagen, frecuencia de pérdida de imágenes, sincronización audio y vídeo, entre otros. Algunos de estos parámetros no son fácilmente cuantificables porque dependen de la percepción subjetiva del observador.

La calidad de servicio a nivel del usuario refleja como se suministra el flujo de vídeo original desde un servidor de vídeo remoto. Estos servicios requieren restricciones específicas en el flujo

de información desde el servidor al cliente. Por lo tanto, una cuestión importante en VoD es como lograr una correspondencia entre la QoS específica requerida por el cliente con la especificación de una QoS para el servidor de vídeo y la red de transmisión.

Con el objetivo de conseguir unas prestaciones en el sistema que garanticen una QoS aceptable se requiere una fuerte coordinación entre todos los componentes del sistema, desde los servidores de ficheros a los dispositivos de visualización pasando por las componentes de red. No es suficiente un análisis individual de los componentes del sistemas sino que se requiere un diseño unificado que tenga en cuenta todas los componentes. La QoS basada en el análisis de los componentes individuales tropieza con el problema de que los componentes no son independientes entre si. La solución óptima para una componente no garantiza la mejor solución para todo el sistema y por lo tanto, se requiere un análisis integrado.

Grandes anchos de banda

Los contenidos multimedia requieren el procesamiento de un gran volumen de información de forma periódica y durante grandes periodos de tiempo. Este volumen de información exige grandes anchos de banda en la red de transmisión.

Los requisitos de ancho de banda no se circunscriben exclusivamente a la red de comunicaciones entre el servidor de VoD y los usuarios finales, sino que también involucran al sistema de almacenamiento. Esto implica la utilización de sistemas de almacenamiento complejos basados en sistemas de almacenamiento jerárquicos ó bien la utilización de un conjunto de discos en configuración RAID.

Es importante hacer notar que si no se tiene en cuenta este parámetro en el diseño del sistema de VoD, un incremento en el número de peticiones a gestionar por el sistema, puede aumentar los requisitos de ancho de banda hasta llegar a saturar el sistema de VoD.

1.2 Políticas de gestión de los servidores

Para que un servidor pueda efectuar sus funciones, éste debe realizar una secuencia de tareas periódicas cada una de ellas sujetas a una estricta temporización de forma que se garantice un flujo de información continuo a lo largo de todo el camino de servicio que debe seguir la petición. Este camino de servicio se inicia en el subsistema de almacenamiento, pasando por el subsistema de inyección en la red que se encarga de enviar los contenidos multimedia a los clientes a través de la red de comunicación.

En la figura 1-2, se muestran los distintos módulos que componen un servidor de VoD: el módulo de control de admisión, los planificadores de disco y de red y el gestor del almacenamiento. Las funciones realizadas por cada uno de estos módulos y algunas de sus políticas más significativas se comentan en los siguientes apartados.

Control de admisión

Para garantizar que los nuevos clientes disponen de un servicio continuo y asegurar que la calidad de servicio asignada a las conexiones existentes se mantiene, el servidor debe garantizar que dispone de suficientes recursos (ancho de banda de E/S de disco, buffers de memoria, ancho de banda de procesamiento y ancho de banda de red) antes de admitir una nueva petición. La toma de la decisión de si una petición se puede ó no servir con los recursos actualmente disponibles, recae bajo la responsabilidad del módulo de control de admisión del servidor.

Antes de admitir una nueva petición, un conjunto de parámetros de QoS son transmitidos por el usuario para que sean comprobados por el servidor. Si esta calidad de servicio pedida no puede ser soportada, la petición será denegada ó alternativamente, se establecerá un proceso de negociación entre el servidor y el usuario para reducir los requisitos solicitados.

El algoritmo de control de admisión debe disponer de conocimientos sobre la capacidad del subsistema de almacenamiento y la política de servicio activa de forma que se pueda evaluar

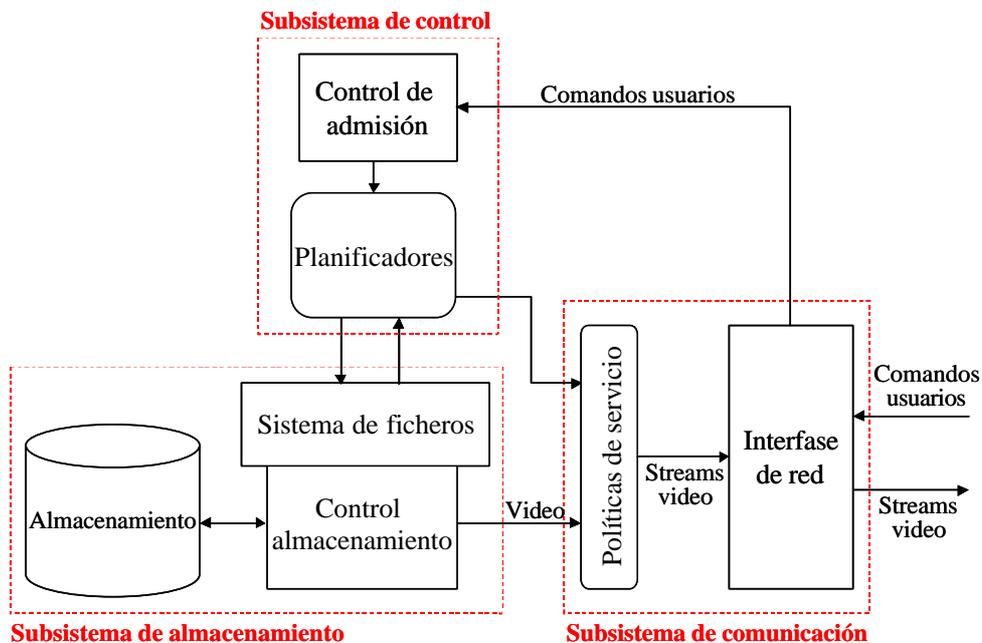


Figura 1-2. Módulos que componen un servidor de VoD

adecuadamente el volumen de recursos requeridos para atender la nueva petición (en el caso de que se puedan utilizar políticas de multicast que permitan reducir el consumo de recursos).

Dentro de nuestro grupo investigación se está trabajando en las políticas de control de admisión en el ámbito de sistemas de VoD a gran y pequeña escala [Qaz03a].

Planificadores

En un modelo genérico, el servidor de video se compone de un planificador de disco y de un planificador de red. El planificador de disco determina cómo y cuándo se tienen que transferir desde el subsistema de almacenamiento hasta los buffers intermedios de memoria. El planificador de red determina cómo y cuándo la información se transfiere desde los buffers de memoria a la red, para su transmisión a los clientes.

o *Planificador de disco*

Para una eficiente utilización del ancho de banda de disco, el planificador de disco se suele organizar en ciclos [Tob93]. En su forma más sencilla, el esquema basado en ciclos consiste en que en cada ciclo se planifican y se leen los datos que necesita transmitir el planificador de red en el siguiente ciclo. El principal motivo para esta organización en ciclos es que permite desligar el orden de transmisión de los datos a los usuarios del orden de lectura desde los dispositivos de almacenamiento. Al poder leer los bloques del disco en cualquier orden se puede minimizar los tiempos de búsqueda (*seek*) en el disco.

El orden de lectura de cada uno de los bloques del disco en cada uno de los ciclos dependerá de la política concreta que se aplique. Se pueden utilizar políticas genéricas como el SCAN, EDF ó SCAN-EDF [Teo72], ó bien políticas específicas orientadas a sistemas de tiempo real como GSS (Grouped Sweeping Scheme) [Yu92].

o *Planificador de red*

Los dos principales objetivos de las políticas de planificación (presuponiendo la correcta recepción de los usuarios) son simplificar la gestión del sistema de VoD (suavizando los requisitos de tiempo real ó la variabilidad de la frecuencia de compresión de los contenidos VBR) y reducir los recursos requeridos para servir las peticiones.

Una de las técnicas más conocidas que permite reducir los requisitos de ancho de banda, es el *smoothing* (suavizado) [Fen95] [Rex99]. Esta técnica utiliza el buffer del cliente para enviarle datos en adelanto. El objetivo de estos datos enviados en adelantado es permitir

que el planificador de red pueda minimizar la fluctuación en los requisitos de ancho de banda de red de los contenidos multimedia VBR.

El *prefetching* [Bak02][Rei98] es otra técnica que intenta enviar datos en adelanto al servidor, pero en este caso, con el objetivo de reducir los requisitos de tiempo real del sistema y optimizar los recursos del sistema. Esta técnica intenta aprovechar los periodos de tiempo en los cuales el sistema está infrautilizado para transmitir información en adelanto a los clientes.

Para reducir los requisitos de ancho de banda del sistema, el planificador suele implementar distintas políticas de servicio, algunas de las cuales, comentamos en el siguiente apartado.

Políticas de servicio

Las políticas de servicio son las encargadas de decidir como se deben gestionar las peticiones de los usuarios y el tipo de servicio (Q-VoD ,N-VoD ó T-VoD) que finalmente ofrece el sistema.

Existen tres tipos de categorías de políticas de servicio, en función del tipo de comunicación utilizada: unicast (1 a 1), broadcast (1 a todos) y multicast (1 a n):

- *Unicast*

Es la política de servicio más sencilla, ya que se basa en enviar un flujo de información independiente (mediante una transmisión unicast) para cada una de las peticiones.

La principal ventaja de esta técnica estriba en que soporta VoD verdadero y los comandos de VCR. En el lado negativo, podemos destacar su poca eficiencia con respecto a la utilización de los recursos del sistema y a los grandes anchos de banda requeridos para servir a un número elevado de usuarios.

- *Broadcast*

Esta política intenta maximizar la eficiencia de los recursos del sistema a costa de la interactividad de los usuarios. Se utiliza principalmente para ofrecer servicios QVoD de bajo coste.

Las políticas de broadcast se basan en las comunicaciones con el mismo nombre, en las cuales se permite envía un mismo flujo de datos a todos los usuarios de una red, de forma indiscriminada. Los receptores deben decidir si la información les interesa o no. Si no es

así, entonces sencillamente descartan la información recibida. Lo cual implica que los streams utilizan ancho de banda de la red, tanto si van a ser utilizados por usuarios como si ningún usuario los utiliza.

Esta característica condiciona la utilización de estas políticas ya que requieren que la información que se esta transmitiendo tenga una alta frecuencia de acceso para obtener un rendimiento acorde con el ancho de banda utilizado. Ésta es la principal razón por la cual esta técnica solo se emplea con videos cuya popularidad es muy alta.

Existen diversas técnicas de broadcast, las cuales se diferencian principalmente en la forma en que se fracciona y se transmite el contenido multimedia. Los principales parámetros con los que juegan estas técnicas son el número de streams utilizados en el broadcast de la película y la frecuencia de transmisión de cada uno de los trozos.

La técnica de *broadcast Pyramid* [Vis96] se basa en la existencia de buffers en los clientes, de forma que puedan recibir y guardar algunos segmentos del video mientras se visualizan los primeros. Se transmiten segmentos cada vez más largos de cada video por canales diferentes. De esta forma, se divide el ancho de banda del servidor en N canales lógicos y la película en N segmentos con un tamaño que se incrementa geométricamente. Debido a que el primer segmento es el más pequeño su frecuencia de transmisión será mayor, lo cual asegura un tiempo de espera considerablemente más reducido.

El esquema de broadcasting Skyscraper [Hua97] intenta reducir los requerimientos de ancho de banda y el tamaño del buffer del cliente de la técnica anterior. Se basa en dividir el ancho de banda disponible en B canales lógicos los cuales se distribuyen equitativamente entre los M videos. Para transmitir un video sobre sus K canales dedicados, éste es partido en K fragmentos, los tamaños de los cuales siguen una determinada serie.

Además de las técnicas descritas, existen otras alternativas como broadcast pagoda [Par99] ó broadcast armónico [Juh97]. Las últimas tendencias intentan utilizar conjuntamente técnicas de broadcast y unicast para proporcionar servicios de VoD verdadero [Bra00].

- o *Multicast*

Mediante las técnicas de multicast el flujo de información solo se envía (de forma discriminada) a un grupo de usuarios que han pedido los mismos contenidos. De esta forma, un stream de multicast siempre tiene por lo menos un destinatario y nunca se

malgasta ancho de banda. Esta es la principal razón por la cual estas técnicas suelen tener rendimiento más eficiente que las técnicas de broadcast.

A continuación vamos a describir algunas de las políticas multicast más significativas.

La política de *batching* [Dan94] [Dan96] se basa en retrasar las respuestas (transmisión de los contenidos) a los usuarios de forma que varias peticiones a un mismo video se puedan servir utilizando un único flujo de información. La principal ventaja de esta técnica estriba en que se permite un considerable ahorro de recursos del sistema VoD y que no requiere que el STB del usuario disponga de unas características específicas. En su contra está que no puede ofrecer un servicio de VoD verdadero y que puede causar la cancelación de la petición por parte del usuario si éste no está dispuesto a esperar durante más tiempo por el servicio solicitado.

La política de *patching* [Cai99] [Hua98] [Sen99] es una de las primeras políticas de multicast que soporta servicios de VoD verdadero. Esta política se basa en aprovechar los flujos de información que se están transmitiendo a otros usuarios para reducir los requisitos de las nuevas peticiones. Cuando el servidor recibe una nueva petición se comprueba si existe algún stream que esté transmitiendo el mismo contenido y que esté dentro de la ventana de tiempo del buffer del nuevo usuario (el minuto X de la información que se está transmitiendo no tiene que ser mayor que la capacidad del buffer). Si esta condición se cumple, el nuevo usuario se añade al canal de transmisión activo (con lo cual se asegura la recepción de todo el resto del video, a partir del minuto $X-120$, mediante un multicast) y se crea un canal específico para el trozo de video que falta (canal de patch ó parche) de forma que se pueda empezar inmediatamente la reproducción del video.

Esta política tiene una serie de ventajas: el mínimo tiempo de respuesta a los clientes, que permite expandir el canal de multicast para servir a nuevas peticiones y que la mayoría de los canales de patch son de corta duración. En contraposición, esta técnica requiere que el STB del usuario disponga de un buffer para guardar alrededor de 5 minutos de video (tamaño normalmente utilizado mediante esta técnica) y además debe poder soportar la recepción simultánea de al menos dos canales de transmisión de entrada (canal de patch + canal multicast).

Existen otras técnicas multicast que permiten crear una estructura jerárquica de multicast (política de *merging* [Eag99] [Lau98]); ó que logran la fusión de las peticiones de los usuarios en un canal multicast incrementando el volumen de información enviada al usuario (*piggybacking* [Gol96]) ó bien incrementado el ratio de compresión de los

contenidos enviados (*skimming* [Eag00]). Con respecto a las políticas de servicio multicast, otra importante línea de investigación actual analiza la influencia de los comandos VCR sobre la efectividad de esta política [Qaz03b].

Sistema de almacenamiento

Debido al volumen de información gestionado en un sistema de VoD, el sistema de almacenamiento puede resultar muy costoso si exclusivamente se utilizan discos magnéticos.

Para construir un sistema de VoD con una buena relación coste / prestaciones resulta lógica la utilización de sistemas de almacenamiento híbridos que combinan dos ó más tipos de dispositivos de almacenamiento. Este esquema configura un sistema jerárquico de almacenamiento constituido por distintos niveles: memoria (formado por los buffers internos del servidor), discos magnéticos (para almacenar los videos con una popularidad media-alta) y los discos ópticos (para aquellos contenidos con la frecuencia de acceso más bajas).

El número de peticiones concurrentes que puede ser gestionado por un único disco está limitado por su rendimiento, es decir por el ancho de banda del disco requerido para servir un contenido multimedia. Una aproximación que se puede utilizar para solucionar esta limitación consiste en mantener múltiples copias de un contenido en diferentes discos, sin embargo esta solución resulta cara.

Una mejor aproximación consiste en fraccionar los ficheros multimedia entre múltiples discos utilizando las técnicas de *striping*, *interleaving* ó una combinación de ambas. La técnica de *striping* utiliza la tecnología RAID (Redundant Array of Inexpensive Disks) que permite realizar accesos en paralelo a un array de discos [Pat88]. Mediante el *interleaving*, los bloques de un fichero multimedia son almacenados de forma intercalada a lo largo de un conjunto de discos [Tob93].

1.3 Tecnologías de red

Dado que un sistema de VoD requiere la transferencia de enormes volúmenes de datos a muy altas velocidades, varios protocolos de comunicación y arquitecturas de red han sido propuestos para conectar los distintos componentes del sistema.

Las tecnologías utilizadas varían considerablemente según el nivel de red que se considere: red principal, red troncal ó red de conexión final con los clientes (última milla). Mientras que la red principal requiere grandes ancho de banda, la conexión con los clientes finales tiene requisitos

individuales más pequeños (con un ancho de banda de red de 1.5 Mb/s es suficiente para soportar la transmisión de un video en formato MPEG-2).

El criterio más importantes para la selección de la tecnología de la red principal es el ancho de banda y el soporte de la gestión de la QoS. En este caso, ATM emerge como la tecnología más importante. Otra alternativa, que permite reutilizar la infraestructura de Internet actual, se basa en la utilización de protocolos específicos (RTP, RTCP, RTSP, RSVP, etc...) para soportar la gestión de la calidad de servicio por encima del protocolo TCP/IP sobre redes Ethernet.

A continuación, se describen las distintas alternativas utilizadas en la conexión de los usuarios y en las red troncal y principal.

1.3.1 Red de usuarios

La infraestructura de comunicaciones entre el usuario y la red principal del sistema de VoD se denomina red de los usuarios. Esta red sirve de lazo de unión entre el servidor de VoD y el STB de usuario.

Las principales tecnologías que se utilizan en la conexión de los usuarios a la red troncal de los sistemas de VoD son ADSL y la fibra óptica / cable.

- o *Asymmetrical Digital Subscriber Loop (ADSL)*

ADSL se basa en la utilización de redes de cables de cobre. Permite la recepción de datos a altas velocidades, utilizando la infraestructura telefónica actual y con pocas distorsiones [Dri94].

La instalación de ADSL se compone de un par de unidades (ver figura 1-3), una instalada en el cliente y la otra en la oficina central de telefónica. ADSL puede proporcionar al usuario final un ancho de banda de entrada de más 1.5 Mb/s y un ancho de banda de

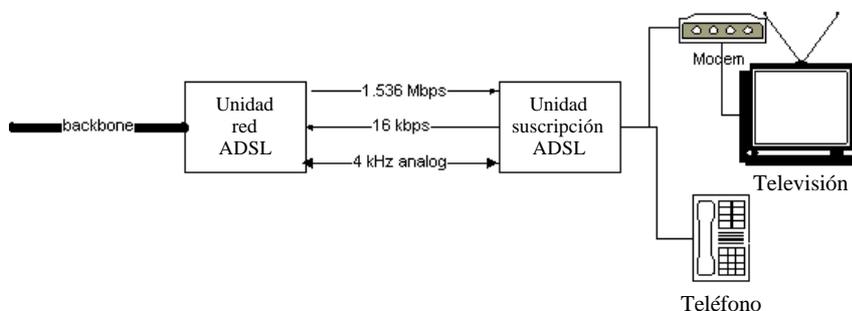


Figura 1-3. Componentes de una instalación ADSL para VoD

salida de 16 Kb/s para control. Extensiones de ADSL (HDSL) pueden alcanzar un mayor ancho de banda, llegando a los 6 Mb/s [Pai94]. Estas características son suficientes para satisfacer los requisitos de ancho de banda y comunicación bidireccional de los servicios de VoD.

o *Cable*

La distribución de información a través del cable se basa en la utilización de la tecnología HCF (Hbybrid Fiber Coaxial) que combina el uso de fibra óptica junto a cables coaxiales. Estas redes de cable han sido utilizadas tradicionalmente para la trasmisión de señales analógicas por las compañías de cable de televisión (CATV), pero mediante la utilización de modems también permiten la transmisión de señales digitales.

La topología utilizada para estos sistemas suele basarse en árboles basados en fibra, con ramales de cable coaxial, a las cuales se conectan los subscriptores, según muestra la figura 1-4.

El ancho de banda total disponible en los ramales suele ser alrededor de 3482 Mb/s, los cuales se dividen entre los canales de entrada (3480 Mb/s) y canales de salida (2 Mb/s) [Sit00].

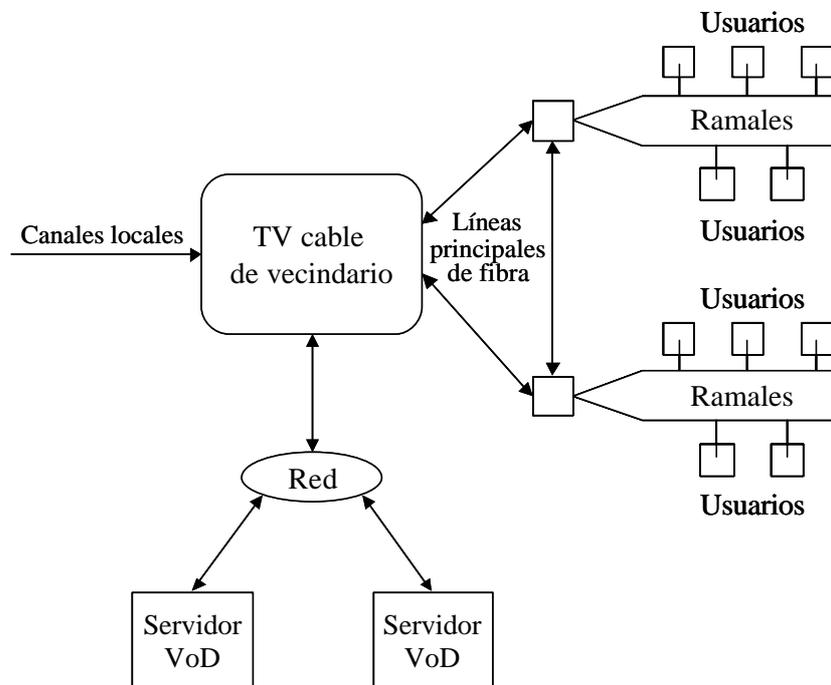


Figura 1-4. Red de televisión por cable

1.3.2 Red troncal

Las principales tecnologías utilizadas en la red troncal son redes ATM y redes basadas en switches fast-ethernet sobre el protocolo TCP/IP.

En la tabla 1-2, mostramos el número máximo de flujos de video que pueden soportar las distintas tecnologías de red ATM y Ethernet, para los siguientes formatos de video: Televisión de alta definición (HDTV), calidad DVD, estándar de televisión americano y japonés (NTSC, National Television System Committe), MPEG-1 y MPEG-4 (ó DivX) [Fri99].

Tabla 1-2. Número de flujos de video soportados por las principales tecnologías de red

Formato (bandwidth)	Eternet	Fast Ethernet	ATM (OC3)	ATM (OC12)	Gigabit Ethernet
MPEG-2 HDTV (19.4 Mb/s)	0	5	7	32	51
MPEG-2 DVD (10.8 Mb/s)	0	9	14	57	92
MPEG-2 NTCS (2.7 Mb/s)	3	37	57	230	370
MPEG-1 (1.5 Mb/s)	6	66	103	414	666
MPEG-4 (<1 Mb/s)	10	100	155	622	1000

A partir de la información de la figura, se puede deducir que el ancho de banda de las redes de transmisión es uno de los factores más importantes a la hora de diseñar un sistema de VoD. Un sistema de VoD medio, capaz de dar servicio a miles de usuarios requiere la utilización de una infraestructura de red compuesta por varios switches Ethernet ó ATM. Hoy en día, las alternativas que ofrecen una mejor relación coste / prestaciones son los switches Fast-Ethernet ó ATM OC-3. A continuación describimos las características más relevantes de cada una de estas tecnologías.

ATM

ATM es una técnica de conmutación y una tecnología de multiplexación que combina los beneficios de la conmutación de paquetes (garantía de capacidad y retardo de transmisión constante) con los beneficios de la multiplexación de paquetes (flexibilidad y eficiencia para el tráfico intermitente) [Cisc1] [Cisc00]. Esta técnica de transmisión, está diseñada para ser un modo de transferencia orientada a conexión, de propósito general, para un rango amplio de

servicios. La técnica de multiplexación es por división asincrónica en el tiempo (ATD). ATM es una variación de las técnicas de conmutación de paquetes en la cual se emplean paquetes de tamaño fijo y reducido denominados celdas.

En un nodo de conmutación ATM, el procesamiento de las celdas se limita al análisis de una etiqueta con el número de canal lógico, a partir del cual la celda podrá ser encaminada apropiadamente. Otras funciones más complejas como chequeo y control de errores no son realizadas por la red ATM sino por los usuarios finales en los extremos de la red.

Estas particulares características facilitan una solución razonable para los problemas propuestos por las restricciones asociado con el tráfico de video en tiempo real.

ATM dispone de ciertas características que la hace especialmente interesante para los sistemas de VoD:

- Soporta altas velocidades: Gracias a la limitada funcionalidad de la cabecera, el procesamiento de las mismas es simple y por lo tanto puede ser realizado a muy altas velocidades (de 150 Mb/s a Gb/s). Esto implica retardos muy pequeños de procesamiento y encolamiento.
- ATM opera en un modo orientado a conexión: Antes de que la información sea transferida desde un terminal a la red, se establece una conexión lógica/virtual que permite a la red la realización de la reserva de los recursos necesarios.
- Reserva recursos y QoS: Al pedir una conexión se debe especificar la calidad de servicio que se desea. Esta QoS se define en función de la tasa de error, retardo, etc. y se especifica en el llamado "contrato de tráfico". Si el sistema tiene suficientes recursos y la conexión se establece, entonces se realiza un control de tráfico sobre los usuarios, evitando que algún usuario sobrepase los recursos asignados.
- Mínimo retardo y variabilidad: Gracias a que los buffers internos de los nodos de conmutación son pequeños se garantiza un retardo y una variabilidad de los retardos reducidos, tal y como se requiere en los servicios de tiempo real.

Ethernet

La tecnología ATM es costosa, por lo que muchas instalaciones de VoD han preferido la utilización de la infraestructura más económica como la utilizada en las redes de área local basadas en switches fast-ethernet.

El protocolo de comunicaciones más ampliamente utilizado hoy en día en las redes de área local ó en Internet es el protocolo TCP/IP. Este protocolo fue diseñado como protocolo de conmutación de paquetes, cuyo objetivo principal era la entrega de paquetes libres de error desde un remitente a un receptor sin importar cuando lleguen al destinatario.

El IP (Internet protocol) es un protocolo situado en la capa de red del modelo OSI, basado en la conmutación de paquetes y que no está orientado a conexión. Sobre el protocolo IP normalmente son utilizados dos protocolos de transporte: el protocolo de control de transmisión (TCP) y el protocolo de datagramas (UDP).

El protocolo TCP/IP no permite garantizar una calidad de servicio a los usuarios finales, ni permite la reserva de ancho de banda que garantice la transmisión del flujo de datos durante el periodo de visualización de los contenidos multimedia. Estas características limitan considerablemente la aplicación de este protocolo para soportar servicios de VoD. Para subsanar estas limitaciones se han propuesto un conjunto de protocolos (RTP, RTCP, RSVP y RTSP) soportados encima de TCP/IP que permita soportar el tráfico requerido por las aplicaciones de VoD [Sch96] [Bra97]. En la figura 1-5 mostramos la relación de estos protocolos con los protocolos TCP/IP y UDP.

- o *RTP* (Real-Time Transport Protocol): Proporciona un mecanismo para el transporte de datos en tiempo real a través de Internet. RTP ofrece servicios de entrega extremo-a-extremo para datos con características de tiempo real que son adecuados para aplicaciones distribuidas que transmiten datos a tiempo real. El protocolo ofrece

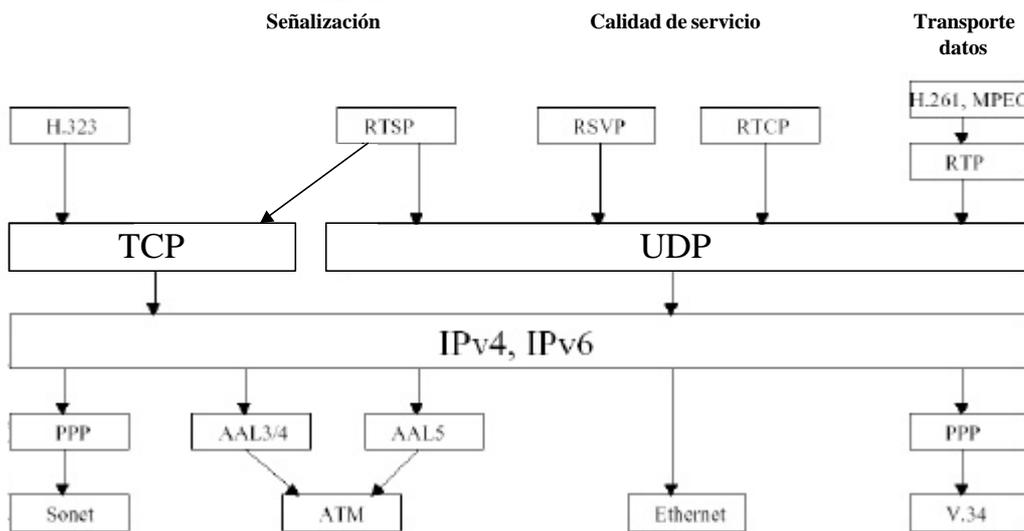


Figura 1-5. Protocolos para soportar tráfico multimedia sobre TCP-IP

características importantes para las aplicaciones multimedia tales como marca de tiempo y numeración de secuencia de los mensajes e identificación del tipo de datos transmitidos, que permite un tratamiento adecuado por parte de la red.

- *RTCP* (Real-Time Control Protocol): Debido a que el protocolo RTP no garantiza la calidad de servicio para las comunicaciones en tiempo real, se requiere un protocolo complementario para controlar la calidad de los datos entregados y control de flujo y congestión. Este protocolo genera la transmisión de informes estadísticos entre el transmisor y receptor en el protocolo RTP, mediante los cuales se identifica el estado de congestión de la red y que consiguen limitar el número de paquetes perdidos (ajuste automático de ancho de banda).
- *RTSP* (Real-Time Streaming Protocol): es un protocolo de nivel de aplicación que ofrece control sobre la entrega de datos a tiempo real. El protocolo se aplica para el control de flujos continuos sincronizados en el tiempo, tanto de audio como de video, y actúa como control remoto de red para los servidores multimedia. RTSP controla los flujos transmitidos por un protocolo de transporte (RTP por ejemplo).
- *RSVP* (Resource ReReservation Protocol): protocolo que se encuentra situado encima de la capa de Internet, dentro de la estructura del protocolo TCP/IP, ocupando el lugar de los protocolos de transporte. RSVP proporciona un mecanismo para configurar y gestionar la reserva de ancho de banda en Internet, permitiendo la adaptación de una transmisión a las fluctuaciones de tráfico de las redes.

1.4 Arquitecturas utilizadas en los sistemas de VoD

En los apartados anteriores hemos descrito los principales componentes y políticas que integran un sistema de video bajo demanda. Sin embargo, a la hora de implementar un sistema de estas características se pueden adoptar diversas arquitecturas. En este apartado describiremos la organización y características de las principales arquitecturas utilizadas para el diseño e implementación de los sistemas VoD.

1.4.1 Arquitecturas centralizadas

Estos sistemas se basan en la conexión de todas las redes de usuarios del sistema a una red principal a la cual se conecta un servidor ó un conjunto de servidores (ver figura 1-6).

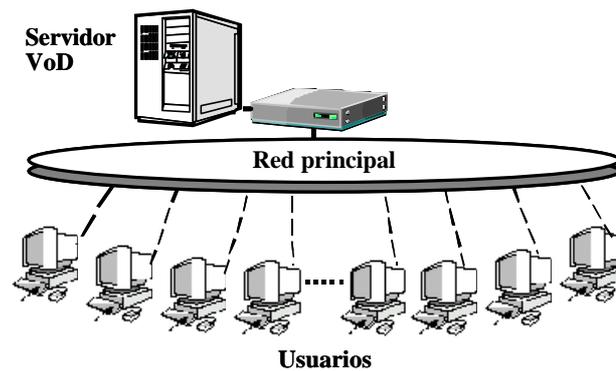


Figura 1-6. Arquitectura de VoD centralizada

Las principales características que definen las configuraciones centralizadas son la gestión centralizada de todas las peticiones de los usuarios y la utilización de una red principal que es compartida por todos los flujos de información del sistema.

Existen dos categorías de sistemas centralizados en función del número de servidores utilizados: arquitecturas con un único servidor y arquitecturas basadas en múltiples nodos de servicio (ó arquitectura de servidor distribuida).

En la primera configuración con un único servidor, la gestión de los clientes se basa en un único nodo de servicio que centraliza la atención de todas las peticiones. En estas arquitecturas, el servidor de video utilizado puede variar desde un PC estándar (para sistemas de pequeña escala) hasta supercomputadoras con cientos de procesadores (sistemas de gran escala). Sin embargo esta aproximación, en general, tiene diversas limitaciones con respecto a la escalabilidad, tolerancia a fallos y disponibilidad del servicio.

Para evitar los inconvenientes asociados con la utilización de un único servidor en la literatura se ha propuesto la utilización de múltiples nodos de servicio, de forma que se logre un servidor escalable (mediante la inclusión de nuevos nodos de servicio), tolerante a fallos (ya no se depende de un único punto de fallo) y que puede alcanzar una mayor capacidad de servicio.

Dentro de las arquitecturas centralizadas basadas en múltiples nodos de servicio podemos encontrar dos configuraciones diferentes en función de cómo se organizan los distintos nodos: servidores paralelos (ó array de servidores) ó formando un cluster.

- o *Servidores paralelos ó array de servidores*

Esta arquitectura consiste en un array de servidores, que trabajan de forma similar a un array de discos. Los distintos nodos de servicio no almacenan videos completos, sino que los videos son divididos en trozos y éstos son distribuidos entre los diferentes nodos para

lograr una distribución de la carga más homogénea entre todos los servidores [Ber96] [Lee02].

La figura 1-7 muestra una configuración de una arquitectura de servidores paralelos compuesta por 5 servidores, todos ellos conectados con los usuarios a través de una red de interconexión. Cada uno de los servidores almacenan un subconjunto de segmentos (v_1, v_2, \dots, v_n) de los videos del catálogo del sistema.

Cuando se produce una petición cada nodo de servicio es el responsable de transmitir al usuario los fragmentos de video solicitado que se encuentran en su discos. El cliente tiene la responsabilidad tanto de fraccionar su petición en las distintas solicitudes a cada uno de los nodos de servicio, como de posteriormente recombinar y sincronizar los distintos flujos de información recibidos, para poder reproducir el contenido multimedia.

Esta arquitectura permite escalar la capacidad del sistema añadiendo nuevos nodos, aunque se requiere realizar una nueva redistribución de los videos que tenga en cuenta los nuevos servidores añadidos. Otras ventajas asociadas con esta configuración es que permite un balanceo automático de la carga del sistema y que aumenta la tolerancia a fallos respecto a las arquitecturas basadas en un único nodo de servicio.

La principal desventaja de estas aproximaciones es que incrementan los requisitos de los STB de los usuarios y complica considerablemente su diseño. Para evitar la utilización de STB demasiados complejos se ha propuesto la utilización de proxies entre los servidores y los clientes [Lee98]. En estos sistemas, el término proxy hace referencia al módulo del sistema encargado de re-secuenciar y fusionar los datos procedentes de los distintos servidores en un flujo de información coherente para entregárselo al usuario final. El proxy puede también utilizar información redundante para enmascarar posibles fallos en los

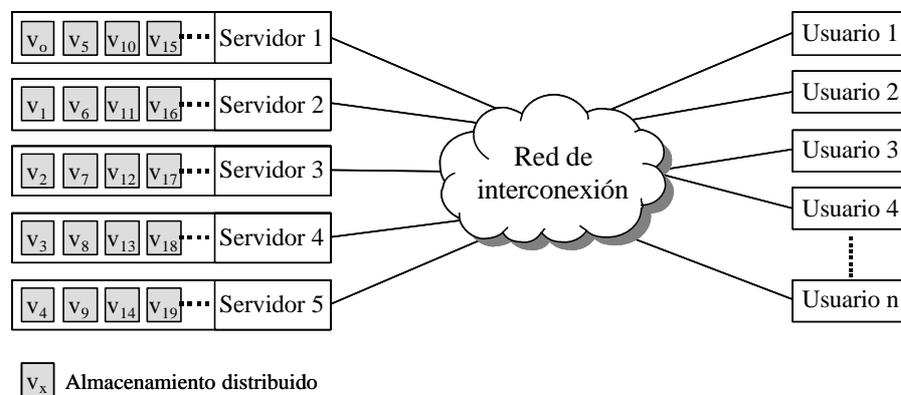


Figura 1-7. Arquitectura de VoD centralizada con servidores paralelos

servidores.

Además, al no existir un nexo común en la gestión de las peticiones de los usuarios, la utilización de políticas de compartición de recursos se complica considerablemente.

o *Cluster de servidores*

Una arquitectura basada en cluster consiste en un grupo de nodos conectados entre si por una red de interconexión (ver figura 1-8). Cada nodo dispone de un disco local conectado a él [Tew96] [Zho02].

Los nodos del cluster se pueden dividir en tres categorías: nodos de transmisión y nodos de almacenamiento y un nodo de control. El nodo control admite las peticiones de la red externa basándose en una estrategia de control de admisión predefinida ó dinámica. Los nodos de almacenamiento, guardan los contenidos de forma similar a los servidores paralelos (i.e. cada objeto multimedia es dividido en bloques y distribuido entre todos los discos del sistema), proporcionándolos cuando son requeridos a los nodos de transmisión.

Los nodos de transmisión son los encargados de unir los distintos bloques correspondientes a un video, antes de su transmisión al usuario en forma de un único flujo de información.

En [Ser00] se comparan los servidores centralizados y los distribuidos, concluyendo que en general los servidores centralizados obtienen mejores rendimientos con respecto a la probabilidad de bloqueo de las peticiones siempre que ambas configuraciones dispongan del

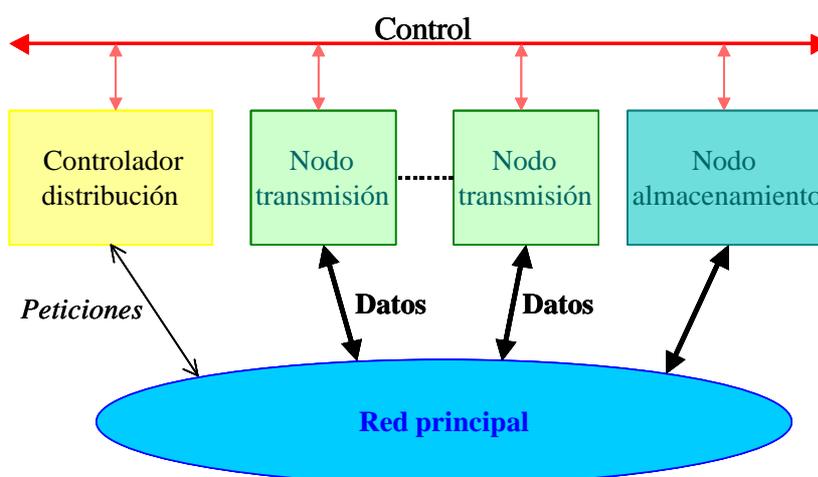


Figura 1-8. Arquitectura de VoD centralizada basada en cluster

mismo ancho de banda de E/S. Sin embargo los servidores distribuidos tienen una mejor escalabilidad, una alta disponibilidad, un mejor coste y pueden alcanzar el mismo rendimiento que los servidores centralizados incrementando su capacidad de almacenamiento ó de E/S.

El principal problema que sufren las arquitecturas centralizadas es el cuello de botella que representa la red principal. La escalabilidad futura del sistema queda limitada por el ancho disponible en esta red.

1.4.2. Arquitecturas de servidores independientes

Una de las soluciones que se ha propuesto para incrementar la escalabilidad de los sistemas de VoD, es la conexión de los usuarios mediante servidores independientes [Tob95] [Sit00]. En estos sistemas, tal y como muestra la figura 1-9, los usuarios están agrupados en segmentos de red cuyo tráfico es independiente entre si, denominados redes locales, de forma que el ancho de banda del sistema pueda llegar a ser el ancho de banda acumulado de cada una de las redes individuales. Sin embargo, para incrementar el ancho de banda de estos sistemas no es suficiente con únicamente agrupar los usuarios en redes independientes ya que si todos acaban accediendo al mismo servidor y a su red, éstos se convierten en el cuello de botella del sistema, con la consiguiente saturación de todo el sistema.

La clave para que estos sistemas con redes independientes funcionen y obtengan un mejor rendimiento, estriba en que las peticiones se puedan servir localmente sin la necesidad de acceder a un servidor centralizado. Este objetivo se puede lograr colocando servidores de VoD cerca de las redes locales de los usuarios y replicando todos los contenidos, de forma que éstos no tengan que acceder al servidor central, creando un sistema de servidores independientes ó autónomos.

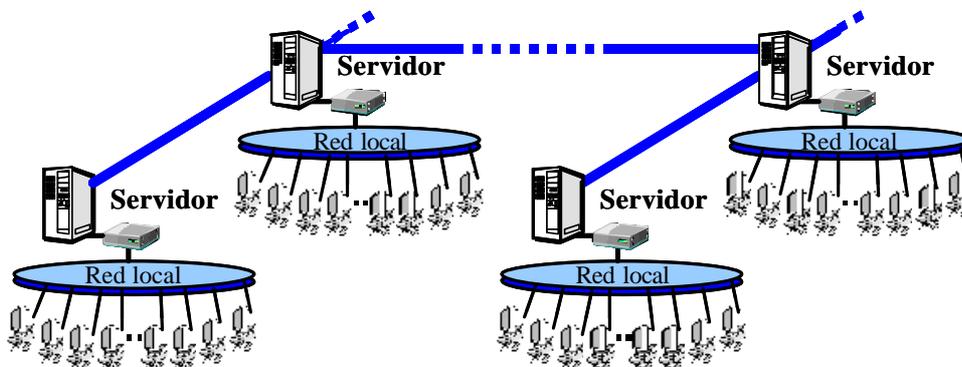


Figura 1-9. Arquitectura de VoD de servidores independientes

La principales ventajas de esta arquitectura es que permite una escalabilidad ilimitada mediante la inclusión de nuevos servidores a los cuales se conectarán los nuevos usuarios y que no requiere servidores muy complejos.

Por el contrario, los sistemas de VoD basados en servidores independientes tienen unos elevados costes asociados con el subsistema de almacenamiento debido a que todos los servidores deben replicar los contenidos del catálogo del sistema.

Una alternativa para reducir estos costes consiste en interconectar los servidores entre si y permitir que los servidores sólo almacenen un subconjunto de los videos del sistema, redirigiendo las peticiones que no se puedan servir localmente hacia los otros servidores del sistema. De todas formas, para no saturar la red de interconexión entre los servidores, estos aún necesitan almacenar un porcentaje considerable de los contenidos del sistema.

1.4.3. Arquitecturas basadas en servidores-proxy

La arquitectura de servidores independientes implica un elevado coste, y por lo tanto, algunas propuestas han optado por reducir el tamaño de los servidores locales, de forma que no almacenen una copia completa de las películas del sistema, sino únicamente los contenidos más populares. Estos servidores locales se denominan servidores-proxy, al igual que sus homólogos de Internet y se comportan como una cache del catálogo de contenidos almacenado en un servidor principal, el cual contiene todos los videos disponibles en el sistema.

Los sistemas basados en servidores-proxy de un nivel, identifican a una arquitectura en la cual los servidores-proxy no están interconectados entre si. Esta arquitectura surge como un compromiso entre las arquitecturas centralizadas (no escalables pero con menores requisitos de almacenamiento) y las arquitecturas de servidores independientes (escalables, pero con elevados costes de almacenamiento) [Cha99].

Los servidores-proxy son los encargados de gestionar inicialmente todas las peticiones generadas por los usuarios conectados a sus redes (redes locales), en el caso que la petición no pueda ser atendida localmente debido a que el contenido requerido no se encuentra en la cache, entonces se redirige la petición hacia el servidor principal. Existen diversas políticas para gestionar el contenido de los servidores-proxy en función de si almacenan los contenidos completos [Riz98] ó solo un fragmento: prefix-caching basado en almacenar en la cache el fragmento inicial (prefijo) de los contenidos de video más populares [Sen99b] y segment-caching que archivan en la cache los fragmentos del video más populares [Kun01].

Existen dos configuraciones básicas que se pueden utilizar a la hora de diseñar un sistema VoD basado en servidores-proxy. Ambos difieren en la arquitectura utilizada para el servidor principal a la cual se conectan los distintos servidores-proxy. Tenemos la arquitectura de servidores-proxy basados en un servidor centralizado y las arquitecturas de servidores-proxy basadas en un servidor paralelo ó jerárquico.

o *Basados en un servidor principal centralizado*

La topología general de un sistema basado en servidores-proxy (ver figura 1-10) se compone de un servidor principal al cual se conectan directamente y a través de una red principal, un conjunto de redes locales con su proxy. Debido a que solo hay un nivel de servidores-proxy en la arquitectura, este sistema se suele denominar, sistema basados en servidores-proxy de un nivel (en contraposición a otras arquitecturas que pueden utilizar diferentes niveles jerárquicos de servidores-proxy dentro del sistema).

En la figura también se pueden ver los dos tipos de peticiones que tienen estos sistemas: peticiones servidas localmente y las peticiones atendidas por el servidor principal. Las peticiones locales (trazo continuo) son aquellas que se pueden servir desde los contenidos almacenados en la cache de los servidores-proxy. Cuando el servidor-proxy no dispone del contenido requerido por la petición, ésta se redirige hacia el servidor principal que se encargará de su servicio. Este tipo de peticiones requieren el doble de ancho de banda de red para ser atendidas.

El principal problema que se encuentran estos sistemas es la escalabilidad limitada derivada de la dependencia de unos componentes centralizados como son el servidor y la

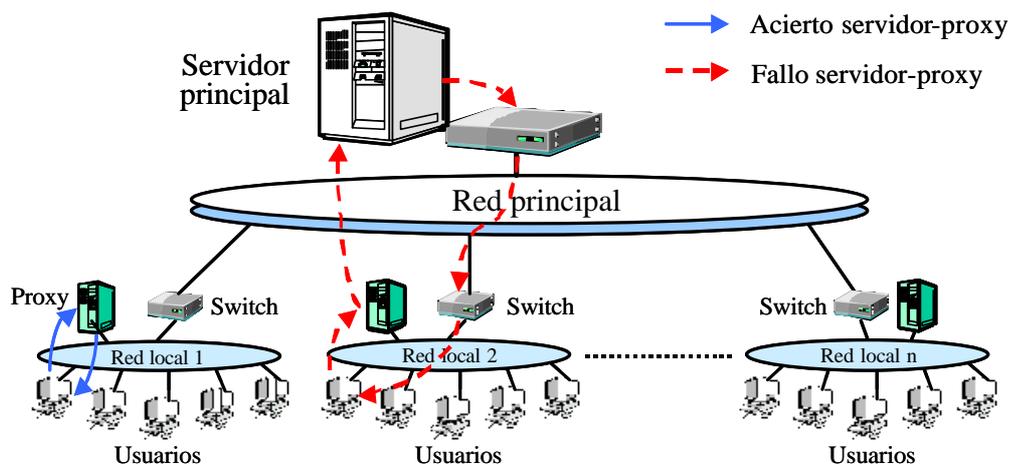


Figura 1-10. Arquitectura de VoD de servidores-proxy de un nivel

red principal. La capacidad de crecimiento del sistema dependerá en última instancia de la capacidad de estos componentes centralizados. De todas formas, siempre disponen de un mayor margen de maniobra comparado con los sistemas centralizados.

o *Basados en un servidor principal paralelo / jerárquico*

Esta aproximación trata de solventar los problemas de escalabilidad del servidor principal-centralizado en la arquitectura de servidores-proxy de un nivel. En esta arquitectura, de la cual la figura 1-11 muestra un posible configuración, el servidor principal esta diseñado basándose en una red jerárquica ó en árbol, con servidores de VoD en los nodos y enlaces de red en las ramas de la jerarquía [Sha02]. Los nodos de servicio situados en las hojas de la jerarquía son los puntos de acceso para el sistema. Todos los nodos del sistema solo almacenan un subconjunto de los contenidos del sistema.

Cuando una petición para un contenido llega a un nodo hoja, si el contenido está disponible en su almacenamiento local, el servidor atiende el mismo al cliente. En caso contrario, la petición se reenvía hacia los niveles superiores de la jerarquía para que sea atendida por otro nodo de servicio de la arquitectura que disponga del contenido requerido.

El rendimiento de esta arquitectura es similar a las basadas en servidores-proxy de un nivel conectadas a un servidor centralizado, pero reduce la probabilidad de saturación del servidor principal e incrementa la capacidad de servicio del sistema.

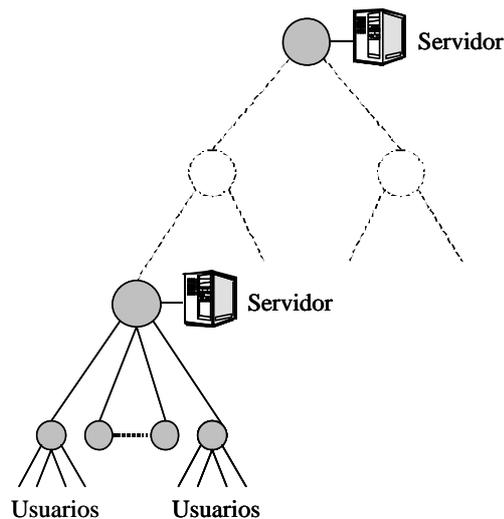


Figura 1-11. Arquitectura de VoD jerárquica de servidores-proxy

1.4.4 Arquitecturas distribuidas a nivel de los usuarios

Las últimas tendencias a la hora de diseñar sistemas de VoD se orientan hacia la adopción de arquitecturas distribuidas, en las cuales la gestión de las peticiones, así como los contenidos multimedia se distribuyen entre todos los componentes del sistema.

En estos sistemas, los distintos nodos de servicio tienen que colaborar entre sí para poder atender a los usuarios. Existen diferentes categorías de sistemas distribuidos en función de si existen ó no un nodo maestro encargado de centralizar la gestión del sistema y mantener una copia completa de los contenidos del sistema (arquitecturas de servidores-proxy de un nivel, por ejemplo).

Una de las primeras propuestas en este sentido es la política de servicio de *Chaining* (encadenamiento) [She97]. Esta política utiliza el contenido de los buffers internos de los STB de los usuarios para a su vez servir peticiones de otros usuarios hacia el mismo contenido. De esta forma, se crea una cadena de servicio (cada eslabón de la cadena consiste de un usuario que reenvía los contenidos almacenados en su buffer hacia el siguiente eslabón) entre los propios usuarios del sistema que permite reducir la carga del servidor de VoD del sistema.

Recientes propuestas intentan utilizar el concepto *peer-to-peer* (aparecido originalmente en la distribución de ficheros de música en Internet) para crear un sistema de almacenamiento distribuido de contenidos multimedia que se puede utilizar para implementar un sistema de VoD totalmente distribuido [Duc02]. En estas arquitecturas, al igual que ocurre con las técnicas de *Chaining*, los STB de los usuarios realizan funciones de servidor de contenidos para las peticiones de otros usuarios del sistema.

1.5 Arquitecturas de VoD a gran escala

A pesar del atractivo de los servicios de VoD para el público en general, su implementación hasta el momento no ha sido tan grande como se pudiese esperar, debido a la dificultad de diseñar y construir sistemas de VoD de gran escala (LVoD) capaz de atender a decenas de miles de peticiones simultáneas.

La construcción de sistemas de video bajo demanda de gran escala está actualmente limitada por dos factores: la capacidad de transmisión simultánea de videos (capacidad de streaming) que puede soportar el servidor y la red de comunicación, y por otro lado, los elevados costes requeridos para su construcción.

Para proveer servicios de VoD capaz de atender a decenas de miles de usuarios es imprescindible el diseño de sistemas de VoD a gran escala eficientes y con un coste asumible.

1.5.1 Requisitos de las arquitecturas LVoD

A la hora de realizar el diseño de un sistema LVoD, además de tener que proporcionar una alta capacidad de streaming, también son de vital importancia considerar los conceptos de escalabilidad, tolerancia a fallos, coste, balanceo de la carga y compartición de recursos, que describimos a continuación:

Escalabilidad

En términos generales, la escalabilidad hace referencia a la capacidad del sistema para mantener, sino mejorar, su rendimiento a medida que aumenta el número de clientes.

Ninguna instalación de VoD puede crecer desde 0 a un millón de usuarios de un día para otro. Por lo tanto, sobredimensionar el sistema de VoD teniendo en cuenta los posibles usuarios futuros, puede dar a lugar a que cuando una capacidad adicional se requiera el sistema ya resulte obsoleto debido a los avances en la tecnología.

Los sistemas de VoD deben permitir ajustar su capacidad inicial a los requerimientos de los usuarios para así reducir la inversión inicial. Pero al mismo tiempo deben conservar intacta la capacidad de crecimiento futuro.

La escalabilidad es una de las características más importantes para un sistema VoD, permitiendo que se pueda ajustar el tamaño inicial del sistema a los requerimientos de los usuarios, pero manteniendo la posibilidad de un fácil crecimiento para poder soportar más usuarios ó nuevos servicios.

En general, en los sistemas distribuidos existen dos tipos de escalabilidad: la vertical y la horizontal. Al hablar de escalabilidad vertical nos referimos a incrementar el número de recursos en la misma máquina para conseguir atender a un mayor número de usuarios. La escalabilidad horizontal consiste en incrementar el número de máquinas que integran el sistema.

Tolerancia a fallos

Los sistemas de VoD tienen que continuar dando servicio a los usuarios, incluso si uno ó más componentes de la arquitectura fallan.

En sistemas de gran escala, normalmente enfocados a un público que paga por unos servicios, no es asumible una interrupción del servicio debido a un fallo de alguno de los

componentes. Estas interrupciones de servicio, en caso de producirse, pueden producir un grave perjuicio económico y de imagen.

Los sistemas de gran escala son más susceptibles de sufrir algún fallo debido al gran número de componentes (servidores, redes, discos duros) que los forman. Por lo tanto, es importante tener en cuenta la tolerancia a fallos en el diseño de estos sistemas.

Una de las técnicas utilizadas para aumentar la tolerancia a fallos, es la replicación de los componentes más críticos del sistema. Aunque reduce la posibilidad de interrupción del servicio, esta técnica implica una gran inversión en componentes que no estarán en funcionamiento durante la mayor parte del tiempo de vida del componente, y que pueden llegar a quedarse obsoletos incluso antes de ser utilizados. La utilización de componentes de respaldo es muy costoso, por lo cual se suele utilizar cuando no hay más remedio, por ejemplo en sistemas centralizados.

Una alternativa mejor y menos costosa consiste en que los componentes de respaldo formen parte de la propia arquitectura. De esta forma, el posible respaldo para un servidor del sistema es otro servidor de la misma arquitectura. La mejor forma de implementar esta política es logrando que la atención de los usuarios no dependan de un único servidor, sino que puedan ser atendidos por distintos componentes del sistema, en función de las necesidades. La utilización de una arquitectura totalmente distribuida, en la cual la gestión de las peticiones se realiza de forma descentralizada, es la forma más fácil de obtener la tolerancia a fallos sin necesitar componentes de respaldo [Gol01].

Coste

El VoD a gran escala en el ámbito empresarial está mayormente enfocado a ofrecer servicios de entretenimiento y multimedia a grandes ciudades (si no a países enteros). Este tipo de instalaciones requieren de una gran inversión y, por lo tanto, es imprescindible un control muy estricto de los costes de la arquitectura de VoD.

Desde el punto de vista de la arquitectura de VoD (sin tener en cuenta el Set-Top-Box mediante el cual se conectan los usuarios), los componentes que requieren una mayor inversión son las redes de comunicación y los servidores de video.

El coste de las redes de transmisión depende básicamente del ancho de banda requerido y de la tecnología utilizada. El coste asociado con una red individual se puede incrementar exponencialmente si el ancho de banda requerido es muy grande. Para reducir el coste del sistema de comunicaciones es recomendable que la arquitectura de LVoD no requiera la utilización de redes con anchos de banda muy grandes.

Con respecto a los servidores, los componentes que más influyen en su coste son los asociados con el ancho de banda servicio y el sistema de almacenamiento requerido para soportar el catálogo de contenidos del sistema. El coste del servidor, al igual que ocurre con la redes, depende de la capacidad de servicio deseada. Un servidor más potente necesitará la utilización de técnicas de clustering y discos RAID para poder soportar el ancho de banda requerido, aumentando el coste considerablemente.

En general, parece lógico pensar que se obtiene la mejor relación coste / rendimiento utilizando componentes pequeños y cuyo uso esté generalizado en el mercado. Se deben evitar requisitos que necesiten la utilización de componentes demasiado complejos ó que requieran de las últimas tecnologías disponibles en el mercado.

Balanceo de la carga

La distribución de la carga entre los distintos servidores del sistema, es importante debido a que las peticiones de los usuarios siguen una distribución no uniforme. Esta característica puede provocar un desbalanceo en el volumen de trabajo de los servidores y una pobre utilización de los recursos globales del sistema

El sistema de VoD debería permitir que parte de la carga de los componentes (servidores ó redes) más saturados, se pueda desviar a otros componentes menos cargados. Una correcta redistribución de la carga en el sistema, permite reducir la probabilidad de rechazo de servicio a los usuarios [Pin00].

Compartición de recursos

Hoy en día, la posibilidad de poder compartir de recursos entre los usuarios (mediante técnicas de broadcast, multicast, etc.) es la clave para el diseño e implementación de sistemas de VoD eficientes y con una buena relación coste / prestaciones.

La eficiencia de las técnicas de multicast depende, entre otros factores, del volumen de peticiones que recibe un servidor. Un mayor volumen de peticiones, implica una mayor probabilidad de que las nuevas peticiones puedan compartir recursos con las peticiones activas. De esta forma, el número de usuarios gestionados por un servidor puede aumentar la eficiencia de las políticas de multicast y por tanto la eficiencia del sistema.

1.5.2 Alternativas actuales para los sistemas LVoD

Las propuestas existentes en la literatura no cumplen todos los requisitos comentados en el apartado anterior, de forma que la distribución de contenidos multimedia a gran escala en redes de área global sea una realidad.

La construcción de un sistema de LVoD a gran escala está actualmente limitada tanto por la capacidad del servidor (ancho de banda de servicio) como por la capacidad de transmisiones simultáneas que puede soportar una red de comunicaciones (ancho de banda de la red).

Actualmente, la implementación de un sistema de LVoD que pueda soportar un gran número de streams concurrentes, requiere la disposición de varios servidores, que ofrecen la transmisión de video y los servicios de reproducción bajo la forma de un sistema distribuido.

Sin embargo, las distintas aproximaciones para crear esta infraestructura pueden variar desde sistemas completamente centralizados (mediante un cluster de servidores) que utilizan hardware dedicado en la capa de red sin almacenamiento intermedio, hasta sistemas completamente descentralizados que replican todo el catálogo de contenidos en servidores cercanos al usuario final.

Al diseñar un sistema LVoD nos podemos basar en las arquitecturas disponibles hoy en día, ya vistas en el apartado anterior. Cada una de estas arquitecturas tienen sus ventajas e inconvenientes dentro de un entorno de servicio a gran escala que comentamos a continuación:

- o *Sistemas centralizados*

Un sistema LVoD centralizado requiere un servidor y una red principal capaces de soportar un gran ancho de banda. Un servidor con estas características puede llegar a ser muy costoso y complejo de diseñar / construir. La disponibilidad de redes capaces de soportar estos volúmenes de tráfico puede estar limitado por la tecnología disponible. Además el sistema resultante no es tolerante a fallos, ni escalable ya que el crecimiento del sistema está limitado por la red y el servidor principal.

La única ventaja de esta arquitectura es la alta eficiencia que pueden obtener de las políticas multicast. Al estar todos los usuarios conectados a la misma red, la probabilidad de compartición de streams es la más alta de todas las arquitecturas de VoD.

Estos sistemas adolecen de una serie de problemas que dificulta su candidatura a una instalación de gran escala

o *Servidores independientes*

Esta arquitectura no requiere ni redes grandes, ni servidores complejos para lograr la alta capacidad de streaming requerida por los sistemas de gran escala. Estos sistemas permiten una escalabilidad ilimitada ya que para aumentar la capacidad del sistema únicamente se necesita añadir nuevas redes locales (más los servidores correspondientes) al sistema.

La principal desventaja de esta arquitectura en un entorno de gran escala son los requerimientos de almacenamiento en los servidores (cada servidor necesita una copia entera del catálogo de contenidos), la compartición de recursos esta restringida exclusivamente a los usuarios locales y el balanceo de carga es casi imposible a no ser que las redes independientes estén interconectadas.

o *Sistemas basados en servidores-proxy de un nivel*

Como ya hemos visto, uno de los problemas de estos sistemas estriba en la escalabilidad limitada derivada de la dependencia de unos componentes centralizados como son el servidor y la red principal. La capacidad de crecimiento del sistema dependerá de la capacidad de estos componentes centralizados. De todas formas, disponen de un mayor margen de crecimiento comparado con los sistemas centralizados.

Los requisitos globales de ancho de banda de red en estos sistemas, son mayores debido a que las peticiones que no pueden ser atendidas desde la cache de los servidores-proxy, requieren el doble de recursos de red (red principal + red local) para poder ser atendidas desde el servidor principal.

Por otro lado, al gestionarse la mayoría de las peticiones en los servidores-proxy, también se reduce la probabilidad de compartición de recursos entre usuarios con respecto a los sistemas centralizados.

o *Servidores basados en servidores-proxy paralelos / jerárquicos*

Básicamente estas arquitecturas tienen los mismos parámetros de rendimiento que los sistemas basados en servidores-proxy de un nivel. La única diferencia estriba en la utilización de un servidor paralelo que aporta múltiples puntos de entrada al servidor y permite reducir el cuello de botella que representa la red principal en los sistemas de servidores-proxy de un nivel.

En última instancia, la escalabilidad de estas arquitecturas depende de la escalabilidad asociada con el servidor paralelo / jerárquico. Por otro lado, parte del ahorro de los costes obtenidos al reducir los requerimientos de almacenamiento se compensan con el coste asociado con el servidor paralelo.

o *Sistemas distribuidos a nivel de usuario*

La principal desventaja con la que se tropiezan estos sistemas es el incremento de la complejidad y coste del Set-Top-Box de los usuarios, al tener que incorporar buffers más grandes y requerir anchos de bandas de red capaces de soportar más de un stream simultáneo. Además, la eficiencia de las técnicas basadas en *chaining* ó *peer-to-peer* depende de la existencia de una alta conectividad entre los usuarios del sistema, lo cual puede exigir la utilización de topologías muy costosas (malla, crossbar, ect...) en la conexión de los usuarios al sistema.

En la tabla 1-3 mostramos las principales características de las distintas arquitecturas de LVoD. A pesar de que todas estas arquitecturas son capaces de conseguir una capacidad alta de streaming, ninguna de ellas alcanza a cumplir con todas las características deseables para un sistema de video bajo demanda de gran escala.

Tabla 1-3. Principales características de las arquitecturas LVoD

Arquitectura	Alta capacidad de servicio	Grandes anchos de banda	Tolerante a fallos	Escalable	Compartición de recursos	Coste
<i>Centralizada</i>	Si	Si	No	No	Si	No
<i>Servidores independientes</i>	Si	No	Si	Si	No	No
<i>Basados en servidores-proxy</i>	Si	Si	~	No	~	~
<i>Distribuidos a nivel del cliente</i>	Si	No	Si	Si	No	No

Los principales inconvenientes que tienen estas arquitecturas son la insuficiente escalabilidad y el elevado coste requerido para el sistema. Queda patente, por lo tanto, la necesidad de una nueva arquitectura, específicamente diseñada para un sistema de VoD a gran escala. Las bases para el diseño de esta arquitectura se presentan en el siguiente apartado.

1.5.3 Sistemas comerciales de VoD

Además de las arquitecturas para VoD propuestas en la literatura, existen diversas aproximaciones de sistemas de VoD comerciales. A continuación vamos a comentar brevemente las características de tres arquitecturas comerciales: *Kasenna*, *Ncube* y *Media Hawk*.

Kasenna™

Kasenna es una plataforma comercial de entrega de video, basada en una arquitectura denominada Kasenna VCD (Video Content Distribution) [Kas1] [Kas2]. Este sistema se basa en una arquitectura de servidores-proxy, interconectados entre ellos. Los servidores-proxy utilizan una arquitectura interna basada en un cluster.

Cuando un usuario selecciona un video, especificando una URL, se examinan los metadatos (información sobre los contenidos multimedia y su ubicación) correspondientes al video solicitado. Si el objeto multimedia se encuentra en la cache del servidor local, el video es transmitido por éste directamente. En caso contrario, se consulta los metadatos para determinar el servidor más cercano que puede tener el contenido solicitado en su almacenamiento. Una vez localizado el contenido multimedia, este se transmite desde el servidor remoto al usuario, copiándolos a su vez en el servidor local.

Para eliminar los retardos iniciales, asociados con la copia del video en el servidor local, se utiliza la técnica de prefix-caching. De esta forma, el usuario puede iniciar inmediatamente la reproducción (utilizando el prefijo del video), mientras se completa la recepción por parte del servidor local del contenido completo transmitido por el servidor remoto.

NCube™

Ncube es un servidor de VoD paralelo, basado en una topología en hipercubo [Ncub1] [NCub2]. Esta topología aporta al sistema una considerable escalabilidad mediante el incremento de la topología en cubo original, tal y como se muestra en la figura 1-12.

El sistema Ncube alcanza su mayor dimensión con 256 nodos de servicio, lo cual le permite alcanzar una capacidad de servicio de hasta 34.000 streams independientes.

Otras de las características de esta arquitectura son:

- Soporta servicios NVoD y VoD.
- Es tolerante a fallos, gracias a la utilización de un sistema de almacenamiento basado en la tecnología RAID con discos redundantes.

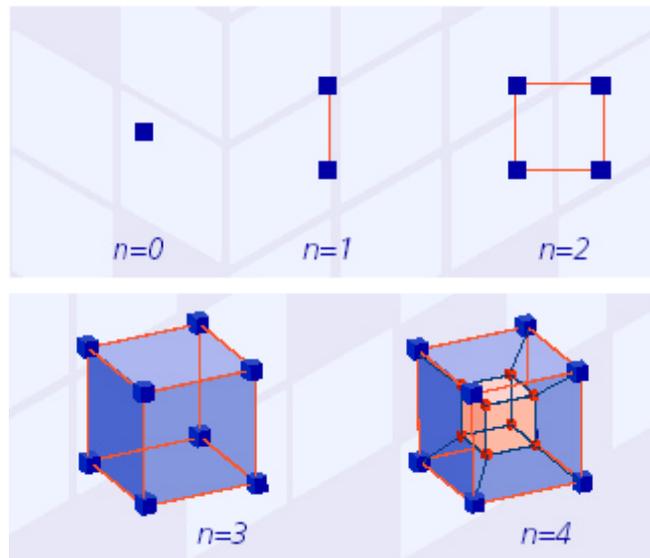


Figura 1-12. Escalabilidad de la topología Ncube

- La compatibilidad con múltiples entornos de red (Gigabit Ethernet, 10/100 baseT, ATM OC-3, ATM OC-12, ect...), basándose en protocolos RTP/UDP.
- No necesita utilizar la replicación de contenidos para garantizar que cualquier usuario pueda acceder a cualquier contenido.

MediaHawk Video Server™ (Concurrent Computer Corporation)

El servidor MediaHawk [Med1] se puede adaptar a los requisitos de capacidad requeridos por el sistema mediante la inclusión de múltiples módulos de servicio, denominados IVM (Interactive Video Module). Cada módulo IVM es capaz de alcanzar un ancho de banda de servicio de 160 Mb/s.

Los servidores *MediaHawk* pueden formar parte de una arquitectura centralizada para el sistema de VoD o como parte de una arquitectura distribuida. Estos sistemas soportan la tolerancia a fallos mediante la utilización de arrays de discos replicados.

1.6 Objetivos de esta tesis

La investigación en el ámbito de los sistemas de VoD ha estado principalmente orientada a mejorar el rendimiento y a garantizar la calidad de servicio (QoS) en la recepción de los contenidos multimedia en arquitecturas centralizadas ó de servidores independientes. En estos sistemas, se intenta subsanar la limitada capacidad de servicio del sistema, derivada del cuello de botella que representa el servidor principal y la red de servicio, mediante la utilización de políticas de compartición de streams (broadcast y multicast).

No obstante, aunque las políticas de compartición de recursos han demostrado sobradamente su efectividad para incrementar la capacidad de servicio de los sistemas VoD, no solucionan las limitaciones de las arquitecturas VoD centralizadas en entornos de gran escala (sobre todo si el catálogo de contenidos es amplio ó se ofrecen servicios TVoD que pueden afectar a la eficiencia de las políticas multicast).

Tal y como se ha comentado, ninguna de las arquitecturas de VoD propuestas en la literatura se adaptan bien a un entorno de gran escala. Algunas propuestas no proporcionan la escalabilidad ó la tolerancia a fallos requeridas (servidores centralizados ó basados en servidores-proxy de un nivel), mientras que otras aproximaciones aunque proporcionan una escalabilidad ilimitada (servidores independientes) tienen elevados costes asociados con la replicación de contenidos.

Nuestro objetivo durante el presente trabajo ha sido el diseño de una arquitectura LVoD que cumpla: **escalabilidad** ilimitada, **tolerancia a fallos**, que utilice **componentes sencillos** y de **bajo coste** y que permita obtener un sistema **eficiente** con respecto a la compartición de recursos y al **balanceo de la carga** del sistema.

- *Escalabilidad*

El requisito de una arquitectura que pueda adaptar su tamaño a las necesidades de crecimiento del sistema implica evitar cualquier componente centralizado que se pueda convertir en el cuello de botella para la escalabilidad del sistema. Por lo tanto, si pretendemos un sistema con una escalabilidad ilimitada tenemos que basar nuestro diseño en una arquitectura totalmente distribuida.

- *Tolerancia a fallos*

Para garantizar la tolerancia a fallos de la arquitectura, la gestión del sistema LVoD no puede depender de un único componente, ya que si este elemento falla todo el sistema puede caer con él. En este trabajo se propone una gestión distribuida del sistema LVoD, lo cual unido a la arquitectura distribuida permitirá obtener un sistema tolerante a fallos.

Además, para que el sistema también sea tolerante a los fallos que se puedan producir en el sistema de almacenamiento, los contenidos multimedia deben estar replicados en distintos lugares de la arquitectura LVoD. De esta forma, si un nodo de almacenamiento cae, existen otras alternativas en donde encontrar los contenidos perdidos.

o *Bajo coste y complejidad*

Los principales factores que inciden en el coste de una arquitectura LVoD son tres: las redes de interconexión, los servidores de VoD y el almacenamiento requerido para los contenidos multimedia. Con respecto a los componentes de red y servicio, el tamaño de éstos es uno de los aspectos que más influyen tanto en su complejidad, como en su coste. Por ejemplo, un servidor de VoD capaz de servir 1.000 peticiones simultáneamente es mucho más complicado de diseñar que 10 servidores independientes capaces de atender 100 peticiones cada uno de ellos.

Para reducir la complejidad de los nodos de servicio y en general, el coste de los componentes del sistema LVoD, vamos a proponer la utilización de componentes (redes y servidores) sencillos y con requisitos de prestaciones pequeños. Esta táctica permitirá la utilización de componentes estándar y, por lo tanto, con una mejor relación coste / prestaciones.

o *Eficiencia y balanceo de carga*

La eficiencia de un sistema de VoD se puede definir como el número de usuarios que se pueden atender con unos recursos (red + nodos de servicio) acotados. Como ya hemos visto, uno de los puntos clave para definir la capacidad de servicio de un sistema VoD es la efectividad obtenida por las políticas de compartición de recursos (políticas multicast), que a su vez depende de la conectividad existente entre los nodos de servicio y los usuarios.

En los sistemas orientados a ofrecer servicios al público, la eficiencia también se puede evaluar en función de la satisfacción de los usuarios respecto al servicio ofrecido. Esta satisfacción depende de diversos parámetros: tiempo de respuesta a las peticiones y disponibilidad del servicio. Ambos parámetros dependen de la utilización de políticas de servicio TVoD, y la optimización de los recursos del sistema. Este último objetivo se propone alcanzar mediante la propuesta de diversas políticas de gestión del almacenamiento y balanceo de tráfico que nos permitirán incrementar la eficiencia de la arquitectura finalmente propuesta.

Esta línea de investigación ha sido ampliamente ratificada tanto por los resultados experimentales que hemos obtenido, como por las últimas propuestas recientemente aparecidas en el ámbito de diseño de los sistemas de VoD. Estas propuestas muestran una tendencia cada

vez más acusada hacia las arquitecturas distribuidas de VoD [Hwa02] [Leu02] [Pad02]. Esta tendencia se confirma incluso fuera del campo investigador, con alguna de las propuestas comerciales más novedosas como la Ncube [Ncube1].

Durante la fase de recopilación de información sobre el estado actual de la investigación en VoD, ha quedado patente la carencia de herramientas de evaluación / análisis para este tipo sistemas, no solo a nivel de las arquitecturas LVoD sino también en el ámbito de sistemas más sencillos.

Para suplir esta carencia, se ha propuesto un segundo objetivo a cumplir durante el desarrollo de esta tesis: el diseño e implementación de un entorno de simulación para los sistemas de VoD. Esta herramienta debe permitir analizar los parámetros y métricas más significativos (requisitos de ancho de banda, distribución del tráfico y la carga en el sistema, compartición de recursos entre peticiones, eficiencia de las políticas de gestión y servicio, etc.) que intervienen en el funcionamiento de las principales arquitecturas de VoD (centralizadas, servidores independientes, basadas en servidores-proxy, etc.) tanto a pequeña, como a gran escala.

La herramienta de simulación de VoD diseñada no solo se circunscribe en el ámbito de la investigación, sino que también es una pieza indispensable para la futura configuración y sintonización de las arquitecturas LVoD en sistemas reales, debido al elevado número de parámetros que intervienen en el rendimiento / funcionamiento de estos sistemas.